

В.И. Новаш, М.И. Стрелюк, Л.Н. Свита,
И.И. Сергей, Е.Ф. Зарецкий

РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ДАЛЬНИХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЦВМ

Для правильной настройки устройств релейной защиты необходимо знать получаемую остаточную несимметрию по току и напряжению фактического режима работы электрической системы, содержащей длинные линии с удлиненными циклами транспозиции. Общепринятые классические методы расчета дальних ЛЭП [1,2] (по известным э.д.с.) хорошо зарекомендовали себя при исследовании однофазных линий. Однако для трехфазных ЛЭП они не имеют строгого математического обоснования и реализуются с большими трудностями, особенно если необходимо учесть транспозицию фаз.

В статье предлагается алгоритм расчета установившегося режима протяженных линий с учетом транспозиции фаз и влияния близости земли по заданным параметрам режима в конце линии. Сущность метода заключается в том, что линия с распределенными параметрами разбивается на участки с сосредоточенными параметрами. Если длина одной ячейки такой схемы составляет 25—50 км, то погрешность в воспроизведении составляющих высших частот до 750—1000 Гц (15—20 гармоники) не превышает 5—10%. Учитывая, что на работу устройств релейной защиты гармоники выше 20-й влияния не оказывают, то для анализа поведения релейной защиты в переходных режимах такое представление ЛЭП оказывается весьма полезным, так как позволяет свести задачу к решению системы обыкновенных дифференциальных и алгебраических уравнений. Математическая модель разработана для линии с двусторонним питанием, принципиальная схема которой показана на рис. 1. Линия представляется цепочечной схемой с сосредоточенными параметрами. Звено цепочечной схемы замещается Т-образной схемой замещения, которая в отличие от П-образной позволяет более просто учесть транспозицию фаз линии. В качестве нулевого провода трехфазной ЛЭП служит земля. На линиях сверхвысокого напряжения применяют горизонтальное расположение проводов, которые расщепляются на два и более, что приводит к существенному усложнению расчета, так как суммарное число проводов в системе возрастает во столько же раз. Практически решение можно упростить, если внести некоторые допу-

шения, почти не влияющие на результаты расчета. Следует учесть, что расстояние между проводами в фазе значительно (в десятки раз) меньше расстояний между фазами линии. Следовательно, действие магнитного поля, создаваемого другими фазами, можно считать практически одинаковыми, т.е. э. д. с.,

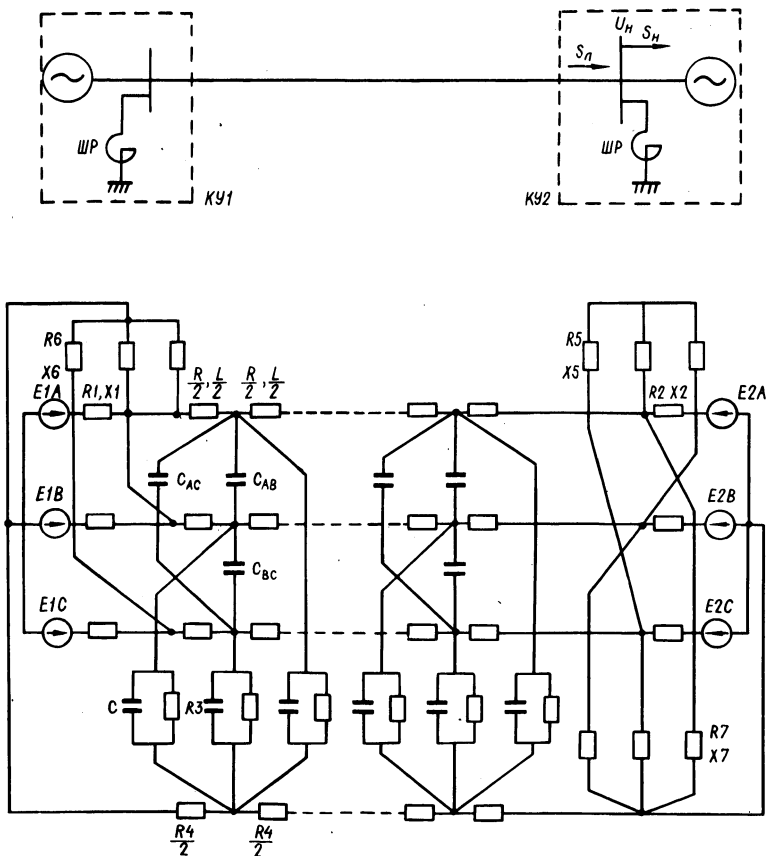


Рис. 1. Схема дальней электропередачи и ее схема замещения.

наведенные в проводах одной фазы, можно приближенно считать одинаковыми. Поэтому фаза в целом может рассматриваться в виде одного эквивалентного провода. Обычно принято считать, что собственная индуктивность фазы L является индуктивностью петли "провод—земля", а под взаимной индуктивностью между фазами M понимают величину взаимной индуктивности между двумя петлями "провод—земля". Кон-

цевые устройства (КУ) описываются упрощенно (синусоидальными э.д.с., постоянными активными R_1, R_2 и индуктивными X_1, X_2 сопротивлениями). Шунтирующие реакторы (ШР) поперечной компенсации и нагрузка также замещаются пос-

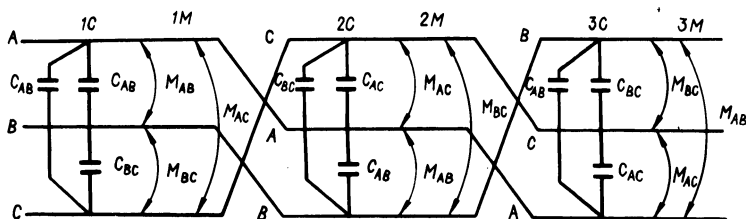


Рис. 2. Схема транспозиции проводов линии.

тоянными активными R_5, R_6, R_7 и индуктивными X_5, X_6, X_7 сопротивлениями. Принимаем, что длина одного цикла транспозиции равна 225 км на каждом участке ЛЭП. Каждому виду транспозиции S присваивается условный номер (1, 2, 3). Вид транспозиции по емкости (рис. 2) обозначен 1C, 2C, 3C, а по взаимоиנדуктивности — 1M, 2M, 3M. В результате транспонирования на каждом шаге изменяются емкости между фазами ($C_{AB} = C_{BC} = C_1; C_{AC} = C_2$) и взаимоиנדуктивности ($M_{AB} = M_{BC} = M_1; M_{AC} = M_2; M_3 = \frac{M_1 + M_2}{2}$). В табл. 1 приведены их параметры для каждого вида транспозиции.

Таблица 1

Вид транспозиции	Параметры					
	C_{AB}	C_{BC}	C_{AC}	M_{AB}	M_{BC}	M_{AC}
1	C_1	C_1	C_2	M_1	M_3	M_3
2	C_1	C_2	C_1	M_3	M_3	M_1
3	C_2	C_1	C_1	M_3	M_1	M_3

Для k -ой ячейки схемы замещения ЛЭП на основании законов Кирхгофа составляется следующая система алгебраических уравнений:

$$\dot{U}_{AKK} = \dot{U}_{AKK+1} - \dot{i}_{AKK} (R + j\omega L) - \dot{i}_{BK} j\omega M_{AB} - \dot{i}_{CK} j\omega M_{AC} + \dot{i}_{KK} R_4$$

$$\dot{U}_{B|K|} = \dot{U}_{B|K+1|} - \dot{I}_{B|K|}(R+j\omega L) - \dot{I}_{A|K|}j\omega M_{AB} - \dot{I}_{C|K|}j\omega M_{BC} + \left. \begin{array}{l} \\ + \dot{i}_{3|K|}R_4; \end{array} \right\} (1)$$

$$\dot{U}_{C|K|} = \dot{U}_{C|K+1|} - \dot{I}_{C|K|}(R+j\omega L) - \dot{I}_{A|K|}j\omega M_{AC} - \dot{I}_{B|K|}j\omega M_{BC} + \dot{i}_{3|K|}R_4;$$

$$\dot{I}_{A|K|} = \dot{I}_{A|K+1|} + \frac{\dot{U}_{A|K|}}{R_3} + \dot{U}_{A|K|}j\omega C + (\dot{U}_{A|K|} - \dot{U}_{B|K|}) \times$$

$$\times j\omega C_{AB} + (\dot{U}_{A|K|} - \dot{U}_{C|K|})j\omega C_{AC};$$

$$\dot{I}_{B|K|} = \dot{I}_{B|K+1|} + \frac{\dot{U}_{B|K|}}{R_3} + \dot{U}_{B|K|}j\omega C - (\dot{U}_{A|K|} - \dot{U}_{B|K|}) \times$$

$$\times j\omega C_{AB} + (\dot{U}_{B|K|} - \dot{U}_{C|K|})j\omega C_{BC};$$

$$\dot{I}_{C|K|} = \dot{I}_{C|K+1|} + \frac{\dot{U}_{C|K|}}{R_3} + \dot{U}_{C|K|}j\omega C - (\dot{U}_{A|K|} - \dot{U}_{C|K|})j\omega C_{AC} -$$

$$- (\dot{U}_{B|K|} - \dot{U}_{C|K|})j\omega C_{BC};$$

$$\dot{i}_{3|K|} + \dot{i}_{3|K+1|} - \frac{\dot{U}_{A|K|} + \dot{U}_{B|K|} + \dot{U}_{C|K|}}{R_3} - (\dot{U}_{A|K|} + \dot{U}_{B|K|} +$$

$$+ \dot{U}_{C|K|})j\omega C.$$

Здесь $\dot{U}_{i|K|}$ и $\dot{U}_{i|K+1|}$, $\dot{i}_{i|K|}$ и $\dot{i}_{i|K+1|}$, $\dot{i}_{3|K|}$ и $\dot{i}_{3|K+1|}$ — напряжения и токи фазы i , токи в земле двух соседних ячеек линии (нумерация ячеек ведется от начала дальней линии); R, R_3, R_4 — активные сопротивления фазы, утечки и земли одной ячейки, подсчитанные с учетом сосредоточенности параметров; C — емкость системы "провод—земля"; ω — круговая частота.

Система уравнений (1), (2) решалась методом разделения на действительные и мнимые части. Параметры КУ рассчитываются по общеизвестным формулам, которые здесь не приводятся. На основании описанной математической модели электропередачи составлена блок-схема расчета, которая приведена на рис. 3. Эта блок-схема реализована на ЭЦВМ "Минск-32".

Назначение основных ее элементов следующее. На первом этапе работы программы осуществляется ввод исходной информации, к которой относится: а) параметры линии (удельные активные сопротивления провода, земли и утечки); длина линии; расстояния между фазами и провода от земли; шаг и радиус расщепленного провода; б) режимные параметры (передаваемая мощность в конце линии); мощность и напряжение

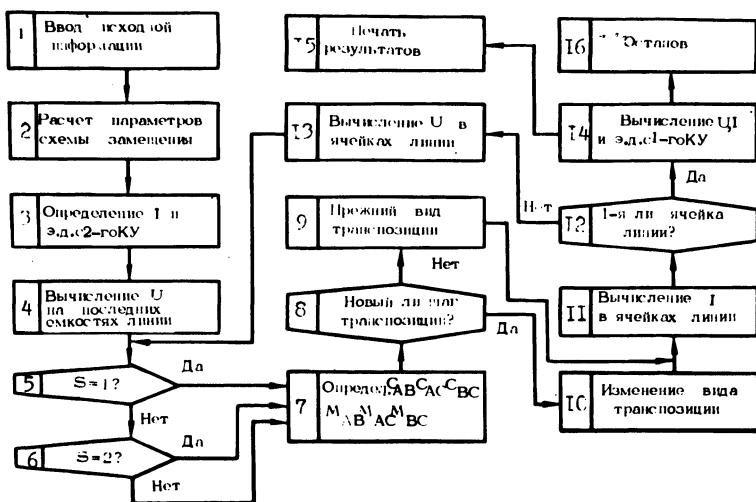


Рис. 3. Блок-схема расчета.

нагрузки; в) активные и реактивные сопротивления КУ; число ячеек линии; вид транспозиции в последней ячейке. Далее рассчитываются параметры схемы замещения, токи и э.д.с. 2-го КУ. После этого работает блок расчета действительных и мнимых составляющих напряжений и токов, организуя цикл по числу ячеек линии. Происходит накопление расчетов по всем циклам и печать их на АЦПУ в форме таблиц с соответствующими текстовыми пояснениями. Время, необходимое для расчетов, зависит от длины линии и составляет 45–60 с (для линии длиной 100–1500 км).

В ы в о д ы

Настоящая программа позволяет рассчитывать нормальные режимы в линиях с двусторонним питанием любого напряжения

длиной до 1500 км с любой индуктивной или активной нагрузкой при любом перетоке мощности по линии (индуктивном, емкостном, активном).

Произведенные расчеты показали, что в большинстве случаев при осуществлении одного цикла транспозиции длиной 225 км на каждом участке ЛЭП, расположенном между ближайшими подстанциями, несимметрия токов и напряжений оказывается в допустимых пределах.

Настоящая программа может быть использована для определения начальных условий при решении системы дифференциальных уравнений, описывающих поведение системы электропередачи в переходных режимах.

Л и т е р а т у р а

1. Веников В.А., Сиуда И.П. Расчет режимов дальних электропередач переменного тока. М., 1966. 2. Фазылов Х.Ф. Методы режимных расчетов электрических систем. Ташкент, 1964.

Г.Е. Поспелов, В.Э. Воротницкий

ОБ УЧЕТЕ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЯМИ И СТОИМОСТЬЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Для современной электрической сети весьма характерной особенностью является постоянный рост нагрузки ее элементов. Это влечет за собой соответствующее увеличение потерь напряжения, мощности и энергии. В определенный момент времени возникает необходимость в повышении пропускной способности сети. Выбранные для этого мероприятия должны обеспечить в течение расчетного периода рациональное распределение суммарных затрат между отдельными составляющими и, в частности, оптимальное соотношение между стоимостью потерь электроэнергии и отчислениями от капитальных затрат в условиях непрерывного увеличения нагрузки [1, 2].

Попытаемся решить указанную задачу в детерминированной постановке, предполагая, что закон роста максимума нагрузки электропередачи $P_t = P_0 \cdot m_t$ нам заранее известен.