
**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»**



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
ОАО «ФСК ЕЭС»**

**СТО 56947007-
29.240.55.018-2009**

**Методические указания
по определению наведенного напряжения на
отключенных воздушных линиях, находящихся
вблизи действующих ВЛ**

Стандарт организации

Дата введения: 22.01.2009

ОАО «ФСК ЕЭС»

2008

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации - ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения», общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению межгосударственных стандартов, правил и рекомендаций по межгосударственной стандартизации и изменений к ним - ГОСТ 1.5-2001, правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации - ГОСТ Р 1.5-2004.

Сведения о нормативно-техническом документе

РАЗРАБОТАН: Общество с ограниченной ответственностью «ВЛ спецэнерго» (ООО «ВЛ - спецэнерго»).

ИСПОЛНИТЕЛИ: Барг И.Г., Бессолицын А.В., Попов В.А., Толстунув В.И., Чичинский М.И.

ВНЕСЕН: Департаментом технического аудита, Дирекцией технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС».

УТВЕРЖДЕН: Распоряжением ОАО «ФСК ЕЭС» от 22.01.2009 № 20р

ВВЕДЕН взамен Методических указаний по измерению наведенных напряжений на отключенных ВЛ, проходящих вблизи действующих ВЛ напряжением 35 кВ и выше и контактной сети электрифицированной железной дороги переменного тока (М. СПО ОРГРЭС, 1993 г.).

Содержание

Введение.....	4
1 Общие положения	4
2 Оценка значений наведенного напряжения	5
3 Методические основы выполнения измерений	10
4 Рекомендации по организации и проведению измерений	12
5 Меры безопасности при выполнении измерений	16
Приложение 1. Значения расчетной функции $F(a)$	17
Приложение 2. Пример расчета наведенного напряжения по упрощенной методике	23
Приложение 3. Перечень и характеристики приборов и технических средств, необходимых для проведения измерений	25
Приложение 4. Формы регистрации результатов измерений.....	26

Введение

Настоящие Методические указания (далее - МУ) содержат основные положения по проведению измерений наведенных напряжений на отключаемых ВЛ, находящихся в зоне влияния других ВЛ электрической сети.

Изложены условия возникновения наведенных напряжений, приводится характеристика схем заземления отключаемых ВЛ и измерений наведенных напряжений.

В МУ определены точки на отключенной ВЛ, где имеют место наибольшие значения наведенных напряжений, приводится содержание программы проведения измерений, требования к составу персонала, проводящего измерения, меры обеспечения безопасности, технологическая последовательность проведения измерений.

Предложена расчетная модель для предварительной оценки величин наведенного, напряжения на отключаемой ВЛ, приведен перечень необходимых исходных данных для расчетов.

Настоящие МУ разработаны взамен Методических указаний по измерению наведенных напряжений на отключенных ВЛ, проходящих вблизи действующих ВЛ напряжением 35 кВ и выше и контактной сети электрифицированной железной дороги переменного тока (М. СПО ОРГРЭС, 1993 г.), с учетом результатов измерений величин наведенных напряжений на ВЛ в ряде энергосистем РФ (Свердловэнерго, Челябинэнерго, Ленэнерго, Архэнерго, Пермьэнерго, Псковэнерго, Костромаэнерго, Саратовэнерго, Смоленскэнерго, Нижновэнерго, МЭС Урала, МЭС Центра, МЭС Северо-Запада и др.), Украины, Белоруссии и Казахстана, теоретических и экспериментальных исследований, расчетов по специально разработанным программам.

1 Общие положения

1.1 Настоящие МУ распространяются на воздушные линии электропередачи, и воздушные линии связи, которые в соответствии с действующими «Межотраслевыми правилами по охране труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок» ПОТ РМ-016-2001 (далее - Правила) могут быть отнесены к линиям, находящимся под наведенным напряжением. Если требования стандарта распространяются на воздушные линии электропередачи и связи, далее используется общая аббревиатура ВЛ.

1.2 МУ устанавливают порядок определения и технологию измерений наведенных напряжений, выполняемых в целях:

- составления перечня ВЛ или участков, соответствующих понятию ВЛ, находящихся под наведенным напряжением, регламентируемому Правилами;
- разработки схем установки заземлений:
 - на отключенной ВЛ, находящейся под наведенным напряжением, при проведении работ на проводах и грозозащитных тросах;
 - на грозозащитных тросах неотключенной ВЛ;

- разработки организационных и технических мер обеспечения безопасности персонала, работающего на отключенной ВЛ, находящейся под наведенным напряжением.

1.3 МУ предназначены для персонала энергопредприятий, осуществляющих техническое обслуживание и ремонт ВЛ, а также строительно-монтажных организаций, ведущих работы вблизи действующих ВЛ, и специализированных организаций при разработке проектов производства работ (ППР), методов и технологий строительства и ремонта ВЛ.

1.4 Положения настоящих МУ распространяются на проведение измерений наведенных напряжений на:

- проводах и грозозащитных тросах отключенной ВЛ;
- грозозащитных тросах ВЛ, находящейся под напряжением;
- проводах и грозозащитных тросах ВЛ, сооружаемой вблизи действующих ВЛ.

2 Оценка значений наведенного напряжения

2.1 Наведенным напряжением называется разность потенциалов между проводящими частями электроустановок (ВЛ или оборудования ПС) и точкой нулевого потенциала, возникающая в результате воздействия электрического и магнитного полей, создаваемых расположенными вблизи электроустановками, находящимися под напряжением. Электрическое поле характеризуется электростатической составляющей, зависящей от напряжения влияющих ВЛ и емкостных связей рассматриваемых ВЛ, и электромагнитной составляющей, зависящей от тока во влияющих ВЛ, расстояний между отключенной и влияющими ВЛ, длин и конфигурации участков сближения и параметров контура протекания тока

2.2 В соответствии с Правилами персонал, обслуживающий ВЛ, должен иметь Перечень линий, которые после отключения находятся под наведенным напряжением.

Предусматривается следующий порядок составления Перечня:

2.2.1 Проводится анализ топографической схемы электрической сети энергопредприятия.

2.2.1.1 Отмечаются направления перетоков мощности по влияющим ВЛ и возможные максимальные значения передаваемой мощности (тока) по ним.

2.2.1.2 Отмечаются места изменения взаимного расположения ВЛ, места транспозиции фаз.

2.2.2 На основе рассмотрения схем и характеристик ВЛ, учета расстояний между ВЛ различных номинальных напряжений, проходящих во взаимной близости, производится эксплуатационная оценка линий, которые могут находиться под наведенным напряжением. Одновременно следует использовать результаты измерений, выполненных в предыдущие годы при определении наведенного напряжения.

2.2.3 В Перечень вносятся ВЛ (их участки), значение наведенного напряжения на которых превышает 25 В, а также ВЛ, сооруженные на двухцепных (многоцепных) опорах. В отдельном разделе Перечня

указываются ВЛ (их участки) с грозозащитным тросом, на котором имеет место наведенное напряжение, когда рассматриваемая ВЛ находится в работе.

2.3 Для предварительной оценки и пересчета полученных в результате измерений значений наведенного напряжения используется упрощенная расчетная методика. Ее применение позволяет сократить количество необходимых измерений.

Исходными данными для расчетов являются длина ВЛ, расстояния между осями трасс ВЛ на участках сближения, в том числе в местах, где двухцепные ВЛ переходят на разные трассы, наибольшие значения сопротивлений контуров заземления ПС и опор (с учетом коэффициента сезонности) по концам линий и на границах участков, а также максимальные значения токов, которые могут возникнуть во влияющих ВЛ после аварийного отключения одной или нескольких линий в прилегающей сети.

Расстояния между ВЛ и на границах участков устанавливаются:

- по исполнительной документации;
- по результатам аэросканирования;
- путем натуральных измерений (наземными способами).

2.4 Для сетей любой конфигурации расчет значений наведенного напряжения на отключенной ВЛ производится по универсальной схеме замещения, приведенной на рис. 1.

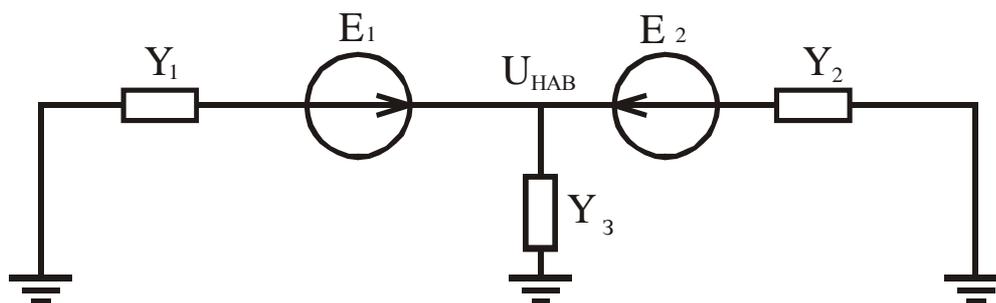


Рисунок 1 Схема замещения для расчета значения наведенного напряжения на отключенной ВЛ

Значение наведенного напряжения определяется по формуле:

$$U_{HAB} = \frac{E_1 \cdot Y_1 + E_2 \cdot Y_2}{\sqrt{(Y_1 + Y_2)^2 + Y_3^2}}, \quad (2.1)$$

где E_1 и E_2 - значения эквивалентных э.д.с., которые определяются по выражениям (2.2, 2.3);

Определение параметров универсальной схемы замещения производится на примере топографической схемы сети, приведенной на рис. 2.

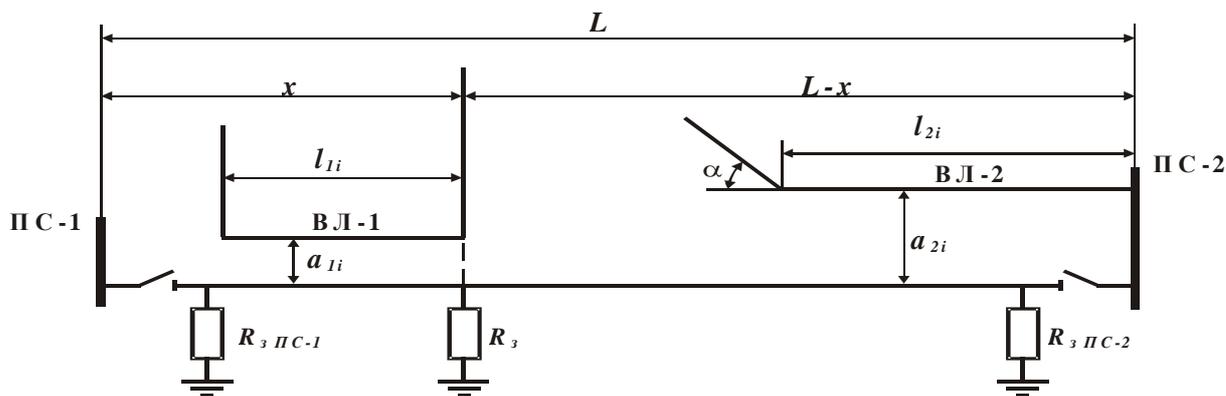


Рисунок 2 Топографическая схема сети

Для точки, расположенной на расстоянии « x » от ПС-1 (рис. 2), параметры схемы замещения определяются по выражениям:

$$E_1 = \sum_{i=1}^n F(a_{1i}) \cdot I_i \cdot l_{1i}, \quad (2.2)$$

$$E_2 = \sum_{i=1}^m F(a_{2i}) \cdot I_i \cdot l_{2i}, \quad (2.3)$$

где $F(a)$ - значение расчетной функции (приложение 1);

a_{1i} и a_{2i} , м - расстояния между отключенной и i -ой ВЛ, оказывающей влияние, соответственно на участке « x » или « $L-x$ »;

l_{1i} и l_{2i} , км - протяженность участков влияющих ВЛ, которые наводят напряжение, соответственно в первом и втором контурах (для схемы рис. 2 соответственно на участках « x » или « $L-x$ »);

I_i , кА - значения максимального тока, протекающего по i -ой влияющей ВЛ;

n и m - множества линий, оказывающих влияние на отключенную ВЛ, соответственно, на участках « x » и « $L-x$ ».

Проводимости участков « x » и « $L-x$ » отключенной ВЛ определяются, соответственно по выражениям:

$$Y_1 = \frac{1}{\sqrt{R_{з ПС-1}^2 + (g \cdot x)^2}}, \quad (2.4)$$

$$Y_2 = \frac{1}{\sqrt{R_{з ПС-2}^2 + [g \cdot (L-x)]^2}}, \quad (2.5)$$

где $R_{з ПС-1}$ и $R_{з ПС-2}$, Ом - сопротивления заземляющих устройств соответственно ПС-1 и ПС-2.

Проводимость заземления на месте работ определяется по формуле:

$$Y_3 = \frac{1}{R_3} \quad (2.6)$$

R_3 , Ом - сопротивление заземляющего устройства на рабочем месте
 g , Ом/км-коэффициент, полученный расчетным методом и учитывающий удельное сопротивления отключенной ВЛ, определяется по таблице 1.

Таблица 1

Номинальное напряжение отключенной ВЛ, кВ	Значение коэффициента g
10-35	0,563
110	0,535
220	0,493
330	0,434
500	0,402
750	0,377

2.5 Расчет следует начинать с определения наведенных напряжений от параллельно идущих участков ВЛ. Если полученное значение наведенного напряжения превышает 25 В, то учитывать влияние участков линий, проходящих под углом к отключенной ВЛ, не следует.

2.6 Если полученное значение наведенного напряжения не превышает 25 В, то следует учесть влияние участков линий, проходящих под углом к отключенной ВЛ. Такие участки (ВЛ-2 на рис.2) заменяются эквивалентными участками длиной $L_{э\text{кв}}$, идущими параллельно отключенной ВЛ на эквивалентном расстоянии $a_{э\text{кв}}$:

$$L_{э\text{кв}} = \frac{a_{э\text{кв}}}{\text{tg}(\alpha)}, \quad (2.7)$$

$$a_{э\text{кв}} = \frac{a_{2i} + 500}{2}, \quad (2.8)$$

где α - угол между осями отключенной и влияющей ВЛ.

2.7 Если линия оказывает влияние с двух сторон от точки заземления (ВЛ-1 на рис.3), то значения э.д.с., наведенных от нее в левом и правом контурах универсальной схемы замещения (рис. 1), будут направлены встречно. В этом случае выражение (2.1) после подстановки формул для расчета параметров схемы замещения запишется:

$$U_{\text{НАВ}} = \frac{|F(a_{11}) \cdot I_1 \cdot (l_{11} \cdot Y_1 - l_{21} \cdot Y_2)| + F(a_{22}) \cdot I_2 \cdot l_{22} \cdot Y_2}{\sqrt{(Y_1 + Y_2)^2 + Y_3^2}} \quad (2.9)$$

где проводимости Y_1 , Y_2 , Y_3 рассчитываются по формулам (2.4), (2.5), (2.6) соответственно.

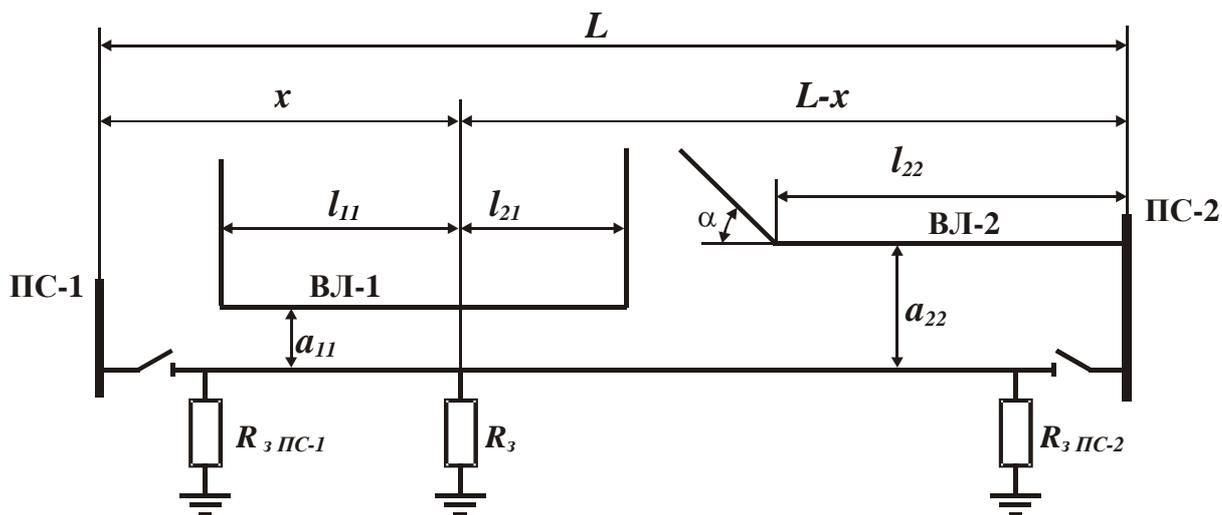


Рисунок 3 Топографическая схема сети при наличии влияющей линии, наводящей ЭДС в левом и правом контуре

2.8 Значения наведенного напряжения, полученные при помощи упрощенной методики расчета, следует использовать для принятия решений о необходимости измерений наведенного напряжения:

- при $U_{НАВ} \leq 25 \text{ В}$ линию можно отнести к ВЛ, не находящейся под наведенным напряжением, измерения в этом случае можно не проводить;
- при значении наведенного напряжения более 50 В ВЛ следует внести в список линий, находящихся под наведенным напряжением
- если расчетное значение наведенного напряжения лежит в интервале от 25 до 50 В, заключение о классификации линии можно сделать только на основании измерений.

Пример расчета значения наведенного напряжения для реальной схемы приведен в приложении 2.

2.9 Расчетную методику можно использовать для определения значений наведенного напряжения на рабочих местах, расположенных на расстоянии x друг от друга, при условии, что ВЛ в ОРУ не заземлена (рис. 2). Схема замещения для этого случая приведена на рис. 4.

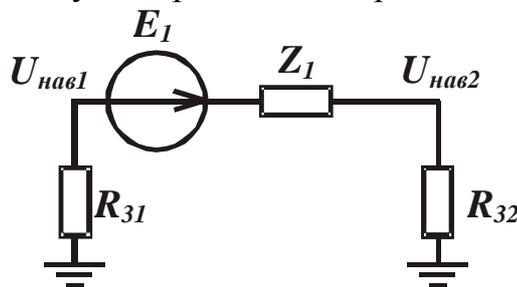


Рисунок 4 Схема замещения для расчета наведенных напряжений на участке ВЛ, заземленной в двух точках

Значения наведенного напряжения зависят от сопротивления заземляющих устройств на рабочих местах $R_{з1}$, $R_{з2}$ и определяются по выражениям:

$$U_{нав1} = \frac{E_1 \cdot R_{31}}{\sqrt{(R_{31} + R_{32})^2 + Z_1^2}}, \quad (2.10)$$

$$U_{нав2} = \frac{E_1 \cdot R_{32}}{\sqrt{(R_{31} + R_{32})^2 + Z_1^2}}, \quad (2.11)$$

где $Z_1 = g \cdot x$ - учитывает сопротивление ВЛ на участке, ограниченном двумя заземлениями, установленными на расстоянии x друг от друга. Коэффициент g определяется по таблице 1.

E_1 - ЭДС, наводимая на участке ВЛ, ограниченном двумя заземлениями, определяется по (2.2) с учетом влияния только тех ВЛ, которые находятся в пределах выделенного участка. Так, для участка «х» (рис. 2) величина E_1 определяется по выражению

$$E_1 = F(a_1) \cdot I_1 \cdot l_1$$

При значении наведенного напряжения, рассчитанного по формулам (2.10) и (2.11), не превышающем 25 В, участок линии может рассматриваться как не находящийся под наведенным напряжением. В пределах участка могут работать несколько бригад, разделять ВЛ на электрически не связанные участки не требуется, заземлять ВЛ в РУ не допускается.

3 Методические основы выполнения измерений

3.1 Измерение наведенных напряжений производится при следующих схемах заземления отключенной ВЛ:

- линия заземляется со всех сторон, откуда может быть подано напряжение, и на рабочем месте; при этом измерения производятся на границах участков, где изменяется взаимное расположение отключаемой и остающихся в работе влияющих ВЛ;

- при других схемах заземления, применяемых при работах на ВЛ;

3.2 В зависимости от схемы заземления отключенной ВЛ рекомендуются следующие точки измерений наведенного напряжения:

3.2.1 Отключенная ВЛ (ВЛ на двухцепных опорах) заземлена по концам и на рабочем месте измерения производятся на ПС и на рабочем месте.

3.2.2 Отключенная ВЛ не заземлена по концам измерения производятся при установке заземления на месте работ.

3.2.3 Измерение наведенного напряжения на грозозащитном тросе работающей ВЛ производится в точке, наиболее удаленной от места заземления самого протяженного участка троса.

3.2.4 Наибольших значений наведенных напряжений на отключенной ВЛ следует ожидать:

- в точках изменения взаимного расположения отключенной и влияющих ВЛ;
- в местах транспозиции на отключенной или влияющей ВЛ;
- в точках разделения двухцепных ВЛ на одноцепные.

Измерения наведенного напряжения следует производить при пересечениях отключенной и влияющей ВЛ под углом, отличающемся от 90°.

Характерные места наибольших значений наведенного напряжения приведены на рис. 5:

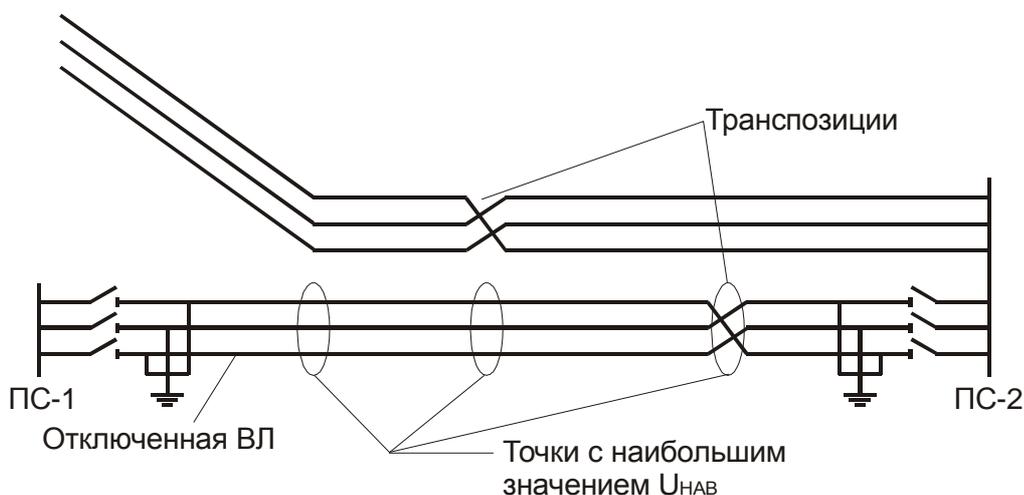


Рисунок 5 Места наибольших значений наведенного напряжения на проводах отключенной ВЛ

3.3 В процессе измерений наведенного напряжения производится измерение сопротивления заземлителя, к которому присоединяется переносное заземление. Оно используется для оценки электростатической составляющей наведенного напряжения при заземлении ВЛ только на месте производства работ и для расчетов максимального значения наведенного напряжения по методике, приведенной в п. 3.5.

3.4 Примерный перечень и характеристики средств, необходимых для проведения измерений, приведен в Приложении 3.

3.5 Значения наведенных напряжений определяются для максимальных значений, протекающих по влияющим ВЛ токов, путем пересчета измеренных значений наведенных напряжений.

При влиянии одной ВЛ:

$$U_{max} = U_{изм} \frac{I_{max}}{I_{изм}}$$

где, $U_{изм}$ - измеренное значение наведенного напряжения;

$I_{изм}$ - ток, протекающий по влияющей ВЛ в момент измерения;

I_{max} - максимальное значение тока, протекающего по влияющей ВЛ.

При влиянии нескольких ВЛ расчет значения наведенного напряжения производится с учетом протекания максимальных токов нагрузки по всем ВЛ по формуле:

$$U_{max} = U_{изм} \sum_{i=1}^n K_i \cdot \frac{I_{max i}}{I_{изм i}}$$

где K_i - весовой коэффициент, учитывающий влияние тока i -ой ВЛ на значение наведенного напряжения, который определяется по формулам в зависимости от расположения влияющей ВЛ относительно точки заземления отключенной ВЛ. Так, для ВЛ, оказывающих влияние на участке « X » (рис. 2), K_i следует определять по выражению:

$$K_i = \frac{F(a)_i \cdot l_{1i} \cdot I_{изм.i} \cdot Y_1}{U_{изм} \cdot \sqrt{(Y_1 + Y_2)^2 + Y_3^2}};$$

Если линия оказывает влияние на участке « $L-x$ » (рис. 2) K_i следует определять по выражению:

$$K_i = \frac{F(a)_i \cdot l_{2i} \cdot I_{изм.i} \cdot Y_2}{U_{изм} \cdot \sqrt{(Y_1 + Y_2)^2 + Y_3^2}};$$

Если линия оказывает влияние на участках « X » и « $L-x$ » (рис. 3), K_i следует определять по выражению:

$$K_i = \frac{I_{изм.i} \cdot |F(a)_i \cdot (l_{1i} \cdot Y_1 - l_{2i} \cdot Y_2)|}{U_{изм} \cdot \sqrt{(Y_1 + Y_2)^2 + Y_3^2}}, \text{ где}$$

Результаты измерений электростатической составляющей наведенного напряжения (при заземлении ВЛ только на месте производства работ) и сопротивление заземления опоры используются для оценки значения наведенного напряжения при заземлении ВЛ на любой другой опоре по формуле:

$$U_{эл.ст.расч.} = U_{эл.ст.изм.} \frac{R_{раб.}}{R_{изм.}},$$

где $U_{эл.ст.изм.}$ - измеренное значение электростатической составляющей наведенного напряжения (при заземлении ВЛ только на месте работ);

$R_{изм.}$ - сопротивление заземления опоры, на которой проводились измерения электростатической составляющей наведенного напряжения;

$R_{раб.}$ - сопротивление заземления опоры, на которой планируется проведение работ (определяется на основании проектных данных или путем измерений непосредственно на месте работ);

$U_{эл.ст.расч.}$ - расчетное значение электростатической составляющей наведенного напряжения на месте проведения работ.

4 Рекомендации по организации и проведению измерений

4.1 Подготовка к измерениям начинается с разработки программы, которая должна содержать:

4.1.1 Схемы взаимного расположения отключенной и влияющих ВЛ.

4.1.2 Условия проведения измерений: период года, состояние грунта.

4.1.3 Варианты мест заземления отключенных ВЛ (участков), проходящих в зонах влияния ВЛ, находящихся под напряжением.

4.1.4 Схемы измерений.

4.1.5 Значения режимных параметров влияющих ВЛ в момент проведения измерений (передаваемые активная и реактивные мощности, напряжения на шинах ПС).

4.1.6 Перечень параметров, определяемых в процессе измерений:

- наведенное напряжение (напряжение на заземлителе);
- сопротивление заземления опор, удельное сопротивление грунта на ВЛ в местах установки переносных заземлений.

4.1.7 Приборы и инвентарь, применяемые при измерениях.

4.1.8 Последовательность операций при измерениях.

4.1.9 Меры обеспечения безопасности при выполнении измерений на проводах и грозозащитных тросах, установке переносных заземлений, при размещении персонала и техники вблизи ВЛ.

4.1.10 Способы связи бригады, выполняющей измерения, с оперативным персоналом.

4.1.11 Формы регистрации результатов измерений (приложение 4).

Программа согласовывается подразделениями диспетчерских служб, в оперативном управлении которых находится отключаемая ВЛ, и утверждается техническим руководителем организации, осуществляющей эксплуатационное обслуживание данной ВЛ.

4.2 Бригада, выполняющая измерения наведенного напряжения и сопротивления заземляющего устройства, комплектуется приборами, устройствами, инвентарем, защитными средствами и средствами связи согласно перечня, приведенного в приложении 3.

4.3 Организация работ при выполнении измерений, взаимодействие производственных подразделений:

4.3.1 Измерения на отключенной ВЛ проводятся по наряду с назначением ответственного руководителя работ бригадой, в которую входят:

- производитель работ - допускающий, с IV группой по электробезопасности;

- инженер по испытаниям и измерениям, с IV группой по электробезопасности - 1;

- электромонтер, с III группой по электробезопасности - 1.

4.3.2 В процессе подготовки и проведения измерений оперативный персонал, в чьем управлении находятся отключенная и влияющие ВЛ:

- осуществляет переключения для вывода из работы ВЛ;

- регистрирует в момент измерений значения перетоков активной и реактивной мощности по влияющим ВЛ, уровни напряжений на ПС. В случае отсутствия постоянной связи с бригадой измерения на ПС следует производить с интервалом не более 15 минут;

- определяет максимальные значения токов и их сочетания, которые могут протекать по влияющим линиям при различных режимах работы, для проведения необходимых расчетов.

4.3.3 Члены бригады выполняют операции по установке переносных заземлений, измерительного зонда, монтажу схем измерений.

4.3.4 Выполнение измерений наведенного напряжения и сопротивления заземлителя производится инженером по испытаниям и измерениям.

4.3.5 Работы по измерениям наведенных напряжений организуются в соответствии с «Межотраслевыми Правилами по охране труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок» (ПОТ РМ-016-2001).

4.3.6 Организуется надежная связь между бригадой и оперативным персоналом, в чьем управлении находятся отключенная и влияющие ВЛ.

4.3.7 Бригаде выдаются бланки протоколов результатов измерений, проводимых на каждом рабочем месте (приложение 4).

4.3.8 Выполнение бригадой измерений и операций, предусмотренных в Программе работ, производится только по команде ответственного руководителя работ.

4.4 Технологические указания по проведению измерений:

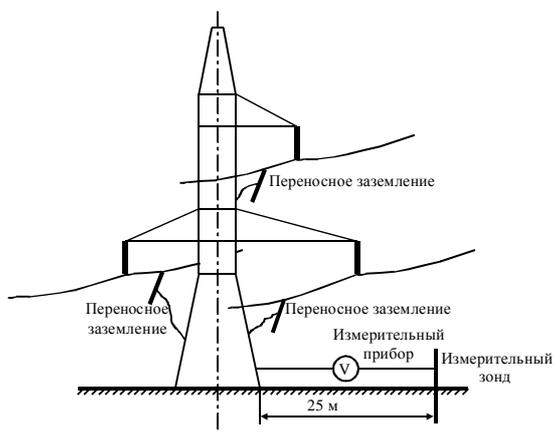
4.4.1 Проведение работ по определению значения наведенного напряжения начинается с заземления проводов всех трех фаз (тросов) на контур заземления опоры ВЛ или на специальное заземляющее устройство - искусственный заземлитель, погруженный вертикально в грунт на глубину не менее чем 0,5 м. При этом все установленные в месте измерения переносные заземления должны быть присоединены к одному и тому же заземлителю опоры или искусственному заземлителю.

4.4.2 Измерения производятся на земле без подъема на высоту двумя лицами с группами по электробезопасности IV и III, одно из которых обеспечивает присоединение измерительного прибора к точкам измерения (к опоре, заземляющему спуску, заземлителю), другое - производит отсчет показаний прибора. Оба лица должны работать в диэлектрических перчатках и диэлектрических ботах.

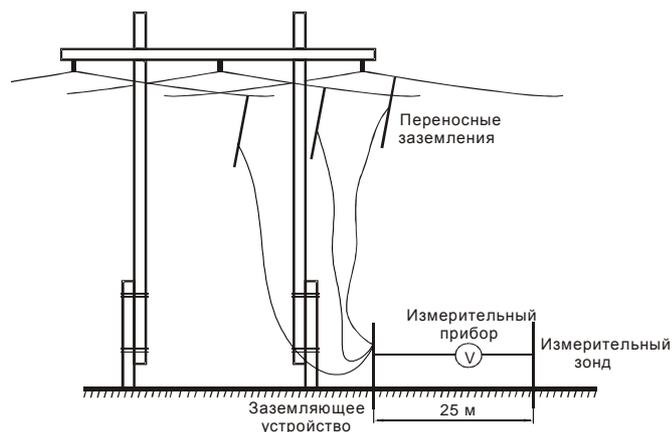
4.4.3 Схемы измерения наведенного напряжения приведены на рис. 6 и 7.



Рисунок 6 Принципиальная схема измерения наведенного напряжения



Металлическая или железобетонная опора



Деревянная опора (без заземляющего спуска)

Рисунок 7 Схемы измерений наведенного напряжения и установки заземлений на рабочем месте

4.4.4 Измерения в каждом месте должны выполняться в следующем порядке:

- На расстоянии 25 м от места заземления (рис. 7) устанавливается измерительный зонд (в точке нулевого потенциала). Измерительный зонд необходимо размещать в месте, где потенциал земли не искажен влиянием заземляющих устройств опор других ВЛ или же наличием протяженных заземлителей. При наличии протяженных заземлителей зонд устанавливается на расстоянии 25 м от них. Измерительный зонд следует погружать в грунт на глубину 1 м.

- К измерительному зонду с помощью изолированного провода присоединяется измерительный прибор, на котором предварительно устанавливается верхний предел измерения. В качестве соединительных проводов для измерительного прибора должен применяться гибкий многожильный медный провод сечением не менее $1,5 \text{ мм}^2$ с изоляцией, рассчитанной на напряжение 2,5 кВ.

- К измерительному прибору с помощью изолированного провода присоединяется изолирующая штанга, предназначенная для работы в электроустановках напряжением до 10 кВ; в качестве изолирующей штанги может быть использована штанга для наложения заземления, оперативная штанга и другие типы изолирующих штанг.

- Одно из лиц, выполняющих измерения, производит касание рабочим концом изолирующей штанги опоры (спуска, заземлителя или металлоконструкции железобетонных опор), на которой заземлены провода и грозотросы. Место касания элемента опоры должно быть предварительно, до заземления провода в месте измерения, очищено от краски, грязи, ржавчины. Снятие показаний по измерительному прибору должно производиться при устойчивом касании измерительной штангой точки измерения (опоры, спуска, заземления). При необходимости переключения предела измерения прибора следует отсоединить изолирующую штангу (следовательно, и прибор) от точки измерения и лишь затем переключить предел измерения.

- Отсоединение измерительного прибора производится после отсоединения изолирующей штанги от точки измерения (опоры, спуска, заземлителя).

4.4.5 По окончании измерения заземление, установленное на месте работ, должно быть снято.

4.4.6 Работы по измерениям величины сопротивления заземляющих устройств опор производятся в соответствии с «Методическими указаниями по измерению сопротивлений заземления опор ВЛ без отсоединения грозозащитного троса: /Утв. Главтехупр. Минэнерго СССР 10.11.80; Разраб. СибНИИЭ.- М.: СПО Союзтехэнерго, 1981, СО 153-34.21.361 (РД 34.21.361). и «Методическими указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок»: /Утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политики РАО «ЕЭС России» 07.05.00; СО 34.20.525-00 (РД 153-34.0-20.525-00).

4.6 Регистрация измерений наведенных напряжений производится в Протоколах, рекомендуемые формы которых приведены в Приложении 4.

5 Меры безопасности при выполнении измерений

5.1 Организационные и технические мероприятия осуществляются в соответствии с «Межотраслевыми правилами по охране труда (правилам безопасности) при эксплуатации электроустановок» (ПОТ РМ-016-2001).

5.2 Работы выполняются по наряду-допуску; перед выполнением работ производится инструктаж бригады.

5.3 Работы по измерениям наведенного напряжения выполняются с применением изолирующих защитных средств согласно требованиям правил безопасности.

5.4 В момент измерений на отключенной ВЛ с прикосновением к проводу должна работать только одна бригада, производящая измерения.

5.5 Запрещается членам бригады, кроме лиц, проводящих измерения, приближаться к месту заземления проводов ВЛ (опоре, заземляющему спуску, заземлителю), измерительному прибору ближе чем на 8 метров.

5.6 Запрещается электромонтеру, находящемуся на опоре, спускаться с опоры в момент измерений, а также до снятия переносных заземлений.

5.7 Запрещается производить измерения в темное время суток, при тумане, дожде, грозе, снегопаде, а также при скорости ветра, превышающей 10 м/с.

Значения расчетной функции F(a)

Расчеты функции F(a) выполнялись по специальной программе, применявшейся для оценки значений наведенного напряжения на ВЛ ряда энергосистем страны. По программе были определены зависимости значений функции от расстояния между влияющими ВЛ, класса напряжения влияющей и отключенной линии.

Значение функции F(a) для отключенной ВЛ 10-35 кВ при влиянии линий различных классов напряжений в зависимости от расстояния между осями ВЛ						
Расстояние между ВЛ, м	Номинальное напряжение влияющей ВЛ, кВ					
	35	110	220	330	500	750
10	15,8160	31,9454	46,7603	51,1338	-	-
20	7,8214	15,5367	22,4180	42,4465	61,5296	-
30	5,2098	10,2085	14,4642	30,0781	46,6932	58,5935
40	3,9152	7,5759	10,5972	22,8904	35,5442	48,0152
50	3,1417	6,0064	8,3205	18,4004	28,4399	39,4312
60	2,6273	4,9642	6,8223	15,3583	23,6428	33,1773
70	2,2603	4,2217	5,7623	13,1676	20,2080	28,5494
80	1,9851	3,6660	4,9731	11,5166	17,6326	25,0183
90	1,7711	3,2343	4,3628	10,2284	15,6314	22,2451
100	1,5997	2,8894	3,8769	9,1952	14,0320	20,0127
110	1,4594	2,6074	3,4811	8,3481	12,7243	18,1782
120	1,3424	2,3727	3,1525	7,6409	11,6351	16,6444
130	1,2432	2,1741	2,8754	7,0415	10,7136	15,3430
140	1,1580	2,0041	2,6387	6,5269	9,9238	14,2248
150	1,0841	1,8568	2,4341	6,0801	9,2391	13,2535
160	1,0193	1,7279	2,2557	5,6886	8,6397	12,4019
170	0,9621	1,6143	2,0987	5,3425	8,1105	11,6490
180	0,9110	1,5133	1,9596	5,0344	7,6398	10,9784
190	0,8653	1,4230	1,8355	4,7583	7,2182	10,3772
200	0,8240	1,3418	1,7241	4,5093	6,8385	9,8352
210	0,7866	1,2683	1,6236	4,2837	6,4945	9,3438
220	0,7525	1,2016	1,5325	4,0782	6,1814	8,8963
230	0,7213	1,1406	1,4496	3,8903	5,8952	8,4869
240	0,6926	1,0848	1,3738	3,7177	5,6326	8,1109
250	0,6661	1,0335	1,3043	3,5586	5,3905	7,7643
260	0,6417	0,9861	1,2403	3,4116	5,1668	7,4437
280	0,5978	0,9016	1,1266	3,1482	4,7665	6,8698
300	0,5595	0,8284	1,0288	2,9191	4,4185	6,3704
320	0,5259	0,7645	0,9437	2,7179	4,1131	5,9319
340	0,4960	0,7081	0,8692	2,5398	3,8427	5,5435
360	0,4693	0,6581	0,8034	2,3809	3,6017	5,1970
380	0,4453	0,6134	0,7450	2,2382	3,3854	4,8859
420	0,4037	0,5370	0,6462	1,9924	3,0128	4,3499
460	0,3690	0,4741	0,5659	1,7881	2,7033	3,9043
500	0,3394	0,4215	0,4997	1,6155	2,4420	3,5278

Значение функции F(a) для отключенной ВЛ-110 кВ при влиянии линий различных классов напряжений в зависимости от расстояния между осями ВЛ						
Расстояние между ВЛ, м	Номинальное напряжение влияющей ВЛ, кВ					
	35	110	220	330	500	750
10	14,7876	34,2960	51,9171	65,0237	-	-
20	7,7100	15,8684	22,8109	47,9635	74,2148	-
30	5,1821	10,3317	14,5485	31,9112	52,4151	64,5724
40	3,9064	7,6396	10,6276	23,7316	38,2917	50,9129
50	3,1393	6,0454	8,3360	18,8680	30,0181	40,9777
60	2,6274	4,9906	6,8324	15,6512	24,6611	34,1052
70	2,2615	4,2409	5,7700	13,3666	20,9180	29,1574
80	1,9869	3,6806	4,9794	11,6598	18,1555	25,4432
90	1,7731	3,2459	4,3683	10,3359	16,0324	22,5568
100	1,6019	2,8988	3,8819	9,2788	14,3492	20,2501
110	1,4616	2,6153	3,4857	8,4149	12,9816	18,3646
120	1,3445	2,3793	3,1567	7,6954	11,8480	16,7943
130	1,2453	2,1798	2,8794	7,0868	10,8927	15,4659
140	1,1601	2,0090	2,6424	6,5652	10,0766	14,3274
150	1,0861	1,8611	2,4377	6,1129	9,3711	13,3404
160	1,0212	1,7318	2,2591	5,7169	8,7549	12,4763
170	0,9639	1,6178	2,1019	5,3673	8,2119	11,7135
180	0,9128	1,5165	1,9627	5,0563	7,7298	11,0348
190	0,8670	1,4259	1,8384	4,7777	7,2987	10,4270
200	0,8257	1,3444	1,7269	4,5267	6,9108	9,8795
210	0,7882	1,2707	1,6263	4,2994	6,5600	9,3834
220	0,7540	1,2038	1,5351	4,0924	6,2410	8,9319
230	0,7228	1,1427	1,4521	3,9032	5,9496	8,5192
240	0,6940	1,0867	1,3762	3,7295	5,6824	8,1403
250	0,6675	1,0353	1,3066	3,5695	5,4365	7,7912
260	0,6430	0,9878	1,2426	3,4216	5,2093	7,4684
270	0,6202	0,9438	1,1835	3,2844	4,9987	7,1692
280	0,5990	0,9031	1,1288	3,1568	4,8031	6,8908
300	0,5607	0,8297	1,0307	2,9266	4,4504	6,3886
320	0,5270	0,7656	0,9456	2,7245	4,1412	5,9478
340	0,4971	0,7092	0,8710	2,5456	3,8677	5,5575
360	0,4703	0,6591	0,8051	2,3861	3,6240	5,2095
380	0,4462	0,6143	0,7467	2,2429	3,4054	4,8971
420	0,4046	0,5377	0,6477	1,9964	3,0294	4,3592
460	0,3698	0,4748	0,5673	1,7915	2,7173	3,9121
500	0,3402	0,4221	0,5010	1,6184	2,4539	3,5344

Значение функции F(a) для отключенной ВЛ-220 кВ при влиянии линий различных классов напряжений в зависимости от расстояния между осями ВЛ						
Расстояние между ВЛ, м	Номинальное напряжение влияющей ВЛ, кВ					
	35	110	220	330	500	750
10	12,9237	31,6086	48,8430	73,4450	-	-
20	7,3231	15,3495	21,9088	51,7007	83,2419	-
30	5,0570	10,1917	14,2560	33,0896	51,7714	71,5230
40	3,8537	7,5886	10,4986	24,2736	37,3531	53,5344
50	3,1134	6,0236	8,2685	19,1736	29,2762	42,2707
60	2,6134	4,9806	6,7932	15,8457	24,0948	34,8559
70	2,2536	4,2363	5,7456	13,5006	20,4786	29,6415
80	1,9823	3,6787	4,9635	11,7576	17,8068	25,7787
90	1,7705	3,2454	4,3577	10,4103	15,7498	22,8018
100	1,6005	2,8991	3,8747	9,3373	14,1159	20,4364
110	1,4610	2,6160	3,4807	8,4620	12,7859	18,5106
120	1,3445	2,3802	3,1534	7,7343	11,6815	16,9117
130	1,2456	2,1809	2,8772	7,1194	10,7495	15,5623
140	1,1606	2,0102	2,6411	6,5928	9,9521	14,4078
150	1,0868	1,8623	2,4370	6,1367	9,2618	13,4085
160	1,0221	1,7330	2,2588	5,7377	8,6583	12,5348
170	0,9648	1,6189	2,1020	5,3856	8,1259	11,7642
180	0,9138	1,5176	1,9630	5,0725	7,6527	11,0793
190	0,8680	1,4270	1,8390	4,7922	7,2293	10,4663
200	0,8267	1,3455	1,7276	4,5397	6,8479	9,9144
210	0,7892	1,2717	1,6272	4,3111	6,5027	9,4147
220	0,7551	1,2048	1,5361	4,1031	6,1887	8,9602
230	0,7238	1,1436	1,4531	3,9130	5,9016	8,5447
240	0,6951	1,0876	1,3773	3,7385	5,6383	8,1636
250	0,6686	1,0361	1,3078	3,5778	5,3957	7,8125
260	0,6440	0,9886	1,2438	3,4292	5,1715	7,4880
270	0,6212	0,9446	1,1847	3,2915	4,9637	7,1872
280	0,6000	0,9038	1,1300	3,1634	4,7705	6,9076
300	0,5617	0,8305	1,0320	2,9324	4,4219	6,4031
320	0,5279	0,7663	0,9468	2,7296	4,1161	5,9605
340	0,4980	0,7098	0,8722	2,5502	3,8455	5,5688
360	0,4712	0,6596	0,8063	2,3902	3,6042	5,2196
380	0,4471	0,6148	0,7479	2,2467	3,3877	4,9062
420	0,4054	0,5382	0,6488	1,9995	3,0149	4,3666
460	0,3705	0,4752	0,5684	1,7941	2,7052	3,9184
500	0,3408	0,4225	0,5021	1,6207	2,4438	3,5399

Значение функции F(a) для отключенной ВЛ-330 кВ при влиянии линий различных классов напряжений в зависимости от расстояния между осями ВЛ						
Расстояние между ВЛ, м	Номинальное напряжение влияющей ВЛ, кВ					
	35	110	220	330	500	750
10	10,3854	17,3261	23,9550	-	-	-
20	6,6162	14,0303	20,1250	63,6607	-	-
30	4,7745	9,7101	13,5254	34,0762	54,6452	-
40	3,6934	7,3086	10,0595	24,3228	37,6585	55,6570
50	3,0083	5,8360	7,9726	19,0568	29,1716	42,8442
60	2,5390	4,8455	6,5806	15,7039	23,9115	34,9630
70	2,1983	4,1343	5,5859	13,3665	20,2924	29,5893
80	1,9397	3,5989	4,8396	11,6384	17,6366	25,6708
90	1,7367	3,1814	4,2590	10,3062	15,5990	22,6775
100	1,5732	2,8467	3,7944	9,2465	13,9835	20,3115
110	1,4385	2,5723	3,4143	8,3828	12,6696	18,3916
120	1,3257	2,3433	3,0977	7,6647	11,5790	16,8008
130	1,2297	2,1493	2,8299	7,0579	10,6588	15,4601
140	1,1470	1,9828	2,6005	6,5383	9,8714	14,3141
150	1,0751	1,8384	2,4018	6,0880	9,1896	13,3226
160	1,0119	1,7119	2,2281	5,6940	8,5934	12,4561
170	0,9559	1,6002	2,0751	5,3461	8,0673	11,6920
180	0,9059	1,5009	1,9392	5,0367	7,5995	11,0129
190	0,8610	1,4120	1,8178	4,7596	7,1808	10,4051
200	0,8205	1,3319	1,7087	4,5100	6,8036	9,8579
210	0,7837	1,2595	1,6102	4,2838	6,4620	9,3624
220	0,7501	1,1936	1,5208	4,0780	6,1512	8,9117
230	0,7193	1,1334	1,4393	3,8898	5,8670	8,4997
240	0,6910	1,0783	1,3648	3,7170	5,6062	8,1215
250	0,6649	1,0275	1,2964	3,5578	5,3659	7,7733
260	0,6407	0,9807	1,2334	3,4107	5,1438	7,4513
270	0,6182	0,9373	1,1752	3,2742	4,9378	7,1529
280	0,5972	0,8970	1,1213	3,1472	4,7463	6,8753
300	0,5593	0,8246	1,0247	2,9182	4,4006	6,3745
320	0,5259	0,7612	0,9406	2,7170	4,0972	5,9350
340	0,4963	0,7053	0,8669	2,5390	3,8286	5,5459
360	0,4697	0,6556	0,8018	2,3802	3,5891	5,1990
380	0,4458	0,6113	0,7440	2,2376	3,3741	4,8876
420	0,4044	0,5354	0,6459	1,9920	3,0037	4,3512
460	0,3698	0,4729	0,5662	1,7879	2,6959	3,9054
500	0,3403	0,4206	0,5004	1,6155	2,4359	3,5289

Значение функции F(a) для отключенной ВЛ-500 кВ при влиянии линий различных классов напряжений в зависимости от расстояния между осями ВЛ						
Расстояние между ВЛ, м	Номинальное напряжение влияющей ВЛ, кВ					
	35	110	220	330	500	750
10	9,4932	15,2369	40,8945	-	-	-
20	6,8271	14,1447	20,6810	-	-	-
30	4,9379	10,1446	14,2169	37,9693	64,2450	-
40	3,7843	7,5288	10,3811	25,5511	39,8898	59,4042
50	3,0596	5,9547	8,1401	19,6199	30,1165	44,4382
60	2,5701	4,9155	6,6775	16,0122	24,4111	35,7787
70	2,2183	4,1787	5,6465	13,5546	20,5914	30,0640
80	1,9533	3,6287	4,8799	11,7618	17,8307	25,9715
90	1,7464	3,2023	4,2870	10,3917	15,7325	22,8798
100	1,5802	2,8618	3,8146	9,3083	14,0793	20,4537
110	1,4438	2,5836	3,4294	8,4289	12,7408	18,4950
120	1,3298	2,3519	3,1092	7,7000	11,6335	16,8780
130	1,2329	2,1560	2,8389	7,0856	10,7014	15,5190
140	1,1497	1,9882	2,6076	6,5604	9,9053	14,3598
150	1,0772	1,8427	2,4076	6,1059	9,2171	13,3587
160	1,0137	1,7155	2,2329	5,7087	8,6160	12,4849
170	0,9574	1,6032	2,0791	5,3584	8,0861	11,7152
180	0,9072	1,5034	1,9426	5,0471	7,6154	11,0317
190	0,8621	1,4141	1,8207	4,7684	7,1942	10,4206
200	0,8214	1,3337	1,7112	4,5175	6,8152	9,8706
210	0,7845	1,2610	1,6124	4,2904	6,4720	9,3730
220	0,7508	1,1949	1,5227	4,0837	6,1599	8,9204
230	0,7200	1,1346	1,4410	3,8948	5,8746	8,5069
240	0,6916	1,0793	1,3663	3,7214	5,6129	8,1276
250	0,6654	1,0284	1,2977	3,5617	5,3719	7,7783
260	0,6412	0,9815	1,2346	3,4141	5,1491	7,4555
270	0,6186	0,9380	1,1763	3,2773	4,9426	7,1563
280	0,5976	0,8977	1,1223	3,1500	4,7505	6,8782
300	0,5597	0,8251	1,0255	2,9204	4,4041	6,3765
320	0,5262	0,7616	0,9413	2,7189	4,1001	5,9363
340	0,4965	0,7056	0,8675	2,5406	3,8311	5,5467
360	0,4700	0,6559	0,8024	2,3815	3,5912	5,1994
380	0,4460	0,6115	0,7445	2,2388	3,3759	4,8877
420	0,4046	0,5356	0,6463	1,9929	3,0051	4,3509
460	0,3699	0,4730	0,5665	1,7886	2,6970	3,9049
500	0,3404	0,4207	0,5007	1,6160	2,4367	3,5283

Значение функции F(a) для отключенной ВЛ-750 кВ при влиянии линий различных классов напряжений в зависимости от расстояния между осями ВЛ						
Расстояние между ВЛ, м	Номинальное напряжение влияющей ВЛ, кВ					
	35	110	220	330	500	750
10	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
30	4,5884	8,7958	12,6444	-	-	-
40	3,6654	7,2267	10,0178	27,1526	42,9533	-
50	3,0117	5,8586	8,0115	20,4293	31,5786	49,3125
60	2,5457	4,8730	6,6115	16,4659	25,1950	37,9451
70	2,2035	4,1545	5,6042	13,8337	21,0616	31,2588
80	1,9434	3,6125	4,8492	11,9459	18,1359	26,7119
90	1,7393	3,1902	4,2634	10,5196	15,9423	23,3743
100	1,5750	2,8522	3,7959	9,4008	14,2301	20,8021
110	1,4399	2,5757	3,4141	8,4981	12,8529	18,7505
120	1,3268	2,3453	3,0966	7,7532	11,7192	17,0714
130	1,2307	2,1503	2,8285	7,1274	10,7685	15,6692
140	1,1480	1,9832	2,5989	6,5938	9,9589	14,4789
150	1,0760	1,8384	2,4003	6,1332	9,2607	13,4549
160	1,0128	1,7117	2,2268	5,7312	8,6519	12,5638
170	0,9568	1,5998	2,0740	5,3773	8,1161	11,7808
180	0,9069	1,5004	1,9383	5,0630	7,6407	11,0869
190	0,8620	1,4114	1,8171	4,7821	7,2159	10,4675
200	0,8215	1,3314	1,7082	4,5293	6,8338	9,9109
210	0,7847	1,2589	1,6099	4,3007	6,4883	9,4079
220	0,7511	1,1930	1,5207	4,0927	6,1741	8,9509
230	0,7204	1,1329	1,4394	3,9028	5,8872	8,5337
240	0,6921	1,0777	1,3650	3,7285	5,6241	8,1514
250	0,6660	1,0270	1,2968	3,5681	5,3819	7,7995
260	0,6418	0,9802	1,2339	3,4199	5,1581	7,4745
270	0,6193	0,9369	1,1758	3,2825	4,9508	7,1734
280	0,5983	0,8966	1,1220	3,1548	4,7580	6,8937
300	0,5604	0,8242	1,0256	2,9245	4,4104	6,3894
320	0,5270	0,7609	0,9417	2,7224	4,1055	5,9472
340	0,4974	0,7050	0,8681	2,5436	3,8358	5,5561
360	0,4708	0,6554	0,8031	2,3842	3,5953	5,2076
380	0,4469	0,6111	0,7453	2,2412	3,3796	4,8949
420	0,4055	0,5353	0,6474	1,9949	3,0081	4,3567
460	0,3708	0,4728	0,5677	1,7903	2,6996	3,9098
500	0,3412	0,4206	0,5020	1,6176	2,4390	3,5324

Пример расчета наведенного напряжения по упрощенной методике

Расчеты по упрощенной методике проведены для схемы сети 500 кВ, представленной на рисунке П1. Расчет наведенных напряжений выполняется для точки отключенной ВЛ 500 кВ ПС1-ПС2, обозначенной знаком «х». В этом месте заканчивается коридор влияния на отключенную линию ВЛ 1 и начинается коридор влияния ВЛ 2. Принимается, что в данной точке заземлены провода трех фаз, сопротивление заземлителя опоры $R_3=10$ Ом.

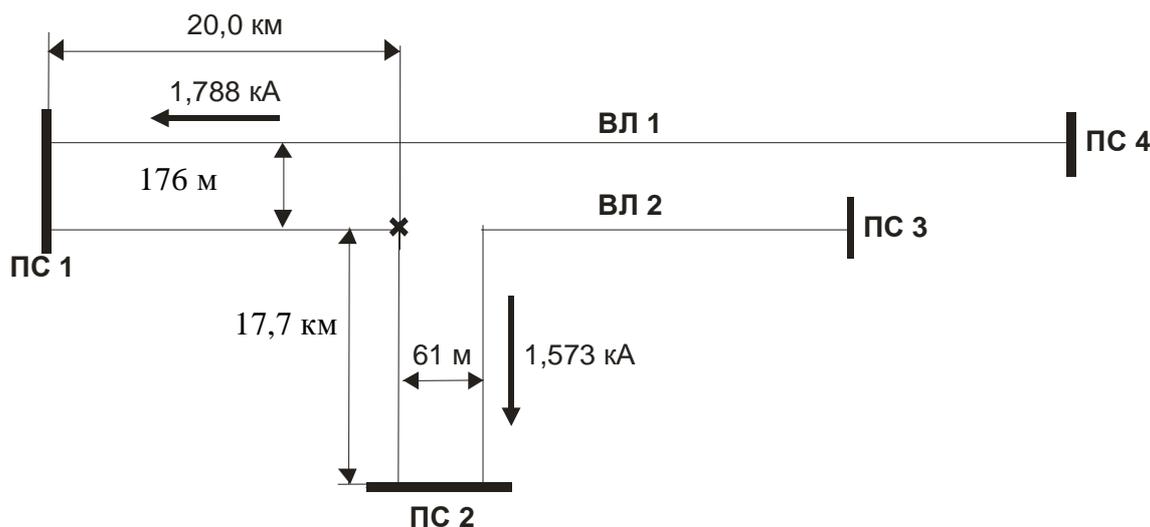


Рисунок П1 - Схема сети 500 кВ

Расчет ЭДС:

$$E_1 = F_1(a_{11}) \cdot I_1 \cdot l_{11},$$

где $F_1(a_{11})=F(176)=7,8037$ - коэффициент, определенный с помощью интерполяции по таблице (приложение 1) для отключенной и влияющей ВЛ-1 500 кВ,
 $I_1=1,788$ кА - максимальный ток, протекающий в первой влияющей ВЛ,
 $l_1=20$ км - длина участка влияния первой влияющей ВЛ.
 $E_1=7,8037 \cdot 1,788 \cdot 20=279,1$ В.

$$E_2 = F_2(a_{22}) \cdot I_2 \cdot l_{22},$$

где $F_2(a_{22})=F(61)=24,0291$ - коэффициент, определенный с помощью интерполяции по таблице (приложение 1) для отключенной и влияющей ВЛ-2 500 кВ,
 $I_2=1,573$ кА - максимальный ток, протекающий во второй влияющей ВЛ,
 $l_{22}=17,7$ км - длина участка влияния второй влияющей ВЛ.
 $E_2=24,0291 \cdot 1,573 \cdot 17,7=669,0$ В.

Расчет проводимостей:

$$Y_1 = \frac{1}{\sqrt{R_3^2_{ПС-1} + (g \cdot x)^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,26^2 + (0,402 \cdot 20)^2}} = 0,124378 \text{ См},$$

$$Y_2 = \frac{1}{\sqrt{R_3^2_{ПС-2} + [g \cdot (L - x)]^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,287^2 + (0,402 \cdot 17,7)^2}} = 0,140449 \text{ См},$$

где $R_{3 ПС-1}=0,26$ Ом - сопротивление контура заземления ПС 1,
 $R_{3 ПС-2}=0,287$ Ом - сопротивление контура заземления ПС-2,
 $g_1=0,402$ - значение коэффициента, определяется по таблице 1.

$$Y_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ См.}$$

Расчет наведенного напряжения:

$$U_{НАВ} = \frac{E_1 \cdot Y_1 + E_2 \cdot Y_2}{\sqrt{(Y_1 + Y_2)^2 + Y_3^2}},$$
$$U_{НАВ} = \frac{279,1 \cdot 0,124378 + 669,0 \cdot 0,140449}{\sqrt{(0,124378 + 0,140449)^2 + 0,1^2}} = 454,5 \text{ В.}$$

Перечень и характеристики приборов и технических средств, необходимых для проведения измерений

1 Измерительные приборы:

- Прибор измерения напряжения тока серии Ц (Ц4316, Ц4317, Ц4342, Ц4352, Ц4324, Ц43104, Ц43109, Ц4505, внутреннее сопротивление не менее 1 кОм, верхний предел шкалы до 1000В) - 2 шт.;
- Омметр (М-416, МС-08, ФЦ103) - 2 шт.;
- Приборы должны быть поверены; их применение - в соответствии с заводскими инструкциями.

2 Устройства, применяемые при измерениях:

- медный проводник сечением 1,5 мм² с изоляцией не менее 2.5 кВ - 40 м;
- измерительный зонд диаметром 50 мм длиной 1.5 м с погружаемой в грунт частью не менее 1 м;
- заземлитель длиной 1 м с погружаемой в грунт частью не менее 0,5 м, - 2 шт.;
- переносное заземление для наложения заземления на провода ВЛ соответствующего класса напряжения- 4 шт.;
- переносное заземление для наложения заземления на трос - 2 шт.

3 Инвентарь:

- бесконечный канат - 2 комплекта
- кувалда 5 кг - 1 шт.
- монтажка (для извлечения измерительного зонда) - 2 шт.
- лопата штыковая - 1 шт.
- монтерский инструмент - 2 комплекта;
- рулетка 20 м - 1 шт.

4 Защитные средства:

- диэлектрические перчатки - 3 пары;
- диэлектрические боты - 2 пары;
- штанга для наложения заземления на напряжение до 10 кВ - 1 шт.;
- изолирующая штанга на 10 кВ - 2 шт.;
- каска - по числу работающих;
- пояс монтерский предохранительный - 3 шт.;
- аптечка - 1 шт.;
- экранирующий костюм (при работах на отключенной цепи двухцепной ВЛ 220-500 кВ и грозозащитном тросе находящейся под напряжением ВЛ 220-750 кВ) - по числу работающих, не менее 2 комплектов.

5 Средства связи:

- радиостанция автомобильная - 1 шт.;
- радиостанция индивидуальная - 3 шт.;
- телефон мобильный - 2 шт.

6 Транспортные средства: бригадная автомашина.

Формы регистрации результатов измерений

Энергопредприятие _____
(наименование)

ВЛ _____
(диспетчерское наименование)

**ПРОТОКОЛ
ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

№ опоры	Сопротивление, Ом, по проекту (исполнительной документации, по паспорту ВЛ)	Дата измерения, тип и № прибора	Измеренное значение, сопротивления, Ом	Сопротивление с учетом коэффициента сезонности, Ом	Примечание

Измерения проводили _____

должность *фамилия, и, о* *Подпись*

должность *фамилия, и, о* *Подпись*

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Предприятие _____

Отключенная ВЛ _____

диспетчерское наименование, отключенной линии

Дата, время проведения измерений	Номер опоры, пролет, где проведены измерения	Элемент ВЛ, на котором проведены измерения - провод, трос	Схема заземления ВЛ, на которой проведены измерения (указать, выбрав из перечня)	Вид заземления в месте измерений	Измеренное значение напряжения (В) и тока (А)		Сопrotивление заземляющего контура (Ом), к которому присоединено переносное (рабочее) заземление	Нагрузка на влияющих линиях		
					Наведенное напряжение	Напряжение на заземлителе		Наименование ВЛ	Нагрузка	
									Во время измерения	Максимальная
			1. ВЛ заземлена по концам 1.1. Заземлена в месте измерений 1.2. Не заземлена в месте измерений. 1.3. Заземлена на участке. 2. ВЛ заземлена на одном конце (наименование подстанции) 2.1. Провод (трос) на опоре заземлен. 2.2. Провод (трос) на опоре изолирован. 3. ВЛ не заземлена по концам. 3.1. Провод (трос) на опоре изолирован. 3.2. Провод (трос) на опоре заземлен.							

Ответственный
руководитель
работ

должность

фамилия, и, о

Подпись

Измерения
проводили

должность

фамилия, и, о

Подпись

должность

фамилия, и, о

Подпись