

Раздел II. Радиотехника, телекоммуникации

УДК 621.391.8

DOI 10.18522/2311-3103-2016-9-8293

П.А. Землянухин

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ АДАПТИВНЫЙ ГЕНЕРАТОР ШУМА ДЛЯ МАСКИРОВАНИЯ ПЭМИН

Исследования посвящены рассмотрению вопросов связанных с построением адаптивных генераторов шумового сигнала, параметры которых могут быть настроены применительно к конкретной обстановке распределения побочных электромагнитных излучений и наводок, формируемых техническими средствами обработки, формирования и передачи информации. Отмечается, что существующие генераторы шумового сигнала, которые используются для маскирования побочных электромагнитных излучений и наводок, как правило, имеют повышенную интегральную мощность выходного сигнала, что может создавать помехи различным техническим устройствам. Диапазон частот маскирования побочных электромагнитных излучений и наводок у известных генераторов шумового сигнала достаточно широк, что не всегда требуется и может быть нежелательным. Спектральная характеристика шумового сигнала, как правило, имеет спад в области высоких частот. Эти недостатки могут быть нивелированы использованием адаптивных генераторов шумового сигнала. Подобные генераторы должны иметь распределенную по диапазону частот структуру (многоканальные генераторы шума). Они характеризуются тем, что диапазон частот маскирования побочных электромагнитных излучений и наводок разбивается на поддиапазоны. В каждом из поддиапазонов частот имеется свой канал формирования шумового сигнала. В этом случае можно обеспечить управление параметрами шумового сигнала: мощность излучаемого шумового сигнала и диапазон частот маскирования побочных электромагнитных излучений и наводок. В качестве устройств, используемых для формирования шумового сигнала в каждом канале можно использовать модуляторы амплитудно-модулированных и частотно-модулированных колебаний, где в качестве несущего колебания используется квазигармонический сигнал, а в качестве низкочастотного шума – шумоподобный сигнал, формируемый соответствующим устройством. Использование подобных сигналов позволяет обеспечить более насыщенный, относительно спектральных составляющих, шумовой сигнал. При этом применительно к амплитудно-модулированным колебаниям, изменяя длительность импульсов шумоподобного сигнала, а применительно к частотно-модулированным колебаниям – амплитуду импульсов, можно обеспечить управление шириной полосы частот маскирования побочных электромагнитных излучений и наводок.

Побочные электромагнитные излучения и наводки; адаптивный генератор шума; квазигармоническое колебание; низкочастотный шум; модулятор амплитудно-модулированных колебаний; модулятор частотно-модулированных колебаний.

P.A. Zemlyanukhin

MULTICHANNEL ADAPTIVE NOISE GENERATOR FOR MASKING THE PRE

The research is devoted to the consideration of issues related to the construction of adaptive noise signal generators, which parameters can be adjusted in relation to the concrete situation of the distribution of Transient Electromagnetic Pulse Emanation, formed by technical means of information processing, forming and transmitting. It is noted that the current noise signal generators used to mask Transient Electromagnetic Pulse Emanation tend to have an increased output power integrated, which can interfere with various technical devices. The frequency range in masking Transient Electromagnetic Pulse Emanation at the known noise signal generators is quite wide, it is not always necessary

and may be undesirable. As a rule, the spectral characteristic of the noise signal has a decline in the high frequency region. These disadvantages can be mitigated using adaptive noise generators signal. Such generators should have a structure that is distributed over a range of frequencies (multi-channel noise generators). They are characterized by the fact that the masked Transient Electromagnetic Pulse Emanation frequency range is divided into subranges. Each frequency subrange has its own channel forming the noise signal. In this case it is possible to manage the parameters of the noise signal: power emitted by a noise signal and frequency range masking Transient Electromagnetic Pulse Emanation. As a device used for generating the noise signal in each channel can be used the modulators of amplitude-modulated and frequency-modulated waves, where used is the quasi-harmonic signal of the carrier wave signal as well as low-frequency noise - noise-like signal produced by the respective machine. These signals let you provide a richer, in relation to spectral components, noise signal. At the same time, in amplitude-modulated waves by changing the duration of a noise-like signal pulses, and in frequency-modulated waves by changing the pulse amplitude control, we can provide a bandwidth of frequency masking Transient Electromagnetic Pulse Emanation.

Transient Electromagnetic Pulse Emanation; an adaptive noise generator; the quasi-harmonic oscillation; low-frequency noise; the modulator amplitude-modulated waves; the modulator frequency-modulated waves.

Введение. В последние годы бурно развивается информатизация общества. Производится обработка персональных данных граждан в электронном виде, внедряется использование электронных подписей, массово используются электронные платежи. Всё это связано с обработкой и передачей больших баз данных и различных документов в сетях связи. Соответственно остро стоит вопрос о предотвращении несанкционированного съема информации за счет наличия побочных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН), формируемых техническими средствами обработки, формирования и передачи информации.

Использование дорогостоящей высокочувствительной радиоэлектронной аппаратуры позволяет осуществить прием ПЭМИН и восстановление информации, считанной, например, с компьютера. Частотный диапазон, в котором располагаются информационные излучения ПЭМИН, простирается от десятков килоггерц до десятков гигагерц. Частоты, на которых происходит излучение ПЭМИН, определяются тактовыми частотами работы технических устройств. Следует помнить, что излучение ПЭМИН и его прием возможно на частотах вплоть до 10–15 гармоники тактовой частоты, с которой работает устройство обработки и передачи информации.

В последнее время в мире участились случаи террористических актов. Достаточно часто для осуществления террористического акта используются взрывные устройства с управлением взрывателями по радиоканалу. Во многих ведущих странах ведутся работы по созданию различных по назначению роботов для ведения боевых действий. Эти устройства также управляются оператором по радиоканалу. Ведутся разработки миниатюрных устройств, управляемых по радиоканалу, которые предназначены для мониторинга местности, считывания информации с технических устройств и т.д. Рассматривая это, следует отметить, что в настоящее время остро стоит вопрос по локальному маскированию радиосигналов в заданном диапазоне частот относительно зоны расположения устройств подобного типа.

Считается, что наиболее эффективным методом борьбы с ПЭМИН является использование генераторов шумового сигнала, который является более мощным, чем сигнал ПЭМИН, и обеспечивает маскирование последнего. В настоящее время в России продается большое количество генераторов шумового сигнала. Они имеют различные диапазоны рабочих частот и различные мощности выходного шумового сигнала [1, 2]. Имеются публикации по совершенствованию подобных устройств [3–7].

В качестве недостатков генераторов шумового сигнала, которые имеются на рынке и используются для маскирования ПЭМИН, можно отметить следующее:

- ♦ интегральная мощность выходного сигнала генератора шума в рабочем диапазоне частот должна иметь значительную величину, что позволит маскировать сигнал ПЭМИН;

- ◆ электромагнитные волны шумового сигнала формируются генератором шума в широком диапазоне частот от 10 (100) кГц до 1000 (3000) МГц; это при практическом применении, как не всегда требуется, так и может оказаться нежелательным;
- ◆ спектральная характеристика шумового сигнала может иметь большой спад в области высоких частот, что нежелательно в подобных устройствах [8];
- ◆ шумовой сигнал подобных генераторов шума может оказывать негативное воздействие на работу средств связи, расположенных в зоне работы генератора, что, как правило, нежелательно.

В результате проведенного анализа можно заключить, что исследование возможностей построения адаптивных генераторов шумового сигнала является *актуальной* задачей. В данном случае под адаптивными генераторами шумового сигнала, предназначенного для эффективного маскирования ПЭМИН, понимается возможность генераторов шума настраиваться под условия их работы:

- ◆ шумовой сигнал, излучаемый генератором шума, с одной стороны должен иметь достаточную мощность для обеспечения маскирования ПЭМИН, а с другой стороны должна быть обеспечена регулировка мощности, излучаемого шумового сигнала;
- ◆ генератор шума должен иметь диапазон рабочих частот от десятков килогерц до единиц гигагерц (до 10 ГГц [9]);
- ◆ диапазон рабочих частот генератора шума должен быть разбит на поддиапазоны, в каждом из которых обеспечивается, как включение (выключение) излучения шумового сигнала, так и регулировка ширины полосы частот, где осуществляется маскирование ПЭМИН.

Известны работы, в которых рассматриваются генераторы шума, отвечающие ряду принципов адаптивности, которые оговорены выше. Известен генератор шума с полосой частот зашумления от 90 кГц до 3000 МГц. Этот диапазон частот разбит на пять поддиапазонов, в каждом из которых обеспечено программное управление уровнем излучаемой мощности [10]. В работе [10] предлагается разбить диапазон частот от 90 кГц до 2560 МГц на девять поддиапазонов зашумления, обеспечив регулировку уровня мощности излучения шумового сигнала в каждом из поддиапазонов. Кроме этого в работе [10] в соответствии с [11] рассматривается критерий для оценки допустимого уровня шумового сигнала.

В работе [12] рассматривается шестиканальный генератор шума, формирующий шумовой сигнал в диапазоне частот от 3750 МГц до 4250 МГц. Используемое программное обеспечение, позволяет реализовать следующие функции: включение и выключение генератора шума; выбор требуемого поддиапазона, где сформирован шумовой сигнал; регулировка уровня спектральной плотности мощности шумового сигнала. Однако, этот генератор шума, обеспечивая маскирование ПЭМИН в области высоких частот, не позволяет это сделать на более низких частотах, например, монитора, спектр излучения которого простирается от низких частот до 1500 МГц.

В генераторах шума для маскирования ПЭМИН «Соната-РС1» и «Соната-РС2» [13] обеспечена регулировка уровня шумового сигнала на выходе устройства глубиной не менее 10 дБ. В работе [14] приводятся примеры ряда генераторов шума, в которых обеспечена регулировка уровня выходного шумового сигнала.

В работе [15] показано, что для формирования шумового сигнала можно использовать модуляционные методы. В данном случае используют амплитудную и частотную модуляции. В качестве несущего колебания применяют сигнал, изменяющийся по гармоническому закону. Это упрощает формирование шумового сигнала. Однако, качество шумового сигнала снижается, например, при амплитудной модуляции на качество шумового сигнала оказывает влияние, как ограничение интенсивности шумового сигнала при его прохождении через усилительные ус-

ройства, так и наличие спектральной составляющей несущего колебания ненесущей шумового эффекта, но отбирающей половину мощности шумового сигнала на выходе генератора шума. При частотной модуляции на коэффициент качества шумового сигнала оказывает влияние непостоянство спектральной плотности шумового сигнала в заданном диапазоне частот.

В работах [16–18] рассмотрены различные варианты построения генераторов шума модуляционного типа.

Целью работы является исследование возможностей разбиения диапазона частот маскирования ПЭМИН на поддиапазоны и обеспечение регулировки протяженности каждого поддиапазона частот при построении генераторов шума в виде многополосной системы модуляционного типа, где в качестве несущего колебания используется квазигармонический сигнал.

Модель генератора шума модуляционного типа. На рис. 1,а приведена обобщенная структурная схема одного из возможных вариантов адаптивного генератора шумового сигнала. Она имеет N каналов, представленных на схеме блоками от 1-го до N -го. Содержание этих блоков представлено на рис. 1,б. В эти блоки входят: полосовой фильтр; предварительный усилитель; модулятор и усилитель мощности.

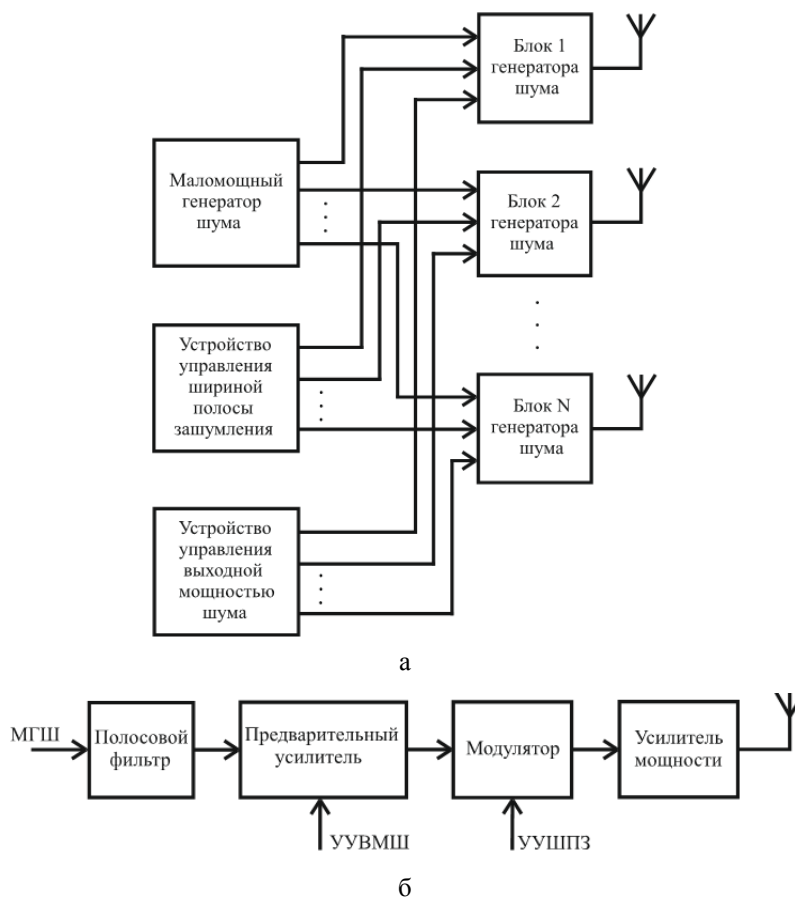


Рис. 1. Адаптивный генератор шума: а – схема электрическая структурная; б – структура блоков 1, 2, ..., N генератора шума

На вход полосового фильтра (ПФ) поступает шумовой сигнал с маломощного генератора шума (МГШ), который формирует шумовой сигнал в требуемом диапазоне частот от десятков кГц до единиц ГГц. На выходе ПФ появляется шумовой сигнал в заданной для данного блока (от 1-го до N-го) полосе частот. Далее шумовой сигнал поступает на предварительный усилитель, где усиливается и поступает на первый вход модулятора. Кроме этого в предварительном усилителе предусмотрен вход для подачи с устройства управления выходной мощностью шума (УУВМШ) сигнала, определяющего мощность сигнала на выходе предварительного усилителя.

На второй вход модулятора поступает сигнал с устройства управления шириной полосы зашумления (УУШПЗ). С выхода модулятора, сформированный с помощью процесса модуляции шумовой сигнал, поступает на усилитель мощности. Здесь он усиливается до требуемого уровня и передается в антенну.

Таким образом, применение ПФ, в качестве которого может быть использован колебательный контур, позволяет сформировать квазигармоническое колебание $\xi(t)$, в дальнейшем выполняющее роль несущего колебания в модуляторе. В данном случае квазигармоническое колебание $\xi(t)$ представляет собой случайный процесс, но в более узкой полосе частот, чем шумовой сигнал на выходе МГШ. На рис. 2 представлены результаты моделирования шумового сигнала в среде программы схемотехнического моделирования Micro-Cap 9.0.6.1. Из этого рисунка видно, что квазигармоническое колебание изменяется, как по амплитуде, так и имеет множество колебаний, образующих случайный процесс отличный от гармонического сигнала.

С блока УУШПЗ на второй вход модулятора поступает низкочастотный шумовой сигнал, например, шумоподобный сигнал, сформированный некоторым автоматом. Этот шумоподобный сигнал имеет свою ширину полосы частот, в пределах которой располагаются спектральные составляющие шума применительно к каждому из каналов генератора шума. С ростом частоты, на которой работает соответствующий канал генератора шума, ширина полосы частот шумоподобного сигнала возрастает.

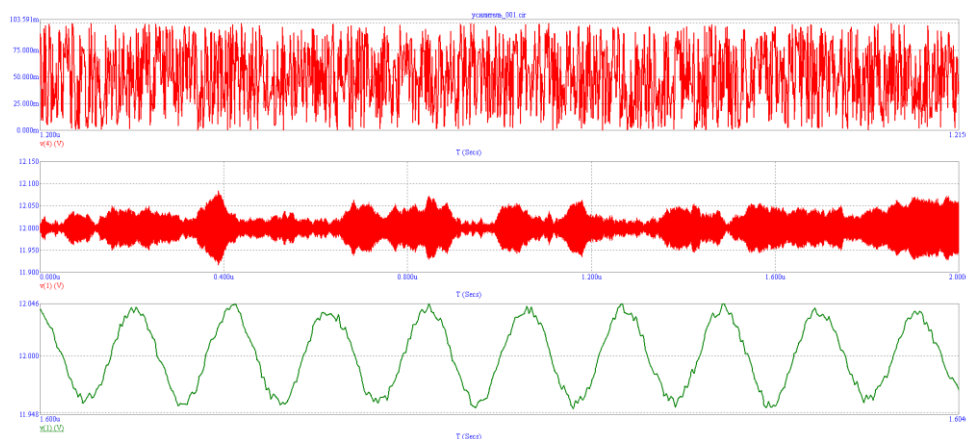


Рис. 2. Моделирование шумового сигнала: исходный шумовой сигнал (верхний график); квазигармоническое колебание (средний график); график квазигармонического колебания растянут относительно оси времени (нижний график)

Таким образом на выходах модуляторов в соответствующих каналах генератора шума присутствуют шумовые сигналы, как комбинация множества спектральных составляющих, сформированных путем многократного перемножения спектральных составляющих квазигармонического шума и шумоподобного сигнала, что повышает качество шумового сигнала.

Анализ шумового сигнала при использовании амплитудной модуляции.

В работе рассматривается формирование шумового сигнала для маскирования ПЭМИН, когда в качестве несущего колебания используется квазигармоническое колебание $\xi(t)$ (рис. 2), а в качестве модулирующего сигнала – низкочастотный шум $\eta(t)$. В данном случае применяется амплитудная модуляция. С учетом этого шумовой сигнал можно описать следующим выражением:

$$u_{ш}(t) = [1 + m_a \eta(t)] \xi(t), \quad (1)$$

где m_a – крутизна модуляционной характеристики модулятора.

В каждый момент времени в сечениях квазигармонического колебания и низкочастотного шума может содержаться некоторое количество составляющих спектра этих сигналов. Тогда относительно этих сечений спектральную плотность шумового сигнала можно описать интегралом свертки:

$$S_{ш}(j\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\xi}(jz) S_{\eta}[j(\omega - z)] dz, \quad (2)$$

где $S_{\xi}(jz)$ – спектральная плотность квазигармонического колебания; $S_{\eta}(-jz)$ – зеркальное отображение спектральной плотности низкочастотного шума.

Из выражений (1) и (2) можно видеть, что шумовой сигнал на выходе модулятора будет представлять собой множество спектральных составляющих, полученных при перемножении спектральных составляющих квазигармонического колебания и низкочастотного шума. Эти спектральные составляющие располагаются относительно комбинационных частот $(\omega_{\xi} \pm \omega_{\eta})$, где ω_{ξ} – частоты, на которых располагаются спектральные составляющие квазигармонического колебания; ω_{η} – частоты, на которых располагаются спектральные составляющие низкочастотного шума (рис. 3).

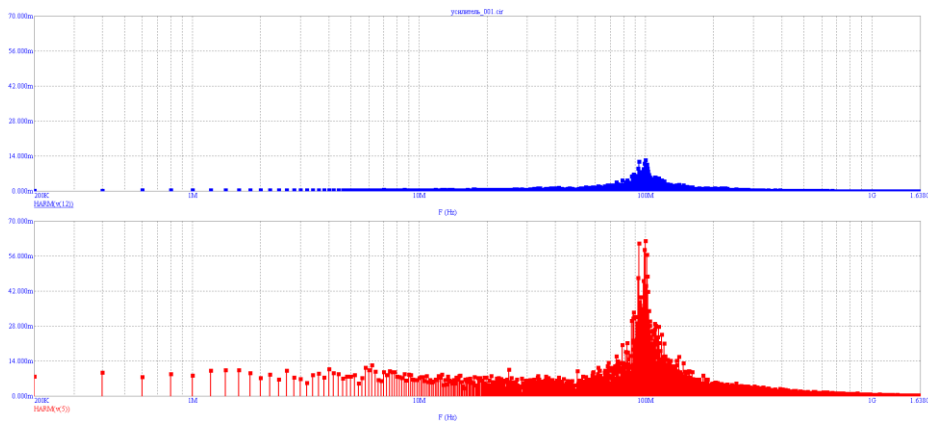


Рис. 3. Спектральная плотность шумового сигнала: квазигармонического сигнала (верхняя диаграмма); на выходе модулятора амплитудно-модулированных колебаний (нижняя диаграмма)

При этом ширина спектра шумового сигнала будет определяться удвоенной наибольшей частотой спектральной составляющей низкочастотного шума. В связи с этим, используя в качестве низкочастотного шума шумоподобный сигнал, сфор-

мированный соответствующим автоматом, можно обеспечить управление шириной полосы частот маскирования информационного сигнала, излучаемого за счет ПЭМИН путем изменения длительности и периода следования импульсов, управляющих автоматом для формирования шумоподобного сигнала.

В [15] отмечается, что при использовании в качестве несущего колебания сигнала, изменяющегося по гармоническому закону, коэффициент качества помехи

$$v = \frac{1}{1 + (\Delta f_n / \Delta f_{pp})}$$

снижается из-за наличия в спектре шумового сигнала спектральной составляющей несущего колебания, где Δf_n – ширина спектра помехи; Δf_{pp} – ширина спектра сигнала на входе приемника. Этот коэффициент не может быть больше 0,5 для данного случая. Однако, при использовании балансного модулятора, где в качестве несущего колебания будет использоваться квазигармонический сигнал, можно исключить спектральную составляющую несущего колебания в спектре шумового сигнала. Кроме этого, использование низкочастотного шума в качестве модулирующего сигнала позволяет обогатить спектральный состав шумового сигнала в заданном диапазоне частот за счет перемножения колебаний квазигармонического сигнала и низкочастотного шума. Это все позволяет повысить коэффициент качества шума до уровня не ниже, чем у известных генераторов шума [13, 14].

Анализ шумового сигнала при использовании частотной модуляции.

В работе рассматривается формирование шумового сигнала с использованием частотной модуляции, когда в качестве несущего колебания выступает квазигармоническое колебание (рис. 1), а в качестве низкочастотного шума применяется шумоподобный сигнал. В этом случае шумовой сигнал относительно сечения шумового процесса можно описать в виде:

$$u_n(t) = \sum_{i=1}^n U_{ni} \cos \left[\omega_i t + \int_0^t m_{\chi} \eta_i(t) \right], \quad (3)$$

где n – случайное целое число характеризующее номер спектральной составляющей в сечении квазигармонического колебания; U_{ni} – амплитуда i -й спектральной составляющей квазигармонического колебания; m_{χ} – крутизна модуляционной характеристики модулятора; $\eta_i(t)$ – низкочастотный шум относительно i -й спектральной составляющей квазигармонического колебания.

Из (3) можно видеть, что шумовой сигнал в каждом из сечений шумового процесса будет представлять собой множество спектральных составляющих в окрестностях частот ω_i , определяемых низкочастотным шумом.

Важным параметром для частотно-модулированного колебания является индекс частотной модуляции

$$\beta_{\text{чм}} = \frac{\Delta \omega}{\Delta \omega_{\text{мод}}},$$

где $\Delta \omega$ – девиация частоты; $\Delta \omega_{\text{мод}}$ – ширина спектра модулирующего сигнала.

Качество шумового сигнала возрастает при $\beta_{\text{чм}} \gg 1$, поскольку это позволяет повысить линейность распределения мощности шумового сигнала в заданном диапазоне частот. В этом случае ширина спектра шумового сигнала равна $2\Delta \omega$ и не зависит от ширины спектра модулирующего сигнала, а определяется интенсивностью этого сигнала.

Получить высокую девиацию частоты и соответственно требуемую ширину полосы частот зашумления позволяет использование в избирательных цепях модулятора варакторов (варикапов). Барьерная емкость этих элементов зависит от ве-

личины приложенного напряжения, при этом у них величина коэффициента перекрытия по емкости может иметь значение от единиц до десятков [19]. Это способствует получению высокой девиации частоты шумового сигнала. Кроме этого изменение амплитуды модулирующего сигнала позволяет обеспечить регулировку протяженности полосы частот, где располагается шумовой сигнал.

Вольт-фарадную характеристику барьерной емкости варикапа можно аппроксимировать выражением:

$$C_0 = K \frac{1}{\sqrt{|U|}} + M, \quad (4)$$

где $K = -\frac{C_{\max}(1-\frac{1}{K_C})}{\sqrt{|U_{\max}|} \sqrt{|U_{\min}|}}$; $M = \frac{C_{\max}}{K_C} + \frac{C_{\max}(1-\frac{1}{K_C})}{1-\sqrt{\frac{|U_{\max}|}{|U_{\min}|}}}$; C_{\max} – максимальная емкость ва-

рикапа, измеренная при минимальном напряжении $|U_{\min}|$, приложенном к варикапу; $C_{\min} = \frac{C_{\max}}{K_C}$ – минимальная емкость варикапа, измеренная при максимальном напряжении $|U_{\max}|$, приложенном к варикапу и с учетом коэффициента перекрытия по емкости K_C .

Из (4) можно видеть, что вольт-фарадная характеристика варикапа имеет явно выраженную нелинейную зависимость. Это так же приводит к изменению спектра сигнала [20, 21]. В связи с этим спектральный состав шумового сигнала на выходе модулятора обогащается новыми спектральными составляющими, что повышает качество шумового сигнала.

Для примера на рис. 4, применительно к модулятору частотно-модулированных колебаний, представлены спектральные диаграммы квазигармонического колебания (верхняя диаграмма) и частотно-модулированного колебания шумового сигнала (нижняя диаграмма).

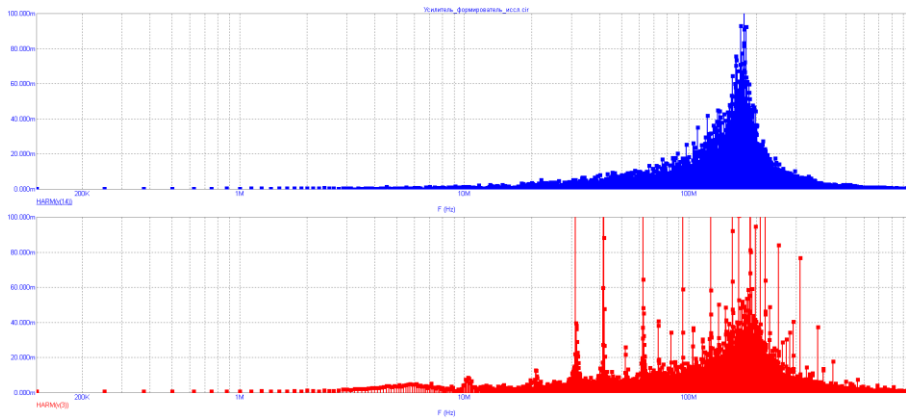


Рис. 4. Спектральная плотность шумового сигнала: квазигармонического колебания (верхняя диаграмма); на выходе модулятора частотно-модулированных колебаний (нижняя диаграмма)

В данном случае в качестве устройства, формирующего низкочастотный шум, использован сумматор трех сигналов, представляющих собой последовательность прямоугольных импульсов, где длительности импульсов и периоды их следования в каждом последующем сигнале увеличиваются в два раза.

В соответствии с рис. 4 можно наблюдать уширение полосы частот, где располагаются спектральные составляющие шумового сигнала. При этом следует отметить, что использование полноценного шумоподобного сигнала, сформирован-

ного соответствующим автоматом, позволит получить более высокую плотность спектральных составляющих, чем та плотность, которая обеспечивается сумматором трех сигналов, рассмотренном в статье.

Заключение. По результатам исследований построения и управления адаптивным генератором шумового сигнала на модуляторах амплитудно-модулированных и частотно-модулированных колебаний можно отметить следующее:

- ◆ адаптивные многоканальные генераторы шумового сигнала позволяют обеспечить избирательность по маскированию диапазонов частот, в которых могут располагаться информационные сигналы, излучаемые за счет ПЭМИН от различных технических средств формирования, обработки и передачи информации;
- ◆ использование квазигармонического сигнала в качестве несущего колебания в модуляторах амплитудно-модулированных и частотно-модулированных колебаний позволяет существенно обогатить спектр шумового сигнала, что повышает коэффициент его качества;
- ◆ управление длительностью и периодом следования импульсов, управляющих автоматом, формирующим шумоподобный сигнал, который представляет собой низкочастотный шум, позволяет обеспечить управление шириной полосы частот формирования шумового сигнала на выходе модулятора амплитудно-модулированных колебаний;
- ◆ управление амплитудой импульсов, управляющих автоматом, формирующим шумоподобный сигнал, обеспечивает управление шириной полосы частот, занимаемой шумовым сигналом на выходе модулятора частотно-модулированных колебаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Генератор шума «ГРОМ-3И-4Б». Паспорт, техническое описание, инструкция по эксплуатации. АОЗН.318231.119ПС. Редакция 4. – М., 2010. – 4 с.
2. Каталог технических средств защиты информации от утечки по техническим каналам. Сост. В.В. Верховский – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2003. – 208 с.
3. Пат. 2224376 Российской Федерации, МПК H04K 3/00, H03B 29/00. Устройство радиомаскировки / В.А. Безруков, В.П. Иванов, М.Н. Лебедев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторское бюро Института радиотехники и электроники РАН» RU; заявл. 07.06.2002; опубл. 20.02.2004, Бюл. № 4. – 12 с.
4. *Землянухин П.А., Землянухин А.П., Гаценко А.В.* Маскировка информационных излучений радиотехнических устройств // Информационное противодействие угрозам терроризму. – 2003. – № 3. – С. 74-77.
5. *Землянухин П.А., Гаценко А.В.* Исследование методов подавления побочных излучений и наводок // Известия ТРТУ. – 2005. – № 9 (53). – С. 140.
6. Пат. 2220508 Российской Федерации, МПК H04K 3/00, H03B 29/00. Способ формирования шумовых помех / В.В. Копытов, О.М. Лепешкин, А.П. Росенко, К.С. Костенко, О.Г. Пикалов, А.С. Реунов; заявитель и патентообладатель Ставропольский государственный университет RU; заявл. 12.03.2001; опубл. 27.12.2003, Бюл. № 36. – 24 с.
7. Пат. 2374662 Российской Федерации, МПК G01S 7/40. Имитатор сигналов доплеровских частот и помех / С.И. Вексин, Н.Б. Петров; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество Московский научно-исследовательский институт «АГАТ» RU; заявл. 21.04.2008; опубл. 21.11.2009, Бюл. № 32. – 61 с.
8. *Землянухин П.А., Зикий А.Н., Свидельский С.С.* Исследование характеристик генератора шума для маскирования ПЭМИН // Международная научно-практическая конференция «Наука и образование в жизни современного общества». Тамбов, 29 ноября 2013. Ч. 3. – С. 66-68.

9. *Баев А.Б., Кузнецов Ю.В., Ноздрин В.В., Шевзунов Т.Я.* Исследование алгоритма обнаружения побочного электромагнитного излучения компьютеров // Доклады 4-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение». – URL: http://www.mai-trt.ru/docs/sci/dsp/conf_r_10_ru.pdf.
10. *Акимов В.И., Барсуков А.Н., Данилов Н.С., Суворов П.А.* Предложения по созданию адаптивных генераторов шума системы зашумления информативных сигналов средств электронной вычислительной техники // Специальная техника. – 2012. – № 3. – С. 8-15.
11. Сборник методических документов по контролю защищенности информации, обрабатываемой средствами вычислительной техники, от утечки за счет побочных электромагнитных излучений и наводок (новая редакция). Утвержден приказом ФСТЭК России от 30.12.2005 № 75.
12. *Владимиров В.М., Винк А.В., Кулинич С.Н., Шихов Ю.Г., Новиченков В.М.* Переключаемый шестиканальный генератор шума. – URL: <http://nauchebe.net/2013/01/pereklyuchaemyj-shestikanalnyj-generator-shuma/>.
13. Устройства для защиты линий электропитания и заземления от утечки информации “Соната-PC1” и “Соната-PC2”. – URL: <http://www.bnti.ru/des.asp?itm=4000&tbl=04.03.03.01>.
14. Генераторы электромагнитного шума. – URL: <http://www.slideshare.net/kzissu/generatory-emspahomov-i2010>.
15. Виды непрерывных шумовых помех. – URL: http://info.alnam.ru/book_noise.php?id=10
16. *Землянухин П.А., Данилов Д.Д., Свидельский С.С.* Генератор шума с локальным подавлением побочных электромагнитных излучений и наводок // Международная научно-практическая конференция «Наука, образование, общество: тенденции и перспективы». Москва, 03 февраля 2014. Ч. IV. – С. 60-61.
17. *Землянухин П.А., Данилов Д.Д.* Генератор шума для подавления ПЭМИН в заданном диапазоне частот // Международная заочная научно-практическая конференция «Теоретические и прикладные вопросы образования и науки». Тамбов, 31 марта 2014. Ч. 10. – С. 58-59.
18. *Землянухин П.А., Свидельский С.С.* Генератор шума локального подавления ПЭМИН // Международная заочная научно-практическая конференция «Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития». Тамбов, 28 февраля 2014. Ч. 11. – С. 64-66.
19. *Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А.* Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справочник радиолюбителя. – Киев: Наукова думка, 1981. – 670 с.
20. Пат. 2224376 Российской Федерации, МПК Н04К 3/00, Н03В 29/00. Устройство радиомаскировки / В.А. Безруков, В.П. Иванов, М.Н. Лебедев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторское бюро Института радиотехники и электроники РАН» RU; заявл. 07.06.2002; опубл. 20.02.2004, Бюл. № 4. – 12 с.
21. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Дрофа, 2006. – 719 с.

REFERENCES

1. Generator shuma «GROM-ZI-4B» [The noise generator "GROM-ZI-4B"]. Pasport, tekhnicheskoe opisaniye, instruksiya po ekspluatatsii [Passport, technical description, instruction manual]. ASN.318231.119 PS. Edition 4. Moscow, 2010, 4 p.
2. Katalog tekhnicheskikh sredstv zashchity informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalim [A catalogue of technical means of information protection from leakage through technical channels]. The composer V.V. Verkhovskiy. Rostov-on-Don: Izd-vo SKNTsVSh, 2003, 208 p.
3. *Bezrukov V.A., Ivanov V.P., Lebedev M.N.* Ustroystvo radiomaskirovki [Device radiometric]. Patent 2224376 RF, MPK N04K 3/00, N03V 29/00; applicant and patentee Federal state unitary enterprise "Special design Bureau of Institute of Radioengineering and electronics of RAS" RU; stated 07.06.2002; published 20.02.2004, bull. No. 4, 12 p.
4. *Zemlyanukhin P.A., Zemlyanukhin A.P., Gatsenko A.V.* Maskirovka informatsionnykh izluchenyi radiotekhnicheskikh ustroystv [Masking information of the radiation of radio devices], *Informatsionnoye protivodeystvie ugrozam terrorizmu* [Information Counteraction to the Terrorism Threats], 2003, No. 3, pp. 74-77.
5. *Zemlyanukhin P.A., Gatsenko A.V.* Issledovanie metodov podavleniya pobochnykh izluchenyi i navodok [The study of methods of suppressing spurious signals and interference], *Izvestiya TRTU* [Izvestiya TSURE], 2005, No. 9 (53), pp. 140.

6. *Kopytov V.V., Lepeshkin O.M., Rosenko A.P., Kostenko K.S., Pikalov O.G., Reunov A.S.* Sposob formirovaniya shumovykh pomekh [A method of forming noise]. Patent 2220508 RF, MPK N04K 3/00, N03V 29/00; the applicant and the patentee Stavropol State University, RU; stated 12.03.2001; published 27.12.2003, bull. No. 36, 24 p.
7. *Veksin S.I., Petrov N.B.* Pat. 2374662 Rossiyskoy federatsii, MPK G01S 7/40. Imitator signalov doplerovskikh chastot i pomekh [The simulator signals of the Doppler frequency and noise]; applicant and patentee of the joint stock company Moscow research Institute "AGAT" RU; stated 21.04.2008; published on 21.11.2009, bull. No. 32., 61 p.
8. *Zemlyanukhin P.A., Zikiy A.N., Svidel'skiy S.S.* Issledovanie kharakteristik generatora shuma dlya maskirovaniya PEMIN [Study of the characteristics of the noise generator to mask PEMIN], *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauka i obrazovanie v zhizni sovremennogo obshchestva»*. Tambov, 29 noyabrya 2013 [International scientific-practical conference "Science and education in modern society". Tambov, Nov. 29, 2013]. Part 3, pp. 66-68.
9. *Baev A.B., Kuznetsov Yu.V., Nozdrin V.V., Shevgunov T.Ya.* Issledovanie algoritma obnaryzheniya pobochnogo elektromagnitnogo izlucheniya komp'yuterov [Study of algorithm of detection of side electromagnetic radiation of computers], *Doklady 4-y Mezhdunarodnoy konferentsii «Tsifrovaya obrabotka signalov i ee primeneniye»* [Proceedings of 4-th International conference "Digital signal processing and its application"]. Available at: http://www.mai-trt.ru/docs/sci/dsp/conf_r_10_ru.pdf.
10. *Akimov V.I., Barsukov A.N., Danilov N.S., Suvorov P.A.* Predlozheniya po sozdaniyu adaptivnykh generatorov shuma sistemy zashumleniya informativnykh signalov sredstv elektronnoy vychislitel'noy tekhniki [Proposals for the creation of adaptive noise generators system noise informative signals of electronic computing equipment], *Spetsial'naya tekhnika* [Special Technique], 2012, No. 3, pp. 8-15.
11. Sbornik metodicheskikh dokumentov po kontrolyu zashchishchennosti informatsii, obrabatyvaemoy sredstvami vychislitel'noy tekhniki, ot utechki za schet pobochnykh elektromagnitnykh izlucheniy i navodok (novaya redaktsiya) [Collection of methodological documents for the control of security of information processed by the computer equipment from leakage due to side electromagnetic radiation and interference (new edition)]. Approved by order FSTEK of Russia from 30.12.2005 № 75.
12. *Vladimirov V.M., Vink A.V., Kulinich S.N., Shikhov Yu.G., Novichenkov V.M.* Pereklyuchaemyy shestikanal'nyy generator shuma [Switchable six-channel noise generator]. Available at: <http://nauchebe.net/2013/01/pereklyuchaemyj-shestikanalny-generator-shuma/>.
13. Ustroystva dlya zashchity liniy elektropitaniya i zazemleniya ot utechki informatsii "Sonata-RS1" i "Sonata-RS2" [Device for protection of power lines and ground against information leakage "Sonata-PC1" and "Sonata-PC2"]. Available at: <http://www.bnti.ru/des.asp?itm=4000&tbl=04.03.03.01>.
14. Generatory elektromagnitnogo shuma [Generators of electromagnetic noise]. Available at: <http://www.slideshare.net/kzissu/generatory-emspahomov-i2010>.
15. Vidy nepreryvnykh shumovykh pomekh [The types of continuous noise]. Available at: http://info.alnam.ru/book_noise.php?id=10.
16. *Zemlyanukhin P.A., Danilov D.D., Svidel'skiy S.S.* Generator shuma s lokal'nym podavleniem pobochnykh elektromagnitnykh izlucheniy i navodok [Noise generator with a local suppression of side electromagnetic radiation and interference], *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauka, obrazovanie, obshchestvo: tendentsii i perspektivy»* [international scientific-practical conference "Science, education, society: trends and prospects"]. Moscow, 03 February 2014. Part IV, pp. 60-61.
17. *Zemlyanukhin P.A., Danilov D.D.* Generator shuma dlya podavleniya PEMIN v zadannom diapazone chastot [A noise generator for suppression of pre in the specified frequency range], *Mezhdunarodnaya zaochnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Teoreticheskie i prikladnye voprosy obrazovaniya i nauki»* [International correspondence scientific-practical conference "Theoretical and applied problems of science and education"]. Tambov, March 31, 2014. Part 10, pp. 58-59.
18. *Zemlyanukhin P.A., Svidel'skiy S.S.* Generator shuma lokal'nogo podavleniya PEMIN [The noise generator of the local suppression of pemin], *Mezhdunarodnaya zaochnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauka, obrazovanie, obshchestvo: problemy i perspektivy razvitiya»* [international correspondence scientific-practical conference "Science, education, society: problems and prospects"]. Tambov, February 28, 2014. Part 11, pp. 64-66.

19. Tereshchuk R.M., Tereshchuk K.M., Sedov S.A. Poluprovodnikovye priemno-usilitel'nye ustroystva: Spravochnik radiolyubitelya [Semiconductor receiving and amplifying device: Handbook of Amateur radio]. Kiev: Naukova dumka, 1981, 670 p.
20. Bezrukov V.A., Ivanov V.P., Lebedev M.N. Ustroystvo radiomaskirovki [Device radiometric]; Patent 2224376 Rossiyskoy federatsii, MPK N04K 3/00, N03V 29/00. applicant and patentee Federal state unitary enterprise "Special design Bureau of Institute of Radioengineering and electronics of RAS" RU; stated 07.06.2002; published 20.02.2004, bull. No. 4, 12 p.
21. Gonorovskiy I.S. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly: ucheb. posobie dlya vuzov [Radio circuits and signals: textbook. the manual for high schools]. 5th ed. Moscow: Drofa, 2006, 719 p.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н., доцент Д.А. Беспалов.

Землянухин Петр Андреевич – Южный федеральный университет; e-mail: razemlyanuchin@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2; тел.: 89185061318; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; к.т.н.; доцент.

Zemlyanukhin Petr Andreevich – Southern Federal University; e-mail: pazemlyanuchin@sfedu.ru; 2, Chekhov street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79185061318; the department of information security of telecommunication systems; cand. of eng. sc.; assistant professor.

УДК 621.376

DOI 10.18522/2311-3103-2016-9-93102

А.В. Помазанов, С.С. Шibaев, Д.П. Волик

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗЫ РАДИОСИГНАЛА ПОСРЕДСТВОМ КВАДРАТУРНОГО ДЕТЕКТОРА AD8347

Рассмотрены особенности измерения фазы радиосигнала посредством квадратурного детектора на ИМС AD8347, изготовленного и исследованного сотрудниками лаборатории «Нанопотоники и оптоэлектроники» Южного федерального университета. Актуальность исследования квадратурных детекторов в измерителях разности фаз объясняется их широким применением в различных радиотехнических системах и устройствах. Точность измерения разности фаз в значительной степени определяется выбором оптимального способа обработки данных с выхода аппаратной части измерителя, поэтому постоянно ведутся поиски алгоритмов вычисления фазового сдвига двух квазигармонических колебаний обеспечивающих минимальную погрешность при максимальном быстродействии. Аналогичная попытка была выполнена и авторами статьи. Описывается алгоритм обработки сигналов на выходе квадратурного детектора, позволяющий минимизировать погрешности измерения разности фаз в широком диапазоне их изменения. Для минимизации погрешностей измерений принято решение использовать оба квадратурных канала, а усреднением результатов снизить итоговую погрешность. Причем реализуется взвешенное усреднение с выполнением условий нормировки, то есть сумма коэффициентов, стоящих перед усредняемыми функциями не должна превышать единицы. Приводятся результаты экспериментальных исследований измерителя разности фаз на основе квадратурного детектора в диапазоне частот 800–2700 МГц. Указываются основные составляющие погрешности измерения разности фаз радиосигналов посредством квадратурного детектора на ИМС AD8347, зависящие от неидентичности частотных зависимостей коэффициентов передачи каналов, неравномерности частотных характеристик квадратурного детектора, а также погрешности алгоритма обработки сигналов квадратурного детектора. Погрешность вычисления сдвига фаз гарантированно не превышает $\pm 5^\circ$ в диапазоне изменения разности фаз от 0° до 340° .

Радиосигнал; фаза; квадратурный детектор; измерение; алгоритм.