ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
«КРАСНОЯРСКЭНЕРГО»

СОГЛАСОВАНО
Главный инженер
Красноярскгосэнергонадзор
Е.В. Зыль
1 02 2000 г.

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер
ОАО «Красноярскэнерго»
А.Э. Шлегель
2000 г.

СОГЛАСОВАНО
Зам. генерального директора
АО ВНИИЭ по научной работе
Ю.Г. Шакарян
2000 г.

Методика выполнения измерений потерь напряжения в цепях напряжения счетчиков электрической энергии

НД 105549001-99

Красноярск – 1999 г.

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
«КРАСНОЯРСКЭНЕРГО»

Методика выполнения измерений потерь напряжения в цепях напряжения счетчиков электрической энергии НД 105549001-99

Разработано Открытым акционерным обществом «Красноярскэнерго»

Исполнители В.В. Сендецкий, А.А. Котов (ОАО «Красноярскэнерго»),
Я.Т. Загорский (АО ВНИИЭ)

Утверждено ОАО «Красноярскэнерго» 21 февраля 2000 г.
Главный инженер А.Э. Шлегель

Согласовано Красноярскэнергонадзор 01 марта 2000 г.
Главный инженер Е.В. Зыль

АО ВНИИЭ 24 января 2000 г.
Заместитель генерального
директора по научной работе Ю.Г. Шакарян

МВИ аттестована Российским центром испытаний и сертификации Ростест-Москва
10 февраля 2000 г. Свидетельство об аттестации МВИ № 91-2000

УЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ НА ЭНЕРГООБЪЕКТАХ

Методика выполнения измерений потерь напряжения в цепях напряжения счетчиков электрической энергии

НД 105549001–99

Введена в действие с 03.04.2000г.

Настоящий документ устанавливает методику выполнения измерений (далее — МВИ) потерь напряжения в цепях напряжения трехфазных счетчиков электрической энергии (далее — потерь напряжения) при ее коммерческом и техническом учете с применением измерительных трансформаторов.

МВИ предназначена для персонала энергообъектов ОАО «Красноярскэнерго» и потребителей электроэнергии.

МВИ устанавливает совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов с известной погрешностью. МВИ не предназначена для измерений потерь напряжения в цепях напряжения устройств релейной защиты и автоматики.

При разработке МВИ использованы рекомендации «Инструкции по проверке трансформаторов напряжения и их вторичных цепей» и учтены требования ГОСТ Р 8.563–96.

Измерения потерь напряжения должны проводиться в соответствии с условиями и структурой системы учета электрической энергии на энергообъектах, при контроле точности результатов измерений по данной МВИ, по требованию контролирующих (инспектирующих) органов.

МВИ распространяется на все варианты схем включения трехэлементных и двухэлементных трехфазных счетчиков электрической энергии трансформаторного включения.

Допустимые потери напряжения должны соответствовать требованиям, предъявляемым к цепям напряжения счетчиков и указанным в «Правилах устройства электроустановок» (ПУЭ).

1. Требования к погрешности измерений

1.1. Границы относительной погрешности измерений потерь напряжения по данной методике ±20 % при доверительной вероятности P = 0,95.

2. Средства измерений, вспомогательные устройства

2.1. При выполнении измерений по данной МВИ применяют средства измерений (СИ) и другие технические средства, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Средства измерений и другие технические средства		Наименование измеряемой величины, размерность
наименование	обозначение (тип), характеристики	
1	2	3
1. Измерения потерь напряжения во всей цепи (см. п. 3.1.1)		

1	2	3
Вольтметр V_1	Ц4312; нижний предел измерений 0,3 В; класс точности 1,5; входное сопротивление $R_{вх}$=1500 Ом	Потери напряжения от ТН до счетчика, В
Вольтметр V_2	В3-38; класс точности 4; нижний предел измерений 0,01 В	Напряжение (наводка) продольных ЭДС, В
Магазин сопротивлений	Р33; класс точности 0,1	То же
Жила кабеля резервная	Кабель контрольный	Вспомогательное устройство
2. Измерения потерь напряжения на отдельных участках цепи (см. п. 3.1.2)		
Вольтметр V_1	Ц4312; нижний предел измерений 0,3 В; класс точности 1,5; входное сопротивление $R_{вх}$=1500 Ом	Потери напряжения на отдельных участках цепи, В
Амперметр	Э514; предел измерений 5 А; класс точности 0,5	Сила тока в кабеле от ТН д етчика, А

Примечание: Допускается применение других СИ и технических средств, обеспечивающих регламентированную настоящей МВИ погрешность измерений.

2.2. СИ должны быть внесены в Государственный реестр средств измерений, допущенных к применению в Российской Федерации, и иметь действующие свидетельства о поверке (при измерениях в цепях расчетных счетчиков) или о калибровке (при измерениях в цепях счетчиков технического учета).

3. Методы измерений

3.1. Измерения потерь напряжения выполняют следующими методами.

3.1.1. Метод, основанный на измерениях вольтметром потерь напряжения во всей цепи напряжения счетчика при максимальной загрузке измеряемой цепи.

3.1.2. Метод, основанный на измерениях вольтметром потерь на отдельных участках цепи напряжения счетчика с расчетом полных потерь как арифметической суммы потерь на отдельных участках цепи.

4. Требование безопасности

4.1. При выполнении измерений потерь напряжения соблюдают следующие требования.

4.1.1. Организация и производство работ по измерениям потерь напряжения должны соответствовать «Типовой инструкции по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики электростанции и подстанций» (РД 34. 35. 302–90)

4.1.2. При выполнении измерений потерь напряжения должны быть соблюдены требования безопасности в соответствии с «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей», «Правилами эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

4.1.3. Требования безопасности трансформаторов напряжения (далее — ТН) должны соответствовать ГОСТ 12.2.007.3–75 и ГОСТ 12.2.007.0–75.

4.1.4. Металлические корпуса измерительных приборов и вторичная обмотка ТН должны быть заземлены.

5. Требования к квалификации персонала

5.1. К выполнению измерений и обработке их результатов допускают лиц, подготовленных в соответствии с «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок», «Правилами эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», имеющих квалификационную группу не ниже 3 и обученных выполнению измерений при учете электроэнергии и мощности.

6. Условия измерений

6.1. При выполнении измерений соблюдают рабочие условия применения СИ, которые должны соответствовать указанным в эксплуатационных документах используемых СИ.

6.2. Особенности измерений потерь напряжения определяются также следующими условиями:

1) требованиями к организации и производству работ в цепях вторичной коммутации;
2) трудностью создания максимальной нагрузки на ТН;
3) совместным включением во вторичные цепи ТН счетчиков и устройств релейной защиты.

7. Подготовка к выполнению измерений

7.1. При подготовке к выполнению проводят следующие работы:

1) составляют программу производства работ при измерениях потерь напряжения;
2) подготавливают протоколы измерений;
3) проверяют сроки поверки (калибровки) СИ;
4) определяют метод и схему измерений. При невозможности измерений потерь на всем участке цепи (фазе) в целом, должны быть определены участки сети для проведения измерений, по которым будет определяться полное значение потерь;
5) определяют точки присоединения СИ;
6) подготавливают необходимые соединительные провода для коммутации измерительных приборов;
7) определяют и подготавливают резервные жилы контрольных кабелей для подключения фазы ТН в клеммном шкафу к измерительному прибору. При отсутствии резервных жил временно используют жилы кабеля в схеме цепей сигнализации отключения автоматических выключателей защиты ТН;
8) определяют условия, при которых имеет место максимальная нагрузка исследуемой цепи;
9) выполняют необходимую коммутацию для создания максимальной нагрузки ТН;

10) выполняют измерения наводок продольных ЭДС;

11) принимают меры для снижения наводок продольных ЭДС.

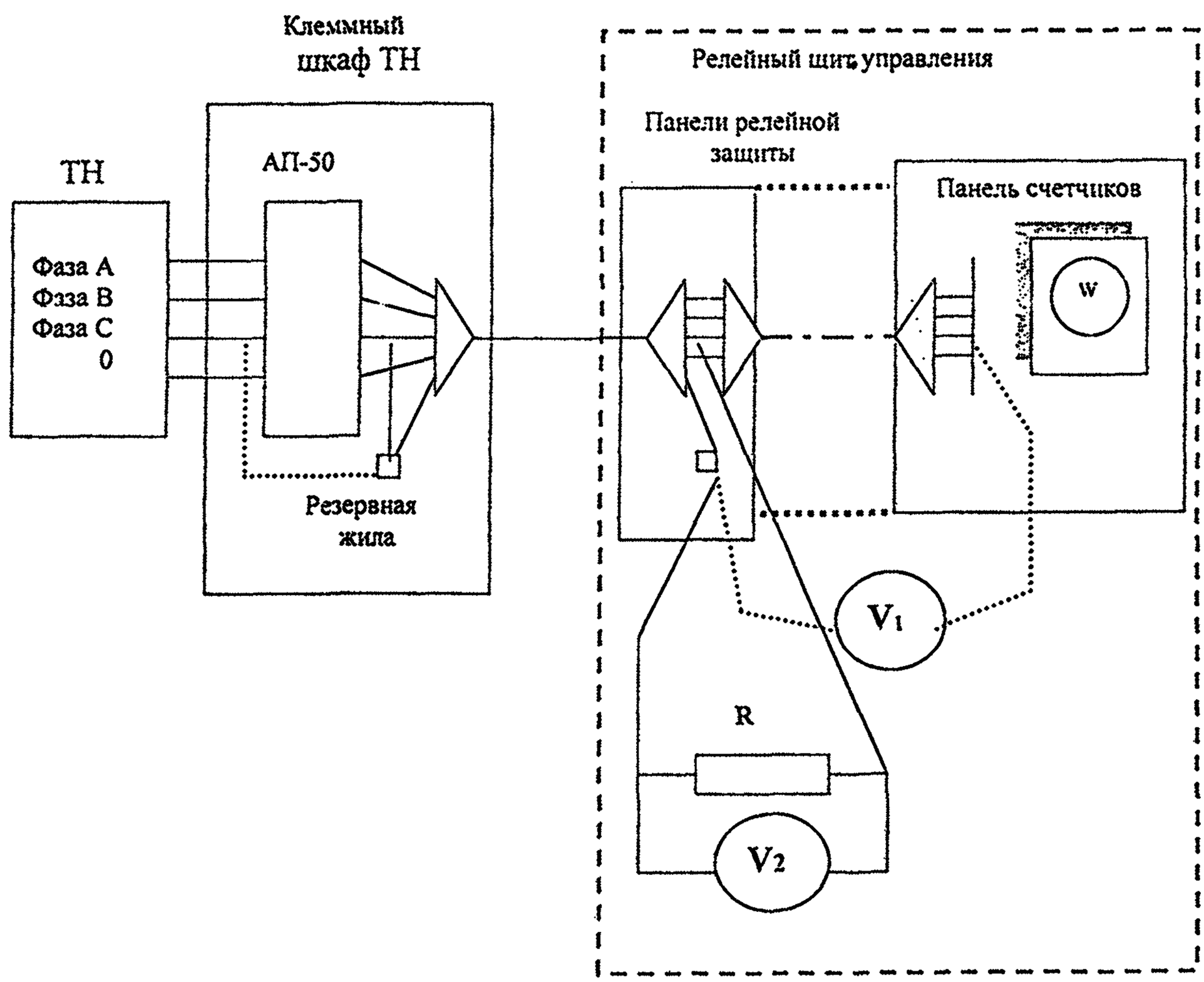
Примечание. Последовательность выполнения работ может отличаться от указанной в п. 7.1.

8. Выполнение измерений

8.1. При выполнении измерений потерь напряжения выполняют следующие операции.

8.1.1. Если имеется резервная жила, применяют метод измерений потерь напряжения во всей цепи (фазе) напряжения счетчиков (см. п. 3.1.1) по схеме (рис. 1). В качестве резервной жилы может использоваться жила из схемы сигнализации об отключении автоматического выключателя защиты цепей напряжения.

Вольтметр V_2 и магазин сопротивлений R (рис. 1) используют только для измерений наводок продольных ЭДС (см. п. 9).



Условные обозначения:

ТН — трансформатор напряжения;

..... соединительные провода;

□ — вывод резервной жилы;

V_1 — вольтметр Ц4312;
V_2 — вольтметр В3-38;
R — магазин сопротивлений Р33.

Рис. 1.

8.1.2. Перед каждым изменением в схеме измерений устанавливают переключатель предела измерений вольтметра V_1 в положение, соответствующее номинальному линейному значению напряжения сети. После окончания сборки схемы измерений переключатель предела измерений вольтметра V_1 последовательно переключают на меньший предел измерений и считывают показания.

8.1.3. Если состояние цепей напряжения счетчиков не позволяет применить метод измерений потерь напряжения во всей цепи (фазе) напряжения счетчиков, применяют метод измерений на отдельных участках цепи с расчетом полных потерь как арифметической суммы потерь на отдельных участках цепи (см. п. 3.1.2). При этом рекомендуется определить потери напряжения на следующих участках цепи:

1) на кабеле, соединяющем клеммный шкаф ТН с помещением релейного щита управления. Потери напряжения определяют как произведение тока в цепи на сопротивление жилы кабеля. При этом сопротивление жил кабеля определяют по схеме (рис. 2);
2) на автоматическом выключателе защиты ТН;
3) на участке сети между панелью, на которую приходит кабель с клеммного шкафа ТН, и клеммником панели, на которой установлен счетчик.

При потерях напряжения, близких к допустимому по ПУЭ значению, нельзя пренебрегать потерями напряжения в кабелях между ТН и его клеммным шкафом. Поэтому необходимо включить вольтметр V_1 на вторичные выводы ТН.

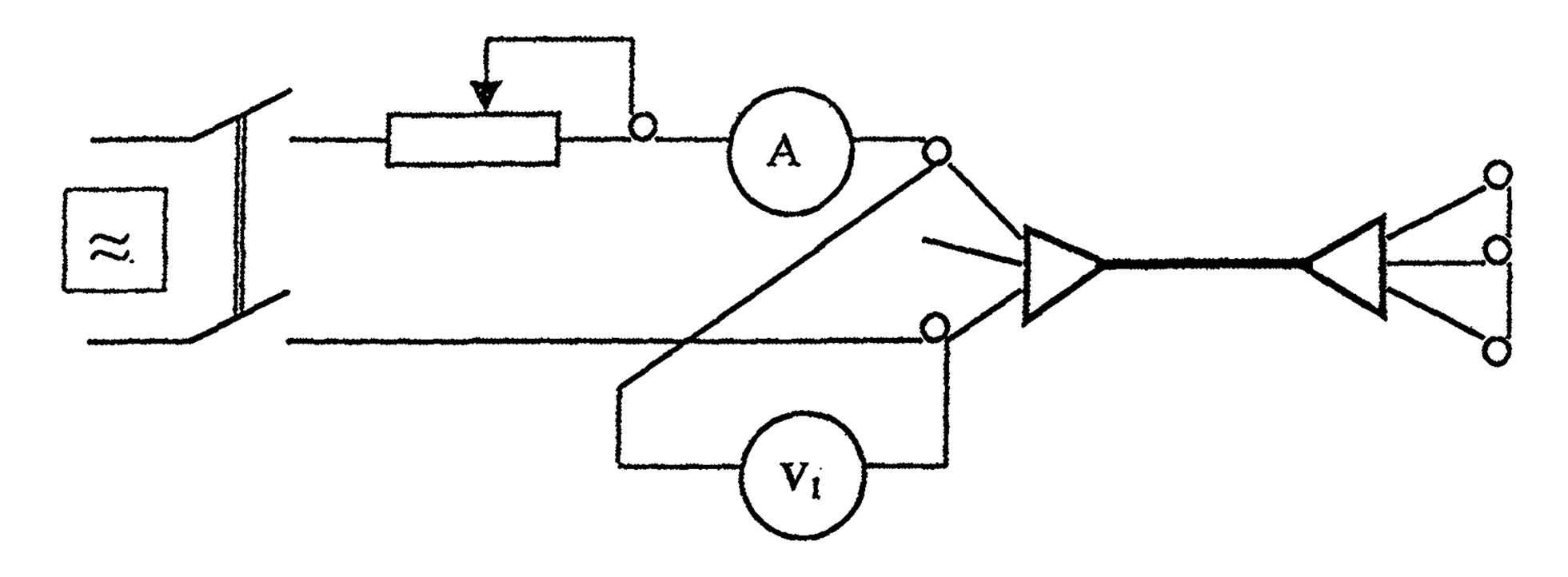


Рис. 2

8.1.4. Значение сопротивления жилы кабеля рассчитывают по формуле:

$$R_{каб} = \frac{U}{2I}, \text{ Ом}, \qquad (1)$$

где U — напряжение на жилах кабеля, В;
I — ток в цепи кабеля, А.

8.1.5. Измерения потерь напряжения производят в каждой фазе.

8.1.6. Результаты измерений заносят в протокол. В протоколе указывают:

1) календарную дату выполнения измерений;
2) наименование (обозначение) контролируемого объекта;
3) применяемую схему измерений (всего участка цепи или её отдельных участков);
4) тип, номер измерительного прибора, дату его поверки (калибровки).

9. Определение значения наводок продольных ЭДС

9.1. Определение значения наводок продольных ЭДС на кабеле, соединяющем клеммный шкаф ТН с помещением релейного щита управления, выполняют с помощью вольтметра V_2 типа В3-38 и магазина сопротивлений R типа Р33. Включение данных приборов на схеме (рис. 1) показано сплошными линиями.

9.2. На магазине сопротивлений Р33 устанавливают значение сопротивления, равное входному сопротивлению вольтметра V_1 типа Ц4312 (табл. 1).

9.3. Отключают автомат защиты цепей напряжения в клеммном ящике трансформатора напряжения и производят измерения наводок продольных ЭДС. Результат измерений заносят в таблицу.

10. Обработка (вычисление) результатов измерений

10.1. Обработку результатов измерений потерь напряжения выполняют следующим способом.

10.1.1. Контролируемое значение потерь напряжения рассчитывают по формуле:

$$\delta U = \frac{\sum \delta U_i}{3} = \frac{\delta U_a + \delta U_b + \delta U_c}{3}, \ \%, \qquad (2)$$

где δU_i — относительное значение потерь напряжения в каждой фазе, %;

i — обозначение фазы (a, b, c).

Примечание: контролируемое значение потерь напряжения, определенное по формуле (2), используют для проверки соответствия цепей напряжения счетчиков требованиям, указанным в ПУЭ.

10.1.2. При измерениях абсолютного значения потерь напряжения во всей цепи (фазе) (см. п. 8.1.1) относительное значение потерь напряжения в каждой фазе рассчитывают по формуле:

$$\delta U_i = \frac{\Delta U_{\Pi i}}{U_{ном}} \times 100\,\%, \qquad (3)$$

где $\Delta U_{\Pi i}$ — абсолютное значение потерь напряжения во всей цепи (в каждой фазе), определенное по результатам измерений вольтметром V_1 (рис. 1), В;

$U_{ном}$ — номинальное фазное значение напряжения, применяемое равным 57,7В.

10.1.3. При измерениях абсолютных значений потерь напряжения на отдельных (как правило, трех) участках цепи (фазы) (см. п. 8.1.2), относительное суммарное значение потерь напряжения в каждой фазе рассчитывают по формуле:

$$\delta U_i = \frac{\Delta U_{\Pi_1} + \Delta U_{\Pi_2} + \cdots + \Delta U_{\Pi_n}}{U_{ном}} \times 100\%, \qquad (4)$$

где $\Delta U_{\Pi 1} + \Delta U_{\Pi 2} + \cdots + \Delta U_{\Pi n}$ — сумма абсолютных значений потерь напряжения на участках цепи от 1-го до n-го, определенных по результатам измерений вольтметром V_1, В.

Примечание. При определении потерь напряжения на кабеле, соединяющем клеммный шкаф ТН с помещением релейного щита управления по п. 3.1.2, абсолютное значение потерь напряжения на первом участке цепи по п. 8.1.2 рассчитывают по формуле:

$$\Delta U_{\Pi_1} = I_к \times R_{каб}, \qquad (5)$$

где $I_к$ — значение силы тока в кабеле, соединяющем ТН и счетчик, определенное по результатам измерений, А;

$R_{каб}$ — сопротивление кабеля, определяемое по формуле (1), Ом.

Значение $\Delta U_{\Pi 1}$ для всех фаз принимают одинаковым.

10.2. Погрешность измерений потерь напряжения вычисляют следующим образом.

10.2.1. Относительную погрешность измерений потерь напряжения в каждой фазе (3) рассчитывают по формуле:

$$\delta_i = \pm \frac{\Delta_B + \Delta_{Э_i}}{\Delta U_{\Pi_i}} \times 100\%, \qquad (6)$$

где Δ_B — абсолютная погрешность вольтметра V_1 (табл. 1), определяемая его классом точности и выбранным пределом измерений, В;

$\Delta Э_i$ — значение наводки продольной ЭДС, определенное по результатам измерений вольтметром V_2 по п. 9, В;

$\Delta U_{\Pi i}$ –см. формулу (3).

10.2.2. Относительную погрешность измерений потерь напряжения, являющихся суммой потерь напряжения на отдельных участках цепи (фазы) (4), рассчитывают по формуле:

$$\delta_i = \sqrt{\frac{(\Delta_{B_1} + \Delta_{Э_1})^2}{\Delta U_{\Pi_1}^2} + \frac{(\Delta_{B_2} + \Delta_{Э_2})^2}{\Delta U_{\Pi_2}^2} + \cdots + \frac{(\Delta_{B_n} + \Delta_{Э_n})^2}{\Delta U_{\Pi_n}^2}} \times 100\%, \qquad (7)$$

где — $\Delta_{B1}, \Delta_{\Pi 2}, \cdots, \Delta_{\Pi i}$ — абсолютные погрешности вольтметра V_1 (табл. 1) при измерениях потерь напряжения на участках цепи от 1-го до n-го, В;

$\Delta_{Э1}$, $\Delta_{Э2}$, ···, $\Delta_{Эn}$ — значения наводок продольной ЭДС на участках цепи от 1-го до n-го, В, определенные по результатам измерений вольтметром V_2 по п. 9, В;

$\Delta U_{П1}$, $\Delta U_{П2}$, ··· , $\Delta U_{Пn}$ — см. формулу (4).

Примечание. При измерениях напряжения по пп. 10.2.1 и 10.2.2 вольтметром типа Ц4312 на пределе измерений, равном 0,3 В, абсолютные погрешности вольтметра V_1 $\Delta_B = \Delta_{B1} = \Delta_{B2} = \cdots = \Delta_{Bn} = 0{,}0045$ В. На пределе измерений, равном 1,5 В, абсолютная погрешность вольтметра V_1 $\Delta_B = 0{,}0225$ В.

10.2.3. Относительную погрешность измерений контролируемого значения потерь напряжения (2) рассчитывают по формуле:

$$\delta_U = \pm 1{,}1\sqrt{\sum_{i=a}^{c}(\delta_i d_i)^2} \qquad (8)$$

или

$$\delta_U = \pm 1{,}1\sqrt{\left(\delta_a \frac{\delta U_a}{\delta U}\right)^2 + \left(\delta_b \frac{\delta U_b}{\delta U}\right)^2 + \left(\delta_c \frac{\delta U_c}{\delta U}\right)^2} \qquad (9)$$

или

$$\delta_U = \pm \frac{1{,}1}{\delta U}\sqrt{(\delta_a \delta U_a)^2 + (\delta_b \delta U_b)^2 + (\delta_c \delta U_c)^2}, \qquad (10)$$

где δ_i (или δ_a, δ_b, δ_c) — относительные погрешности измерений потерь напряжения в фазах А, В и С, соответственно, вычисляемые по формуле (6) или (7);

$d_i = \frac{\delta U_i}{\delta U}\left(\text{или } \frac{\delta U_a}{\delta U}, \frac{\delta U_b}{\delta U} \text{ и } \frac{\delta U_c}{\delta U}\right)$ - доли потерь напряжения в фазах А, В и С, соответственно, по отношению к контролируемому значению потерь напряжения;

δU_a, δU_b и δU_c — относительные значения потерь напряжения в фазах А, В и С, соответственно, вычисляемые по формуле (3) или (4), %;

δU — см. формулу (2).

10.2.4. Примеры расчета относительной погрешности измерений потерь напряжения приведены в Приложении 1.

10.3. Потери напряжения (2)–(5) и относительные погрешности измерений потерь напряжения (6)–(10) выражают числами, содержащими не более двух значащих цифр. Округления производят лишь в окончательных результатах расчета, а все предварительные вычисления производят с двумя – тремя значащими цифрами.

10.4. Промежуточные и конечные результаты измерений и расчетов приводят в таблицах, форма и примеры заполнения которых представлены в Приложении 1.

11. Оформление результатов измерений

11.1. Результаты измерений оформляют протоколом, форма которого приведена в Приложении 2.

11.2. Результаты измерений, оформленные документально по п. 11.1, удостоверяет лицо, проводившее измерения, а при необходимости — административно ответственное

лицо (руководитель или главный инженер предприятия, начальник метрологической службы или МС РЗАИ, или другое лицо), подпись которого заверяют печатью предприятия.

12. Контроль точности результатов измерений

12.1. Основной целью контроля точности результатов измерений (далее — контроль точности) является проверка правильности выполнения операций и соблюдения правил измерений, регламентированных МВИ, а также проверка удовлетворения требований к погрешностям измерений по разд. 1 настоящей МВИ.

12.2. Контроль точности может быть оперативным и периодическим.

12.3. Оперативный контроль точности проводят при выполнении измерений потерь напряжения при:

новом включении измерительного комплекса;

отклонении рабочих условий применения СИ за допускаемые границы;

изменении схемы вторичных цепей ТН.

12.4. Периодический контроль точности проводят один раз в пять лет.

12.5. Результатами контроля точности являются выводы о правильности:

применения СИ и вспомогательных устройств;

соблюдения условий измерений;

выполнения операций по подготовке и проведению измерений;

обработки (вычисления) результатов измерений и их оформления.

Основным результатом контроля точности должен являться вывод о соответствии погрешности измерений потерь напряжения установленным в разд. 1 настоящей МВИ требованиям к погрешности измерений.

Приложение 1

Примеры

расчета относительной погрешности измерений
контролируемого значения потерь напряжения

1. Пример №1

1.1. Исходные данные

1.1.1. Объектом измерений являются кабели в цепях напряжения трехфазных счетчиков при измерениях с использованием ТН для расчетного учета электроэнергии.

1.1.2. Применяемый метод измерений — по п. 3.1.1.

1.1.3. Схема измерений приведена на рис. 1.

1.1.4. Измерения потерь напряжения в фазах А, В и С выполнялись вольтметром V_1 типа Ц4312 (табл. 1) на пределе измерений, равном 0,3 В. При этом абсолютная погрешность вольтметра V_1 составляла $\Delta_B = 0{,}0045$ В.

1.2. Результаты измерений

1.2.1. Результаты измерений номинального напряжения сети $U_{ном}$, абсолютных значений потерь напряжения $\Delta U_{\Pi i}$ в каждой фазе А, В и С, определенное по п. 9 значение наводок продольных ЭДС в каждой фазе $\Delta_{Эi}$, а также погрешность вольтметра Δ_B приведены в табл. П.1.1.

Таблица П.1.1

Обозначение объекта измерений (участка цепи)	Результаты измерений и составляющие погрешности измерений									
	$U_{ном}$, В	фаза А			фаза В			фаза С		
		$\Delta U_П$, В	Δ_B, В	$\Delta_Э$, В	$\Delta U_П$, В	Δ_B, В	$\Delta_Э$, В	$\Delta U_П$, В	Δ_B, В	$\Delta_Э$, В
ВМ-35	57,7	0,08	0,0045	0,008	0,14	0,0045	0,004	0,12	0,0045	0,005

1.3. Расчет потерь напряжения

1.3.1. Относительное значение потерь напряжения δU_i в каждой фазе А, В и С вычисляется по формуле (3) с учетом данных, приведенных в табл. П. 1.1:

$$\delta U_a = \frac{0{,}08}{57{,}7} \cdot 100\,\% = 0{,}14\,\% \text{ - потери напряжения в фазе А;} \qquad (П.1.1)$$

$$\delta U_b = \frac{0{,}14}{57{,}7} \cdot 100\,\% = 0{,}24\,\% \text{ - потери напряжения в фазе В;} \qquad (П.1.2)$$

$$\delta U_c = \frac{0{,}12}{57{,}7} \cdot 100\,\% = 0{,}21\,\% \text{ - потери напряжения в фазе С.} \qquad (П.1.3)$$

1.3.2. Контролируемое значение потерь напряжения δU вычисляется по формуле (2) с учетом относительных значений потерь напряжения δU_i в каждой фазе (П.1.1)–(П.1.3):

$$\delta U = \frac{0{,}14 + 0{,}24 + 0{,}21}{3} = 0{,}2\,\%. \qquad (П.1.4)$$

1.4. Расчет погрешности измерений потерь напряжения

1.4.1. Относительная погрешность измерений потерь напряжения в каждой фазе А, В и С δ_i вычисляется по формуле (6) с учетом данных, приведенных в табл. П.1.1:

$$\delta_a = \frac{0{,}0045 + 0{,}008}{0{,}08} \cdot 100\,\% = 15{,}6\ \%$$ - погрешность измерений потерь напряжения δU_a в фазе А; (П.1.5)

$$\delta_b = \frac{0{,}0045 + 0{,}004}{0{,}14} \cdot 100\,\% = 6{,}0\,\%$$ - погрешность измерений потерь напряжения δU_b в фазе В; (П.1.6)

$$\delta_c = \frac{0{,}0045 + 0{,}005}{0{,}12} \cdot 100\,\% = 8{,}0\,\%$$ - погрешность измерений потерь напряжения δU_c в фазе С. (П.1.7)

1.4.2. Относительная погрешность измерений контролируемого значения потерь напряжения δ_U вычисляется по формуле (10) с учетом относительных значений потерь напряжения δU_i в каждой фазе (П.1.1)–(П.1.3), относительных погрешностей измерений потерь напряжения δ_i (П.1.5)–(П.1.7) и контролируемого значения потерь напряжения δU (П.1.4):

$$\delta_U = \pm\frac{1{,}1}{0{,}2}\sqrt{(0{,}14 \cdot 15{,}6)^2 + (0{,}24 \cdot 6)^2 + (0{,}21 \cdot 8)^2} = \pm 18\,\%. \qquad (П.1.8)$$

1.5. Результаты расчета потерь напряжения и погрешности их измерений в каждой фазе А, В и С приведены в табл. П.1.2.

Таблица П.1.2

Обозначение объекта измерений (участка цепи)	Потери напряжения, %				Погрешность измерений потерь напряжения, %			
	δU_a	δU_b	δU_c	δU	δ_a	δ_b	δ_c	δ_U
Д-1	0,14	0,24	0,21	0,2	15,6	6,0	8,0	±18,0

2. Пример №2

2.1. Исходные данные

2.1.1. Объектом измерений являются кабели в цепях напряжения трехфазных счетчиков при измерениях с использованием ТН для технического учета электроэнергии.

2.1.2. Применяемые методы измерений:

1) при измерениях потерь напряжения на кабелях в фазах А и В применялся метод измерений по п. 3.1.1;
2) при измерениях потерь напряжения на кабеле в фазе С применялся метод измерений по п. 3.1.2.

2.1.3. Количество отдельных участков цепи фазы С — 3.

2.1.4. Схема измерений приведена на рис. 1.

2.1.5. Измерения потерь напряжения в фазах А и В выполнялись вольтметром V_1 типа Ц4312 (табл. 1) на пределе измерений, равном 0,3 В. При этом абсолютная погрешность вольтметра V_1 составляла $\Delta_B = 0{,}0045$ В.

Измерения потерь напряжения в фазе С выполнялись тем же вольтметром на пределах измерений, равных 0,3 В и 1,5 В. При этом абсолютная погрешность вольтметра V_1 составляла $\Delta_{B3} = 0{,}0045$ В — на пределе измерений 0,3 В и $\Delta_{B3} = 0{,}0225$ В — на пределе 1,5 В.

2.2. Результаты измерений

2.2.1. Результаты измерений номинального напряжения сети $U_{ном}$, абсолютных значений потерь напряжения $\Delta U_{Пi}$ в фазах А и В и потерь напряжения $\Delta U_{П1}$–$\Delta U_{П3}$ на трех участках сети фазы С, определенное по п. 9 значение наводок продольных ЭДС $\Delta_{Эi}$ в фазах А и В и на трех участках сети $\Delta_{Э1}$ – $\Delta_{Э3}$ фазы С, а также погрешность вольтметра Δ_B приведены в табл. П.1.3.

Таблица П.1.3

Обозначение объекта измерений (участка цепи)	Результаты измерений и составляющие погрешности измерений															
		фаза А			фаза В			фаза С								
	$U_{ном}$, В	$\Delta U_{П}$, В	Δ_B, В	$\Delta_Э$, В	$\Delta U_{П}$, В	Δ_B, В	$\Delta_Э$, В	$\Delta U_{П1}$, В	$\Delta U_{П2}$, В	$\Delta U_{П3}$, В	$\Delta_{B1} = \Delta_{B2}$, В	Δ_{B3}, В	$\Delta_{Э1}$, В	$\Delta_{Э2}$, В	$\Delta_{Э3}$, В
Д-1	57,7	0,08	0,0045	0,008	0,14	0.0045	0,004	0,2	0,26	0,4	0.0045	0.0225	0.001	0.002	0,002

Примечание. Результаты измерений в фазах А и В, приведенные в табл. П.1.1 и в табл. П.1.3, совпадают.

2.3. Расчет потерь напряжения

2.3.1. Относительное значение потерь напряжения δU_i в фазах А и В вычислено в п. 1.3.1 (см. пример №1) и составляет:

$\delta U_a = 0{,}14$ % — потери напряжения в фазе А;
$\delta U_b = 0{,}24$ % — потери напряжения в фазе В.

Относительное значение потерь напряжения δU_c в фазе С вычисляется по формуле (4) с учетом данных, приведенных в табл. П.1.3:

$$\delta U_c = \frac{0{,}2 + 0{,}26 + 0{,}4}{57{,}7} \cdot 100\,\% = 1{,}5\,\% \text{ - потери напряжения в фазе С.} \qquad (П.1.9)$$

2.3.2. Контролируемое значение потерь напряжения δU вычисляется по формуле (2) с учетом относительных значений потерь напряжения δU_i в каждой фазе (см. п. 2.3.1):

$$\delta U = \frac{0{,}14 + 0{,}24 + 1{,}5}{3} = 0{,}63\ \%. \qquad (П.1.10)$$

2.4. Расчет погрешности измерений потерь напряжения

2.4.1. Относительная погрешность потерь напряжения в фазах А и В вычисляется по формуле (6) с учетом данных, приведенных в табл. П.1.3.

$$\delta_a = \frac{0{,}0045 + 0{,}008}{0{,}08} \cdot 100\,\% = 15{,}6\ \% \text{ - погрешность измерений потерь напряжения } \delta U_a \text{ в фазе А;} \qquad (П.1.11)$$

$$\delta_b = \frac{0{,}0045 + 0{,}004}{0{,}14} \cdot 100\,\% = 6{,}0\ \%$$ - погрешность измерений потерь напряжения δU_b в фазе В. (П.1.12)

Относительная погрешность измерений потерь напряжения в фазе С вычисляется по формуле (7) с учетом данных, приведенных в табл. П.1.3:

$$\delta_c = \sqrt{\frac{(0{,}0045 + 0{,}001)^2}{0{,}2^2} + \frac{(0{,}0045 + 0{,}002)^2}{0{,}26^2} + \frac{(0{,}0225 + 0{,}002)^2}{0{,}4^2}} \times 100\,\% = 7{,}2\,\%. \qquad (П.1.13)$$

2.4.2. Относительная погрешность измерений контролируемого значения потерь напряжения δ_U вычисляется по формуле (10) с учетом относительных значений потерь напряжения δ_{Ui} в каждой фазе (П.1.11)–(П.1.13) и контролируемого значения потерь напряжения δ_U (П.1.10):

$$\delta U = \pm \frac{1{,}1}{0{,}63} \sqrt{(0{,}14 \cdot 15{,}6)^2 + (0{,}24 \cdot 6)^2 + (1{,}5 \cdot 7{,}2)^2} = \pm 19\,\%. \qquad (П.1.14)$$

2.5. Результаты расчета потерь напряжения и погрешности их измерений в каждой фазе А, В и С приведены в табл. П.1.4.

Таблица П.1.4

Обозначение объекта измерений (участка цепи)	Потери напряжения, %				Погрешность измерений потерь напряжения, %			
	δU_a	δU_b	δU_c	δU	δ_a	δ_b	δ_c	δ_U
Д-1	0,14	0,24	1,5	0,63	15,6	6,0	7,2	±19,0

Приложение 3

Список документов, на которые дана ссылка в МВИ

Обозначение	Наименование	Номер пункта МВИ
	Инструкция по проверке трансформаторов напряжения и их вторичных сетей. – М.: СПО Союзтехэнерго. 1979	Вводная часть
ГОСТ Р 8.563–96	Методики выполнения измерений	Вводная часть
	Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1985	Вводная часть; 8.1.2; 10.1.5
РД 34.35.302–90	Типовая инструкция по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики электростанций и подстанций. – М.: СПО ОРГРЭС. 1991	4.1.1
	Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: СПО ОРГРЭС, 1996	4.1.2; 5.1
	Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. – М.: Энергоатомиздат. 1987	4.1.2; 5.1
	Правила эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1992	4.1.2; 5.1
	Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат. 1989	4.1.2; 5.1
ГОСТ 12.2.007.3–75	ССБТ. Электротехнические устройства на напряжения свыше 1000 В. Требования безопасности	4.1.3
ГОСТ 12.2.007.0–75	ССБТ. Изделия электротехнические. Требования безопасности	4.1.3