

ИСКЛЮЧЕНИЕ ОСОБЕННЫХ И СВЕРХОСОБЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЦЕПЕЙ С МГНОВЕННОЙ КОММУТАЦИЕЙ

Федотов Ю.Б., Герасимов А.М., Малышев А.В.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск

Тел.: 89876950596. E-mail: alex_grsmv@mail.ru

Аннотация: В статье рассматривается ситуации возникновения «сверхособенных» состояний при моделировании электрических цепей. Разработан математический алгоритм расчёта СО-ситуаций, сводящий к минимуму количество расчётных формул и матричных операций.

Ключевые понятия: сверхособенные сечения, сверхособенный контур, СО-ток, СО-напряжение, матрица.

При моделировании цепей с мгновенной коммутацией в промежуточных состояниях, существующих лишь в изолированных точках временной оси, возможно возникновение некорректных ситуаций (сказанное относится только к таким моделям, в которых условия переключения каждого ключа обрабатываются отдельно, и новое значение состояния каждого ключа формируется в функции тока и напряжения его независимо от состояний других ключей).

Сверхособенные сечения (СО-сечения) - это сечение, в которое входят только PЛ-ветви, причем суммарный ток ЛJ-ветвей сечения не равен нулю.

Сверхособенный контур (СО-контур) - это контур, в который входят только СЕZ-ветви, причем суммарное напряжение СЕ-ветвей контура (контурная ЭДС) не равно нулю. Разумеется СО-сечение и контуры могут возникать только в достаточно идеализированных моделях, где не учитываются проводимости утечки и остаточные сопротивления замыкания, но именно с этим планом моделей часто приходится работать.

«Сверхособенные» ситуации в цепях возникают в трех случаях:

- при промежуточных дискретных состояниях цепи, когда один идеальный ключ уже замкнут, а второй еще не разомкнулся и наоборот;
- когда постановщик задачи сам задает «сверхособенную» аварийную ситуацию например, искусственно замыкает какой-либо ключ, имитируя короткое замыкание,
- из-за неточности отыскания моментов перехода через нуль токов и напряжений при коммутации идеальных вентилях.

Правильная последовательность переключения обеспечивается, если «сверхособенные» токи и напряжения, возникающие в некорректных ситуациях, вычисляются из того же предположения, что и «особенные» токи и напряжения, т.е. из предположения, что разомкнутые ключи зашунтированы резисторами с бесконечно малой проводимостью, и последовательно замкнутым ключом включены резисторы с бесконечно малым сопротивлением [6].

Перейдем к выводу формул для СО-ситуаций. Вычисление здесь удобно проводить используя принцип наложения. Дадим сначала пояснение на простом примере (рис. 1), где есть только одно СО-сечение S, других СО-сечений нет. ЛЦ1 и ЛЦ2 - линейные цепи содержащие ECRLJ-ветви [1].

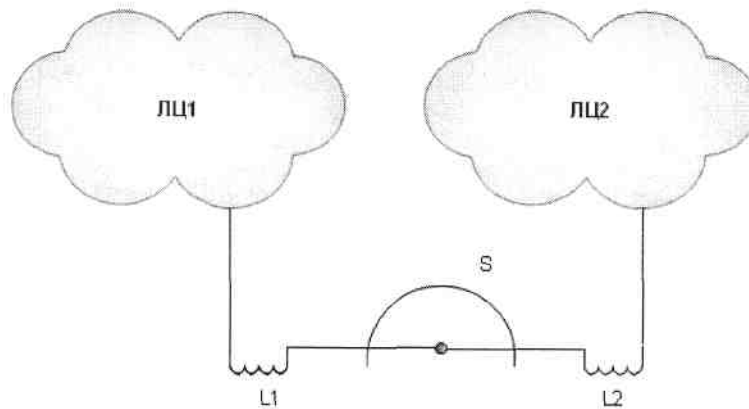


Рисунок 1

Сечение S является СО-сечением:

$$IL_1 + IL_2 = IS \neq 0.$$

(1)

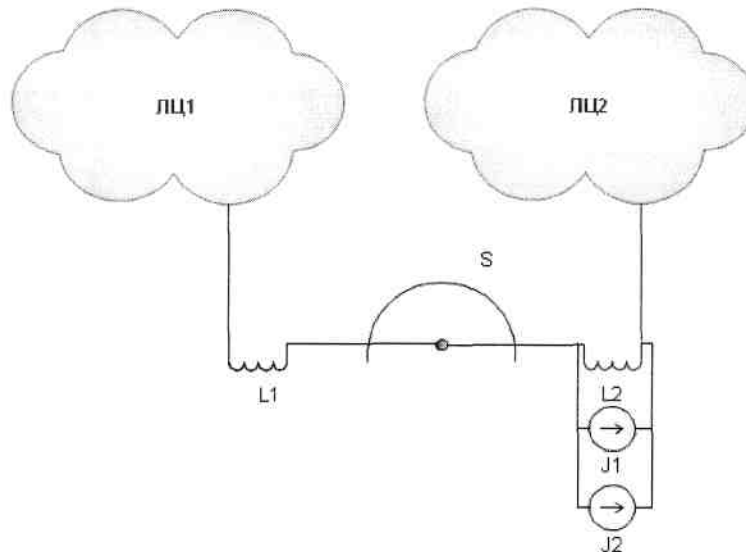


Рисунок 2

Введем в исходную цепь G дополнительно два источника тока J_1 и J_2 (рис. 2) подключенных к вершинам L_2 -ветви дерева, образующей СО-сечение. Дополнительную цепь мы будем рассматривать при двух значениях источников:

режим 1 $J_1 = -I_s$; $J_2 = 0$;

режим 2 $J_1 = -I_s$; $J_2 = I_s$.

Режим 2 соответствует в точности исходному режиму ($J_1 + J_2 = 0$). Режим 1 является нормальным режимом (не сверхособенным). Цепь G + J_1 назовем G_{\sim} рис. 3, все ее переменные в режиме 1 будем обозначать с одной тильдой.

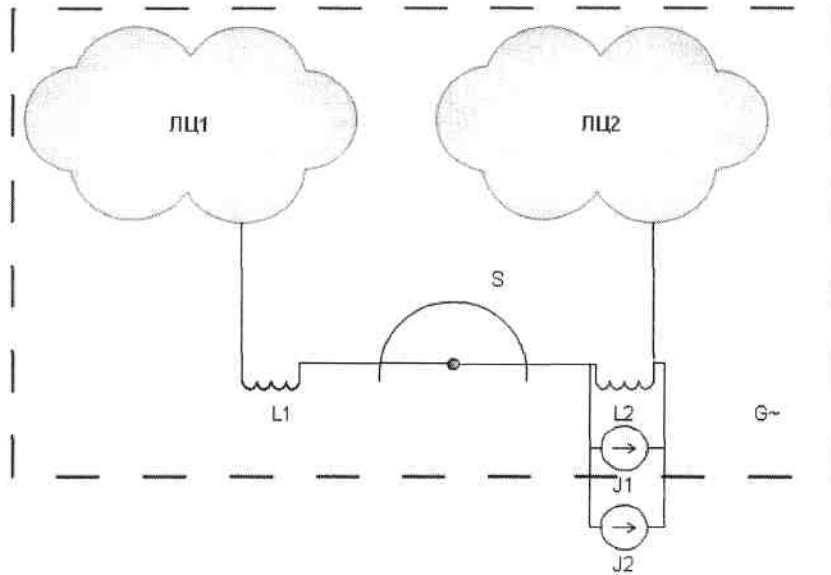


Рисунок 3

Исходный режим в точности соответствует режиму G при возбуждении ее источником $J_2 = IS$. Анализ нормального режима цепи G~ (при $J_2 = 0$) проводится обычным способом. В результате его получаем первые составляющие токов и напряжений ветвей $I\sim, U\sim$, вызванных действием ненулевых значений переменных состояния (IL, UC) и внутренних источников (IJ, UE). На второй стадии рассматривается цепь G~ с нулевыми значениями внутренних источников и переменных состояния, но уже ненулевым источником $J_2 = IS$. В результате решения ее должны быть вычислены вторые составляющие токов и напряжения ветвей $I\approx, U\approx$. Однако вторая задача является «сверхособенной», непосредственное вычисление невозможно. Чуть модифицируем ее так - припишем источнику J_2 ненулевую внутреннюю проводимость ρ (рис. 4) [2].

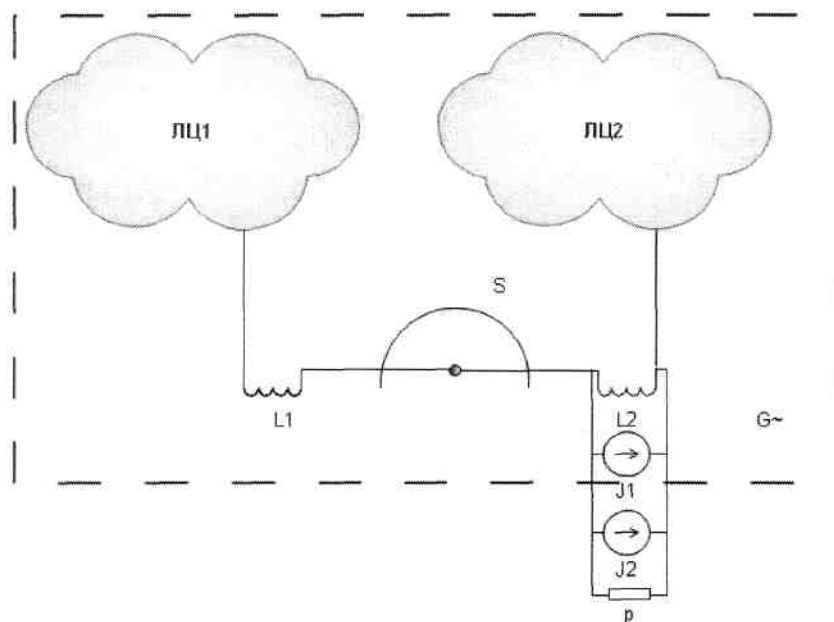


Рисунок 4

Поскольку сечение S имеет бесконечное сопротивление, а значение переменных сечения и источников $G\sim$ в рассматриваемом режиме равны нулю, то

$$U\approx u\approx_{ab} = -1/\rho \cdot J/2 \quad (2)$$

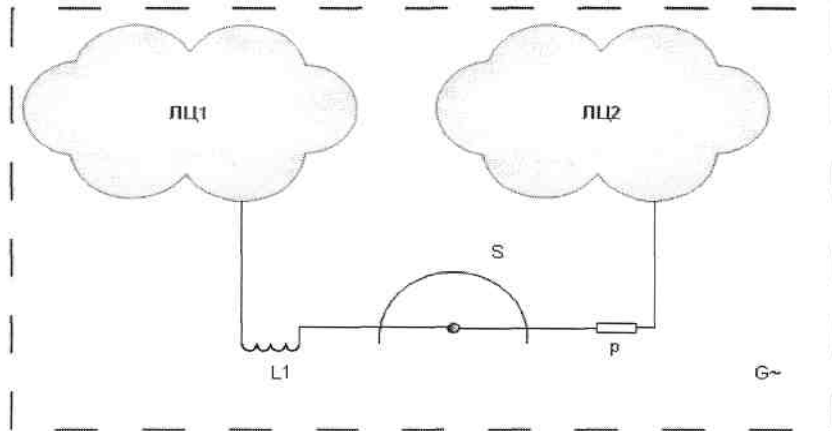


Рисунок 5

Так что рассматривается задача рис. 5. В этой задаче уже нет СО-сечения и ее можно решать обычным способом. Задача по вычислению $I\approx$, $U\approx$ имеет существенную особенность, позволяющую сделать процедуру простой. Во-первых, все токи $I\approx = 0$, т.к. ток самого источника $I(U\approx) = 0$. В силу этого равны нулю составляющие напряжений всех ветвей с ненулевой проводимостью, т.е. $U\approx_{ECR} = 0$. Ненулевым могут быть только $U\approx_{PLJ}$ [3].

Ничего не изменяется в этом процессе по существу, если в цепи будет несколько СО-сечений. Выведем формулы для обработки СО-сечений (для вычисления составляющих $U\approx_{PLJ}$). Предполагается, что имеется упорядоченная по приоритету структурная матрица T . Для вычисления $U\approx_{PLJ}$ в соответствии со сказанным нужен только блок этой матрицы

$$T_{PLJ} = X$$

(заштрихованы заведомо нулевые блоки). Вычислим токи сечения с бесконечным сопротивлением

$$I_{сеч, JL} = -T_{JL, JL}^t \cdot I_{JL}^X + I_{JL}^D \quad (3)$$

Некоторые из элементов вектора $I_{сеч, JL}$ равны нулю, им соответствуют не сверхособенные сечения, другие не равны нулю - им соответствуют СО-сечения. В частности всегда равны нулю токи $I_{сеч, P}$. [4] Однако мы выведем формулы так, будто все сечения сверхособенные. При этом каждое сечение оказывается зашунтированным внутренним сопротивлением источника тока и задача о распределении СО-напряжений оказывается определенной без дополнительных допущений. СО-напряжения сечений

$$U\approx_{JL}^D = -1/\rho \cdot I_{сеч} \quad (4)$$

СО - напряжения хорд определяются формулой

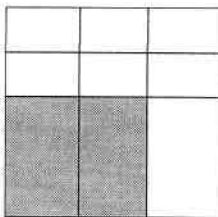
$$U\approx_{PLJ}^X = -T_{PLJ, JL} \cdot U\approx_{JL}^D \quad (5)$$

Как уже упоминалось

$$I\approx_{PLJ} = 0 \quad (6)$$

Для всех остальных ветвей обе СО-составляющие $I\approx$, $U\approx$ равны нулю. Аналогичным

образом ведутся вычисления для СО - контуров. Выведем формулы для них. Здесь нам нужен только блок $T_{CEZ,CEZ}$ матрицы T .

$$z_{,CEZ} = T_{CE} \cdot x$$


для UKOHT имеем:

$$U_{\text{KONT}} = T_{\text{CE,CE}} \cdot U_{\text{CE}}^D + U_{\text{CE}}^X \quad (7)$$

Здесь опять некоторые элементы U_{KONT} будут нулевыми, но пока мы этого не учитываем. СО - токи контуров

$$I_{\text{CE}}^X = -1/\rho \cdot U_{\text{KONT,CE}}, \quad (8)$$

и наконец

$$I_{\text{CEZ}}^D = T_{\text{CE,CEZ}}^t \cdot I_{\text{CE}}^X \quad (9)$$

этим расчет СО - составляющих закончен. [5]

В самих расчетных формулах не фигурируют дополнительные источники $V1, V2, J1, J2$ и их можно было бы и не упоминать. Единственная причина, по которой мы вводим их - это один принцип, относящийся к КЛР-цепи - правильная последовательность переключения в КЛР-цепи обеспечивается, если распределение токов и напряжений ключей вычисляется из предположения о неотрицательных (пусть очень малых) сопротивлениях замкнутых ключей и неотрицательных проводимостях разомкнутых ключей. Каковы величины этих сопротивлений и проводимостей, значения не имеет, важно только, чтобы они были неотрицательны. При произвольном распределении порядок переключения может нарушиться. Поэтому мы вынуждены конструировать «надцепи» для вычисления распределения СО-напряжения и СО-токов. Фактически мы внесли при этом в каждый СО-контур малое сопротивление $R = \rho$, а в каждое СО-сечение - малую проводимость $Y = \rho$. Можно было бы вводить "дефекты" другим способом, однако тогда усложнились бы расчеты. В описанном варианте не требуется дополнительной перестройки T - матрицы и обращений матриц, что понадобилось бы в других вариантах [1].

Список использованной литературы

1. Маркус М., Минк Х. Обзор по теории матриц и матричных неравенств. Перевод с английского. 2004 – 232с.
2. Олемской И.В., О численном методе интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Оптимальное управление в механических системах, 1983: с. 178–185.
3. Ортега, Д., Пул У.. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений. М.: Наука. 1986 – 288с.
4. Хайрер Э., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Мир. 1990 – 512с.
5. Холл Д., Уатт Д. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Мир. 1979 – 312с.
6. Чуа Л.О., Лин П.-М. Машинный анализ электронных схем. (Алгоритмы и вычислительные методы). М.: Энергия. 1980 – 640 с.