

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.391.82

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПО СЕТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

З.М. ГИЗАТУЛЛИН, Р.М. ГИЗАТУЛЛИН, И.Н. ЗИАТДИНОВ

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ

В работе рассматриваются экспериментальные исследования помехоустойчивости вычислительной техники при электромагнитных воздействиях по сети электропитания. Приведены результаты количественных исследований функционирования вычислительной техники при воздействии электромагнитных импульсов по сети электропитания и проведено сравнение с результатами моделирования. Рассмотрены результаты исследования эффективности внешних устройств защиты вычислительной техники при воздействии электромагнитных импульсов по сети электропитания. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-01-31108 мол_а.

Ключевые слова: вычислительная техника, устройства телекоммуникаций, электромагнитные помехи, помехоустойчивость, информационная безопасность, сеть электропитания, устройства защиты, экспериментальные исследования.

Введение

Вычислительная техника (ВТ) является важным устройством телекоммуникаций, обеспечивающим информационный обмен между абонентами и, при этом, является не только пользователем, но и оператором процесса обмена в системах и сетях. При рассмотрении проблемы помехоустойчивости и информационной безопасности ВТ одним из наиболее вероятных и опасных путей воздействия, соответственно непреднамеренных и преднамеренных, электромагнитных помех является сеть электропитания [1, 2]. Анализ представленных в литературе результатов исследований показывает, что наблюдается недостаток исследований, направленных на выявление взаимосвязи количественных и качественных критериев, т.е. выявление уровня электромагнитных помех и качества функционирования ВТ при электромагнитных воздействиях по сети электропитания. Так, например, в работах [3, 4, 5, 6] авторы проводят анализ помехоустойчивости ВТ, основанный на определении амплитуды

электромагнитных импульсов (ЭМИ) источника, приводящих к нарушению помехоустойчивости ВТ (перезагрузка или повреждение). При этом нет сведений об уровне электромагнитных помех, которые непосредственно воздействуют на элементы ВТ. Также в нормативных документах, где регламентируются испытания на данные воздействия, не предполагается количественного анализа электромагнитных помех. Поэтому указанные подходы не всегда позволяют определить механизмы проникновения электромагнитных помех и, соответственно, определить эффективные пути повышения помехоустойчивости ВТ. Также, с другой стороны, в данных работах отражается, что встроенные в ВТ средства защиты от электромагнитных помех по сети электропитания не всегда позволяют добиться приемлемых результатов по обеспечению их помехоустойчивости. Из-за этого многие производители предлагают внешние защитные устройства (ВУЗ), такие как сетевые фильтры (СФ), источники бесперебойного питания (ИБП) и т.д. Анализ эффективности применения данных ВУЗ также вызывает определенный интерес.

Целью данной работы является качественный и количественный анализ функционирования ВТ при воздействии наносекундных, микросекундных и субмиллисекундных ЭМИ по сети электропитания.

1. Стенд и методика для экспериментальных исследований

Для проведения экспериментальных исследований функционирования ВТ и анализа эффективности ВУЗ предлагается стенд, показанный на рис. 1. В качестве источников ЭМИ используются генераторы наносекундных, микросекундных и субмиллисекундных импульсных помех по сети электропитания ВТ [2]. Наносекундные ЭМИ имеют следующие параметры: фронт/длительность на уровне 50% – 5,0/50 нс; амплитуда напряжения – 250 В, 500 В ... 4000 В, в режиме холостого хода; частота повторения 5 кГц. Микросекундные ЭМИ имеют следующие параметры: 1,2/50 мкс; амплитуда напряжения 500 В, 1000 В ... 4000 В; частота повторения 1 раз в минуту; субмиллисекундные ЭМИ имеют следующие параметры: 6,5 мкс/0,7 мс; амплитуда напряжения 500 В, 1000 В ... 4000 В; частота повторения 1 раз в минуту. Способ подключения генераторов (с использованием емкостной связи): фаза-нейтраль. Измерительное устройство – осциллограф *Tektronix TDS2022B* с полосой пропускания 200 МГц. Основные параметры исследуемого ВТ: персональный компьютер с процессором *AMD Duron 1800МГц*; ЭЛТ монитор; корпус АТХ; источник вторичного электропитания (ИБЭ) *Switching power supply*, 300Вт (номинальное напряжение на исследуемом выходе +5В); оперативная память 1 Гбайт; жесткий диск 250 Гбайт; *DVD* устройство. Заявленные характеристики исследуемых ВУЗ представлены в табл. 1 [7, 8, 9].

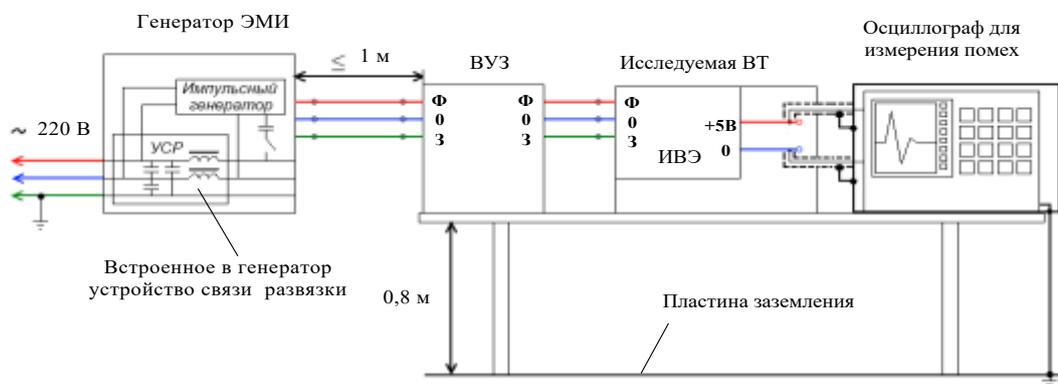


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

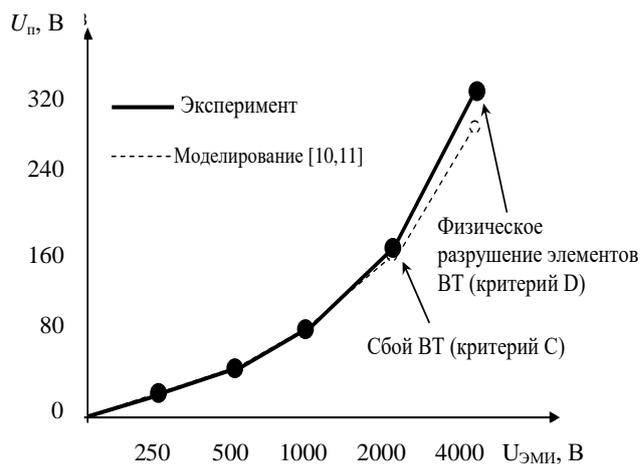
Характеристики исследуемых ВУЗ

Параметр	Тип ВУЗ			
	СФ <i>Sven Optima Base</i>	СФ <i>APC Surge Arrest</i>	ИБП <i>IPPON Office 400</i>	ИБП <i>IPPON Pro 600</i>
Количество рассеиваемой энергии, Дж	80	80	120	220
Защита от всплесков/шумов	-	-	нет/есть	есть/есть
Время перехода на батареи, мс	-	-	10-18	2-6
Подавление шумов, дБ	-	30 (100 кГц - 10 МГц)	-	-

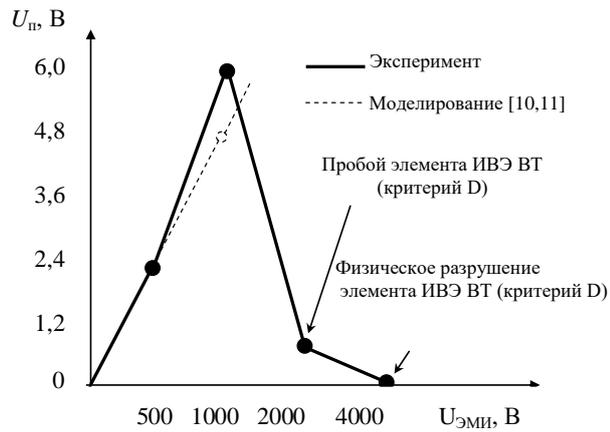
Качественная оценка функционирования и анализ эффективности ВУЗ проводится путем исследования соответствия критериям помехоустойчивости ВТ (А, В, С, D) [2]. Количественная оценка проводится путем измерения амплитуды электромагнитных помех на выходе ИВЭ (на входе питания элементов ВТ) и проведением соответствия его конкретному качественному критерию функционирования ВТ. Количественная оценка эффективности ВУЗ оценивается расчетом соотношения амплитуды электромагнитных помех на выходе ИВЭ ВТ при наличии и отсутствии ВУЗ. Конечно, такой подход не позволяет точно учитывать эффективность ВУЗ в отдельности, т.к. возможны и другие механизмы проникновения электромагнитных помех, но позволяет оценить его вклад в обеспечение помехоустойчивости в целом, что соответствует реальным условиям эксплуатации ВТ. Представленные ниже количественные результаты являются средними показателями для 30-ти повторных измерений с одними исходными данными.

2. Результаты исследования функционирования ВТ при воздействии ЭМИ по сети электропитания

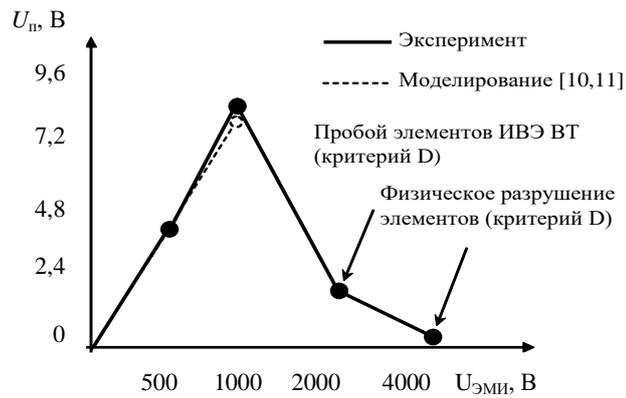
На рис. 2 показаны результаты измерения амплитуды напряжения (размах) электромагнитных помех на выходе ИВЭ ВТ при воздействии ЭМИ по сети электропитания ($U_{ЭМИ}$). Пример осциллограммы электромагнитной помехи на выходе ИВЭ ВТ при воздействии наносекундных ЭМИ с амплитудой 250 В показан на рис. 3.



а)



б)



в)

Рис. 2. Зависимость амплитуды напряжения электромагнитной помехи на выходе ИВЭ ВТ от амплитуды действующих по сети электропитания ЭМИ: а – наносекундных; б – микросекундных; в – субмиллисекундных

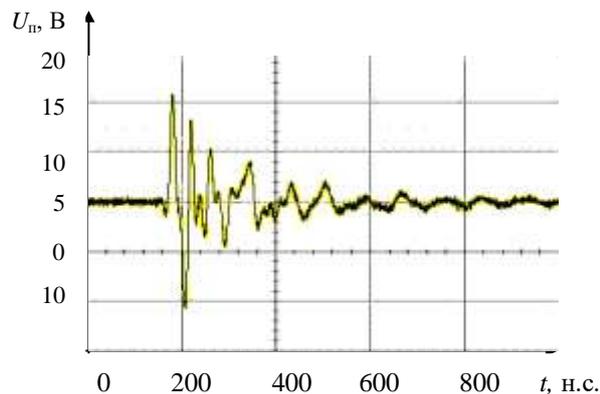


Рис. 3. Осциллограмма электромагнитной помехи на выходе ИВЭ ВТ при воздействии ЭМИ по сети электропитания

Сводные результаты экспериментальных исследований помехоустойчивости ВТ при электромагнитных воздействиях по сети электропитания представлены в табл. 2.

Исследование функционирования ВТ при воздействии
ЭМИ по сети электропитания

Амплитуда ЭМИ, В	Напряжение электромагнитной помехи на выходе ИВЭ ВТ, В (критерий качества функционирования)		
	Наносекундные ЭМИ	Микросекундные ЭМИ	Субмиллисекундные ЭМИ
250	20,3 (А)	–	–
500	41,5 (А)	2,4 (А)	3,6 (А)
1000	89,2 (А)	5,2 (А)	3,8 (А)
2000	170,8 (С)	(А)/(D)*	(А)/(D)**
4000	(D)	(D)	(D)

*частичное пробивание и физическое разрушение элементов ИВЭ ВТ при 23-м повторном ЭМИ;
**частичное пробивание и физическое разрушение элементов ИВЭ ВТ при 16-м повторном ЭМИ.

На основе полученных результатов анализа функционирования ВТ при воздействии ЭМИ по сети электропитания можно сделать следующие частные выводы:

- начиная с амплитуды напряжения ЭМИ 2000 В наблюдается временное нарушение функционирования ВТ (в случае наносекундных ЭМИ) или разрушение элементов ИВЭ ВТ (в случае микро- и субмиллисекундных ЭМИ). Причем, в последних случаях повреждения имеют не мгновенный характер, а происходят только после многократных воздействий ЭМИ на ВТ. Сначала наблюдаются частичные пробой во входном резисторе и конденсаторе ИВЭ без ухудшения качества функционирования ВТ. Затем происходит физическое разрушение выходного конденсатора и прекращение функционирования ИВЭ ВТ;

- воздействие наносекундных ЭМИ по сети электропитания с амплитудой 4000 В приводит к физическому разрушению цифровых элементов ВТ. При этом основная часть энергии проникает не через кондуктивный путь, а через паразитные емкости выводов ИВЭ и ВТ;

- воздействие микро- и субмиллисекундных ЭМИ по сети электропитания с амплитудой 4000 В приводит к отказу функционирования ВТ вследствие мгновенного физического разрушения выходного конденсатора и/или диодного моста ИВЭ.

Сводные результаты экспериментальных исследований эффективности ВУЗ ВТ при электромагнитных воздействиях по сети электропитания приведены в табл. 3.

Таблица 3

Эффективность ВУЗ при воздействии ЭМИ по сети электропитания

Тип ВУЗ	при наносекундных ЭМИ				
	Амплитуда ЭМИ, В (критерий качества функционирования)				
	250	500	1000	2000	4000
Без ВУЗ	1,0 (А)	1,0 (А)	1,0 (А)	1,0 (С)	(D)
СФ SVEN	1,0 (А)	1,0 (А)	1,0 (А)	1,1 (С)	(D)
СФ APC	1,0 (А)	1,0 (А)	1,1 (А)	1,1 (С)	(D)
ИБП IPPON Office 400	1,0 (А)	1,0 (А)	1,1 (А)	1,1 (С)	(D)
ИБП IPPON Pro 600	1,7 (А)	1,8 (А)	1,9 (А)	1,8 (А)	2,0 (С)
	при микросекундных ЭМИ				
	Амплитуда ЭМИ, В				
	500	1000	2000	4000	
Без ВУЗ	1,0 (А)	1,0 (А)	1,0 (D)	(D)	

СФ SVEN	1,0 (A)	1,2 (A)	1,5 (A)	>3 (C)
СФ APC	1,0 (A)	1,1 (A)	1,6 (A)	>3 (C)
ИБП IPPON Office 400	1,1 /(A)	1,2 (A)	1,7 (A)	>3 (C)
ИБП IPPON Pro 600	1,2 (A)	1,7 (A)	3,0 (A)	>5 (C)

На основе полученных результатов анализа эффективности ВУЗ ВТ при воздействии наносекундных и микросекундных ЭМИ по сети электропитания можно сделать следующие частные выводы:

- при воздействии ЭМИ с наносекундными параметрами применение рассмотренных ВУЗ (кроме последнего) не дает существенного ослабления помех по сети электропитания. Предполагается, что рассмотренные ВУЗ снижают только кондуктивную составляющую электромагнитных помех по сети электропитания, но в данном случае проникновение высокочастотной составляющей ЭМИ происходит за счет других путей проникновения (например, паразитные емкости);

- при воздействии микросекундных ЭМИ с амплитудой до 500 В применение рассмотренных ВУЗ практически не влияет на величину электромагнитных помех на выходе ИВЭ ВТ. Такое поведение ВУЗ объясняется параметрами применяемых в них варисторов с классификационным напряжением 420 или 460 В, а также их особенностями компоновки внутри ВУЗ;

- при воздействии микросекундных ЭМИ с амплитудой 1000 В выявляется порог срабатывания ВУЗ и обеспечивается нормальное функционирование ВТ;

- при воздействии микросекундных ЭМИ с амплитудой 2000 В ВУЗ приводит к снижению амплитуды напряжения помехи на выходе ИВЭ ВТ до 3 раз и обеспечивается нормальное функционирование ВТ. В данном случае отсутствие ВУЗ приводит к физическому разрушению элементов ИВЭ ВТ;

- при воздействии микросекундных ЭМИ с амплитудой 4000 В ВУЗ приводит к снижению амплитуды напряжения помехи на выходе ИВЭ ВТ более 5 раз. Но при этом происходит временное прекращение функционирования ВТ. Также в некоторых исследованиях выявлено частичное пробивание элементов ВУЗ и поэтому предполагается, что все рассмотренные ВУЗ выдерживают данные воздействия ограниченное количество раз.

Выводы

В работе проведена качественная и количественная оценка функционирования ВТ при воздействии ЭМИ по сети электропитания. Полученные результаты позволяют выявить конкретные причины нарушения функционирования ВТ, определить преимущественные пути проникновения помех и, тем самым, указать на эффективные направления повышения помехоустойчивости ВТ при воздействии ЭМИ по сети электропитания [12, 13].

Сравнение количественных результатов экспериментальных исследований электромагнитных помех при воздействии ЭМИ по сети электропитания и результатов моделирования, представленных в работах [10,11], указывают, что расхождение не превышает 17%.

Одним из направлений повышения помехоустойчивости ВТ при воздействии ЭМИ по сети электропитания является применение ВУЗ. Результаты, представленные в данной работе, позволяют судить об эффективности их применения в реальных условиях эксплуатации ВТ и указать на некоторые причины, которые приводят к ее снижению.

Summary

The paper deals with experimental studies of noise immunity of computer technology in electromagnetic effects on the power supply. The results of quantitative studies functioning computer equipment when exposed to electromagnetic pulses on the mains and compared with the simulation results. The results of studies of the effectiveness of external protection devices computer equipment under the influence of electromagnetic pulses on the mains are presented. The reported study was supported by RFBR, research project No. 14-01-31108 мол_а”.

Keywords: computing equipment, telecommunications devices, electromagnetic interference, noise immunity, information security, protection devices, experimental studies.

Литература

1. Гизатуллин Р.М. Сквозное прогнозирование помехоустойчивости вычислительной техники внутри зданий при кондуктивных электромагнитных воздействиях по сети питания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. №5-6. С. 46-54.
2. Гизатуллин Р.М., Гизатуллин З.М. Помехоустойчивость и информационная безопасность вычислительной техники при электромагнитных воздействиях по сети электропитания: монография. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. 142 с.
3. Messier M., Radasky W., Madrid M. Testing of personal computers to IEC standard waveforms // Metatech Corporation, Meta-R-174, 2000. P. 71-79.
4. Mansson D., Ericsson J., Thottappillil R. Effect of conducted EFT type pulses on the point of entry of electrical systems in buildings // Proceedings of Radio Vetenskap och Kommunikation. Linkoping, 2005. P. 641-646.
5. Mansson D. Intentional electromagnetic interference (IEMI). Susceptibility investigations and classification of civilian systems and equipment. Acta Universitatis Upsaliensis. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology. Uppsala, 2008. 127 p.
6. Experimental Data on Upsets or Failures of Electronic Systems to Electric Impulses Penetrating into Building Power and Earthing Nets / Fortov V., Parfenov Yu., Zdoukhov L. and at all. Goleta, 2001. P. 27.
7. Официальный сайт компании «Свен Скандинавия Лимитед» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sven.fi.ru>, свободный.
8. Официальный сайт компании «American Power Conversion» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.apc.ru>, свободный.
9. Официальный сайт компании «Nippon Klick Co» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ippon.ru>, свободный.
10. Гизатуллин Р.М. Прогнозирование защиты информации в цифровых электронных средствах при преднамеренных электромагнитных воздействиях по сети питания // Технологии электромагнитной совместимости. 2010. №3. С.64-72.
11. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиятдинов И.Н. Моделирование электромагнитного воздействия на электронные средства по сети электропитания здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. №7-8. С. 104-110.
12. Пат. №119957 РФ, МПК⁸ H02M 1/44, Вторичный источник электропитания (варианты) / З.М. Гизатуллин, Р.М. Гизатуллин; заявитель и патентообладатель КНИТУ-КАИ. 2012113082; заявл. 03.04.2012; опубл. 27.08.2012, Бюл. №24. 2 с.
13. Пат. №119945 РФ, МПК⁸ H01R 13/66, Электрическая розетка с защитой от помех / З.М. Гизатуллин, Р.М. Гизатуллин; заявитель и патентообладатель КНИТУ-КАИ. 2012114040; заявл. 10.04.2012; опубл. 27.08.2012, Бюл. №24. 3 с.

Поступила в редакцию

11 марта 2015 г.

Гизатуллин Зиннур Марселевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Системы автоматизации проектирования» Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева – КАИ. Тел: 8(843)231-00-81, 89030617176. E-mail: gzm_zinnur@mail.ru.

Гизатуллин Рифнур Марселевич – младший научный сотрудник Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева – КАИ. E-mail: grm444@mail.ru.

Зиятдинов Ильназ Нуретдинович – аспирант кафедры «Системы автоматизации проектирования» Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева - КАИ Тел: 8(843)231-00-81. E-mail: zia_ilnaz@yandex.ru.