МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗМЕРЕНИЮ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ОПОР ВЛ БЕЗ ОТСОЕДИНЕНИЯ ГРОЗОЗАЩИТНОГО ТРОСА

СПО
СОЮЗТЕХЭНЕРГО
Москва 1987

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗМЕРЕНИЮ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ОПОР ВЛ БЕЗ ОТСОЕДИНЕНИЯ ГРОЗОЗАЩИТНОГО ТРОСА

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА И ИНФОРМАЦИИ СОЮЗТЕХЭНЕРГО
Москва 1981

УДК 621 315 I

Составлено Сибирским научно-исследовательским институтом энергетики

С о с т а в и т е л и кандидаты техн наук Ю.В ЦАЛЕБРОВСКИЙ
М П МИКИТИНСКИЙ

© СПО Союзтехэнерго 1981

Ответственный редактор Д Ф Тафинольский
Литературный редактор В К. Куревлева
Технический редактор Е Н Бевза
Корректор В Д Алексеева

Л 87321 Подписано к печати I4 01 81 Формат 60х84 1/16
Печ л I 25 (усл печ л I I6) Уч -изд л I,03 Тираж 3500 экз.
Заказ № 17/81 Издат № 212/80 Цена I5 коп

Производственная служба передового опыта и информации Союзтехэнерго
I05023 Москва, Семеновский пер д I5

Участок оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго
II7292 Москва ул Ивана Бабушкина, д 23, корп.2

Главным инженерам энергосистем

Настоящие "Методические указания" разработаны Сибирским научно-исследовательским институтом энергетики в соответствии с поручением Главтехуправления Минэнерго СССР и утверждены в качестве "Временных" до проведения окончательного подтверждения точности предложенного способа, путем анализа массовых эксплуатационных данных.

Для указанной цели Главтехуправление просит Вас внедрить способ измерения сопротивления заземления опор ВЛ в соответствии с предлагаемой методикой. Данные измерений направлять в СибНИИЭ, по адресу: 630091, Новосибирск, 91, ул.Фрунзе, 9, в копии - Главтехуправлению.

Заместитель начальника
Главтехуправления,
главный специалист-электрик К.М.Антипов

УТВЕРЖДАЮ:
Заместитель начальника
Главтехуправления
Минэнерго СССР
К.М АНТИПОВ
10 ноября 1980 г

I ВВЕДЕНИЕ

Настоящие Методические указания содержат описание методов и средств измерений сопротивлений заземления одностоечных металлических и железобетонных опор ВЛ, заземляющие устройства которых электрически соединены посредством грозозащитного троса

При проведении массовых измерений сопротивлений заземления рекомендуются приборы МС-08 и М-416 (с усилительной приставкой)

Вспомогательные приспособления необходимые для осуществления данного способа измерений изготовляются непосредственно на предприятиях ведущих эксплуатационный контроль заземляющих устройств

Кроме указанных приборов, могут быть применены геофизический комплект ИКС-1 приборы для измерения сопротивлений по методу амперметра-вольтметра, обладающие достаточной чувствительностью и точностью

2 МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

2 1 Для измерения сопротивления заземления опоры если грозозащитный трос не отсоединен от заземляющего устройства используются дополнительные измерительные электроды $П_1$ и ВТ (рис 1) В измерениях также применяются электроды $П_2$ и СЭ которые при измерениях с отсоединенным грозозащитным тросом, играют роль соответственно потенциального и токового электрода

Примечания 1 Измерительные электроды изготовляются из стальных штырей -2 Сопротивления измерительных электродов должны соответствовать требованиям применяемых измерительных приборов

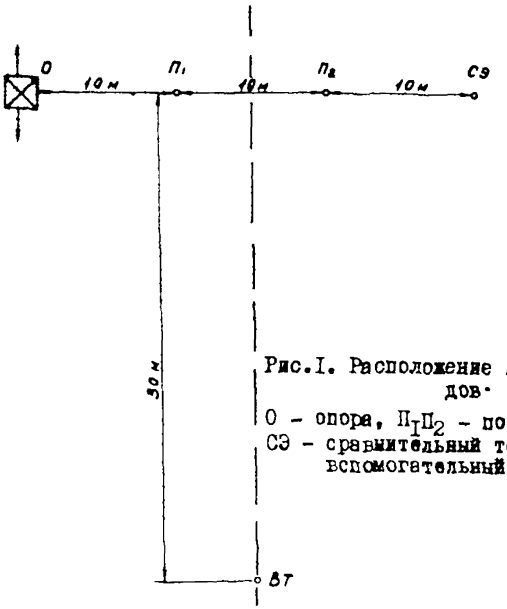

Рис.I. Расположение измерительных электродов.
О - опора, $П_1П_2$ - потенциальные электроды;
СЭ - сравнительный токовый электрод, ВТ - вспомогательный токовый электрод

2.2. Токовые цепи (с генератором тока и амперметром) и цепи для измерения напряжения (с вольтметром) при измерении образуют схемы $а, б, в$, (рис.2).

2.3. При соединении по схеме $а$ измеряют сопротивление

$$R_1 = \frac{U_1}{K_{ОТС} I_1}, \qquad (I)$$

где U_1 - напряжение между заземляющим устройством опоры и измерительным электродом $П_2$, В,

I_1 - ток в заземляющем устройстве опоры, А,

$K_{ОТС} I_1$ - полный ток в токовой цепи, А,

$K_{ОТС}$ - коэффициент отсоса, показывающий, во сколько раз ток, генерируемый в токовой цепи, больше тока в заземляющем устройстве опоры (за счет отсоса тока по тросу).

2.4. Сопротивление заземления опоры определяется по формуле

$$R_{оп} = \frac{U_1}{I_1} = K_{отс} R_1 \qquad (2)$$

Для определения коэффициента отсоса используют схемы б и в (см рис 2)

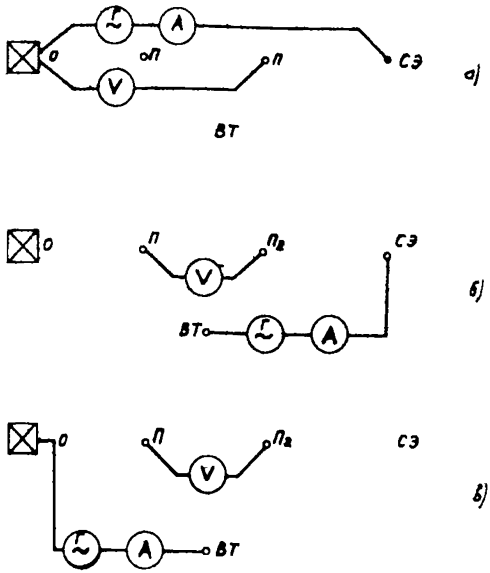

Рис 2 Схемы соединения при измерениях – R_1, R_2, R_3 –

—Г—А— токовая цепь —V— цепь измерения напряжения

При соединении по схеме б измеряют сопротивление

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} \qquad (3)$$

где U_2 – напряжение между измерительными электродами $П_I$ и $П_2$ В;

I_2 – полный ток в токовой цепи А

При соединении по схеме *б* измеряют сопротивление

$$R_3 = \frac{U_3}{K_{отс} I_3} \qquad (4)$$

где U_3 – напряжение между измерительными электродами $П_1$ и $П_2$ В,

$K_{отс}$ I_3 – полный ток в токовой цепи А

Учитывая что электрод ВТ наводит одинаковые потенциалы на электроды $П_1$ и $П_2$ напряжения U_2 и U_3 можно выразить как разность потенциалов точечных источников соответственно СЭ и О

$$U_2 = \frac{\rho_э I_2}{2\pi}\left(\frac{1}{10} - \frac{1}{20}\right) = \frac{\rho_э I_2}{40\pi}, \qquad (5)$$

$$U_3 = \frac{\rho_э I_3}{2\pi}\left(\frac{1}{10} - \frac{1}{20}\right) = \frac{\rho_э I_3}{40\pi} \qquad (6)$$

где $\rho_э$ – эквивалентное удельное сопротивление грунта в месте измерения Ом м

Сравнивая выражения (3) и (5) (4) и (6) имеем

$$R_2 = \frac{\rho_э}{40\pi} \qquad (7)$$

$$R_3 = \frac{1}{K_{отс}} \frac{\rho_э}{40\pi}, \qquad (8)$$

$$K_{отс} = \frac{R_2}{R_3} \qquad (9)$$

Из выражений (2), (7), (9) следует:

$$R_{оп} = R_1 \frac{R_2}{R_3}, \qquad (10)$$

$$\rho_э = 40\pi R_2 \approx 126 R_2 . \qquad (11)$$

2.5. Выражение (10) должно содержать поправку (приложение I)

$$\Delta = R_2 \left(1{,}33 \frac{R_2}{R_3} - 1\right), \qquad (12)$$

обусловленную принятым расположением электрода $П_2$ относительно опоры и сравнительного электрода. Поправку Δ можно не учитывать, если произведение $R_1 \frac{R_2}{R_3}$ меньше нормируемого значения сопротивления заземления опоры.

3. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

3.I. В качестве основных приборов при измерениях сопротивлений заземления опор ВЛ без отсоединения грозозащитного троса по методу, изложенному в разд.2, рекомендуются приборы МС-08 и М-416. Вспомогательными приспособлениями являются переключающее устройство к прибору МС-08 и приставка.

3.2. Принципиальная схема переключающего устройства к прибору МС-08 представлена на рис.3. Основным элементом схемы является четырехплатный пятипозиционный галетный переключатель, к входным зажимам которого I_1, E_1, E_2, I_2 присоединяется прибор МС-08, а к выходным зажимам I - 6 - измерительные электроды и заземлитель опоры. Позиции переключателя соответствуют. Т - измерение сопротивления токовых цепей; П - измерение сопротивления потенциальной цепи, R_1, R_2, R_3 - измерение сопротивления заземляющего устройства в соответствии с разд.2.

3 3 Принципиальная схема приставки к прибору М-416 представлена на рис 4. Основными элементами хемы являются шестиплатный

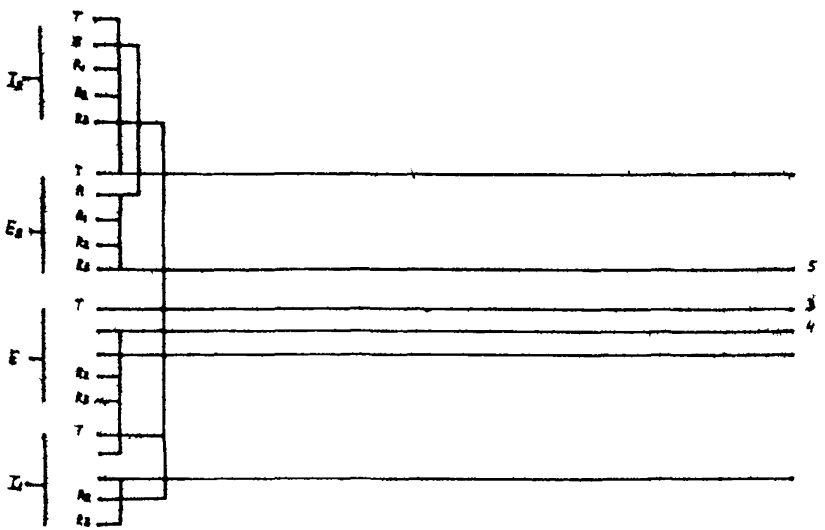

Рис 3 Схема переключающего устройства к прибору МС-08

шестипозиционный галетный переключатель к входным зажимам которого Кл1 Кл2 Кл3 Кл4 присоединяется прибор М-416 и усилитель вход (Вх) которого посредством переключателя соединяется с прибором М-416 а выход (Вых) с измерительными электродами и заземлителем опоры

Замыкание цепи исто ника питания усилителя (Б) производится переключателем Выходные зажимы переключателя I 6 (см рис 4) присоединяются к измерительным лектродам (2-5) и заземлителю опоры (I 6). Позиции переключателя со тветствуют Т измерение соп ротивления токовых цепей П измерение опротивления потенциальной цепи; R_1 R_2 R_3 измерение сопротивления заземляющего устройства в соответствии с разд 2 R_2^{ρ} - измерение удельного сопротивления грунта

3 4 Усилитель к прибору М-416 предназначен для измерения сопротивления заземления опор без отсоединения грозозащитного

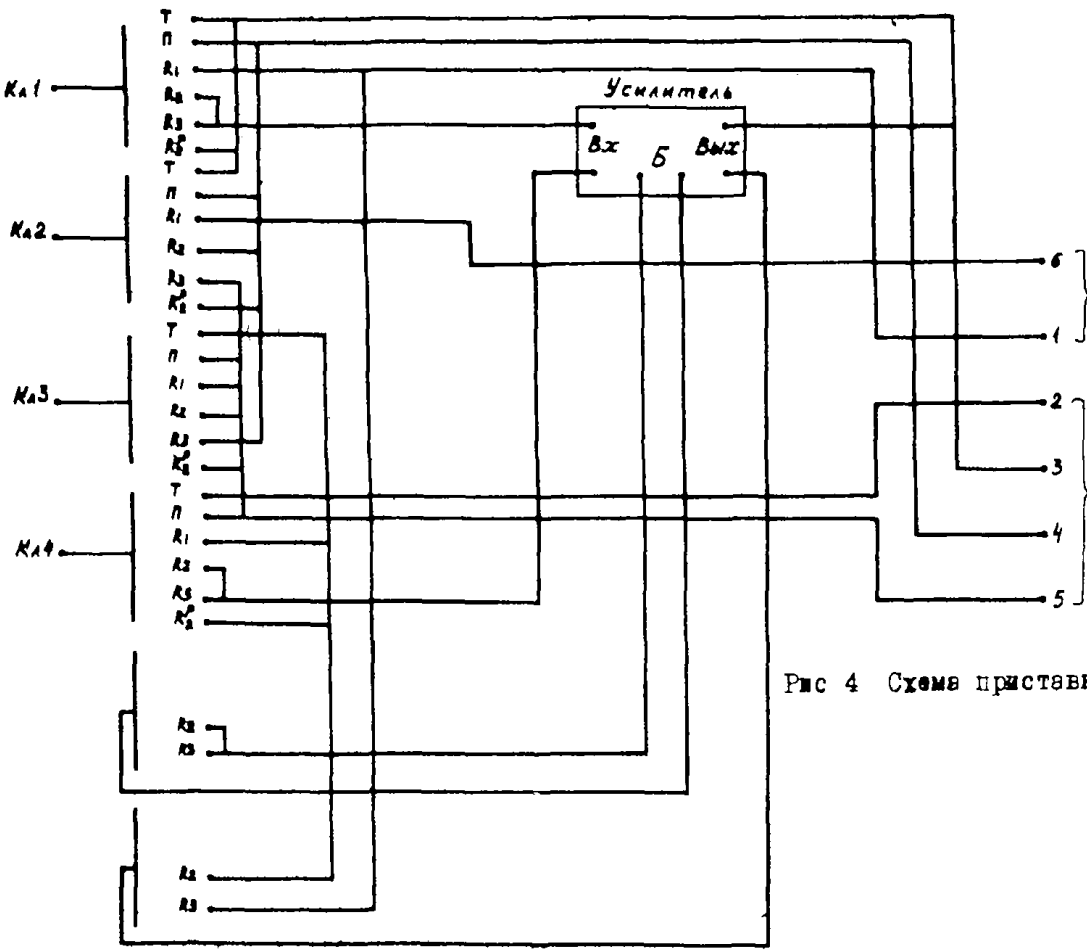

Рис 4 Схема приставки к прибору М-416

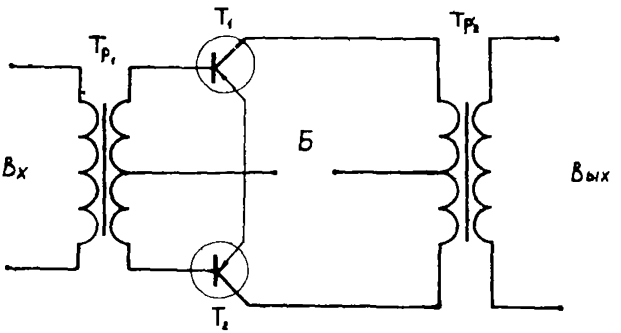

Рис 5 Электрическая схема усилителя к прибору М-4I6

T_1, T_2 - транзисторы П2I7 Г, Tp_1, Tp_2 - трансформаторы (магнитопровод серийного изделия ТВН 0 0005 09I ТУ, провод ПЭВ-I, диаметром 0,I мм, перв обм Tp_1 и втор обм. Tp_2 - I000 витков, втор обм Tp_1 и перв обм Tp_2 - 2хI50 витков), Б - батарея, послед 5 элементов 3336Л

троса. Электрическая схема усилителя представлена на рис.5. При подготовке к измерениям определяют в лабораторных условиях зависимость коэффициента усиления от сопротивления нагрузки. В соответствии с рис.6 собирают цепь, в которой R_X (0,I Ом) и R_H (магазин сопротивлений) соединены последовательно и подключены к выходу усилителя. Вход усилителя включен к зажимам I и 4 прибора

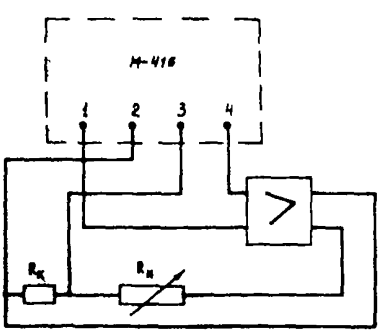

Рис.6. Схема измерения коэффициента усиления

М-4I6 Потенциальные зажимы (2 3) прибора М-4I6 подключаются к участку токовой цепи R_X Изменяют сопротивление R_H от I00 до I000 Ом производят компенсацию и отсчет R по шкале прибора М-4I6 и вычисляют коэффициент усиления

$$K_{yc}(R_H) = \frac{R}{R_X}$$

3 5 Дополнительными приспособлениями предназначенными для сокращения времени измерений являются катушки и провода для соединения приборов с измерительными электродами (рис 7) Катушки

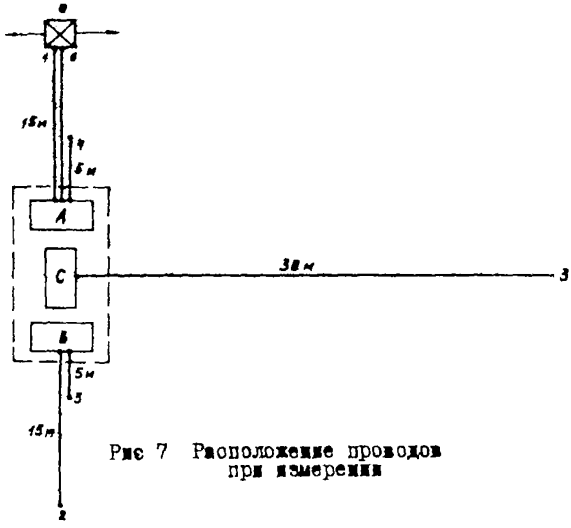

Рис 7 Расположение проводов при измерении

укрепляются таким образом чтобы провода могли разматываться в трех направлениях Катушка А имеет три провода длиной 5 I5 и I5 м, катушка В – два провода 5 и I5 м катушка С – один провод 30 м, Сечение проводов для токовых и потенциальных цепей не менее 2 5 мм^2 с неповрежденной изоляцией

4. ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

4.I. Катушки с проводами и измерительные электроды (штыри) располагают, как показано на рис.7. Электроды погружают в грунт на глубину не менее 0,5 м. Вилочные контакты проводов соединяют с зажимами, которые крепят к электродам и опоре.

4.2. При использовании прибора МС-08:

- начала проводов на катушках соединяют с зажимами переключающего устройства I-6 (см.рис.3);
- зажимы переключающего устройства I_1, E_1, E_2, I_2 присоединяют к соответствующим зажимам приборе;
- переключатель устанавливают в положение Т и измеряют сопротивление токовой цепи $R_{тц}$, которое не должно превышать 500 Ом;
- переключатель устанавливают в положение П и доводят до нормы сопротивление потенциальных электродов, добиваясь положения стрелки прибора у красной отметки в положении "Регулировка";
- переключатель устанавливают в положение R_1 и производят отсчет, предварительно отрегулировав сопротивление потенциальной цепи;
- переключатель устанавливают в положение R_2 и производят отсчет, предварительно отрегулировав сопротивление потенциальной цепи;
- переключатель устанавливают в положение R_3 и производят отсчет, предварительно отрегулировав сопротивление потенциальной цепи;
- вычисляют сопротивление заземления опоры:

$$R_{оп} = R_1 \frac{R_2}{R_3} .$$

Примечание. При необходимости вычитают поправку (Ом)

$$\Delta = R_2 \left(1{,}33 \frac{R_2}{R_3} - 1\right);$$

- вычисляют удельное сопротивление (Ом м) грунта

$$\rho_2 = 126\ R_2,$$

- результаты измерений и вычислений заносят в протокол (приложение 2)

4 3. При использовании прибора М-4I6

- начала проводов катушек соединяют посредством разъема с выходными зажимами приставки (см рис 4),

- зажимы приставки КлI, Кл2, Кл3, Кл4 соединяют посредством штекеров с соответствующими зажимами прибора

- переключатель устанавливают в положение Т и измеряют сопротивление токовой цепи $R_{тц}$ которое не должно превышать I000 Ом;

- переключатель устанавливают в положение П и измеряют сопротивление потенциальной цепи, которое не должно превышать I000 Ом,

- переключатель устанавливают в положение R_1 и производят измерение этой величины прибором

- переключатель устанавливают в положение R_2 и производят измерение этой величины прибором,

- переключатель устанавливают в положение R_3 и производят измерение этой величины прибором,

- переключатель устанавливают в положение R_2^{ρ} и производят измерение этой величины прибором

- вычисляют сопротивление (Ом) заземления опоры

$$R_{оп} = R_1 \frac{R_2}{R_3} \frac{K_{ус}\left(\frac{1}{2} R_{тц}\right)}{K_{ус}\left(R_{тц}\right)}$$

Примечание При необходимости вычитают поправку (Ом)

$$\Delta = R_2^{\rho}\left[133 \frac{R_2}{R_3} \frac{K_{ус}\left(\frac{1}{2} R_{тц}\right)}{K_{ус}\, R_{тс}} - 1\right],$$

- вычисляют удельное (Ом·м) сопротивление грунта

$$\rho_3 = 126 R_z^{\rho},$$

- результаты измерений и вычислений заносят в протокол (приложение 2)

5 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ

5 I. Работы по измерению сопротивлений заземления опор ВЛ разрешается проводить на включенной линии в сухую погоду, при отсутствии росы на гирляндах изоляторов Запрещается работать при приближении грозы и скорости ветра превышающей расчетное значение для данной линии

5 2 После размотки проводов и заглубления электродов измерительная цепь собирается таким образом чтобы заключительным этапом было присоединение проводов к заземлителю опоры Эту операцию производят в диэлектрических перчатках

5 3 После сборки схемы и до начала ее разборки запрещается прикасаться к проводам и электродам Прикосновение возможно лишь к изолированным корпусу и рукояткам приборов и приспособлений.

5 4 Заглубление электродов для уменьшения их сопротивления осуществляется кувалдой с сухой деревянной ручкой Полив электродов солевым раствором производится в диэлектрических перчатках

5 5 После проведения измерений отсоединяются от опоры проводники I и 6 (отсоединение производится в диэлектрических перчатках) Остальные проводники отсоединяются в произвольном порядке

Приложение I

ВЫВОД ВЫРАЖЕНИЯ Δ

Потенциалы на заземлителе φ_3 и потенциальном электроде $\varphi_п$ могут быть выражены системой уравнений

$$\varphi_з = \alpha_{зз} I_1 - \alpha_{зт} \kappa_{отс} I_1 , \qquad (П1)$$
$$\varphi_п = \alpha_{пз} I_1 - \alpha_{пт} \kappa_{отс} I_1$$

Коэффициент $\alpha_{зз}$ имеет смысл сопротивления растеканию тока с заземлителя опоры, $\alpha_{зт}$ – взаимное сопротивление между заземлителем и токовым электродом, $\alpha_{пз}$ – то же между потенциальным электродом и заземлителем, $\alpha_{пт}$ – то же между потенциальным и токовым электродами

Так как непосредственно определить потенциал заземлителя затруднительно, измеряют напряжение между заземлителем опоры и потенциальным электродом

$$U_1 = \varphi_з - \varphi_п = (\alpha_{зз} - \alpha_{зт} \kappa_{отс} - \alpha_{пз} + \alpha_{пт} \kappa_{отс}) I_1 . \qquad (П2)$$

Прибор (МС-08 или М-416) показывает отношение напряжения к генерируемому току

$$R_1 = \frac{U_1}{\kappa_{отс} I_1} = \frac{1}{\kappa_{отс}} \alpha_{зз} - \alpha_{зт} - \frac{1}{\kappa_{отс}} \alpha_{пз} + \alpha_{пт} , \qquad (П3)$$

откуда сопротивление заземления опоры равно

$$R_{оп} = \alpha_{зз} = \kappa_{отс} R_1 + \kappa_{отс} \alpha_{зт} - \kappa_{отс} \alpha_{пт} + \alpha_{пз} \qquad (П4)$$

или

$$R_{оп} = \kappa_{отс} R_1 + \Delta ,$$

где

$$\Delta = \kappa_{отс} \alpha_{зт} - \kappa_{отс} \alpha_{пт} + \alpha_{пз} \qquad (П5)$$

Поправка Δ зависит от взаимного расположения электродов и заземлителя, удельного сопротивления грунта, а также коэффициента отсоса $\kappa_{отс}$ Выражение (П5) можно преобразовать, используя

формуду потенциала точечного источника

$$\varphi_r = \frac{\rho_э I}{2\pi r} = \alpha_r I, \qquad (П6)$$

где коэффициенты взаимного сопротивления α_r выражены через соответствующие расстояния r

$$\alpha_{пз} = \frac{\rho_э}{2\pi r_{пз}} = \frac{\rho_э}{2\pi 20},$$

$$\alpha_{зг} = \frac{\rho_э}{2\pi r_{зг}} = \frac{\rho_э}{2\pi 30}, \qquad (П7)$$

$$\alpha_{пг} = \frac{\rho_э}{2\pi r_{пг}} = \frac{\rho_э}{2\pi 10}$$

Выражение для поправки получит вид

$$\Delta = -\frac{\rho_э}{40\pi}\left(\frac{4}{3}K_{отс} - 1\right) \qquad (П8)$$

Так как согласно выражению (II)

$$\rho_э = 40\pi R_2^{\rho}$$

то

$$\Delta = -R_2^{\rho}\left(\frac{4}{3}K_{отс} - 1\right) = -R_2^{\rho}\left(1{,}33\frac{R_2}{R_з} - 1\right) \qquad (П9)$$

Приложение 2

ПРОТОКОЛ

измерений сопротивлений заземления опор ВЛ

(наименование, класс напряжения)

Номер опоры	$R_{тц}$	R_1	R_2	R_3	R_2^{ρ}	$\rho_э = 126 R_2^{\rho}$	$R_1 \frac{R_2}{R_3} K$	$\Delta = R_2\left(\left(\frac{1}{3}\frac{R_2}{R_3}\right)^2 \times K - 1\right)$	$R_{оп}$	Заключение
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II

Примечания: I. При измерениях прибором МС-08

$$K = 1,\ R_2^{\rho} = R_2 .$$

2. При измерениях прибором М-4I6 с усилителем

$$K = \frac{K_{ус}\left(\frac{1}{2} R_{тц}\right)}{K_{ус} R_{тц}} .$$

3 Поправка Δ в графе 9 вычисляется, если значения $R_1 \frac{R_2}{R_3} K$ в графе 8 больше нормируемого значения сопротивления заземления опоры

4 $R_{оп}$ вычисляется как разность значений граф 8 и 9.

Сопротивление измерялось прибором _____ № _____ без отсоединения грозозащитного троса.

Измерения произвел _____

(подпись, фамилия, дата)

ВЫВОД ВЫРАЖЕНИЯ К (ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ $R_{оп}$ ПРИБОРОМ М-416 С УСИЛИТЕЛЕМ)

Поскольку коэффициент усиления $K_{ус}$ зависит от сопротивления нагрузки в расчетные формулы (I0) и (I2) необходимо ввести поправки

При измерениях по схемам б и в (см рис 2) используется усилитель тока коэффициент усиления которого обозначим $K_{ус}$

При измерении по схеме б

$$\frac{I_2}{I_{20}} = K_{ус}(R_{тц}) \qquad (III0)$$

При измерении по схеме в

$$\frac{K_{отс} I_3}{I_{30}} = K_{ус}\left(\frac{1}{2} R_{тц}\right), \qquad (III1)$$

где I_{20} и I_{30} – токи на входе усилителя

I_2 и I_3 – токи в земле соответственно вспомогательного электрода в схеме б и заземлителя опоры в схеме в но в схеме б ток на выходе усилителя совпадает с током в земле а в схеме в ток на выходе усилителя больше тока в земле в $K_{отс}$ раз

В зависимости $K_{ус}(R_{тц})$ учтено что в схеме в токовый электрод СЭ заменяется заземлителем опоры сопротивление которого по сравнению с токовым электродом ВТ настолько мало что им можно пренебречь и таким образом сопротивление токовой цепи уменьшается в 2 раза

Напряжения которые измеряются на потенциальных зажимах прибора М-416 равны согласно выражениям (5) и (6)

По схеме б

$$U_2 = \frac{I_2 \rho_3}{2\pi}\left(\frac{1}{10} - \frac{1}{20}\right), \qquad (III2)$$

по схеме *в*

$$U_3 = \frac{I_3 \rho_э}{2\pi}\left(\frac{1}{10} - \frac{1}{20}\right) \qquad (Ш3)$$

Компенсирующие напряжения записываются

по схеме б $\quad R_2 I_{20}$, (Ш4)

по схеме *в* $\quad R_3 I_{30}$ (Ш5)

Приравнивая (Ш2) и (Ш4) (Ш3) и (Ш5) получим

$$\frac{I_2}{I_3} = \frac{R_2}{R_3}\,\frac{I_{20}}{I_{30}}$$

или

$$\frac{I_2}{I_{20}} \Big/ \frac{I_3}{I_{30}} = \frac{R_2}{R_3} \qquad (Ш6)$$

Подставив в (Ш6) выражения (Ш0) и (Ш2) имеем

$$K_{отс}\frac{K_{ус}(R_{тц})}{K_{ус}\left(\frac{1}{2}R_{тц}\right)} = \frac{R_2}{R_3},$$

откуда

$$K_{отс} = \frac{R_2}{R_3}\,\frac{K_{ус}\left(\frac{1}{2}R_{тц}\right)}{K_{ус}(R_{тц})} = \frac{R_2}{R_3}K \qquad (Ш7)$$

В результате

$$R_{оп} = K_{отс}R_1 = R_1\frac{R_2}{R_3}K, \qquad (Ш8)$$

$$\Delta = R_2\left(1{,}33\frac{R_2}{R_3}K - 1\right), \qquad (Ш9)$$

где

$$K = \frac{K_{ус}\left(\frac{1}{2}R_{тц}\right)}{K_{ус}(R_{тц})} \qquad (Ш20)$$

gost.e-ecolog.ru