

УДК 621.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКОВ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Лазаревич И.А.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Заземляющее устройство (ЗУ) является обязательным элементом любой электроустановки и предназначено, прежде всего, для обеспечения безопасности людей, поэтому правила установки электрооборудования (ПУЭ) нормируют его параметры именно с этой позиции. С другой стороны, ЗУ во многом определяет состояние электромагнитной обстановки на объекте, и для нормальной эксплуатации технических средств его параметры должны удовлетворять также требованиям электромагнитной совместимости.

Существующие нормативные документы, определяют и нормируют параметры ЗУ в предположении, что по нему протекают токи промышленной частоты. Однако по элементам ЗУ могут протекать токи разной величины, формы и частоты. Это могут быть токи короткого замыкания (ТКЗ), токи от ударов молнии, величина которых достигает сотен килоампер, с максимумом в радиочастотном диапазоне, и значительно меньшие токи, обусловленные коммутациями в сети высокого напряжения, несимметрией, работой фильтров, стеканием разрядов статического электричества и др. Параметры ЗУ при протекании токов разной величины, формы и частоты будут различаться, следовательно, будут разными и возникающие эффекты.

Одной из основных характеристик заземляющего устройства является его сопротивление, значение которого должно соответствовать требованиям электрической безопасности и обеспечивать нормальную эксплуатацию электрооборудования. Конструкция заземляющего устройства должна быть безопасной в отношении нагрева, обладать термической и динамической устойчивостью при протекании токов короткого замыкания на землю. Заземляющее устройство должно обладать достаточной механической прочностью и иметь защиту от воздействия на него неблагоприятных внешних факторов.

В общем случае токи, протекающие по ЗУ, можно условно разделить на низкочастотные, высокочастотные и импульсные. Низкочастотные – это токи промышленной частоты и ее гармонические составляющие. Их источником в основном являются токи короткого замыкания (ТКЗ) и токи небаланса. Высокочастотные – токи молнии, высокочастотные составляющие ТКЗ, токи, возникающие в ЗУ при коммутациях в сети высокого напряжения. Их частота может достигать нескольких мегагерц. Источником мощных импульсных токов является молния. Процессы, происходящие в ЗУ при протекании тока, можно изучать на его модели посредством моделирования. Модели должны отражать главные с точки зрения решаемой задачи свойства объекта. При этом необходимо учитывать, что параметры ЗУ во многом зависят от параметров протекающего по нему тока. В некоторых случаях чем-то можно пренебречь, однако иногда пренебрежения недопустимы.

При ударе молнии в молниеприемник по элементам ЗУ объекта будут протекать импульсные токи. Между различными точками ЗУ объекта возникнут импульсные разности потенциалов. Импульсные токи большой величины, протекая по ЗУ, могут значительно изменять его параметры, вызывая ионизацию грунта с последующим местным пробоем. Под действием некоторой критической напряженности удельное сопротивление грунта ρ_0 будет уменьшаться. Процесс в ЗУ происходит в следующем порядке: ток молнии, стекая с заземлителя в грунт, обуславливает подъем потенциала на нем, который вызывает процессы ионизации. При достижении током критического значения происходит пробой грунта, его сопротивление и потенциал при этом снижаются практически до нуля. Последующее снижение величины тока вызывает деионизацию, и сопротивление грунта при этом восстанавливается до первоначального значения.

Мощные импульсные токи приводят к ионизационным процессам и пробоем грунта. Для описания возникающих при таком токе явлений необходимо составление новых моделей, учитывающих особенности физических процессов. Ионизация и пробой грунта приводят к увеличению эффективного радиуса электрода, в результате чего ток стекает в землю с большей поверхности, и максимальная величина потенциала ограничивается. Наряду с этим, при стекании мощных импульсных токов с заземлителя в грунт может возникать искровая зона, которая представляет опасность для проложенных вблизи токоотводов контрольных кабелей.

Протекание токов высокой частоты в ЗУ также имеет ряд особенностей. Например, с возрастанием частоты протекающего тока уменьшается глубина проникновения волны δ , то есть возникает явление поверхностного эффекта. Уменьшение глубины проникновения волны ведет к тому, что ухудшается рассеяние тока в грунте, основная часть которого растекается на расстоянии 3δ от поверхности электрода. Существенное уменьшение величины растекания тока способствует повышению импеданса, а, следовательно, и уровня потенциала.

Следующей особенностью токов высокой частоты является существенный фазовый сдвиг волн тока и напряжения в начале и конце линии. При больших его значениях необходимо учитывать волновые процессы и рассматривать ЗУ как линию с распределенными параметрами.

Еще одной особенностью является возрастание на высоких частотах роли индуктивных и емкостных связей в ЗУ.

Таким образом, модель ЗУ на высокой частоте должна учитывать ряд особенностей: емкостные и индуктивные связи, поверхностный эффект, фазовый сдвиг волн тока и напряжения. Их можно учесть, представив ЗУ в виде линии с распределенными параметрами. Знание особенностей процессов в ЗУ хотя бы на качественном уровне может помочь на практике принятию более правильных и осознанных решений.

Литература

- 1 Фурсанов, М.И. Моделирование и анализ токов в заземляющих устройствах электроустановок / М.И. Фурсанов // Энергия и Менеджмент. – 2010. – № 1. – С. 16–21.
- 2 Карякин, Р.Н. Нормы устройства сетей заземления / Р.Н. Карякин – М. : Энергосервис, 2006.
- 3 Бургсдорф, В.В. Заземляющие устройства электроустановок / В.В. Бургсдорф – М. : Энергоатомиздат, 1987.
- 4 Математическое моделирование ВАХ сопротивления заземлителей при протекании по ним токов молнии: сб. докладов / науч. ред. А.М. Костроминов. – СПб. : ВИТУ, 2008. – 223 с.