

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УКРУПНЕННЫХ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ТРЕХПРОВОДНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Г.А. Большанин

Братский государственный университет, г. Братск, Россия

Линия электропередачи (ЛЭП) трехпроводного исполнения вместе с сопутствующей линейной арматурой может быть замещена единым пассивным восьмиполосником с Г-образной схемой замещения. Параметры этой схемы замещения следует называть укрупненными. Укрупненные первичные параметры включают в свой состав укрупненные активные сопротивления и проводимости, укрупненные индуктивности и емкости всей действующей линии электропередачи трехпроводного исполнения. Расчету этих параметров предшествует прямое измерение соответствующих напряжений и токов, а также их начальных фаз. Приведена схема выполнения необходимой серии экспериментов. Для косвенного измерения укрупненных продольных параметров ЛЭП трехпроводного исполнения необходимы опыт короткого замыкания и опыт холостого хода. А для косвенного измерения укрупненных поперечных параметров необходимо выполнение трех опытов. Предлагается методика их выполнения. Приведены формулы для вычисления укрупненных параметров линии электропередачи трехпроводного исполнения.

Ключевые слова: напряжение, ток, восьмиполосник, опыт холостого хода, опыт короткого замыкания, продольные параметры, поперечные параметры.

Введение

Передача электрической энергии от места ее генерации к месту ее потребления выполняется при помощи линий электропередачи (ЛЭП) различных исполнений. К отдаленным от места генерации электрической энергии потребителям энергия передается обычно по ЛЭП высокого и сверхвысокого напряжения чаще всего трехпроводного исполнения. Для прогнозирования и оценивания результатов передачи электрической энергии по ЛЭП от источника к потребителю необходимо иметь точные сведения о параметрах этих линий.

Параметры ЛЭП делятся на первичные и вторичные.

Первичные параметры – это параметры электрической схемы замещения ЛЭП: сопротивления, проводимости, электрической емкости, индуктивности.

Вторичные параметры – это постоянные распространения волн электромагнитного поля, волновые сопротивления, постоянные интегрирования, фазовые скорости и т. п. Для их определения необходимы сведения о первичных параметрах ЛЭП.

Методика исследования

Традиционно численные значения первичных параметров ЛЭП подбираются из соответствующей справочной литературы [1, 2]. Достоверность полученных таким образом сведений о первичных параметрах ЛЭП невелика. Но их обычно оказывается достаточно для ориентировочного

представления о результатах передачи электрической энергии, соответствующей требованиям ГОСТ 32144–2013 [3].

Считается, что более достоверные сведения о первичных параметрах ЛЭП можно получить из аналитических выражений, которые приведены в специальной литературе [4–13]. И это действительно так, если пользователь сумеет правильно учесть все факторы, влияющие на передачу электрической энергии. А их множество, и их учет представляет собой трудоемкую задачу, не всегда обеспечивающую оперативность получения достоверных результатов.

В таком случае экспериментальное определение первичных параметров ЛЭП с привлечением элементов теории многополосников оказывается достаточно перспективным. Применение элементов теории многополосников уже неоднократно предлагалось использовать и используется для определения режимных параметров электроэнергетических объектов [14–16].

Трехпроводные ЛЭП целесообразно представлять именно восьмиполосниками. Тогда применяемую здесь теорию многополосников можно конкретизировать и назвать теорией восьмиполосников.

Речь идет об определении первичных параметров однородного участка ЛЭП, в котором продольные и поперечные параметры по всей его протяженности неизменны. Но вся линия электропередачи в принципе не может быть однородна. Она может быть представлена в виде совокупности множества однородных участков. А каждый из

этих участков может быть представлен в виде восьмиполюсника. Таким образом, получается цепная схема.

Для прогнозирования результатов передачи электрической энергии по такой ЛЭП следует оценить работу каждого однородного участка согласно теории восьмиполюсников, предварительно экспериментально определив численные значения коэффициентов каждого из них, а полученные таким образом данные обобщить на всю линию электропередачи [17–19]. Это громоздкая, трудоемкая процедура, которая связана с серьезными организационными и техническими сложностями.

Предлагается всю ЛЭП вместе с сопутствующей линейной арматурой объединить в единый восьмиполюсник. В таком случае для анализа его функционирования, а значит, анализа передачи электрической энергии по всей ЛЭП будут применимы все известные методики с той лишь разницей, что здесь должны использоваться укрупненные первичные и вторичные параметры.

Укрупненные вторичные параметры рассчитываются по известным методикам [18–23], в которых должны участвовать укрупненные первичные параметры. Укрупненные первичные параметры по своей сути являются параметрами восьмиполюсника, объединяющего все однородные участки анализируемой ЛЭП совместно с сопутствующей линейной арматурой.

Укрупненные первичные параметры следует определять экспериментально [18, 21, 24].

Для определения этих параметров для анализируемой ЛЭП следует выполнить опыты короткого замыкания и холостого хода. Но прежде эту ЛЭП следует представить укрупненной Г-образной схемой замещения, как показано на рисунке. На этом рисунке представлена схема для выполнения серии экспериментов, необходимых для определения первичных параметров ЛЭП, состоящей из нескольких однородных участков.

В качестве источника электрической энергии для выполнения указанной серии экспериментов следует использовать источник трехфазной ЭДС пониженного напряжения. Кроме того, в экспериментах должны участвовать коммутационные аппараты S1–S9, установленные так, как показано на рисунке. К входным и выходным клеммам анализируемой ЛЭП должны быть подключены электроизмерительные приборы (вольтметры, амперметры, фазометры), обеспечивающие косвенное измерение комплексных значений входных и выходных напряжений и токов.

Опыт короткого замыкания позволяет определить укрупненные продольные параметры исследуемой ЛЭП. Для этого замыкаются ключи S1–S3 и S7–S9. При этом во избежание аварийной ситуации напряжение источника электрической энергии должно быть снижено.

При выполнении этого опыта напряжение на выходе анализируемой ЛЭП будет отсутствовать:

$$\dot{U}_{2Ak} = \dot{U}_{2Bk} = \dot{U}_{2Ck} = 0.$$

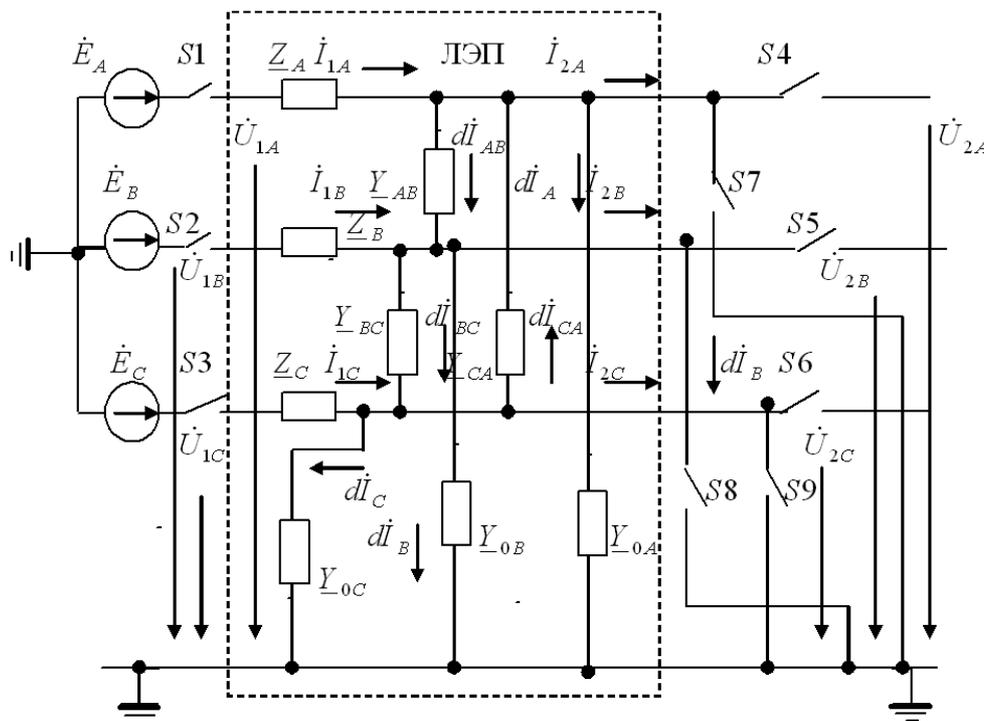


Схема серии экспериментов для определения укрупненных первичных параметров трехпроводной ЛЭП

В таком случае будут справедливы равенства:

$$\underline{Z}_A = \frac{\dot{U}_{1Ak}}{\dot{I}_{1Ak}}; \quad (1)$$

$$\underline{Z}_B = \frac{\dot{U}_{1Bk}}{\dot{I}_{1Bk}}; \quad (2)$$

$$\underline{Z}_C = \frac{\dot{U}_{1Ck}}{\dot{I}_{1Ck}}. \quad (3)$$

Равенства (1)–(3) позволяют определить фактические укрупненные продольные параметры ЛЭП.

Укрупненные активные сопротивления линейных проводов определяют вещественные части их укрупненных полных сопротивлений:

$$R_A = \text{Re}(\underline{Z}_A); \quad (4)$$

$$R_B = \text{Re}(\underline{Z}_B); \quad (5)$$

$$R_C = \text{Re}(\underline{Z}_C). \quad (6)$$

Укрупненная индуктивность каждого линейного провода анализируемой ЛЭП определяется так:

$$L_A = \frac{\text{Im}(\underline{Z}_A)}{2\pi f}; \quad (7)$$

$$L_B = \frac{\text{Im}(\underline{Z}_B)}{2\pi f}; \quad (8)$$

$$L_C = \frac{\text{Im}(\underline{Z}_C)}{2\pi f}, \quad (9)$$

где f – частота изменения напряжения и тока во времени.

В укрупненных индуктивностях, найденных при выполнении опыта короткого замыкания, учтены явления самоиндукции и взаимной индукции, то есть учтены собственные и взаимные индуктивности. Так, в величине L_A учтены собственная индуктивность линейного провода A и электромагнитное влияние индуктивностей соседних проводов B и C ; в величине L_B учтены собственная индуктивность линейного провода B и электромагнитное влияние индуктивностей соседних проводов A и C ; в величине L_C учтены собственная индуктивность линейного провода C и электромагнитное влияние индуктивностей соседних проводов A и B . Иначе говоря, в каждой укрупненной индуктивности из последних трех равенств учтены собственные индуктивности каждого линейного провода и взаимные индуктивности между соответствующими проводами.

Трехфазное короткое замыкание – достаточно тяжелый режим работы ЛЭП. Его выполнение может быть связано с техническими сложностями, связанными с техникой безопасности или другими техническими ограничениями. В таком случае этот режим (опыт) можно избежать, а продольные параметры ЛЭП можно определить и из опыта холостого хода.

Для выполнения **опыта холостого хода** необходимо разомкнуть ключи $S4$ – $S9$, а ключи $S1$ – $S3$ оставить в замкнутом состоянии (см. рисунок). В результате таких мероприятий будут справедливы уравнения:

$$\left. \begin{aligned} -\dot{U}_{1Ax} + \dot{I}_{1Ax} \underline{Z}_A + \dot{U}_{2Ax} &= 0; \\ -\dot{U}_{1Bx} + \dot{I}_{1Bx} \underline{Z}_B + \dot{U}_{2Bx} &= 0; \\ -\dot{U}_{1Cx} + \dot{I}_{1Cx} \underline{Z}_C + \dot{U}_{2Cx} &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Из этих уравнений получаются равенства, позволяющие определить укрупненные продольные параметры линии:

$$\underline{Z}_A = \frac{\dot{U}_{1Ax} - \dot{U}_{2Ax}}{\dot{I}_{1Ax}}; \quad (10)$$

$$\underline{Z}_B = \frac{\dot{U}_{1Bx} - \dot{U}_{2Bx}}{\dot{I}_{1Bx}}; \quad (11)$$

$$\underline{Z}_C = \frac{\dot{U}_{1Cx} - \dot{U}_{2Cx}}{\dot{I}_{1Cx}}. \quad (12)$$

Затем из равенств (4)–(9) определяются укрупненные активные сопротивления и укрупненные индуктивности каждого линейного провода.

Равенства (10)–(12) можно получить и при подключении с помощью ключей $S4$ – $S6$ электрической нагрузки.

Для определения укрупненных поперечных параметров ЛЭП, в состав которой входят несколько однородных участков, следует выполнить серию экспериментов из трех опытов.

Первый опыт выполняется при замкнутых ключах $S1$ – $S3$ и разомкнутых ключах $S4$ – $S6$. Кроме того, должен быть разомкнут ключ $S7$ и должны быть замкнуты ключи $S8$ и $S9$. В таком случае будут отсутствовать напряжения \dot{U}_{2B1} и \dot{U}_{2C1} , а также токи \dot{I}_{2A1} , $\dot{d}\dot{I}_{B1}$, $\dot{d}\dot{I}_{C1}$ и $\dot{d}\dot{I}_{BC1}$:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{2B1} = \dot{U}_{2C1} &= 0; \\ \dot{I}_{2A1} = \dot{d}\dot{I}_{B1} = \dot{d}\dot{I}_{C1} = \dot{d}\dot{I}_{BC1} &= 0. \end{aligned}$$

При таких условиях справедливы уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{1A1} - \dot{d}\dot{I}_{AB1} + \dot{d}\dot{I}_{CA1} - \dot{d}\dot{I}_{A1} &= 0; \\ \dot{I}_{1B1} + \dot{d}\dot{I}_{AB1} - \dot{I}_{2B1} &= 0; \\ \dot{I}_{1C1} - \dot{d}\dot{I}_{CA1} - \dot{I}_{2C1} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Из второго уравнения системы уравнений (13) определяется ток $\dot{d}\dot{I}_{AB1}$:

$$\dot{d}\dot{I}_{AB1} = \dot{I}_{2B1} - \dot{I}_{1B1}.$$

А из третьего уравнения этой же системы уравнений определится ток $\dot{d}\dot{I}_{CA1}$:

$$\dot{d}\dot{I}_{CA1} = \dot{I}_{1C1} - \dot{I}_{2C1}.$$

При известных токах $\dot{d}\dot{I}_{AB1}$ и $\dot{d}\dot{I}_{CA1}$ из первого уравнения системы уравнений (13) определится ток $\dot{d}\dot{I}_{A1}$:

$$\dot{d}\dot{I}_{A1} = \dot{I}_{1A1} - \dot{d}\dot{I}_{AB1} + \dot{d}\dot{I}_{CA1}.$$

Теперь появилась возможность определить ряд укрупненных поперечных параметров:

$$\underline{Y}_{AB} = \frac{d\dot{i}_{AB1}}{\dot{U}_{2A1} - \dot{U}_{2B1}};$$

$$\underline{Y}_{CA} = \frac{d\dot{i}_{CA1}}{\dot{U}_{2C1} - \dot{U}_{2A1}};$$

$$\underline{Y}_A = \frac{d\dot{i}_{A1}}{\dot{U}_{2A1}}.$$

Условия выполнения **второго опыта** от первого отличаются тем, что ключ *S8* разомкнут, а ключ *S7* замкнут. Вследствие этих переключений линейные провода *A* и *C* в конце анализируемой ЛЭП оказываются замкнутыми на «землю». В этом случае будут отсутствовать напряжения \dot{U}_{2A2} и \dot{U}_{2C2} , а также токи \dot{i}_{2B2} , $d\dot{i}_{A2}$, $d\dot{i}_{C2}$ и $d\dot{i}_{CA2}$:

$$\dot{U}_{2A2} = \dot{U}_{2C2} = 0;$$

$$\dot{i}_{2B2} = d\dot{i}_{A2} = d\dot{i}_{C2} = d\dot{i}_{CA2} = 0.$$

При таких условиях справедливы уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \dot{i}_{1A2} - d\dot{i}_{AB2} - \dot{i}_{2A2} &= 0; \\ \dot{i}_{1B2} - d\dot{i}_{BC2} + d\dot{i}_{AB2} - d\dot{i}_{B2} &= 0; \\ \dot{i}_{1C2} + d\dot{i}_{BC2} - \dot{i}_{2C2} &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Из первого и третьего уравнений этой системы определяются токи $d\dot{i}_{AB2}$ и $d\dot{i}_{BC2}$:

$$d\dot{i}_{AB2} = \dot{i}_{1A2} - \dot{i}_{2A2};$$

$$d\dot{i}_{BC2} = \dot{i}_{2C2} - \dot{i}_{1C2}.$$

Из второго уравнения этой же системы уравнений определится ток $d\dot{i}_{B2}$:

$$d\dot{i}_{B2} = \dot{i}_{1B2} - d\dot{i}_{BC2} + d\dot{i}_{AB2}.$$

Расчитанные таким образом токи дают возможность определения еще двух укрупненных поперечных параметров:

$$\underline{Y}_{BC} = \frac{d\dot{i}_{BC2}}{\dot{U}_{2B2} - \dot{U}_{2C2}};$$

$$\underline{Y}_B = \frac{d\dot{i}_{B2}}{\dot{U}_{2B2}}.$$

Цель **третьего опыта** заключается в определении укрупненной полной проводимости \underline{Y}_C . Для этого необходимо разомкнуть ключ *S9* и замкнуть ключ *S8*. Состояние прочей коммутационной аппаратуры следует оставить без изменения. В результате этих действий линейные провода *A* и *B* окажутся замкнутыми на «землю»; напряжения \dot{U}_{2A3} и \dot{U}_{2B3} , а также токи \dot{i}_{2C3} , $d\dot{i}_{A3}$, $d\dot{i}_{B3}$ и $d\dot{i}_{AB3}$ будут отсутствовать:

$$\dot{U}_{2A3} = \dot{U}_{2B3} = 0;$$

$$\dot{i}_{2C3} = d\dot{i}_{A3} = d\dot{i}_{B3} = d\dot{i}_{AB3} = 0.$$

В таком случае будут справедливы уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \dot{i}_{1A3} + d\dot{i}_{CA3} - \dot{i}_{2A3} &= 0; \\ \dot{i}_{1B3} - d\dot{i}_{BC3} - \dot{i}_{2B3} &= 0; \\ \dot{i}_{1C3} - d\dot{i}_{CA3} + d\dot{i}_{BC3} - d\dot{i}_{2C3} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Из первого и второго уравнения системы уравнений (14) определяются токи $d\dot{i}_{CA3}$ и $d\dot{i}_{BC3}$:

$$d\dot{i}_{CA3} = \dot{i}_{2A3} - \dot{i}_{1A3};$$

$$d\dot{i}_{BC3} = \dot{i}_{1B3} - \dot{i}_{2B3}.$$

А из третьего уравнения этой же системы уравнений определится ток $d\dot{i}_{2C3}$:

$$d\dot{i}_{2C3} = \dot{i}_{1C3} - d\dot{i}_{CA3} + d\dot{i}_{BC3}.$$

Искомая укрупненная полная проводимость определится так:

$$\underline{Y}_C = \frac{d\dot{i}_{C3}}{\dot{U}_{2C3}}.$$

Таким образом, определены все указанные на схеме замещения анализируемой ЛЭП, изображенной на рисунке, укрупненные полные проводимости, иллюстрирующие укрупненные поперечные параметры исследуемой трехпроводной линии электропередачи.

Вещественные части укрупненных полных проводимостей определяют укрупненные активные проводимости между линейными проводами, а также между проводами и «землей»:

$$G_{AB} = \text{Re}(\underline{Y}_{AB});$$

$$G_{BC} = \text{Re}(\underline{Y}_{BC});$$

$$G_{CA} = \text{Re}(\underline{Y}_{CA});$$

$$G_A = \text{Re}(\underline{Y}_A);$$

$$G_B = \text{Re}(\underline{Y}_B);$$

$$G_C = \text{Re}(\underline{Y}_C).$$

Мнимые части укрупненных полных проводимостей определяют укрупненные емкостные проводимости между линейными проводами, а также между проводами и «землей». Поэтому величины соответствующих емкостей определяются следующим образом:

$$C_{AB} = \frac{\text{Im}(\underline{Y}_{AB})}{2\pi f};$$

$$C_{BC} = \frac{\text{Im}(\underline{Y}_{BC})}{2\pi f};$$

$$C_{CA} = \frac{\text{Im}(\underline{Y}_{CA})}{2\pi f};$$

$$C_A = \frac{\text{Im}(\underline{Y}_A)}{2\pi f};$$

$$C_B = \frac{\text{Im}(\underline{Y}_B)}{2\pi f};$$

$$C_C = \frac{\text{Im}(\underline{Y}_C)}{2\pi f}.$$

Так определяются численные значения укрупненных первичных параметров трехпроводной ЛЭП, содержащей в своем составе несколько однородных участков.

Результаты

Известны и широко применяются в инженерной практике множество методов определения режимных параметров ЛЭП. Но практически все они полагают, что анализируемый участок ЛЭП или вся линия электропередачи однородна либо представляет собой совокупность однородных участков. Естественно, это вносит существенную погрешность, поскольку любая реальная ЛЭП обладает неоднородностью в той или иной степени. Кроме того, в практических расчетах часто игнорируется неизбежное присутствие в ЛЭП линейной арматуры, что увеличивает погрешность вычислений. Избежать данной погрешности позволяет введение понятия «укрупненные параметры ЛЭП», которые определяются экспериментально по предложенной методике.

Правомочность и достоверность этого способа обеспечивается соответствующим техническим обеспечением. Это в первую очередь парк электроизмерительных приборов с соответствующими пределами и классами измерения. Поскольку расчетная часть предлагаемого метода не громоздка и не может являться причиной ощутимой погрешности, то получается, что погрешность этого способа определяется лишь классом точности используемых здесь электроизмерительных приборов и качеством используемых линий связи.

Заключение

Конкретизированные таким образом укрупненные параметры реальных ЛЭП создают возможность прогнозирования в первом приближении результатов передачи электрической энергии на частоте каждой гармонической составляющей. Такой прогноз может оказаться достаточным для оценки эффективности той или иной передачи электрической энергии.

Литература

1. *Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 3: Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. И.Н. Орлов). – 9-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 964 с.*
2. *Справочник по электроснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий / под общ. ред. профессоров МЭИ (ТУ) С.И. Гамазина, Б.И. Кудрина, С.А. Цырука. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 745 с.*
3. *ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энер-*

гии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014 – 16 с.

4. *Панова, Е.А. Уточненные удельные электрические параметры двухцепных ЛЭП-110 кВ для дистанционного определения места повреждения / Е.А. Панова, А.Я. Альбрехт. // Электрические системы и комплексы. – 2016. – № 4 (33). – С. 35–40.*

5. *A survey on intelligent system transmission lines / V.H. Ferreira, R. Zanghi, R.B.M. Silva et al. // Electric Power System Research. – 2016. – No. 136. – P. 135–153. DOI: 10.1016/j.epsr.2016.02.002*

6. *Sana, S. Fault detection in transmission networks of power systems / S. Sana, M. Aldeen, C. Fan // Electr. Power Energy Syst. – 2011. – No. 33 (4). – P. 887–900.*

7. *Fault location system on double circuit twoterminal transmission lines based on ANNs / A. Mason, I. Zamera, J. Gracia et. al. // Proceeding of 2001 IEEE Porto Power Tech Porto. Vol. 3. – 2001. – P. 5. DOI: 10.1109/ptc.2001.964944*

8. *Исследование частотных характеристик взаимного влияния воздушных линий электропередачи / В.Н. Селиванов, А.Н. Данилин, О.В. Залесова, В.В. Колобов // Вестник МГТУ. – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 744–752.*

9. *Определение первичных продольных параметров воздушных и подземных линий электропередачи на основе расчета электромагнитного поля / М.В. Булатников, К.П. Кадомская, С.А. Кандаков, Ю.А. Лавров. // Электричество. – 2016. – № 5. – С. 17–24.*

10. *Салимоненко, Д.А. Применение методов линейного программирования для определения параметров электрических цепей. Часть 1 / Д.А. Салимоненко // Вестник Башкирского ун-та. – 2015. – Т. 20, № 4. – С. 1155–1163.*

11. *Тигунцев, С.Г. Определение параметров воздушной линии электропередачи напряжением 110–500 кВ / С.Г. Тигунцев, Н.Ю. Онопова, И.А. Неудачин // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 4 (87). – С. 149–154.*

12. *Климов, П. Определение эквивалентных параметров воздушных линий электропередачи / П. Климов. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 88 с.*

13. *Мельников, Н.А. Проектирование электрической части воздушной линии электропередачи 330–500кВ / Н.А. Мельников, С.С. Рокотян, А.Н. Шеренцис; под общ. ред. С.С. Рокотяна. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия, 1974. – 472 с.*

14. *Воронов, Р.А. Общая теория четырехполюсников и многополюсников / Р.А. Воронов. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1951. – 192 с.*

15. *Зевеке, Г.В. Многополюсники / Г.В. Зевеке. – М.: МЭИ, 1971. – 23 с.*

16. *Пат. 192501 СССР, МПК G061. Способ моделирования дифференциальных и конечных систем уравнений / Б.А. Боровский, Г.Е. Пухов;*

заявитель и патентообладатель Институт кибернетики АН УССР. – № 1069204/26-24; заявл. 14.04.1966; опублик. 16.11.1967.

17. Шишков, Е.М. Обобщенная модель неоднородной многоцепной воздушной линии электропередачи для расчетов установившихся режимов / Е.М. Шишков, Л.И. Шишкова // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. Серия: Технические науки. – 2015. – № 1 (45). – С. 136–141.

18. Большанин, Г.А. Передача электрической энергии по ЛЭП одно-, двух- и трехпроводного исполнения / Г.А. Большанин. – Братск: Изд-во БрГУ, 2016. – 313 с.

19. Большанин, Г.А. Параметры трехпроводной ЛЭП. Метод восьмиполюсника / Г.А. Большанин, Л.Ю. Большанина. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. – 265 с.

20. Большанин, Г.А. Определение вторичных параметров однородного участка трехпроводной линии электропередачи методом восьмиполюсника / Г.А. Большанин, Л.Ю. Большанина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013. – № 2 (38). – С. 232–237.

21. Пат. 2522829 Российская Федерация, МПК G01R 27/02. Способ определения первичных и обобщенных вторичных параметров однородного

участка трехпроводной линии электропередачи методом восьмиполюсника / Г.А. Большанин, Л.Ю. Большанина; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2013101260/28; заявл. 10.01.2013; опублик. 20.07.2014.

22. Большанин, Г.А. Определение укрупненных вторичных параметров трехпроводной линии электропередачи методом восьмиполюсника / Г.А. Большанин, Л.Ю. Большанина // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2013. – № 4 (32). – С. 45–49.

23. Пат. 2521784 Российская Федерация, МПК G01R 27/02. Способ определения укрупненных вторичных параметров трехпроводной линии электропередачи методом восьмиполюсника / Г.А. Большанин, Л.Ю. Большанина; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2013101259/28; заявл. 10.01.2013; опублик. 10.07.2014.

24. Пат. 2518576 Российская Федерация, МПК G01R 27/02. Способ определения укрупненных первичных параметров трехпроводной линии электропередачи / Г.А. Большанин, Л.Ю. Большанина; заявитель и патентообладатель Братский гос. ун-т. – № 2013101264/28; заявл. 10.01.2013; опублик. 10.06.2014.

Большанин Георгий Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, профессор, кафедра «Электроэнергетика и электротехника», Братский государственный университет, г. Братск; bolshaning@mail.ru.

Поступила в редакцию 25 декабря 2018 г.

DOI: 10.14529/power190102

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF ENLARGED PRIMARY PARAMETERS OF A THREE-WIRE POWER TRANSMISSION LINE

G.A. Bolshaning, bolshaning@mail.ru

Bratsk State University, Bratsk, Russian Federation

A three-wire power transmission line (PTL) and its accessories can be replaced with a single passive octupole with an L-shaped equivalent circuit. The parameters of such an equivalent circuit are referred to as enlarged parameters. The enlarged primary parameters include larger active resistance and conductivity values, as well as the larger inductance and capacitance of the entire three-wire PTL. Before these parameters can be calculated, the corresponding voltages, currents, and their respective initial phases must be measured directly. The paper presents the entire experimental procedure. Indirect measurement of the enlarged longitudinal parameters of a three-wire PTL requires a short-circuit experiment as well as an idling experiment. Indirect measurement of the enlarged transverse parameters requires three experiments. The paper provides the necessary guidelines. It also presents formulas to calculate the enlarged parameters of a three-wire power transmission line.

Keywords: voltage, current, octupole, idling experiment, short-circuit experiment, longitudinal parameters, transverse parameters.

References

1. Gerasimov V.G. et al. (Eds.), Orlov I.N. (Ch. Ed.). *Elektrotekhnicheskiy spravochnik. V 4 t. T. 3: Proizvodstvo, peredacha i raspredeleniye elektricheskoy energii* [Electrotechnical Reference. In 4 volumes. Vol. 3: Production, Transmission and Distribution of Electrical Energy]. 9th ed. Moscow, Publishing House MEI, 2004. 964 p.
2. Gamazin S.I., Kudrin B.I., Tsyruk S.A. (Eds.). *Spravochnik po elektrosnabzheniyu i elektrooborudovaniyu promyshlennykh predpriyatiy i obshchestvennykh zdaniy* [Handbook of Power Supply and Electrical Equipment of Industrial Enterprises and Public Buildings]. Moscow, Publishing House MEI, 2010. 745 p.
3. GOST 32144–2013. *Electrichestskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv electromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego nasnasheniya* [State Standard 32144–2013. Electric Energy. Electromagnetic Compatibility of Technical Equipment. Quality Standards for Electrical Energy in General-Purpose Power Supply System's]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 16 p.
4. Panova E.A., Albrecht A.Ya. [Specified Electrical Parameters of Double-Circuit LEP-110 kV for Remote Determination of the Place of Damage]. *Electrichestskie komplekсы* [Electrical Systems and Complexes], 2016, no. 4 (33), pp. 35–40. (in Russ.)
5. Ferreira V.H., Zanghi R., Silva R.B.M., Souza J.C.S., Guimarães C.H.C., Gomes S.Jr. A Survey on Intelligent System Transmission Lines. *Electric Power System Research*, 2016, no. 136, pp. 135–153. DOI: 10.1016/j.epsr.2016.02.002
6. Sana S., Aldeen M., Fan C. Fault Detection in Power Systems. *Electr. Power Energy Syst.*, 2011, no. 33 (4), pp. 887–900.
7. Mazon A., Zamera I., Gracia J., Sagastabeitia K., Eguia P., Jurado F. et. al. Fault Lines Based on ANNs. *Proceeding of 2001 IEEE Porto Power Tech Porto*, vol. 3, 2001, pp. 5. DOI: 10.1109/ptc.2001.964944
8. Selivanov V.N., Danilin A.N., Zalesova O.V., Kolobov V.V. [Study of the Frequency Characteristics of the Mutual Influence of Overhead Power Lines]. *Vestnik MGTU*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 744–752. (in Russ.)
9. Bulatnikov M.V., Kadomskaya K.P., Kandakov S.A., Lavrov Yu.A. [Determination of the Primary Longitudinal Parameters of Overhead and Underground Power Lines Based on the Calculation of the Electromagnetic Field]. *Electricity*, 2016, no. 5, pp. 17–24. (in Russ.)
10. Salimonenko D.A. [The Use of Linear Programming Methods to Determine the Parameters of Electrical Circuits. Part 1]. *Bulletin of the Bashkir University*, 2015, vol. 20, no. 4, pp. 1155–1163. (in Russ.)
11. Tiguntsev S.G., Onopkova N.Yu., Neudachin I.A. [Bad Luck Determination of the Parameters of an Overhead Transmission Line with a Voltage of 110–500 kV]. *Bulletin of ISTU*, 2014, no. 4(87), pp. 149–154. (in Russ.)
12. Klimov P. *Opreделение ekvivalentnykh parametrov vosdushnykh liniy electropredachi* [Determination of Equivalent Parameters of Overhead Transmission Lines]. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 88 p.
13. Melnikov N.A., Rokotyay S.S., Sherenzis A.N. *Proektirovaniye elektricheskoy chasti vosdushnoy linii electropredachi 330–500 kV*. [Designing the Electrical Part of the 330–500kV Power Line]. 2nd ed. Moscow, Energy, 1974. 472 p.
14. Voronov R.A. *Obshchaya teoriya chetyrekhpolysnikov i mnogopolyusnikov* [General Theory of Quadripoles and Multipoles]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1951. 192 p.
15. Zeveke G.V. *Mnogopolyusniki* [Multipoles]. Moscow, MEI Publ., 1971. 23 p.
16. Borovskiy B.A., Pukhov G.E. *Sposob modelirovaniya differentsial'nykh i konechnykh sistem uravneniy* [The Method of Modeling Differential and Finite Systems of Equations]. Patent USSR, no. 192501, 1967.
17. Shishkov E.M., Shishkova L.I. [Generalized Model of Heterogeneous Multi-Chain Overhead Transmission Line for the Calculation of Steady-State Modes]. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*, 2015, no. 1 (45), pp. 136–141. (in Russ.)
18. Bolshanin G.A. *Peredacha elektricheskoy energii po LEP odno-, dvukh- i trekhprovodnogo ispolneniya* [Transmission of Electrical Energy Through Power Transmission Lines of One-, Two- and Three-Wire Versions]. Bratsk, BrSU Publishing House, 2016. 313 p.
19. Bolshanin G.A., Bolshanina L.Yu. *Parametry trekhprovodnoi LEP. Metod vos'mipolyusnika* [Parameters of Three-Wire power Lines. The Eight-Pole Method]. Bratsk, Publishing House of BrGU, 2013. 265 p.
20. Bolshanin G.A., Bolshanina L.Yu. [Determination of Secondary Parameters of a Homogeneous Section of a Three-Wire Transmission Line by the Method of an Eight-Terminal]. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2013, no. 2 (38), pp. 232–237. (in Russ.)
21. Bolshanin G.A., Bolshanina L.Yu. *Sposob opredeleniya pervichnykh i obobshennykh vtorichnykh parametrov odnorodnogo uchastka trekhprovodnoy linii electropredachi metodom vos'mipolyusnika* [The Method of Determining the Primary and Generalized Secondary Parameters of a Homogeneous Section of a Three-Wire Transmission Line Using the Eight-Terminal Method]. Patent RF, no. 2522829, 2014.
22. Bolshanin G.A., Bolshanina L.Yu. [Determination of Enlarged Secondary Parameters of a Three-Wire Transmission Line by the Method of an Eight-Port Network]. *Electrotechnical Complexes and Control Systems*, 2013, no. 4(32), pp. 45–49. (in Russ.)

23. Bolshanin G.A., Bolshanina L.Yu. *Sposob opredeltniya ukрупnennykh vtorichnykh parametrov trekhprovodnoy linii electropredachi metodom vos'mipolyusnika* [The Method of Determining the Enlarged Secondary Parameters of a Three-Wire Transmission Line by the Method of an Eight-Terminal Network]. Patent RF, no. 2521784, 2014.

24. Bolshanin G.A., Bolshanina L.Yu. *Sposob opredeltniya ukрупnennykh pervichnykh parametrov trekhprovodnoy linii electropredachi* [The Method of Determining the Enlarged Primary Parameters of a Three-Wire Transmission Line]. Patent RF, no. 2518576, 2014.

Received 25 December 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Большанин, Г.А. Экспериментальное определение укрупненных первичных параметров линии электропередачи трехпроводного исполнения / Г.А. Большанин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 18–25. DOI: 10.14529/power190102

FOR CITATION

Bolshanin G.A. Experimental Determination of Enlarged Primary Parameters of a Three-Wire Power Transmission Line. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 18–25. (in Russ.) DOI: 10.14529/power190102
