

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА ГЕНЕРАЦИИ ПОБОЧНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

А. А. Евстифеев, В. И. Ерошев, А. А. Казаков, Д. Б. Николаев

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

При обработке техническими средствами закрытой информации возможна её утечка по каналу побочного электромагнитного излучения (ПЭМИ). ПЭМИ представляет собой паразитное электромагнитное излучение радиодиапазона, генерируемое устройствами, специальным образом для этого непредназначенными. Для предотвращения несанкционированного перехвата информации по каналу ПЭМИ возможно применение следующих основных мер: снижение уровня побочного излучения за счёт экранирования и оптимизации конструкции технического средства, маскировка информативного сигнала помехой, создание вокруг средства охраняемой зоны. Оптимальные меры защиты и обоснование их эффективности определяются по результатам специальных исследований устройства, которые проводятся с целью измерения уровня и эффективной ширины спектра информативного сигнала ПЭМИ. Для разработки методических подходов к проведению подобных исследований в данной работе рассмотрены особенности механизма генерации ПЭМИ, определяющие его временные и спектральные характеристики.

Временные и спектральные характеристики ПЭМИ определяются параметрами возбуждающего тока. Экспериментальные исследования показывают, что при передаче информации потенциальным двоичным кодом ток возбуждения имеет сложную форму: помимо импульсов, соответствующих передаче информационных нулей и единиц он содержит хаотическую последовательность импульсов, амплитуда которых различна при низком и высоком уровне напряжения, возбуждающего линию передачи.

Ток возбуждения представляет собой суперпозицию двух компонент (рис. 1) и определяется выражением

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t), \quad (1)$$

где $i_1(t)$ – квазидетерминированная компонента импульсов с амплитудой A , соответствующая передаваемой двоичной информации с тактовым периодом T ; $i_2(t)$ – хаотическая последовательность коротких импульсов с длительностью $\theta \ll T$.

Случайная последовательность $i_2(t)$ нестационарна, при передаче информационного нуля средняя амплитуда равна a_0 , при передаче информационной единицы a_1 . Соответственно электрическое поле ПЭМИ также состоит из двух компонент и определяется выражением

$$E(t) = E_1(t) + E_2(t), \quad (2)$$

где $E_1(t)$ – компонента электрического поля, создаваемая квазидетерминированной компонентой тока $i_1(t)$; $E_2(t)$ – компонента электрического поля, создаваемая случайной компонентой тока $i_2(t)$.

Корреляционная функция импульсов ПЭМИ с учетом статистической независимости слагаемых $E_1(t)$ и $E_2(t)$ также состоит из двух составляющих и определяется выражением

$$R(\tau) = R_1(\tau) + R_2(\tau), \quad (3)$$

где $R_1(\tau) = \int E_1(t) \cdot E_1(t + \tau)$ – корреляционная функция, соответствующая детерминированной компоненте $E_1(t)$; $R_2(\tau) = \int E_2(t) \cdot E_2(t + \tau)$ – корреляционная функция, соответствующая случайной компоненте $E_2(t)$.

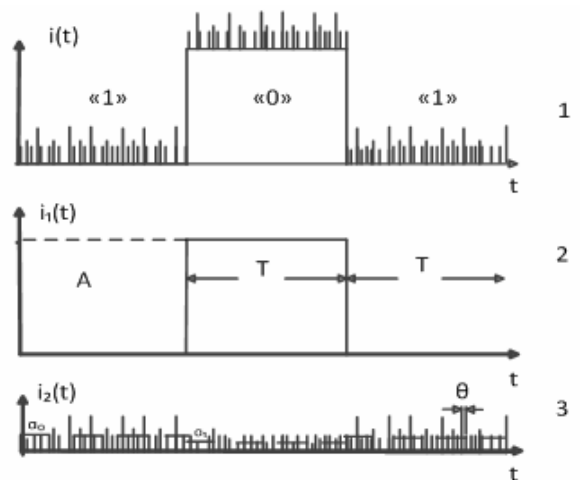


Рис. 1. Осциллограммы токов возбуждения: 1 – суперпозиция компонент возбуждающего тока; 2 – квазидетерминированная компонента возбуждающего тока; 3 – случайная компонента возбуждающего тока

Компонента $E_2(t)$ в общем случае нестационарна, однако с учетом малой длительности случайных импульсов $\theta \ll T$ (рис. 1) импульсный процесс на интервал длительностью T можно считать стационарным, а на интервале времени, соответствующем передаче информационного нуля, корреляционную функцию представить в виде выражения [1]

$$R_0(\tau, t) = n \cdot a_0^2 \int_0^T \xi(t) \cdot \xi(t + \tau) dt, \quad (4)$$

где n – среднее число импульсов в 1 сек; $\xi(t)$ – нормированная условием $\xi_{\max} = 1$ форма единичного случайного импульса; a_0 – среднее значение амплитуд импульсов на этом интервале.

На интервале времени, соответствующем передаче информационной единицы представить в виде выражения

$$R_1(\tau, t) = n \cdot a_1^2 \int_0^T \xi(t) \cdot \xi(t + \tau) dt, \quad (5)$$

где a_1 – среднее значение амплитуд импульсов на этом интервале.

Энергетический спектр ПЭМИ, создаваемого стохастической компонентой тока, можно представить в виде выражения

$$S(\omega, t) = F[R_1(\tau, t) + R_2(\tau, t)] = S_1(\omega, t) + S_2(\omega, t), \quad (6)$$

где $S_1(\omega, t) = F[R_1(\tau, t)]$; $S_2(\omega, t) = F[R_2(\tau, t)]$; F – оператор Фурье преобразования.

Спектральная плотность мощности, детерминированной составляющей ПЭМИ при равновероятном появлении информационных символов «0» и «1» определяется выражением [2]

$$S_1(\omega) = \frac{1}{T} |g_1(\omega)|^2 \cdot [\sigma^2 + \frac{m^2}{T} \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(f - \frac{k}{T})], \quad (7)$$

где T – тактовый период; $m = \frac{A}{2}$ – среднее значение

амплитуд импульсов; $\sigma^2 = \frac{A^2}{4}$ – дисперсия амплитудного распределения; A – амплитуда единичного импульса ПЭМИ; $g_1(\omega) = F[s_1(t)]$ – Фурье-преобразование единичного импульса; $s_1(t)$ – форма нормированного импульса (пиковое значение импульса полагается равным единице); F – оператор Фурье-преобразования.

Сомножитель $|g_1(\omega)|^2$ определяет огибающую квазидетерминированной части энергетического спектра.

Учитывая, что прием детерминированной части ПЭМИ происходит в ближней зоне ($r < c \cdot \tau_1 \approx 3$ км), форма импульсов электрического поля ПЭМИ совпадает с формой импульсов тока возбуждения (рис. 2), при этом $g_1(\omega)$ определяется выражением

$$g_1(\omega) = A(\theta_1 + \tau_1) \sin c\left(\frac{\omega \tau_1}{2}\right) \sin c\left[\frac{\omega(\theta_1 + \tau_1)}{2}\right], \quad (8)$$

где θ_1 – длительность импульсов детерминированной компоненты (рис. 2); τ_1 – длительность фронтов

импульсов детерминированной компоненты (рис. 2),

$$\sin c(x) = \frac{\sin(x)}{x}.$$

Прием стохастической компоненты происходит в волновой зоне ($r > c \cdot \tau_2 \approx 1$ м), форма импульсов ПЭМИ совпадает с производной тока возбуждения (рис. 2).

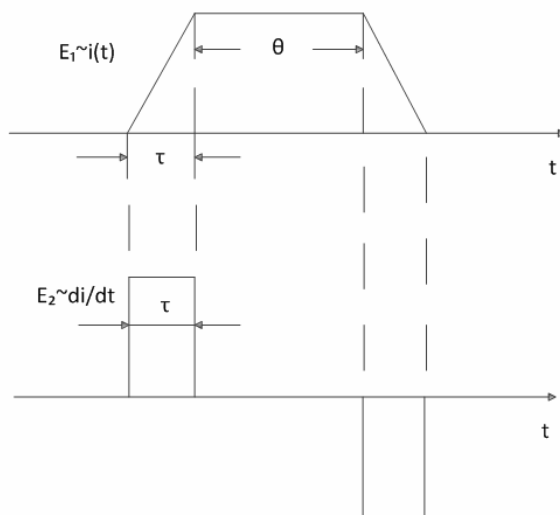


Рис. 2. Характерная форма импульсов ПЭМИ, создаваемого детерминированной и стохастической компонентами тока

Спектральная плотность мощности стохастической компоненты выражается соотношением [1]

$$S_2(\omega) = n \cdot \sigma^2 \cdot |g_2(\omega)|^2, \quad (9)$$

где n – число импульсов в 1 сек; $g_2(\omega) = F[s_2(t)]$ – Фурье-спектр, $s_2(t)$ – нормированная форма импульса стохастической компоненты, σ^2 – дисперсия стохастической компоненты.

Прием стохастической компоненты происходит в волновой зоне ($r > c \cdot \tau_2 \approx 1$ м), следовательно, форма импульсов ПЭМИ пропорциональна производной тока возбуждения (рис. 2), в этом случае $g_2(\omega)$ определяется выражением

$$g_2(\omega) = 2\tau_2 \cdot \sin c\left(\frac{\omega \tau_2}{2}\right) \cdot \sin c\left[\frac{\omega(\theta_2 + \tau_2)}{2}\right], \quad (10)$$

где θ_2 – длительность единичного импульса стохастической компоненты, τ_2 – длительность фронтов импульса.

Амплитуда напряжения на выходе приемника ПЭМИ, соответствующего детерминированной компоненте, определяется выражением

$$V_1 = \sqrt{S_1(\omega_0) \cdot \Pi}, \quad (11)$$

где ω_0 – частота приёма; Π – ширина полосы радиоприемного устройства (РПУ).

Амплитуда напряжения на выходе приемника ПЭМИ, соответствующего случайной компоненте, определяется выражением

$$V_2 = \sqrt{S_2(\omega_0) \cdot \Pi}, \quad (12)$$

Учитывая только непрерывную часть спектра (7), находим отношение

$$\frac{V_2}{V_1} = 2\sqrt{T \cdot n} \cdot \frac{\sigma}{A} \cdot \frac{|g_2(\omega_0)|}{|g_1(\omega_0)|}, \quad (13)$$

На рис. 3 показаны спектр $g_2(\omega)$ и огибающая спектра $\tilde{g}_1(\omega)$, причем величина $\tilde{g}_1(\omega)$ нормирована относительно частоты $f = 0,1$ МГц. Параметры импульсов выбраны следующими:

- $\theta_1 = T = 100$ мкс, $\tau_1 = 10$ мкс – для детерминированной составляющей;
- $\theta_2 = 10$ нс, $\tau_2 = 3$ нс – для стохастической составляющей.

Поскольку согласно экспериментальным данным дисперсия стохастической компоненты различна при передаче информационных «0» и «1» (рис. 1), то относительное приращение выходного напряжения РПУ ΔV , соответствующее интервалам времени, когда передается «0» или «1», определяется выражением

$$\frac{\Delta V}{V_1} = K \frac{g_2(\omega)}{g_1(\omega)}, \quad (14)$$

где $K = 2\sqrt{Tn} \frac{\sqrt{|\delta_1^2 - \delta_0^2|}}{A_1}$; δ_0^2 – дисперсия стохастической компоненты при передаче информационного

нуля; δ_1^2 – дисперсия стохастической компоненты при передаче информационной единицы.

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- выходное напряжение интерфейсов ТС помимо информационного сигнала содержит случайную квазишумовую компоненту. Эта компонента является следствием переходных процессов в цифровых интегральных микросхемах, формирующих сигнал;
- в диапазоне частот $f > 0,1$ МГц спектр ПЭМИ детерминированной компоненты быстро спадает со скоростью порядка 40 дБ/декада;
- максимум спектра случайной компоненты расположен на частотах порядка десятков мегагерц;
- на частотах $f > 10$ МГц интенсивность ПЭМИ определяется стохастической компонентой тока в информационной линии.

Разработано программное обеспечение (ПО), позволяющее моделировать сигналы различных интерфейсов передачи данных, а также рассчитывать спектральные характеристики ПЭМИ, возникающих при их функционировании. На рис. 4,а представлена осциллограмма напряжения на выходе интерфейса RS-232 (одно информативное слово из 12 битов данных), смоделированного с помощью разработанного ПО. На рис. 4,б представлены спектры детерминированной и квазишумовой составляющей данного напряжения.

ПО позволяет проводить предварительные теоретические исследования спектральных и временных характеристик ПЭМИ, создаваемых интерфейсами передачи данных, перед проведением практических специальных исследований.

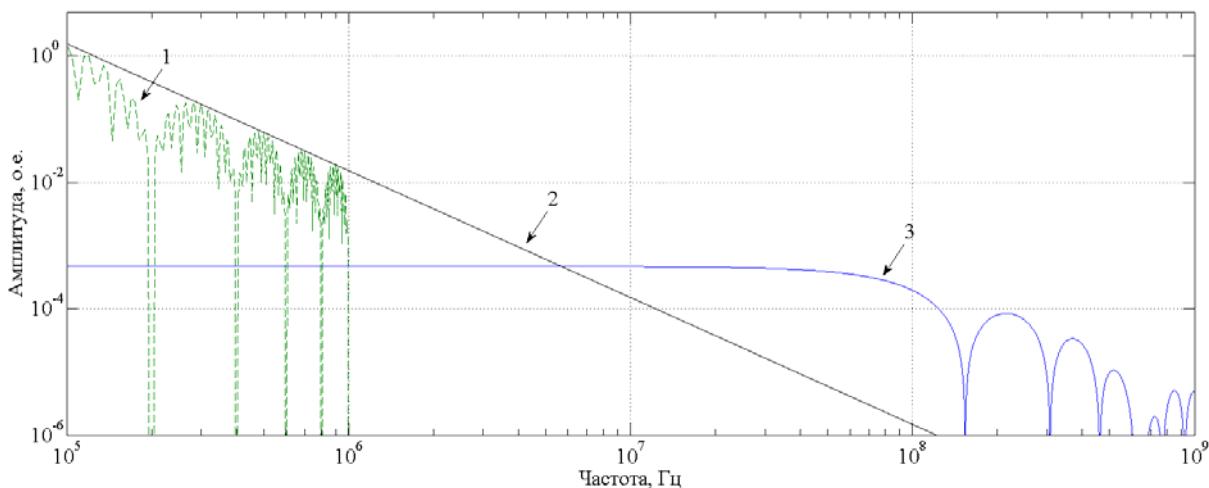


Рис. 3. Сравнение огибающей спектра детерминированной составляющей и спектра квазишумовой компоненты ПЭМИ: 1 – модуль спектра единичного импульса детерминированной составляющей; 2 – огибающая спектра единичного импульса регулярной составляющей; 3 – модуль спектра единичного импульса стохастической составляющей

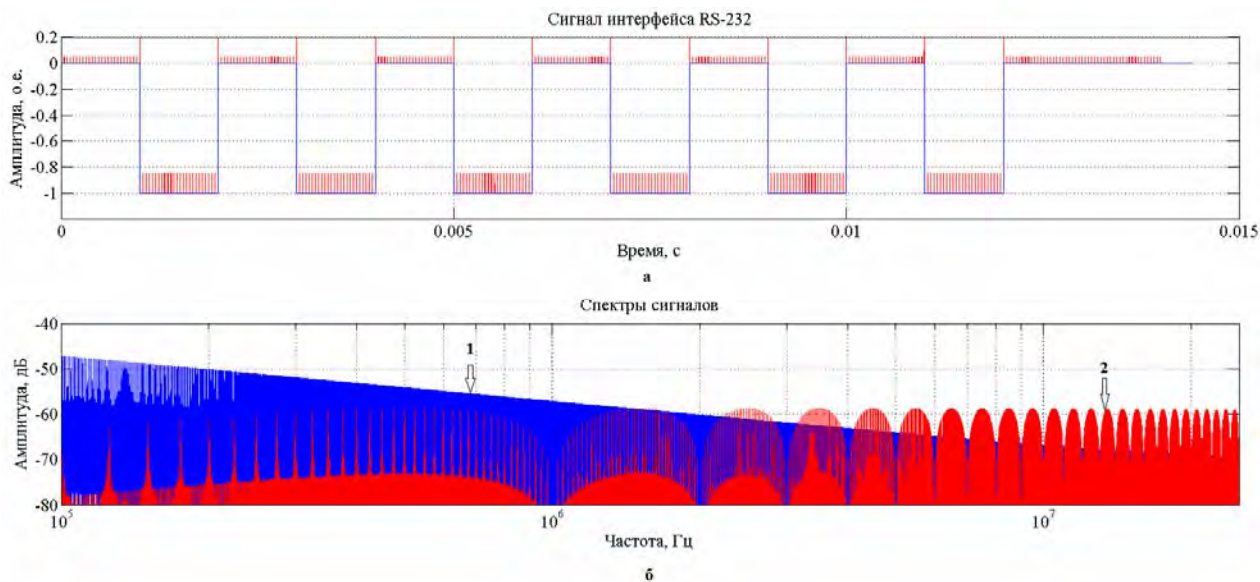


Рис. 4. Результаты моделирования: а – осциллограмма напряжения на выходе интерфейса RS-232; б – спектры ПЭМИ: 1 – ПЭМИ, создаваемые детерминированной составляющей; 2 – ПЭМИ, создаваемые квазишумовой составляющей

Литература

1. Рыгов С. М. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 1. Случайные процессы. – М.: Наука, 1976.

2. Горяинов В. Т., Журавлев А. Г., Тихонов В. И. Статистическая радиотехника: Примеры и задачи. – М.: Сов. радио, 1980.