

4. Грунт, его структура и электропроводность.

Земля, в которой происходит растекание тока с заземлителя, является средой весьма сложной и неоднородной по составу, структуре, так и по глубине. Основными составными частями земли являются твёрдые частицы неорганического и органического происхождения и вода. Электропроводность твёрдой основы грунта минерального происхождения в сухом состоянии ничтожна. Химически чистая вода также обладает весьма высоким удельным сопротивлением. Однако содержащиеся в грунте различные соли и кислоты при наличии влаги, являющейся хорошим растворителем, создают электролиты, которые и определяют электропроводность земли. Таким образом, удельное сопротивление грунта зависит от его химического состава и влажности.

Влажность грунта зависит не только от количества осадков и близости грунтовых вод, но и от структуры грунта. Отдельные частицы грунта окружены гигроскопической водой, адсорбированной частицами грунта из водяных паров воздуха. Эта вода обволакивает частицы слоем различной толщины, в зависимости от их размеров, находится под молекулярным притяжением и может перемещаться только при переходе в парообразное состояние.

Поверх гигроскопической воды образуется относительно тонкий слой плёночной воды, удерживаемой в грунте также силами молекулярного притяжения. Эти силы меньше, чем для гигроскопической воды, но значительно больше силы тяжести частиц плёночной воды. Эта вода может передвигаться очень медленно только под влиянием молекулярных сил, переходя от частиц с более толстой водяной плёнкой к частицам с более тонкой.

Максимальное количество воды, удерживаемое грунтом в виде гигроскопической и плёночной воды, увеличивается с уменьшением размера частиц и возрастанием сил поверхностного притяжения. Осадки, просачиваясь в грунт, частично удерживаются как плёночная вода, либо, при насыщении грунта водой, просачиваются к грунтовым водам.

Наиболее часто встречающиеся грунты – песчаный, глинистый и перегнойный – сильно отличаются между собой по структуре и составу. Песок и глина являются продуктом разрушения и выветривания горных пород, перегнойный грунт в основном органического происхождения.

Увлажнение песка, бедного электролитами, увеличивает его проводимость за счёт воды, проводимость которой значительно больше, чем у твёрдой основы грунта. Увлажнение глины и перегноя, богатых электролитами, ведёт к возрастанию их проводимости не только за счёт проводимости воды, но и из-за увеличения диссоциации раствора электролита.

Значения удельных сопротивлений различных грунтов могут быть названы лишь очень приближённо, так как сильно зависят не только от вида грунта, но и от его влажности и атмосферных условий (табл.3.1).

Таблица 3.1

Грунт	Удельное сопротивление ρ , Ом м	Грунт	Удельное сопротивление ρ , Ом м
Песок	>400	Торф	20-80
Супесок	300-500	Гранит	10^3 - 10^6
Суглинок	100-200	Известняк	10^2 - 10^3
Глина	60-80	Мрамор	10^3 - 10^8
Чернозём	50-200	Речная вода	10-30

Наиболее высокими удельными сопротивлениями отличаются скальные породы, которыми так богат грунт в нашей местности. На величину удельного сопротивления скальных пород решающее влияние оказывают такие факторы как трещиноватость и выветрелость.

В общем случае грунт, в котором располагаются заземлители, является неоднородным по глубине вследствие своего геологического строения, залегания вод и пр. Кроме того, в течение года в связи с изменением атмосферных условий меняются температуры земли, содержание и физическое состояние влаги в земле, насыщенность её различными слоями. Поэтому удельное сопротивление земли на глубине до нескольких метров от поверхности земли, в так называемом слое сезонных изменений сильно колеблется, увеличиваясь из-за высыхания к концу лета и из-за промерзания зимой. Возможность высушивания грунта, при расчёте удельного сопротивления земли, учитывается коэффициентом сезонности:

$$\rho_{расч} = \rho_{изм} \psi, \quad (3.11)$$

где ψ – коэффициент сезонности, равный 1,4-1,8 для горизонтальных заземлителей, уложенных на глубине 0,5 м и 1,2-1,4 для вертикальных заземлителей длиной до 3 м. Причём, если во время измерения земля сухая (мёрзлая), то принимается меньшее значение, а если почва влажная – большая величина.

Проектирование заземляющих устройств должно вестись с учётом неоднородности грунта. На основании результатов непосредственных

измерений по методу вертикального электрического зондирования определяется удельное сопротивление различных слоёв грунта по глубине.

5. Заземление грозозащиты

Заземлители молниеотводов служат для отвода тока молнии в землю. Массовое устройство заземлителей (например, на воздушных ЛЭП с тросами) ставит задачу выбора наиболее экономичных заземлителей, обеспечивающих малое сопротивление растеканию тока при минимуме затраты металла.

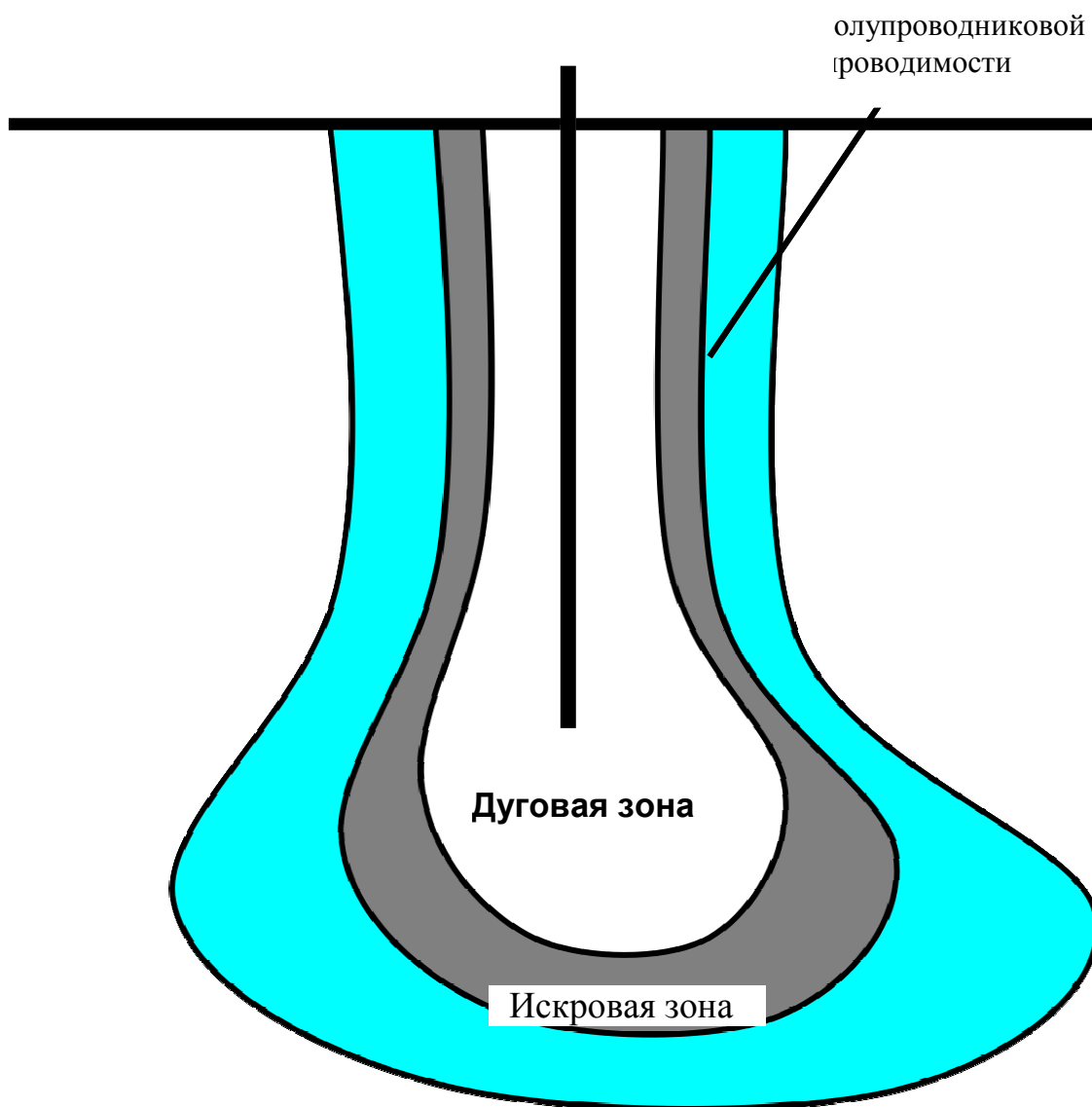


Рис. 3.6 Характер процессов в грунте при прохождении через заземлитель импульсного тока

Основным назначением заземления грозозащиты является эффективное отведение тока молнии. Сопротивление заземлителя при протекании импульсного тока R_u отличается от сопротивления переменного тока R_s , они связаны соотношением:

$$R_u = \alpha R_{\approx}, \quad (3.12)$$

где α – коэффициент импульса заземлителя.

Особенностями тока молнии являются его большая амплитуда и кратковременность. Обе эти особенности оказывают влияние на величину коэффициента импульса. При стекании с заземлителя тока плотностью δ в грунте возникает электрическое поле напряжённостью $E_u = \delta \rho_u$, где ρ_u – удельное сопротивление грунта при стекании импульсного тока. С увеличением δ возрастает и напряжённость поля. Установлено, что с ростом напряжённости поля удельное сопротивление грунтов плавно падает. Этот эффект связан с явлением нелинейной проводимости, свойственным всем полупроводникам. При дальнейшем возрастании плотности стекающего с заземлителя тока напряжённость электрического поля вблизи заземлителя достигает пробивной напряжённости грунта 10-12 кВ/см.

Искрообразование приводит к резкому снижению падения напряжения вблизи заземлителя, что эквивалентно резкому падению ρ_u . В расчётах заземлителей обычно пренебрегают падением напряжения в искровом разряде. Однако в искровой зоне градиенты достигают 1,2-1,4 кВ/см.

При дальнейшем повышении напряжения и с течением времени искровой разряд переходит в дуговой с очень малыми градиентами в дуговой зоне. Так как ток молнии достаточно велик, то около заземлителя возникают все возможные зоны: полупроводниковая, искровая, дуговая.

Чем меньше линейные размеры заземлителя, тем при заданном токе больше плотность стекающего тока δ . Поэтому коэффициент импульса α снижается с уменьшением размера сосредоточенного заземлителя. Коэффициент импульса снижается также при возрастании тока. Однако, очевидно, что напряжение на заземлителе $U = IR_u$ всё же растёт с ростом ρ , I хотя кривая этого роста резко нелинейна.

Падение ρ вследствие искрообразования в грунте эквивалентно увеличению размеров заземлителя. Соответственно происходит как бы относительное сближение индивидуальных заземлителей в составной конструкции и снижения её коэффициента использования. Тогда, сопротивление составного заземлителя:

$$R_{c.u} = \frac{1}{\eta_u \sum \frac{1}{R_u}}, \quad (3.13)$$

где η_u – коэффициент использования заземлителя в импульсном режиме.

Импульсное искрообразование в грунте происходит с довольно большим запаздыванием. Вследствие этого импульсные коэффициенты заземлителей оказываются зависимыми от времени.

Импульсный характер воздействия напряжения приводит к необходимости подразделять заземлители на сосредоточенные и протяжённые. К первым принадлежат заземлители, протяжённость которых достаточно мала, чтобы можно было считать потенциалы во всех точках заземлителя одинаковыми. Протяжёнными называются заземлители, вдоль

которых необходимо учитывать волновой процесс распространения напряжения и тока. Обычно это заземлители горизонтального типа. Каждый из лучей такого заземлителя может быть представлен цепочечной схемой замещения длиной линии с удельными индуктивностью L_0 и нелинейной проводимостью g_0 (рис.3.7). В первые моменты приложения импульсной волны напряжение на дальних участках заземлителя мало. В эти моменты времени отвод тока с заземлителя осуществляется только на начальных его участках. Затем напряжение вдоль заземлителя выравнивается и весь заземлитель используется для отвода тока молнии. Использование луча заземлителя в заданный момент времени может быть охарактеризовано отношением U_l/U_0 , где U_l и U_0 – напряжение в конце и начале луча. Чем ближе U_l/U_0 к единице, тем лучше использование заземлителя. Чем меньше U_l/U_0 , тем протяжённее заземлитель.

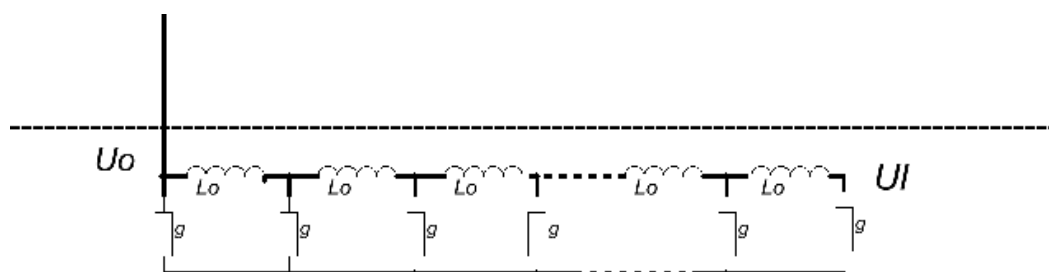


Рис. 3.7 Цепочечная схема замещения протяжённого заземлителя

Так как соотношение U_l/U_0 всегда растёт с уменьшением длины луча заземлителя, то с точки зрения экономии металла выгоднее заземлитель выполнять трёх и четырёхлучевым. При дальнейшем увеличении числа лучей снижается коэффициент использования заземлителя вследствие взаимного экранирования лучей, кроме того, осложняются земляные и монтажные работы. Длина лучей в заземлителе выбирается по условиям обеспечения необходимого R_u .

Как и сосредоточенные заземлители, протяжённые заземлители характеризуется импульсным коэффициентом использования α , который по-прежнему падает с увеличением тока и удельного сопротивления почвы. Однако вследствие резкого спада напряжения вдоль протяжённого заземлителя большой длины коэффициент α может оказаться больше единицы. Такое недоиспользование длины является характерной особенностью протяжённого заземлителя.