

УДК 621.317.3

В. В. КНЯЗЕВ, В. М. ИВАНОВ, А. И. ТАНЦУРА**ИСПЫТАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КАЛЬКУЛЯТОРА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭМИ НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА**

Представлено результати випробувань стійкості електронного калькулятора до впливу електромагнітного імпульсу з параметрами, які відповідають вимогам MIL-STD-461G (процедура RS105). Випробування проведені з використанням технічного забезпечення Еталону одиниць сильних імпульсних електричних і магнітних полів. Результати випробувань показали, що вже при напруженості електричного поля ЕМІ рівній 17,7 кВ/м проявляється ефект обнулення інформації на екрані калькулятора.

Ключові слова: стійкість, електромагнітний імпульс, електронний калькулятор, генератор ЕМІ.

Представлены результаты испытаний устойчивости электронного калькулятора к воздействию электромагнитного импульса с параметрами, соответствующими требованиям MIL-STD-461G (процедура RS105). Испытания проведены с использованием технического обеспечения Эталона единиц сильных импульсных электрических и магнитных полей. Результаты испытаний показали, что уже при напряженности электрического поля ЭМИ равной 17,7 кВ/м проявляется эффект обнуления информации на экране калькулятора.

Ключевые слова: устойчивость, электромагнитный импульс, электронный калькулятор, генератор ЭМИ.

Results of tests for immunity of electronic calculator to action of electromagnetic pulse with parameters corresponding to the requirements of MIL-STD-461G (procedure RS105) are presented. The tests were carried out with use of hardware of the Primary standard of units of strong pulsed electric and magnetic fields. For this purpose, additionally, the generator of EMP supplying the specified amplitude-time parameters of a pulse, connected in the system of the Primary standard of REMP instead of the generator of exponential pulses, was made. The results of the tests showed that effect of nulling of information at the calculator screen takes place already at electric field strength of EMP of 17,7 kV/m, but its serviceability remains intact. When electric field was 35.2 kV/m serviceability of the calculator was broken (the screen went out, without possibility to recover serviceability by «turn on-turn off» operation). Analysis showed that the failure was caused by degradation of the controller.

Key words: immunity, electromagnetic pulse, electronic calculator, generator of EMP.

Введение

Процедура RS105 стандарта MIL-STD-461G [1] предназначена для испытания устойчивости отдельных блоков и автономных образцов технических средств. Требуемые размеры испытательного объема связаны с габаритными размерами испытываемого изделия. Для ТС, максимальный габаритный размер которых не превышает 0,15 м, в полной мере пригоден имитатор, описанный далее.

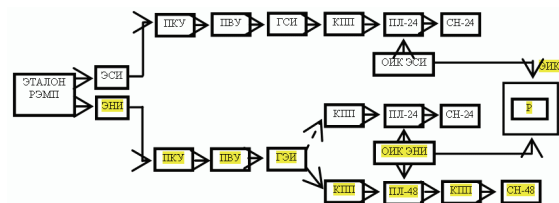
1 Тип имитатора

Имитатор ЭМИ реализован на базе эталона единиц физической величины напряженности импульсных электрических и магнитных полей (Эталон РЭМП) [2, 3]. структурная схема эталона РЭМП представлена на рис. 1.

Эталон представляет собой специализированную высоковольтную импульсную установку. Напряженность импульсного электрического поля, создаваемого в эталоне, лежит в диапазоне от 4 кВ/м до 200 кВ/м, а магнитного поля – в диапазоне от 10 А/м до 500 А/м. Длительность фронта импульсов менее 10^{-9} с.

Для целей данной работы использовался эталон наносекундных импульсов (ЭНИ), и другие элементы системы, которые выделены на рисунке 1 желтым. Генератор экспоненциальных импульсов (ГЭИ), был настроен на формирование импульсов с временными параметрами, соответствующими ЭМИ ЯВ, и обеспечивающим амплитуду напряженности электрического поля в диапазоне от 4 кВ/м до 60 кВ/м при использо-

вании ПЛ-48, что полностью удовлетворяет требованиям стандарта MIL-STD-461G [1]. Соответствующие осциллограммы представлены далее.



ЭСИ – эталон субнаносекундных импульсов ЭМП;
 ЭНИ – эталон наносекундных импульсов ЭМП;
 ПКУ – пульт контроля и управления;
 ПВУ – повысительно-выпрямительное устройство;
 ГСИ – генератор ступенчатых импульсов;
 ГЭИ – генератор экспоненциальных импульсов;
 КПП – коаксиально-полосковый переход;
 ПЛ-24 – полосковая линия с расстоянием между пластинами 0,24 м;
 ПЛ-48 – полосковая линия с расстоянием между пластинами 0,48 м;
 СН – согласующая нагрузка;
 ОИК – образцовый измерительный комплекс;
 Р – регистраторы;
 ЭИК – экранированная измерительная кабина

Рисунок 1 – Структурная схема Эталона РЭМП

Общий вид Эталона РЭМП приведен на рис. 2.

Две независимые части Эталона – ЭСИ и ЭНИ работают поочередно. Общими элементами ЭСИ и ЭНИ являются ПКУ, ПВУ, и ОИК с регистратором (Р), расположенным в экранированной измерительной кабине (ЭИК).

ПКУ (рис. 3) устанавливает вид работающего

Эталона, режим его работы (одиночный или частотный, ручной или автоматический), уровень зарядного напряжения и осуществляет контроль за функционированием всех задействованных элементов Эталона.



Рисунок 2 – Общий вид Эталона РЭМП



Рисунок 3 – Общий вид ПКУ

Генератор экспоненциальных импульсов (ГЭИ) состоит из высоковольтного емкостного накопителя энергии, представленного на рис. 4, управляемого газового разрядника и коаксиально-полоскового перехода на полеобразующую систему. Разрядник заполнен азотом под давлением от 5 до 8 атмосфер, что позволяет регулировать скорость коммутации. В этом случае, учитывая рабочее напряжение до 50 кВ, не потребовалось использование схемы Маркса для умножения выходного напряжения генератора.

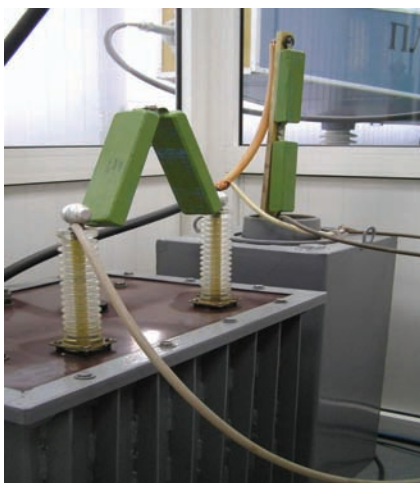
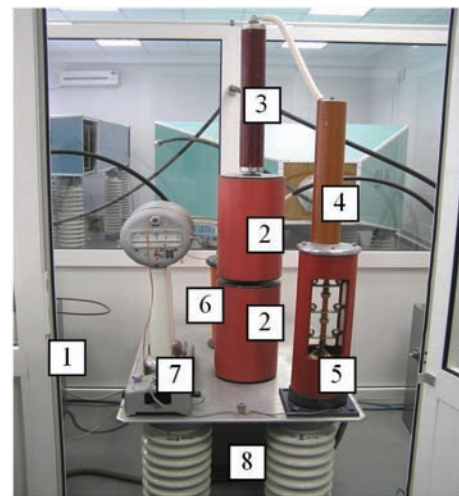


Рисунок 4 – Общий вид ГЭИ

Емкостной накопитель энергии заряжается от

ПВУ, на которое подается напряжение с ПКУ, до заданного уровня $U_{зар}$ в диапазоне от 2 кВ до 50 кВ. При достижении заданного уровня $U_{зар}$ на емкостном накопителе, с ПКУ подается напряжение на обмотку электромагнита разрядника. Происходит механическое замыкание электродов разрядника (разрядник срабатывает) и емкостной накопитель энергии разряжается на полеобразующую систему через коаксиально-полосковый переход (КПП). Полеобразующая система, выполнена в виде симметричной полосковой линии, с волновым сопротивлением 50 Ом. В полосковой линии формируется импульс экспоненциальной формы с заданными параметрами длительности фронта и спада.

В качестве первичного источника используется повысительно-выпрямительное устройство (ПВУ), обеспечивающее подачу высокого постоянного напряжения до 50 кВ, необходимого для заряда ГЭИ. ПВУ размещено в отдельном отсеке на подставке с размерами 1100x750x500 мм, ограниченной металлостеклянной перегородкой высотой 2 м., с запираемой дверью. На двери установлен путевой выключатель, предназначенный для аварийного отключения установки при открывании дверей. В этом же отсеке размещены - накопитель энергии для ГЭИ с разрядником. Внешний вид ПВУ показан на рис. 5, а расположение элементов ПВУ и ГЭИ внутри отсека – на рис. 6.

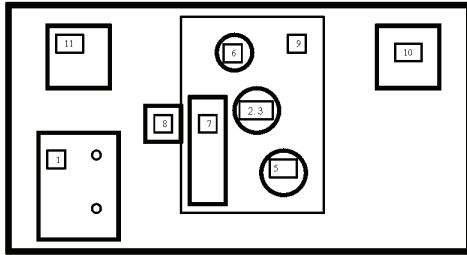


- 1 – высоковольтный трансформатор (слева, на фото не виден);
- 2 – вентиль высоковольтный; 3 – резистор зарядный;
- 4 – резистор защитный; 5 – короткозамыкатель;
- 6 – делитель напряжения; 7 – киловольтметр; 8 – конденсатор

Рисунок 5 – Повысительно-выпрямительное устройство

Вентиль высоковольтный предназначен для выпрямления напряжения и выполнен на базе четырнадцати последовательно соединенных выпрямительных столбов типа КЦ 201Д, параллельно каждому из которых подключен конденсатор типа ПОВ-15-390 пФ с целью равномерного распределения напряжения на вентильных столбах. Конструктивно вентиль собран в стеклоэпоксидном цилиндре.

Короткозамыкатель К-31 предназначен для замыкания высоковольтных цепей ПВУ и заземления емкости емкостного накопителя энергии по окончании работы или аварийном отключении.



1 – высоковольтный трансформатор; 2 – высоковольтный диод;
3 – зарядный резистор; 4 – защитный резистор;
5 – короткозамыкатель; 6 – омический делитель напряжения;
7 – киловольтметр; 8 – конденсатор ПВУ;
9 – панель для размещения элементов;
10 – емкостной накопитель ГСИ; 11 – емкостной накопитель ГЭИ

Рисунок 6 – Схема расположения элементов внутри отсека ПВУ и ГЭИ

Конструктивно К-31 содержит подвижный шток, на котором зафиксированы три пары последовательно включенных подвижных электродов и неподвижных контактов, которые образуют шесть высоковольтных контактов. Исходное положение короткозамыкателя – контакты замкнуты. При подаче напряжения на катушку электромагнита он срабатывает и через приводной механизм приводит к разрыву высоковольтных контактов и возможности подачи высокого напряжения на генераторы. При отключении питания электромагнита (в том числе и аварийного) подвижный контакт возвратится в исходное положение, осуществляя замыкание высоковольтных контактов. При таком положении высоковольтные цепи ГЭИ, ГСИ и ПВУ закорачиваются на землю.

Делитель постоянного напряжения типа Д-4 предназначен для использования в качестве первичного измерительного преобразователя совместно с цифровым вольтметром постоянного напряжения В2-22. Конструктивно Д-4 собран в стеклоэпоксидном цилиндре.

2 Тип полеобразующей системы

Основные требования к полеобразующей системе (ПС) – это создание E - и H -полей с равномерной структурой, четко известными направлениями векторов полей и легко рассчитываемыми амплитудами по геометрическим размерам ПС. Наиболее удовлетворяют этим требованиям ПС типа полосковых линий (ПЛ). ПЛ – это два достаточно длинных ленточных проводника толщиной d (как правило набираются из отдельных многожильных проводов), шириной b и длиной l , расположенных параллельно друг над другом на расстоянии h для которых выполняется требования (1) – (3):

$$b, l > h; \quad (1)$$

$$d \ll b, l, h; \quad (2)$$

$$\lambda < h, b, l, \quad (3)$$

где λ – эквивалентная длина волны.

Вдоль ПЛ распространяется плоская электромагнитная волна ТЕМ-типа, которая в любом поперечном сечении ПЛ имеет однозначное направление векторов \vec{E} и \vec{H} -полей, а их соотношение определяется формулами:

$$E/H = 120 \pi; \quad (4)$$

$$E = U/h, \quad (5)$$

где: U – напряжение, подаваемое с генератора на внутренний полосок, В;

h – расстояние между электродами ПЛ, м.

Элементами полеобразующей системы рассматриваемого имитатора ЭМИ ЯВ являются следующие основные узлы:

- коаксиально-полосковый переход (КПП 48-1);
- симметричная полосковая линия с $h = 0,48$ м (ПЛ-48);
- коаксиально-полосковый переход (КПП 48-2);
- согласующая нагрузка (СН 2).

Коаксиально-полосковый переход (КПП 48-1) служит для согласования полосковой линии ПЛ-48 с ГЭИ. КПП состоит из двух секций – конической и согласующей. Коническая секция представляет собой заполненный трансформаторным маслом конический переход длиной 0,6 м от коаксиального кабеля (РК 50-17-17) к волноводу с кругло-коаксиальным поперечным сечением, диаметр внешнего электрода 0,24 м. Согласующая секция длиной 2 м имеет воздушную изоляцию и является переходом от кругло-коаксиального тракта узла ввода к прямоугольно-коаксиальному тракту полосковой линии.

Полосковая линия с межэлектродным расстоянием $h = 0,48$ м (ПЛ-48) представляет собой симметричную полосковую линию замкнутого типа с горизонтальным участком длиной 3 м. Расстояние между электродами полосковой линии аттестовано службой Госстандарта Украины. Абсолютная погрешность составляет менее 1 мм. Общий вид полосковой линии ПЛ-48 показан на рис. 7. Следует отметить, что согласующие секции и полосковая линия выполнены из отдельных многожильных проводников. Вся конструкция обшита пластиком с относительной диэлектрической проницаемостью менее 1,2.

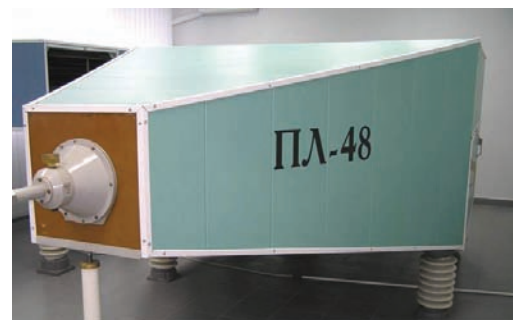


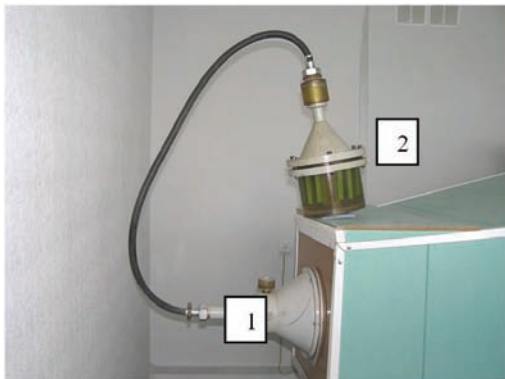
Рисунок 7 – Общий вид ПЛ-48 с КПП 48-1

Коаксиально-полосковый переход (КПП 48-2) служит для согласования полосковой линии ПЛ-48 с согласующей нагрузкой и конструктивно идентичен КПП 48-1.

На рис. 8 представлена согласующая нагрузка СН-2 (50 Ом), которая предназначена для согласования волнового сопротивления ПЛ-48, что обеспечивает минимизацию уровня отраженного сигнала.

При аттестации Государственного эталона РЭМП Российской Федерации, имеющего аналогичную структуру, доказано, что поле внутри ПЛ является

ТЕМ волной с высокой степенью однородности (погрешность менее 1,5 %) в рабочем объеме. Расчетное значение напряженности электрического поля, определяемое по формуле (5) отличается от истинного в пределах 3 %.



1 – Коаксиально-полосковый переход КПП 48-2;
2 – Согласующая нагрузка СН-2
Рисунок 8 – Общий вид КПП 48-2 с согласующей нагрузкой СН-2

Таким образом, измерение параметров ЭМИ ЯВ внутри ПЛ можно осуществлять датчиком полоскового типа СПЕФВ-ЕК с кабельной линией передачи информации.

3 Характеристики испытательной площадки

В соответствии с требованиями стандарта [1] размеры испытываемого изделия не должны превышать аттестованный испытательный объем имитатора. При использовании полосковой линии, объем ограничен такими значениями $(h/3, A/2, B/2)$, (h – расстояние между пластинами в горизонтальной части полеобразующей системы, A и B – длина и ширина полеобразующей системы). Основываясь на эти требованиях, характеристики испытательной площадки рассматриваемого имитатора ЭМИ ЯВ на базе эталона РЭМП составляют такой объем: по высоте – 0,16 м, по длине – 1,0 м, по ширине – 0,75 м).

4 Измерительное оборудование и схема размещения измерительной системы на имитаторе

Современные средства измерения импульсных электромагнитных процессов описаны в работах [4-6]. Измерительный комплекс входящий в состав имитатора обеспечивает измерение выходных параметров импульсного электрического и магнитного полей, создаваемых в рабочем объеме полосковой линии. Комплекс состоит из трех СИТ:

– СПЕФВ-ЕК с кабельной линией передачи информации для измерения электрической компоненты, представлен на рис. 9;

– СПЕФВ-ЕО с волоконно-оптической линией передачи информации для измерения электрической компоненты, представлен на рис. 10;

– СПЕФВ-НО с волоконно-оптической линией передачи информации для измерения магнитной компоненты.

Метрологическая аттестация СИТ проведена на

Государственном специальном эталоне во ФГУП ВНИИОФИ (Россия) в соответствии с положениями стандарта ГОСТ 8.540-2015. Метрологические характеристики СПЕФВ-ЕК, представлены в табл. 1.



Рисунок 9 – СПЕФВ-ЕК с кабельной линией передачи информации

Таблица 1 – Метрологические характеристики СПЕФВ-ЕК

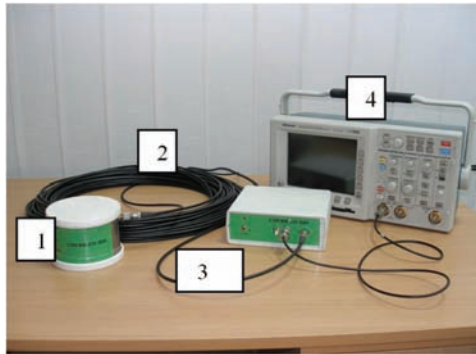
Наименование характеристики	Един. измерения	Величина
Коэффициент преобразования в диапазоне амплитудных значений $(4 \div 200)$ кВ/м	В/(В/м)	$4,82 \times 10^5$
Время нарастания переходной характеристики между уровнями 0,1 – 0,9 от установившегося значения при доверительной вероятности $P = 0,95$	нс	128 ± 12
Длительность переходной характеристики на уровне 0,5 установившегося значения амплитуды	нс	150
Доверительные границы относительной погрешности измерения коэффициента преобразования при доверительной вероятности 0,95 – для первых 50 нс длительности ПХ	%	3,3
– для всей длительности ПХ		4,4

Аттестация испытательного объема Эталона РЭМП, проведена ФГУП ВНИИОФИ, с указанием степени неоднородности не более 3 %. Аттестация проведена с использованием СПЕФВ-ЕО, представленного на рис. 10.

СПЕФВ-ЕК располагается на нижней заземленной пластине полосковой системы. При этом нижняя поверхность преобразователя имеет нулевой потенциал. За счет малой толщины (3 мм) преобразователя искажения поля в ПЛ не происходит.

Через отверстие в нижней плоскости имитатора, линии связи от СПЕФВ отводятся вертикально вниз, где входят в металлическую трубу, идущую вдоль стены к измерительной экранированной кабине (ИЭК). Измерительная экранированная кабина имеет размеры $2,1 \times 1,45 \times 0,95 \text{ м}^3$. Стены, пол и потолок обшиты стальным листом, с дальнейшей проваркой стыковочных и соединительных швов, двери также металлические, с обеспечением полного гальваниче-

ского контакта по периметру. Внутри кабина обшита изоляционным материалом (фанера) с пенопластовой прослойкой.



1 – блок емкостного измерительного преобразователя (БЕИП);
2 – оптический кабель; 3 – блок фотоприемника (БФП);
4 – осциллограф Tektronix TDS-3052B

Рисунок 10 – Общий вид измерителя СПЕФВ-ЕО с регистратором

Регистрация сигнала осуществляется комплексом (Р), состоящим из двух цифровых запоминающих осциллографов: «Tektronix TDS 3052B» (полоса пропускания 500 МГц) и DPO 4104 (полоса пропускания 1000 МГц). ИЭК оснащена электрическим питанием, поступающим через фильтр и автономным источником питания от аккумуляторной батареи (в случае необходимости). Информация с осциллографов передается через внутреннюю сеть на персональный компьютер для дальнейшей обработки.

5 Оцифрованная временная реализация ЭМИ и частотный спектр

При проведении испытаний устойчивости выbranного образца ТС, регистрация параметров действующего ЭМИ осуществлялась с использованием СПЕФВ-ЕК, поскольку, только его время нарастания переходной характеристики (128 пс) обеспечивает погрешность измерений менее 1 %. В качестве регистратора использовался цифровой осциллограф DPO 4104, имеющий погрешность измерения не более 1 %.

Типовая осциллограмма напряженности импульсного электрического поля в ПЛ представлена на рис. 11. Расшифровка параметров напряженности электрического поля в ПЛ, представлена в табл. 2.

Примечания:

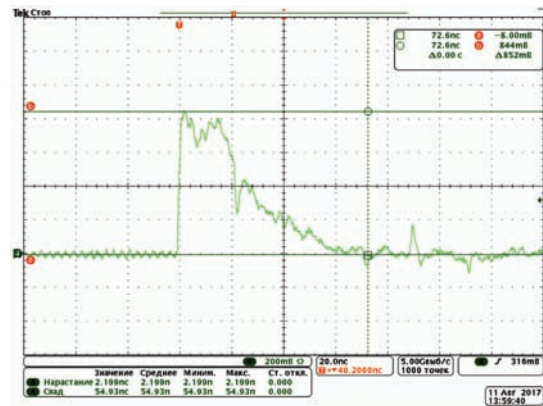
1. На осциллограмме (рис. 12) «спад» определен равным 54,9 нс. Это связано с тем, что осциллограф рассчитывает значение по уровню 0,1 от максимального.

2. Значение напряженности получено при зарядном напряжении генератора 15 кВ.

3. Изменение величины зарядного напряжения приводит к соответствующему изменению напряженности E -поля в ПЛ, без существенного изменения формы импульса.

Для получения спектрального состава импульса реализовано два варианта. Во-первых, использовалась опция осциллографа DPO 4104, осуществляющая быстрое Фурье преобразование по алгоритму Блекмана-

Харриса. Результат представлен на рис. 12 красной линией.

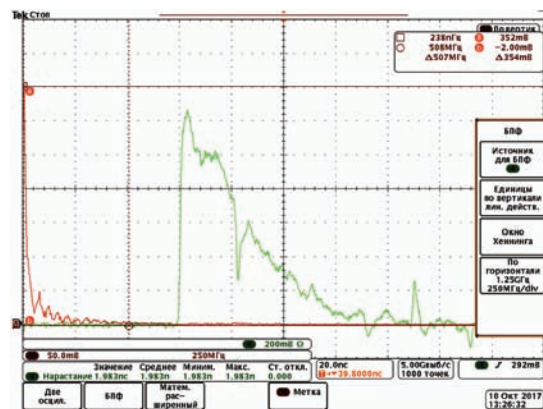


DPO4104 - 13:22:52 11.08.2017

Рисунок 11 – Осциллограмма напряженности электрического поля (при 15 кВ зарядного напряжения)

Таблица 2 – Параметры напряженности электрического поля

Наименование характеристики	Един. измерения	Значение величины
Значение напряженности	кВ/м	17,7
Время нарастания между уровнями 0,1 – 0,9 от максимального значения	нс	2,2
Длительность импульса на уровне 0,5 от максимального значения ¹⁾	нс	22,0
Доверительные границы относительной погрешности измерения значения напряженности при доверительной вероятности 0,95	%	3,3



DPO4104 - 13:26:21 10.10.2017

Рисунок 12 – Спектрограмма напряженности электрического поля (левая кривая) для характерного импульса ЭМИ (правая кривая)

Из анализа спектрограммы можно сделать вывод, что в спектре генерируемого импульса практически отсутствуют частоты ниже 100 МГц, максимум находится на частоте 250 МГц, а верхняя граничная частота равна 500 МГц.

6 Результаты испытаний

Для реализации процедуры оценки уровня устойчивости технического средства к действию ЭМИ, вы-

бран электронный калькулятор, представленный на рис. 13. Выбор основан на учете следующих обстоятельств. Габаритные размеры калькулятора соответствуют испытательному объему ПЛ-48. Качество функционирования в процессе испытаний легко проверяется без дополнительной диагностической аппаратуры. Изделие имеет автономное питание, поэтому, влияние трассировки кабеля питания исключено.

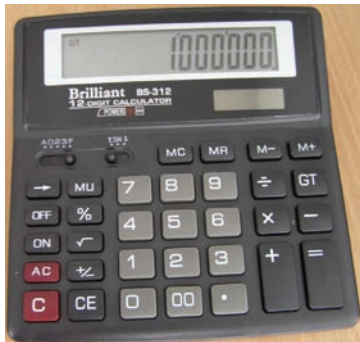


Рисунок 13 – Электронный калькулятор

При испытаниях ТС располагалось в испытательном объеме ПЛ в трех вариантах ориентации относительно вектора напряженности электрического поля, как показано на рис. 14. Очевидно, что это не все возможные варианты ориентаций ТС по отношению к векторам E и H полей. Выбор этих ориентаций обусловлен особенностью конструкции ТС. Учитывая относительно небольшую толщину ТС, наибольшее влияние магнитного поля ожидается в случае, когда панель ТС перпендикулярна к направлению вектора магнитного поля.

В качестве подставки для размещения ТС в центре испытательного объема ПЛ используется пенопластовая панель, которая практически не влияет на распределение напряженности электрического и магнитного полей, поскольку, относительные значения диэлектрической проницаемости и магнитной проницаемости материала близки к 1.

Последовательность установки ориентаций выбран из соображений уменьшения порога устойчивости ТС на основании экспертной оценки. Это важно для того, чтобы испытать максимально возможное число вариантов расположения ТС.

Программа испытаний включала такие этапы:

1 Испытания начинаются с подачи ЭМИ, напряженность электрического поля которого 5 кВ/м (10 % от номинала), полярность положительная. Начальная ориентация № 1. Далее, при этой напряженности испытываются последовательно ориентации № 2 и № 3. Для каждой ориентации подается по 2 импульса ЭМИ. После каждого воздействия проверяется качество функционирования. Поэтому, время между импульсами превышает 1 минуту.

2 Изменяется полярность подаваемого напряжения на отрицательную. Повторяется процедура по п.1.

3 В соответствии с требованиями стандарта [1], следующий уровень может быть установлен 25 кВ/м. Однако, учитывая особенности испытываемого ТС, увеличение напряженности электрического поля осу-

ществляется на 10 кВ/м, т.е. устанавливается напряженность 15 кВ/м, затем 25 кВ/м, 35 кВ/м и 50 кВ/м.

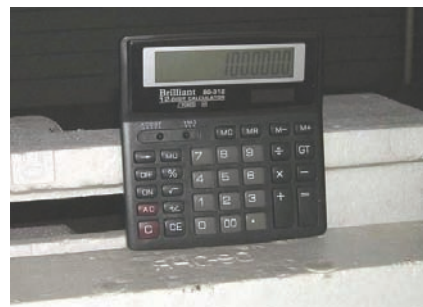
На каждом установленном уровне реализуется процедура по п. 1 и п. 2.



а) положение 1 – горизонтальное



б) положение 2 – на боку



в) положение 3 – вертикальное

Рисунок 14 – варианты размещения ТС при испытаниях

4 Качество функционирования ТС оценивается по факту показаний на дисплее после воздействия и способности выполнять вычислительные функции.

Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Критерии качества функционирования идентифицируются следующим образом:

А – показания на дисплее не изменились, способность выполнять вычислительные функции сохранена (штатный режим функционирования).

В – показания на дисплее изменились, но способность выполнять вычислительные функции сохранена (функционирование восстанавливается без участия оператора).

С – показания на дисплее изменились, способность выполнять вычислительные функции утеряна (сбой режима функционирования, который устраняется оператором путем перезагрузки).

Д – дисплей потух, полный отказ работоспособности.

При значении напряженности электрического поля 35,2 кВ/м калькулятор утратил работоспособность, вследствие деградации контролера. На основании результатов можно сделать предположение о преимущественном влиянии Н-поля, поскольку, корпус калькулятора выполнен из пластика и не обеспечивает

достаточного уровня ослабления магнитной составляющей ЭМИ, а гальванические связи контролера обрывают замкнутую петлю.

Таблица 3 – Результаты испытаний устойчивости калькулятора

Напряженность E -поля	Полярность	Ориентация ТС	Номер испытания	Критерий функционирования
5,1 кВ/м	плюс	1	1.1	A
	плюс	1	1.2	A
	плюс	2	1.3	A
	плюс	2	1.4	A
	плюс	3	1.5	A
	плюс	3	1.6	A
	минус	1	1.7	A
	минус	1	1.8	A
	минус	2	1.9	A
	минус	2	1.10	A
17,7 кВ/м	плюс	2	1.11	A
	плюс	3	1.12	A
	плюс	1	2.1	A
	плюс	1	2.2	A
	плюс	2	2.3	B
	плюс	2	2.4	B
	плюс	3	2.5	B
	плюс	3	2.6	B
	минус	1	2.7	A
	минус	1	2.8	A
26,4 кВ/м	минус	2	2.9	B
	минус	2	2.10	B
	минус	3	2.11	B
	минус	3	2.12	B
	плюс	1	3.1	A
	плюс	1	3.2	A
	плюс	2	3.3	B
	плюс	2	3.4	B
	плюс	3	3.5	B
	плюс	3	3.6	B
35, 2 кВ/м	минус	1	3.7	A
	минус	1	3.8	A
	минус	2	3.9	B
	минус	2	3.10	B
	минус	3	3.11	B
	минус	3	3.12	B
	плюс	1	4.1	B
	плюс	1	4.2	B
	плюс	2	4.3	C
	плюс	2	4.4	C
плюс	3	4.5	D	

7 Общие тенденции зависимости уровня устойчивости ТС

В стандарте [7] обобщены результаты многочисленных исследований влияния на уровень устойчивости ТС параметров воздействующих электромагнитных излучений. В разделе А.3 стандарта [7] описано влияние ширины импульса. Электронное оборудование обычно реагирует либо на пиковую мощность, либо на среднюю мощность воздействующего электромагнитного излучения, связанную с длительностью импульса. На основании многочисленных данных для определения взаимосвязи между пиковыми и средними эффектами установлена закономерность, приведенная на рис. 15 (рис. А.4 [7]).

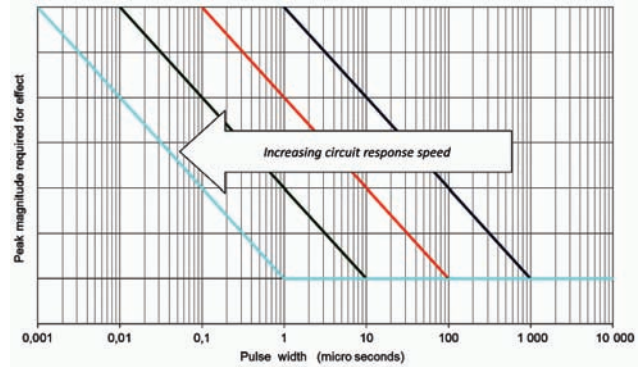


Рисунок 15 – Зависимость отказов от ширины импульса [7]

На рис. 15 показано, как пиковая мощность для отказа типичной схемы будет уменьшаться по мере увеличения ширины импульса, что соответствует средней мощности воздействующего электромагнитного излучения. В точке перехода схема больше не реагирует на возрастающую среднюю мощность и, по видимому, зависит только от пиковой мощности, соответствующей режиму пиковой мощности. Для многих систем существует зависимость от ширины импульса и требуемой пиковой мощности.

Обобщенная информация о пиковой мощности и энергии непрерывных и импульсных микроволновых, узкополосных и широкополосных источников, представлена на рис. 16 [7].

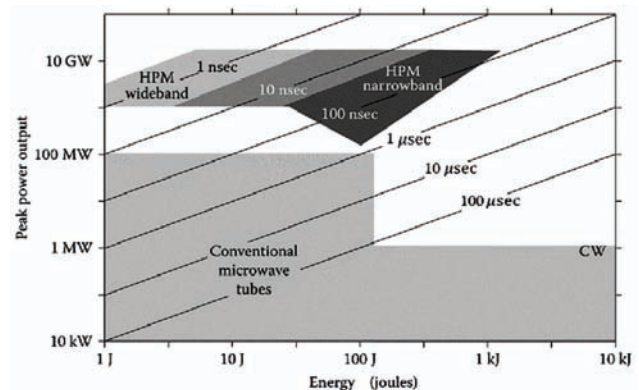


Рисунок 16 – Пиковая мощность и энергия непрерывных и импульсных микроволновых источников, узкополосных и широкополосных источников [7]

Следует отметить, что испытания устойчивости ТС к действию ЭМИ ЯВ для техники гражданского применения до сих пор широко не проводятся.

Выводы

В качестве примера практической реализации требований процедуры RS105 стандарта MIL-STD-461G [1], представлены результаты испытаний устойчивости электронного калькулятора.

Испытания проведены с использованием технического обеспечения Эталона единиц сильных импульсных электрических и магнитных полей (Эталон РЭМП). Для этого, дополнительно, был изготовлен генератор ЭМИ, обеспечивающий заданные амплитудно-временные параметры импульса, включенный в систему Эталона РЭМП вместо генератора экспонен-

ціальних імпульсов (ГЭИ).

Результаты испытаний показали, что уже при напряженности электрического поля ЭМИ, равной 17,7 кВ/м проявляется эффект обнуления информации на экране калькулятора, но работоспособность его сохраняется. При напряженности электрического поля 35,2 кВ/м произошло нарушение работоспособности калькулятора (погас экран, без возможности восстановить работоспособность путем операции «выключить-включить»). Анализ показал, что отказ обусловлен деградацией контролера.

Список литературы:

1. MIL-STD-461G:2011 Department of defense interface standard. Requirements for the control of electromagnetic interference. Characteristics of subsystems and equipment.
2. *Nemchenko Yu.* The development of the pulse electromagnetic processes measurement unity supporting system in Ukraine / *Yu. Nemchenko, V. Knyazyev, V. Kravchenko, I. Lisnoy* // *Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals*, 18-22 September, 2006, Sevastopol, Ukraine.
3. *Кравченко В.И.* Электромагнитный терроризм / *В.И. Кравченко*. – Х.: Изд-во «НТМТ», 2011. – 392 с.
4. *Гуревич В.И.* Защита оборудования подстанций от электромагнитного импульса / *В.И. Гуревич*. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 302 с.
5. *Sakharov K.Yu.* A picosecond pulsed electric field Strength measuring transducer / *K.Yu. Sakharov, V.A. Turkin, O.V. Mikheev, M.I. Dobrotvorskii, A.V. Sukhov* // *Measurement Techniques*. – Vol. 57, No. 2, May, 2014. – P. 201-205.
6. *Dolmatov T.V.* A superbroadband electro-optical pulsed Electric field strength converter/ *T.V. Dolmatov, V.V. Bukin,*

K.Yu. Sakharov, A.V. Sukhov, S.V. Garnov, V.A. Terekhin // *Measurement Techniques*. – Vol. 57, No. 10, January, 2015. – P. 1179-1183.

7. IEC 61000-4-36:2014 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-36: Testing and measurement techniques – IEMI immunity test methods for equipment and systems.

Bibliography (transliterated):

1. MIL-STD-461G:2011 Department of defense interface standard. Requirements for the control of electromagnetic interference. Characteristics of subsystems and equipment.
2. *Nemchenko Yu., Knyazyev V., Kravchenko V., Lisnoy I.* The development of the pulse electromagnetic processes measurement unity supporting system in Ukraine. *Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals*, 18-22 September, 2006, Sevastopol, Ukraine.
3. *Kravchenko V.I.* *Jelektromagnitnyj terrorizm*. Kharkiv: *Izd-vo NTMT*, 2011. 392 p.
4. *Gurevich V.I.* *Zaschita oborudovaniya podstanciy ot elektromagnitnogo impulsa*. Moscow: *Infra-Ingeneriya*, 2016. 302 p.
5. *Sakharov K.Yu., Turkin V.A., Mikheev O.V., Dobrotvorskii M.I., Sukhov A.V.* A picosecond pulsed electric field Strength measuring transducer. *Measurement Techniques*, Vol. 57, No. 2, May, 2014, P. 201-205
6. *Dolmatov T.V., Bukin V.V., Sakharov K.Yu., Sukhov K.Yu., Garnov S.V., Terekhin V.A.* A superbroadband electro-optical pulsed Electric field strength converter. *Measurement Techniques* Vol. 57, No. 10, January, 2015. P. 1179-1183.
7. IEC 61000-4-36:2014 Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 4-36: Testing and measurement techniques – IEMI immunity test methods for equipment and systems.

Поступила (received) 20.09.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Випробування стійкості калькулятора до впливу ЕМІ наносекундного діапазону / В.В. Князєв, В.М. Іванов, А.І. Танцур // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 38 (1260). – С. 10-17. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2519-2248 (Online), 2079-0740 (Print).

Испытания устойчивости калькулятора к воздействию ЭМИ наносекундного диапазона / В.В. Князев, В.М. Иванов, А.И. Танцур // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 38 (1260). – С. 10-17. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2519-2248 (Online), 2079-0740 (Print).

A practical example of determination of immunity of equipment to action of EMP of nanosecond range / V.V. Kniaziev, V.M. Ivanov, A.I. Tancura // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017. – № 38 (1260). – С. 10-17. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2519-2248 (Online), 2079-0740 (Print).

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Князєв Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник, НДПКІ "Молнія" НТУ "ХПІ", тел./факс: (057) 707-68-68, e-mail: knyaz2@i.ua.

Князєв Володимир Владимирович - кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ", тел./факс: (057) 707-68-68, e-mail: knyaz2@i.ua.

Kniaziev Volodymyr Volodymyrovych – Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior staff scientist, Principal scientist, NDPKI "Molniya" NTU "KhPI", Phone/Fax: (057) 707-68-68, e-mail: knyaz2@i.ua.

Іванов Володимир Михайлович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, НДПКІ "Молнія" НТУ "ХПІ", тел./факс: (057) 707-68-68, e-mail: ivo@ukr.net.

Иванов Владимир Михайлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ", тел./факс: (057) 707-68-68, e-mail: ivo@ukr.net.

Іванов Володимир Мухайлович – Candidate of Technical Sciences (Ph.D), senior staff scientist, NDPKI "Molniya" NTU "KhPI", Phone/Fax: (057) 707-68-68, e-mail: ivo@ukr.net.

Танцур Олександр Іванович – провідний інженер, НДПКІ "Молнія" НТУ "ХПІ", тел./факс: (057) 707-68-68.

Танцур Александр Иванович – ведущий инженер, НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ", тел./факс: (057) 707-68-68.

Tancura Oleksandr Ivanovych – Leading engineer, NDPKI "Molniya" NTU "KhPI", Phone/Fax: (057) 707-68-68.