**Функциональные сбои персонального компьютера при воздействии электромагнитных импульсов сверхкороткой длительности**

К.ф-м.н. Н.П. Гадецкий, к.ф-м.н. К.А. Кравцов, д.ф-м.н. И.И. Магда

Институт Плазменной Электроники и Новых Методов Ускорения, ННЦ "ХФТИ"

Обсуждаются результаты цикла сравнительного экспериментального исследования условий функционирования персонального компьютера в условиях воздействия электромагнитных импульсов ультракороткой длительности (УКД) с различными спектральными характеристиками. Для многих практических применений в области электромагнитной совместимости и стойкости (ЭМС/С) электронной техники в качестве основного критерия внешнего воздействующего фактора УКД предлагается использование спектральной плотности напряженности поля или мощности излучения.I. Введение

Являясь одними из новых типов внешнего воздействующего фактора (ВВФ) современной электромагнитной обстановки, мощные электромагнитные излучения и электромагнитные импульсы УКД представляют серьезную опасность для функционирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Действие полей УКД даже при уровнях существенно меньших уровней деградации элементной базы аппаратуры проявляется в блокирующем действии помехи и нарушениям различной степени сложности в производимых технологических операциях. В аналоговых устройствах оно связано с возникновением в чувствительных цепях специфического нелинейного отклика - состояний динамического "хаоса". Поскольку в активном режиме работы хаотическое состояние формируется самим устройством, то длительность блокирующего действия ВВФ, т.е. время потери работоспособности, соответствует времени релаксации аппаратуры. В наших исследованиях реакции ВЧ и СВЧ приемных модулей различного назначения [1,2] показано, что состояние хаоса и, соответственно, длительность блокирования аналоговой аппаратуры может в сотни - тысячи раз превышать длительность сигнала воздействия.

Известно, что максимальные уровни помехозащищенности РЭА достигаются с помощью цифровых методов формирования, передачи и обработки сигналов. При этом максимальной электромагнитной стойкостью обладают автономные устройства цифровой и вычислительной техники (УЦВТ) или локальные цепи на их основе, обладающие принципиально высоким отношением сигнал/помеха в спектральном диапазоне действия ВВФ. В то же время, как показывают эксперименты с компьютерами без специальной защиты, даже однократное достижение уровня блокирующего действия УЦВТ приводит к сбою рабочего цикла и остановке процесса функционирования на время, необходимое для повторного запуска аппаратуры и загрузки программного обеспечения.К сожалению, несмотря на имеющийся опыт в определении и количественной оценке параметров ЭМС/С при действии импульсных излучений УКД для аналоговой аппаратуры, существуют только отдельные данные об аналогичных показателях для цифровых устройств. Такая ситуация обусловлена трудностями выбора критериев блокирующего действия ВВФ, которые в условиях воздействия сверхширокополосного (СШП) сигнала УКД с связаны с большим числом размерных резонансов, возникающих у различных типов УЦВТ при попадании сигнала помехи вовнутрь объекта, в обход устройств внутриблочной и сетевой защиты (т.н. "back-door" действии ВВФ).



В этом отношении показательными являются результаты исследования сбоев компьютеров при воздействии на их внутренние модули узкополосных (УП) СВЧ сигналов с [3]. Установлено, что различие уровней сбоев может достигать десятков дБ при изменении частоты УП сигнала ВВФ на 0.1 %. Таким образом, становится очевидным, что в условиях "back-door" воздействий УКД сигналов на УЦВТ для оценки критических уровней и параметров ЭМС/С нельзя пользоваться общепринятыми критериями - уровнями плотности мощности или напряженности поля, характерными для УП сигналов. Ниже приводятся данные, показывающие, что таким критериальным параметром в условиях воздействия электромагнитных сигналов УКД с различными спектральными характеристиками является величина спектральной плотности мощности или напряженности поля ВВФ в диапазоне характерных частот чувствительности объекта.II. Методика эксперимента



Целью исследований является сопоставление интегральной оценки функционального сбоя сложного УЦВТ с амплитудными и временными характеристиками ВВФ УКД, а также выработка новых критериальных параметров ЭМС/С, которые наиболее удобны в условиях действия источников излучений с различными спектральными характеристиками.

В экспериментах был использован ряд разработанных и имеющихся в ННЦ "ХФТИ" источников излучений УКД, особенности которых приведены в таблице 1. Генераторы излучений (ГИ) УКД имели одинаковую функциональную схему: высоковольтное зарядное устройство, генератор импульсного напряжения (ГИН) УКД, сверхширокополосная (СШП) антенна.Объектом исследования являлась ПЭМВ на основе процессора 286 (8-12 МГц), в состав которой входили: системный блок, выполненный в металлическом корпусе, клавиатура и монитор. Тестируемая ПЭВМ располагалась в рабочей зоне на расстояниях 0.2-2 м от антенны ГИ УКД (напряженность поля излучения УКД 0.1-20 кВ/м). Облучение ПЭВМ проводилось сериями из одиночных или 5-50 импульсов излучения УКД, следующих с частотой 0.5-20 Гц.В проведенных экспериментах проведена адаптация используемых ранее методик измерения параметров микроволновых и импульсных излучений УКД [2]. В качестве приемных СШП антенн использовались диполь Герца длиной 4 см и стандартный пирамидальный рупор П6-23А (полоса частот 1-8 ГГц). Регистрация откликов приемных антенн осуществлялась осциллографом С7-19 с полосой частот 0-5 ГГц. Амплитудные и спектральные параметры ВВФ вычислялись на основе данных осциллографирования и калибровочных характеристик антенн.

Таблица 1. Параметры генераторов излучений УКД и их компонентов.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ¦ | Источник  излучения  УКД | Тип  антенны | tимп / tфр,  нс | Режим  работы | Uвых,  кВ | Eизл(t),  (L = 2 м)  кВ / м | Eизл(f),  (f=0.5-2 ГГц)  В/м.МГц |
| I | Искровой ГИН на пьезоэффекте | Искровой канал | 3-5 / 0,5 | серия из 2-5 импульсов | 13 - 18 | 0,6 - 1  (L=0,2 м) | 0,02 - 0,2 |
| II | Модулятор на п/п диодах с быстрым восстановлением | -Волноводный  рупор П6-23  -Петля  -Полосковый  ТЕМ-рупор | 10-20 / 0,3 | одиночный / периодический, 20-100 Гц | 0,8 - 1 | 1 - 3 | 0,5 - 1,5 |
| III | Коаксиальная формирующая линия | Полосковый ТЕМ-рупор | 70 / 1,0 | одиночный / периодический, 1-30 Гц | 6 - 14 | 4 - 6 | 0,3 - 3 |
| IV | 5 - каскадный ГИН | -Волноводный  рупор П6-23  -Полосковый  ТЕМ рупор | 15 / 0,7 | одиночный / периодический, 10-20 Гц | 45 - 50 | 15 | 0,5 - 4 |

**III. Экспериментальное исследование**

В результате облучения излучением УКД работающей ПЭВМ наблюдались различные эффекты: от искажений на экране монитора до функциональных сбоев и "зависания" устройства, таблица 2. Любой из сбоев был связан с необходимостью повторного запуска ПЭВМ. Как видно из таблицы, различные функциональные элементы ПЭВМ имели различную реакцию и степень сбоев в зависимости от амплитудных и временных параметров ГИ УКД. Практически, в каждой из серий, при минимальной импульсной мощности источников ВВФ УКД, достигалось блокирование клавиатуры ПЭВМ. Очевидно, для данного типа ПЭВМ этот узел является наиболее слабым местом с точки зрения ЭМС/С. Помехи видеосигналам и сигналам разверток монитора также определялись условиями экранирования видеоконтроллера и корпуса монитора. Кроме того они зависели от характера операций ПЭВМ, в которых участие вспомогательных элементов системного блока и периферийных устройств могло быть различным.Таблица 2. Функциональные сбои ПЭВМ при воздействии источников излучений УКД

с различ-ными пороговыми уровнями спектральной плотности напряженности поля.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характер сбоев ПЭВМ | ГИ УКД | Eпор(f),  В/м  (f=0.5-2 ГГц) |
| Сбой клавиатуры, связанный с наводкой на интерфейсный кабель. Проявление аналогично нажатию наборов как функциональных, так и символьных клавиш.  Отсутствует реакция на нажатие клавиш до выключения ГИ УКД и перезагрузки ПЭВМ/клавиатуры. | I - IV |  |
| Искажения строчной развертки монитора. Область искажений 10-25%. Увеличение искажений пропорционально напряженности поля ВВФ | II - IV |  |
| При открытом корпусе системного блока v фатальная ошибка (сообщение BIOS): нет доступа к жесткому диску. В некоторых случаях сообщение о сбое чтения диска генерирует DOS.  Сильные искажения строчной развертки монитора. Область искажений 50-100% экрана. | II - IV |  |
| Сбой (фатальный) в видеосистеме при продолжении или останове работы ПО.  В текстовом режиме проявляется аналогично сбою синхронизации кадровой развертки, в графическом v Lперемешивание¦ изображения. | III, IV |  |

"Зависание" процессора отмечалось при максимальных значениях напряженности поля излучения 10-15 кВ/м в сериях из одиночных или нескольких импульсов ВВФ, следующих с малым интервалом. Этот уровень блокирования мог уменьшаться если увеличивалась частота повторения ВВФ. Малая частота повторения запуска ГИН при меньшей напряженности поля не позволяла достигать эффекта сбоя процессора в течение каждой серии импульсов УКД, что, по-видимому, связано с малой вероятностью совпадения импульсов воздействия с рабочими импульсами ПЭВМ. Этот вывод требует дополнительного обоснования.Результатом тестов ПЭВМ являлось наличие сложной зависимости степени сбоя от напряженности поля, поляризации и частотного состава излучения УКД, что указывает на существование множественных резонансов в обобщенной функции отклика устройства. Трудности количественной оценки и сравнения эффективности воздействия на сложную аппаратуру различных радиосигналов, включая сигналы УКД, использующих амплитудно-временное представление, способствовали выработке нового комплексного критерия ВВФ УКД, имеющего амплитудно-частотную форму.Спектральная обработка сигналов УКД различных источников показала прямую зависимость эффектов сбоя ПЭВМ от спектральной плотности напряженности поля в частотном интервале 0.5-2 ГГц. Интересно отметить, что диапазон частот и полученный в наших экспериментах количественный параметр Е(f) = 1-10 В/м.МГц соответствовали максимальной чувствительности системного блока ПЭВМ к действию стационарного УП СВЧ сигнала [3]. Преобразование измеряемых параметров излучений УКД в частотную область обеспечила возможность количественного анализа эффективности ВВФ в отношении тестируемого устройства не только для сигналов с различными спектрами, но и режимами излучения.IV. Заключение

Экспериментально установлено соответствие спектральной плотности напряженности поля излучений УП СВЧ и СШП УКД степени функциональных сбоев в условиях "back-door" воздействий на ПЭВМ. Использование этих характеристик ВВФ и известной аппаратной функции устройства может существенно упростить процедуру испытаний и получения количественных критериев ЭМС/С для сложной электромагнитной обстановки.

**Список литературы**

Н.П. Гадецкий, К.А. Кравцов, И.И. Магда и др. Воздействие СШП сигналов УКД на приемно-усилительный тракт СВЧ-диапазона. Материалы 4ой Крымской конференции "СВЧ-техника и спутниковый прием", Севастополь, Украина, 1994, т.2, стр.353.

N.P. Gadetski, I.I. Magda, K.A. Kravtsov, Yu.V. Prokopenko, V.I. Chumakov, V.A. Novikov, Yu.V. Tkach. Studies of electromagnetic radiation of ultra-short duration pulse interference on UHF electronics devices, AMEREM'96 Conference, Book of Abstracts. Albuquerque, USA, 1996, p.79.

J. LoVetri, A.T.M. Wilbers, A.P.M. Zwamborn. Microwave interaction with a personal com-puter: Experiment and modeling, Proc. of the 13th Int. Zurich Symposium, Zurich, Switzerland, 1999, p.203.