

**Ю.С.НЕМЧЕНКО**, НТУ «ХПИ»;  
**В.В.КНЯЗЕВ**, канд.техн.наук, НТУ «ХПИ»;  
**И.П.ЛЕСНОЙ**, НТУ «ХПИ»;  
**В.И.КРАВЧЕНКО**, докт.техн.наук, проф., НТУ «ХПИ»

## **ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ БОЛЬШИХ ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ**

Для метрологічної атестації і повірки засобів вимірювання великих імпульсних струмів створено джерело стабільних імпульсів струму на базі раніше розробленого і введеного в експлуатацію Еталону імпульсного електромагнітного поля (Еталон РЕМП). Виміряно імпульси струму в елементах Еталону (від 20 А до 1000 А) за допомогою штатного вбудованого зразкового коаксіального вимірювального шунта ШК-50 і експериментально доведено, що форми імпульсів струму й імпульсів електромагнітного поля в Еталоні співпадають, що доводить правильність обраної структури Еталону імпульсів великого струму

For metrological attestation and calibration check of facilities for measuring of large pulsed currents the source of stable pulse current on the base of earlier designed and put into effect Standard of the Pulse Electrical and Magnetic Fields Units (PEMF Standard) is created. Pulses of the current in elements of the Standard (from 20 A to 1000 A) measured with the help of staff built-in exemplary coaxial measuring shunt SHK-50, and is proved experimentally that forms of pulse currents and pulses of the electromagnetic field in Standard coincide that proves correctness of the selected structure of the Standard of large current pulses.

За период с 2002 по 2006 год в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» был создан, метрологически аттестован и введен в эксплуатацию Эталон единиц максимальных значений напряженностей импульсного электрического – вольт на метр (В/м) и магнитного – ампер на метр (А/м) полей (Эталон РЭМП).[1]

Основное назначение Эталона РЭМП – метрологическое обеспечение высоковольтных импульсных испытательных установок (ВИУ) экспериментальной базы (ЭБ) НИПКИ «Молния» – Объекта национального достояния Украины. Одно из основных направлений использования ВИУ – испытания различного рода технических средств однократными импульсными электромагнитными полями (ЭМП) естественного и искусственного происхождения, например, ЭМП молниевых разрядов. Амплитудно-временные параметры (АВП) этих ЭМП по амплитуде электрической составляющей лежат в пределах от 1 до 500 кВ/м, а по времени – от нескольких наносекунд до десятков микросекунд.

Другое назначение ВИУ – генерирование мощных импульсов напряжения и тока, что необходимо для обеспечения испытаний в области электроэнергетики.

АВП импульсных ЭМП, напряжений и токов измеряются с помощью средств измерительной техники (СИТ) собственной разработки (несколько

десятков типоразмеров). Для метрологической аттестации СИТ высоких напряжений и больших токов в настоящее время создаются Эталоны импульсных напряжений и токов – Эталон ИН и Эталон ИТ.

Эталон РЭМП – это высокостабильный импульсный генератор, создающий в своем рабочем объеме однократные импульсы электрического и магнитного полей. Структурная схема Эталона РЭМП приведена на рис. 1.

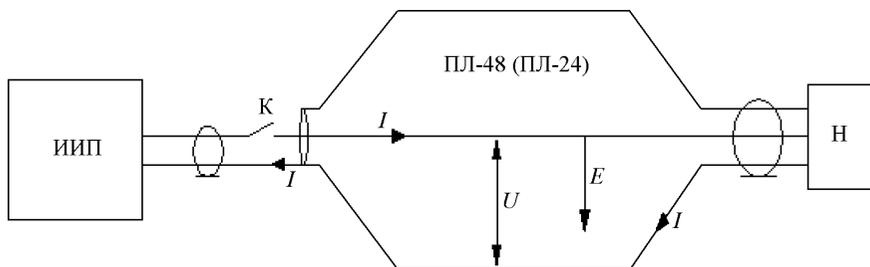


Рисунок 1 – Структурная схема Эталона РЭМП

ИИП – импульсный источник питания; К – коммутатор;

Н – нагрузка; ПЛ-48 (ПЛ-24) – полосковые линии; I – ток; U – напряжение;

E – напряженность электрического поля

Как видно из структурной схемы, для создания электрических и магнитных полей известных АВП используются закрытые, симметричные, согласованные на конце полосковые линии (ПЛ) ПЛ-48 и ПЛ-24 (48 и 24 – это расстояние между электродами ПЛ в сантиметрах), ко входу которых подсоединяется импульсный источник питания (ИИП).

ИИП создает между электродами ПЛ плоскую электромагнитную волну, АВП токов и напряжений в которой и определяет АВП ЭМП.

Так как для метрологической аттестации СИТ больших импульсных напряжений и токов тоже нужен образцовый источник этих физических величин, то было решено использовать токи и напряжения в ПЛ Эталона РЭМП в качестве образцовых для метрологической аттестации СИТ импульсных напряжений и токов, работа в этом направлении усложнялась тем, что такого рода эталоны отсутствуют.

Поэтому в 2007 году было принято решение создать на базе Эталона РЭМП, работающего в режиме генерации экспоненциальных импульсов с полосковой линией ПЛ-48, Эталон импульсных напряжений и токов.

В этой статье описан только Эталон импульсных токов (Эталон ИТ), основные технические характеристики которого приведены в табл. 1.

В качестве образцового средства измерения больших импульсных токов решено использовать коаксиальный импульсный шунт типа ШК-50 разработки НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ», ранее прошедший метрологическую аттестацию в ГП «Харьковстандартметрология».

Таблица 1

Наименование характеристики	Размерность	Значение
1. Диапазон макс. значений	А	от 20 до 1000
2. Длительность фронта	с	не более $15 \cdot 10^{-9}$
3. Длительность импульса	с	не менее $1,5 \cdot 10^{-4}$

На рис. 2 приведена упрощенная схема формирования и измерения импульсов тока в Эталоне РЭМП.

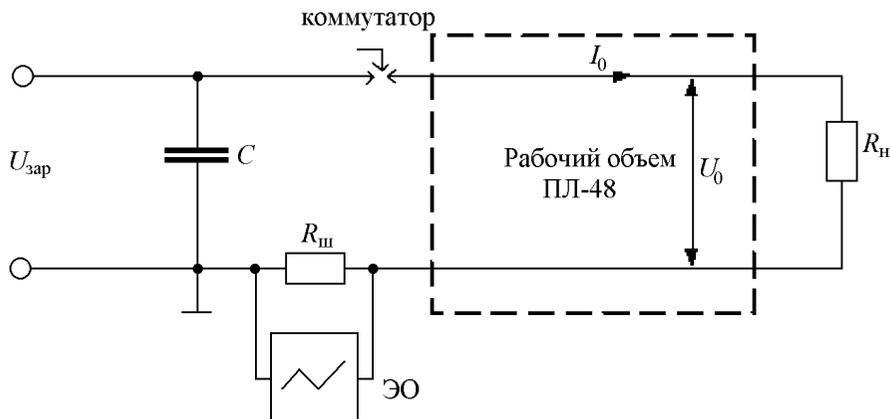


Рисунок 2 – Схема формирования и измерения импульсов тока  
 $C$  – емкостной накопитель энергии ИИП,  $R_n$  – сопротивление нагрузки ПЛ;  
 $R_{ш}$  – сопротивление шунта; ЭО – электронный осциллограф

ШК-50 – это измерительный резистор коаксиальной конструкции, включаемый последовательно в цепь с измеряемым током, и падение напряжения на котором  $U_{ш}$ , является мерой этого тока. Измеряется  $U_{ш}$  осциллографом типа Tektronix 3052B.

Основные метрологические и технические характеристики ШК-50 представлены в табл. 2.

Вычислительными методами математической физики [2] и экспериментально было установлено, что разрядная цепь Эталона РЭМП – согласованная длинная линия без потерь, а это значит, что место включения в эту цепь измерителя тока не имеет существенного значения, лишь бы через шунт протекал весь измеряемый ток. Поэтому шунт был установлен в разрыв оплетки кабеля, соединяющего ИИП с ПЛ-48 (рис. 3).

Шунт установлен возле точки заземления ИИП, что бы исключить попадание на него высокого напряжения.

На рис. 4 приведена типовая осциллограмма тока в Эталоне ИТ при зарядном напряжении 10 кВ.

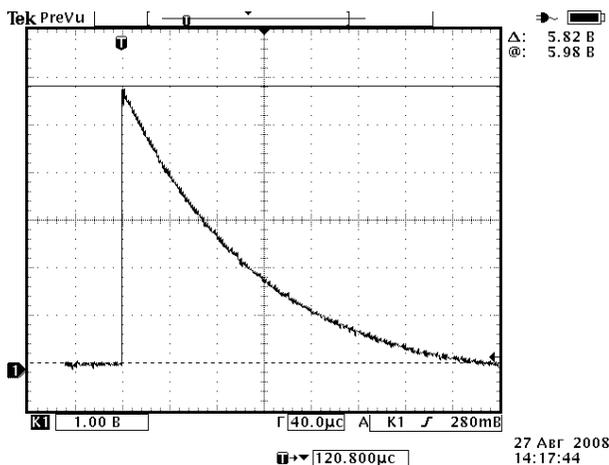
Таблица 2 – Основные метрологические и технические характеристики ШК-50

Наименование параметра или характеристики	Размерность	Значение
1 Амплитуда импульсов измеряемого тока	кА	от 0,02 до 50
2 Величина активного сопротивления	Ом	$0,024 \pm 10 \%$
3 Время нарастания переходной характеристики, $T_n^{LX}$	нс	2
4 Погрешность измерения амплитуды импульсов измеряемых токов	%	0,5
5 Погрешность измерения временных параметров измеряемых токов	%	1
6 Габаритные размеры: – ИКР (высота x диаметр) – ИК (длина)	мм	300×90 10000
7 Масса	кг	3



Рисунок 3 – Конструктивное исполнение включения шунта в цепь разрядного тока Эталона ИТ

Кроме того, в процессе исследований различных режимов работы Эталоны ИТ проведены эксперименты по определению зависимости временных параметров фронта импульсов тока (измеренных ШК-50) и контрольных импульсов напряженности электрического поля в рабочем объеме ПЛ-48 (измеренных штатным измерителем СПЕФВ-ЕК с временем нарастания ПХ 0,128 нс) путем изменения давления азота в коммутаторе Эталоны РЭМП. Давление изменялось от 1 атм до 6.5 атм (номинальное давление для Эталоны РЭМП) с шагом 1 атм. Осциллограммы, полученные в результате данного эксперимента при  $U_{зар} = 10$  кВ, показаны на рис. 5.



27 Авг 2008  
14:17:44

Рисунок 4 – Типовая осциллограмма полного импульса тока в Эталоне ИТ

Из этих осциллограмм видно, что:

1. Длительность фронта обоих импульсов уменьшается от 20 нс (давление 1 атм) до 9 нс (давление 6,5 атм).
2. Нарастающая часть обоих импульсов идентична друг другу, то есть формы импульсов тока и напряженности электрического поля идентичны.

Из этих экспериментов можно сделать вывод, что принятое нами идеологическое решение – использовать Эталоны РЭМП в качестве эталона импульсного тока (Эталоны ИТ) – правильное, и шунт ШК-50 может быть использован в качестве образцового СИТ импульсных токов в Эталоне ИТ.

**Вывод:** Таким образом, в результате проведенных исследований получен высокостабильный источник больших импульсных токов, который предполагается использовать в качестве Эталоны ИТ (первоначально в качестве эталона предприятия) для метрологической аттестации и калибровки средств измерения больших импульсных токов.

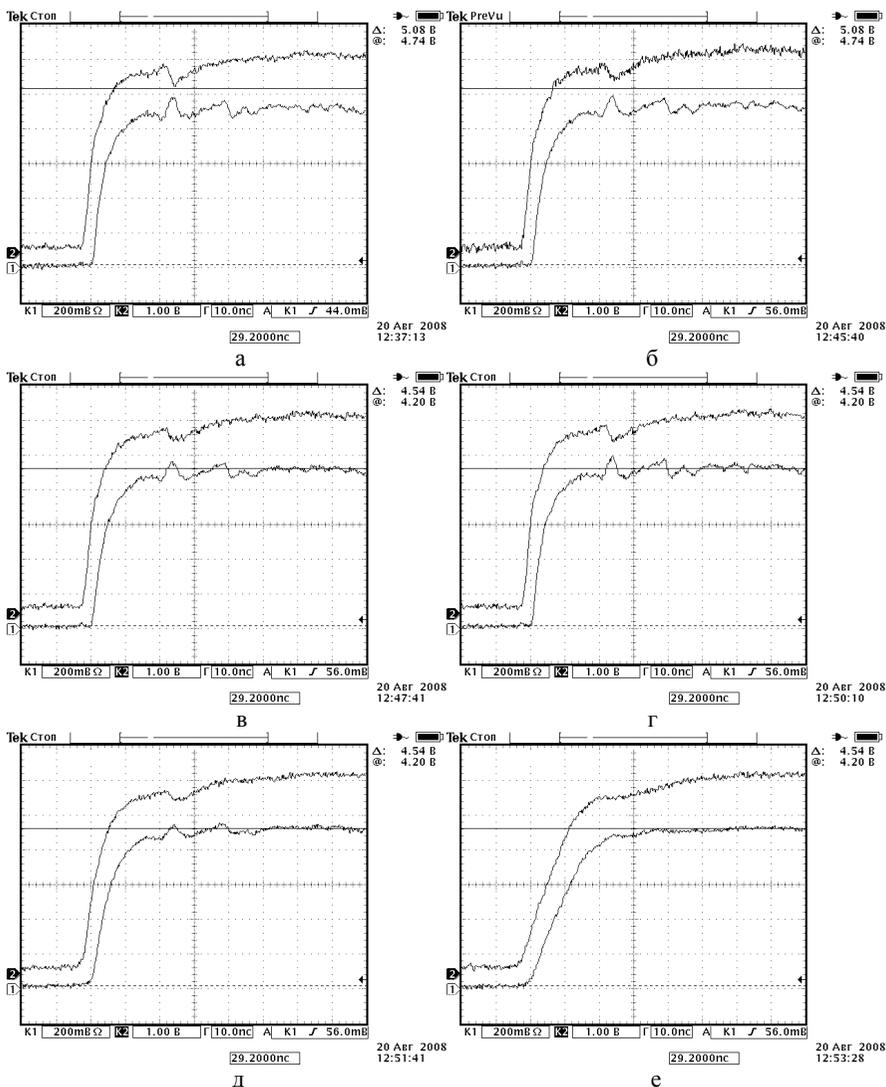


Рисунок 5 – Осциллограммы зависимости длительности фронта импульсов I (K2) и E (K1) от давления в коммутаторе  
а – 6,5 атм.; б – 5 атм.; в – 4 атм.; г – 3 атм.; д – 2 атм.; е – 1 атм.

**Список литературы:** 1. *Кравченко В.И., Немченко Ю.С.* Исходный эталон Украины импульсных электрических и магнитных полей – цель создания эталона, требования к нему и его конструктивное исполнение // *Электротехника і електромеханіка.* – 2006. – № 2. – С. 76-79. 2. *Гинзбург С.Г.* Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. – М.: Высшая школа, 1967. – 388 с.

*Поступила в редколлегию 16.03.2009.*