

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

TECHNOLOGICAL BASIS FOR IMPROVING RELIABILITY AND PRODUCT QUALITY

УДК 621.317.727.1

doi:10.21685/2307-4205-2022-1-12

ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ДНВ-140И ДЛЯ 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 aalexii@mail.ru, ^{2,3} npk4p@niiemp.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Актуальность применения делителей напряжений высоковольтных в информационно-измерительных системах для контроля и измерения импульсных напряжений определяется применением различного электрооборудования и способных выдерживать воздействия и обеспечивать преобразование напряжений различных форм. Контроль одиночных грозовых и коммутационных импульсов вызывает необходимость применения широкополосных делителей напряжений. Целью работы является ознакомление с современным отечественным делителем напряжений ДНВ-140И и результатами его исследования. *Материалы и методы.* Использовался метод масштабного преобразования. *Результаты.* Приведены описание и результаты исследования делителя напряжения высоковольтного ДНВ-140И. *Вывод.* Делитель напряжений высоковольтный ДНВ-140И может использоваться для контроля и измерений цепей постоянного и переменного тока, а также импульсного напряжения.

Ключевые слова: электроустановки, грозовой импульс, коммутационный импульс, высокое напряжение, делитель напряжения, исследование

Для цитирования: Ильин А. С., Карчев И. А., Воронов А. П. Делитель напряжений высоковольтный ДНВ-140И для информационно-измерительных систем // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 1. С. 108–114. doi:10.21685/2307-4205-2022-1-12

HIGH VOLTAGE DIVIDER DNV-140I FOR INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

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

¹ Penza State University, Penza, Russia

^{1,2,3} Scientific and Research Institute of Electronic and Mechanic Instruments, Penza, Russia

¹ aalexii@mail.ru, ^{2,3} npk4p@niiemp.ru

Abstract. *Background.* The relevance of the use of high-voltage voltage dividers in information-measuring systems for monitoring and measuring impulse voltages is determined by the use of various electrical equipment and capable of withstanding exposure and providing the conversion of voltages of various forms. The control of single

lightning switching impulses necessitates the use of broadband voltage dividers. The purpose of the work is to familiarize with the modern domestic voltage divider DNV-140I and the results of its research. *Materials and methods.* Scaled transformation method was used. *Results.* The description and results of the study of the high-voltage voltage divider DNV-140I are given. *Conclusion.* High-voltage voltage divider DNV-140I can be used to control and measure DC and AC circuits, as well as impulse voltage.

Keywords: electrical installations, lightning switching, switching impulse, high voltage, voltage divider, research

For citation: Ilin A.S., Karchev I.A., Voronov A.P. High voltage divider DNV-140I for information-measuring systems. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2022;(1):108–114. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2022-1-12

В настоящее время для обеспечения надежной работы электростанций большое внимание уделяется информационно-измерительным системам (ИИС) контроля электроэнергии [1]. Из-за негативного воздействия и большой опасности грозовых явлений и коммутаций аппаратов возникает необходимость контроля и измерения одиночных грозовых и коммутационных импульсов, действующих на силовые трансформаторы, компенсаторы реактивной мощности и другое оборудование электроустановок [2]. Для этого применим способ измерения импульсов с помощью емкостно-омического делителя напряжения, способного выдерживать большую амплитуду напряжения и работать в широкой полосе частот [3].

Китайский рынок предлагает большой выбор высоковольтных импульсных преобразователей напряжений, способных выдерживать грозовые и коммутационные перенапряжения. США, Германия и другие страны с развитой электроэнергетикой также занимаются работой в этой сфере и предлагают соответствующие делители высоких напряжений.

Существует отечественный делитель напряжений высоковольтный импульсный ДНВ-140И, предназначенный для преобразования высоких напряжений до уровня, безопасного для последующей передачи, обработки и хранения измерительного сигнала. Может использоваться для контроля режимов работы цепей постоянного (до 140 кВ), переменного (до 140 кВ) и импульсного (до 200 кВ) токов электротехнических и радиотехнических ИИС [4].

Принцип работы делителя основан на свойствах пассивных линейных электрических цепей, изменять амплитуду напряжения в любой точке электрической цепи пропорционально амплитуде входного сигнала [5]. ДНВ способен масштабировать напряжения в широкой полосе частот.

Особенностью данного типа делителя напряжений является возможность во всем диапазоне преобразовывать грозовые и коммутационные импульсы напряжения.

Схема замещения емкостно-омического делителя напряжения представлена на рис. 1.

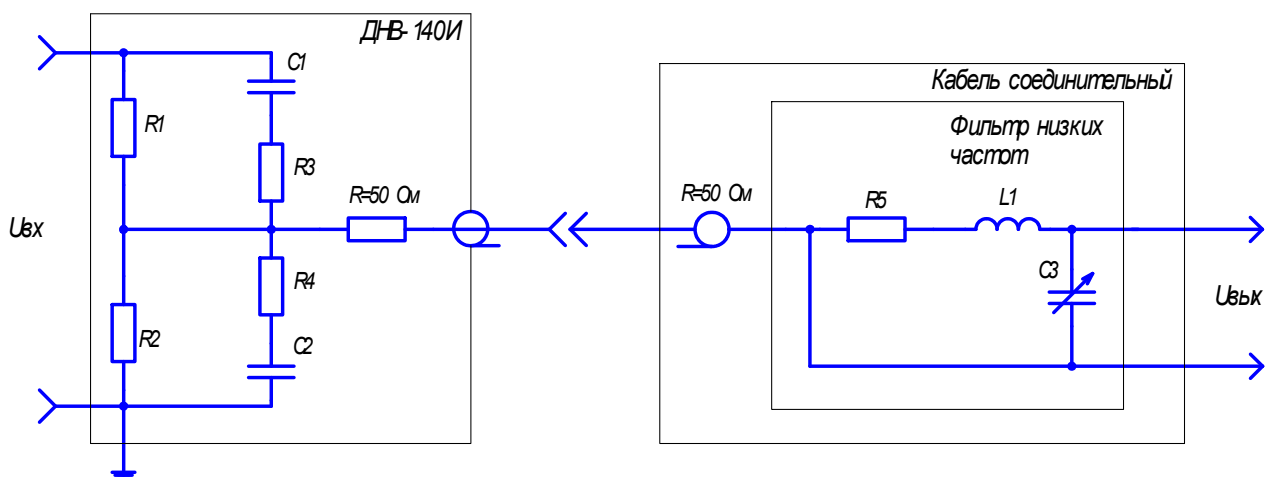


Рис. 1. Схема замещения делителя напряжения ДНВ-140И:

$U_{вх}$ – входное напряжение ДНВ; $U_{вых}$ – выходное напряжение из кабеля;

R_1 – сопротивление верхнего плеча; C_1 – емкость верхнего плеча;

R_2 – сопротивление нижнего плеча; C_2 – емкость нижнего плеча;

R_3 – демпферное сопротивление верхнего плеча;

R_4 – демпферное сопротивление нижнего плеча; R_5 , L_1 , C_3 – элементы фильтра

Для подключения делителя к средствам контроля и измерения в ИИС применяется кабель соединительный, состоящий из высокочастотного кабеля типа RG-214/U и фильтра низких частот [7].

На рис. 2 представлен внешний вид делителя напряжений высоковольтного ДНВ-140И.



Рис. 2. Внешний вид делителя напряжения высоковольтного ДНВ-140И

Делитель обеспечивает защиту от поражения электрическим током по классу I по ГОСТ 12.2.007.0-75¹. Степень защиты оболочки делителя по ГОСТ 14254-96 IP40DN. Категория монтажа I, степень загрязнения 1².

В табл. 1 приведены основные технические характеристики.

Таблица 1

Технические характеристики

Диапазон входных напряжений постоянного тока, кВ	14–140
Диапазон входных напряжений переменного тока частотой 50 Гц, кВ	10–100
Основная относительная погрешность преобразования U_{DC} , %	±1
Основная относительная погрешность преобразования U_{AC} частотой 50 Гц, %	±1
Время нарастания переходной характеристики, нс, не более	50
Амплитуда импульса, кВ	230
Диапазон рабочих частот, Гц	50–8·10 ⁶
Длина кабеля, м, не более	10
Габаритные размеры (H/D/L), мм, не более	1097/360/396
Вес, кг, не более	23

Испытательным центром ФГУП «ВНИИМС» были проведены исследования основных метрологических характеристик делителя напряжений высоковольтного ДНВ-140И.

¹ ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

² ГОСТ 14254-96 IP40DN Степени защиты, обеспечиваемые оболочками.

Для проверки характеристик на напряжении постоянного тока и напряжении переменного тока промышленной частоты 50 Гц использовались (ГЭТ 181 – 2010) государственный первичный специальный эталон единицы электрического напряжения постоянного тока в диапазоне $\pm (1 \dots 500)$ кВ и (ГЭТ 191 – 2019) государственный первичный специальный эталон единицы электрического напряжения переменного тока промышленной частоты и комбинированного напряжения в диапазоне от 1 до 500 кВ с гармоническими составляющими от 0,3 до 50 порядка, в диапазоне частот от 15 до 2500 Гц.

Для проверки характеристик на импульсном напряжении использовался (ГЭТ 204 – 2012) государственный первичный специальный эталон единицы электрического напряжения стандартизованных грозовых и коммутационных импульсов в диапазоне от 1 до 1000 кВ [8].

В качестве примера работы ДНВ-140И с импульсами рассмотрим проверку на ГЭТ 204 – 2012 на коммутационном импульсе. На рис. 3 представлено фото в высоковольтной лаборатории импульсного напряжения ФГУП «ВНИИМС».



Рис. 3. Исследование метрологических характеристик ДНВ-140И на импульсном напряжении в высоковольтной лаборатории ФГУП «ВНИИМС»: 1 – делитель напряжений высоковольтный ДНВ-140И; 2 – государственный первичный специальный эталон единицы электрического напряжения стандартизованных грозовых и коммутационных импульсов в диапазоне от 1 до 1000 кВ (ГЭТ 204 – 2012)

На рис. 4 представлена осциллограмма результатов измерений амплитуды, временных параметров T_1 и T_2 на коммутационном импульсе напряжения положительной полярности до 200 кВ с выхода исследуемого делителя напряжений ДНВ-140И и образцового импульса [6].

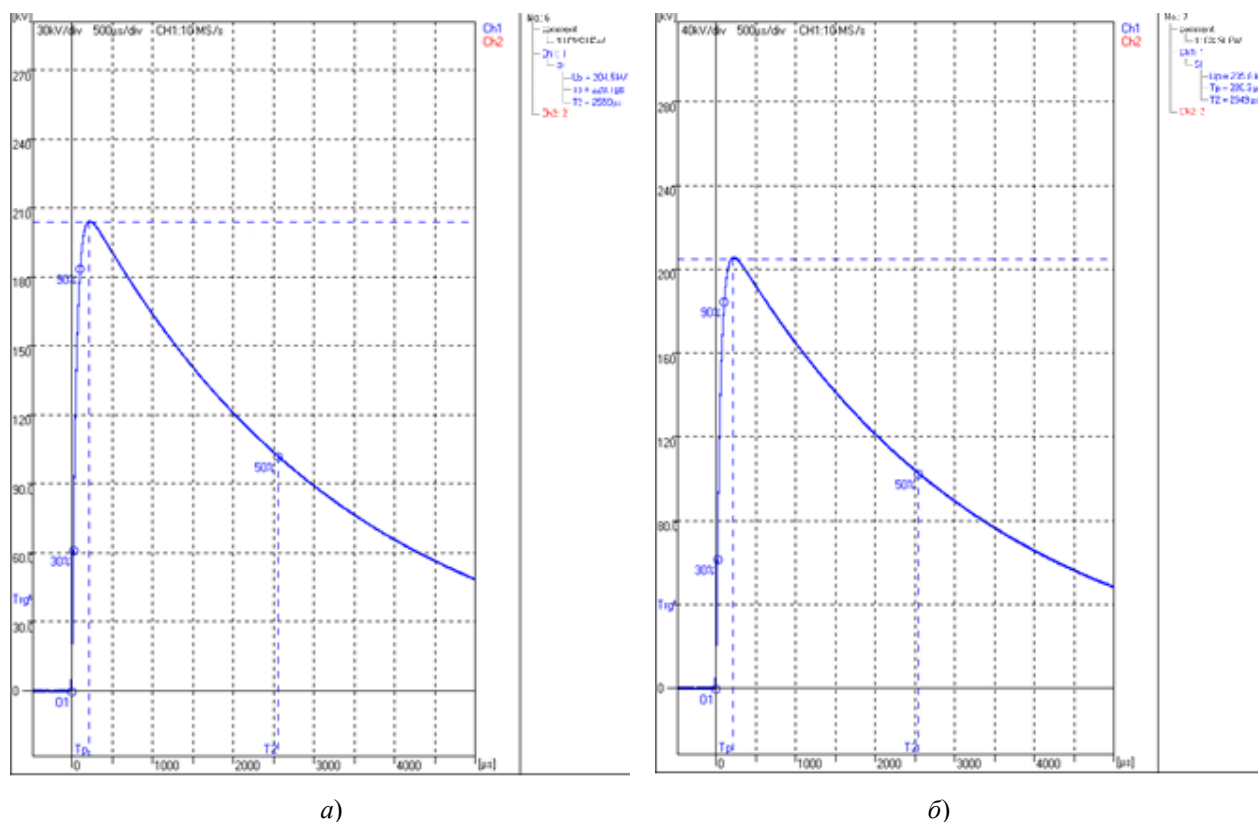


Рис. 4. Результаты измерений амплитуды и временных параметров напряжения коммутационного импульса положительной полярности амплитудой 205 кВ с применением:
 а – ДНВ-140И; б – ЭИС в составе ГЭТ 204 – 2012

Осциллограммы рис. 4 показывают наглядное сравнение образцового коммутационного импульса и импульса с выхода ДНВ-140И. Анализируя графики, точно определяются параметры измеренных импульсов. На рис.4,а коммутационный импульс положительной полярности амплитудой 205 кВ имеет время нарастания $T_1 = 220,1$ мкс и длительность $T_2 = 2559$ мкс. Временные характеристики образцового коммутационного импульса той же величины, представленного на рис. 4.б, $T_1 = 220,3$ мкс и $T_2 = 2549$ мкс.

Проведя измерения при различной амплитуде напряжения, следует отметить точную повторяемость сигнала во всем диапазоне напряжений до 200 кВ. Фронт и форму импульса от высоковольтного генератора делитель ДНВ-140И передает без искажений.

Проверка погрешности преобразования напряжения постоянного тока и напряжения переменного тока частотой 50 Гц с применением ГЭТ 181 – 2010 и ГЭТ 191 – 2019 соответственно показала, что результаты измерений соответствуют диапазону преобразования напряжений, а пределы относительной погрешности измерения напряжений не превышают заявленных ± 1 %.

Заключение

Результатом проведенных испытательным центром ФГУП «ВНИИМС» исследований метрологических характеристик делителя напряжений высоковольтного ДНВ-140И являются заключения и рекомендации:

- может использоваться для измерений грозового и коммутационного импульса напряжения;
- можно рекомендовать для измерения напряжений постоянного (до 140 кВ), переменного (до 100 кВ) токов.

Список литературы

1. Коломиец Н. В., Пономарчук Н. Р., Шестакова В. В. Электрическая часть электростанций и подстанций : учеб. пособие. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2007.
2. Герасименко А. А., Федин И. Т. Передача и распределение электрической энергии : учеб. пособие. М. : Кнорус, 2014. 648 с.
3. Бочаров Ю. Н., Дудкин С. М., Титков В. В. Техника высоких напряжений : учеб. пособие. М. : Юрайт, 2018.
4. АО «НИИЭМП». URL: [https:// www.niiemp.ru](https://www.niiemp.ru)
5. Бейер М., Бек В., Меллер К., Цаенгль В. Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения : пер с нем. / под ред. В. П. Ларионова. М. : Энергоатомиздат, 1989.
6. Шваб А. Измерения на высоком напряжении. М. : Энергоатомиздат, 1983.
7. Делители напряжений высоковольтные. Технические условия. РУКЮ.411522.020 ТУ.
8. ФГУП «ВНИИМС». URL: <https://www.vniims.ru/about/etalonnaya-baza>

References

1. Kolomiets N.V., Ponomarchuk N.R., Shestakova V.V. *Elektricheskaya chast' elektrostantsiy i podstantsiy: ucheb. posobie = The electrical part of power plants and substations : textbook*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2007. (In Russ.)
2. Gerasimenko A.A., Fedin I.T. *Peredacha i raspredelenie elektricheskoy energii: ucheb. posobie = Transmission and distribution of electric energy : textbook*. Moscow: Knorus, 2014:648. (In Russ.)
3. Bocharov Yu.N., Dudkin S.M., Titkov V.V. *Tekhnika vysokikh napryazheniy: ucheb. posobie = High voltage technique : textbook*. Moscow: Yurayt, 2018. (In Russ.)
4. АО «НИИЭМП». Available at: [https:// www.niiemp.ru](https://www.niiemp.ru)
5. 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 bases of application: translated from German*. Moscow: Energoatomizdat, 1989. (In Russ.)
6. Shvab A. *Izmereniya na vysokom napryazhenii = Measurements at high voltage*. Moscow: Energoatomizdat, 1983. (In Russ.)
7. *Deliteli napryazheniy vysokovol'tnye. Tekhnicheskie usloviya. RUKYu.411522.020 TU = High voltage voltage dividers. Technical conditions. ARM.411522.020 TU*. (In Russ.)
8. *FGUP «VNIIMS»*. Available at: <https://www.vniims.ru/about/etalonnaya-baza>

Информация об авторах / Information about the authors

Алексей Сергеевич Ильин

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

Иван Анатольевич Карчев

начальник отдела измерительных приборов,
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: npk4p@niiemp.ru

Aleksey S. Ilin

Postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia);
electronics engineer,
Scientific and Research Institute
of Electronic and Mechanic Instruments
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

Ivan A. Karchev

Head of the measuring instruments department,
Scientific and Research Institute
of Electronic and Mechanic Instruments
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

Alexander P. Voronov

Lead engineer,
Scientific and Research Institute
of Electronic and Mechanic Instruments
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

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

Поступила в редакцию/Received 02.09.2021

Поступила после рецензирования/Revised 15.10.2021

Принята к публикации/Accepted 09.11.2021