

10^{-10} – 10^{-11} . Однако если вероятность ошибки выше, чем 10^{-4} , то изображение «разваливается» и не корректируется [3].

При проектировании для уменьшения вероятности такой ошибки возможно применение следующих вариантов:

- установка волоконно-оптических усилителей;
- уменьшение длины волоконно-оптического тракта и количества подключенных абонентов (например, использование сплиттеров с меньшим затуханием);
- усложнение схемы приемного устройства для ослабления влияния тепловых шумов (например, использовать лавинный фотодиод).

При проектировании гибридных волоконно-коаксиальных сетей цифрового кабельного телевидения необходимо руководствоваться следующими положениями:

1 При расчете результирующего отношения сигнал/шум следует учитывать отношение сигнал/шум от двух участков – волоконного и коаксиального.

2 При использовании коаксиальных линий увеличивается число необходимого активного оборудования (усилителей) и снижается отношение сигнал/шум по сравнению с волоконно-оптическим трактом той же длины.

3 Для достижения оптимального соотношения цена/качество следует анализировать различные структуры сетей. Например, варьировать длиной тракта, количеством транслируемых каналов, характеристиками оборудования и т. д. с обязательным расчетом результирующего отношения сигнал/шум и стоимости оборудования и прокладки сети.

В докладе приведены примеры расчета сетей доступа с типовыми реальными параметрами: волоконно-оптической сети доступа с волоконно-оптическим усилителем EDFA и без усилителя [1]; полностью оптической сети, полностью коаксиальной сети и гибридной волоконно-коаксиальной сети [2], а также сделаны выводы о возможности реализации этих сетей на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов, В. И. Шумы в волоконно-оптических сетях кабельного цифрового телевидения / В.И. Кириллов, Е.А. Коврига // *Вестник связи*. – 2012. – № 4. – С. 37–41.
2. Кириллов, В. И. Анализ защищенности от собственных шумов в гибридных волоконно-коаксиальных сетях кабельного цифрового телевидения / В. И. Кириллов, Е. А. Коврига // *Вестник связи*. – 2012 (в печати).
3. Локшин, Б. А. Цифровое вещание: от студии к телезрителю / Б. А. Локшин. – М.: Компания Сайрус Системс, 2001. – 446 с.

УДК 519.6+618.3.06

ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ УРАВНЕНИЙ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ТРЕУГОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д. В. КОМНАТНЫЙ

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республики Беларусь

При моделировании широкого круга задач прикладной электродинамики и электромагнитной совместимости находит применение метод граничных элементов. Метод основывается на сведении интегральных уравнений для неизвестного электрического заряда границ задачи к системе линейных алгебраических уравнений. Коэффициенты уравнений имеют характерный вид

$$I(M_j) = \int_{S_i} \frac{dS_Q}{R_{M_j Q}}, \quad Q \in S_i, \quad (1)$$

где Q_i – центр элемента S_i , P_j – центр элемента G_j ; $M_j = P_j$ или Q_j .

Известно, что наиболее универсальным видом граничных элементов являются треугольные граничные элементы, применяя которые, можно аппроксимировать поверхности любой сложности. При реализации метода граничных элементов с треугольными элементами возникает затруднение, связанное с тем, что в имеющихся литературных источниках отсутствуют выражения для коэффициентов линейных алгебраических уравнений этого варианта метода. В руководствах по методу граничных элементов рекомендуется вычислять указанные коэффициенты путем численного интегрирования (1). Это существенно усложняет разработку программно-математического обеспечения.

Упростить вычисление интегралов типа (1) позволяет метод векторной алгебры. В этом методе с граничным элементом связывается локальная прямоугольная декартова система координат. Начало ее совпадает с

одной из вершин треугольника; на практике удобно, чтобы при этой вершине лежал тупой угол. Ось y' направляется по нормали, к стороне треугольника, лежащей напротив вершины начала координат. Ось x' нормальна к оси y' . Тогда стороны треугольника будут иметь в локальной системе координат уравнения $x' = k_3 y'$ и $x' = k_4 y'$, соответственно. Уравнения записаны так, чтобы при интегрировании двойного интеграла сведением к повторному, внешний интеграл имел своими пределами интегрирования числа.

Для граничного элемента S_i вводятся обозначения: центр граничного элемента Q_i , точка наблюдения M_j , произвольная точка на поверхности элемента M . Вводятся также следующие векторы $\overline{M_j M} = \vec{\xi}$, $\overline{Q_i M} = \vec{v}$,

$\overline{M_j Q_i} = \vec{\eta}$. При этом $\vec{\xi} = \vec{v} + \vec{\eta}$. В качестве ортов локальной системы приняты единичные векторы \vec{a} и \vec{b} .

Тогда $\vec{v} = x' \vec{a} + y' \vec{b}$.

Следовательно,

$$\vec{\xi} = \vec{\eta} + x' \vec{a} + y' \vec{b}. \quad (2)$$

Расстояние $R_{M_j M}$ выражается через скалярное произведение: $R_{M_j M} = |\vec{\xi}| = \sqrt{(\vec{\xi}, \vec{\xi})}$.

Принимая во внимание формулу (2), получаем выражение для скалярного произведения. В нем учитывается, что скалярное произведение ортов локальной системы координат $(\vec{a}, \vec{b}) = 0$. В результате $(\vec{\xi}, \vec{\xi}) = (x' + p_1)^2 + \alpha$; где обозначается $p_1 = (\vec{\eta}, \vec{a})$, $p_2 = (\vec{\eta}, \vec{b})$, $\alpha = (y' + p_2)^2 + |\vec{\eta}|^2 - p_1^2 - p_2^2$. Что позволяет записать интеграл (1) в виде

$$I = \iint_{S_i} \frac{1}{\sqrt{(x' + p_1)^2 + \alpha}} dS_{Q_i} = \int_0^D \left[\int \frac{k_4 y'}{k_3 y' \sqrt{(x' + p_1)^2 + \alpha}} dx' \right] dy', \quad (3)$$

где D – длина высоты граничного элемента, м.

Результат вычисления внутреннего интеграла таков

$$I_{in} = \ln \left(p_1 + k_4 y' + \sqrt{a_4 y'^2 + b_4 y' + |\vec{\eta}|^2} \right) - \ln \left(p_1 + k_3 y' + \sqrt{a_3 y'^2 + b_3 y' + |\vec{\eta}|^2} \right), \quad (4)$$

где введены обозначения $a_3 = k_3^2 + 1$, $b_3 = 2p_1 k_3 + 2p_2$, $a_4 = k_4^2 + 1$, $b_4 = 2p_1 k_4 + 2p_2$.

Первообразная функции $\ln(p + ky' + \sqrt{ay'^2 + by' + c})$ теоретически известна, но она столь громоздка, что ее практически невозможно применять при разработке программного обеспечения. Поэтому внешний интеграл рационально рассчитывать численными методами интегрирования, например методом Ромберга. Это достаточно просто реализовать современными технологиями программирования.

Таким образом, вычисление интеграла (1) в форме (3) и (4) существенно упрощается, так как не требуется численное интегрирование по площади граничного элемента. При этом допустимо применять встроенные алгоритмы численного интегрирования имеющихся программных продуктов, что значительно сокращает время на компьютерную реализацию прикладных задач. Тем самым заметно облегчается разработка математических моделей ЭМС реальных ТС СЖАТ. Математическое моделирование ЭМС методами теории поля, в свою очередь, повышает достоверность и адекватность результатов, что особенно необходимо для систем обеспечения безопасности движения поездов.

Кроме этого, необходимо отметить, что метод векторной алгебры дает возможность вычислять коэффициенты линейных алгебраических уравнений метода граничных элементов для элементов различной формы: треугольной, прямоугольной, и даже кольцеобразной с помощью единообразного подхода. Единообразие является достоинством методики на основе векторных соотношений, так как математическому аппарату метода придаются необходимые для инженерных приложений ясность и универсализм.

УДК 621.396: 621.391.82

РАСЧЕТ ЕМКОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ СВЯЗИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ АППАРАТУРЫ ЖАТ МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Д. В. КОМНАТНЫЙ

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республики Беларусь

В целях повышения внутриаппаратурной ЭМС и снижения уровня паразитных наводок в оборудовании железнодорожной автоматики и телемеханики находят широкое применение развязывающие устройства: ре-