

Программа использует собственную библиотеку процедур (TRU-модуль), что значительно уменьшило объем, занимаемый ею в памяти.

Программа может быть использована как специалистами на практике, так и в обучающем процессе, так как содержит теоретический блок с тестирующими вопросами, который можно по желанию как включать, так и выключать.

Структура работы программы представлена в виде блок-схемы (рисунок 1).

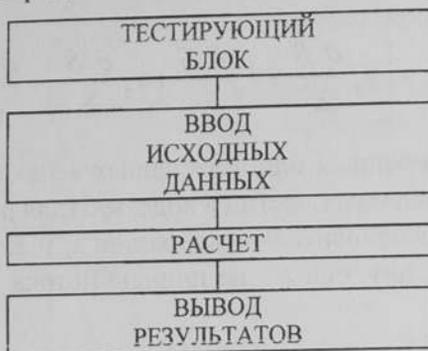


Рисунок 1 – Структура работы программы

Разработанная программа призвана избавить от рутинной работы, вместе с тем позволить модифицировать постановку задачи для того, чтобы мобильно управлять процессом, а не только заниматься расчетами. Кроме того программа включает теоретические вопросы, которые делают программу не только расчетной, но и обучающей.

УДК 621.311.1

К ВОПРОСУ ОБ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ВЛИЯНИИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ПРОДОЛЬНЫЕ ЛИНИИ АВТОБЛОКИРОВКИ

С. Г. ДОДОЛЕВ, Е. А. ЗАДОРЖНЮК

Белорусский государственный университет транспорта

Расположение линий электропередач (ЛЭП) в лесополосе значительно удорожает их установку и эксплуатацию, поэтому было принято располагать их в полосе отчуждения железной дороги. При сближении контактной сети (КС) и ЛЭП возникает значительное электростатическое влияние на линии электропередач, что ухудшает в них качество электроэнергии.

Для определения степени влияния были проведены электрические измерения на вынесенной в зону отчуждения ЛЭП по тяговой подстанции ст. Бобр Минского отделения Белорусской железной дороги прибором ЭРИС КЭ – 02, в соответствии с методикой измерения и ГОСТ 13109.97. Как показал анализ полученных результатов, влияние линий КС на продольные линии электропитания существенно.

Методика расчета взаимного влияния для параллельных линий описана в нашей статье "Методика расчета взаимного влияния линий электропередач разных уровней напряжения". В реальных условиях ЛЭП удаляются или приближаются к КС, изменяют высоту расположения относительно контактного провода. Параллельность линий сохраняется только на небольших участках. Приемлемой методики расчета для непараллельных линий нет. При удалении линии влияния от влияющей линии изменяется значение групп формул Максвелла (первой, второй, третьей). Для того чтобы их определить, необходимо найти, каким образом изменяется значение этих коэффициентов при изменении расстояния между влияющей и влияемой линией. Предложено разбивать линии на элементарные многополюсники. Коэффициенты, определяющие взаимные проводимости, рассчитываются с учетом изменения расстояния между проводами ЛЭП. Первая группа формул Максвелла записывается следующим образом:

$$[\varphi] = [\alpha_i][\tau],$$

где $[\varphi]$ – матрица потенциалов; $[\alpha_i]$ – матрица аналитических выражений потенциальных коэффициентов, с учетом расстояния между проводами; $[\tau]$ – матрица линейных зарядов проводов.

Решение первой группы уравнений Максвелла относительно зарядов τ дает вторую группу формул Максвелла следующего вида:

$$[\tau] = [\beta][\varphi],$$

где $[\beta]$ – матрица коэффициентов электростатической индукции; $[\beta] = [\alpha]^{-1}$.

Зная коэффициенты β , можно определить частичные емкости между линиями.

Для практического использования наиболее удобна третья группа формул Максвелла, которая выражает заряд каждого провода не через потенциалы проводов, а через разности потенциалов данного провода и других проводов, в том числе и земли:

$$[\tau] = [C][U],$$

где $[C]$ – матрица частичных емкостей; $[U]$ – матрица разности потенциалов.

Для системы из n проводов, подвешенных параллельно земле, третья группа формул Максвелла имеет вид

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \vdots \\ \tau_k \\ \vdots \\ \tau_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1k} & \dots & c_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{k1} & \dots & c_{kk} & \dots & c_{kn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & \dots & c_{nk} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (\varphi_1 - 0) \dots (\varphi_1 - \varphi_k) \dots (\varphi_1 - \varphi_n) \\ \vdots \\ (\varphi_k - \varphi_1) \dots (\varphi_k - \varphi_0) \dots (\varphi_k - \varphi_n) \\ \vdots \\ (\varphi_n - \varphi_1) \dots (\varphi_n - \varphi_k) \dots (\varphi_n - \varphi_0) \end{bmatrix}$$

Применяя методику расчета взаимного влияния линий электропередач разных уровней напряжения, составляем систему уравнений для определения наведенного напряжения в линии, удаляющейся от КС. Схема замещения для двух проводов показана на рисунке 1.

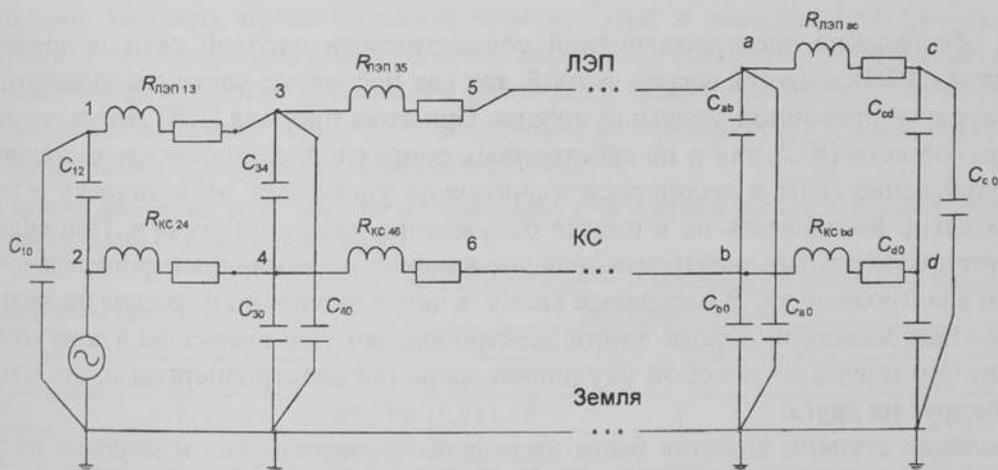


Рисунок 1 – Схема замещения участка

Емкости $C_{10}, C_{12} \dots C_{с0}$ и т. д. определяются с использованием групп формул Максвелла, сопротивления ЛЭП и КС ($R_{лэп 13} \dots R_{лэп ас}$ и $R_{кв 24} \dots R_{кв бд}$ соответственно) – обычным способом. Точность представленной модели будет в значительной степени зависеть от числа разбиений (от числа элементарных многополюсников). С помощью математического моделирования было изучено влияние числа разбиений ЛЭП на стабильность определения наведенного напряжения при изменяющемся количестве элементарных многополюсников. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, для параллельных линий число разбиений практически не влияет на точность полученного результата. Для расходящихся линий при числе разбиений более 10 происходит стабилизация процессов приближения к среднему значению, что позволяет считать процесс завершенным. Приближение линий продольного электроснабжения к тяговой сети без каких-либо защитных мероприятий вызовет в ЛЭП значительную несимметрию фазных напряжений. Это может привести к нестабильной работе нетяговых потребителей, подключенных к ЛЭП. Степень влияния КС на линии продольного электроснабжения уменьшается с увеличением расстояния между линиями ЛЭП и КС.

Таблица 1 – Среднее значение наведенного напряжения контактной сетью в продольной линии электропередачи (длина линии 2 км)

Число разбиений участка, шт.	Значение наведенного напряжения, В, при расстоянии между проводами в начале и конце участка, м		
	10 – 10	50 – 50	10 – 50
1	$2087,219-j1,213 \cdot 10^{-5}$	$145,173-j4,582 \cdot 10^{-7}$	$525,235-j2,554 \cdot 10^{-7}$
2	$2087,219-j5,215 \cdot 10^{-5}$	$145,173-j5,273 \cdot 10^{-6}$	$601,354-j1,018 \cdot 10^{-5}$
3	$2087,219-j8,727 \cdot 10^{-5}$	$145,173-j2,978 \cdot 10^{-7}$	$549,123+j4,161 \cdot 10^{-6}$
4	$2087,219-j9,769 \cdot 10^{-5}$	$145,173-j6,823 \cdot 10^{-7}$	$638,598+j4,226 \cdot 10^{-5}$
5	$2087,219-j9,279 \cdot 10^{-5}$	$145,173-j1,714 \cdot 10^{-5}$	$561,652-j5,418 \cdot 10^{-5}$
8	$2087,219-j5,676 \cdot 10^{-5}$	$145,173-j4,624 \cdot 10^{-5}$	$567,458-j1,690 \cdot 10^{-4}$
9	$2087,219+j4,529 \cdot 10^{-4}$	$145,173+j2,967 \cdot 10^{-7}$	$568,658+j1,256 \cdot 10^{-4}$
10	$2087,219+j5,138 \cdot 10^{-4}$	$145,173+j3,653 \cdot 10^{-5}$	$568,956-j8,615 \cdot 10^{-6}$
11	$2087,219-j1,048 \cdot 10^{-3}$	$145,173-j1,289 \cdot 10^{-5}$	$569,236-j8,381 \cdot 10^{-5}$
12	$2087,219-j1,758 \cdot 10^{-3}$	$145,173+j8,594 \cdot 10^{-5}$	$569,356-j4,009 \cdot 10^{-4}$

УДК 621.311.1

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ РАЗНЫХ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

С. Г. ДОДОЛЕВ, Е. А. ЗАДОРЖНЮК

Белорусский государственный университет транспорта

Проблема обеспечения электромагнитной совместимости тяговой сети и продольной линии электропередачи (ЛЭП) является весьма острой, так как последние часто располагаются параллельно трассе электрифицированной железной дороги. При этом провода ЛЭП могут находиться как на опорах контактной сети (КС), так и на собственных опорах в лесополосе вдоль железнодорожного полотна. Расположение ЛЭП в лесополосе значительно удорожает их установку и эксплуатацию, поэтому желательно располагать их в полосе отчуждения железной дороги. При сближении КС и ЛЭП возникают значительные электростатические влияния на линии электропередач, что ухудшает в них качество электроэнергии. В настоящее время, в целях экономии расходов на эксплуатацию, на некоторых участках железной дороги линии электропередач уже вынесены в зону отчуждения железной дороги. Это повлекло за собой ухудшение качества электроэнергии в них из-за взаимного влияния линий друг на друга.

Для определения степени влияния были проведены электрические измерения на тяговой подстанции ст. Бобр, питающей участок Славное – Новосады, Оршанского узла Минского отделения Белорусской железной дороги прибором ЕРИС КЭ – 02, в соответствии с методикой измерения и ГОСТ 13109.97.

Как показал анализ полученных результатов, влияние линий КС на продольные линии электропитания существенно. Искажение наблюдается как по значениям фазных напряжений, так и по углам сдвига фаз, что вызывает появление несимметрии фазных напряжений. По результатам измерений коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, при приближении ЛЭП к КС, составил $K_0U_i = 10,78 \%$, а коэффициент несимметрии напряжений для обратной последовательности – $K_2U_i = 0,69 \%$.

Наличие несимметрии напряжений в ЛЭП снижает мощность асинхронных двигателей, ухудшает условия работы ламп электрического освещения и т. д. В трансформаторах появляются добавочные потери, вследствие чего уменьшается коэффициент их полезного действия и увеличивается нагрев, который обуславливает преждевременное старение обмоток изоляции.

Существующие методики расчета наведенного в ЛЭП потенциала предназначены для решения задач электростатики. Для решения таких задач на железной дороге постоянного тока удобно использовать группу формул Максвелла, метод среднего потенциала и т. д. Учитывая то, что рассматривается железная дорога переменного тока, можно предположить, что через емкостные связи меж-