

УДК 621.391.82; 004.3

## ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПО СЕТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Р. М. Гизатуллин, З. М. Гизатуллин, М. Г. Нуриев

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

Статья поступила в редакцию 24 октября 2016 г.

**Аннотация.** Эффективность применения вычислительной техники сильно зависит от ее надежного функционирования при воздействии внешних факторов, в том числе при воздействии электромагнитных помех. Часто причиной нарушения помехоустойчивости вычислительной техники является воздействие электромагнитных помех по сети электропитания. Эффективным решением проблемы помехоустойчивости вычислительной техники является ее учет на этапе проектирования. Решение о необходимости повышения помехоустойчивости вычислительной техники при воздействии помех формируются на основе результатов прогнозирования. В данной работе предложена методика и математические модели для прогнозирования помехоустойчивости вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания. Представлен пример прогнозирования. Представлены результаты экспериментальных исследований помехоустойчивости вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания. Рассмотрены технические решение, направленные на повышение помехоустойчивости вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания.

**Ключевые слова:** вычислительная техника, электромагнитная помеха, сеть электропитания, электромагнитная совместимость, помехоустойчивость, моделирование, экспериментальные исследования.

**Abstract.** The effectiveness of the use of computer equipment highly depends on its

proper functioning under the influence of external factors, including noise immunity when electromagnetic interference takes place. Often the origin of violations of the noise immunity of computer equipment is the effect of electromagnetic interference from power supply network. An effective solution of the problem of noise immunity of the computer equipment is taking it into accounting at the design stage. A decision about the necessity to improve the noise immunity of computer equipment under the influence of electromagnetic interference is formed on the base of the forecast results. In this paper we propose a methodology and mathematical models to predict the noise immunity of computer equipment under the influence of electromagnetic interference from power supply network. The example of the prediction is presented. The results of experimental studies of noise immunity of computer equipment under the influence of electromagnetic interference from power supply network are presented. Technical solutions aiming at the improving the noise immunity of computer equipment under the influence of electromagnetic interference from power supply network are considered. The results of research on the effectiveness of technical solutions are presented.

**Keywords:** computer equipment, electromagnetic interference, power supply network, electromagnetic compatibility, noise immunity, modeling, experiments.

## **Введение**

Общество зависит от эффективного использования всевозможных электронных средств, в том числе и вычислительной техники (ВТ). При этом возникает высокий риск потери информации или управления над важными объектами инфраструктуры из-за нарушения помехоустойчивости данных средств ВТ. Одним из частых причин возникновения критических ситуаций, связанных с нарушением качества функционирования ВТ может стать воздействие электромагнитных помех по сети электропитания [1]. Данные электромагнитные воздействия могут носить непреднамеренный [1, 2, 3] или преднамеренный характер [1, 4] и обладают несколькими существенными особенностями: электромагнитные импульсы (ЭМИ) могут легко

распространяться по электропроводам на достаточно большие расстояния, несущественно теряя при этом своей энергии; сеть электропитания соединяет большое число ВТ вместе, что означает возможность одновременного электромагнитного воздействия; легкость доступа к незащищенным портам сети электропитания для ввода преднамеренных электромагнитных импульсов. При этом основными непреднамеренными источниками электромагнитных помех в сети электропитания являются мощные промышленные источники, разряды молнии, мощные потребители электроэнергии и др. Результаты физических и численных экспериментов ряда авторов по данной проблеме [5, 6], показывают, что ЭМИ легко распространяются через сети электропитания, входящие в инфраструктуру зданий. Наиболее часто форма ЭМИ представляется двойной экспонентой и имеет микросекундные или наносекундные параметры [1-4]. При этом наиболее сложными, с точки зрения защиты, являются более высокочастотные помехи.

Целью данной работы является прогнозирование и повышение помехоустойчивости ВТ при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания.

### **1. Прогнозирование помехоустойчивости ВТ при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания.**

В работе [1] предложена методика и математические модели для сквозного прогнозирования помехоустойчивости ВТ при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания на месте эксплуатации (например, внутри здания). Наиболее наглядно все основные этапы данной методики можно рассмотреть на базе примера сквозного прогнозирования помехоустойчивости ВТ внутри здания при воздействии микросекундных электромагнитных помех по сети электропитания:

1. Определяются параметры ЭМИ в сети электропитания, например, с микросекундными параметрами от разряда молнии. Приведенная к точке «А» (рис. 1) на входе распределительного щита здания форма ЭМИ описывается двойной экспонентой (рис. 2). Фронт/длительность ЭМИ – 10/700 мкс.

Максимальная амплитуда напряжения ЭМИ – 8 кВ. Основной частотный спектр ЭМИ в данном примере меньше 1 МГц.

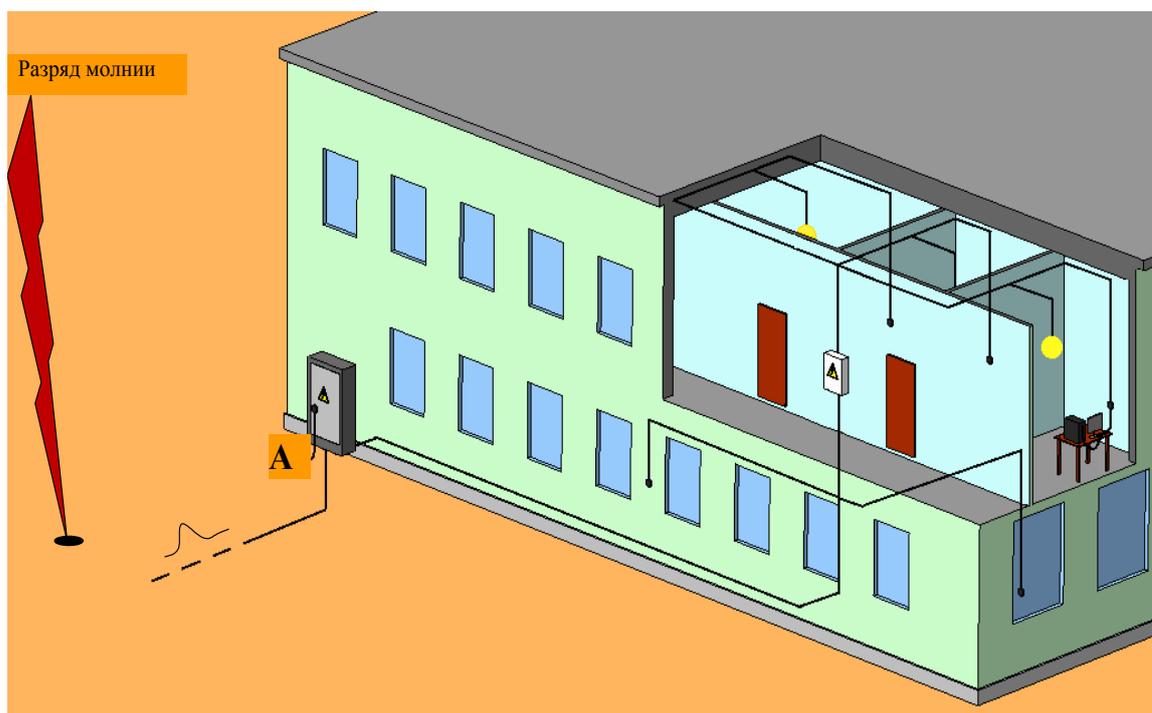


Рис. 1. Описание схемы воздействия электромагнитных помех на ВТ по сети электропитания здания

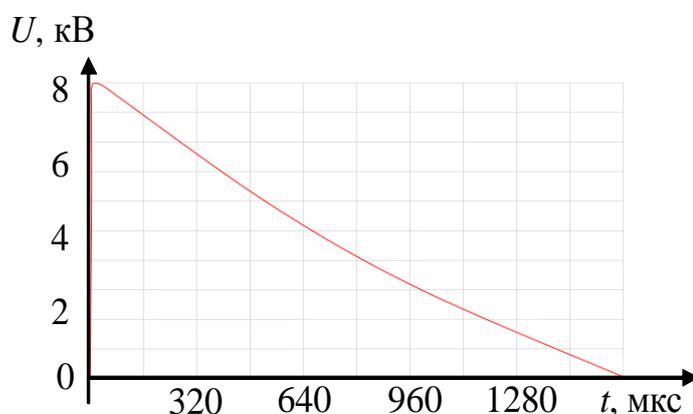


Рис. 2. Временная форма ЭМИ

2. Устанавливаются проектные параметры сети электропитания здания. Структура сети электропитания здания – однофазная. Путь распространения ЭМИ по сети электропитания – «фаза-нейтраль». Схема распределения кабеля сети электропитания по зданию представлена на рис. 1. Тип применяемого кабеля сети электропитания – Denko (H03VVH2; погонная емкость 64 пФ/м; погонная индуктивность 0,55 мкГн/м; погонное сопротивление 0,013 Ом/м). Исследуемая ВТ находится на втором этаже в одном из помещений здания.

Длина кабеля сети электропитания от точки входа в здание «А» до ВТ равна 38 м.

3. Проводится анализ устройств снижения помех по сети электропитания. Для защиты от воздействия электромагнитных помех по сети электропитания во вторичном источнике ВТ реализован сетевой фильтр и/или может быть использовано дополнительное внешнее устройство защиты (например, внешний сетевой фильтр). На рис. 3 представлена эквивалентная схема типичного сетевого фильтра ( $C1=1$  мкФ;  $C2=C3=10$  нФ).

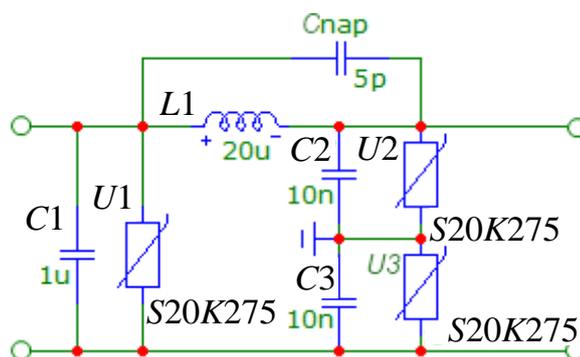


Рис. 3. Эквивалентная схема типичного сетевого фильтра

В своем составе сетевой фильтр содержит высокочастотный  $LC$ -фильтр и ограничители напряжения на основе варисторов. На практике применяются варисторы с уровнем энергопоглощения не более 80 Дж ( $W_{\text{вuz}}$ ). Также, в эквивалентной схеме учитывается паразитная емкость между входными и выходными выводами сетевого фильтра, которая составляет около 3 пФ.

4. Разрабатывается топологическая модель в виде эквивалентной схемы для прогнозирования электромагнитных помех воздействующих на ВТ по сети электропитания здания (для рассматриваемого примера представлена на рис. 4). Определяются подобласти, где анализ электромагнитных процессов можно рассчитывать как отдельные задачи: распространение ЭМИ по кабелю сети электропитания здания, которая имеет разветвления; взаимодействие электромагнитной помехи с элементами сетевого фильтра внешнего устройства защиты ВТ (при наличии); взаимодействие электромагнитной помехи с элементами сетевого фильтра источника вторичного электропитания ВТ; взаимодействие электромагнитной помехи с цифровыми элементами ВТ.

Проводится анализ путей проникновения электромагнитных помех на разные подобласти задачи через элементы сети электропитания здания. Например, как правило, в распределительных щитах здания в качестве защитных устройств от скачков напряжения используются автоматические выключатели и устройства защитного отключения. Быстродействие данных устройств не превышает 6-17 мс [1]. Поэтому можно утверждать, что взаимодействие микросекундного ЭМИ с элементами распределительного щита не приводит к его ослаблению. В рассматриваемом примере первичными приемниками электромагнитных помех будут являться элементы сетевого фильтра внешнего устройства защиты (ВУЗ) ВТ (рис. 4).

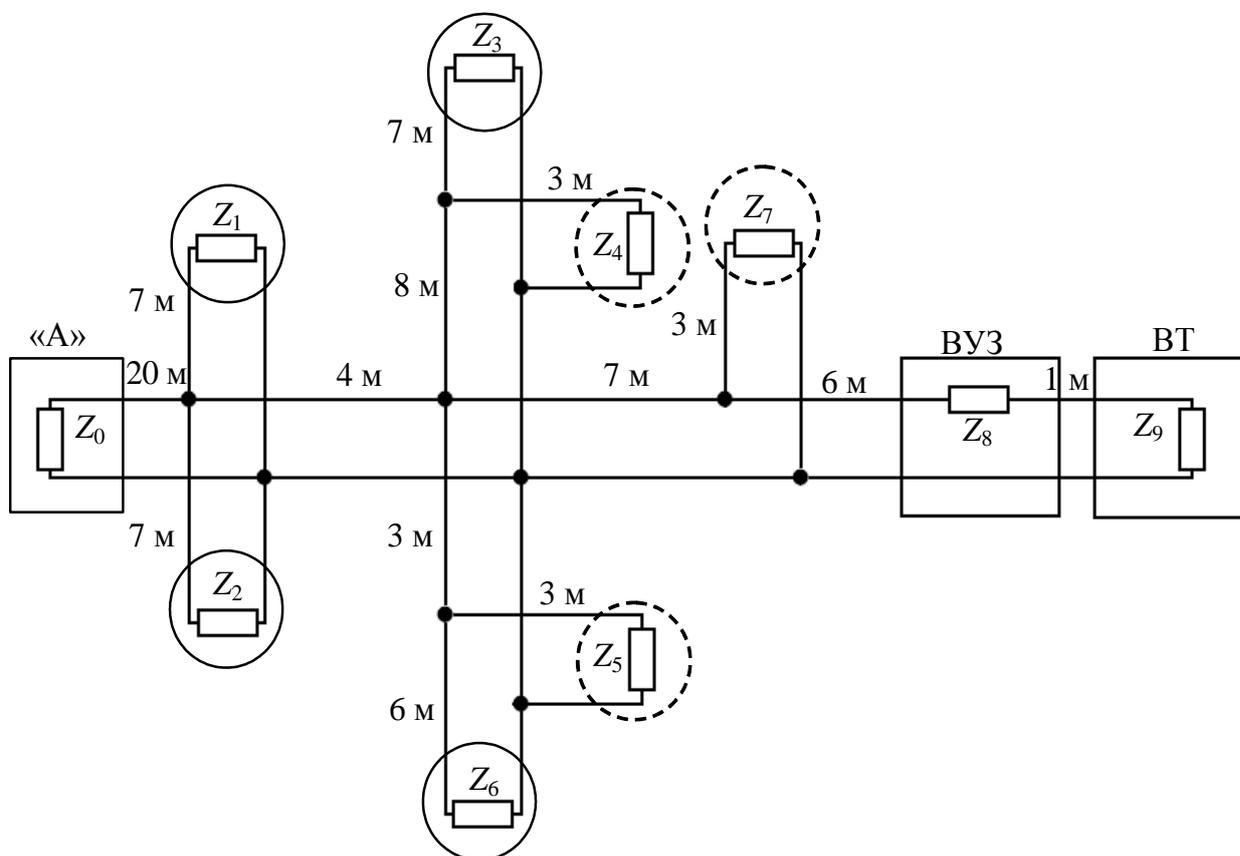


Рис. 4. Эквивалентная схема для расчета электромагнитной помехи на входе внешнего устройства защиты ВТ

Обозначения на рис. 4: «А» – эквивалентный источник ЭМИ по сети электропитания;  $Z_0$  – эквивалентное внутреннее полное сопротивление источника;  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7$  – сопротивление нагрузок, подключенных к соответствующим выходам сети электропитания здания;  $Z_8, Z_9$  – сопротивление

входа внешнего устройства защиты и источника вторичного электропитания ВТ.

5. Для прогнозирования помехоустойчивости ВТ в работе [1] предложена методика, которая позволяет использовать два подхода: аналитический и схемотехнический. Аналитический подход применяется для анализа нарушения помехоустойчивости ВТ, связанного с его отключением от сети электропитания из-за физического разрушения элементов внешнего устройства защиты (при наличии) или источника вторичного электропитания. Для этого проводится расчет энергии электромагнитной помехи, воздействующей на элементы сетевого фильтра внешнего устройства защиты (при наличии) или элементы сетевого фильтра источника вторичного электропитания. При этом учитываются не только ослабление ЭМИ при распространении, но и эффекты отражения, возникающие при различных разветвлениях сети электропитания с подключенными к ним нагрузками.

6. Для реализации аналитического подхода предлагаются выражения рефлектометрии [7], которые для эквивалентной схемы, представленной на рис. 4, принимают следующий вид:

$$V_2 = V_1 \cdot K_{\text{осл}} \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_3;$$

$$K_{\text{осл}} = \frac{1}{\frac{B_{\text{удз}}}{10^{20}}};$$

$$T_1 = 1 - \Gamma_1; T_2 = 1 - \Gamma_2; T_3 = 1 - \Gamma_3;$$

$$\Gamma_1 = \frac{Zx_1 - Z_0}{Zx_1 + Z_0}; \Gamma_2 = \frac{Zx_2 - Z_0}{Zx_2 + Z_0}; \Gamma_3 = \frac{Zx_3 - Z_0}{Zx_3 + Z_0};$$

$$Zx_1 = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Zx_2}};$$

$$Zx_2 = \frac{1}{\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_4} + \frac{1}{Z_5} + \frac{1}{Z_6} + \frac{1}{Zx_3}};$$

$$Zx_3 = \frac{Z_7 \cdot Z_9}{Z_7 + Z_9} + Z_8; W_{\text{ЭМИ}} = \int_0^t IUdt,$$

где  $V_2$  – амплитуда электромагнитной помехи на входе внешнего устройства защиты (при наличии) или сетевого фильтра вторичного источника электропитания ВТ;  $V_1$  – амплитуда воздействующего ЭМИ на входе распределительного щита здания;  $K_{\text{осл}}$  – коэффициент затухания;  $B_{\text{уд.з}}$  – удельное затухание;  $L$  – длина кабеля сети электропитания здания от точки «А» до рассматриваемой ВТ;  $T_1$  – коэффициент передачи первого узла;  $T_2$  – коэффициент передачи второго узла;  $T_3$  – коэффициент передачи третьего узла;  $\Gamma_1$  – коэффициент отражения первого узла;  $\Gamma_2$  – коэффициент отражения второго узла;  $\Gamma_3$  – коэффициент отражения третьего узла;  $Zx_1$  – полное сопротивление узла  $T_1$ ;  $Zx_2$  – полное сопротивление узла  $T_2$ ;  $Zx_3$  – полное сопротивление узла  $T_3$ ;  $Z_0$  – полное сопротивление эквивалентного источника;  $Z_1$  – полное сопротивление нагрузки, подключенной к розетке 1;  $Z_2$  – полное сопротивление нагрузки, подключенной к розетке 2;  $Z_3$  – полное сопротивление нагрузки, подключенной к розетке 3;  $Z_4$  – полное сопротивление лампы 1;  $Z_5$  – полное сопротивление лампы 2;  $Z_6$  – полное сопротивление нагрузки, подключенное к розетке 4;  $Z_7$  – полное сопротивление лампы 3;  $Z_8$  – полное сопротивление входа внешнего устройства защиты;  $Z_9$  – полное сопротивление входа источника вторичного электропитания ВТ;  $W_{\text{ЭМИ}}$  – энергия ЭМИ.

7. Для рассматриваемого примера расчетная амплитуда напряжения электромагнитной помехи на входе сетевого фильтра внешнего устройства защиты ВТ составляет 2726 В, а энергия – 101,6 Дж. Следовательно, при  $W_{\text{вуз}} < W_{\text{ЭМИ}}$  происходит физическое разрушение элемента сетевого фильтра.

8. Рассматривается возможность применения известных [1] или новых технических решений [8, 9], направленных на повышение помехоустойчивости

ВТ при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания. Далее происходит возврат к п. 3 до обеспечения необходимого критерия качества функционирования ВТ при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания.

## 2. Экспериментальные исследования помехоустойчивости ВТ при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания.

Для проведения экспериментальных исследований функционирования ВТ при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания предлагается стенд (рис. 5), состоящий из следующего оборудования: генератор микросекундных импульсных помех (фронт/полуспад: 6,5 мкс/700 мкс; амплитуда напряжения от 500 В до 4000 В; способ подключения – «фаза-нейтраль»); осциллограф Tektronix TDS2022B с полосой пропускания до 200 МГц; исследуемая ВТ (персональный компьютер с процессором AMD 1800МГц; ЭЛТ монитор; корпус АТХ; источник вторичного электропитания (ИБЭ) SPS 300Вт; номинальное напряжение на исследуемом выходе ИБЭ +5 В; оперативная память 1 Гбайт; жесткий диск 250 Гбайт; DVD устройство).

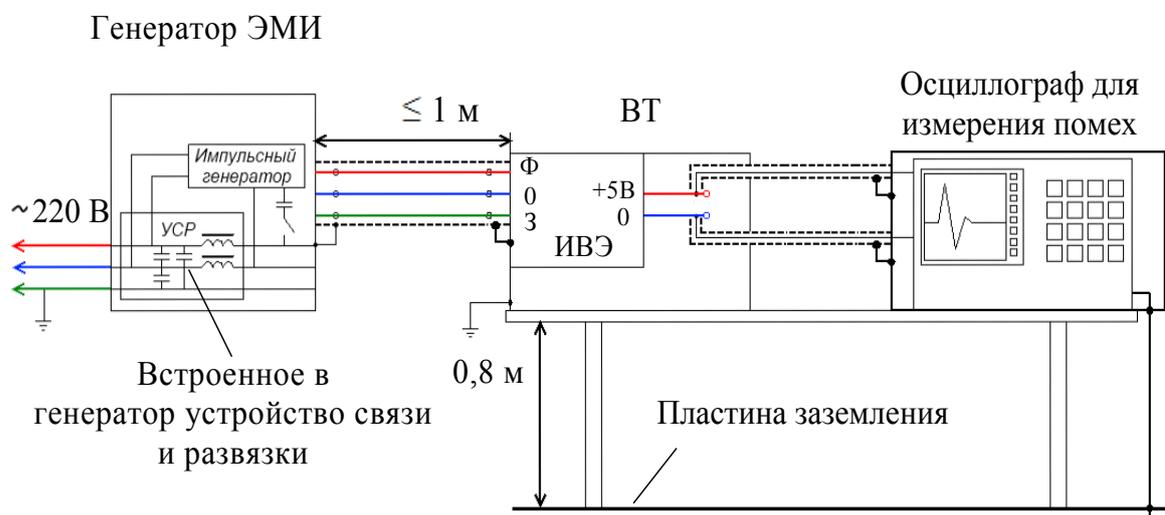


Рис. 5. Схема экспериментального стенда

Качественная оценка функционирования ВТ проводится путем исследования соответствия критериям помехоустойчивости ВТ (*A, B, C, D*) [3]. Количественная оценка проводится путем измерения амплитуды электромагнитных помех на выходе ИБЭ (вход питания элементов ВТ) и проведением соответствия его конкретному качественному критерию

функционирования ВТ. Представленные ниже количественные результаты являются средними показателями для 30-и повторных измерений с одними исходными данными. На рис. 6 представлена зависимость амплитуды электромагнитных помех на выходе источника вторичного электропитания ВТ ( $U_{п}$ ) от величины воздействующих микросекундных ЭМИ по сети электропитания ( $U_{ЭМИ}$ ).

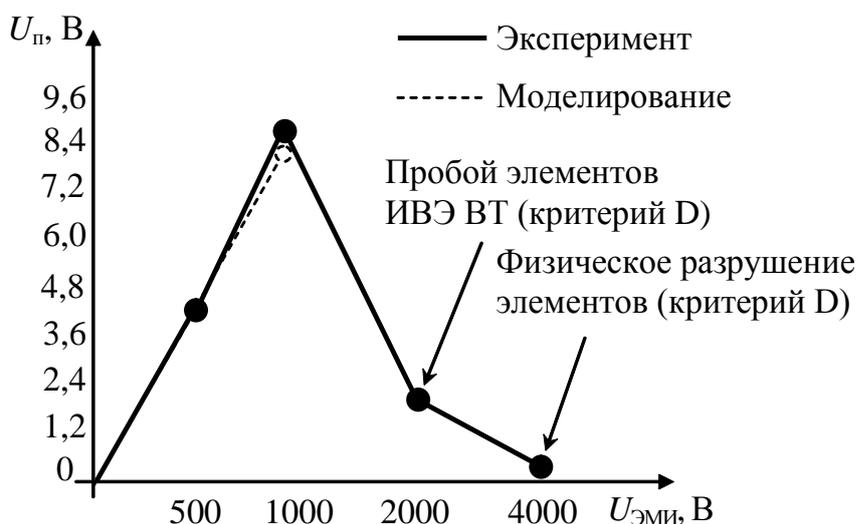


Рис. 6. Зависимость напряжения электромагнитной помехи на выходе ИВЭ ВТ от амплитуды воздействующего ЭМИ

Пример электромагнитной помехи на выходе источника вторичного электропитания ВТ при воздействии микросекундных электромагнитных помех по сети электропитания представлена на рис. 7.

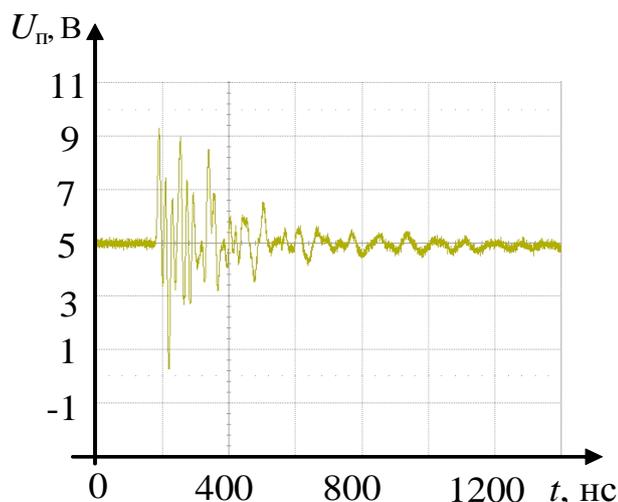


Рис. 7. Пример электромагнитной помехи на выходе ИВЭ ВТ при воздействии ЭМИ (1 кВ) по сети электропитания

Сводные результаты экспериментальных исследований помехоустойчивости ВТ при воздействии микросекундных электромагнитных помех по сети электропитания представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследования функционирования ВТ при воздействии ЭМИ по сети электропитания

Амплитуда ЭМИ, В	Напряжение электромагнитной помехи на выходе ИВЭ ВТ, В (критерий качества функционирования)
500	3,6 (А)
1000	3,8 (А)
2000	(А)/(D)*
4000	(D)

\*частичное пробивание и физическое разрушение элементов источника вторичного электропитания ВТ при 16-м повторном ЭМИ.

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

- при воздействии ЭМИ до амплитуды 2000 В, нарушение качества функционирования ВТ не обнаружено (критерий «А»);

- начиная с амплитуды напряжения ЭМИ 2000 В наблюдаются разрушения элементов источника вторичного электропитания ВТ (при наличии внешнего устройства защиты, элементов его сетевого фильтра). Причем повреждения имеют не мгновенный характер, а происходят только после многократных воздействий ЭМИ на ВТ. Сначала наблюдаются частичные пробой во входном резисторе и конденсаторе сетевого фильтра, без ухудшения качества функционирования ВТ. Затем происходит физическое разрушение данных элементов и прекращение функционирования ВТ (критерий «D»);

- воздействие ЭМИ по сети электропитания с амплитудой 4000 В приводит к отказу функционированию ВТ вследствие мгновенного физического разрушения выходного конденсатора и/или диодного моста источника

вторичного электропитания (при наличии внешнего устройства защиты, элементов его сетевого фильтра) (критерий «D»);

- при воздействии ЭМИ с микросекундными параметрами, в данных исследованиях, не выявлено временного нарушения качества функционирования ВТ, связанного с информационным сбоем цифровых элементов (критерий «B»).

### 3. Повышение помехоустойчивости ВТ при воздействии электромагнитных помех от сети электропитания.

Анализ существующих методов и способов повышения помехоустойчивости ВТ при электромагнитных воздействиях по сети электропитания позволяет говорить о двух основных направлениях: технические устройства и организационные мероприятия [1]. Технические устройства могут применяться индивидуально для ВТ, могут быть установлены на входе линий электроснабжения зданий или других объектов, где ВТ эксплуатируется. На практике выбирают ту или иную комбинацию технических устройств, которые подходят для определённой ВТ для наилучшего подавления конкретных ЭМИ по сети электропитания (рис. 8).



Рис. 8. Технические устройства повышения помехоустойчивости ВТ при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания

Многие, наиболее часто применяемые технические устройства защиты ВТ от помех по сети электропитания имеют свои недостатки. Например, в работе [10] проведен анализ входных фильтров современных источников вторичного электропитания ВТ. Выявлено, что, несмотря на соответствующие сертификаты, регламентирующие обязательное присутствие входных фильтров на ИВЭ ВТ, возможно частичное или полное отсутствие каких-либо элементов высокочастотных фильтров и ограничителей перенапряжения. Также отмечается несоответствие номиналов различных элементов (как правило, в сторону уменьшения и удешевления) входного фильтра относительно заявленных параметров. Кроме того, отмечается, что современные устройства защиты не квалифицируются по природе воздействия. Из-за данного факта при преднамеренных электромагнитных воздействиях по сети электропитания появляется возможность пути обхода данных устройств защиты [11].

В работе [12] исследуются процессы старения металлооксидных варисторов, т.е. постепенная потеря их способностей (потеря мощности в условных единицах) ограничивать импульсные перенапряжения при последовательном воздействии на них импульсов тока с параметрами 8/20 мкс и с амплитудой от 10 до 30 кА. Из проведенных исследований вытекают следующие выводы: есть прямая зависимость между амплитудой действующего ЭМИ и их количеством до полного разрушения варистора. Например, испытываемые варисторы были подвергнуты воздействию 90 импульсов тока с амплитудой до 15 кА без каких-либо деградаций. Однако при воздействии 20 кА большинство образцов разрушились после 12 импульсов. Воздействие с амплитудой 30 кА выдержали только три варистора из 50 и только два раза; чем выше эксплуатационная температура устройства защиты, тем на большем уровне происходит ограничение тока ЭМИ. Авторы также предлагают конечному потребителю использовать устройство, контролирующее процесс старения, для контроля защитных свойств варистора.

Также необходимо отметить работу [13], в которой исследуется способность варистора противостоять воздействию ЭМИ молнии. Автор

отмечает, что стандартные процедуры проверки устройств защиты по сети электропитания не принимают во внимание субмикросекундной составляющей воздействующих ЭМИ данного вида.

Что касается новых методов и устройств защиты от электромагнитных воздействий по сети электропитания, то необходимо отметить работы под руководством Т.Р. Газизова [14]. В них описываются принципы создания защитных модальных фильтров от коротких высоковольтных ЭМИ, воздействующих в том числе по сети электропитания. Данные устройства защиты отличаются от аналогов тем, что в них не используются радиоэлектронные компоненты, а применяются особые структуры кабельных соединений, которые способствуют разложению опасных сверхкоротких высоковольтных ЭМИ.

Некоторые недостатки указанных выше защитных устройств можно устранить в технических решениях, предлагаемых авторами статьи [8, 9]. В работе [8] предлагается источник вторичного электропитания ВТ с новыми конструктивными решениями элементов, которые предназначены для снижения электромагнитных помех при их воздействии по первичной сети электропитания. В исходной реализации типичные источники вторичного электропитания содержат внутренние сетевые кабели и кабели питания элементов ВТ в виде обычных двухпроводных линий, что приводит к возникновению существенной паразитной емкости непосредственно между ними, а также паразитной емкости через металлический корпус. С целью снижения электромагнитных помех проникающих через источник вторичного электропитания реализованы три технических решения. В первом варианте решения предлагается использовать внутренние экранированные сетевые и кабели питания элементов ВТ; во втором варианте решения используются внутренние сетевые и кабели питания элементов, выполненные в виде витой пары проводников; аналогично, в третьем варианте решения используются внутренние кабели в виде экранированной витой пары проводников. Применение предложенных решений позволяет снизить до 23 % амплитуду

микросекундных электромагнитных помех от сети электропитания (рис. 9).

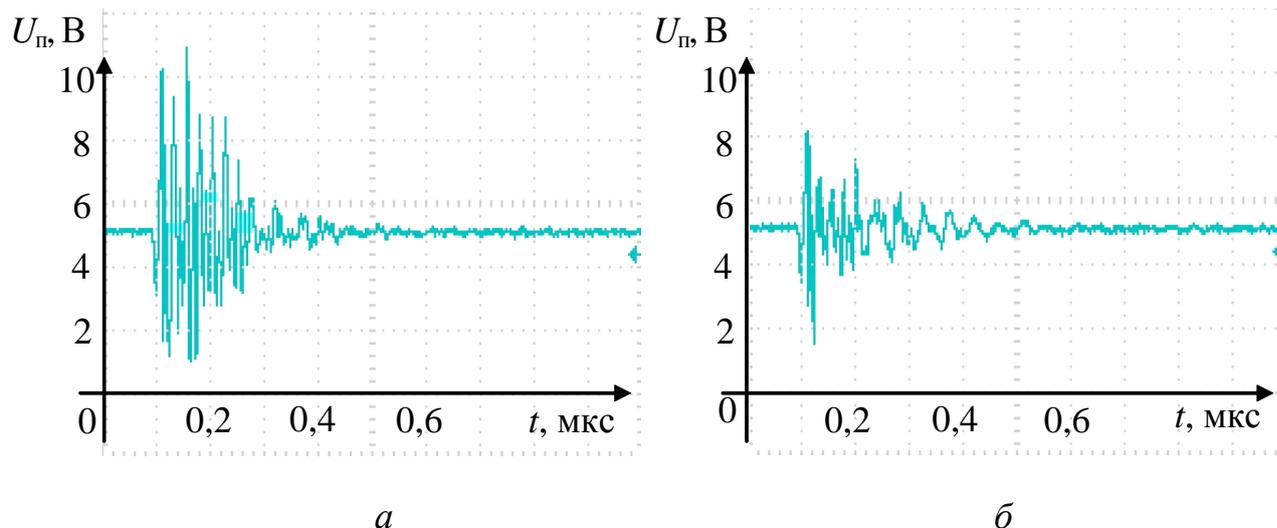


Рис. 9. Пример экспериментальных исследований электромагнитных помех:  
*а* – исходный ИВЭ; *б* – ИВЭ с новым техническим решением

Для повышения помехоустойчивости ВТ при электромагнитных воздействиях по сети электропитания на третьем и четвертом рубежах защиты зданий, как правило, применяются сетевые высокочастотные фильтры, полупроводниковые ограничители напряжения и их комбинации. Основным изъяном данных устройств является недостаточное энергопоглощение, процесс «старения» варисторов [12] и присутствие паразитных емкостей и индуктивностей входных и выходных выводов. Предлагаемое в работе [9] техническое решение позволяет снизить негативное воздействие сказанных недостатков данных устройств. Техническое решение относится к электрическим разъемам, предназначенным для подключения ВТ к первичной электрической сети с повышенной защитой от высокочастотных и высоковольтных электромагнитных помех. При воздействии микросекундных ЭМИ в среднем снижение амплитуды электромагнитных помех составляет до 30 % (рис. 10).

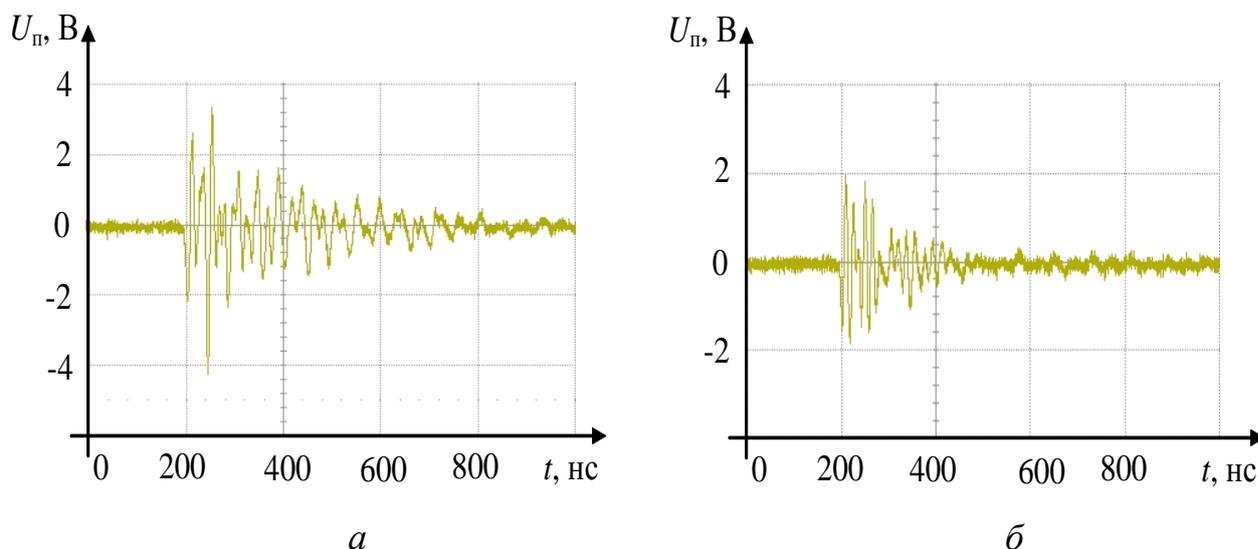


Рис. 10. Пример экспериментальных исследований электромагнитных помех:  
*a* – исходный вариант внешнего устройства защиты; *б* – внешнее устройство защиты с новым техническим решением

## Выводы

Представленные в научно-технической литературе многочисленные результаты исследований, выявляющих нарушение качества функционирования ВТ при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания указывают на не снижающуюся остроту данной проблемы. Эффективным решением проблемы помехоустойчивости ВТ при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания является ее учет на этапе проектирования. Решение о необходимости повышения помехоустойчивости вычислительной техники при воздействии помех формируются на основе результатов прогнозирования. И только обоснованный выбор, применение комбинации известных и новых технических устройств, в совокупности с организационными мероприятиями позволяет эффективно повысить помехоустойчивость ВТ при электромагнитных воздействиях по сети электропитания.

## Литература

1. Р.М. Гизатуллин, З.М. Гизатуллин. Помехоустойчивость и информационная безопасность вычислительной техники при электромагнитных воздействиях по сети электропитания: монография. Казань:

Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. 142 с.

2. ГОСТ Р 51317.4.4-2007. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2007. 28 с.

3. ГОСТ Р 51317.4.5-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2000. 32 с.

4. ГОСТ Р 52863-2007. Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 2008. 33 с.

5. Parfenov Y.V., Zdoukhov L.N., Radasky W.A. Conducted IEMI threats for commercial buildings // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 2004. No3. pp. 404–411.

6. Fortov V. Estimation of pulse electromagnetic disturbances penetrating into computers through building power and earthing circuits // Digest of EUROEM 2000. Edinburgh, 2000. p.14.

7. Time domain reflectometry. Application note No 62. USA: Hewlett Packard, 1964. 19 p.

8. Пат. №119957 РФ, Вторичный источник электропитания (варианты) / З.М. Гизатуллин, Р.М. Гизатуллин; опубл. 27.08.2012, Бюл. №24. 2 с.

9. Пат. 119945 РФ, Электрическая розетка с защитой от помех / З.М. Гизатуллин, Р.М. Гизатуллин; опубл. 27.08.2012, Бюл. №24. 3 с.

10. А.В. Соколов, О.М. Степанюк. Защита от компьютерного терроризма: справочное пособие. СПб.: БХВ-Петербург Арлит, 2002. 496 с.

11. Л.Н. Кечиев, П.В. Степанов. ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникаций. М.: Издат. дом «Технологии», 2005. 320 с.

12. Martinez L., Queiroz A. Ageing of Metal Oxide Varistors due to Surges // International Symposium on Lightning Protection. Fortaleza, 2011. pp. 171–176.

13. Montano R. The Effects of Lightning on Low Voltage Power Networks // Acta Universitatis Upsaliensis. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology. Uppsala, 2006. 89 p.

14. И.В. Самотин. Устройства защиты вычислительной техники и систем управления путем модального разложения импульсов помех в кабельных и полосковых структурах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2011. 19 с.