

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ
Методические указания
к лабораторно-практическим занятиям

Новосибирск 2021

Электробезопасность: метод. указания к лабораторно-практическим занятиям / Новосиб. гос. аграр. ун-т; Инженер. ин-т; сост.: А.Т. Калюжный, С.А. Никонов, Д.С. Болотов. – Новосибирск, 2021. – 25 с.

Авторы: канд. техн. наук **А.Т. Калюжный**
заведующий лабораториями, ассистент **С.А. Никонов**
аспирант **Д.С. Болотов**

Рецензент: канд. техн. наук, доцент **А.Ю. Кузнецов**

Методические указания предназначены для студентов НГАУ очной и заочной формы обучения направления подготовки: Агроинженерия, профилю: Электрооборудование и электротехнологии в агропромышленном комплексе.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института (протокол №5 от 24 декабря 2020 г.)

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2021

© Калюжный А.Т., Никонов С.А., Болотов Д.С.

Содержание

Правила безопасности при работе студентов в лабораториях кафедры техносферной безопасности и электротехнологий Новосибирского ГАУ.....	4
Лабораторная работа №1. Определение сопротивления цепи «фаза-нуль» и тока короткого замыкания по системе «амперметр-вольтметр».....	5
Лабораторная работа №2. Проверка цепи «фаза-нуль» прибором 1823 НА	8
Лабораторная работа №3. Определение удельного сопротивления грунта в лабораторных условиях	11
Лабораторная работа №4. Определение удельного сопротивления грунта в полевых условиях	12
Лабораторная работа №5. Определение сопротивления растеканию тока заземляющего устройства	17
Лабораторная работа №6 Исследование устройства защитного отключения.	22
Библиографический список	25

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ

при работе студентов в лабораториях кафедры техносферной безопасности и электротехнологий Новосибирского ГАУ

1. Перед началом лабораторных работ в лабораториях получите у руководителя работ инструктаж по технике безопасности. Изучите и запомните схему электроснабжения лаборатории, места установки коммутирующей и защитной аппаратуры. После получения инструктажа по технике безопасности распишитесь в журнале о том, что с правилами безопасной работы вы ознакомлены и обязуетесь их выполнять.

2. Не трогайте, не включайте и не выключайте без разрешения преподавателя или лаборанта автоматы и другие приборы. Ошибочное включение может быть причиной несчастного случая или выхода из строя электрооборудования.

3. Перед тем как приступить к выполнению работы, внимательно ознакомьтесь с заданием, оборудованием, материалами и инструментом, проверьте исправность ограждений и предохранительных устройств. О замеченных неисправностях сообщите преподавателю.

4. Перед сборкой схемы убедитесь, что автомат или пакетный выключатель, установленный на щите лабораторного стола, отключён.

5. Помните, что шарфы, косынки и другие подобные им детали одежды могут быть затянуты вращающимися частями машин и послужить причиной несчастного случая.

6. Не загромождайте рабочее место посторонними предметами.

7. Собранная схема проверяется всеми членами бригады, при этом особое внимание следует обратить на надёжность всех клеммных соединений и контактов.

8. По окончании работы приведите в порядок своё рабочее место. После уборки заявите об окончании работы преподавателю и только после его разрешения можете покинуть лабораторию.

9. Не производите излишнего шума в лабораториях.

10. Если с вами или другим студентом произошёл несчастный случай, немедленно сообщите об этом преподавателю или лаборанту для оказания помощи.

Воспрещается:

- Включать настенные групповые автоматы и рубильники распределительных шкафов без разрешения преподавателя.
- Включать собранную схему до проверки и разрешения преподавателя или лаборанта.
- Производить переключение в схемах, находящихся под напряжением.

- Оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.
- Закорачивать или отключать блокировочные устройства.
- Заходить за стенд и протягивать руки за ограждения.

Лабораторная работа №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦЕПИ «ФАЗА-НУЛЬ» И ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПО СИСТЕМЕ «АМПЕРМЕТР-ВОЛЬТМЕТР»

Цель работы: изучение способа определения сопротивления цепи «фаза-нуль» и тока короткого замыкания при помощи амперметра и вольтметра

Программа работы

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.
2. Собрать схему, состоящую из понижающего трансформатора 220/12В, амперметра, вольтметра и нагрузочного сопротивления согласно рис. 1.1.

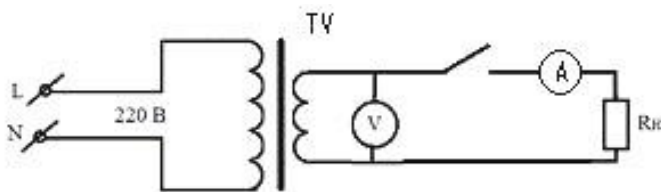


Рис. 1.1. Схема для измерения сопротивления цепи «фаза-ноль» при помощи амперметра и вольтметра: ТФ – трансформатор 220/12 В; А - амперметр; V - вольтметр; R_н - сопротивление

3. Снять значения тока и напряжения.
4. Определить расчетным путем сопротивление цепи «фаза-ноль».
5. Определить расчётным путём ток короткого замыкания в цепи 12 В.

Краткие теоретические сведения:

Электрическая мощность P , потребляемая нагрузкой, пропорциональна квадрату приложенного напряжения U и обратно пропорциональна сопротивлению R нагрузки: $P=U^2/R$. При коротком замыкании нагрузки ток в проводах ограничивается только их сопротивлением, которое мало. При этом в проводах выделяется большая мощность, что может привести к воспламенению проводов. А поскольку ток короткого замыкания (КЗ) протекает и через источник, который обладает ненулевым внутренним сопротивлением, то в нем также выделяется значительная мощность, что может вызвать повреждение источника тока (силового трансформатора, аккумуляторной батареи).

Для предотвращения тяжелых последствий КЗ для электросети, её защищают при помощи автоматических выключателей (АВ) с электромагнитными расцепителями мгновенного действия. Значение уставки электромагнитного расцепителя приводится в паспорте АВ; ток КЗ должен гарантированно превышать значение уставки даже при понижении напряжения сети на 15%.

В электроустановках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью с целью обеспечения автоматического отключения аварийного участка при замыкании фазного проводника на корпус или нулевой защитный проводник необходимо, чтобы возникающий при этом ток КЗ превышал не менее чем:

- в 3 раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя:

- в 3 раза номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику.

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), величина тока КЗ должна быть не ниже уставки тока мгновенного срабатывания, умноженной на коэффициент, учитывающий разброс (по заводским данным), и на коэффициент запаса 1,1. При отсутствии заводских данных для автоматических выключателей с номинальным током до 100 А кратность тока КЗ относительно уставки следует принимать не менее 1,4, а для автоматических выключателей с номинальным током более 100 А - не менее 1,25.

В большинстве случаев имеют место однофазные КЗ, когда цепь тока составляют: фазный проводник – место КЗ – нулевой защитный, рабочий или совмещенный проводник – источник фазного напряжения. Величину тока КЗ можно определить как частное от деления электродвижущей силы E источника тока на суммарное сопротивление R_{Σ} цепи тока КЗ, называемой «цепью фаза–нуль».

$$I_{K3} = E/R_{\Sigma} = E/(R_L + R_{PEN} + R_E)$$

В нормальном режиме напряжение на зажимах нагрузки отличается от электродвижущей силы E на величину падения напряжения в цепи тока:

$$U_1 = E - I_1 R_{\Sigma}$$

Изменение тока нагрузки с I_1 на I_2 изменит напряжение на её зажимах с U_1 на U_2 , причем;

$$U_1 - U_2 = \Delta U = (I_1 - I_2) R_{\Sigma}$$

Откуда фактическое значение полного сопротивления цепи «фаза – нуль»:

$$R_{\Sigma} = \frac{\Delta U}{I_1 - I_2} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Таким образом, для определения сопротивления цепи «фаза – нуль» достаточно измерить падение напряжения в заданной точке цепи при подключении в ней известной нагрузки, например, 10 А. Тогда сопротивление цепи «фаза – нуль» R_{Σ} в проверяемой точке цепи численно будет в 10 раз меньше падения напряжения.

Методика выполнения работы

Для получения значений физических параметров, необходимых для вычисления сопротивления цепи «фаза-нуль» и тока КЗ собирают схему, изображенную на рис. 1.1.

Замыкая и размыкая выключатель, получаем значения, которые заносим в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Параметр	1	2	3	4	5	6	7
U_{xx} , В							
U_n , В							
ΔU , В							
$I = U_n/R_n$, А							
$R_{\phi-o} = \Delta U/I$, Ом							

Анализируем, полученные значения и исключаем из рассмотрения «выбросы» значений $R_{\phi-o}$.

Вычисляем сопротивление цепи «фаза-нуль» согласно формулы:

$$R_{\phi-o} = \frac{\sum_1^n R_{\phi-o}}{n}.$$

Вычисляем ток короткого замыкания в цепи 12 В:

$$I_{KЗ} = \frac{U_{xx}}{R_{\phi-o}}.$$

Контрольные вопросы

1. К чему может привести ток КЗ?
2. Чем защищают электрические сети от КЗ?
3. Каков минимальный перечень приборов для определения сопротивления цепи «фаза-нуль»?

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Электрическая принципиальная схема для проведения эксперимента.
3. Таблица результатов измерений и расчетных величин.
4. Выводы по работе.

Лабораторная работа №2

ПРОВЕРКА ЦЕПИ «ФАЗА-НУЛЬ» ПРИБОРОМ 1823 NA

Цель работы: изучение способа определения сопротивления цепи «фаза-нуль» и тока короткого замыкания при помощи прибора 1823 NA.

Программа работы

1. Ознакомиться с описанием прибора 1823 NA.
2. Изучить технику безопасности при работе с прибором 1823 NA.
3. Вычислить сопротивление цепи «фаза-нуль» и ток короткого замыкания в трехфазной сети TN –С-S по известным значениям.
4. Вычислить мощность, выделяемую в цепи «фаза-нуль» при КЗ.

Краткое описание прибора 1823 NA

Анализатор параметров электросети 1826 NA является современным универсальным микропроцессорным прибором, который:

- измеряет напряжение «фаза-нейтраль» и «фаза-земля»;
- измеряет полное сопротивление цепи «фаза-нейтраль» и «фаза-земля» без отключения источника питания;
- измеряет сопротивление шины «фаза», включающее реактивное сопротивление источника напряжения (питающего трансформатора);
- измеряет сопротивление шины «нейтраль»;
- измеряет сопротивление шины заземления, учитывающее качество контактных соединений;
- вычисляет ожидаемый ток короткого замыкания в цепи «фаза-нейтраль» и «фаза-земля».

Точностные характеристики прибора:

- измерение напряжения (50 – 250В, 50 Гц) с погрешностью (4% + 1р);
- определение ожидаемого тока КЗ (до 6 кА) с погрешностью (10%+5р);
- измерение сопротивления цепи «фаза-нейтраль» и «фаза-земля» (0,05-1000 Ом) с погрешностью (3%+2р).

Максимальное значение измерительного тока (при напряжении сети 230В) не более 11,76А.

Принцип работы прибора 1826 NA основан на измерениях напряжения «фаза-нейтраль», «фаза-земля» и «нейтраль-земля» в двух режимах:

- при отсутствии нагрузки;
- при протекании тока нагрузки 10А.

Значения сопротивлений и токов короткого замыкания определяются расчетным путем, согласно заложенному в программу работы прибора алгоритму вычислений.

Использование данного прибора позволяет быстро определить, является ли электрическая цепь исправной, или имеют место нарушения контактов в

цепях фазы, земли или нейтрали.

Прибор содержит цифровой ЖК индикатор (дисплей), одну многофункциональную клавишу управления и три входных клеммных гнезда («линия», «нейтраль», «земля»). Прибор содержит также три светодиодных индикатора: N-E, P-E, P-N, которые светятся при наличии напряжения между соответствующими гнездами (N- нейтраль, E- земля, P – линия).

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРОВОДИТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ СВЕЧЕНИИ ИНДИКАТОРА N – E! ЗАПРЕЩАЕТСЯ ВКЛЮЧАТЬ ПРИБОР В ЦЕПЬ ФАЗА-ФАЗА!

К прибору прилагается три провода с зажимами «крокодил», которые предназначены для соединения гнезд LINE, NEUTRAL, EARTH соответственно с фазным проводом, нулевым рабочим проводом и с заземлением (нулевым защитным проводом).

При первом нажатии клавиши включается питание прибора (батареинное, 12В). Второе нажатие клавиши разрешается после прогрева прибора и появления на индикаторе указания: «PRESS «TEST».

При втором нажатии клавиши появляется сообщение - TESTING – (ИЗМЕРЕНИЕ). Измерение осуществляется автоматически за нескольких секунд.

После окончания измерений и вычислений на индикатор выводится напряжение фаза-нейтраль (U LINE-NEUTRAL). При дальнейших нажатиях клавиши на индикатор выводятся:

U LINE-EARTH - напряжение в цепи фаза-земля;

Z LINE-NEUTRAL – полное сопротивление контура «фаза-нейтраль»;

Z LINE-EARTH – полное сопротивление контура «фаза-земля»;

PSC LINE-NUTRAL – ток короткого замыкания в цепи «фаза-нейтраль»;

PSC LINE-EARTH – ток короткого замыкания в цепи «фаза-земля»;

Z NEUTRAL-WIRE – сопротивление шины «нейтраль»;

Z EARTH - WIRE сопротивление шины «земля»;

Z LINE + XFORM COIL – сопротивление шины «фаза» с учетом реактивной составляющей источника (индуктивного сопротивления трансформатора).

При измерениях по рабочему нулевому (N) проводнику протекает не только измерительный ток прибора, но и ток сторонних нагрузок, в том числе – изменяющихся. Это обстоятельство может нарушить процесс измерения, так как изменение падения напряжения на нулевом проводе в процессе измерения вносит существенную погрешность. Поэтому для получения достоверного результата измерения следует повторить несколько раз, до получения нескольких близких результатов.

Техника безопасности при работе с прибором 1823 NA

При проведении измерений следует соблюдать правила безопасности, а также:

1. Измерительные провода подключать вначале к прибору, а затем – к сети. Снимать провода следует в обратном порядке.
2. Провода следует подключать вначале к земле (РЕ-проводу), затем – к нулевому рабочему (N) проводу, затем – к фазному.
3. При проведении измерений исключить случайное прикосновения к проводам «нейтраль» и «земля», так как при наличии обрыва на них появится фазное напряжение.

Методика выполнения работы

- Вычислить сопротивление цепи фаза-нуль и ток короткого замыкания в трехфазной сети TN –C-S по данным таблицы, где обозначено: L – длина электропроводки от ввода в здание до места КЗ, м; S – сечение фазного провода, мм²; S_{PE} – сечение нулевого защитного проводника. Материал проводника – алюминий.

- Вычислить мощность, выделяемую в цепи фаза-нуль при коротком замыкании.

- Расчет всех вариантов выполнить в Excel и по его результатам заполнить таблицу 2.1.

Таблица 2.1

№	1	2	3	4	5	6	7	8
L, м	10	20	30	40	50	60	80	100
S, мм ²	100	70	50	35	25	20	16	10
S _{PE} , мм ²	50	35	25	16	16	16	8	5
R _{Ф-Н}								
I _{КЗ}								
P, кВт								

Контрольные вопросы

1. Что можно измерить прибором 1826 NA?
2. Принцип работы прибора 1826 NA?
3. В каких случаях запрещено производить измерения прибором 1826 NA?

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Таблица результатов измерений и расчетных величин.
3. Выводы по работе.

Лабораторная работа №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Цель работы: изучения способа определения удельного сопротивления грунта в лабораторных условиях

Программа работы

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.
2. Собрать схему, состоящую из понижающего трансформатора 220/12В, амперметра, вольтметра и металлических пластин, помещенных в прямоугольный контейнер из непроводящего материала, наполненный грунтом согласно рис. 3.1.

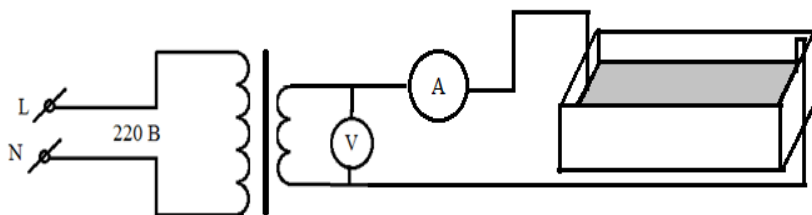


Рис. 3.1. Схема для определения удельного сопротивления грунта

3. Снять значения тока и напряжения.
4. Вычислить удельное электрическое сопротивление грунта.

Краткие теоретические сведения:

Проводимость грунта

Верхний слой Земли обладает проводящими свойствами, которые характеризуются удельным электрическим сопротивлением. Для различных типов грунтов сопротивления различны и меняются в широких пределах. Обычно чернозем, глина, суглинки обладают удельным сопротивлением до 100 Ом·м; суглинки с содержанием гальки до 40% и влажные супеси имеют удельное сопротивление от 100 до 300 Ом·м; лесс, супеси и влажные пески – от 300 до 500 Ом·м; пески с незначительным содержанием влаги, с галькой и валунами – от 500 до 1000 Ом·м.

Методика выполнения работы

Удельное сопротивление грунта ρ в лабораторных условиях можно определить по падению напряжения U на «бруске грунта» при протекании через него тока I . Так как сопротивление проводника:

$$R = \frac{U}{I} = \rho \frac{l}{S}$$

То его удельное сопротивление ρ :

$$\rho = \frac{US}{Il}$$

Для определения удельного сопротивления грунта необходимо:

1. Заполнить прямоугольный контейнер из непроводящего материала грунтом и уплотнить его.
2. Установить электроды в виде металлических пластин впритык к 2-м противоположным сторонам контейнера.
3. Измерить расстояние l между электродами и поперечное сечение S грунта
4. Собрать измерительную схему согласно рис. 3.1.

Включить понижающий трансформатор в розетку, записать показания амперметра и вольтметра, и вычислить удельное сопротивление образца грунта.

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладает верхний слой грунта?
2. Как в лабораторных условиях определить удельное сопротивление грунта?
3. Какие формулы используются для расчета сопротивления «бруска грунта»?

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Электрическая принципиальная схема для проведения эксперимента.
3. Последовательность расчёта удельного сопротивления грунта и его результаты.
4. Выводы по работе.

Лабораторная работа №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Цель работы: изучения способа определения удельного сопротивления грунта в полевых условиях

Программа работы

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.
2. Собрать схему согласно рис. 4.1 и измерить величины тока и напряжения.

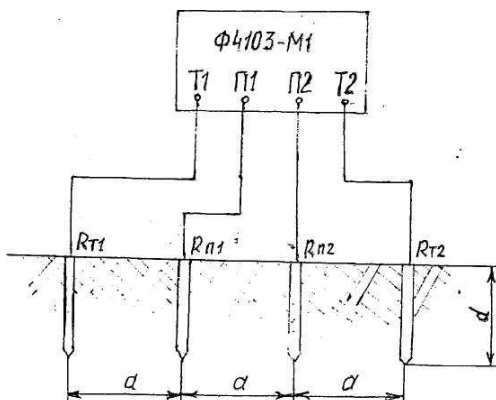


Рис. 4.1. Схема для определения удельного сопротивления грунта при помощи измерителя Ф4103-М1

3. Вычислить кажущееся удельное сопротивление земли.

Краткие теоретические сведения:

Удельное сопротивление почвы можно принять равным $100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, а железа – $10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, поэтому их отношение равно 10^9 . Следовательно, железный проводник сечением 1 мм^2 имеет такое же сопротивление, как слой почвы сечением 1000 м^2 – это поверхность полусферы радиусом $12,6 \text{ м}$.

Стекание тока с электродов в землю

Пусть два полусферических электрода расположены на поверхности земли на значительном удалении друг от друга. При наличии между ними электрического напряжения через электроды течет ток.

Если грунт однородный во всем рассматриваемом объеме, растекание тока является лучевым, то-есть ток растекает равномерно по всем направлениям. При этом удельная плотность тока

$$j = I/S = I/2\pi r^2,$$

где r – расстояние до центра электрода.

Результирующий ток двух токовых электродов равен векторной сумме токов каждого:

$$j_{\Sigma} = \sqrt{j_1^2 + j_2^2 + 2j_1j_2 \cos(\beta_1 + \beta_2)},$$

где β_1 и β_2 – углы между разносом АВ и направлениями на точку наблюдения тока, измеряемые в местах нахождения токовых электродов.

Вдоль прямой, соединяющей электроды, результирующий вектор тока равен алгебраической сумме токов каждого электрода, поэтому при сближении электродов суммарный ток между ними возрастает, а за ними – снижается. Одновременно с этим будет происходить возрастание тока электродов, поскольку каждый из них окажется в зоне действия тока второго электрода, создающего в земле потенциал противоположной полярности.

Определение удельного сопротивления однородной земли

Удельное сопротивление земли можно измерять различными способами. На практике широкое применение находит т.н. «четырёхэлектродный метод», суть которого в следующем.

В землю заглубляют на равном расстоянии друг от друга четыре электрода, рис. 4.2. Крайние электроды A и B служат для создания в земле токовой цепи и называют «токовыми»; внутренние электроды M и N называют «потенциальными» и используют для измерения разности потенциалов между ними.

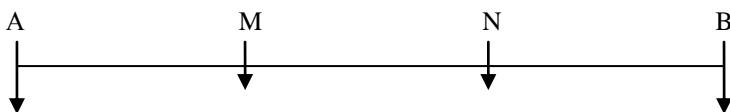


Рис. 4.2. Схема четырёхэлектродной установки для измерения удельного сопротивления грунта

Пусть расстояние AM много больше наибольшего габаритного размера электрода A . Тогда потенциал в точке M от протекания тока I через электрод A составит:

$$\varphi_{M(A)} = I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{A} \dot{I}}$$

а от протекания такого же тока через электрод B :

$$\varphi_{M(B)} = I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{B} \dot{I}}$$

В отличие от напряженности электрического поля или тока, электрический потенциал – величина не векторная, а скалярная. Поэтому фактическое значение потенциала точки M равно арифметической разности потенциалов, создаваемых разнонаправленными токами электродов A и B :

$$\varphi_M = I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{A} \dot{I}} - I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{B} \dot{I}}$$

Аналогично для точки N :

$$\varphi_N = I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{A} \dot{N}} - I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{B} \dot{N}}$$

Напряжение между точками M и N равно разности потенциалов между ними:

$$U_{MN} = I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{A} \dot{I}} - I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{B} \dot{I}} - I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{A} \dot{N}} + I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{B} \dot{N}}$$

Откуда удельное сопротивление грунта:

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{BM}} \frac{U_{MN}}{I} = k \frac{U_{MN}}{I}.$$

Если $AM = MN = NB = a$, то $\rho = 2\pi aR$, где $R = U/I$.

Определение удельного сопротивления неоднородного грунта

В действительности грунт однороден только в ограниченном объеме; углубление даже на 1-2 метра обнаруживает неоднородность его физического и химического состава. В глубине могут оказаться скальные породы с высоким удельным сопротивлением или подпочвенные воды – с низким. Поэтому измеренное по приведенному выше способу удельное сопротивление грунта называют «кажущимся» - оно не соответствует фактическому значению какого-либо слоя, является интегральным показателем проводимости земли во всем объеме между токовыми электродами.

Ток протекает по пути наименьшего сопротивления. Если в глубине земли находится, например, сильно минерализованная вода с низким сопротивлением, ток электродов углубится с поверхности земли вглубь, в результате чего плотность тока j и падение напряжения U между потенциальными электродами уменьшатся при том же токе I электродов – вычисленное значение удельного сопротивления грунта снизится. И наоборот – если в глубине скальные породы с высоким удельным сопротивлением, ток будет «выжиматься» к поверхности земли, отклоняясь от лучевого распространения, поэтому падение напряжения между потенциальными электродами и вычисляемое значение удельного сопротивления возрастут.

Обнаружить двухслойный характер земли можно по зависимости кажущегося сопротивления от величины разноса AB между электродами. Если с увеличением разноса кажущееся удельное сопротивление снижается – второй (подстилающий) слой земли обладает более низким сопротивлением, чем первый (верхний). И наоборот.

Снятие зависимости кажущегося удельного сопротивления земли от величины разноса называют «вертикальным электрическим зондированием» ВЭЗ, результат которого оценивают при помощи т.н. «палеток», рис. 4.3.

Зная удельное сопротивление верхнего слоя земли и его мощность (толщину), при помощи набора палеток можно определить удельное сопротивление и мощность второго слоя. Для этого в логарифмическом масштабе на прозрачной бумаге (кальке) строят зависимость кажущегося сопротивления от величины отношения разноса токовых электродов к мощности верхнего слоя земли. Наложив построенный график на двухслойную палетку, перемещают его вдоль горизонтальной оси до совмещения построенной кривой с одной из кривых палетки. По смещению начала координат опреде-

ляют мощность подстилающего слоя, а по номеру кривой палетки – удельное сопротивление подстилающего слоя.

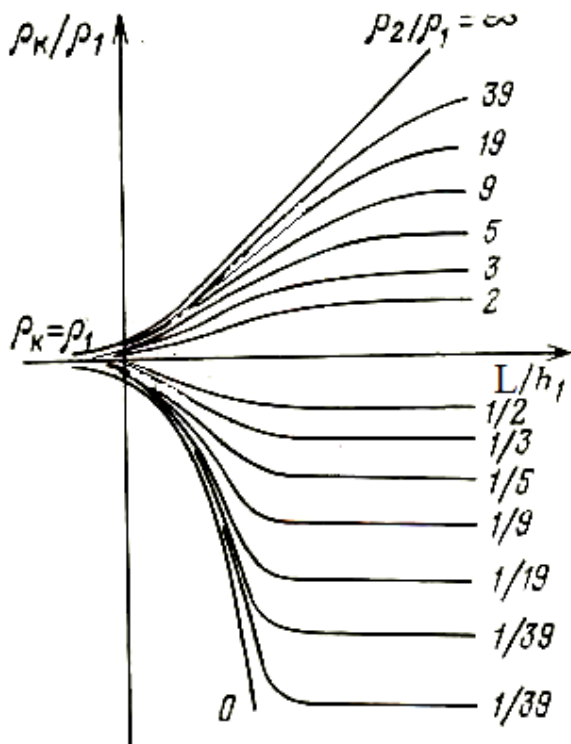


Рис. 4.3. Палетка для вертикального электрического зондирования земли

Методика выполнения работы

Разместить измерительные электроды на исследуемом участке почвы на территории сада Мичуринцев, подключить к ним измеритель сопротивления заземления типа Ф4103-М1 (рис. 4.4) и провести измерение кажущегося удельного сопротивления земли методом вертикального электрического зондирования по симметричной схеме Веннера (рис. 4.1).



Рис. 4.4. Измеритель сопротивления заземления типа Ф4103-М1

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 4.1:

Таблица 4.1

$AB, \text{ м}$							
$MN, \text{ м}$							
$I, \text{ МА}$							
$U, \text{ мВ}$							
$R, \text{ Ом}$							
$\rho_{\text{каж}}, \text{ Ом}\cdot\text{м}$							
ρ_1/ρ_2							

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы определения удельного сопротивления земли?
2. Какие особенности существуют при определении удельного сопротивления неоднородного грунта?
3. В чём состоит метод вертикального электрического зондирования по симметричной схеме Веннера?

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Электрическая принципиальная схема для проведения эксперимента.
3. Последовательность расчёта удельного сопротивления грунта и его результаты.
4. Выводы по работе.

Лабораторная работа №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЕКАНИЮ ТОКА ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Цель работы: изучения способа определения сопротивления растеканию тока заземляющего устройства.

Программа работы

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.
2. Экспериментально в условиях опытного поля получить зависимость разности напряжений между потенциальным электродом и заземляющим устройством от расстояния до заземляющего устройства.
3. Расчётным путём с учётом полученных экспериментальных данных получить значение кажущегося сопротивления заземляющего устройства.

Краткие теоретические сведения:

Заземление нейтральной точки электросети и проводящих частей электрооборудование является обязательным условием обеспечения электробезопасности. Так, в сетях с изолированной нейтралью заземление электрооборудования является основным средством обеспечения электробезопасности при косвенном прикосновении, т.е. прикосновении к корпусу элек-

трооборудования с поврежденной изоляцией и потенциалом фазы на корпусе. В сетях с заземленной нейтралью роль заземления иная – при наличии в сети устройства защитного отключения (УЗО), реагирующего на дифференциальный ток, заземление обеспечивает срабатывание защиты, как при косвенном, так и при прямом прикосновении человека к фазному напряжению. При отсутствии УЗО заземление корпуса электрооборудования может облегчить последствия косвенного прикосновения, если человек стоит на заземлении.

По типу заземления электроустановки классифицируются следующим образом:

- система заземления IT – система, в которой нейтраль сети изолирована, а открытые проводящие части электроустановки заземлены;
- система TN – система, в которой нейтраль сети глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки соединены с нейтралью посредством нулевых защитных проводников;
- система TN-C – система TN с совмещенным нулевым рабочим и нулевым защитным проводниками;
- система TN-S – система TN с отдельными нулевым рабочим и нулевым защитным проводниками;
- система TN-C-S – система TN, в которой функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников совмещены со стороны источника электроэнергии, и разделены со стороны приемника;
- система TT – система, в которой заземлены нейтраль сети и корпус электроустановки, однако между ними нет металлической связи. Имеет место в сетях TN без зануления корпуса электрооборудования, но с заземлением последнего.

Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств (ЗУ) электроустановок до 1000В таблица 5.1.

Таблица 5.1

Характеристика объекта	ρ , Ом·м	Сопротивление, Ом
660/380 В	до 100 (более 100)	15 <*> (15.0,01p)
380/220 В		30 <*> (30.0,01p)
220/127 В		60 <*> (60.0,01p)

<*> Сопротивление заземляющего устройства с учетом повторных заземлений нулевого провода должно быть не более 2, 4 и 8 Ом при линейных напряжениях соответственно 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока и напряжениях 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Измерение сопротивления ЗУ прибором Ф4103-М1

Измеритель сопротивления заземления Ф4103-М1 предназначен для измерения сопротивления ЗУ, удельного сопротивления грунтов и активных

сопротивлений в диапазоне измерений от 0-0,3 Ом до 0-15 кОм (10 диапазонов).

Класс точности измерительного прибора Ф4103 – 2,5 и 4 (в зависимости от диапазона измерения). Питание от 9 элементов (R20, RL20). Частота оперативного тока 265-310 Гц. Время установления рабочего режима не более 10 секунд. Время установления показаний в положении "ИЗМ I" - не более 6 секунд, в положении "ИЗМ II" - не более 30 секунд. Продолжительность непрерывной работы не ограничена. Норма средней наработки на отказ - 7250 часов. Средний срок службы - 10 лет Условия эксплуатации - от минус 25 °С до плюс 55 °С. Габаритные размеры, мм – 305x125x155. Масса, кг, не более – 2,2.

Перед проведением измерений измерителем Ф4103 необходимо, по возможности, уменьшить количество факторов, вызывающих дополнительную погрешность, например, устанавливать измеритель практически горизонтально, вдали от мощных электрических полей, использовать источники питания 12±0,25В, индуктивную составляющую учитывать только для контуров, сопротивление которых меньше 0,5 Ом, определять наличие помех и так далее. Помехи переменного тока выявляются по качаниям стрелки при вращении ручки ПДСТ в режиме "ИЗМ I". Помехи импульсного (скачкообразного) характера и высокочастотные радиопомехи выявляются по постоянным непериодическим колебаниям стрелки.

Измерение сопротивлений грунта и ЗУ выполняется согласно Инструкции в следующей последовательности:

1. Подготовить схему измерения: установить токовые электроды на расстоянии до 60м друг от друга и потенциальный электрод между ними; вывести провода к месту расположения измерительного прибора. Один из токовых электродов имитирует заземляющее устройство.

2. Проверить напряжение питания прибора. Для этого:

- закоротить зажимы Т1, П1, П2 и Т2;

- установить переключатели в положение «КЛБ» (калибровка) и 0,3 (Ом);

- ручку КЛБ повернуть по часовой стрелке до упора;

- нажать кнопку ИЗМ (измерение). Питание в норме, если лампа КП (контроль питания) не загорается.

3. Проверить работоспособность прибора, для чего:

- в положении переключателя КЛБ ручкой УСТ.0 установить стрелку на ноль,

- нажать кнопку ИЗМ (измерение) и ручкой КЛБ (калибровка) установить стрелку на отметку «30».

4. Подключить провода к электродам и гнездам прибора

5. Проверить уровень помех в проверяемой цепи, для чего:

- переключатели установить в положение «30» и «ИЗМ II» (измерение

помех);

- нажать кнопку «ИЗМ»,

- если загорается лампа «КПм» (контроль помех), то уровень помех превышает допустимые 3В, поэтому следует перейти на диапазон 1 Ом, где допустимый уровень помех 7В.

6. Измерить сопротивление потенциального электрода по двухзажимной схеме; измеренное значение не должно превышать 2-6-12 кОм при измерениях на диапазонах соответственно до 1-10-15000 Ом включительно.

7. Подключить прибор по 4-зажимной схеме.

8. Установить необходимый диапазон измерения, выполнить установку нуля и калибровку прибора. Если при калибровке стрелка не доходит до цифры «30», то следует уменьшить сопротивление потенциального электрода.

9. Измерить сопротивление ЗУ при расстояниях между ЗУ и потенциальным электродом 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 м. Измеренные значения должны монотонно нарастать – нарушение монотонности свидетельствует о явлении выноса потенциала от ЗУ по сторонним металлоконструкциям. В этом случае следует изменить направление луча, вдоль которого производится измерение.

10. Сравнить значения сопротивления при расстояниях между ЗУ и П2 20 и 30 см. Если они различаются более чем на 10%, то необходимо увеличить расстояние между ЗУ и Т1.

11. Установить П1 на расстоянии $\frac{1}{2}$ расстояния между Т1 и Т2, и определить сопротивление заземляющего устройства растеканию тока.

11. Влияние помех компенсировать вращением ручки «ПДСТ f» (подстройка частоты).

12. Сравнить измеренное значение с требуемым. Если оно больше допустимого, то необходимо уточнить допустимое значение сопротивления заземляющего устройства в зависимости от удельного сопротивления грунта.

13. Для измерения сопротивления грунта электроды П1 и П2 расположить между Т1 и Т2 на одинаковом расстоянии a и измерить сопротивления R между электродами П1 и П2.

14. Эквивалентное удельное сопротивление слоя грунта от поверхности до глубины, равной расстоянию между смежными электродами, определить по формуле: $\rho = 2\pi Ra$.

15. Допустимое сопротивление заземляющего устройства составляет $0,01\rho$, где значение « ρ » принимается не более 1000 Ом·м.

Методика выполнения работы

Сопротивление растеканию тока ЗУ равно отношению потенциала ЗУ к стекающему с него в землю току. Величину стекающего тока определяют

амперметром; для измерения потенциала ЗУ следует отыскать точку с нулевым потенциалом, и измерить напряжение между этой точкой и ЗУ.

Для поиска точки с нулевым потенциалом необходимо:

1. На расстоянии L от ЗУ, превышающем его наибольший размер, установить в качестве вспомогательного заземлителя токовый электрод.
2. Пропустить ток между ЗУ и токовым электродом.
3. Перемещая потенциальный электрод вдоль прямой, соединяющей ЗУ с токовым электродом, снять зависимость разности напряжений между потенциальным электродом и ЗУ от расстояния до ЗУ. Измерения выполнять с шагом, равным $1/10$ расстояния L между ЗУ и токовым электродом.
4. Вычислить кажущееся сопротивление ЗУ, разделив измеренное значение напряжения на ток ЗУ для каждого измерения.
5. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 5.2:

Таблица 5.2

x/L	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
U, В							
R, Ом							
ΔR							

6. Построить зависимость $\Delta R(x)$.
7. Отыскать на графике зону минимального значения ΔR ; повторяя операции пп. 3 и 4 при шаге измерений $0,05L$, отыскать точку с минимальным значением ΔR – она и будет обладать нулевым потенциалом. А вычисленное значение сопротивления ЗУ – истинным сопротивлением растеканию тока заземляющего устройства.

Работа выполняется на территории Сада Мичуринцев.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается нулевой защитный проводник от защитного заземляющего и от нулевого рабочего?
2. Минимальное сопротивление замыкания фазы на землю в сети 35 кВ равно 35 Ом. Сопротивление заземления нейтрали источника тока 20 Ом. Является ли такая электрическая сеть глухозаземленной или эффективно заземленной?

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Таблица результатов измерений и расчетных величин.
3. Выводы по работе.

Лабораторная работа №6

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Цель работы: получить общее представление об устройстве защитного отключения, в частности о его устройстве и принципе работы.

Программа работы

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.
2. Провести испытания устройства защитного отключения.
3. Проанализировать полученные экспериментальные данные и сформулировать выводы на их основе.

Краткие теоретические сведения:

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током.

Такая опасность может возникнуть при замыкании фазы на корпус электрооборудования; при снижении сопротивления изоляции фаз относительно земли ниже определенного предела; появлении в сети более высокого напряжения; прикосновении человека к токоведущей части, находящейся под напряжением. В этих случаях в сети происходит изменение некоторых электрических параметров: например, могут измениться напряжение корпуса относительно земли, напряжение фаз относительно земли, напряжение нулевой последовательности и др. Любой из этих параметров, а точнее говоря – изменение его до определенного предела, при котором возникает опасность поражения человека током, может служить импульсом, вызывающим срабатывание защитно-отключающегося устройства, т. е. автоматическое отключение опасного участка сети.

Прибор защитного отключения – совокупность отдельных элементов, которые реагируют на изменение какого-либо параметра электрической сети и дают сигнал на отключение автоматического выключателя. Этими элементами являются:

- датчик – устройство, воспринимающее изменение параметра и преобразующее его в соответствующий сигнал (обычно датчиками служат реле соответствующего типа);
- усилитель, предназначенный для усиления сигнала датчика, если он оказывается недостаточно мощным;
- цепи контроля, служащие для периодической проверки исправности схемы защитно-отключающего устройства;
- вспомогательные элементы – сигнальные лампы, измерительные приборы, характеризующие состояние установки, и т. п.

Автоматический выключатель – устройство, служащее для включения и отключения цепей, находящихся под нагрузкой, при коротких замыканиях. Он должен отключать цепь автоматически при поступлении сигнала от

прибора защитного отключения.

Устройство защитного отключения в зависимости от параметра, на который оно реагирует, можно отнести к тому или иному типу, в том числе к типам устройств, реагирующих на напряжение корпуса относительно земли, ток замыкания на землю, напряжение фазы относительно земли, напряжение нулевой последовательности, ток нулевой последовательности, оперативный ток и др.

Назначение защитного отключения заключается в том, чтобы одним прибором осуществлять совокупность защиты либо некоторые из следующих ее видов:

- от однофазных замыканий на землю или на элементы эл. оборудования, нормально изолированные от напряжения;
- от не полных замыканий, когда снижение изоляции одной из фаз создает опасность поражения человека;
- от поражения при прикосновении человека к одной из фаз эл. оборудования, если прикосновение произошло в зоне действия защиты прибора.

УЗО применяют в электроустановках до 1 кВ:

- в передвижных эл. установках с изолированной нейтралью. (особенно если затруднено создание заземляющего устройства. Может применяться как в виде самостоятельной защиты, так и в сочетании с заземлением);
- в стационарных электроустановках с изолированной нейтралью для защиты ручных электрических машин в качестве единственной защиты, и в дополнение к другим;
- в условиях повышенной опасности поражения электрическим током и взрывоопасности в стационарных и передвижных электроустановках с различными режимами нейтрали;
- в стационарных электроустановках с глухозаземленной нейтралью на отдельных удаленных потребителях электрической энергии и потребителя большой номинальной мощности, на которых защита занулением не достаточно эффективна.

Методика выполнения работы

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование
мА	Миллиамперметр
R	Переменный резистор
SA	Двухпозиционный переключатель
Kn	Кнопка
УЗО	Устройство защитного отключения
Ah	Электронный секундомер

Порядок проведения работы

1. Собрать схему для исследования УЗО согласно рис. 6.1.

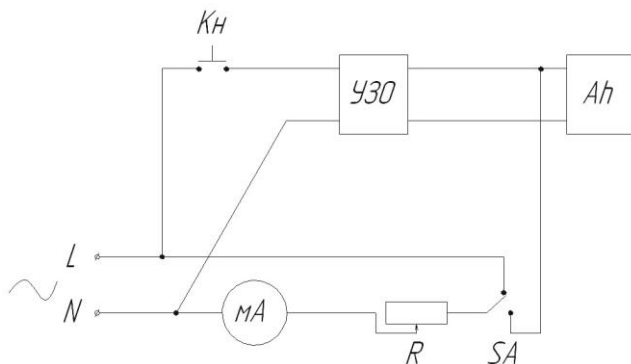


Рис. 6.1. Электрическая схема соединений

2. После проверки схемы преподавателем, перевести тумблер в верхнее положение и подать переменное напряжение 220 В на точки L и N. При этом к точке N присоединить нейтральный проводник, а к L – фазный проводник.

3. С помощью переменного резистора R установить на миллиамперметре мА ток утечки 16 мА.

4. Далее перевести тумблер SA в нижнее положение, включить УЗО и нажать кнопку Кн.

5. Одновременно с нажатием кнопки получит напряжение и начнет отчёт времени электронный секундомер Ан.

6. После срабатывания УЗО секундомер прекратит свой отчет и зафиксирует время отключения УЗО.

7. В случае если в течение продолжительного времени (более 120 секунд) сработки УЗО не произошло, то кнопку Кн отключаем, переключатель SA переводим в верхнее положение и выставляем при помощи резистора R ток утечки большего значения, но не превышающий 150 мА.

8. При необходимости эксперимент выполняем несколько раз до момента сработки УЗО.

9. После сработки УЗО необходимо снять показание с секундомера.

Контрольные вопросы

1. В чём состоит принцип работы устройства защитного отключения?
2. Чем отличается устройство защитного отключения от автоматических выключателей и дифференциальных автоматических выключателей?

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Таблица результатов измерений и расчетных величин.
3. Выводы по работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ляпин, В.Г. Проектирование и энергоаудит электрического освещения: учебное пособие / В.Г. Ляпин. – Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т, 2001. – 230 с.
2. Гвоздев, С.М. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова и др.; под ред. Л.П. Варфаломеева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 288 с.
3. Варфаломеев, Л.П. Светотехника. Краткое справочное пособие / Л.П. Варфаломеев. – М.: Световые технологии, 2004. – 128 с.
4. Баев, В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению / В.И. Баев. – М.: КолосС, 2008. – 191 с.
5. Сибикин, Ю.Д. Технология энергосбережения. Учебник (ГРИФ) // Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. – М.: ИНФРА-М: ФОРУМ, 2010. – 352 с.
6. Баранов, Л.А. Светотехника и электротехнология / Л.А. Баранов, В.А. Захаров. – М.: КолосС, 2008. – 344 с.

Авторы:
Калюжный Анатолий Тимофеевич
Никонов Сергей Александрович
Болотов Денис Сергеевич

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Методические указания к лабораторно-практическим занятиям

Редактор Н.К. Крупина
Компьютерная верстка

Подписано к печати 2021 г.
Объем 1 уч.-изд.л., усл. печ. л. Формат 60×84^{1/16}
Тираж 100 экз. Изд. № Заказ №

Отпечатано в издательстве Новосибирского ГАУ
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160