

УДК 621.391.82

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРОСЕКУНДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПО СЕТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Р. М. Гизатуллин, Э. А. Хузияхметова, М. С. Шкиндеров, О. В. Чернов
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева – КАИ, 420111, Казань, ул. К. Маркса, д.10

Статья поступила в редакцию 28 марта 2018 г.

Аннотация. Рассматривается задача помехоустойчивости вычислительной техники при электромагнитных воздействиях по сети электропитания. Для эффективного повышения помехоустойчивости вычислительной техники необходимо определить основные пути проникновения электромагнитных помех от сети электропитания к ее элементам. В работе выделены три основных пути проникновения электромагнитных помех через источник вторичного электропитания вычислительной техники. Разработаны макеты для оценки вклада каждого из путей. Предложен стенд для количественной оценки вклада этих путей в формирование общей электромагнитной помехи. Получены результаты измерения электромагнитных помех на выходе источника вторичного электропитания. Выявлено, что, рассмотренные электромагнитные помехи проникают к элементам вычислительной техники преимущественно за счет паразитных емкостей элементов источника вторичного электропитания. При кондуктивном распространении электромагнитная помеха от сети электропитания, в зависимости от своей энергии, поглощается во входном сетевом фильтре или приводит к физическому разрушению его элементов.

Ключевые слова: электромагнитная помеха, сеть электропитания, вычислительная техника, эксперимент, моделирование.

Abstract. The problem of noise immunity of computer equipment under electromagnetic influences through the power supply network is considered. To effectively increase the noise immunity of computers, it is necessary to determine the

main ways of penetrating electromagnetic interference from the power supply network to its elements. The paper identifies three main ways of penetrating electromagnetic interference through a secondary power supply source of computer equipment. Layouts have been developed to assess the contribution of each of the paths. A stand was proposed for a quantitative assessment of the contribution of these paths to the formation of a common electromagnetic interference. The results of measuring electromagnetic interference at the output of a secondary power supply source for computer equipment are obtained. It is revealed that, mainly, the considered microsecond electromagnetic interference from the power supply network penetrates to the elements of computer equipment due to parasitic capacitances of the elements. In conductive propagation, electromagnetic interference from the power supply network, depending on its energy, is absorbed in the input network filter or leads to physical destruction of its elements.

Key words: electromagnetic interference, power supply network, computer equipment, experiment, simulation.

1. 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, в том числе и систем контроля и управления доступом [1, 2, 3]. 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 [4, 5, 6, 7, 8, 9]. 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 [10, 11, 12] 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.

Целью данной работы является количественный анализ путей проникновения микросекундных ЭМИ через источник вторичного электропитания (ИВЭ) к элементам ВТ.

2. Стенд и методика для экспериментальных исследований

При исследовании задачи анализа воздействия ЭМИ по сети электропитания было предложено [13, 14], что можно выделить три основных пути проникновения ЭМИ к цифровым элементам ВТ. Это кондуктивный путь через элементы ИВЭ; кондуктивный путь с учетом пути через паразитные емкости входных и выходных выводов ИВЭ; кондуктивный путь с учетом пути через паразитные емкости входных/выходных выводов ИВЭ и корпуса ВТ. Соответственно, в данной работе, для исследования путей проникновения микросекундных ЭМИ к элементам ВТ разработано и применено три макета.

В целом, для проведения экспериментальных исследований проникновения микросекундных ЭМИ через ИВЭ к элементам ВТ предлагается стенд, представленный на рис. 1. В качестве источника ЭМИ используется генератор микросекундных импульсных помех по сети электропитания ВТ (ИГМ 4.1, НПП Прорыв). Микросекундные ЭМИ имеют следующие параметры: фронт/полуспад - 1,2/50 мкс; амплитуда напряжения ($U_{\text{ЭМИ}}$) – 500 В, 1000 В, 2000 В, 4000 В; частота повторения 1 раз в минуту. Способ

подключения генератора 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; жидкокристаллический монитор; корпус АТХ; ИВЭ – Switching power supply, 300 Вт (номинальное напряжение на исследуемом выходе +5 В); оперативная память 1 Гбайт; жесткий диск 250 Гбайт; DVD устройство. Представленные ниже количественные результаты являются средними показателями для 30-и повторных измерений с одними исходными данными.

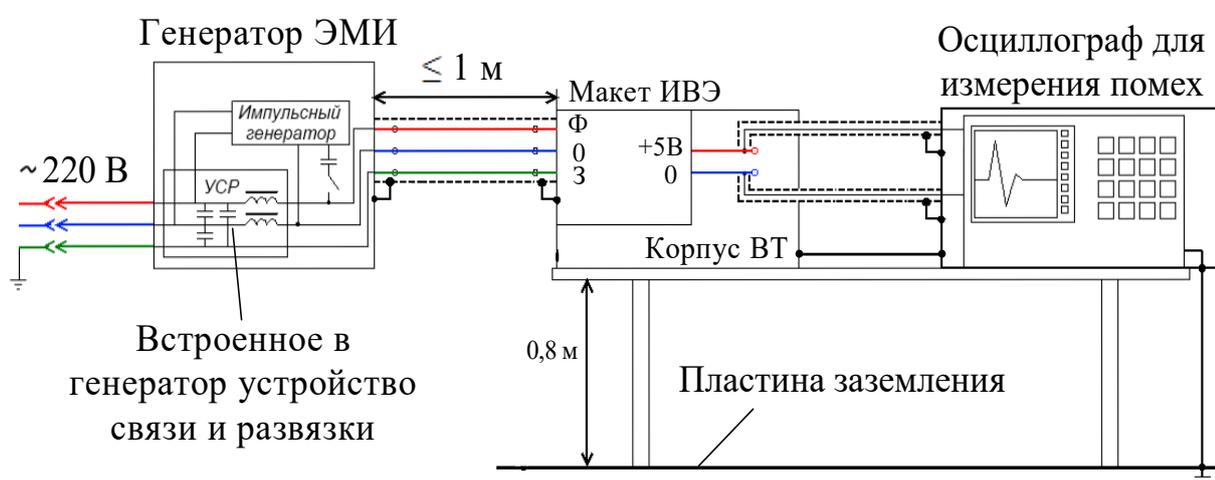


Рис. 1. Общая схема экспериментального стенда

На рис. 2 представлена схема первого макета ИВЭ ВТ, который позволяет исследовать распространение ЭМИ через паразитные емкости входных и выходных выводов ИВЭ. На данном макете отсутствует часть схемы, определяющая кондуктивную связь между входными и выходными выводами. Расчетная паразитная емкость C_1 равняется 50 пФ. Макет состоит из четырех основных частей: 1) паразитная емкость C_1 между входными и выходными выводами ИВЭ; 2) входной фильтр ИВЭ; 3) упрощенная схема, определяющая параметры выходного каскада ИВЭ; 4) металлический корпус ИВЭ.

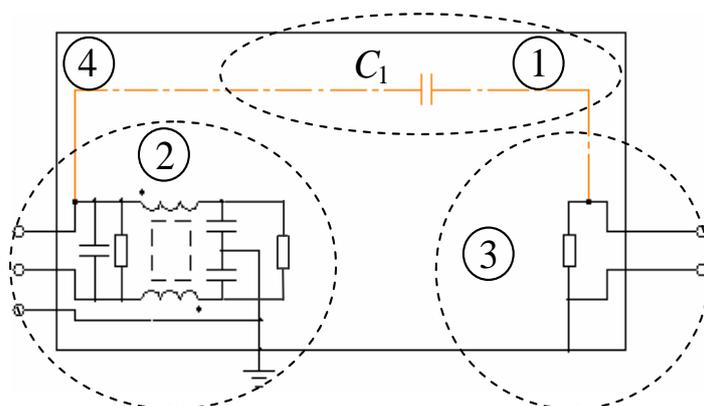


Рис. 2. Схема первого макета

На рис. 3 представлена схема второго макета ИВЭ, который позволяет исследовать распространение ЭМИ по кондуктивному пути и через паразитные емкости входных и выходных выводов ИВЭ. В данном случае макет является полноценным ИВЭ ВТ. В качестве экспериментального макета используется модель импульсного ИВЭ Switching power supply. В нем можно выделить три основные части: 1) паразитную емкость C_1 между входными и выходными выводами ИВЭ; 2) полную электрическую схему; 3) корпус ИВЭ.

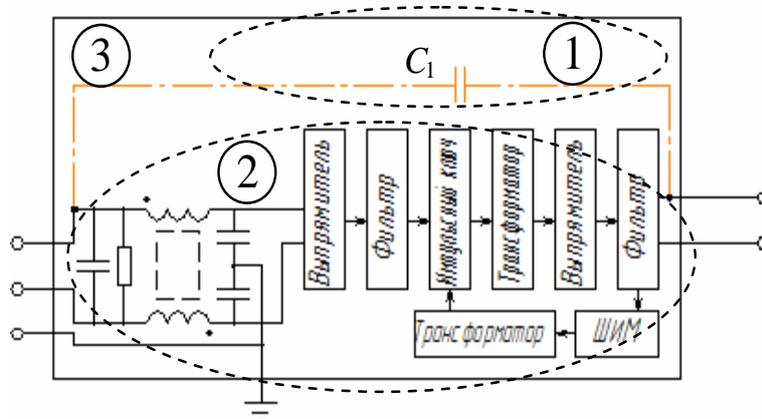


Рис. 3. Схема второго макета

На рис. 4 показана схема третьего макета. Данный макет, например, представляет собой стандартный системный блок персонального компьютера. На схеме можно выделить пять основных частей: 1) паразитную емкость C_1 между входными и выходными выводами ИВЭ; 2) полную электрическую схему ИВЭ; 3) корпус ИВЭ; 4) паразитную емкость C_2 между входными/выходными выводами ИВЭ и корпуса ВТ; 5) корпус ВТ.

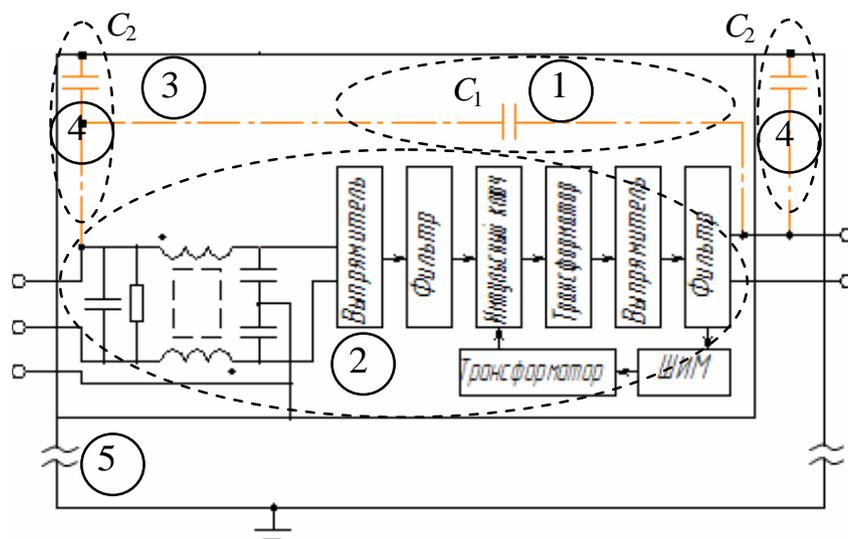


Рис. 4. Схема третьего макета

3. Результаты исследований

Электромагнитные помехи на выходе первого макета ИВЭ, при воздействии микросекундных ЭМИ по сети электропитания ВТ, представлены на рис. 5.

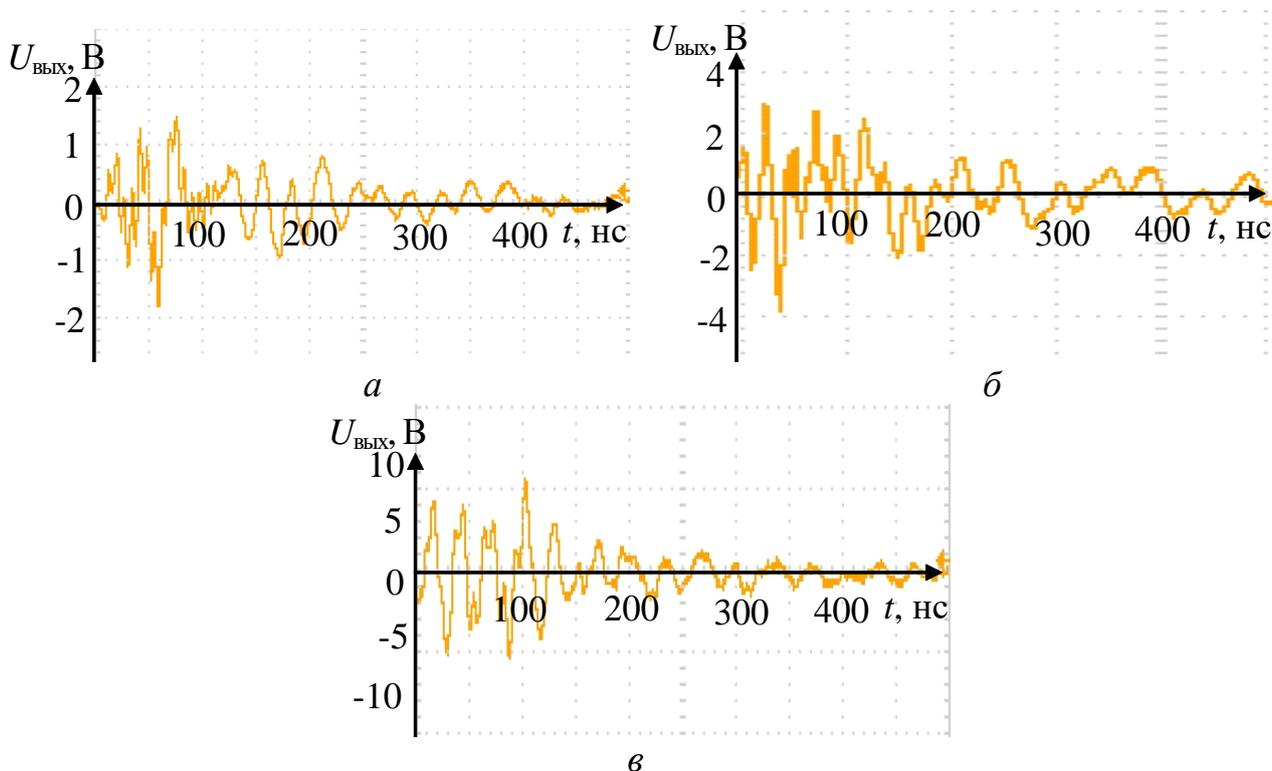


Рис. 5. Электромагнитная помеха на выходе ИВЭ при воздействии микросекундных ЭМИ по сети электропитания ВТ (*а* – $U_{ЭМИ}=500$ В; *б* – $U_{ЭМИ}=1000$ В; *в* – $U_{ЭМИ}=2000$ В)

При исследовании воздействия микросекундных ЭМИ с амплитудой 4000 В происходит пробой резистора и/или конденсатора входного фильтра ИВЭ.

Электромагнитные помехи на выходе второго макета ИВЭ, при воздействии микросекундных ЭМИ по сети электропитания ВТ, представлены на рис. 6.

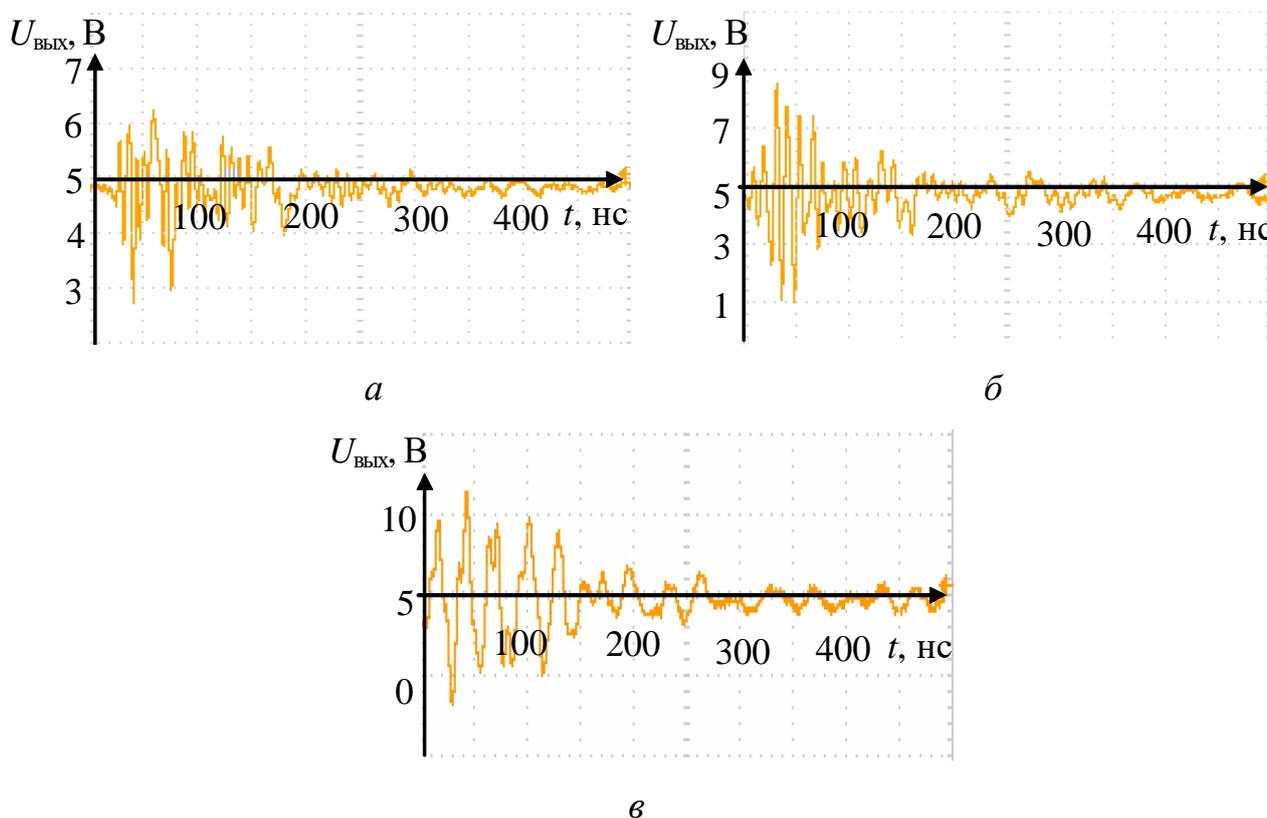


Рис. 6. Электромагнитная помеха на выходе ИВЭ при воздействии микросекундных ЭМИ по сети электропитания ВТ (*а* – $U_{\text{ЭМИ}}=500$ В; *б* – $U_{\text{ЭМИ}}=1000$ В; *в* – $U_{\text{ЭМИ}}=2000$ В)

При исследовании воздействия микросекундных ЭМИ с амплитудой 4000 В происходит пробой конденсатора входного фильтра и/или физическое разрушение других элементов ИВЭ (наиболее вероятно диодного моста и/или усилительного транзистора).

Электромагнитные помехи на выходе третьего макета ИВЭ, при воздействии микросекундных ЭМИ по сети электропитания ВТ, представлены на рис. 7.

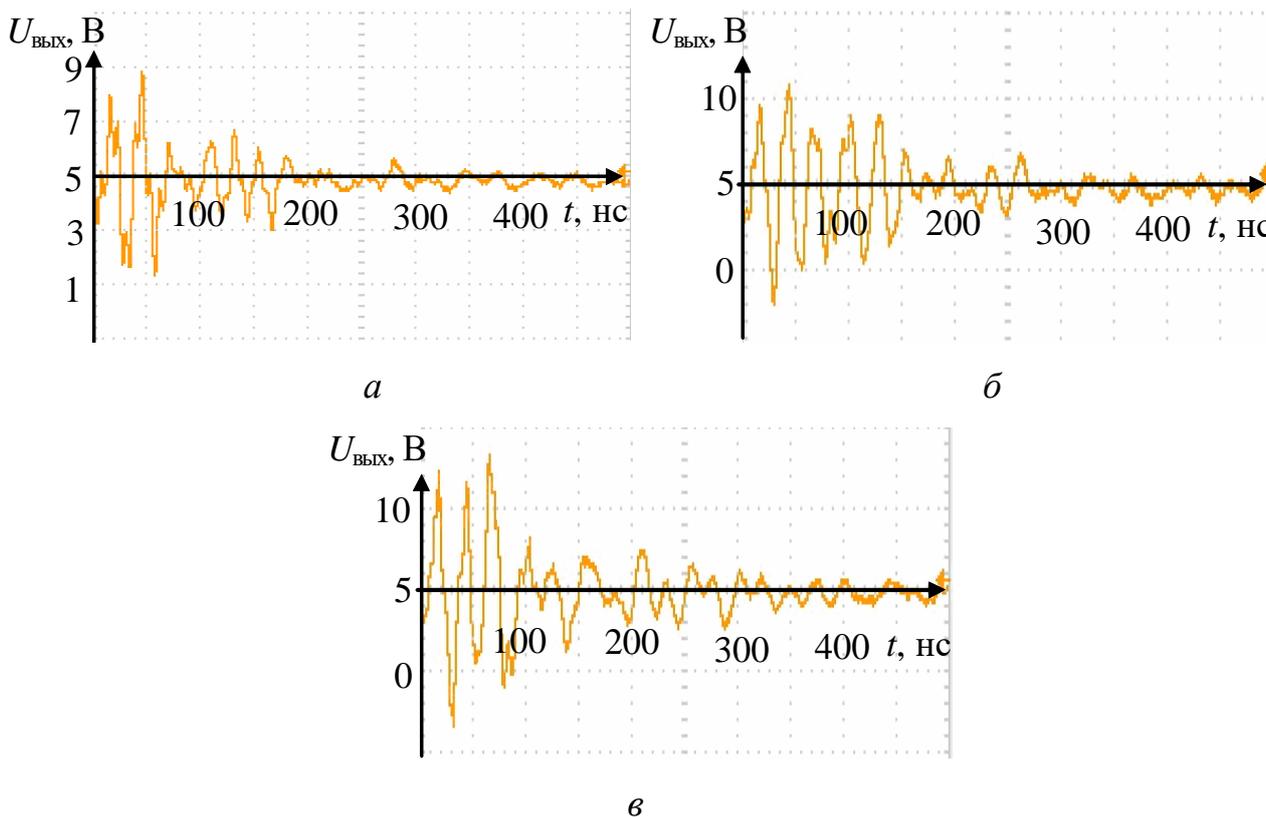


Рис. 7. Электромагнитная помеха на выходе ИВЭ при воздействии микросекундных ЭМИ по сети электропитания ВТ (*а* – $U_{ЭМИ}=500$ В; *б* – $U_{ЭМИ}= 1000$ В; *в* – $U_{ЭМИ}= 2000$ В)

Таблица 1

Сводные результаты исследования электромагнитных помех на выходе ИВЭ ВТ

Основные пути проникновения	Амплитуда ЭМИ $U_{ЭМИ}$, В		
	500	1000	2000
Через паразитные емкости входных и выходных выводов ИВЭ	1,28	2,76	5,60
Через паразитные емкости входных и выходных выводов +кондуктивный путь через элементы ИВЭ	1,36	2,80	5,80
Через паразитные емкости входных и выходных выводов +кондуктивный путь через элементы ИВЭ+ паразитные емкости корпуса ВТ	2,92	5,08	8,10

Аналогично первым двум случаям, при исследовании воздействия микросекундных ЭМИ с амплитудой 4000 В, происходит физическое разрушение элементов ИВЭ.

Сводные результаты исследований сведены в таблице 1. В ней представлены средние амплитудные значения напряжения электромагнитных помех на выходе ИВЭ ВТ по отношению к исходному выходному напряжению, при различных амплитудах воздействующего ЭМИ.

4. Выводы

Таким образом, в данной работе проведен количественный анализ путей проникновения микросекундных ЭМИ через ИВЭ к элементам ВТ на основе экспериментальных исследований. Выявлено, что основными путями проникновения рассмотренных микросекундных ЭМИ к элементам ВТ являются паразитные емкости между входными и выходными выводами ИВЭ, а также между входным выводом ИВЭ и корпусом ВТ. При кондуктивном распространении ЭМИ возможно два случая: а) до определенного уровня энергии импульса входной сетевой фильтр ИВЭ почти полностью его поглощает; б) если данная энергия превышает некоторый уровень, то происходит физическое разрушение элементов фильтра ИВЭ. Такой порог для микросекундного ЭМИ с рассмотренными параметрами и для данного типа ИВЭ составляет более 2000 В.

На основе результатов данного исследования можно рекомендовать более эффективные направления снижения электромагнитных помех от сети электропитания вычислительной техники, в том числе путем применения известных и новых решений [13, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

Литература

1. Гут Р.В., Кирпичников А.П., Ляшева С.А., Шлеймович М.П. Методы ранговой фильтрации в системах видеонаблюдения // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 17. С. 71-73.

2. Замалиев А.И., Кирпичников А.П., Ляшева С.А., Шлеймович М.П. Текстозависимая идентификация и верификация диктора по голосу в системе контроля и управления дост // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 17. С. 138-143.
3. Обухов А.В., Ляшева С.А., Шлеймович М.П. Методы автоматического распознавания автомобильных номеров // Вестник Чувашского университета. 2016. №3. С. 201-208.
4. Гизатуллин Р.М., Гизатуллин З.М., Нуриев М.Г. Помехоустойчивость вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2016. №11. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/nov16/2/text.pdf>
5. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Исследование помехоустойчивости вычислительной техники при электромагнитных воздействиях по сети электропитания // Радиотехника и электроника. 2016. №5. С. 500–504.
6. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н. Анализ функционирования вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. №7-8. С. 98-105.
7. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н. Моделирование электромагнитного воздействия на электронные средства по сети электропитания здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. №7-8. С. 104-110.
8. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н., Шарафутдинов И.И. Помехоустойчивость средств вычислительной техники при динамических изменениях напряжения сети электропитания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. №1-2. С. 105–115.
9. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Анализ качество электроэнергии в однофазной сети электропитания 220 Вольт 50 Герц // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. №7-8. С. 63-71.
10. Messier M., Radasky W., Madrid M. Testing of personal computers to IEC

standard waveforms // Metatech Corporation, Meta-R-174, 2000. P. 71-79.

11. 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.
12. 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.
13. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Назметдинов Ф.Р., Набиев И.И. Повышение помехоустойчивости электронных средств при электромагнитных воздействиях по сети электропитания // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2015. №6. Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/jun15/14/text.pdf>
14. Гизатуллин З.М. Электромагнитная совместимость электронных средств объектов электроэнергетики при внешних электромагнитных воздействиях по сети питания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2007. №9-10. С. 37-45.
15. Гизатуллин З.М. Технология прогнозирования и повышения электромагнитной совместимости цифровых электронных средств при внешних высокочастотных импульсных электромагнитных воздействиях // Технологии электромагнитной совместимости. 2010. №3. С. 22-29.
16. Гизатуллин З.М. Снижение электромагнитных помех в межсоединениях многослойных печатных плат // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2012. №2 С. 199-205.
17. Гизатуллин З.М. Повышение эффективности экранирования металлических корпусов электронных средств // Технологии электромагнитной совместимости. 2010. № 3. С. 37-43.
18. Белоусов А.О., Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М. Многопроводная микрополосковая линия как модальный фильтр для защиты от сверхкоротких импульсов // Доклады Томского государственного

университета систем управления и радиоэлектроники. 2015. №3. С. 124-128.

19. Газизов А.Т., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Разложение сверхкороткого импульса в структурах с лицевой связью // Известия высших учебных заведений. Физика. 2017. №3. С. 70-75.
20. Белоусов А.О., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Экспериментальное подтверждение модельной фильтрации в многопроводной микрополосковой линии // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2016. №3. С. 51-54.

Для цитирования:

Р. М. Гизатуллин, Э. А. Хузияхметова, М. С. Шкиндеров, О. В. Чернов. Анализ воздействия микросекундных электромагнитных помех по сети электропитания вычислительной техники. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. № 4. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/apr18/5/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2018.4.5