

**В.Н.ДНИЩЕНКО; В.О.ЕРЕМЕЕВ; О.С.НЕДЗЕЛЬСКИЙ;
Е.Г.ПОНУЖДАЕВА;** НТУ «ХПИ»

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ШУНТ ШК-300 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ИМИТИРОВАННОГО ИМПУЛЬСА ТОКА МОЛНИИ

У статті приведені основні технічні характеристики, склад, конструкція та результати розрахунків електрофізичних параметрів засобу вимірювання великих імпульсних струмів ШК-300, який дозволяє реєструвати амплітудно-часові параметри повного імпульсного струму імітованої блискавки.

This paper presents the principal technical characteristics, data, design and the results of calculation of electrical and physical parameters of means ShK-300 for measuring of high pulse currents. This means allows registering amplitudes and time parameters of complete pulse current of imitated lightning.

Проблемы обеспечения электромагнитной стойкости (ЭМС) объектов техники, электроэнергетики приобретают все большую актуальность. В частности, обеспечение надежности летательных аппаратов (ЛА) и приборов аэрокосмической техники требует проведения всесторонних исследований и испытаний на ЭМС при воздействии поражающих факторов косвенного и прямого удара молнии.

Действующие нормативные документы [1,2] определяют значительный объем испытаний, в частности, элементов корпуса и обшивки ЛА путем воздействия на них и их фрагменты импульсного тока прямого удара молнии. Имитированный импульс тока представляет собой отдельные или следующие друг за другом компоненты, амплитудно-временные и энергетические параметры которых представлены в табл. 1 [1].

Таблица 1

Компонента тока	Максимальный ток I_m , кА	Средний ток I_{cp} , кА	Заряд Q , Кл	Интеграл действия J , $A^2 \cdot c$	Длительность фронта t_m , мкс	Длительность компоненты t , мкс
A	$200 \pm 10\%$		–	$2 \cdot 10^6 \pm 20\%$	< 50	≤ 500
B		$2 \pm 10 \%$	$10 \pm 10 \%$	–	–	$5 \cdot 10^3 \pm 10\%$
C	0,2–0,8	–	$200 \pm 20\%$	–	–	$(0,25-1) \cdot 10^6$
C*		0,4	–	–	–	$(20-50) \cdot 10^3$
D	$100 \pm 10\%$	–	–	$0,25 \cdot 10^6 \pm 10\%$	> 25	> 500

Для проведения испытаний, отвечающих требованиям [1–2], в НТУ «ХПИ» создан комплекс генераторов импульсов тока (ГИТ), обеспечивающий воздействие на испытываемые объекты импульсов тока с параметрами, указанными в табл. 1. Требуемая точность, стабильность и достоверность воспроизведения и регистрации импульсов тока в значительной степени определяется конструкцией, качеством, надежностью, механическими и электрофизическими характеристиками измерительных средств, позволяющих регистрировать амплитудно-временные параметры [3,4].

Для указанных выше целей разработано и введено в эксплуатацию измерительное средство – шунт измерительный коаксиальный ШК-300 (в дальнейшем – ШК-300).

Общий вид ШК-300 представлен на рис. 1.



Рисунок 1 – Общий вид ШК-300

В состав ШК-300 входят:

- измерительный коаксиальный резистор (ИКР);
- измерительный кабель (ИК);
- делитель согласующий (СД-300).

Основные технические характеристики ШК-300 представлены в табл. 2.

Принципиальная электрическая схема ШК-300 представлена на рис. 2.

Наличие двух выходов СД-300 – 1:1 и 1:2 позволяет, во-первых, более полно реализовать динамический диапазон измеряемых сигналов, во-вторых, подключить несколько регистраторов (осциллографов) для перекрытия амплитудно-временного диапазона полного токового импульса имитированной молнии.

Конструкция ИКР представлена на рис. 3.

Основным элементом ИКР является резистивный элемент (РЭ) 2 (см. рис. 3), выполненный в виде шайбы из листового манганина толщиной 0,3 мм, с внешним эффективным диаметром $D_1 = 60$ мм и внутренним эффективным диаметром $D_2 = 30$ мм. Ток проходит через присоединительный элемент входного электрода 1, РЭ-2, и через заземленные присоединительные электроды 5 выходного электрода 4. Материал электродов 1, 3 и 4 – латунь. Электрический контакт между РЭ-2 и электродами 1, 3, 4 обеспечива-

ется пайкой припоем ПОС-61. Изоляционные детали (шайбы, втулки, крышки) выполнены из капролона.

Таблица 2

№ п/п	Наименование параметра, характеристики	Величина	Примечание
1	Диапазон измеряемых амплитуд тока, I_m , кА	от 0,1 до 300	
2	Величина активного сопротивления ИКР, $R_{ш}$, Ом	$0,185 \cdot 10^{-3}$ Ом	$\pm 0,001 \cdot 10^{-3}$ Ом
3	Время нарастания переходной характеристики, $T_{пх}$, нс, не более	50	
4	Максимальная рассеиваемая энергия одного импульса W_{max} , Дж, не более	650	
5	Частота повторения импульсов	1 импульс в 5 мин.	При максимальной энергии
6	Коэффициент деления: – на выходе 1 СД-300 – на выходе 2 СД-300	$0,985 \pm 0,1\%$ $0,480 \pm 0,1\%$	
7	Габаритные размеры: – ИКР (диаметр х высота) – ИК (длина) – СДН	92×104 (мм) 65 м $150 \times 50 \times 30$ (мм)	

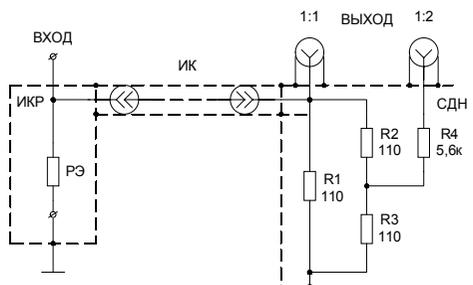


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема ШК-300:

ИКР – измерительный коаксиальный резистор; $R_{ш}$ – резистивный элемент (РЭ) с сопротивлением $0,185 \cdot 10^{-3}$ Ом; ИК – измерительный кабель (РК-75-4-11); СДН – согласующий делитель напряжения (СД-300)

Одним из основных параметров ИКР является омическое сопротивление РЭ, имеющего конструкцию шайбы с эффективными диаметрами $D1$ и $D2$ и толщину δ . Сопротивление определяется по формуле:

$$R = \rho \frac{(D1-D2)}{\delta\pi(D1+D2)}.$$

Расчетная величина $R = 0,152 \cdot 10^{-3}$ Ом.

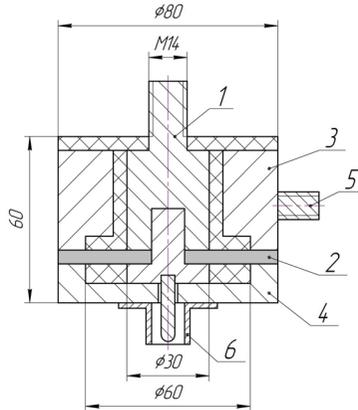


Рисунок 3 – Конструкция ИКР:

1 – входной электрод; 2 – резистивный элемент; 3 – основной выходной электрод; 4 – измерительный выходной электрод; 5 – соединительные элементы выходного электрода; 6 – коаксиальный разъем (СР-75) присоединения ИК; (элементы крепления и связи деталей ИКР на рис. 3 не показаны)

Температура нагрева РЭ при протекании импульса тока определяется формулой [4]:

$$\theta = \frac{\int i^2 \cdot R}{m \cdot c},$$

где m – масса РЭ, c – удельная теплоемкость манганина, \int – интеграл квадрата тока, определяемый формулой:

$$\int = \int_0^{\infty} i^2(t) dt.$$

Основные технические характеристики манганина приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Наименование характеристики	Величина
1	Удельное сопротивление при 20 °С, ρ (Ом · мм ² /м)	0,43
2	Температурный коэффициент сопротивления, 1/К	$20 \cdot 10^{-6}$
3	Плотность q (г/см ³)	8,6
4	Удельная теплоемкость Q (Дж/г·К)	0,41
5	Максимальная рабочая температура T_m (°С)	300

При $\Im = 2 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{C}$ (см. табл. 1) расчетная величина $Q = 135 \text{ K}$, что вполне допустимо для описанной конструкции ИКР. При этом изменение сопротивления РЭ ΔR не превышает 0,27 %, а погрешность измерения амплитуды не более 0,1 %.

Электродинамическая стойкость ИКР определяется конструкцией, материалами и технологией изготовления.

ШК-300 прошел контрольные испытания на действующем имитаторе импульса полного тока молнии на стенде НТУ «ХПИ», подтверждающие его характеристики. Характерная осциллограмма, соответствующая импульсу тока с амплитудой 216 кА и величиной $\Im = 2 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{C}$, представлена на рис. 4.

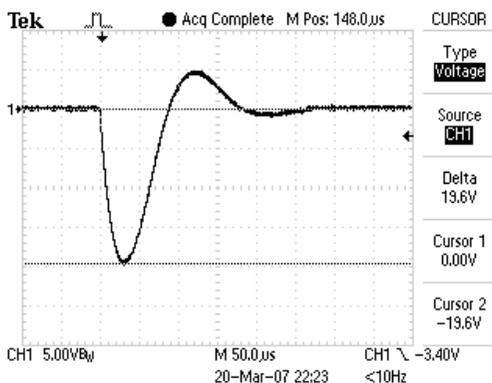


Рисунок 4 – Характерная осциллограмма, соответствующая импульсу тока с амплитудой 216 кА и величиной $\Im = 2 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{C}$

Метрологические характеристики ШК-300 подтверждены свидетельством о государственной метрологической аттестации.

Список литературы: 1. SAE ARP 5412 / ED-84 Нормативный документ «Рекомендуемая практика авиационно-космических работ. Идеализированные составляющие внешнего тока». – С. 30-39. 2. SAE ARP 5412 / ED-84 Нормативный документ «Рекомендуемая практика авиационно-космических работ. Условия воздействия молнии на летательные аппараты и соответствующие формы испытательных сигналов». – Стандарт, август 1997 г. 3. Немченко Ю.С., Лесной И.П., Лантушко Б.Н., Князев В.В. Метрологическое обеспечение эксплуатации высоковольтных импульсных электроразрядных установок // Вісник НТУ «ХПИ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2004. – № 35. – С. 29-54. 4. Шваб А. Измерения на высоком напряжении. – М. Энергоатомиздат, 1983. – 264 с.

Надійшла до редколегії 11.06.2007.