

СОГЛАСОВАНО  
Технический директор ООО «НИЦ «ЭНЕРГО»



П.С. Казаков

2026 г.

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

**УСТАНОВКИ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ  
VLF SIN**

**Методика поверки**

**МП-НИЦЭ-019-26**

**г. Москва  
2026**

## 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая методика распространяется на установки измерительные высоковольтные VLF SIN, изготавливаемые компанией «Megger Germany GmbH», Германия, и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

Установки измерительные высоковольтные VLF SIN (далее по тексту – установки или приборы) предназначены для воспроизведения высокого напряжения переменного тока инфранизкой частоты и напряжения постоянного тока, измерений силы постоянного тока (тока утечки), измерений тангенса угла диэлектрических потерь, измерений характеристик частичных разрядов.

При проведении поверки обеспечивается прослеживаемость установок измерительных высоковольтных VLF SIN к государственному первичному эталону ГЭТ 181-2022 по Приказу Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии 25 декабря 2025 г. № 2854 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений постоянного электрического напряжения в диапазоне от 1 до 500 кВ»; ГЭТ 4-91 по Приказу Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 01 октября 2018 г. № 2091 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-16}$  до 100 А».

Поверка установок измерительных высоковольтных VLF SIN должна проводиться в соответствии с требованиями настоящей методики поверки.

Допускается проведение периодической поверки для меньшего числа измеряемых величин в соответствии с заявлением владельца средства измерений, с обязательным указанием в сведениях о поверке информации об объеме проведенной поверки.

Методы, обеспечивающие реализацию методики поверки – метод прямых измерений, метод непосредственного сличения.

В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в пункте 10.1 настоящей методики.

## 2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При поверке выполняются операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
Контроль условий поверки	Да	Да	8.1
Опробование	Да	Да	8.2
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений	Да	Да	10
Определение относительной погрешности воспроизведения напряжения	Да	Да	10.2
Определение относительной погрешности измерений силы постоянного тока	Да	Да	10.3

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Определение абсолютной погрешности измерений тангенса угла диэлектрических потерь <sup>1)</sup>	Да	Да	10.4
Определение относительной погрешности измерений кажущегося заряда <sup>2)</sup>	Да	Да	10.5
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	11
Примечания: <sup>1)</sup> – пункт выполняется при комплектовании установки опциональным измерителем тангенса угла диэлектрических потерь; <sup>2)</sup> – пункт выполняется при комплектовании установки опциональным измерителем частичных разрядов PDS 62-SIN			

### 3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха от +18 °С до +28 °С;
- относительная влажность от 30 % до 80 %;
- атмосферное давление от 86 до 106 кПа или от 645 до 795 мм рт. ст.

### 4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 К проведению поверки допускаются лица, изучившие настоящую методику, эксплуатационную документацию на поверяемые средства измерений и средства поверки.

4.2 К проведению поверки допускаются лица, соответствующие требованиям, изложенным в статье 41 Приказа Минэкономразвития России от 26.10.2020 года № 707 (ред. от 30.12.2020 года) «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации».

### 5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

Таблица 2 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
<b>Основные средства поверки</b>		
п. 10.2 Определение относительной погрешности воспроизведения напряжения	Эталоны единицы напряжения постоянного тока, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 2-го разряда в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной Приказом Росстандарта от 25.12.2025 г. № 2854.	Киловольтметры многопредельные цифровые ПрофКиП СКВ-120/140, рег. № 64607-16

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	Средства измерений напряжения постоянного тока в диапазоне измерений от 2 до 62 кВ	
п. 10.3 Определение относительной погрешности измерений силы постоянного тока	<p>Эталоны единицы силы постоянного тока, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 2-го разряда в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной Приказом Росстандарта от 01.10.2018 г. № 2091.</p> <p>Средства измерений силы постоянного тока в диапазоне измерений от 0 до 20 мА</p>	Вольтметры универсальные цифровые GDM-78261, рег. № 52669-13
п. 10.4 Определение абсолютной погрешности измерений тангенса угла диэлектрических потерь	<p>Эталоны единицы электрического сопротивления переменного тока, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 3-го разряда в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной Приказом Росстандарта от 30.12.2019 г. № 3456.</p> <p>Средства измерений электрического сопротивления переменного тока в диапазоне измерений от 0 до 4,7 МОм.</p> <p>Эталоны единицы электрической емкости, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 3-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.371-80.</p> <p>Средства измерений электрической емкости в диапазоне измерений от 0 до 1 мкФ</p>	Измерители иммитанса HM8118, рег. № 50577-12
п. 10.5 Определение относительной погрешности измерений кажущегося заряда	<p>Эталоны единицы электрической емкости, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 3-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.371-80.</p> <p>Средства измерений электрической емкости в диапазоне измерений от 0 до 100 пФ.</p> <p>Эталоны единицы импульсного электрического напряжения, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 2-го разряда в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной</p>	<p>Измерители иммитанса HM8118, рег. № 50577-12</p> <p>Осциллографы цифровые запоминающие WR 6030, WR 6030A, WR 6050, WR 6050A, WR 6051, WR 6051A, WR 6100, WR 6100A, WR 6200,</p>

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	Приказом Росстандарта от 30.12.2019 г. № 3463. Средства измерений импульсного электрического напряжения в диапазоне воспроизведения от 0,1 до 1000 В	WR 6200A: модификация WR 6100A, рег. № 28222-04. Калибраторы универсальные 9100, 9100E: модификация 9100, рег. № 25985-03
<b>Вспомогательные средства поверки</b>		
п.п. 8.1, 8.2, р. 10 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средство измерений температуры окружающего воздуха в диапазоне от +18 °С до +28 °С с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений $\pm 1$ °С	Термометры ртутные стеклянные лабораторные ТЛ-4, рег. № 303-91
	Средство измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 30 % до 80 % с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений $\pm 6$ %	Психрометры аспирационные МВ-4-2М, М-34-М: модификация М-34-М, рег. № 10069-11
	Средство измерений атмосферного давления в диапазоне от 86 до 106 кПа с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений $\pm 0,5$ кПа	Барометры-анероиды метрологические БАММ-1, рег. № 5738-76
п. 10.3 Определение относительной погрешности измерений силы постоянного тока	Номинальное сопротивление 2 МОм <sup>1)</sup> . Рабочее напряжение не менее 62 кВ	Нагрузка активная высоковольтная
п. 10.4 Определение абсолютной погрешности измерений тангенса угла диэлектрических потерь	Конденсатор с номинальной емкостью 0,33 мкФ. Резисторы с номинальными сопротивлениями 0,47 кОм, 4,7 кОм, 47 кОм, 470 кОм, 4,7 МОм	Конденсатор М20230702. 0,33 мкФ, 65 кВ. Резисторы С5-35В, ПЭВ, КЭВ
п. 10.5 Определение относительной погрешности измерений кажущегося заряда	Калибратор кажущегося заряда. Номинальные значения воспроизводимого кажущегося заряда 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100 нКл. Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения кажущегося заряда $\pm 5$ %	Калибратор кажущегося заряда CAL1 (из комплекта измерителя частичных разрядов PDS 62-SIN)
п. 10.5 Определение относительной погрешности измерений кажущегося заряда	Щуп к осциллографу с делителем 1:100	Щуп к осциллографу с делителем 1:100 Hantek T3100
<p>Примечания:</p> <p><sup>1)</sup> – номинальное сопротивление может быть и иным. Основное требование к нагрузке – обеспечивать создание тока нагрузки в требуемых диапазонах измерений в пределах диапазона воспроизведения выходного напряжения поверяемого прибора.</p>		

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице, а также другое вспомогательное оборудование, удовлетворяющее техническим требованиям, указанным в таблице		

## 6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки необходимо соблюдать требования безопасности, установленные ГОСТ 12.3.019-80, «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей». Также должны быть соблюдены требования безопасности, изложенные в эксплуатационных документах на поверяемые приборы и применяемые средства поверки.

## 7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие поверяемого прибора следующим требованиям:

1. Комплектность должна соответствовать руководству по эксплуатации.
2. Все органы управления и коммутации должны действовать плавно и обеспечивать надежность фиксации во всех позициях.
3. Не должно быть механических повреждений корпуса, лицевой панели, органов управления. Незакрепленные или отсоединенные части прибора должны отсутствовать. Внутри корпуса не должно быть посторонних предметов. Все надписи на панелях должны быть четкими и ясными.
4. Все разъемы, клеммы не должны иметь повреждений и должны быть чистыми.

При наличии дефектов поверяемый прибор бракуется и направляется в ремонт.

## 8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

### 8.1 Контроль условий поверки

Перед поверкой должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

1. Средства измерений, используемые при поверке, должны быть поверены и подготовлены к работе согласно их руководствам по эксплуатации.
2. Поверяемое средство измерений должно быть подготовлено в соответствии с руководством по эксплуатации.
3. Проведен контроль условий поверки на соответствие требованиям, указанным в разделе 3 с помощью оборудования, указанного в таблице 2.

### 8.2 Опробование

Опробование производить в следующем порядке:

1. Включить установку.
2. Проверить работоспособность дисплея, органов управления, возможности установки различных режимов. Режимы, отображаемые на дисплее, должны соответствовать требованиям руководства по эксплуатации (далее по тексту – РЭ).

При неверном функционировании установка бракуется и подлежит ремонту.

## 9 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Проверку программного обеспечения (ПО) средства измерений проводить в следующем порядке:

1. Включить установку.
2. В главном меню выбрать пункт «Настройки».
3. В открывшемся экране выбрать пункт «Информация».
4. В открывшемся экране в строке «Инфо о прог. обеспечении» появившегося окна зафиксировать номер версии встроенного ПО. Он должен соответствовать требованиям, указанным в таблице 3.

При невыполнении этих требований поверка прекращается и установка бракуется.

Таблица 3 – Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	–
Номер версии (идентификационный номер ПО), не ниже	4.X.X
Цифровой идентификатор ПО	–
Примечание – X - номер версии метрологически незначимой части встроенного ПО, «X» может принимать целые значения в диапазоне от 0 до 9	

## 10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

### 10.1 Метрологические характеристики, подлежащие определению

Таблица 4 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение для модификаций	
	VLF SIN-37	VLF SIN-62
Диапазон воспроизведения напряжения переменного тока, кВ: - синусоидальной формы (амплитудное значение) - синусоидальной формы (среднеквадратическое значение) - прямоугольной формы	от 2 до 37  от 1,4 до 26 от 2 до 37	от 2 до 62  от 1,4 до 44 от 2 до 62
Диапазон воспроизведения напряжения постоянного тока, кВ <sup>1)</sup>	от 2 до 37	от 2 до 62
Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения напряжения переменного и постоянного тока, %	±1	
Диапазон частот выходного напряжения переменного тока, Гц	от 0,01 до 0,1	
Диапазон измерений силы постоянного тока (тока утечки), мА	от 0 до 20	
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений силы постоянного тока (тока утечки), %	±1	
Диапазон измерений тангенса угла диэлектрических потерь <sup>2)</sup>	от $1 \cdot 10^{-4}$ до 1	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений тангенса угла диэлектрических потерь <sup>2)</sup> - в диапазоне от 0,0001 до 0,01 включ. - в диапазоне св. 0,01 до 0,1 включ. - в диапазоне св. 0,1 до 1 включ.	$\pm 1 \cdot 10^{-4}$ $\pm 3 \cdot 10^{-4}$ $\pm 3 \cdot 10^{-3}$	

Наименование характеристики	Значение для модификаций	
	VLF SIN-37	VLF SIN-62
Диапазон показаний кажущегося заряда, нКл <sup>3)</sup>	от 0,002 до 100	
Диапазон измерений кажущегося заряда, нКл <sup>3)</sup>	от 0,1 до 100	
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений кажущегося заряда, % <sup>3)</sup>	±10	
Номинальные значения воспроизводимого кажущегося заряда калибратора CAL1, нКл <sup>4)</sup>	0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100	
Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения кажущегося заряда калибратора CAL1, % <sup>4)</sup>	±5	
Примечания:		
1) – положительной и отрицательной полярности;		
2) – с опциональным измерителем тангенса угла диэлектрических потерь;		
3) – с опциональным измерителем частичных разрядов PDS 62-SIN;		
4) – из комплекта поставки измерителя частичных разрядов PDS 62-SIN		

## 10.2 Определение относительной погрешности воспроизведения напряжения

Определение погрешности проводить при помощи киловольтметра многопредельного цифрового ПрофКиП СКВ-120/140 (далее по тексту – киловольтметр) в следующей последовательности:

1. Собрать схему измерений, изображенную на рисунке 1.

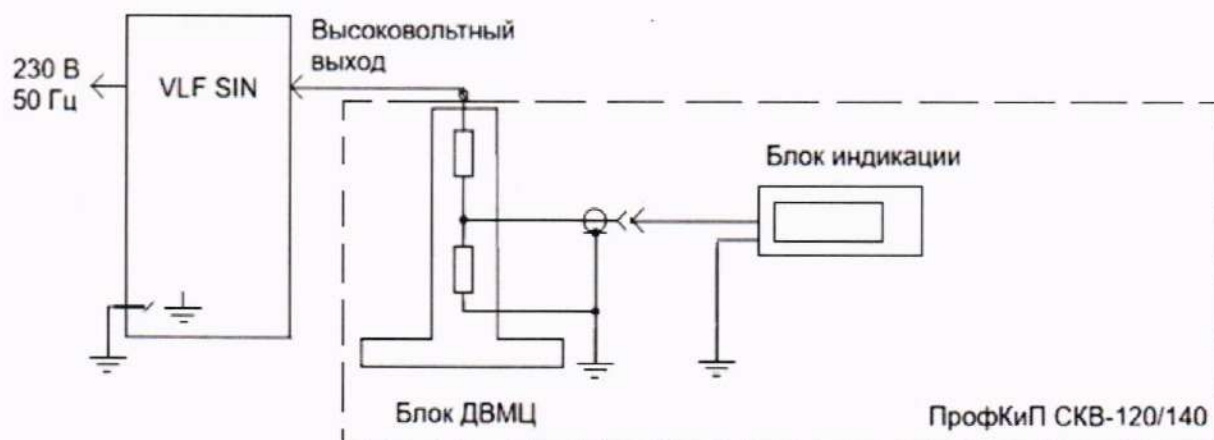


Рисунок 1

2. Перевести поверяемый прибор в режим формирования напряжения переменного тока с частотой 0,1 Гц. Установить время испытаний 10 минут.
3. Органами управления поверяемого прибора установить выходное напряжение, соответствующее нижнему пределу диапазона воспроизведения напряжения переменного тока.
4. Произвести измерение выходного напряжения поверяемого прибора, фиксируя максимальные показания киловольтметра. За результат измерений принимается наибольшее (по модулю) значение напряжения.
5. Провести измерения напряжения поверяемого прибора в точках, соответствующих 10 % – 15 %, 20 % – 30 %, 40 % – 60 %, 70 % – 80 % и 90 % – 100 % от конечного значения диапазона воспроизведения напряжения, фиксируя максимальные показания киловольтметра в течение 10 минут. За результат измерений принимается наибольшее (по модулю) значение напряжения.

6. Провести измерения по п.п. 1 – 5 для частоты напряжения переменного тока 0,01 Гц, устанавливая время испытаний 30 минут, и фиксируя показания киловольтметра. За результат измерений принимается наибольшее (по модулю) значение напряжения.
7. Перевести поверяемый прибор в режим формирования напряжения постоянного тока положительной полярности. Установить время испытаний 10 минут. Провести измерения выходного напряжения поверяемого прибора в точке, соответствующей нижнему пределу диапазона воспроизведения напряжения постоянного тока и точках, соответствующих 10 % – 15 %, 20 % – 30 %, 40 % – 60 %, 70 % – 80 % и 90 % – 100 % от конечного значения диапазона воспроизведения напряжения, фиксируя максимальные показания киловольтметра.
8. Провести измерения по п. 7 для отрицательной полярности напряжения.
9. Рассчитать погрешность по формуле (4).

### 10.3 Определение относительной погрешности измерений силы постоянного тока

Определение погрешности проводить при помощи вольтметра универсального цифрового GDM-78261 (далее по тексту – вольтметр) в следующей последовательности:

1. Собрать схему измерений, изображенную на рисунке 2.



Рисунок 2

2. Перевести поверяемый прибор в режим формирования напряжения постоянного тока положительной полярности.
3. Перевести вольтметр универсальный цифровой GDM-78261 в режим измерений силы постоянного тока (амперметра).
4. Органами управления поверяемого прибора установить выходное напряжение, соответствующее 10 % – 15 % от конечного значения диапазона измерений.
5. Произвести измерение выходного тока прибора, фиксируя показания вольтметра.
6. Провести измерения по п.п. 4 – 5 устанавливая на поверяемом приборе выходное напряжение, соответствующее 20 % – 30 %, 40 % – 60 %, 70 % – 80 % и 90 % – 100 % от конечного значения диапазона измерений.
7. Провести измерения по п.п. 3 – 6 для отрицательной полярности выходного напряжения постоянного тока.

*ПРИМЕЧАНИЕ: При определении погрешности необходимо внимательно следить за выходным напряжением, чтобы не превысить верхний предел диапазона измерений силы тока. В зависимости от имеющейся нагрузки допускается устанавливать меньшее выходное напряжение, чем это указано в п.п. 4 и 6.*

8. Рассчитать погрешность по формуле (5).

#### 10.4 Определение абсолютной погрешности измерений тангенса угла диэлектрических потерь

Определение погрешности проводить для номинальных значений тангенса угла диэлектрических потерь 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1 с помощью составных мер тангенса угла диэлектрических потерь (последовательно соединенные электрическая емкость и сопротивление) при синусоидальном выходном напряжении установки амплитудой 2 кВ и частотой 0,1 Гц.

Для частоты напряжения 0,1 Гц ( $f$ ) и емкости конденсатора ( $C$ ) с номинальной электрической емкостью 330 нФ расчет сопротивлений ( $R$ ) для составной меры тангенса угла потерь ( $tg\delta$ ) производится по формуле для последовательной схемы:

$$R = \frac{tg\delta}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad (1)$$

При вышеперечисленных исходных данных получаем следующие расчетные и ближайшие стандартные значения для резисторов:

Таблица 5

Номинальное значение тангенса угла потерь, $tg\delta$	Расчетное значение сопротивления $R$ , кОм	Ближайший типовой номинал резистора $R$ (E24), кОм	Значение тангенса угла потерь $tg\delta$ с резистором $R$	Расчетное напряжение на резисторе, В	Расчетная мощность резистора, Вт	Рекомендуемый тип резистора	Мощность резистора, Вт
0,0001	0,482	0,47	0,0001	0,19	0,000081	С5-35В/ПЭВ	10
0,001	4,823	4,7	0,00097	1,95	0,000806	С5-35В/ПЭВ	10
0,01	48,229	47	0,00975	19,29	0,007920	С5-35В/ПЭВ	10
0,1	482,288	470	0,09745	177,53	0,067054	КЭВ	2
1	4822,877	4700	0,97452	1395,53	0,414365	КЭВ	2

Примечания:

1) Мощность резисторов: при напряжении 2 кВ и частоте 0,1 Гц основной ток определяется емкостным сопротивлением  $X_c=4,8$  МОм. Ток в цепи составит всего около 0,4 мА. Выделяемая мощность на резисторах будет ничтожной, но физический размер резисторов на 10 Вт необходим для обеспечения электрической прочности (длины пути утечки по корпусу), чтобы не было пробоя изоляции по поверхности.

2) Монтаж резисторов должен быть выполнен на высоковольтных изоляторах

В зависимости от типа диэлектрика конденсатора составной меры тангенса, значение его собственного тангенса угла диэлектрических потерь может принимать различное значение. Справочные данные приведены в таблице 6.

Для проверки может быть выбран любой из этих конденсаторов, основное условие – минимальная емкость должна быть не менее 20 нФ. Соответственно, номиналы резисторов для составной меры тангенса угла диэлектрических потерь должны быть пересчитаны для емкости выбранного конденсатора по формуле (1).

Таблица 6

Тип диэлектрика конденсатора	Типовой собственный тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$	Применимость для поверки
Газ (SF6/N2)	$<0,0001$	Идеально
Полипропилен (сухой)	от 0,0002 до 0,0005	Хорошо
Полистирол	от 0,0003 до 0,0008	Хорошо
Полипропилен (в заливке)	от 0,001 до 0,003	Хорошо

Если конденсатор составной меры тангенса имеет собственное значение тангенса угла диэлектрических потерь, менее 0,0001, то определение погрешности проводить в следующей последовательности:

#### 1. Подготовительные операции

1. Очистить изоляторы конденсатора и резисторов перед измерениями с помощью спирта.
2. С помощью измерителя НМ8118 измерить действительные значения электрической емкости конденсатора ( $C_d$ ) и сопротивления резисторов ( $R_{i_d}$ ) на частоте 100 Гц и записать их в протокол (таблица 7).
3. Определить базовое значение тангенса угла диэлектрических потерь (поправку)  $\text{tg} \delta_b$  следующим образом:
  - подключить к выходу установки конденсатор 330 нФ (без резисторов).
  - подать с выхода установки напряжение 2 кВ частотой 0,1 Гц и выдержать конденсатор под напряжением в течение 1 минуты для стабилизации процессов поляризации в диэлектрике.
  - зафиксировать показание установки  $\text{tg} \delta_b$ . Это будет базовое значение тангенса угла диэлектрических потерь, учитывающее собственные потери конденсатора и утечки линии.

#### 2. Проведение измерений

Измерения проводятся дифференциальным (разностным) методом, когда измеряются приращения тангенса угла диэлектрических потерь в заданных точках.

1. Собрать схему измерений, изображенную на рисунке 3.

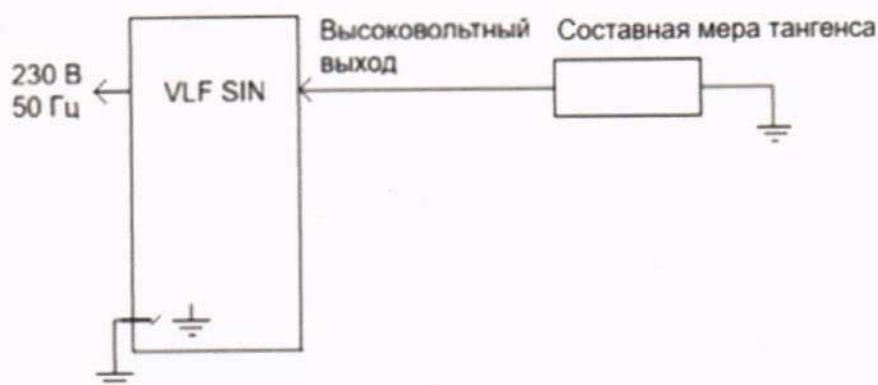


Рисунок 3

2. Подключая к выходу установки составные меры тангенса угла диэлектрических потерь согласно таблице 7, провести измерения  $\text{tg} \delta_{\text{изм } i}$ . Время измерений в каждой точке – 1 минута, кроме последней, где время измерений 20 – 30 секунд. Результаты измерений занести в таблицу 7.

Таблица 7

Номинальное значение тангенса угла потерь, $\text{tg}\delta$	Номинальная емкость конденсатора, нФ	Номинальное сопротивление резистора $R_i$ , кОм	Измеренная емкость конденсатора, $C_d$ , нФ	Измеренное сопротивление резистора $R_{i\_д}$ , кОм	Результат измерений, $\text{tg}\delta_{\text{изм}_i}$	Расчетное приращение тангенса, $\Delta\text{tg}\delta_{\text{теор}_i}$
–	330	–	–	–	$\text{tg}\delta_B$	–
0,0001	330	0,47				$2\pi \cdot 0,1 \cdot C_d \cdot R_{1\_д}$
0,001	330	4,7				$2\pi \cdot 0,1 \cdot C_d \cdot R_{2\_д}$
0,01	330	47				$2\pi \cdot 0,1 \cdot C_d \cdot R_{3\_д}$
0,1	330	470				$2\pi \cdot 0,1 \cdot C_d \cdot R_{4\_д}$
1	330	4700				$2\pi \cdot 0,1 \cdot C_d \cdot R_{5\_д}$

3. Для каждой точки рассчитать измеренное (фактическое) приращение тангенса угла диэлектрических потерь, измеренное установкой по формуле:

$$\Delta\text{tg}\delta_{\text{изм}_i} = \text{tg}\delta_{\text{изм}_i} - \text{tg}\delta_B \quad (2)$$

4. Рассчитать погрешность по формуле (6).

Если конденсатор составной меры тангенса имеет собственное значение тангенса угла диэлектрических потерь, более 0,0001, то определение погрешности проводить в указанной выше последовательности в точках, представленных в таблице 8:

Таблица 8

Номинальное значение тангенса угла потерь, $\text{tg}\delta$	Номинальная емкость конденсатора, нФ	Номинальное сопротивление резистора $R_i$ , кОм	Измеренная емкость конденсатора, $C_d$ , нФ	Измеренное сопротивление резистора $R_{i\_д}$ , кОм	Результат измерений, $\text{tg}\delta_{\text{изм}_i}$	Расчетное приращение тангенса, $\Delta\text{tg}\delta_{\text{теор}_i}$
–	330	–	–	–	$\text{tg}\delta_B$	–
0,001	330	4,7				$2\pi \cdot 0,1 \cdot C_d \cdot R_{2\_д}$
0,01	330	47				$2\pi \cdot 0,1 \cdot C_d \cdot R_{3\_д}$
0,1	330	470				$2\pi \cdot 0,1 \cdot C_d \cdot R_{4\_д}$
1	330	4700				$2\pi \cdot 0,1 \cdot C_d \cdot R_{5\_д}$

## 10.5 Определение относительной погрешности измерений кажущегося заряда

10.5.1 Определение относительной погрешности воспроизведения кажущегося заряда калибратора CAL1

Определение погрешности проводить при помощи осциллографа цифрового запоминающего WR 6100A и калибратора универсального 9100 методом сравнения (замещения).

Метод сравнения (замещения) заключается в том, что на осциллограф сначала подается сигнал с калибратора кажущегося заряда CAL1, а затем равный сигнал с калибратора 9100. Осциллограф здесь является компаратором уровней двух сигналов.

Определение погрешности проводить в следующей последовательности:

### 1. Подготовка осциллографа

Выполнить следующие настройки:

1. Установить входной импеданс активного канала (CH1) в положение «DC 1 MΩ».

2. Включить функцию математического усреднения сигнала («Averaging») с числом проходов не менее 64.
3. Для подавления высокочастотных наводок на малых пределах (до 1 нКл) включить ограничение полосы пропускания до 20 MHz («BWL»).
4. Тип синхронизации: «Edge» (по фронту).
5. Источник: «Канал CH1».
6. Полярность (Slope): «Positive» (Положительная).
7. Режим (Mode): «Normal» (Ожидание сигнала).
8. Уровень (Level): Установить на уровне примерно 50 % от ожидаемой амплитуды импульса (согласно таблице 9).
9. Горизонтальная развертка: Установить такое значение коэффициента развертки, которое позволит четко видеть фронт и стабильную «полку» импульса, на которой будет производиться измерение (единицы-десятки мкс/дел).

## 2. Проведение измерений

1. Подключить выход калибратора CAL1 к осциллографу с параметрами подключения согласно таблице 9.
2. Включить калибратор CAL1.

Таблица 9 – Параметры подключений

Номинальный заряд CAL1, $Q_{ном.}$ , нКл	Тип подключения CAL1 к осциллографу	Номинальная емкость конденсатора CAL1, $C_{ном.}$ , пФ	Номинальная амплитуда импульсов CAL1, В	Коэффициент отклонения осциллографа, В/дел
0,1	Прямое (BNC)	10	10	2
0,2	Прямое (BNC)	10	20	5
0,5	Прямое (BNC)	10	50	10
1	Прямое (BNC)	100	10	2
2	Прямое (BNC)	100	20	5
5	Прямое (BNC)	100	50	10
10	Щуп 1:100	100	100	0,2
20	Щуп 1:100	100	200	0,5
50	Щуп 1:100	100	500	1
100	Щуп 1:100	100	1000	2

3. Дождаться захвата импульса осциллографом. Используя ручку «Horizontal Position», сместить фронт импульса влево, чтобы «полка» выходных импульсов калибратора CAL занимала не менее 80 % ширины экрана.
4. Установить горизонтальный курсор осциллографа на плоскую часть импульса, отступив от фронта вправо на 1–2 мкс (для исключения влияния переходных процессов).
5. Не меняя настроек осциллографа, отключить калибратор CAL1 и подать на вход осциллографа сигнал с калибратора 9100.
6. Регулировкой выходного напряжения калибратора 9100 добиться идеального совмещения линии напряжения постоянного тока с установленным ранее горизонтальным курсором.
7. Зафиксировать значение напряжения  $U_{ref}$  с дисплея калибратора 9100.
8. Провести измерения для всех положений номинального заряда CAL1 из таблицы подключений. На высоких напряжениях (100 – 1000 В) для стабилизации температурного дрейфа резисторов щупа 1:100 снятие показаний проводить через 1 минуту после подачи напряжения с калибратора 9100. Результаты измерений занести в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты измерений

Номинальный заряд CAL1, $Q_{\text{ном.}}$ , нКл	Тип подключения CAL1 к осциллографу	Номинальная емкость конденсатора CAL1, $C_{\text{ном.}}$ , пФ	Напряжение замещения калибратора 9100, $U_{\text{ref}}$ , В	Измеренный заряд CAL1, $Q_{\text{изм.}}$ , нКл
0,1	Прямое (BNC)	10		
0,2	Прямое (BNC)	10		
0,5	Прямое (BNC)	10		
1	Прямое (BNC)	100		
2	Прямое (BNC)	100		
5	Прямое (BNC)	100		
10	Щуп 1:100	100		
20	Щуп 1:100	100		
50	Щуп 1:100	100		
100	Щуп 1:100	100		

9. Измеренное (фактическое) значение заряда  $Q_{\text{изм.}}$ , нКл, воспроизводимого калибратором CAL1 на каждой проверяемой ступени, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{изм.}} = C_{\text{ном.}} \cdot U_{\text{ref}} \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

где  $C_{\text{ном.}}$  – номинальная емкость конденсатора CAL1 (10 пФ или 100 пФ); пФ;  
 $U_{\text{ref}}$  – напряжение замещения калибратора 9100, В;  
 $10^{-3}$  – коэффициент размерности для перевода из пКл в нКл.

10. Рассчитать погрешность по формуле (7).

**ПРИМЕЧАНИЯ:**

1. Обязательно используйте экранированный кабель BNC-BNC минимальной длины.
2. Если «полка» импульса не горизонтальна, а «скатывается» вниз (спад вершины), то необходимо совмещать линию напряжения от калибратора 9100 именно с той точкой «полки», которая соответствует моменту окончания переходного процесса после фронта импульса.

**МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ:**

1. При измерениях на позициях 10 – 100 нКл использовать высоковольтный щуп 1:100.
2. Перед началом измерений проверить и при необходимости провести компенсацию щупа по встроенному калибратору осциллографа.
3. Запрещается производить переключения на клеммах калибратора CAL1 и калибратора 9100 при установленном выходном напряжении. Перед любым переподключением напряжение на калибраторах должно быть снижено до нуля.

10.5.2 Определение относительной погрешности измерений кажущегося заряда измерителя частичных разрядов PDS 62-SIN

Определение погрешности проводить при помощи калибратора кажущегося заряда CAL1 в следующей последовательности:

1. Подготовка системы и ПО

1. В главном меню ПО PDS 62-SIN выбрать модуль «Calibration» («Калибровка») (стр. 25 РЭ).
2. В настройках «Settings» -> «Category General» установить параметр «Initial Nominal Charge» (Начальный номинальный заряд) в соответствии с выбранной начальной точкой калибровки (1 нКл).

2. Процедура калибровки измерительного контура (Scale Factor)

Перед началом измерений необходимо провести калибровку для учета параметров конкретной измерительной цепи (п. 5.2, стр. 30 РЭ), Для этого:

1. Собрать схему измерений, изображенную на рисунке 4. При этом руководствоваться п. 3.2 РЭ PDS 62-SIN (стр. 21 РЭ). Все составные части схемы должны быть включены. Но высокое напряжение с установки VLF SIN – не подается.

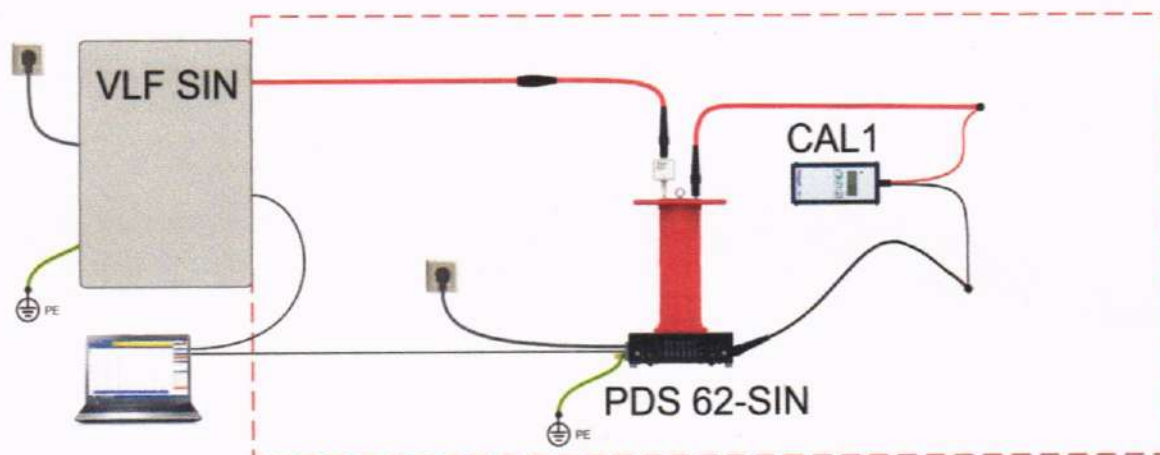


Рисунок 4

2. Убедиться, что частота следования импульсов на CAL1 совпадает с настройками частоты в ПО PDS (50 Гц или 60 Гц).
3. На калибраторе CAL1 установить значение заряда  $Q_{ном}$ . (1 нКл).
4. В ПО нажать кнопку начала калибровки. Система автоматически определит импульсы и рассчитает время распространения и коэффициент масштабирования.
5. Ввести в поле «Actual Charge» фактическое значение заряда калибратора, полученное в п. 10.5.1 настоящей методики.
6. Завершить калибровку нажатием кнопки «Disconnect».

### 3. Проведение измерений

1. Перейти в модуль «Measurement» (Измерение) (стр. 25 РЭ).
2. Последовательно подавать с калибратора CAL1 контрольные заряды во всем диапазоне измерений от 0,1 до 100 нКл.
3. Считывать значения величины заряда в окне диаграммы «Q(t)/U(t)» или на круговой диаграмме «PRPD» (п. 5.3.2 РЭ).
4. Зафиксировать показания системы  $Q_{PDS}$  для каждой поверяемой точки.
5. Рассчитать погрешность по формуле (8).

## 11 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

11.1 Относительная погрешность воспроизведения напряжения рассчитывается по формуле:

$$\delta_U = \frac{U_X - U_0}{U_0} \cdot 100 \quad (4)$$

где  $U_X$  – показания поверяемого прибора, кВ;  
 $U_0$  – показания эталонного прибора, кВ.

Результаты поверки считаются удовлетворительными, если во всех поверяемых точках погрешность прибора соответствует требованиям п. 10.1 настоящей Методики.

При невыполнении этих требований прибор бракуется и направляется в ремонт.

11.2 Относительная погрешность измерений силы постоянного тока рассчитывается по формуле:

$$\delta_I = \frac{I_X - I_0}{I_0} \cdot 100 \quad (5)$$

где  $I_X$  – показания поверяемого прибора, мА;

$I_0$  – показания эталонного прибора, мА.

Результаты поверки считаются удовлетворительными, если во всех поверяемых точках погрешность прибора соответствует требованиям п. 10.1 настоящей Методики.

При невыполнении этих требований прибор бракуется и направляется в ремонт.

11.3 Абсолютная погрешность измерений тангенса угла диэлектрических потерь рассчитывается по формуле:

$$\Delta \text{tg} \delta = \Delta \text{tg} \delta_{\text{изм}_i} - \Delta \text{tg} \delta_{\text{теор}_i} \quad (6)$$

где  $\Delta \text{tg} \delta_{\text{изм}_i}$  – измеренное (фактическое) приращение тангенса угла диэлектрических потерь, измеренное установкой;

$\Delta \text{tg} \delta_{\text{теор}_i}$  – расчетное приращение тангенса угла диэлектрических потерь.

Результаты поверки считаются удовлетворительными, если во всех поверяемых точках погрешность прибора соответствует требованиям п. 10.1 настоящей Методики.

11.4 Относительная погрешность измерений кажущегося заряда рассчитывается по формулам:

- для калибратора кажущегося заряда CAL1

$$\delta_{\text{CAL1}} = \frac{Q_{\text{изм.}} - Q_{\text{ном.}}}{Q_{\text{ном.}}} \cdot 100 \quad (7)$$

где  $Q_{\text{изм.}}$  – измеренное (фактическое) значение заряда калибратора CAL1, нКл;

$Q_{\text{ном.}}$  – номинальное значение заряда калибратора CAL1, нКл.

- для измерителя частичных разрядов PDS 62-SIN

$$\delta_Q = \frac{Q_{\text{PDS}} - Q_{\text{изм.}}}{Q_{\text{изм.}}} \cdot 100 \quad (8)$$

где  $Q_{\text{PDS}}$  – показания измерителя частичных разрядов PDS 62-SIN, нКл;

$Q_{\text{изм.}}$  – измеренное (фактическое) значение заряда калибратора CAL1, нКл.

Результаты поверки считаются удовлетворительными, если во всех поверяемых точках погрешность прибора соответствует требованиям п. 10.1 настоящей Методики.

При невыполнении этих требований прибор бракуется и направляется в ремонт.

## 12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

12.1 Результаты поверки прибора передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с порядком, установленным действующим законодательством. Знак поверки в виде оттиска клейма или наклейки наносится на лицевую панель прибора.

12.2 При проведении поверки в сокращенном объеме (в соответствии с заявлением владельца средства измерений) в сведениях о поверке указывается информация, для каких и измеряемых величин выполнена поверка.

12.3 По заявлению владельца прибора или лица, представившего его на поверку, положительные результаты поверки (когда прибор подтверждает соответствие метрологическим требованиям) оформляют свидетельством о поверке по форме, установленной в соответствии с действующим законодательством и нанесением знака поверки в виде оттиска клейма или наклейки на лицевую панель прибора.

12.4 По заявлению владельца прибора или лица, представившего его на поверку, отрицательные результаты поверки (когда прибор не подтверждает соответствие метрологическим требованиям) оформляют извещением о непригодности к применению средства измерений по форме, установленной в соответствии с действующим законодательством.

Инженер 2 категории  
ООО «НИЦ «ЭНЕРГО»



Ю.А. Мещерякова