

Рисунок 2 – Включение индуктивности в продольную ветвь схемы защиты

Однако введение в продольную ветвь схемы защиты сопротивления приводит к тому, что на этом сопротивлении наблюдается падение уровня напряжения полезного сигнала. Для определения оптимального значения включаемой индуктивности было проведено моделирование с последовательным изменением величины ее значения. В результате получен график зависимости напряжения на защищаемом объекте от величины индуктивности в продольной цепи $U_n = f(L_3)$ (рисунок 3).

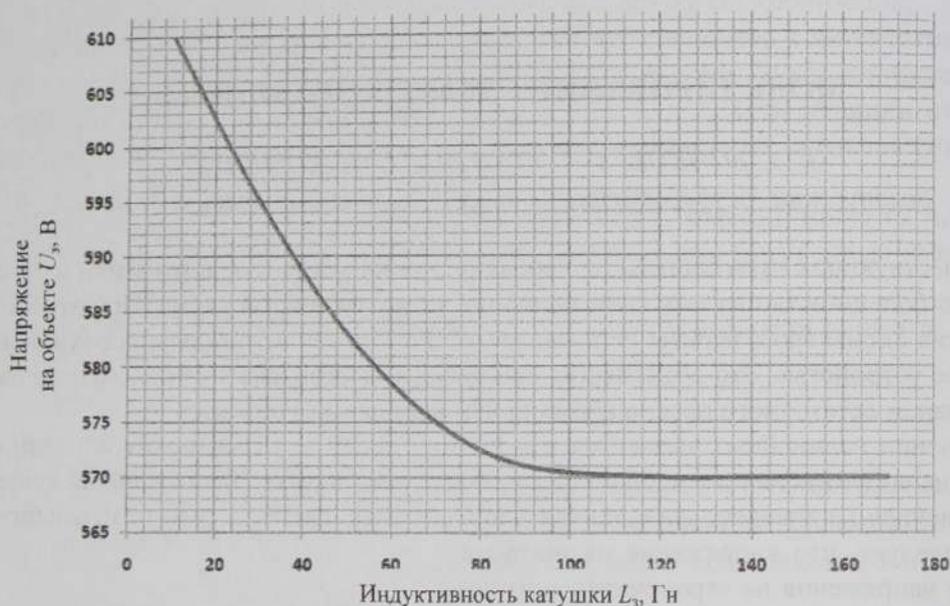


Рисунок 3 – Зависимость напряжения на нелинейном элементе от индуктивности в продольной цепи схемы защиты

График зависимости представлен для уровня ограничения (квалификационного напряжения) варистора 570 В.

Анализ полученной зависимости показывает, что с увеличением индуктивности в продольной ветви схемы защиты напряжение на защищаемом объекте снижается практически до уровня квалификационного напряжения элемента защиты, а увеличение индуктивности более 100 мкГн не вносит существенного снижения уровня перенапряжения на защищаемой цепи. В связи с этим можно считать целесообразным установку дополнительного индуктивного элемента величиной 80–100 мкГн в продольную ветвь схемы защиты.

УДК 621.396: 621.391.82

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ С СИММЕТРИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ПРОВОДНИКОВ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Д. В. КОМНАТНЫЙ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

Полосковые линии связи широко используются в конструкциях печатных плат микроэлектронной и микропроцессорной техники. Эти линии представляют собой экранированный металлическими пластинками сверху и снизу слой диэлектрика, в котором находятся линии передачи данных

в виде проводников прямоугольного сечения. Такая конструкция обеспечивает защищенность линий от внешних помех, что делает полосковые линии предпочтительными для применения в узлах аппаратуры управления ответственными технологическими процессами.

Для проектирования полосковых линий требуется рассчитывать собственные и взаимные емкости проводников. При расчете емкостей необходимо определить распределение электрического заряда в структуре линии, что для реальных конструкций может быть выполнено только численно.

В докладе рассматривается расчет распределения заряда по проводникам полосковой линии, проводники которой лежат на равном расстоянии от экранирующих плоскостей. Предполагается, что электростатическое поле в линии является плоскопараллельным, а площадь сечения проводников пренебрежимо мала. Для расчета применяется метод эквивалентных электродов. В этом методе плоские проводники линии передачи разделяются на малые прямые участки – граничные элементы. Поле отдельного граничного элемента считается эквивалентным полю проводника круглого сечения, радиус которого

$$r_3 = \frac{l}{4}, \quad (1)$$

где r_3 – радиус эквивалентного электрода, м; l – длина граничного элемента, м.

Центры граничного элемента и эквивалентного электрода совпадают.

Линейные плотности зарядов эквивалентных электродов связаны с потенциалами электродов системой линейных алгебраических уравнений, следующей из первой группы формул Максвелла

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

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

Для расчета матрицы коэффициентов системы (2) удобно ввести прямоугольную декартову систему координат, в которой ось Ox совпадает с осью горизонтальной симметрии полосковой линии. Тогда все эквивалентные электроды будут иметь координату $y = 0$.

Взаимные потенциальные коэффициенты связывают потенциал в центре электрода i с линейной плотностью заряда электрода j и с линейными плотностями зарядов отражений электрода j в экранирующих плоскостях согласно методу зеркальных изображений. Для этих коэффициентов известна замкнутая формула

$$\alpha_{ij} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi}{2b}(x_i - x_j)}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi}{2b}(x_i - x_j) + 1}, \quad (3)$$

где α_{ij} – взаимный потенциальный коэффициент, м/Ф; ϵ_0 – электрическая постоянная, Ф/м; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; x_i – координата электрода i , м; x_j – координата электрода j , м; b – расстояние между экранирующими плоскостями, м.

Чтобы исключить расходимости в докладе принимается, что собственные потенциальные коэффициенты связывают потенциал в точке на поверхности эквивалентного электрода i с линейной плотностью заряда электрода, расположенного в центре электрода, и с линейной плотностью зарядов-отражений электрода i в экранирующих плоскостях. Расчетная формула для собственных потенциальных коэффициентов получается из (3) и имеет вид

$$\alpha_{ii} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi}{2b} r_3}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi}{2b} r_3 + 1}, \quad (4)$$

α_{ii} – собственный потенциальный коэффициент, м/Ф.

В описанном в литературе расчете электростатического поля в полосковой линии методом поточечной коллокации расходимость устраняется путем перехода к расчету потенциала непрерывно распределенного по граничному элементу заряда и потенциала линейных зарядов-отражений в центре граничного элемента. Геометрическим методом можно показать, что с уменьшением l и r_3 , разность

между потенциалами в центре и на поверхности эквивалентного электрода становится пренебрежимо малой. Следовательно, результаты расчетов методом эквивалентных электродов и методом поточечной коллокации будут различаться на незначительную величину. Но, в отличие от метода поточечной коллокации, соотношения (3) и (4) метода эквивалентных электродов имеют одинаковую математическую форму. Это облегчает реализацию метода эквивалентных электродов на ЭВМ.

Выполненные на ЭВМ расчеты распределения линейных плотностей зарядов эквивалентных электродов в полосковой линии показали:

- погрешность расчета потенциала в контрольной точке на проводнике линии связи по ранее рассчитанной плотности зарядов электродов составила единицы процентов;
- указанная погрешность медленно убывает с ростом густоты сетки;
- погрешность расчета потенциала на экранирующих плоскостях незначительна (порядка 0,01 В) и почти не убывает с ростом густоты сетки.

Результаты расчетов позволяют сделать вывод, что метод эквивалентных электродов расчета параметров полосковой линии частного вида может использоваться в конструкторской практике.

УДК 656.25

МЕТОДИКА ИМИТАЦИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ КОМПОНЕНТОВ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В ПАКЕТЕ PSPICE

А. А. КОРОЛЁВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В последнее время микроэлектронные системы стали все чаще применяться в системах управления ответственными технологическими процессами, таких как управление движением поездов, химическое производство, авиационные системы и др. К таким системам предъявляются дополнительные требования по обеспечению функциональной безопасности, то есть к способности системы не подвергать опасности человеческую жизнь, экономику и окружающую среду при возникновении в ней неисправностей.

Численные показатели функциональной безопасности являются очень малыми величинами. Учитывая относительно небольшое количество таких систем, подтвердить эти показатели статистическими методами практически невозможно. В связи с этим основным способом подтверждения соответствия микроэлектронных систем требованиям функциональной безопасности являются испытания и моделирование поведения системы при отказах элементов. Такой подход регламентирован международными (IEC 61508), европейскими (EN 50126, EN 50129), российскими (ОСТ 32.146, ОСТ 32.41) и белорусскими (РД РБ БЧ 19.055, РД РБ БЧ 19.057) нормативными документами.

В данных нормативных документах определен следующий алгоритм анализа соответствия системы требованиям функциональной безопасности.

Определяется перечень учитываемых неисправностей элементов, который формируется на основе соответствующих документов.

Каждая неисправность из перечня последовательно вносится в схему, и выполняется анализ поведения системы по следующим критериям:

- нарушение условий безопасности классифицируется как опасный отказ;
- регистрация неисправности и блокировка системы классифицируется как защитный отказ;
- остальные случаи классифицируются как маскируемый отказ, допускающий накопление неисправностей и требующий дальнейшего анализа.

Выполняется расчет вероятности возникновения кратных неисправностей и, в случае если эта вероятность больше допустимой, имитируются кратные неисправности. (На практике двукратные неисправности имитируются всегда, трехкратные – только в случае накопления отказов или при возникновении зависимых отказов).

Система считается выдержавшей испытания, если не обнаружено ни одного опасного отказа.