

УДК 621.317.3

Ю. С. НЕМЧЕНКО, В. В. КНЯЗЕВ, И. П. ЛЕСНОЙ, С. Б. СОМХИЕВ**ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ БАО НА ВОСПРИИМЧИВОСТЬ К ПЕРЕХОДНЫМ ПРОЦЕССАМ, ВЫЗВАННЫХ МОЛНИЕЙ («МНОГОКРАТНЫЕ УДАРЫ» ФОРМЫ 5А) ИГЛА-МКУ-5А**

Описана конструкция и результаты аттестации генератора, предназначенного для испытаний бортового авиационного оборудования на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией «многократные удары» формы 5А, в соответствии с требованиями международных стандартов. Генератор производит циклограммы импульсов тока формы 5А по 5-ти уровням испытаний. Каждая циклограмма состоит из испытательных пакетов импульсов от 1 до 999, а в каждом испытательном пакете – 14 испытательных импульсов.

Ключевые слова: испытание, бортовое оборудование, невосприимчивость, молния, переходные процессы, генератор, аттестация.

Введение. Начиная с 60-х годов прошлого столетия в мире резко увеличились научно-исследовательские работы как по физике молниевых разрядов, так и его взаимодействию с различного рода техническими средствами (ТС). В первую очередь такими ТС являлись авиация и ракетно-космическая техника. Это вызвано тем, что эти ТС наиболее часто попадают в область грозовой деятельности, а иногда даже могут инициировать образование молниевых разрядов. Эти работы были значительно интенсифицированы в 80-е годы прошлого столетия, т.к. в этих ТС на смену малочувствительным электромеханическим и электронным устройствам пришли микроэлектронные устройства (МЭУ). Эти МЭУ ввиду своей слабостойкости оказались чрезвычайно чувствительны к электромагнитным помехам (ЭМП) и, в первую очередь, к ЭМП прямых и косвенных молниевых разрядов (МР).

Полный МР в литературе называется «вспышкой», которая может состоять как из одиночного удара, так и многократных ударов (МКУ). МКУ – это несколько отдельных мощных импульсов тока в течение одной вспышки, временной интервал между которыми может достигать десятков миллисекунд. Наиболее часто МКУ состоит из 3–4 разрядов, хотя фиксировались МКУ, состоящие из 14 и более отдельных разрядов [1–3].

Виды и амплитудно-временные параметры ЭМП МР чрезвычайно разносторонни, но все же удалось их систематизировать в несколько типичных видов, которые и были заложены в нормативные документы по молниестойкости. В 1988 году в СССР был выпущен и действовал до 2004 года стандарт ОСТ 1 01160-88 [4], который предполагал упрощенные испытания на молниестойкость всего лишь тремя видами испытательных напряжений. Для этой цели в Испытательной лаборатории НИПКИ «Молния» (ИЛ) использовался генератор ИГЛА-УИМ. В результате дальнейших работ по совершенствованию методик испытаний и максимального приближения их к реальным эффектам, этот стандарт был заменен на стандарт США. Это связано с тем, что требования по молниестойкости наиболее полно и обосновано были изложены в стандартах США, в частности, в стандарте на молниестойкость бортового авиационного оборудования (БАО) – RTCA-DO-160. До настоящего времени в результате нескольких доработок этот стандарт модифицировался

от RTCA-DO-160A до RTCA-DO-160G [5].

С 2004 года стандарт версии RTCA-DO-160D был принят в Украине и странах СНГ, как единственно легитимный нормативный документ по испытаниям БАО на электромагнитную совместимость и молниестойкость, который получил название КТ-ВВФ/DO-160D [6]. В этом стандарте раздел 23 посвящен прямому удару молнии в самолет, а раздел 22 – косвенным электромагнитным эффектам МР.

В данной статье сделан упор на испытания БАО по разделу 22, который называется «Восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией». Эти процессы возникают при прямом или косвенном ударе молнии, вызывающих растекание токов молнии по различным металлическим узлам самолетов, в частности, по межблочным линиям связи (МЛС).

Высокая поражающая эффективность токов растекания объясняется тем, что при этом в МЛС возникают различного вида наведенные высокие импульсные напряжения (до нескольких киловольт) и большие токи (до нескольких килоампер), представляющие собой серьезную угрозу для современной слабостойкой электроники БАО.

В данном стандарте в отличие от предыдущего значительно расширены виды испытаний и формы испытательных импульсов. Так, вместо трех форм ранее применяемых импульсов испытательного напряжения применяются уже 5 форм, из которых 3 формы испытательного напряжения (формы 2, 3 и 4) и 2 формы испытательного тока (формы 1 и 5А). В дополнение к единичным ударам, которые только и были в предыдущем стандарте, появились новые виды испытаний: «контактный ввод», «кабельный ввод многократными ударами» и «кабельный ввод многократной вспышкой».

Для реализации полного пакета испытаний по разделу 22 в ИЛ уже используется 10 генераторов типа ИГЛА различных модификаций.

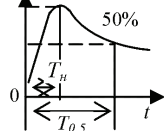
В данной статье мы рассмотрим испытания БАО на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией, испытательными токами формы 5А вида «многократные удары» с амплитудно-временными параметрами по таблице 22.4 и рисунку 22.6 [6]. Реализуются эти испытания методом «ввода в заземление» с помощью генератора ИГЛА-МКУ-5А. Этот метод используется для проверки способности само-

летного оборудования выдерживать внутренние электромагнитные эффекты, создаваемые внешним воздействием молний без функциональных отказов и повреждений.

Описание генератора ИГЛА-МКУ-5А. Идеологически схема формирования импульсов тока и напряжения формы 5А приведена в [7].

Генератор ИГЛА-МКУ-5А генерирует испытательные импульсы тока формы «5А» обеих полярностей по пяти уровням испытаний. В табл. 1 (аналог таблицы 22.4 [6]) приведены требования к форме и АВП испытательных импульсов тока и напряжения, которые с учетом допусков в полном объеме реализованы в генераторе ИГЛА-МКУ-5А.

Таблица 1 – Требования к форме и АВП испытательных импульсов тока и напряжения

Параметр	Напряжение $U_{пред}^{5A}$	Ток $I_{исп}^{5A}$ (ф.5А)
1. Испытательный комплект № 5А	Форма не нормирована	
2. Уровни испытаний:		
– 1 (первый удар)	$\leq (20 + 4) \text{ В}$	(60 + 12) А
– 1 (последующие удары)	$\leq (10 + 5) \text{ В}$	(30 + 15) А
– 2 (первый удар)	$\leq (50 + 10) \text{ В}$	(160 + 32) А
– 2 (последующие удары)	$\leq (25 + 12,5) \text{ В}$	(80 + 40) А
– 3 (первый удар)	$\leq (120 + 24) \text{ В}$	(400 + 80) А
– 3 (последующие удары)	$\leq (60 + 30) \text{ В}$	(200 + 100) А
– 4 (первый удар)	$\leq (300 + 60) \text{ В}$	(800 + 160) А
– 4 (последующие удары)	$\leq (150 + 75) \text{ В}$	(400 + 200) А
– 5 (первый удар)	$\leq (640 + 128) \text{ В}$	(2000 + 400) А
– 5 (последующие удары)	$\leq (320 + 160) \text{ В}$	(1000 + 500) А
3. Длительность фронта, T_H , мкс	не нормировано	40 ± 8
4. Длительность полусапада, $T_{0,5}$, мкс	не нормировано	120 ± 24

На рис. 1 (аналог рисунка 22.7 [6]) приведен пакет вида «многоразовые удары». Основное требование стандарта, чтобы один первый импульс сопровождается тринадцатью последующими импульсами, распределенными в интервале до 1,5 секунд.

Генератор ИГЛА-МКУ-5А представляет собой высоковольтную электроразрядную установку с программируемым таймером-коммутатором, которая генерирует многократные испытательные импульсы тока и напряжения положительной и отрицательной полярности по пяти уровням испытаний. Общий вид генератора ИГЛА-МКУ-5А приведен на рис. 2, а передняя панель генератора – на рис. 3.

Временные параметры пакета импульсов генератора ИГЛА-МКУ-5А:

- количество испытательных импульсов в испытательном пакете – 14;
- интервал между испытательными импульсами в испытательном пакете от 10 мс до 200 мс;
- длительность испытательного пакета до 1,5 с;
- количество испытательных пакетов от 1 до 999.

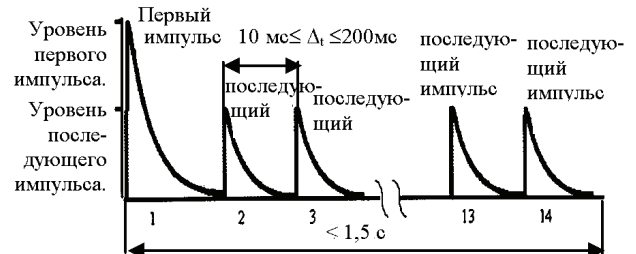


Рисунок 1 – Пакет испытательных токов вида «многократные удары» формы 5А



Рисунок 2 – Общий вид генератора ИГЛА-МКУ-5А



Рисунок 3 – Передняя панель генератора ИГЛА-МКУ-5А

Генератор ИГЛА-МКУ-5А собран в металлическом корпусе с габаритами 480 x 215 x 450 мм. На передней панели генератора ИГЛА-МКУ-5А (рис. 3) расположены следующие органы управления и контроля:

- клавиша СЕТЬ с подсветкой служит для подачи напряжения питания 220 В 50 Гц на генератор ИГЛА-МКУ-5А и для его отключения после окончания работы;
- переключатель ИСПЫТ. УРОВЕНЬ служит для установления уровня испытательного тока генератора ИГЛА-МКУ-5А и имеет пять положений: «1», «2», «3», «4», «5»;
- переключатель ПОЛЯРНОСТЬ служит для установления полярности выходного тока (положительной или отрицательной);
- переключатель ИНТЕРВАЛ, СЕК служит для

установления временных интервалов в циклограмме между испытательными пакетами и имеет пять положений: «однократный», «10», «20», «40», «60»;

– табло КОЛИЧЕСТВО УДАРОВ служит для установления количества испытательных пакетов в заданной циклограмме многократных ударов;

– кнопка СТАРТ служит для запуска генератора ИГЛА-МКУ-5А;

– кнопка УСТАН. для установления количества испытательных пакетов (для уменьшения этого количества – пользоваться кнопкой СБРОС);

– кнопка СБРОС служит для остановки генератора ИГЛА-МКУ-5А и сброса ранее установленного количества испытательных пакетов до нуля;

– светодиод ИНД. ИМП служит для фиксации каждого импульса в испытательном пакете.

На задней панели генератора ИГЛА-МКУ-5А расположены следующие органы управления и контроля:

– клемма $\perp$ служит для подключения генератора ИГЛА-МКУ-5А к контуру заземления;

– разъем СЕТЬ (~ 220 В) служит для подключения к генератору ИГЛА-МКУ-5А сетевого кабеля;

– «6А» – предохранители;

– разъем ВЫХОД служит для подключения к генератору выходного кабеля и далее к испытуемому изделию;

– регулятор РЕГУЛИРОВКА Узар «меньше» – «больше» служит для установки номинального значения Узар в зависимости от напряжения в сети электропитания.

Блок-схема генератора ИГЛА-МКУ-5А приведена на рис. 4.

Основным блоком генератора ИГЛА-МКУ-5А является блок формирования циклограммы (БФЦ). Циклограмма испытательных импульсов многократного удара представляет собой:

– испытательный пакет по рис. 1, содержащий 14 отдельных импульсов, следующих друг за другом с частотой 10 Гц (формируется блоком формирования цикла многократного удара (БФП)). БФП представляет собой электронную схему, состоящую из задающего генератора частотой 10 Гц, нагруженного на цифровые микросхемы, устанавливающие пачку из 14 импульсов;

– испытательные пакеты следуют друг за другом со временем между импульсами 10 с;

– 20 с; 40 с; 60 с (формируется блоком формирования временных интервалов (БФИ)). БФИ представляет собой электронную схему, которая вырабатывает интервалы 10 с; 20 с; 40 с; 60 с, по завершению которых запускается блок БФП;

– общее количество испытательных пакетов устанавливается программой испытаний (но не менее 10 каждой полярности) (формируется блоком управления и счетчика импульсов (БУС)). БУС представляет собой стандартный счетчик СТ10, который в соответствии с установленным на нем количеством испытательных пакетов, запускает БФИ.

Расположение элементов внутри корпуса генератора ИГЛА-МКУ-5А приведено на рис. 5.

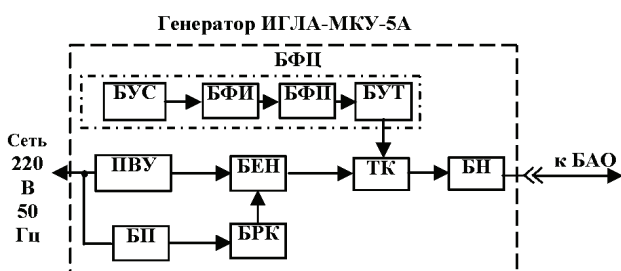


Рисунок 4 – Блок-схема генератора ИГЛА-МКУ-5А:
БФЦ – блок формирования циклограммы испытательного импульса; БУС – блок управления и счетчик импульсов;
БФИ – блок формирования временных интервалов;
БФП – блок формирования цикла многократного удара;
БУТ – блок управления тиристором;
ПВУ – повысительно-выпрямительное устройство;
БЕН – блок емкостных накопителей;
ТК – управляемый тиристорный коммутатор; БН – блок нагрузок; БРК – блок разряда накопительного конденсатора;
БАО – бортовое авиационное оборудование;
БП – блок питания БРК

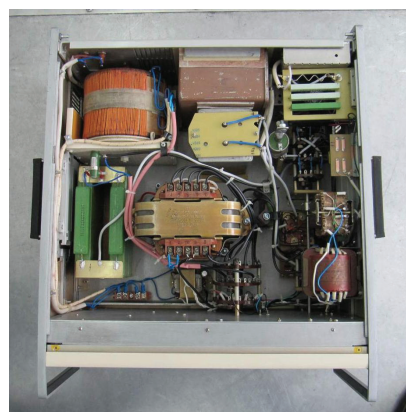


Рисунок 5 – Расположение элементов внутри корпуса генератора ИГЛА-МКУ-5А

Результаты аттестации генератора. На рис. 6 приведены осциллограммы выходных импульсов тока первого и последующего ударов формы «5А» положительной полярности для 5 уровня испытаний.

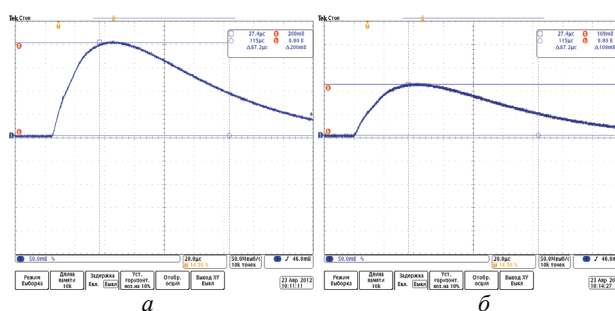


Рис. 6 – Типовые осциллограммы выходных импульсов тока первого и последующего ударов формы «5А» (5 испытательный уровень положительной полярности):
а – первый удар – 2кА (со 2 по 14 удар) – 1кА; б – последующие удары

На рис. 7 приведена осциллограмма испытательного пакета тока формы 5А вида «многократные удары» из 14 ударов общей длительностью 1,32 с.

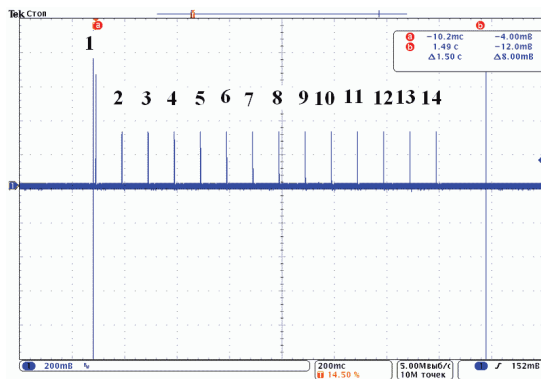


Рис. 7 – Осциллограмма испытательного пакета вида «многогоразовые удары» формы 5А из 14 ударов общей длительностью 1,32 с

Схема испытаний БАО с МЛС приведена на рис. 8.

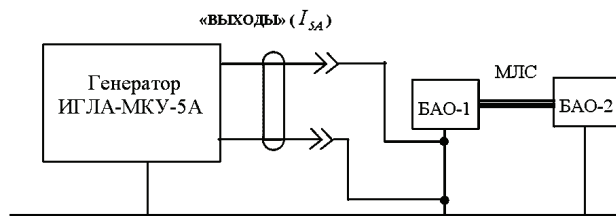


Рисунок 8 – Схема испытаний БАО: ИГЛА-МКУ-5А – испытательный генератор; МЛС – межблочная линия связи; БАО-1, БАО-2 – испытываемое оборудование

Выводы. Генератор ИГЛА-МКУ-5А успешно прошел первичную аттестацию с участием представителей ГП «Харьковстандартметрология» по разработанной в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» соответствующей программе и методике аттестации. Генератор

ИГЛА-МКУ-5А введен эксплуатацию в ИЛ НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» и участвует в испытаниях БАО на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией методом «многократные удары» испытательными токами формы 5А.

Список литературы: 1. Юман М. Естественная и искусственно инициированная молния и стандарты на молниезащиту / ТИИЭР. – 1988. – Т. 76, № 12. – С. 5–26. 2. IEC 62305-1:2010 (Ed.2) Protection against Lightning – Part 1: General principles. 3. CIGRE TB-549:2013 Lightning Parameters for Engineering Applications. 4. DO-160G:2011 Environmental conditions and test procedures for airborne equipment, Part 22, Lightning induced transient susceptibility. 5. ОСТ 1 01160-88 Оборудование бортового самолетов и вертолетов. Методы испытаний на молниестойкость. 6. КТ-ВВФ / DO-160D/ED-14D / Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. (Внешние воздействующие факторы – ВВФ). Требования, нормы и методы испытаний. Раздел 22.0 Восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией. 7. Генератор для проведения испытаний бортового авиационного оборудования на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией («многократные удары») формы 5А ИГЛА-МКУ-5А. Руководство по эксплуатации ИГЛА-МКУ-5.000.000.000 РЭ.

Bibliography (transliterated): 1. Juman M. Estestvennaja i iskusstvenno iniciirovannaja molnija i standarty na molniezashhitu. TIIEr. - 1988. Bn.76. No 12. 5–26 Print. 2. IEC 62305-1:2010 (Ed.2) Protection against Lightning – Part 1: General principles Print. 3. CIGRE TB-549:2013 Lightning Parameters for Engineering Applications Print. 4. DO-160G:2011 Environmental conditions and test procedures for airborne equipment, Part 22, Lightning induced transient susceptibility Print. 5. OST 1 01160-88 Oborudovanie bortovoe samoletov i vertoletov. Metody ispytanyj na molniestojkost' Print. 6. KT-VVF / DO-160D/ED-14D / Uslovija jekspluatacii i okruzhajushhej sredy dlja bortovogo aviacionnogo oborudovanija. (Vneshnie vozdejstvujushhie faktory – VVF). Trebovanija, normy i metody ispytanyj. Razdel 22.0 Vospriimchivost' k perehodnym processam, vyzvannym molniej Print. 7. Generator dlja provedenija ispytanyj bortovogo aviacionnogo oborudovanija na vospriimchivost' k perehodnym processam, vyzvannym molniej («mnogokratnye udary») formy 5A IGLA-MKU-5A. Rukovodstvo po jekspluatacii IGLA-MKU-5.000.000.000 RJe Print.

Поступила (received) 22.09.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Немченко Юрий Семенович – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «ХПИ», главный метролог, тел.: (057) 707-68-68. e-mail: knyaz2@i.ua.

Nemchenko Jurij Semenovich – Reserch and Design Institute "Molniya" National Technical University "KhPI", Main Metrologist, tel. (057) 707-68-68. e-mail: knyaz2@i.ua.

Князев Владимир Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «ХПИ», ведущий научный сотрудник, тел.: (057) 707-68-68; e-mail: knyaz2@i.ua.

Kniyaziev Vladimir Vladimirovich –Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Staff Scientist, Reserch and Design Institute "Molniya" National Technical University "KhPI", Principal Scientist, tel.: (057) 707-68-68; e-mail: knyaz2@i.ua.

Лесной Иван Петрович – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «ХПИ», заведующий лабораторией, тел.: (057) 707-68-68. e-mail: lesnoy@i.ua

Lesnoy Ivan Petrovich – Reserch and Design Institute "Molniya" National Technical University "KhPI", Manager by a Laboratory, tel.: (057) 707-68-68. e-mail: lesnoy@i.ua

Сомхив Сергей Борисович – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «ХПИ», ведущий инженер, тел.: (057) 707-68-68. e-mail: knyaz2@i.ua.

Somhiev Sergej Borisovich – Reserch and Design Institute "Molniya" National Technical University "KhPI", Leading Engineer, tel.: (057) 707-68-68. e-mail: knyaz2@i.ua.