**Практическая работа №9**

**Расчет защитного заземления**

Защитное заземление - это основная, старейшая и наиболее широко применяемая мера защиты от поражения электрическим током.

Защитным заземлением называют специальное устройство, которое соединяет с грунтом токопроводящие конструкции, могущие оказаться под напряжением, и способное понизить их потенциал.

При замыкании на корпус, не имеющий связи с землёй (например, в случае повреждения изоляции обмотки электродвигателя), потенциал его по отношению к земле достигает величины фазного, а при двойном замыкании - линейного напряжения сети.

Если в тех же условиях корпус заземлен, то его потенциал понизится до потенциала заземлителя, благодаря чему напряжение прикосновения может быть уменьшено до безопасной величины.

Кроме того, при наличии заземления, человек, прикасающийся к корпусу, находящемуся под напряжением, включается параллельно цепи между корпусом и землей. Если в этом случае сопротивление заземлителя растекание тока во много раз меньше сопротивления тела человека, то основная часть тока замыкания будет проходить через землю, а ток, проходящий через тело, будет мал, и опасность поражения при этом не возникает.

Таким образом, назначение защитного заземления состоит в том, чтобы создать между корпусом защищаемого устройства и землей электрическое соединение с достаточно малым сопротивлением для того, чтобы при замыкании на корпус этого устройства прикосновение к нему человека, не могло вызвать прохождения через его тела тока такой величины, которая угрожала бы жизни или здоровью.

Величины максимально допустимых сопротивлений заземляющих устройств приведены в таблице 1

*Таблица 1. Максимально допустимые сопротивления защитного заземления.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Характеристика установки** | **Наивысшее допустимое сопротивление в период наименьшей проводимости почвы (Ом)** | **Примечание** |
| Электроустановки напряжением выше 1000 В с токами замыкания более 500 А | 0,5 с учетом естественного заземления | Сопротивление искусственного заземляющего устройства не более 1 Ом |
| Электроустановки напряжением выше 1000 В с токами замыкания 500 А и ниже | 125 J | Для заземляющего устройства одновременно используемого для электроустановок на напряжением менее 1000 В |
| Электроустановки напряжением выше 1000 В с токами замыкания 500 А и ниже | 250 J | Для заземляющего устройства, используемого только для электроустановок напряжением выше 1000 В |
| Отдельно стоящий молниеотвод | 25 |  |
| Электроустановки напряжением до 1000 В, кроме генераторов и трансформаторов мощностью 100 кВА и менее | 4 |  |
| Генераторы и трансформаторы суммарной мощностью 100 кВА и менее | 10 | При сопротивлении заземления нейтрали 10 Ом сопротивление каждого из повторно заземляющих устройств нулевого провода не более 30 Ом при числе их не менее 3 |
| Электроустановки напряжением до 1000 В с глухим заземлением нейтрали | 10 | При сопротивлении заземления нейтрали 10 Ом сопротивление каждого из повторно заземляющих устройств нулевого провода не более 30 Ом при числе их не менее 3 |

Заземлять необходимо корпуса электродвигателей, металлические кожуха печей и агрегатов, станины скачков, металлические конструкции здания цеха, подкрановые пути и т.п., иначе говоря, все то, что оказавшись под напряжением, может проводить электрический ток.

Соединение заземляемых устройств с грузом осуществляют с помощью заземлителей и заземляющих проводников.

Заземлители - это стальные проводники-электроды; полосы, прутки, уголки, трубы, укладываемые в земле в определенном порядке. Заземляющие проводники электрически соединяют заземляемые устройства с заземлителями. Заземлители и заземляющие проводники в целом образуют защитное заземление. Для обеспечения механической прочности заземлителей, электроды согласно ПУЭ должны иметь размеры не менее приведенных в таблице 2.

*Таблица 2. Минимальные размеры электродов-заземлителей.*

|  |  |
| --- | --- |
| **Электрод** | **Минимальный размер** |
| Круглый | Диаметр 10 мм |
| Круглый оцинкованный | Диаметр 6 мм |
| Прямоугольный | Сечение 48 мм2, толщина 4 мм |
| Угловая сталь | Толщина 4 мм |
| Водопроводная труба | Толщина стенок 3,5 мм |

Наиболее распространен контурный тип заземления. При этом по периметру здания в траншее на глубине 0,7 - 1 м укладывают горизонтальный электрод из прутка или полосы, к нему на определенном расстоянии друг от друга приваривают вертикальные электроды из труб, прутков или полосы, к нему на определенном расстоянии друг от друга приваривают вертикальные электроды из труб, прутков или угловой стали, уходящие вглубь грунта на 2-3, а иногда и до 15 м. Образованный таким образом групповой заземлитель соединяют заземляющими проводниками с соответствующим оборудованием.

|  |
| --- |
|  |
| *Рисунок 1. Схема защитного заземления в сети с изолированной нейтралью. 1 - электродвигатель; 2 - заземлитель; I, II, III - провода.* |

Выносное заземление устраивают тогда, когда грунт под цехом не обладает достаточной электропроводностью. В этом случае заземлители располагают вне цеха, в месте, где может быть обеспечено требуемое ПУЭ сопротивление защитного заземления.

Заземляющее устройство сооружается в соответствии с проектом требованиями ПУЭ, СНиП и инструкциями монтажных организаций.

Защитное заземление, как мера обеспечения электробезопасности используется в сочетания с трёхфазными трехпроводными сетями напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и с любыми сетями напряжением выше 1000 В, но в последнем случае с обязательным выравниванием потенциалов (Рисунок 1).

В сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью заземление, как самостоятельная мера защиты, электробезопасность не обеспечивает. Однако совместно с занулением оно применяется и условия безопасности улучшает. (Рисунок 2).

**Потенциал и сопротивление растеканий одиночных заземлителей**

|  |
| --- |
|  |
| *Рисунок 2. Схема защитного заземления в сети с заземленной нейтралью. 1 - электродвигатель; 2 - заземлитель; 3 - заземлитель нейтрали; I, II, III, 0 - фазовые и нулевой провода.* |

При стекании электрического тока в грунт через заземлитель, возникает потенциал на самом заземлителе, а также на находящихся в контакте с ним металлических частях и на поверхности грунта вокруг места стекания тока в землю. Этот потенциал достигает максимума на поверхности заземлителя и практически равен нулю на расстояния 20 м от места стекания тока.

Ток, стекающий в землю, встречает сопротивление, которое слагается из сопротивления заземляющих проводников, сопротивления самого заземлителя, переходного сопротивления между заземлителем и грунтом и, наконец, сопротивления грунта. Три первые составляющие в сравнении с четвертой весьма малы и в практических расчетах во внимание не принимаются. Сопротивление заземляющего устройства растеканию тока, или просто сопротивление растеканию называют сопротивление грунта растеканий тока. Оно для заземления защитного слагается из сопротивлений одиночных заземлителей, зависящих от их формы, размеров и расположения.

Потенциал какой-либо точки на поверхности земли, отстоящей на расстоянии х от точечного заземлителя, равен падению напряжении в грунте на участка от x до бесконечности, т.е.



и, поскольку, сопротивление току, стекающему с заземлителя, оказывает вся земля, начиная от участка, прилегаюцего к поверхности заземлителя, сопротивление заземлителя растеканию тока



где - потенциал точки на поверхности земли; - падение напряжения на элементарном участке грунта; - ток стекания; - сопротивление заземлителя; - удельное сопротивление грунта; - поверхность, через которую происходит растекание тока.



**Сопротивление растеканию полушарового заземлителя на поверхности земли.**

|  |
| --- |
|  |
| *Рисунок 3 – Схема к расчету*  *сопротивления растекания*  *полушарового зазелителя*  *поверхности земли.* |

Заземлитель представляет собой погруженное в грунт и выходящее на поверхность земли полушарие (Рисунок 3).

Поверхность растекания является полусферой радиуса х и равна:



Потенциал на поверхности земли изменяется по следующему закону:



Сопротивление растеканию равно:



**Сопротивление растеканию стержневого вертикального заземлителя у поверхности земли.**

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 4 – Схема к расчету  сопротивления растеканию  стержневого заземлителя у  поверхности земли. |

Заземлитель представляет собой стержень длиной с диаметром пренебрежимо малым по сравнению с длиной, вертикально погруженный в грунт и выходящий на поверхность земли (Рисунок 4).



Поверхностью растекания является цилиндр радиуса х с образующей, длина которой изменяется по закону равнобочной гиперболы. Эта поверхность равна:



Потенциал на поверхности земли выражается следующей зависимостью:



Сопротивление растеканию тока:



**Сопротивление растеканию стержневого горизонтального заземлителя у поверхности земли**

|  |
| --- |
|  |
| *Рисунок 5 – Схема к расчету сопротивления растеканию*  *стержневого горизонтального эаземлителя у*  *поверхности земли.* |

Заземлитель представляет собой стержень длиной с диаметром пренебрежимо малым по сравнению с длиной, горизонтально погруженный в грунт и выходящий на поверхность земли (Рисунок 5).



Поверхностью растекания являются два полуцилиндра радиуса х с образующими, длины которых изменяются по гиперболическому закону. Эта поверхность равна:



Потенциал на поверхности земли:



Сопротивление растеканию тока:



**Сопротивление растеканию стержневого вертикального заземлителя, заглубленного в землю**

|  |
| --- |
|  |
| *Рисунок 6 – Схема к расчету сопротивления растеканию стержневого вериткального заземлителя, заглубленного в землю.* |

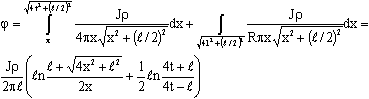
Заземлитель представляет собой стержень длиной с диаметром пренебрежимо малым по сравнению с длиной, вертикально погруженный в землю на глубину t до его средины (Рисунок 6).



Поверхность растекания вначале представляет собой два цилиндра радиуса х с образующими, длины которых изменяются по закону равнобочной гиперболы пока длина образующей не достигнет 2t. Затем один такой цилиндр. Эти поверхности равны соответственно:



Потенциал на поверхности земли:



Сопротивление растеканию тока:



**Сопротивление растеканию стержневого горизонтального заземлителя, заглубленного в землю**

|  |
| --- |
|  |
| *Рисунок 7 – Схема к расчету сопротивления растеканию стержневого горизонтального заземлителя, заглубленного в землю.* |

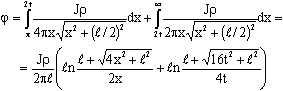
Заземлитель представляет собой стержень длиной с диаметром много меньшим длины, горизонтально погруженный в землю на глубину t до его оси (Рисунок 7).



Поверхностью растекания вначале являются два цилиндра радиуса х образующим, длины которых изменяются по закону разнобочной гиперболы пока радиус не достигнет 2t. Затем один такой заземлитель. Эти поверхности равны соответственно:



Потенциал на поверхности земли:



Сопротивление растеканию тока:



**Сопротивление растеканию пластинчатого вертикального заземлителя, заглубленного в землю**

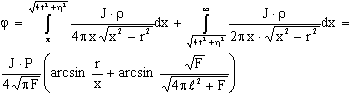
|  |
| --- |
|  |
| *Рисунок 8 – Схема к расчету сопротивления растеканию пластинчатого вертикального заземления заглубленного в землю* |

Заземлитель предсталвляет собой плоскую пластину площадь F равновеликую кругу радиуса r, вертикально погруженный в землю на глубину t до ее центра (Рисунок 8).

Поверхностью растекания вначале являются два цилиндра радиуса х с образующими, длины которых изменяются по закону равнобочной гиперболы пока длина образующей не достигнет 2t. Затем один такой цилиндр. Эти поверхности равны соответственно:



Потенциал на поверхности земли:



Сопротивление растеканию тока:



Расчетные формулы, для вычисления сопротивлений растеканию одиночных, наиболее распространенных заземлителей приведены в Таблице 3.

*Таблица 3. Формулы для расчета сопротивлений растеканию тока.*

|  |  |
| --- | --- |
| **Заземлитель** | **Расчетная формула** |
| Стержневой вертикальный у поверхности земли |  |
| Стержневой вертикальный, заглубленный в грунт |  |
| Стержневой горизонтальный у поверхности земли |  |
| Стержневой горизонтальный, заглубленный в грунт |  |

**Электрическое сопротивление земли**

В формулы для расчета сопротивлений заземлителей растеканию тока входит удельное сопротивление земли. Под этим понимают электрическое сопротивление между противоположными плоскостями куба земля с рёбрами размером 1 м. Измеряют удельное сопротивление в Ом.м или Ом.см. Чем оно меньше, тем благоприятнее условия для размещения заземлителей.

В Таблице 4 приведены ориентировочные значения удельных сопротивлении различных грунтов при их влажности 10-20%.

*Таблица 4. Ориентировочные удельные сопротивления грунтов.*

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование грунта** | **Удельное сопротивление, Ом.м** |
| Песок | 400-1000 и более |
| Супесок | 150-400 |
| Суглинок | 40-150 |
| Глина | 8-70 |
| Садовая земля | 40 |
| Чернозем | 10-50 |
| Торф | 20 |
| Каменистая глина (в соотношении 50%) | 100 |
| Мергель, известняк | 1000-2000 |
| Крупнозернистый песок с валунами | 1000-2000 |
| Скалы, валуны | 2000-4000 |

При проектировании зенитного заземления необходимо знать не ориентировочные, а точные значения удельного сопротивления грунта. Оно определяется путем измерений в том месте, где будет сооружаться заземление.

Свойства земли могут изменяться в зависимости от ее состояния, влажности, температуры и др., и поэтому удельное сопротивление грунта может принимать разные значения в разные времена года из-за высеивания, смачивания или промерзания грунта, а также зависеть от состояния земли в период измерений.

Эти факторы учитывают сезонными коэффициентами и коэффициентами, вносящими поправки на состояние грунта в период измерений удельного сопротивления грунта, с тем, чтобы сопротивление защитного заземления сохранялось нормативным в любой сезон и при любой влажности земли.

В Таблице 5 приведены значения коэффициентов сезонности вертикальных и горизонтальных электродов в разных климатических зонах при влажности земли 10-20%.

*Таблица 5. Признаки климатических зон и значения сезонных коэффициентов*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Характеристика климатической зоны и тип электрода.** | **Климатические зоны стран СНГ** | | | |
| **I** | **II** | **III** | **IV** |
| Климатические признаки средняя многолетняя температура:     низшая (январь), 0С     высшая (июль), 0С продолжительность замерзания воды (дней) | -15 +16. +18 100-190 | -20 +18. +22 до 150 | 0. -10 +22. +24 до 100 | 0. +15 +24. +26 0 |
| Коэффициент сезонности вертикальный электрод:     длиной до 3 м     длиной до 5 м горизонтальный электрод:     длиной до 10 м     длиной до 50 м | 1,65 1,35  5,5 4,5 | 1,45 1,25  3,5 3,0 | 1,30 1,15  2,5 2,0 | 1,10 1,10  1,5 1,4 |

Коэффициенты, учитывающие состояние земли при измерениях, приведены в Таблице 6.

*Таблица 6. Коэффициенты, считывающие состояние земли в период измерения удельного сопротивления грунта*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Электрод** | **К1** | **К2** | **К3** |
| Вертикальный     длиной до 3 м     длиной до 5 м Горизонтальный     длиной до 10 м     длиной до 50 м | 1,15 1,10  1,7 1,6 | 1 1  1 1 | 0,92 0,95  0,75 0,80 |

Коэффициент К1 применяют, если земля влажная, измерениям предшествовало выпадение большого количества осадков;

Коэффициент К2 - когда земля нормальной влажности, измерениям предшествовало выпадение небольшого количества осадков;

Коэффициент К3 - если земля сухая, количество осадков ниже нормы.

Таким образом, удельное расчетное сопротивление грунта принимают равным:



где - расчетное сопротивление грунта;



– измеренное сопротивление грунта;



KС - сезонный коэффициент;  
KЗ - коэффициент, учитывающий состояние земли в период измерений.

**Сопротивление растеканию тока группового заземлителя**

Проводимость группового заземлится, состоящего из горизонтальных и вертикальных стержней-электродов, слагается из проводимостей горизонтального электрода и некоторого количества параллельно включенных вертикальных, причем их электрические поля могут накладываться экранировать действия друг друга. Учитывая это воздействие коэффициентами экранирования, проводимость группового заземлителя можно выразить следующим равенством:



где - расчетное сопротивление грунта;  
 – сопротивление группового заземлителя;  
 - сопротивления горизонтального и вертикального заземлителей;  
 - коэффициенты экранирования горизонтального и вертикального заземлителей соответственно;  
  - число вертикальных электродов.



Вычисленное по этой формуле сопротивлений не должно превышать нормируемого согласно Таблице 1.

Коэффициенты экранирования найдены опытным путём и могут быть определены по предлагаемым эмпирическим уравнениям или взяты из Таблиц 7, 8, 9.

*Таблица 7. Коэффициенты экранирования, расположенных в ряд вертикальных электродов*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Число заземлителей, N** | **Отношение расстояний между заземлителями к их длине, Х** | | | | | |
| **1** | **2** | **3** | **5** | **7** | **10** |
| 2 | 0,847 | 0,903 | 0,939 | 0,976 | 0,990 | 0,998 |
| 3 | 0,782 | 0,860 | 0,911 | 0,963 | 0,985 | 0,996 |
| 4 | 0,734 | 0,828 | 0,888 | 0,953 | 0,980 | 0,995 |
| 6 | 0,666 | 0,780 | 0,856 | 0,938 | 0,973 | 0,992 |
| 10 | 0,586 | 0,723 | 0,815 | 0,917 | 0,963 | 0,989 |
| 20 | 0,493 | 0,653 | 0,762 | 0,888 | 0,943 | 0,983 |
| 40 | 0,420 | 0,594 | 0,716 | 0,816 | 0,932 | 0,976 |
| 60 | 0,386 | 0,565 | 0,691 | 0,845 | 0,922 | 0,971 |
| 100 | 0,350 | 0,532 | 0,663 | 0,826 | 0,910 | 0,966 |

*Таблица 8. Коэффициенты экранирования расположенных по контуру вертикальных электродов*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Число заземлителей, N** | **Отношение расстояний между заземлителями к их длине, X1** | | | | | |
| **1** | **2** | **3** | **5** | **7** | **10** |
| 2 | 0,816 | 0,876 | 0,916 | 0,962 | 0,983 | 0,995 |
| 3 | 0,741 | 0,823 | 0,879 | 0,943 | 0,973 | 0,991 |
| 4 | 0,688 | 0,783 | 0,849 | 0,927 | 0,965 | 0,988 |
| 6 | 0,620 | 0,731 | 0,810 | 0,905 | 0,952 | 0,983 |
| 10 | 0,547 | 0,673 | 0,764 | 0,877 | 0,963 | 0,976 |
| 20 | 0,471 | 0,609 | 0,710 | 0,842 | 0,913 | 0,965 |
| 40 | 0,418 | 0,559 | 0,666 | 0,809 | 0,890 | 0,952 |
| 60 | 0,395 | 0,536 | 0,644 | 0,790 | 0,877 | 0,944 |
| 100 | 0,372 | 0,511 | 0,619 | 0,769 | 0,860 | 0,934 |

*Таблица 9. Коэффициенты экранирования горизонтального заземлителя, соединяющего вертикальные электроды, расположенные по контуру*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Число заземлителей, N** | **Отношение расстояний между заземлителями к их длине, X1** | | | | | |
| **1** | **2** | **3** | **5** | **7** | **10** |
| 3 | 0,587 | 0,658 | 0,777 | 0,964 | 0,999 | 1 |
| 4 | 0,503 | 0,582 | 0,715 | 0,946 | 0,998 | 1 |
| 6 | 0,405 | 0,488 | 0,635 | 0,914 | 0,994 | 1 |
| 10 | 0,319 | 0,399 | 0,584 | 0,866 | 0,987 | 1 |
| 20 | 0,248 | 0,320 | 0,458 | 0,793 | 0,967 | 0,999 |
| 40 | 0,212 | 0,282 | 0,392 | 0,716 | 0,934 | 0,998 |
| 60 | 0,200 | 0,254 | 0,362 | 0,675 | 0,908 | 0,997 |
| 100 | 0,191 | 0,236 | 0,331 | 0,618 | 0,669 | 0,992 |

Коэффициенты экранирования вертикальных заземлителей, расположенных в ряд, без учета влияния связывающего их горизонтального электрода, выражаются следующей формулой:



где Х – отношение расстояния между электродами к длине электрода. Это отношение находят делением расстояния между крайними заземлителями на число их, уменьшенное на 1, и на длину электрода.

Коэффициенты экранирования вертикальных заземлителей, расположeнныx по контуру без учета связывающего их горизонтального электрода, выражается следующим равенством:



где X1 – отношение расстояния между электродами к длине электрода.

Это отношение находят делением периметра контура на длину электрода-заземлителя и на их число.

Коэффициенты экранирования горизонтального заземлителя, соединяющего вертикальные злоктроды, расположенные по контуру, выражаются уравнением:



Расчет сопротивления группового заземлителя ведут следующий образом: определив по формуле (Таблица 3) сопротивление горизонтального и вертикального заземлителей и задавшись некоторым числом вертикальных электродов, находят соответствующие коэффициенты экранирования. Если вычисленное при этих данных сопротивление группового заземлителя превышает норматив или значительно меньше его, то изменяют число вертикальных электродов и повторяют расчет, и так до тех пор, пока рассчитанная величина сопротивления растеканию тока группового заземлителя не будет близка к нормативному, не превышая его.

**Измерение сопротивлений заземлителей**

Измерение сопротивлений заземляющих устройств, отдельно стоящих заземлителей, а также удельного сопротивления грунта производят помощью переменного тока, так как при постоянном токе возможна поляризация электродов и искажение результатов.

Измерять можно эти сопротивления методом амперметра-вольтметра или компенсационным методом.

Первый из них основан на том, что падение напряжения между заземлителем и точкой с нулевым потенциалом измеряют вольтметром, а величину проходящего тока – амперметром. Отношение этих величин дает искомое сопротивление. В любых схемах измерения необходимо, по крайней мере, два вспомогательных электрода: зонд и вспомогательный электрод.

Зонд служит для получения в схеме точки с нулевых потенциалом, по отношению к которой измеряют потенциал испытуемого заземлителя; вспомогательный электрод - для создания цепи измерительного тока.

Во втором методе лрогридуированным резистором компенсируют напряжение в цепи заземлитель - зонд при равенстве токов в этой цепи к цепи заземлитель - вспомогательный электрод.

Расположение зонда и вспомогательного электрода по отношению к намеряемому сопротивлению должно быть таково, чтобы их поля растекания тока не накладывались друг на друга (не менее 30 м между каждым из электродов).

Для измерения сопротивлений заземлителей методом амперметра - вольтметра применяют донные приборы, а также приборы УС-07, УС-08, в которых аперметр и вольтметр заменены потенциальной и токовой рамками логометра.

В компенсационном методе использует приборы РНИ типа МТ 1103, МТ 1103 T (в тропическом исполнении), а также М 416 и др.

Измерение удельного сопротивления грунта производят способом контрольного электрода. Он заключается в том, что в грунт на определенную глубину устанавливают заземлитель известной конфигурации и размеров, измеряют его сопротивление, и по одной из формул Таблицы 3 вычисляют удельное сопротивление грунта. При этом используют название выше методы и приборы.

**Устройство и работа приборов**

В настоящей работе для измерения сопротивления используются два прибора; РНИ 1,1 (тип М 1103) и М 416. (Рисунок 9 М 11).

Искробезопасный измеритель сопротивления заземления РНК 1,1 может применяться как на поверхности земли, так и в цехах, опасных по газу и пыли, а также в вахтах, при температуре окружающего воздуха от -25°до +60°С и относительной влажности до 9851.

Предел измерений 0,1 - 50 Ом.

Основная погрешность прибора на пределе измерений 0,1 - 10 Ом не более 5 и на пределе 0,1 - 50 Ом не более 10% от измеряемой величины.

Прибор выполнен в металлическом корпусе с откидной крышкой. На лицевой панели расположены органы управления; переключатель контроль-измерение, переключатель пределов измерения, реохорд, микроамперметр три зажима для присоединения измеряемых объектов.

|  |
| --- |
|  |
| *Рисунок 10 – Принципиальная*  *электрическая схема измерителя*  *сопротивлении заземления РНИ 1,1.* |

Питание прибора осуществляется от встроенного генератора переменного тока, приводимого во вращение откидной рукояткой. При номинальном числе оборотов рукоятки 120 об/мин, напряжение на зажиме генератора при разомкнутой цепи составляет 18 +(-) 2,7 Вольт.

Принципиальная схема прибора показана на рисунке 10.

При измерениях выход прибора (генератора) подключается к вспомогательному электроду ВС (зажим 3) и через первичную обмотку трансформатора Тр1 - к измеряемому сопротивлению ИС (зажим 1).

Вторичная обмотка трансформатора Тр1 подключается к специальному калиброванному реохорду Р и через него к зонду 3 (зажим 2).

При такой схеме включения помимо основной цепи тока через землю создается цепь тока через реохорд, схема обеспечивает равенство этих токов, что позволяет изменением величины сопротивления реохорда изменять напряжение между движком реохорда и зондом.

Разностное напряжение посредством трансформатора Тр2 подаётся на прерыватель П, выпрямляющий ток, и затем на измерительный прибор ИП.

Момент компенсации наступает тогда, когда падение напряжения на участке реохорда до подвижного контакта равно падению напряжения на изменяемом сопротивлении. При этом ток в обмотках трансформатора Тр2 равен нулю, что фиксируется измерительным прибором.

Цифры на реохорде при скомпенсированном напряжении показывают сопротивление измеряемого объекта в Oмax.

Измеритель сопротивления заземления М 416 предназначен для работы на поверхности или в цехах не опасных по газу и пыли при температуре окружающего воздуха от -25° до + 60°C и относительной влажности до 95%.

Пределы измерения 0,1 - 1000 Ом.

Основная погрешность прибора не более 5% от измеряемой величины.

Прибор выполнен в пластмассовом корпусе с откидной крышкой. В нижней части корпуса имеется отсек для размещения сухих элементов.

На лицевой панели расположены органы управления: ручка переключателя контроля и пределов измерений, ручка резистора, кнопка включения четыре зажима для подключения измеряемых объектов. Первый и второй зажимы соединены перемычкой.

В корпусе смонтированы: преобразователь постоянного тока в переменный; усилитель небаланса, увеличивающий чувствительность прибора; фазовый детектор, позволяющий получить зависимость полярности выпрямленного напряжения от фазы переменного.

|  |
| --- |
|  |
| *Рисунок 12 – Принципиальная*  *электрическая схема измерителя*  *сопротивления заземления М 416.* |

Источником питания служат три последовательно соединенные сухие гальванические элементы типа 373. Напряжение от него питает преобразователь, усилитель и служит опорным для фазового детектора.

Принципиальная схема прибора показана на рисунке 12.

Выход вторичной обмотки трансформатора Тр2, преобразователя П подключается к вспомогательному электроду ВС (зажим 4) и через первичную обмотку трансформатора Тр1 - к измеряемому сопротивлению ИС (зажимы 1 и 2).

Вторичная обмотки трансформатора Тр2 подключается к специальному калиброванному резистору Р.

В такой схеме кроме цепи тока через землю, создается цепь через резистор при равенстве токов в этих цепях.

Изменение величины сопротивления резистора позволяет менять напряжение между движком резистора и зондом 3 (зажим 3). Разностное напряжение подается через усилитель У и детектор Д на измерительный прибор ИП.

Компенсация наступает в тот момент, когда падение (напряжения на участке резистора до подвижного контакта равно падению напряжения на измеряемом сопротивлении. При этом ток в цепи измерительного прибора ИП равен нулю.

Резистор имеет оцифрованную шкалу, позволяющую непосредственно определить измеренное сопротивление.

**Порядок расчёта заземляющего устройства**

1. Устанавливают допустимое сопротивление заземления (таблица 1).
2. Устанавливают размеры горизонтального и вертикального электродов и глубины погружения их в грунт (таблица 2).
3. Определяют удельное сопротивление грунта по практическим измерениям или по таблице 4.
4. Определяют климатическую зону, коэффициенты сезонности и коэффициенты, учитывающие состояние земли в период измерений (таблицы 5 и б).
5. Вычисляют расчетное удельное сопротивление грунта.
6. Вычисляют сопротивления одиночных заземлителей (таблица 3).
7. Задаются числом вертикальных электродов и находят коэффициенты экранирования.
8. Вычисляют сопротивление группового эаземлителя. Если полученное значение много меньше или превышает допустимую величину сопротивления защитного заземления, расчет повторяют, задавшись другим числом вертикальных электродов.

**Задача работы**

|  |
| --- |
|  |
| *Рисунок 13 – Измерительная цепь для*  *определения удельного сопротивления*  *грунта и сопротивлений одиночных и*  *группового заземлителей.* |

Выполняя данную лабораторную работу необходимо измерить удельное сопротивление грунта, измерить сопротивление группового заземлителя, вычислить его сопротивление по расчетным формулам и сопоставить полученную величину с результатом измерения, разработать один из видов заземляющих устройств по заданию преподавателя.

Измерительная цепь на Рисунке 13.

Она включает электрод, представляющий собой вертикальную пластину площадью 3340 см2 заглубленную в грунт на 68 см до центра пластины; электрод II – длиной 270 см, диаметром 2,5 см, заглубленный на 205 см до середины; электрод III - вертикальную пластину площадью 2730 м2, заглубленную на 65 см.

Пластинчатые электроды I и III - каждый может служить как измеряемым сопротивлением, так и вспомогательным электродом.

Выводы от электродов присоединены к зажимам щитка с соответствующей нумерацией: I, II и III.

К щиту под номером VI подключен групповой заземлитель учебного корпуса, состояний из расположенных по полуконтуру отдельностоящих вертикальных стержней, выведенных на поверхность веяли. Всего установлено 20 стержней (труб), каждый длиной 300 см и диаметром 60 мм. Длина полуконтура 300 м.

Трубы (стержни) соединены металлической полосой, не находящейся в контакте с грунтом.

Схемы включения приборов при измерении сопротивлений следующие: I, II, III - зажимы на щитке; 1, 2, 3 – зажимы приборов. При измерении удельного сопротивления грунта:

а) I, II, III      б) I. II. III  
             1, 2, 3            3, 2, 1

при намерении сопротивления группового заземлителя:

а) I, II, IV  
             1, 2, 3

**Порядок выполнения работы**

1. Подготовить к работе прибор РНИ 1,1.
2. Убедиться в исправности прибора, для чего но присоединяя заземлений, перевести переключатель П2 Б положение "контроль" и вращая ручку генератора со скоростью 120 об/мин, вывести стрелку измерительного прибора на 0. Показания прибора не должны быть меньше 10 0,5 Ом.
3. Включить измерительную цепь по схеме а) и измерить сопротивление электрода 1, для чего, установив переключатели III в положение Х5 и П2 в положение "измерение" г, вращая ручку генератора со скоростью 120 об/мин., вывести стрелку микроамперметра на 0. Показания реохорда зафиксировать.
4. Включить измерительную цепь по схеме б) и измерить сопротивление электрода III.
5. По полученный величинам и формулам из таблицы 3 вычислить удельное сопротивление грунта.
6. Включить измерительную цепь по схеме для определения сопротивления группового заземлителя и, установив переключатель III в положение XI измерить сопротивление группового заземлителя.
7. Подготовить к работе прибор М 416.
8. Убедиться в исправности прибора, для чего, не присоединяя заземлений, установив переключатель в положении "контроль" нажать кнопку и, вращая ручку реохорда, вывести стрелку микроамперметра на 0. Показания прибора не должны превышать 5 0,3 Ом.
9. Включить измерительную цепь по схеме а) и измерить сопротивление электрода I, для чего, установив предел измерений Х5 и, нажав кнопку, вывести реохордом стрелку микроамперметра на 0, если прибор зашкаливает, то перейти на предел Х20. Показания прибора зафиксировать.
10. Провести измерение, включив прибор по схеме б).
11. Вычислить удельное сопротивление грунта.
12. Измерить сопротивление группового заземлителя.
13. Используя измеренное сопротивление (удельное) грунта, формулы из таблицы 3, данные из таблицы 7 и сведения об устройства группового заземлителя, вычислить сопротивление последнего.
14. Сопоставить измеренное значение сопротивления группового заземлителя с расчетным, вычислить относительную ошибку и объяснить причину возможного расхождения.
15. По заданию преподавателя, используя данные приведенных таблиц разработать заземляющее устройство.
16. Составить отчет по работе в следующей форме.