

УДК 538.3+537.86

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ БЛОКОВ В ДИАПАЗОНЕ 15 – 500 МГц

Н.Н. Горобец, А.В. Тривайло

*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61077, Украина,
e-mail: Nikolay.N.Gorobets@univer.kharkov.ua*

Поступила в редакцию 26 мая 2010 г.

Измерены и проанализированы электромагнитные излучения различных компьютерных блоков в диапазоне частот от 15 до 500 МГц. Показано, что максимальное излучение обеспечивают видеотракты мониторов и для корректных оценок дальности радиоэлектронной разведки целесообразно в качестве математической модели излучателя побочных электромагнитных излучений использовать слабо излучающую кабельную линию как антенну вытекающей волны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: побочные электромагнитные излучения, ближняя зона, электродинамика, излучение.

Виміряні та проаналізовані електромагнітні випромінювання різних комп'ютерних блоків у діапазоні частот від 15 до 500 МГц. Показано, максимальне випромінювання забезпечують відео тракти моніторів, та що для коректних оцінок дальності радіоелектронної розвідки доцільно в якості математичної моделі випромінювача побічних електромагнітних випромінювань використовувати слабо випромінюючу кабельну лінію як антену біжучої хвилі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА побічні електромагнітні випромінювання, ближня зона, електродинаміка, випромінювання

Electromagnetic radiations of various computer units in the frequency range from 15 to 500 MHz are measured and analyzed. It is shown that maximum radiation are provided by video display units and for correct estimations of radio-electronic intelligence range expediently as a mathematical model of side electromagnetic radiations radiator to use feebly radiating cable line as the leaky wave antenna.

KEYWORDS: compromising emanations, near-field-zone, electromagnetic, radiation

ВВЕДЕНИЕ

Одним из возможных каналов утечки информации в современных телекоммуникационных системах является электромагнитное излучение блоков компьютера. Принимая и декодируя эти излучения, можно получить сведения обо всей информации, обрабатываемой в компьютере [1-3].

Для проведения комплексной оценки защищенности технических средств обработки информации необходимы измерения в широком диапазоне частот и на различных расстояниях. В этом случае амплитуды компонент электромагнитного поля распространяющейся волны и ее мощность зависят от расстояния по сложным закономерностям. Поэтому в ближней и промежуточной зоне нет возможности говорить о диаграмме направленности антенны по амплитудным, фазовым и поляризационным характеристикам полей. Их определение требует расчетов в каждой точке наблюдения отдельно.

Детальные исследования волновых процессов в ближней зоне коротких проволочных антенн [4, 5] показали, что расстояние дальней зоны таких антенн не зависит от их длины и равно 0,5 длины волны. На основе детального компьютерного анализа амплитудных и фазовых характеристик векторов напряженности электромагнитного поля в ближней и промежуточной зонах наблюдения проволочных антенн, длина которых близка к резонансной, показано, что протяженность области ближних реактивных полей тем меньше, чем ближе длина антенны к половине длины волны [5]. Диаграмма направленности полуволнового вибратора формируется на расстояниях, больших 1,5 длины волны.

Для резонансных проволочных антенн [6] это расстояние существенно зависит от их электрической длины. В случае резонансных проволочных антенн ($2L/\lambda = 0,5$) уже на очень малых расстояниях от антенны формируется бегущая волна поля излучения (разность фаз $\arg E_\theta - \arg H_\phi = 0$) и амплитуда поля убывает как $1/R$ или даже медленнее. Все условия дальней зоны выполняются на расстояниях $R \geq \lambda$.

Для проволочных антенн на частотах резонанса более высокого порядка условие дальней зоны хорошо описывается формулой $R_{\text{дз}} \geq 2L^2/\lambda$. Чем меньше длина проволочной антенны, тем больше протяженность области ее реактивных полей [6].

Целью настоящей статьи является экспериментальное исследование электромагнитных излучений блоков и элементов персональных компьютеров в широком диапазоне частот.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДЕОТРАКТА МОНИТОРА

В настоящее время наиболее известны случаи перехвата излучения мониторов [1,2]. Это обусловлено тем, что для нормальной работы электронно-лучевой трубки необходимы высокие уровни сигналов, вследствие чего монитор является мощным излучающим элементом. Кроме того, для дешифрования перехваченных сигналов монитора не требуется сложной обработки самих сигналов, так как изображения на экране монитора и, следовательно, излучаемые им сигналы, многократно повторяются. В профессиональной аппаратуре это используется для накопления сигнала и соответствующего увеличения дальности радиоэлектронной разведки и эффективной работы приборов для перехвата информации. Следует заметить, что безопасность TFT мониторов в плане предотвращения несанкционированного доступа к информации лишь незначительно превосходит безопасность CRT мониторов [2]. Излучение же других блоков и элементов компьютеров требует дополнительного изучения.

Измерения уровней электромагнитного поля тестового сигнала нами проводились с помощью селективных компараторов электромагнитного поля FSM – 8,5 и FSM – 11 и антенны DP-1 на частотах 26-300 МГц и DP-3 на частотах 300-1000 МГц и осциллографа С1-49. Тип антенны – двухконусный широкополосный диполь, входное сопротивление 50 Ом, калибровочный коэффициент: 20,5дБ – 26,5дБ.

Отметим, что для подобных индикаторных антенн при измерениях в широкой полосе частот понятие расстояния дальней зоны требует уточнения: на низких частотах, когда электродинамическая модель антенны близка к модели диполя Герца, это расстояние определяется длиной волны $R_{\text{дз}} \geq 0,5\lambda$ независимо от физической длины антенны, на высоких частотах, когда $L/\lambda > 1$, расстояние дальней зоны определяется классической формулой $R_{\text{дз}} \geq 2L^2/\lambda$. На рис.1 для примера приведены зависимости расстояния дальней зоны для антенны DP – 3. Видно, что на частотах ниже 200 МГц и выше 600 МГц расстояние 1 м не соответствует требуемому расстоянию дальней зоны. Эти замечания справедливы и для излучающих компьютерных блоков, имеющих определенные размеры.

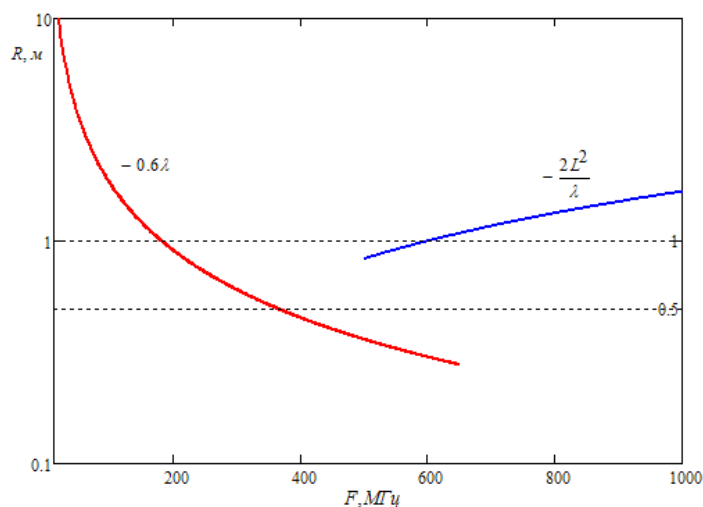


Рис. 1. Расстояние дальней зоны для антенны DP – 3.

Результаты измерений видеотракта мониторов представлены на рис. 2-3. На рис.2 представлены полученные экспериментально уровни ПЭМИ видеотрактов CRT мониторов Samtron 56E и LG Flatron T710BH. Параметры тестового режима для монитора Samtron 56E: тактовая частота сигнала $f_t = 28,105$ МГц, длительность импульса $t_{pulse} = 0,02$ мкс, тестовое расстояние от исследуемого технического средства до измерительной антенны $d = 1$ м, высота подъема измерительной антенны $h = 1$ м; для монитора LG Flatron T710BH: $f_t = 12,50$ МГц, $t_{pulse} = 0,04$ мкс, $d = 1$ м, $h = 1$ м.

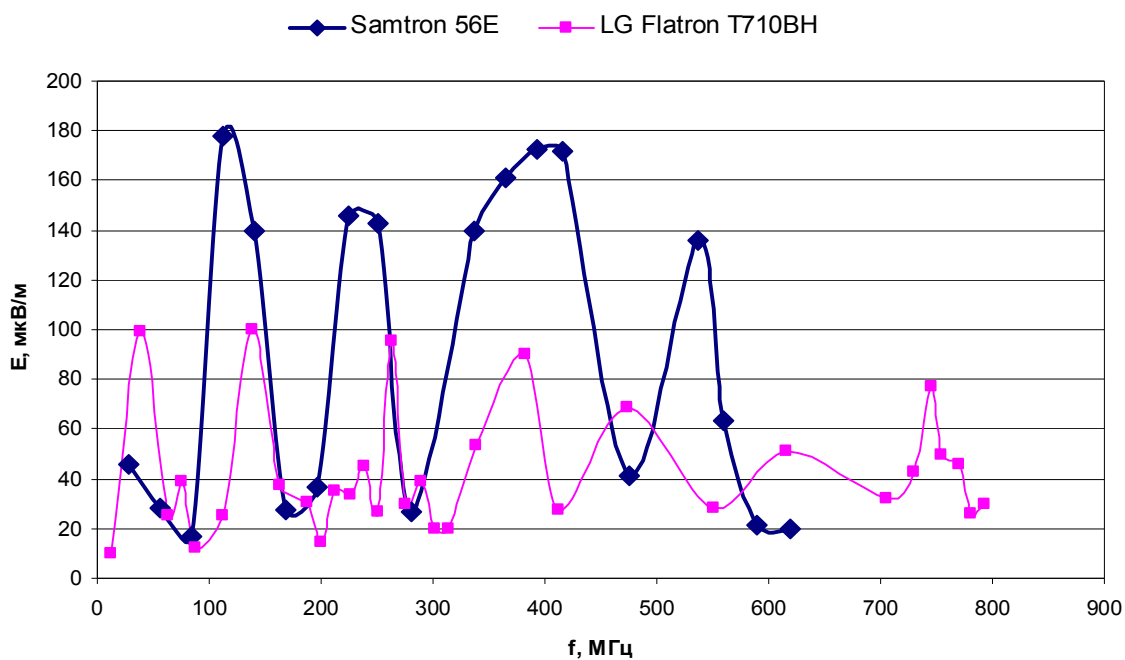


Рис. 2. ПЭМИ видеотракта мониторов Samtron 56E и LG Flatron T710BH.

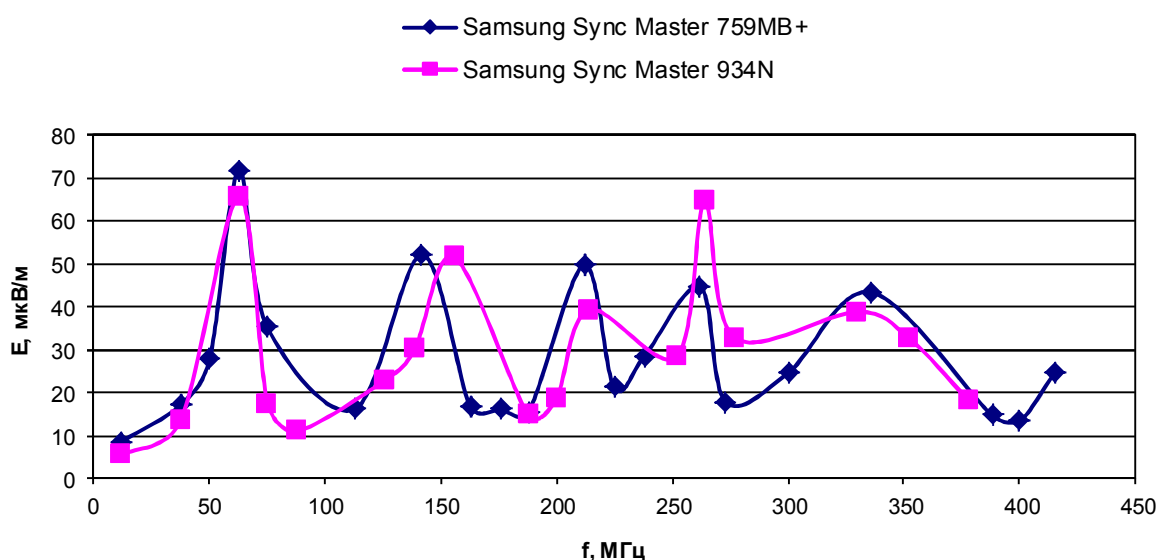


Рис. 3. ПЭМИ видеотракта мониторов Samsung Sync Master 759MB+ и Samsung Sync Master 934N Samtron 56E и LG Flatron T710BH.

На рис.3 представлены измеренные уровни ПЭМИ видеотрактов TFT мониторов Samsung Sync Master 759MB+ и Samsung Sync Master 934N. Параметры тестового режима для Samsung Sync Master 759MB+: $f_t = 12,50$ МГц, $t_{pulse} = 0,04$ мкс, $d = 1$ м, $h = 1$ м; для монитора Samsung Sync Master 934N: $f_t = 12,50$ МГц, $t_{pulse} = 0,04$ мкс, разрешение экрана – 800x600 пикселей, $d = 1,2$ м, $h = 1$ м.

Максимальные уровни ПЭМИ видеотракта монитора, полученные экспериментально, следующие: Samtron 56E – 182 мкВ/м, LG Flatron T710BH – 106 мкВ/м Samsung Sync Master 763 – 85 мкВ/м, Samsung Sync Master 759MB+ – 74 мкВ/м, Acer Al 1916 – 72 мкВ/м, Samsung Sync Master 710N – 65 мкВ/м, LG Studio Works 575E – 23 мкВ/м.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЭМИ ТРАКТОВ КЛАВИАТУРЫ, ПРИНТЕРА, ОПТИЧЕСКОГО ДИСКОВОДА, FDD ПРИВОДА

Максимальные уровни излучения ПЭМИ для трактов клавиатуры следующие: A4 Tech model KB-720 – 50-70 мкВ/м в диапазоне частот 40-210 МГц; Golden KB 2207 – 45-95 мкВ/м в диапазоне частот 25-160 МГц. Результаты исследований тракта клавиатуры Mitsumi KFK-EA4SA приведены на рис. 4. Параметры тестового режима в этом случае следующие: $f_t = 12,5$ кГц, $t_{pulse} = 0,04$ мс, $d = 1$ м, $h = 1$ м.

Максимальные уровни ПЭМИ других технических средств:

- тракт принтера HP Lj P2015 – 4-12 мкВ/м в диапазоне частот 50-300 МГц, $f_t = 0,383$ МГц, $t_{pulse} = 1,303$ мкс, $d = 0,5$ м, $h = 1$ м;
- тракт принтера HP Lj M1120 MFP – 2-9 мкВ/м в диапазоне частот 70-320 МГц, $f_t = 0,073$ МГц, $t_{pulse} = 6,83$ мкс, $d = 0,5$ м, $h = 1$ м;
- FDD Samsung 1.44 Mb – 21-37 мкВ/м в диапазоне частот 50 - 450 МГц, $f_t = 0,132$ МГц, $t_{pulse} = 3,72$ мкс, $d = 1$ м, $h = 1$ м;
- FDD Sony 2Mb Black – 7-26 мкВ/м в диапазоне частот 70-460 МГц, $f_t = 0,5$ МГц, $t_{pulse} = 5,0$ мкс, $d = 1$ м, $h = 1$ м;
- оптический диск Samsung SC-152 – 10-25 мкВ/м в диапазоне 110-350 МГц, $f_t = 0,132$ МГц, $t_{pulse} = 3,79$ мкс, $d = 0,5$ м, $h = 1$ м;
- флеш носитель – 5-17 мкВ/м в диапазоне частот 65 - 150 МГц, $f_t = 5,77$ МГц, $t_{pulse} = 0,087$ мкс, $d = 0,5$ м, $h = 1$ м.

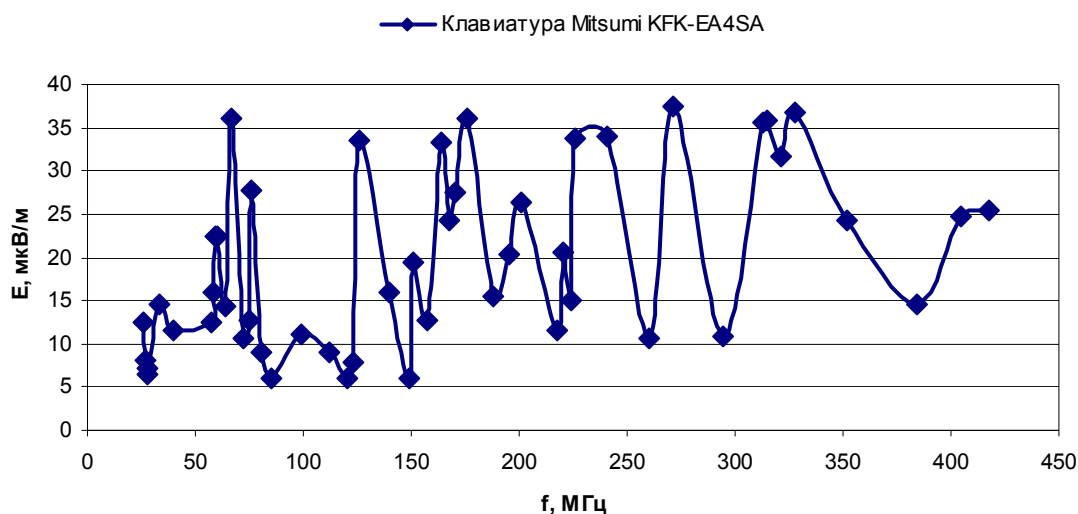


Рис. 4. ПЭМИ тракта клавиатуры мониторов Mitsumi KFK-EA4SA

Излучение системного блока оказалось еще меньше, что, по-видимому, связано с его экранировкой. Таким образом, максимальный уровень побочных электромагнитных излучений блоков и элементов компьютеров обеспечивает видеотракт монитора Samtron 56E (до 180 мкВ/м) и монитора LG Flatron T710RH (до 100 мкВ/м).

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ЛИНЕЙНОГО ПРОВОДНИКА, ВОЗБУЖДАЕМОГО БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ ТОКА В СФЕРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ МЕТОДОМ ПОТЕНЦИАЛОВ ГЕРЦА

Для корректного получения оценок дальности радиоэлектронной разведки, т.е., зоны R_2 , целесообразным является в качестве модели излучателя ПЭМИ использовать слабо излучающую кабельную линию (как антенну вытекающей волны). Очевидно, что при расчете границ зоны R_2 на основе этой модели будут перекрыты зоны R_2 и для остальных технических средств. Рассмотрим линейную проволочную антенну, возбуждаемую током бегущей волны. Введем сферическую систему координат, начало которой поместим в середине антенны (рис 5).

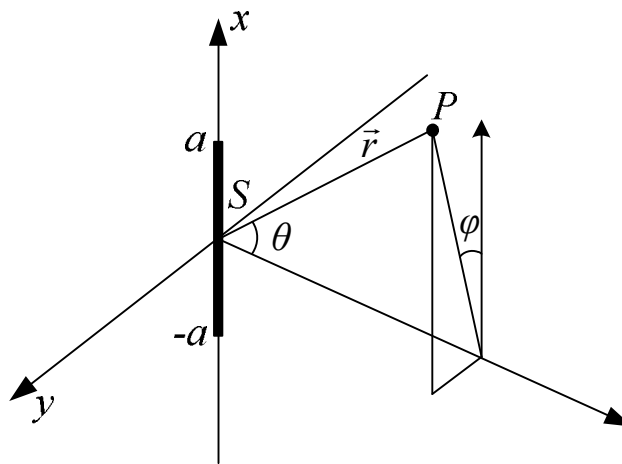


Рис. 5. Системы координат задачи

Методика расчета полей излучателей в ближней зоне приведена в работах [4-10]. Считается, что заданы электрические j^e и эквивалентные магнитные j^m токи в антенне. Зависимость токов от времени примем в виде $\exp(i\omega t)$. Электрические и магнитные векторы поля будем определять через векторы Герца в следующем виде:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= -i\omega\mu\text{rot}\vec{\Pi}^m + \text{graddiv}\vec{\Pi}^e + \kappa^2\vec{\Pi}^e, \\ \vec{H} &= i\omega\varepsilon\text{rot}\vec{\Pi}^e + \text{graddiv}\vec{\Pi}^m + \kappa^2\vec{\Pi}^m, \end{aligned} \tag{1}$$

где магнитный и электрический векторы Герца определяются соотношениями:

$$\vec{\Pi}^m = \frac{1}{4\pi i\omega\mu} \int_L \vec{j}^m \psi dl, \quad \vec{\Pi}^e = \frac{1}{4\pi i\omega\varepsilon} \int_L \vec{j}^e \psi dl, \quad \psi = \frac{\exp(-ikr)}{r}, \quad \omega - \text{круговая частота, } k = \frac{2\pi}{\lambda} -$$

волновое число в свободном пространстве, r - расстояние от точек излучателя до точки наблюдения:

$$r = \sqrt{(R^2 - 2xR \sin \theta \cos \phi + x^2)}. \tag{2}$$

Из-за отсутствия магнитных токов индексы при векторе Герца опущены. Для вычислений проекций векторов поля на орты сферической системы координат учитывается разложения орта \vec{x}^0 по ортам сферической системы координат:

$$\vec{x} = \vec{R}^0 \sin \theta \cos \phi + \vec{\theta}^0 \cos \theta \cos \phi - \vec{\phi}^0 \sin \phi. \tag{3}$$

Запишем выражение для электрического тока:

$j = \vec{l}j_0 e^{-l(\alpha + ik\xi)}$, где $\vec{l} = \vec{x}$, α - коэффициент затухания, ξ - коэффициент укорочения волны, j_0 - амплитуда тока в середине системы (в начале системы координат).

После вычисления соответствующих производных получим выражения для компонент вектора электрического и магнитного поля излучения линейной проволочной антенны на произвольном расстоянии до точки наблюдения:

$$\begin{aligned}
 E_R &= \frac{1}{4\pi i\omega\varepsilon} \int_{-a}^a [-i_0 e^{-x(\alpha+ik\xi)} \psi f \sin\theta \cos\phi + \psi q(g-f^2)(R-x \sin\theta \cos\phi)] dx + \\
 &\quad + \frac{k^2 \sin\theta \cos\phi}{4\pi i\omega\varepsilon} \int_{-a}^a i_0 e^{-x(\alpha+ik\xi)} \psi dx \\
 E_\theta &= \frac{-\cos\theta \cos\phi}{4\pi i\omega\varepsilon} \int_{-a}^a [i_0 e^{-x(\alpha+ik\xi)} \psi f + \psi qx(g-f^2)] dx + \frac{k^2 \cos\theta \cos\phi}{4\pi i\omega\varepsilon} \int_{-a}^a i_0 e^{-x(\alpha+ik\xi)} \psi dx \\
 E_\phi &= \frac{\sin\phi}{4\pi i\omega\varepsilon} \int_{-a}^a [i_0 e^{-x(\alpha+ik\xi)} \psi f + \psi qx(g-f^2)] dx - \frac{k^2 \sin\phi}{4\pi i\omega\varepsilon} \int_{-a}^a i_0 e^{-x(\alpha+ik\xi)} \psi dx \\
 \vec{H}_R &= 0, \\
 \vec{H}_\theta &= \frac{-1}{4\pi} \int_{-a}^a i_0 e^{-x(\alpha+ik\xi)} R \psi f \sin\phi dx, \\
 \vec{H}_\phi &= \frac{-1}{4\pi} \int_{-a}^a i_0 e^{-x(\alpha+ik\xi)} R \psi f \cos\theta \cos\phi dx,
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\tag{5}$$

где введены следующие обозначения:

$$g = -\frac{ik}{r^3} - \frac{2}{r^4}, \quad q = j_0 e^{-x(\alpha+ik\xi)} (x - R \sin\theta \cos\phi), \quad f = \frac{ik}{r} + \frac{1}{r^2}.$$

Эти формулы легко алгоритмизировать для получения расчетных значений компонент полей на любом расстоянии от антенны.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате экспериментов установлено, что техническое средство, которое излучает наиболее мощные ПЭМИ — видеотракт монитора. Для большинства мониторов уровни максимального излучения для тестовых сигналов находятся в пределах 70 – 140 мкВ/м на расстоянии 1-1,5 м. Максимальные уровни излучения тракта клавиатуры на том же расстоянии составляют 40-70 мкВ/м. Излучение других технических средств персонального компьютера не превышает 40 мкВ/м на расстоянии 1-1,5 м.

В настоящее время в области технической защиты информации используются в качестве источников ПЭМИ стационарный электрический и магнитный диполь, что приводит как к количественным, так и к качественным погрешностям. Некорректность использования в качестве моделей излучателя ПЭМИ стационарного диполя Герца и магнитной рамки обсуждалась в [8-9]. Следует подчеркнуть, что на частотах до 600 МГц, соответствующих ближней и промежуточной зонам излучения компьютерных блоков, амплитуда поля значительно увеличивается. Например, для видеотракта монитора Samtron 56E на расстоянии 1 м на частотах 110 – 450 МГц уровень ПЭМИ достигает 140 – 180 мкВ/м.

Для получения объективной оценки величины дальности радиоэлектронной разведки необходимо знать аналитическое выражение для компонент поля ПЭМИ на произвольном расстоянии до точки наблюдения. Волновые процессы ПЭМИ вблизи источника, даже в случае простых моделей, отличаются большими градиентами амплитуд электромагнитного поля и носят сложный характер. Относительное изменение градиентов напряженностей поля в ближней и промежуточной областях происходит более интенсивно, чем изменение амплитуд этих компонент [10]. Заведомо рассматривая поведение поля в конкретной точке, как поле в дальней зоне можно получить как завышенные, так и заниженные значения радиуса R_2 . Эффекты ближней зоны, обусловленные разным характером зависимости компонент электромагнитного поля от отношения R/λ , приводят к качественному изменению характера зависимости $\vec{E}(R/\lambda, \theta)$ и $\vec{H}(R/\lambda, \theta)$ – очень сильно возрастают амплитуда поля \vec{E} и \vec{H} на меньших расстояниях. Следовательно, при расчетах зоны R_2 необходимо рассматривать точные аналитические выражения для компонент электромагнитного поля.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате непосредственных измерений ПЭМИ различных компьютерных блоков установлено, что максимальный уровень побочных излучений и, следовательно, возможность несанкционированного доступа к обрабатываемой информации, связана с радиоизлучением видеотракта монитора, так как он представляет собой отрезок коаксиального кабеля. Физико-математической моделью этого источника излучений, пригодной для описания полей на конечных достаточно малых расстояниях от него, для учета эффектов ближней зоны в подобных излучающих системах может служить классическая антенна вытекающей волны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wim van Eck: Electromagnetic Radiation from Video Display Units: An Eavesdropping Risk? // Computers & Security. – 1985.-Vol. 4. – P. 269–286.
2. Markus G. Kuhn: Electromagnetic Eavesdropping Risks of Flat-Panel Displays // 4th Workshop on Privacy Enhancing Technologies. – 26-28 May 2004. – Toronto, Canada, Proceedings. – P. 88–105.
3. Markus G. Kuhn: Security Limits for Compromising Emanations.// Workshop on Cryptographic Hardware and Embedded Systems. – 29 August–1 September 2005. – Edinburgh, Scotland. – P. 265–279.
4. Горобец Н.Н. Особенности волновых процессов в ближней зоне датчиков электрического и магнитного поля // Труды III Республиканской конф. “Методы и средства измерения в области электромагнитной совместимости”. – Винница (Украина). –1991. – С.95-100.
5. Горобец Н.Н., Горобец Ю.Н., Цехмистро Р.И. Характеристики электромагнитных полей в ближней зоне коротких проволочных антенн // Вестник Харьковского национального университета. Радиофизика и электроника. –2000. – №.467. – С.62-66.
6. Горобец Н.Н., Цехмистро Р.И. Эффекты ближней зоны резонансных проволочных антенн // Вестник Харьковского национального университета. Радиофизика и электроника. –2001. – No.513. – С.112-118.
7. Горобец Н.Н., Тривайло А.В. Методы решения внешней задачи электродинамики о нахождении побочных электромагнитных излучений. Прикладная радиоэлектроника. – 2009. – №3, Т. 8. – С.366-371.
8. Горобец Н.Н., Тривайло А.В. Волновые процессы в ближней, промежуточной и дальней зонах побочных электромагнитных излучений однопроводной кабельной линии. // Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник «Радиотехника» . – 2009. – №158. – С.144-151.
9. Горобец Н.Н., Романиченко Г.Н. Градиенты векторов напряженности электрического и магнитного полей излучения диполя Герца на конечном расстоянии. // Вестник Харьковского университета. – 1999. – № 427. – С.205-209.