

многочисленных офисных ИБП, повсеместно устанавливаемых рядом с компьютерной техникой на железнодорожных станциях, что в конечном итоге приведет к повышению уровня безопасности и снижению издержек на обслуживание всего комплекса автоматики, телемеханики и связи.

УДК 621.396:621.391.82

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ К РАСЧЕТУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И РАБОЧЕЙ ЕМКОСТИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ

Д. В. КОМНАТНЫЙ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

Проектирование узлов микроэлектронной и микропроцессорной аппаратуры управления ответственными технологическими процессами требует решения проблем помехозащищенности и целостности сигнала.

Для решения первой проблемы широко применяются микрополосковые линии, представляющие собой экранированный металлическими пластинками сверху и снизу слой диэлектрика, в котором находятся линии передачи данных. Для анализа целостности сигнала в такой структуре нужно знать собственные и взаимные емкости линий. Расчет емкостей при большом числе линий можно выполнить только численными методами.

Среди численных методов простым математическим аппаратом выделяется метод эквивалентных электродов. В этом методе поверхности проводников задачи разделяются на малые прямые участки – граничные элементы. Поле каждого граничного элемента считается эквивалентным полю проводника круглого сечения, радиус которого

$$r_{\text{эк}} = \frac{l}{4}, \quad (1)$$

где l – длина граничного элемента; m , $r_{\text{эк}}$ – радиус эквивалентного электрода, м.

Затем заряды электродов вычисляются по уравнениям, записанным на основании первой формулы Максвелла, при известных потенциалах электродов, равных потенциалу исходного проводника:

$$[\alpha][\tau] = [\varphi], \quad (2)$$

где $[\alpha]$ – матрица потенциальных коэффициентов; $[\tau]$ и $[\varphi]$ – матрицы линейных зарядов и потенциалов эквивалентных электродов.

В случае расчета поля микрополосковой линии необходимо учесть заряды, индуцированные на плоскостях – экранах. Это может быть сделано методом электростатических отражений, который хорошо описан в литературе.

Для использования данного метода эквивалентные электроды размещаются только на линиях передачи сигналов. Заряд каждого эквивалентного электрода отражается в каждой из проводящих плоскостей. После чего каждый отраженный заряд, в свою очередь, отражается в противоположной плоскости. В результате образуется бесконечный ряд отраженных в обеих плоскостях зарядов.

Собственный потенциальный коэффициент в (2) связывает потенциал в точке на поверхности эквивалентного электрода с зарядом электрода, размещенным в его центре, и потенциал в центре электрода – с отражением заряда электрода. Взаимный потенциальный коэффициент связывает потенциал в центре электрода i с зарядом электрода j и с отражениями заряда электрода j .

Формула для собственного потенциального коэффициента α_{ii} , м/Ф, имеет вид

$$\alpha_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{1}{r_{\text{эк}}} \pm \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{1}{d_{in}}, \quad (3)$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; ϵ_0 – электрическая постоянная, Ф/м; d_{in} – расстояние между электродом и его отражением, м.

Взаимный потенциальный коэффициент α_{ij} , м/Ф, рассчитывается по формуле

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{1}{r_{ij}} \pm \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{1}{d_{ijn}}, \quad (4)$$

где r_{ij} – расстояние между электродами i и j , м; d_{ijn} – расстояние между электродом i и отражением электрода j , м.

Учет зарядов экранов описанным способом сокращает размерность матрицы коэффициентов, хотя усложняет их расчет и вносит погрешность за счет использования в расчетах конечного числа членов бесконечных рядов (3) и (4).

Следует отметить, что предложения по применению метода эквивалентных электродов для расчета поля в неоднородных средах отсутствуют в доступных автору материалах разработчиков этого метода. Поэтому сочетание метода эквивалентных электродов и метода электростатических отражений выполнено автором как развитие и дополнение уже предложенного метода для нужд конструкторской практики.

Расчеты на ЭВМ модельной задачи о поле микрополосковой линии, состоящей из одной линии передачи, показали следующее.

Собственные потенциальные коэффициенты могут оказаться меньшими нуля при малом числе учтенных отражений. Необходимо иметь минимум семь отражений для получения корректной матрицы коэффициентов с диагональным преобладанием.

Граничные условия на линиях передачи удовлетворяются весьма точно при достаточном числе разбиений и небольшом числе отражений. Граничные же условия на плоскостях — экранах (потенциал экранов равен нулю) удовлетворяются с достаточной точностью при небольшом числе отражений, если заданный потенциал линии передачи невелик. Это объясняется тем, что чем больше заряд, на котором оборваны бесконечные ряды, тем дальше его нужно располагать от плоскости. Тогда нескомпенсированный потенциал оказывается малым. А чтобы расположить отраженный заряд достаточно далеко от плоскости, требуется выполнить большое число отражений.

По теореме единственности решения электростатических задач можно заключить, что полученное распределение заряда эквивалентных электродов линии передачи является искомым. Оно может использоваться для расчета емкости проводников линии передачи по известным соотношениям.

УДК 656.259.12

РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ МЕТОДОМ ФУРЬЕ

Д. В. КОМНАТНЫЙ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

Разработка современных микропроцессорных систем автоблокировки и автоматической локомотивной сигнализации требует анализа передачи по рельсовым цепям (РЦ) аperiodических полезных сигналов и импульсных помех. Об этом свидетельствуют работы В. И. Лисенкова, А. Б. Косарева, А. М. Костроминова.

Для решения указанной задачи необходим удобный математический аппарат. Из монографии А. Анго следует, что таким аппаратом являются интегралы Дюамеля. Если известна переходная характеристика рельсовой цепи, то напряжение в ней может быть найдено путем численного интегрирования.

Переходная характеристика определяется путем расчета переходного процесса при подключении на питающем конце рельсовой цепи источника постоянного напряжения $E = 1$ В. Этот расчет сводится к решению «телеграфных уравнений» во временной области.

Постановка задачи такова. К питающему концу рельсовой цепи в момент времени $t = 0$ подключается источник ЭДС E нулевого сопротивления. На приемном конце рельсовой цепи имеется сопротивление R_n приемника микропроцессорной автоблокировки. Согласно работам А. Б. Косарева и Б. И. Косарева рельсовая цепь характеризуется ее погонной индуктивностью L и проводимостью утечки G . Тогда из известных «телеграфных уравнений» следует, что напряжение в рельсовой цепи подчиняется уравнению Фурье

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{GL} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \quad (1)$$

При этом

$$u(0, t) = E \quad u(l, t) = R_n i(l, t); \quad (2)$$

$$u(x, 0) = 0. \quad (3)$$

Граничным условиям (2) можно придать вид

$$u(0, t) = E \quad \frac{\partial u(l, t)}{\partial x} + R_n G u = 0. \quad (4)$$

Обозначим

$$\frac{1}{LG} = a^2; \quad R_n G = h. \quad (5)$$