

ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ДНВ-20И ДЛЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

А. С. Ильин¹, И. А. Карчев², А. П. Воронов³

¹ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

^{1, 2, 3} Научно-исследовательский институт электронно-механических приборов, Пенза, Россия

¹ aalexeiil@mail.ru, ² npk4p@niiemp.ru, ³ npk@niiemp.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Актуальность применения делителей напряжений высоковольтных в информационно-измерительных системах определяется широким применением высоких напряжений в различных сферах человеческой деятельности. Контроль импульсов высоких напряжений вызывает необходимость применения широкополосных делителей напряжений. Целью работы является ознакомление с современным отечественным делителем напряжений высоковольтным ДНВ-20И и результатами его испытаний. *Материалы и методы.* Метод масштабного преобразования. *Результаты.* Приведено описание и результаты испытаний делителя напряжения ДНВ-20И. *Вывод.* Делитель напряжений высоковольтный ДНВ-20И соответствует заявленным данным и может использоваться для контроля и измерений цепей постоянного и переменного тока, а также импульсного напряжения.

Ключевые слова: высокое напряжение, импульсное напряжение, делитель напряжения, грозовой импульс, испытания

Для цитирования: Ильин А. С., Карчев И. А., Воронов А. П. Делитель напряжений высоковольтный ДНВ-20И для широкополосных информационно-измерительных систем // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 2. С. 78–84. doi:10.21685/2307-4205-2022-2-9

HIGH VOLTAGE DIVIDER DNV-20I FOR BROADBAND INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

A.S. Ilin¹, I.A. Karchev², A.P. Voronov³

¹ Penza State University, Penza, Russia

^{1, 2, 3} Scientific Research Institute of Electro-Mechanical Devices, Penza, Russia

¹ aalexeiil@mail.ru, ² npk4p@niiemp.ru, ³ npk@niiemp.ru

Abstract. *Background.* The relevance of the use of high-voltage voltage dividers in information-measuring systems is determined by the wide use of high voltages in various fields of human activity. The control of high voltage pulses necessitates the use of broadband voltage dividers. The purpose of the work is to familiarize with the modern domestic high-voltage voltage divider DNV-20I and the results of its tests. *Materials and methods.* Scale transformation method. *Results.* The description and test results of the voltage divider DNV-20I are given. *Conclusion.* The high-voltage voltage divider DNV-20I corresponds to the declared data and can be used to control and measure DC and AC circuits, as well as impulse voltage.

Keywords: high voltage, impulse voltage, voltage divider, lightning impulse, tests

For citation: Ilin A.S., Karchev I.A., Voronov A.P. High voltage divider DNV-20I for broadband information-measuring systems. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2022;(2):78–84. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2022-2-9

В настоящее время в информационно-измерительных системах (ИИС) электроэнергетического комплекса возрастает нужда в контроле и измерении импульсов высоких напряжений до 20 кВ. Сфера применения напряжений данного уровня не ограничивается только распределительными

подстанциями. Импульсные напряжения активно применяются в таких областях, как научные исследования, производство полупроводников, ионная имплантация, электростатика, контроль качества изоляции, электроэрозионная обработка материалов, импульсная рентгенография, термоядерные исследования и т.д.

Для обеспечения контроля и измерения в диапазоне частот до 5 МГц импульсов высоких напряжений в диапазоне до 20 кВ используются импульсные высоковольтные делители напряжений, масштабирующие входное напряжение [1].

Так, отечественный делитель напряжений высоковольтный импульсный ДНВ-20И предназначен для использования в качестве масштабного преобразователя высоких постоянных, переменных и импульсных (1,2/50 мкс) напряжений. Может использоваться для контроля режимов работы тиристорных и транзисторных компенсаторов реактивной мощности (до 50 Мвар) в энергетических установках, электротехнических и радиотехнических ИИС, промышленности, контроля качества изоляции, научных исследованиях [2].

Работа делителя напряжений заключается в свойствах пассивных линейных электрических цепей изменять амплитуду напряжения в любой точке электрической цепи пропорционально амплитуде входного сигнала [3].

Особенностью является возможность во всем диапазоне преобразовывать импульсы напряжения и работать в широкой полосе частот.

Делитель ДНВ-20И не уступает лучшим зарубежным аналогам – изделиям фирм HILO-Test (Германия), Ross Engineering Corp. (США), Haefely Test AG (Швейцария) [4].

Схема замещения ДНВ представлена в статье «Масштабные преобразователи высокого напряжения для информационно-измерительных систем», опубликованной в журнале «Надежность и качество сложных систем (2021)» [5].

Для проверки работоспособности делителя собрана схема модели в программе моделирования Multisim (рис. 1). На вход схемы подается напряжение V1 амплитудой 18 кВ. Блоки высокого НВ1 и низкого НВ2 напряжения образуют делитель с коэффициентом деления $K_d = 1500$, вследствие чего на выходе Out1 имеется напряжение 12 В.

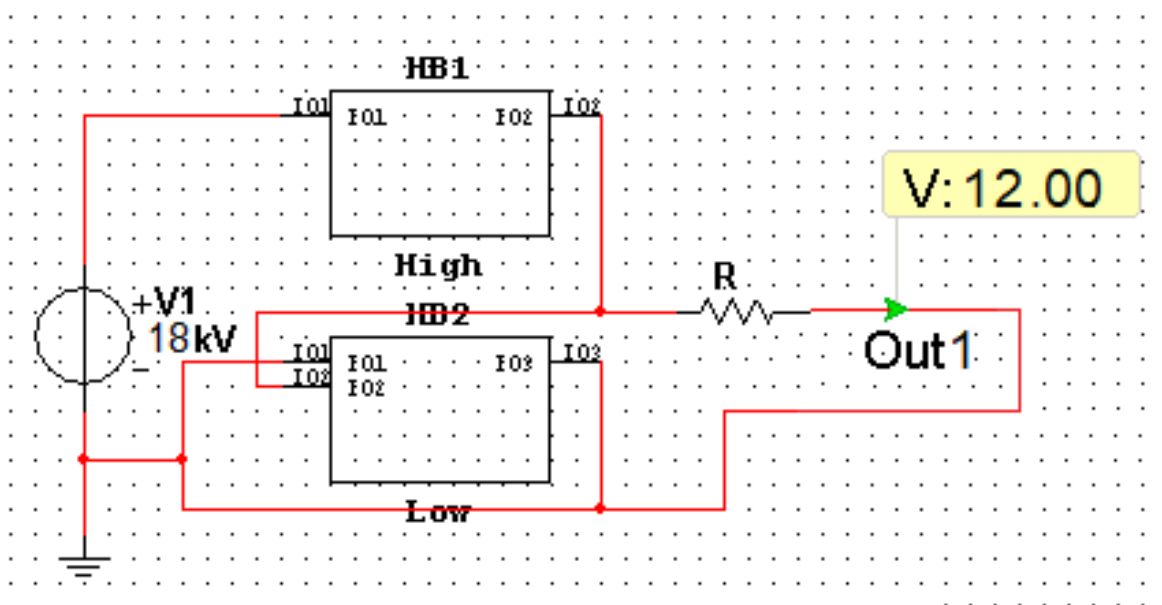


Рис. 1. Модель ДНВ-20И в программе Multisim

На готовом образце проверена работа с импульсами на низком уровне напряжения. В качестве источника выбран генератор импульсов Г5-54, с которого на вход ДНВ подавались прямоугольные импульсы амплитудой 6 В. На рис. 2 представлена осциллограмма входного С1 (желтый луч) и выходного С2 (синий луч) импульса.

Напряжение на выходе 4 мВ подтверждает, что делитель напряжений имеет соответствующий коэффициент деления и без искажений передает форму входного импульса.

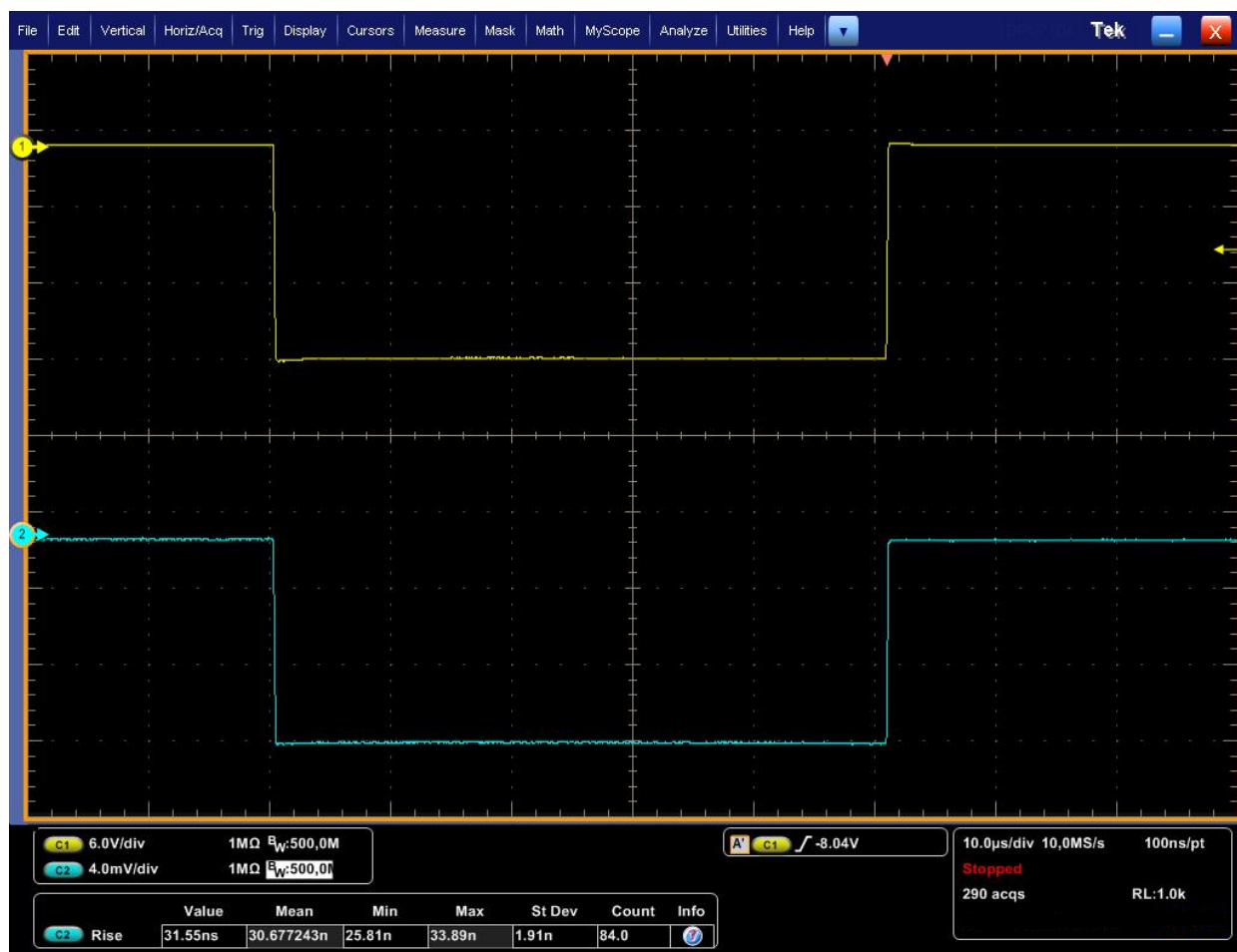


Рис. 2. Осциллограмма входного и выходного импульса ДНВ-20И на развертке 10 мкс

На рис. 3 представлен внешний вид делителя напряжений высоковольтного ДНВ-20И.



Рис. 3. Внешний вид делителя напряжений высоковольтного ДНВ-20И

Для подключения делителя к средствам контроля и измерения в ИИС используется высокочастотный соединительный кабель типа RG-214/U [6].

В табл. 1 приведены основные технические характеристики.

Таблица 1

Технические характеристики

Диапазон входных напряжений постоянного тока, кВ	1–18
Диапазон входных напряжений переменного тока частотой 50 Гц, кВ	1–12
Основная относительная погрешность преобразования U_{DC} , %	$\pm 0,1$
Основная относительная погрешность преобразования U_{AC} частотой 50 Гц, %	$\pm 0,5$
Время нарастания переходной характеристики, нс, не более	70
Амплитуда импульса, кВ	60
Диапазон рабочих частот, Гц	$50-5 \cdot 10^6$
Длина кабеля, м, не менее	0,8
Габаритные размеры (H/D/L), мм, не более	280/140/150
Вес, кг, не более	3

Испытательным центром ООО «ОМАКС» были проведены испытания делителей напряжений высоковольтных ДНВ-20И. Рассмотрим проверку на грозовом импульсе. На рис. 4 представлено фото на участке высоковольтных испытаний [7].

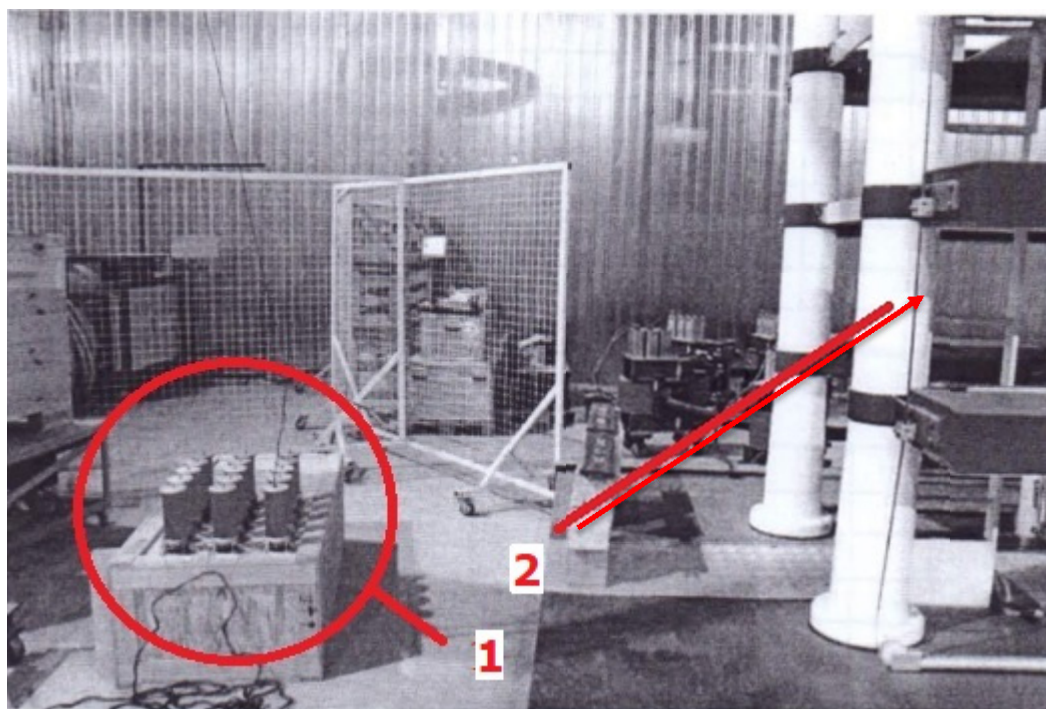


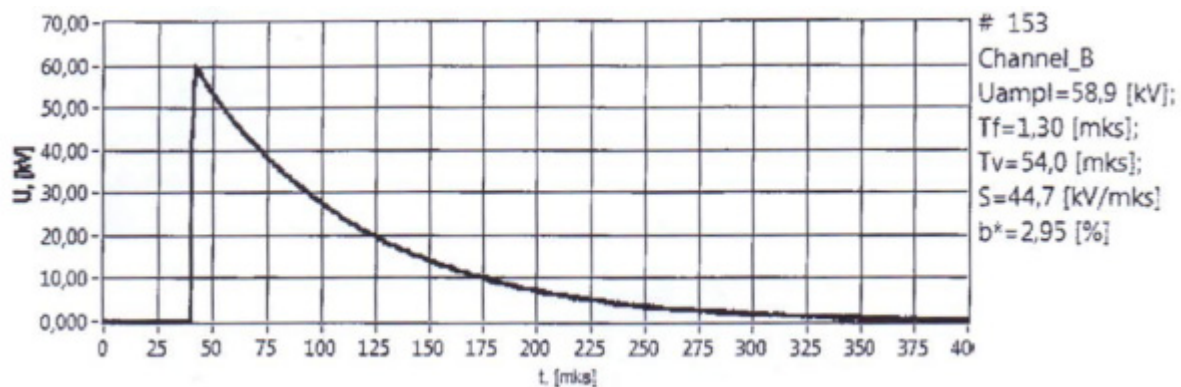
Рис. 4. Импульсные испытания делителей ДНВ-20И:
1 – делители напряжений высоковольтные ДНВ-20И;
2 – система измерения высокого импульсного напряжения CJDY-1600/120

На рис. 5 представлены графики результата измерения времени нарастания T_f и длительности T_v грозового импульса (1,2/50) напряжения положительной и отрицательной полярности амплитудой 60 кВ с выхода делителя напряжений ДНВ-20И.

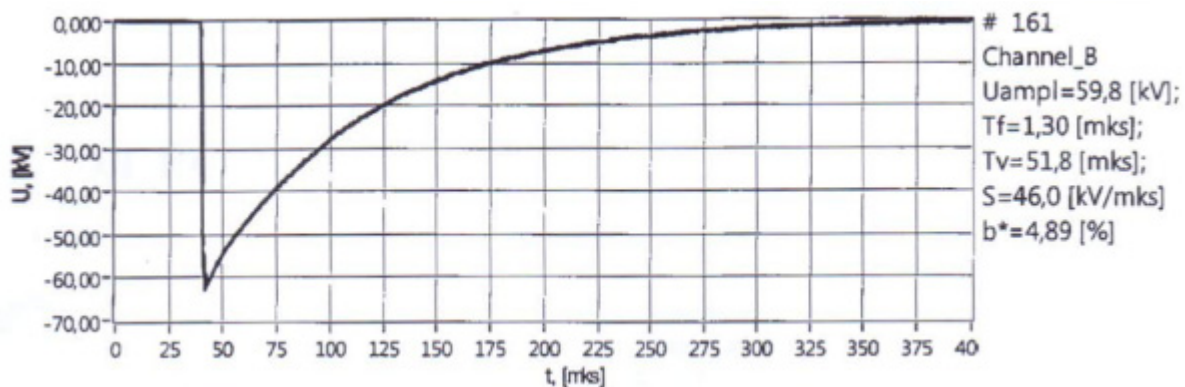
Графики рис. 5 показывают работу ДНВ-20И с импульсным напряжением. Исходя из ГОСТ 1516.2-97, стандартный грозовой импульс имеет время нарастания $T_f = 1,2 \pm 0,36$ мкс и длительность $T_v = 50 \pm 10$ мкс¹.

Анализируя графики, точно определяются параметры измеренных импульсов. На рис. 5 грозовой импульс (1,2/50) положительной полярности имеет $T_f = 1,3$ мкс и $T_v = 54,0$ мкс (рис. 5,а), а отрицательной полярности $T_f = 1,3$ мкс и $T_v = 51,8$ мкс (рис. 5,б). Тем самым делитель без искажений передает фронт и форму импульса.

¹ ГОСТ 1516.2-97. Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции.



а)



б)

Рис. 5. Графики грозowych импульсов:
а – положительной полярности; б – отрицательной полярности

Делители напряжений ДНВ-20И находят применение в высоковольтном широкополосном комплексе КМБТ (рис. 6) фирмы ЗАО «ИТЦ Континуум» (г. Ярославль). Комплекс предназначен для измерения постоянного/переменного/импульсного напряжения для лабораторных или промышленных применений. Применим для электроэнергетики, прикладной физики, тестирования электро-медицинского (рентгеновского) и коммуникационного оборудования [8].



Рис. 6. Высоковольтный широкополосный комплекс КМБТ

ЗАО «ИТЦ Континуум» также использует ДНВ-20И в комплексах измерений электрических параметров системы управления электропитанием сверхпроводящих катушек магнитной системы ИТЭР КМБТ.

Комплекс состоит из двух основных компонентов: первичного измерительного преобразователя напряжений (делителя), обеспечивающего масштабное преобразование постоянного и переменного напряжения, а также модуля аналогово-цифрового преобразования (модуля АЦП).

Заключение

Испытания, проведенные ИЦ ООО «ОМАКС», подтверждают соответствие делителей напряжений высоковольтных ДНВ-20И заявленным данным и требованиям ГОСТ 1516.2-97 и ИЕС 60060-1. Делители напряжений могут применяться для измерений высоких напряжений постоянного, переменного и импульсного тока.

Список литературы

1. Бочаров Ю. Н., Дудкин С. М., Титков В. В. Техника высоких напряжений : учеб. пособие. М. : Юрайт, 2018.
2. Делитель напряжения высоковольтный импульсный ДНВ-20И // Высоковольтные измерители напряжения. URL: <https://niiemp.ru/pribory/vysokovoltnye-izmeriteli-napryazheniya/item/dnv-20i.html/>
3. Бейер М., Бек В., Меллер К., Цаенгл В. Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения : пер с нем. / под ред. В. П. Ларионова. М. : Энергоатомиздат, 1989.
4. HVT-RCR // HILO-Test. URL: <https://www.hilo-test.de/products/product-categories/high-voltage-divider/item/202-hvt-rcr-en>
5. Ильин А. С., Карчев И. А., Большакова А. А., Перевертов В. П. Масштабные преобразователи высокого напряжения для информационно-измерительных систем // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 4. С. 13–19. doi:10.21685/2307-4205-2021-4-2
6. Делители напряжений высоковольтные. Технические условия. РУКЮ.411522.020 ТУ.
7. Лаборатория электрических испытаний // ООО «ОМАКС». URL: <http://omacs.ru/>
8. Широкополосная прецизионная система измерения напряжения КМБТ // Проекты. URL: <http://www.ec-continuum.ru/>

References

1. Bocharov Yu.N., Dudkin S.M., Titkov V.V. *Tekhnika vysokikh napryazheniy: ucheb. posobie* = High voltage technique : textbook. Moscow: Yurayt, 2018. (In Russ.)
2. Voltage divider high-voltage pulse DNV-20I. *Vysokovol'tnye izmeriteli napryazheniya* = High-voltage voltage meters. (In Russ.). Available at: <https://niiemp.ru/pribory/vysokovoltnye-izmeriteli-napryazheniya/item/dnv-20i.html>
3. Beyer M., Bek V., Meller K., Tsaengl' V. *Tekhnika vysokikh napryazheniy: teoreticheskie i prakticheskie osnovy primeneniya: per s nem.* = High voltage technique: theoretical and practical application bases : translation from German. Moscow: Energoatomizdat, 1989. (In Russ.)
4. HVT-RCR. *HILO-Test*. Available at: <https://www.hilo-test.de/products/product-categories/high-voltage-divider/item/202-hvt-rcr-en>
5. Il'in A.S., Karchev I.A., Bol'shakova A.A., Perevertov V.P. Large-scale high voltage converters for information and measurement systems. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* = Reliability and quality of complex systems. 2021;(4):13–19. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2021-4-2
6. High-voltage voltage dividers. Technical conditions. RUKU.411522.020 TU. (In Russ.)
7. Electrical Testing Laboratory. ООО «ОМАКС». (In Russ.). Available at: <http://omacs.ru/>
8. Broadband precision voltage measurement system KMBT. *Proekty* = Projects. (In Russ.). Available at: <http://www.ec-continuum.ru/>

Информация об авторах / Information about the authors

Алексей Сергеевич Ильин

аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40);
начальник лаборатории,
Научно-исследовательский институт
электронно-механических приборов
(Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)
E-mail: aalexeiil@mail.ru

Aleksey S. Ilin

Postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia);
head of laboratory,
Scientific Research Institute
of Electro-Mechanical Devices
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

Иван Анатольевич Карчев

начальник НПК-4,
Научно-исследовательский институт
электронно-механических приборов
(Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)
E-mail: npk4p@niiemp.ru

Александр Павлович Воронов

ведущий инженер,
Научно-исследовательский институт
электронно-механических приборов
(Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)
E-mail: npk@niiemp.ru

Ivan A. Karchev

Head of NPK-4,
Scientific Research Institute
of Electro-Mechanical Devices
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

Alexander P. Voronov

Lead engineer,
Scientific Research Institute
of Electro-Mechanical Devices
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 15.12.2021

Поступила после рецензирования/Revised 10.01.2022

Принята к публикации/Accepted 15.02.2022