

**Ю.С.НЕМЧЕНКО**, гл. метролог, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;  
**В.В.КНЯЗЕВ**, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., НИПКИ «Молния»  
НТУ «ХПИ»;  
**И.П.ЛЕСНОЙ**, зав. лаб., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;  
**С.Б.СОМХИЕВ**, вед. инженер, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

## **ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ БАО НА ВОСПРИИМЧИВОСТЬ К ПЕРЕХОДНЫМ ПРОЦЕССАМ, ВЫЗВАННЫХ МОЛНИЕЙ («МНОГОКРАТНЫЕ УДАРЫ») ИГЛА-МКУ-2**

Описана конструкция и результаты аттестации генератора, предназначенного для испытаний бортового авиационного оборудования на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией «многократные удары», в соответствии с требованиями международных стандартов. Генератор производит циклограммы импульсов напряжения формы 2 по 5-ти уровням испытаний, испытания проводятся методом «кабельной инъекции».

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

**Введение.** В настоящее время обязательным видом испытаний бортового электротехнического и электронного оборудования (БАО) летательных аппаратов являются испытания на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией. Эти процессы возникают при прямом ударе молнии в корпус летательного аппарата и последующем растекании токов молнии по различным металлическим узлам этих аппаратов, 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 и большие токи, представляющие собой серьезную угрозу для современной слаботочной электроники БАО.

Поэтому стойкость к переходным процессам, вызванным молнией, выделена в отдельный вид испытаний, который регламентируется нормативным документом EUROCAE ED-14D/ RTCA-DO-160D «Условия окружающей среды и методики испытаний бортового оборудования», Раздел 22: «Восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией» (отечественный аналог этого документа КТР-ВВФ/DO-160D/ED-14D/ [1]). Этот НД с 2004 года распространяется и на все типы БАО гражданских самолетов и вертолетов, выпускаемых в Украине и странах СНГ.

В данной статье мы рассмотрим испытания вида «многократные удары», реализуемые методом кабельной инъекции, при котором испытательные импульсы заданной формы и амплитуды индуцируются в проводниках МЛС

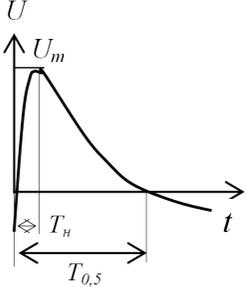
© Ю.С.Немченко, В.В.Князев, И.П.Лесной, С.Б.Сомхиев, 2014

при помощи инжекционного трансформатора. Этот метод используется для проверки способности самолетного оборудования выдерживать внутренние электромагнитные эффекты, создаваемые внешним воздействием молний без функциональных отказов и повреждений.

Идеологически схема формирования импульсов напряжения и тока требуемой формы приведена в [2].

**Описание генератора.** Генератор ИГЛА-МКУ-2 предназначен для проведения испытаний вида «многократные удары» методом «кабельной инъекции» БАО в полном объеме с требованиями НД [1] испытательными импульсами напряжения и тока формы «2» обеих полярностей по пяти уровням испытаний. В табл. 1 приведены требования к форме и АВП испытательных импульсов напряжения и тока, которые с учетом допусков в полном объеме реализованы в генераторе ИГЛА-МКУ-2.

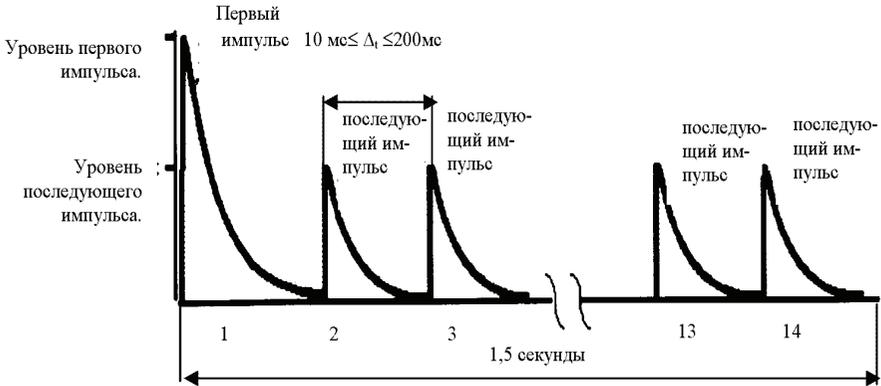
Таблица 1 – Требования к форме и АВП испытательных импульсов напряжения и тока

Параметр	Напряжение $U_{исн}$ (ф.2)	Ток $I_{прод}$ (ф.2)
1. Испытательный комплект № 2		Форма не нормирована
2. Уровни испытаний:		
– 1 (первый удар)	<b>(50 + 10) В</b>	$\leq (50 + 10) \text{ А}$
– 1 (последующие удары)	<b>(25 + 12,5) В</b>	$\leq (25 + 12,5) \text{ А}$
– 2 (первый удар)	<b>(125 + 25) В</b>	$\leq (125 + 25) \text{ А}$
– 2 (последующие удары)	<b>(62,5 + 31,25) В</b>	$\leq (62,5 + 31,25) \text{ А}$
– 3 (первый удар)	<b>(300 + 60) В</b>	$\leq (300 + 60) \text{ А}$
– 3 (последующие удары)	<b>(150 + 75) В</b>	$\leq (150 + 75) \text{ А}$
– 4 (первый удар)	<b>(750 + 150) В</b>	$\leq (750 + 150) \text{ А}$
– 4 (последующие удары)	<b>(375 + 187,5) В</b>	$\leq (375 + 187,5) \text{ А}$
– 5 (первый удар)	<b>(1600 + 320) В</b>	$\leq (1600 + 320) \text{ А}$
– 5 (последующие удары)	<b>(800 + 400) В</b>	$\leq (800 + 400) \text{ А}$
3. Время нарастания, $T_n$ , мкс	$\leq 0,1$	не нормировано
4. Время перехода через 0, $T_0$ , мкс	$6,4 \pm 1,28$	не нормировано

Генератор ИГЛА-МКУ-2 представляет собой высоковольтную электроразрядную установку с программируемым таймером-коммутатором, которая гене-

рирует многократные испытательные импульсы напряжений и тока положительной и отрицательной полярности по пяти уровням испытаний. Циклограмма вида «многократные удары» по RTCA-DO-160D приведена на рис. 1.

Общий вид генератора ИГЛА-МКУ-2 с ИТ-3 приведен на рис. 2, а передняя панель генератора – на рис. 3.



Один первый импульс сопровождается тринадцатью последующими импульсами, распределенными в интервале до 1,5 секунды

Временные параметры циклограммы:

количество испытательных импульсов в испытательном пакете  $N_{BI} - 14$ ;

интервал между испытательными импульсами в испытательном пакете  $T_{BI} -$  от 10 мс до 200 мс;

длительность испытательного пакета  $T_{BII} -$  до 1,5 с;

количество испытательных пакетов  $N_{III} -$  от 1 до 999.

Рисунок 1 – Циклограмма испытательного пакета вида «многократные удары» формы 2



Рисунок 2 – Общий вид генератора ИГЛА-МКУ-2 с ИТ-1,2

Генератор ИГЛА-МКУ-2 собран в металлическом корпусе габаритами 480x550x210 мм. На передней панели генератора ИГЛА-МКУ-2 (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-2 и для его отключения после окончания работы;
- переключатель ИСПЫТ. УРОВЕНЬ служит для установления уровня испытательного напряжения генератора ИГЛА-МКУ-2 и имеет пять положений: «1», «2», «3», «4», «5»;
- 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-2;
- кнопка УСТАН. для установления количества испытательных пакетов (для уменьшения этого количества - пользоваться кнопкой СБРОС);
- кнопка СБРОС служит для остановки генератора ИГЛА-МКУ-2 и сброса ранее установленного количества испытательных пакетов до нуля;
- светодиод ИНД. ИМП служит для фиксации каждого импульса в испытательном пакете.



Рисунок 3 – Передняя панель генератора ИГЛА-МКУ-2

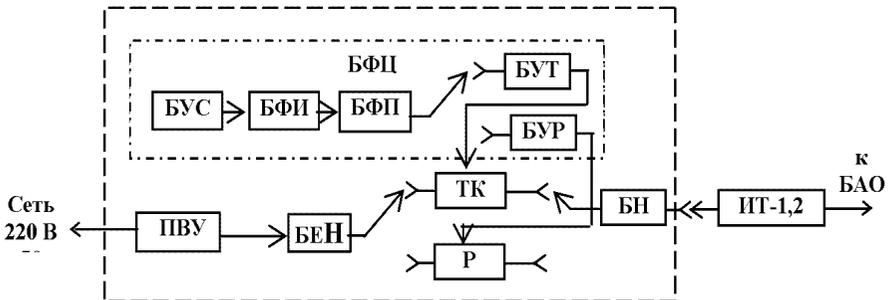
На задней панели генератора ИГЛА-МКУ-2 расположены следующие органы управления и контроля:

- клемма  $\perp$  служит для подключения генератора ИГЛА-МКУ-2 к контуру заземления.
- разъем СЕТЬ (~ 220 В) служит для подключения к генератору ИГЛА-МКУ-2 сетевого кабеля;
- «6А» – предохранитель;
- РЕГУЛИРОВКА  $U_3$  «МЕНЬШЕ» – «БОЛЬШЕ» служит для коррекции амплитуды испытательного напряжения при отличии напряжения сети от 220В;



Рисунок 4 – Расположение элементов внутри корпуса генератора ИГЛА-МКУ-2

### Генератор ИГЛА-МКУ-2



- БФЦ – блок формирования циклограммы испытательного импульса;
- БУС – блок управления и счетчик импульсов;
- БФИ – блок формирования интервалов между импульсами в пачке;
- БФП– блок формирования пачки из 14 импульсов;
- БУТ – блок управления тиристором;
- БУР – блок управления разрядником
- ПВУ – повысительно-выпрямительное устройство;
- БЕН – блок емкостного накопителя;
- ТК – тиристорный коммутатор;
- Р – высоковольтный разрядник;
- БН – блок нагрузок;
- ИТ-1,2– инжектирующий трансформатор;
- БАО – бортовое авиационное оборудование

Рисунок 5 – Блок-схема генератора ИГЛА-МКУ-2

– разъем Выход служит для подключения выхода генератора через кабель СК-1 к ИТ-1,2;

Расположение элементов внутри корпуса генератора ИГЛА-МКУ-2 приведено на рис. 4.

Блок-схема генератора ИГЛА-МКУ-2 приведена на рис. 5.

**Результаты аттестации генератора.** На рис. 6 приведены осциллограммы выходных импульсов напряжения первого удара формы «2» положительной и отрицательной полярностей для 5 уровня испытаний.

На рис. 7 приведена циклограмма испытательного пакета вида «многократные удары» из 14 ударов общей длительностью 1,3 с.

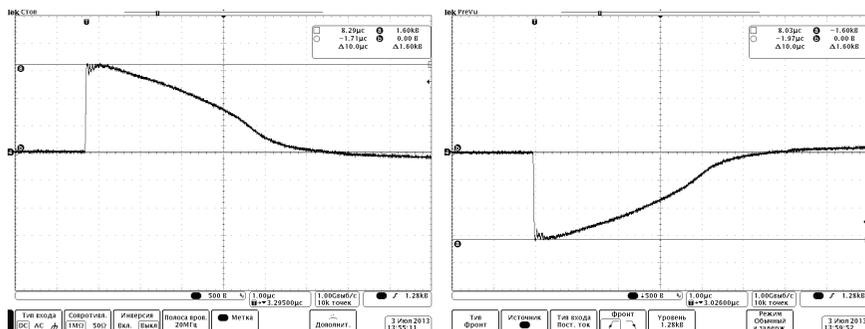


Рисунок 6 – Типовые осциллограммы выходных импульсов напряжения первого удара формы «2» 5 уровня положительной и отрицательной полярностей

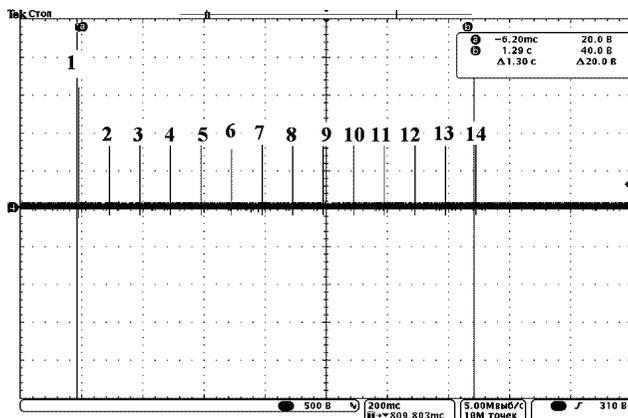
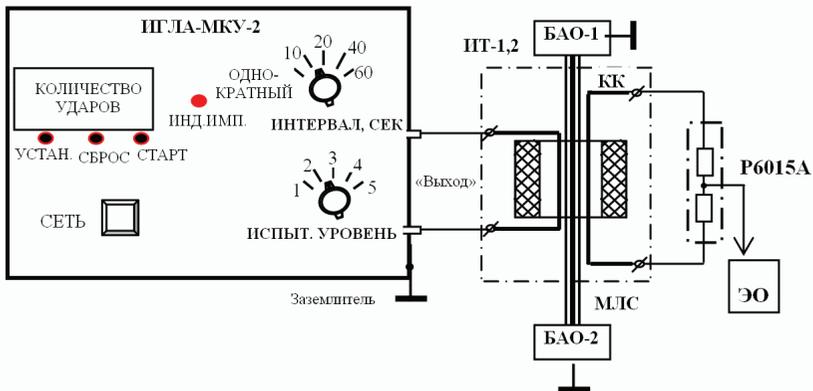


Рисунок 7 – Циклограмма испытательного пакета вида «многократные удары» из 14 ударов общей длительностью 1,3 с

Схема испытаний БАО с МЛС приведена на рис. 8.



ИГЛА-МКУ-2 – испытательный генератор;  
 ИТ-1,2 – инжектирующий трансформатор;  
 КК – калибровочный контур;  
 P6015A – щуп высоковольтный P6015A 1000X;  
 МЛС – межблочная линия связи;  
 БАО-1, БАО-2 – испытываемое оборудование  
 ЭО – осциллограф Tektronix TDS 1012

Рисунок 8 – Схема испытаний БАО

**Выводы:** Генератор ИГЛА-МКУ-2 успешно прошел первичную аттестацию с участием представителей ГП «Харьковстандартметрология» по разработанной в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» соответствующей программе и методике аттестации, введен эксплуатацию в НИО-2 НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» и участвует в испытаниях БАО на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией методом «многократные удары».

**Список литературы:** 1. КТР-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. 2. Генератор для проведения испытаний бортового авиационного оборудования на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией («многократные удары») 2 формы ИГЛА-МКУ-2. Руководство по эксплуатации ИГЛА-МКУ-2.000.000.000 РЭ.

**Bibliography (transliterated):** 1. KTR-VVF DO-160DED-14D. Uslovia jekspluatacii i okružhazhshhej srody dlja bortovogo aviacionnogo oborudovanija. (Vneshnie vozdejstvujushhie faktory – VVF). Trebovanija, nor-my i metody ispytanij. Razdel 22.0 Vospriimchivosť k perehodnym processam, vyzvannym molnjej. 2. Generator dlja provenenija ispytanij bortovogo aviacionnogo oborudovanija na vospriimchivosť k perehodnym processam, vyzvannym molnjej («mnogokratnye udary») 2 formy IGLA-MKU-2. Rukovodstvo po jekspluatacii IGLA-MKU-2.000.000.000 RJe.

*Поступила (received) 02.04.2014*