

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Рассмотрены вопросы моделирования линий электропередач с использованием самонастраивающейся математической модели, позволяющей анализировать режимы работы линий, отслеживая мгновенные значения параметров. Полученная модель может быть использована для построения быстродействующей защиты от междуфазных замыканий в линиях электропередач напряжением 10–35 кВ, имеющих небольшую протяженность.

Математическая модель, линия электропередач, защита от междуфазных замыканий.

Актуальность темы объясняется тем, что в настоящее время условия эксплуатации электрооборудования претерпевают глубокие изменения, постоянно усложняясь вместе с технологическими процессами, в которых они используются. Режимы работы электрических систем становятся более динамичными и разнообразными по характеру, что приводит к необходимости повышения быстродействия средств защиты.

В большинстве же случаев существующие защиты основаны на контроле, как правило, действующих значений токов и напряжений. Это требует сравнительно длительных наблюдений за сигналами в аварийных ситуациях для принятия правильного решения, что приводит к снижению быстродействия.

В связи с этим требуются новые подходы на основе представления защищаемых объектов более полными и точными математическими моделями, отражающими как статические, так и динамические свойства защищаемых объектов.

В основу предлагаемого метода выявления повреждений в линиях электропередач (ЛЭП) положен принцип работы самонастраивающейся программной математической модели контролируемой линии. Метод справедлив для анализа режимов линий напряжением 10–35 кВ.

Выбор математической модели начнем с представления линии электропередач в виде конечной цепочки RLC параметров, изображенной на рис 1.

На рисунке указаны: R_A, R_B, R_C – активные сопротивления соответственно фаз А, В, С; L_A, L_B, L_C – индуктивности фаз А, В, С; C_A, C_B, C_C – емкости относительно земли фаз А, В, С; емкости между фаз А, В, С – C_{AB}, C_{BC}, C_{AC} .

Для линий 10–35 кВ междуфазными емкостными составляющими можно пренебречь, ввиду их незначительного влияния на переходные процессы в линии.

Таким образом, исходная схема замещения, изображенная на рис. 1, примет вид, представленный на рис. 2.

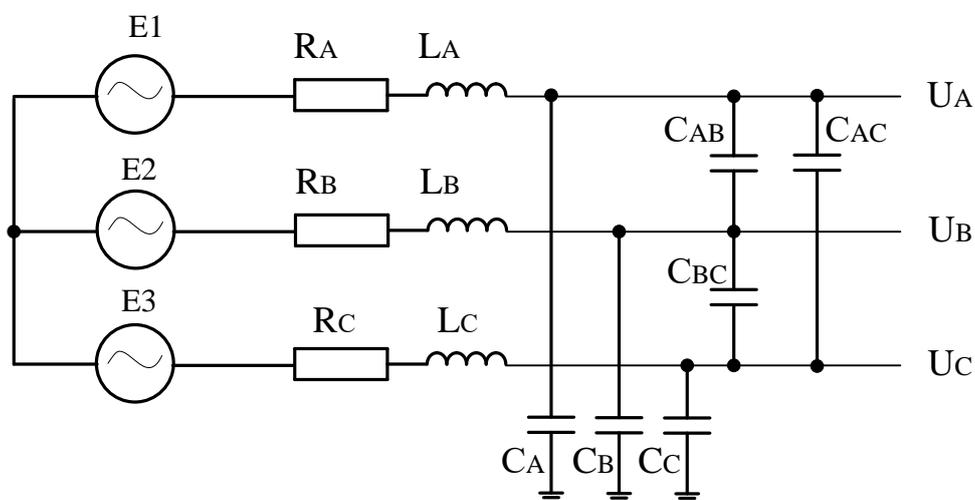


Рис. 1. Схема замещения ЛЭП в виде RLC-цепи

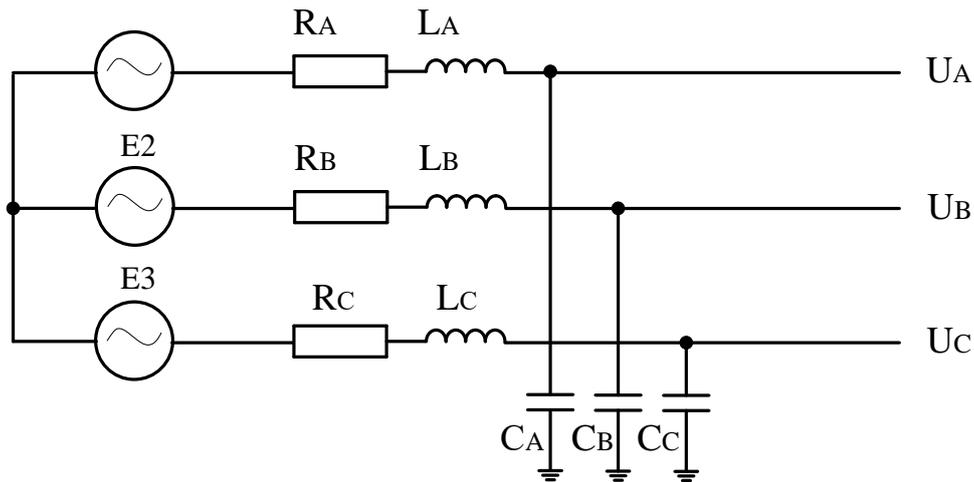


Рис. 2. Упрощенная схема замещения ЛЭП в виде RLC-цепи

Моделью для данной схемы замещения служит активно-индуктивно-емкостное звено, изображенное на рис. 3 [1].

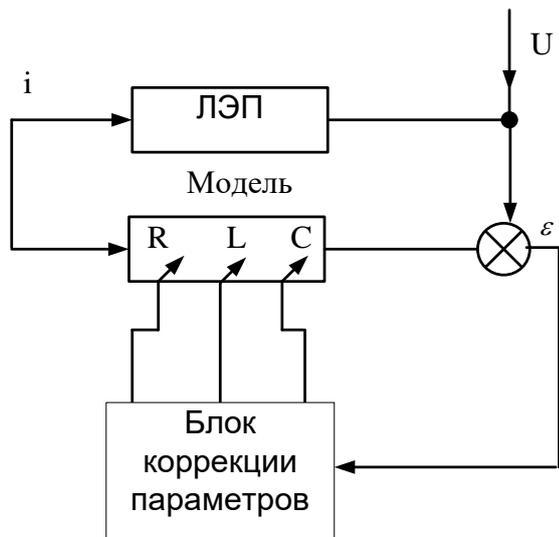


Рис. 3. Структурная схема модели RLC-цепи

Эта модель описывается уравнением закона Кирхгофа в дифференциальной форме [2]:

$$u = R_w i + L_w \frac{di}{dt} + \frac{1}{C_w} \int idt, \quad (1)$$

где R_w , L_w и C_w – активное сопротивление, индуктивность и емкость линии соответственно.

Учитывая значительную сложность аналитического анализа подобной системы, а также трудности ее моделирования, докажем возможность неучета емкостной составляющей дифференциального уравнения.

Для доказательства представим одну из фаз ЛЭП П-образной схемой замещения, изображенной на рис. 4 [3].

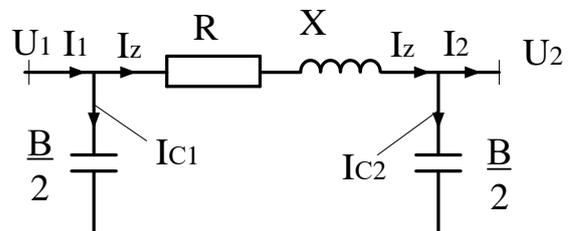


Рис. 4. П-образная схема замещения ЛЭП

На рисунке приняты следующие обозначения: U_1, U_2, I_1, I_2 – комплексные действующие значения токов и напряжений по концам линий; I_z – ток в продольном сопротивлении линии; I_{C1}, I_{C2} – токи в поперечных емкостных проводимостях; B – емкостная проводимость.

По первому закону Кирхгофа имеем следующие соотношения для токов в схеме замещения:

$$I_1 = I_z + I_{C1};$$

$$I_z = I_2 + I_{C2}.$$

Согласно второму закону Кирхгофа:

$$U_1 = U_2 + \Delta U,$$

где ΔU – падение напряжения на продольном сопротивлении.

Учитывая соотношения между токами и напряжениями в ЛЭП, построим диаграмму соотношения токов и напряжений, изображенную на рис. 5.

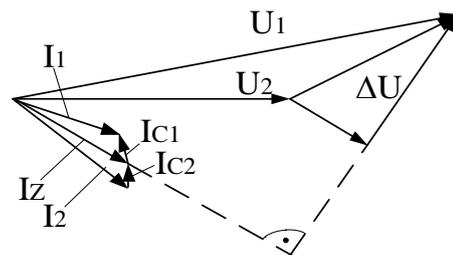


Рис. 5. Векторная диаграмма токов и напряжений в ЛЭП

Диаграмма наглядно указывает на тот факт, что емкостные токи I_{C1} , I_{C2} значительно меньше, чем ток I_Z в продольном сопротивлении линии, поэтому при построении модели индуктивной составляющей в дифференциальном уравнении (1) можно пренебречь.

Учитывая все вышесказанное, уравнение, описывающее математическую модель ЛЭП, примет вид:

$$u = R_w i + L_w \frac{di}{dt} \quad (2)$$

Однако следует сказать, что такое упрощение неприемлемо при рассмотрении однофазных и различных других замыканий на землю, так как в этом случае преобладает емкостная составляющая тока.

Итоговая модель линии изображена на рис. 6.

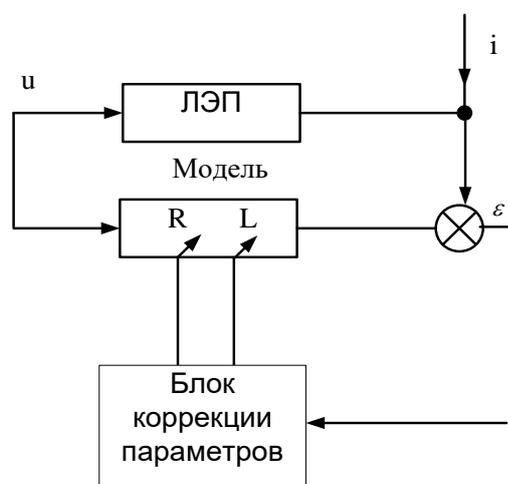


Рис. 6. Структурная схема упрощенной модели ЛЭП

Таким образом, полученная модель может быть использована для построения защиты от между-

фазных замыканий в ЛЭП напряжением 10–35 кВ, имеющих небольшую протяженность.

Несмотря на все приведенные упрощения, которые направлены на повышение быстродействия разрабатываемой защиты, можно говорить о незначительном снижении точности получаемых результатов.

Рассматриваемая модель в качестве входных сигналов использует ток и напряжение, а на выходе позволяет анализировать активную и реактивную (индуктивную) составляющие сопротивления. Таким образом, защита, построенная на основе предложенной математической модели, будет обладать большей точностью, чем, например, реле сопротивления [4], вычисляющее полное сопротивление. Построенную на основе такой модели защиту в дальнейшем можно будет использовать в качестве одного из каналов существующих цифровых защит.

Литература

1. Ванин, В. К. Релейная защита на элементах вычислительной техники / В. К. Ванин, Г. Н. Павлов. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1991. – 335 с.: ил.
2. Теоретические основы электротехники. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле: учеб. пособие / Г. И. Атабеков, С. Д. Купалян, А. Б. Тимофеев, С. С. Хухриков; под ред. Г. И. Атабекова. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. – 432 с.
3. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети: учеб. пособие / А. В. Лыкин. – Москва: Университетская книга: Логос, 2006. – 254 с.
4. Моделирование устройств противоаварийной автоматики для предотвращения асинхронных режимов в ЭЭС по эксплуатационным формулам / Е. К. Лоханин, В. Г. Наровлянский, А. И. Скрыпник, Т. О. Товстяк // Электрические станции. – 2009. – № 9. – С. 54–58.

O.S. Vyatkina, A.N. Alyunov
Vologda State University

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL TO IDENTIFY SHORT CIRCUITS IN POWER LINES

The issues of modeling power lines using a self-adjusting mathematical model that allows analyzing to analyze the operating modes of lines, tracking instantaneous values of parameters are considered. The obtained model can be used to build high-speed phase-to-phase fault protection in power lines with a voltage of 10-35 kV, which have a small length.

Mathematical model, power line, phase-to-phase fault protection.