

УДК 621.317.083

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ СВОЙСТВА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ ПРОВОДНИКОВ

Д.Е. Терентьев, генеральный директор НПО "Инженеры электросвязи"

Необходимым условием нормального функционирования современного объекта связи, особенно в условиях сложной электромагнитной обстановки (высокая грозовая активность, наличие антенно-мачтовых сооружений, воздушных линий связи, высокий уровень индустриальных помех), является соответствие заземляющих устройств и систем уравнивания потенциалов постоянно возрастающим современным требованиям.

Специалисты НПО "Инженеры электросвязи" работают над созданием комплекса оборудования, материалов, методик проектирования и расчета, необходимых для создания систем уравнивания потенциалов. Успешное решение проблемы зависит прежде всего от правильной постановки задачи. Статья посвящена одной из важнейших ее составляющих – высокочастотным свойствам проводников, используемых при монтаже систем уравнивания потенциалов и заземляющих устройств.

Введение. Энергетический спектр наиболее мощной помехи – молний достигает сотен килогерц, а частоты помех искусственного происхождения в настоящее время измеряются в мегагерцах.

Автору не удалось обнаружить ни в одном справочнике высокочастотных параметров кабелей и шин, применяемых для систем выравнивания потенциалов. В [1] приведены индуктивные сопротивления жил высоковольтных кабелей (вероятно, на частоте 50 Гц), в [3] – эмпирическая формула и экспериментальные данные, в соответствии с которыми комплексное сопротивление стальных элементов контуров заземления в значительной мере зависит не только от частоты, но и от протекающего тока. На рис. 1 показана зависимость сопротивления полосы 50 × 4 от силы и частоты протекающего тока.

Рассмотрим зависимость активной и индуктивной составляющей сопротивления проводников от частоты протекающего тока.

Активная составляющая сопротивления проводника с ростом частоты возрастает за счет влияния скин-эффекта. Одно из его проявлений состоит в том, что переменный ток от поверхности к центру проводника убывает. Расстояние от поверхности проводника, на котором плотность тока убывает в e раз (т.е. имеет значение 37% от максимальной), называется глубиной скин-слоя.

Толщина скин-слоя рассчитывается, как

$$\frac{1}{\sqrt{\pi f \nu \sigma}}, \quad (1)$$

где μ – абсолютная магнитная проницаемость вещества; σ – удельная проводимость. Для меди на промышленной частоте 50 Гц толщина скин-слоя составляет примерно 1 см, а на 10 МГц – около 10 мкм.

Магнитная проницаемость стали примерно в 1000 раз (в зависимости от марки) выше, чем у меди, а удельная проводимость почти в 7 раз ниже. Тогда глубина скин-слоя на частоте 50 Гц составит 0,08 см, а на 10 МГц – менее 1 мкм.

Влияние скин-эффекта можно оценить такой величиной, как время заполнения током толщины проводника. Для проводника круглого сечения диаметром d оно определяется, как:

$$T_s = \frac{\mu \sigma d^2}{2}. \quad (2)$$

Медный одножильный провод сечением 16 мм² заполняется током примерно за 1,5 мкс, стальной проводник того же сечения (при относительной магнитной проницаемости, равной 1000) – за 25 мкс.

Индуктивная составляющая сопротивления проводника зависит от собственной индуктивности и частоты. Индуктивность одиночного проводника может быть определена следующим образом.

Для низкой частоты:

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r} - \frac{3}{4} \right), \quad (3)$$

где l – длина провода; r – радиус его поперечного сечения.

Если магнитная проницаемость провода $\mu \neq \mu_0$, то

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r} - 1 \right) + \frac{\mu l}{8\pi}. \quad (4)$$

где $\frac{\mu l}{8\pi}$ – внутренняя индуктивность провода.

При сверхвысокой частоте ток сосредоточен в бесконечно тонком слое проводника:

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r} - 1 \right). \quad (5)$$

Расчеты показывают, что индуктивность 1 м проводника круглого сечения площадью 16 мм² на низкой частоте составляет: для стали – 5 мГн, для меди – 1,2 мГн. На сверхвысокой частоте для любого проводящего материала или сплава – 1,16 мГн.

Волновые свойства эквипотенциальных проводников представляют практический интерес не только для разработчиков оборудования. Эти свойства должны учитываться при монтаже в тех случаях, когда частота помехи достигает десятков мегагерц, а длина волны сопоставима с длиной заземляющего проводника.

Из курса электротехники известно, что для переменного электрического тока с длиной волны λ проводник длиной $\lambda/4$ имеет бесконечное сопротивление.

Рассмотрим случай, показанный на рис. 2. Фильтр, предназначенный для фильтрации высокочастотной помехи, подключен к системе уравнивания потенциалов кабелем длиной 2,5 м. Составляющую помехи с длиной волны 10 м

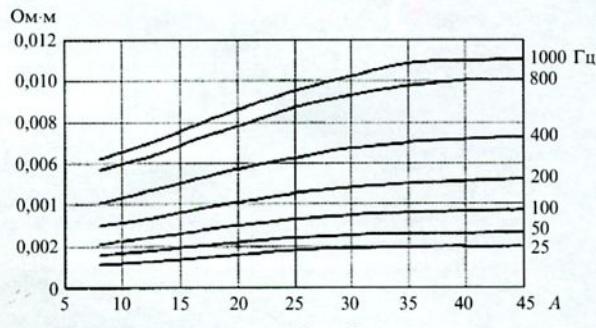
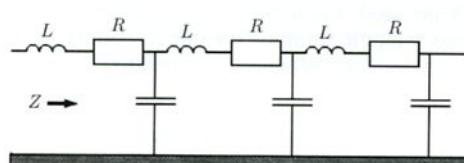
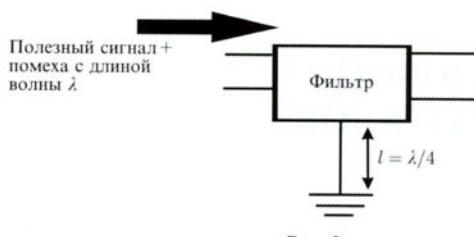


Рис. 1



(частота около 30 мГц) такой кабель не пропустит, и фильтр свою задачу не выполнит.

Нередко заземляющий проводник прокладывается по кабельростам, так же подключенным к системе уравнивания потенциалов. В этом случае система проводник – кабельрост может рассматриваться, как линия передачи с волновым сопротивлением $Z_0 = \sqrt{L/C}$. Волновое сопротивление такой линии не возрастает непрерывно, а имеет параллельные (высокое сопротивление) и последовательные (низкое сопротивление) резонансы.

Линия передачи, образующаяся при прокладке кабеля заземления, приведена на рис. 3, а ее эквивалентная схема – на рис. 4.

Выводы. 1. Скин-эффект в десятки раз сильнее проявляется в стальных проводниках, чем в медных (или алюминиевых). За счет скин-эффекта активное сопротивление проводников значительно увеличивается.

2. Время заполнения током медных проводников сопоставимо с длительностью фронта импульсных помех (8–10 мкс), а стальных превышает длительность фронта тока молнии и длительность импульса помех, наводимых за счет индуктивных наводок.

3. Индуктивность проводников из немагнитных материалов с ростом частоты практически не меняется.

4. Индуктивность стальных проводников на любых частотах выше, чем медных (на низких частотах в тысячи раз). С ростом частоты индуктивность проводника из магнитного материала уменьшается за счет снижения внутренней индуктивности. Сечение проводника, по которому протекает ток, а следовательно и внутренняя индуктивность обратно пропорциональны квадратному корню из частоты. Индуктивное сопротивление прямо пропорционально частоте. Таким образом, несмотря на снижение индуктивности с ростом частоты индуктивное сопротивление растет.

5. Возможное совпадение четверти длины волны помехи и длины заземляющего проводника обязательно должно учитываться при проектировании и монтаже объектов (из-за присутствия помехи).

6. Влияние параллельных резонансов, при которых резко возрастает волновое сопротивление проводника заземления, не учитывается ни проектировщиками, ни тем более строительно-монтажными организациями, хотя очевидно, что это

явление может оказывать влияние на работу систем связи. Очевидно, что данный вопрос требует дополнительного изучения.

Все это известно давно. Задача ясна – уменьшение влияния скин-эффекта, уменьшение индуктивности. Необходимо создать системы уравнивания потенциалов, отвечающие самым жестким требованиям ЭМС. Для этого нужны проводники с иными высокочастотными свойствами, чем у применяемых сейчас кабелях заземления, т.е.:

– ленты из немагнитных материалов. Их свойства значительно лучше, чем у проводников круглого сечения. Они широко применяются за рубежом;

– специальные высокочастотные кабели заземления. Здесь слово за кабельной промышленностью.

ЛИТЕРАТУРА

- Алиев И.И., Казанский С.Б. Кабельные изделия. Справочник. – М.: Радиософт, 2002.
- Терентьев Д.Е. Заземляющие устройства объектов связи: проблемы и пути их решения// Первая российская конференция по заземляющим устройствам/ Сб. докл. – Новосибирск, 2002.
- Котельников А.В., Кандаев В.А., Свешникова Н.Ю. Собственные параметры элементов контура заземления различной формы// Первая российская конференция по заземляющим устройствам/ Сб. докл. – Новосибирск, 2002.
- Асламазов Л. Скин-эффект// Квант. – 1985. – № 5.
- Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. Справочная книга. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.
- Уильямс Т., Армстронг К. ЭМС для систем и установок. – М.: ИД "Технологии", 2004.

Получено 8.10.04

ГИДРОФОБ
 научно-производственный комплекс

Оборудование для восстановления замокших кабелей мало- и многопарных УВК-ММ и УВК-ММ-2

- Возможность одновременной закачки двух разных кабелей типа ТПП, до 125 м в одну сторону
- возможность регулирования давления закачки на каждый канал отдельно
- Работа от любых источников постоянного тока напряжением 12 – 14 В.

Новые гидрофобные заполнители

- Кабельный низкотемпературный ГФЗ-К-НТ
- Возможность восстановления кабеля ТПП протяженностью до 250 м за 6 часов
- Возможность производить закачку при диапазоне температур от -10 до +60 °C
- Совместимость гидрофобного заполнителя с элементами конструкций кабеля
- Исключение нарастания вязкости при контакте с воздухом, срок хранения до 3-х лет

Муфтовый низкотемпературный ГФЗ-М-НТ

Переходные устройства УКС
 Предназначены для перехода с 10- или 20-парного кабеля на воздушные провода или однопарные кабели.
 Корпус изготавливается из металла толщиной 2 мм, покрытого порошковой полимерной краской.

Коробки распределительные телефонные КРТ емкостью 10 20 пар
 Изготавливаются из металла толщиной 1,2 мм, покрытого порошковой полимерной краской
 Компактные панели LSA-PROFIL типоряд 2 на 10 пар
 Снабжены замком

Россия, Ростовская область, г. Волгодонск, ул. Гагарина, 68
 тел./факс: (86392) 5-97-23, 6-76-79
<http://www.hydrophobe.ru>
 E-mail: info@hydrophobe.ru