

УДК 621.3.061

ВАРУЖАН ПАВЛИКОВИЧ АРАКЕЛЯН

Национальный Политехнический Университет Армении

НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ВТОРИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

В работе представлен новый метод определения вторичных параметров линии электропередач. Указано, что в региональных энергетических программах актуальной является проблема транспортировки электрической энергии, поэтому важна роль наиболее массового и специфического элемента электроэнергетической системы. Констатируется, что воздушные линии электропередачи (ВЛЭП) обладая большой пропускной способностью, являются межсистемные связи и повышают надежность и экономичность электроэнергетической системы. Во время исследований режимов системы, необходимо учитывать особенности схем замещения и параметры линии электропередач. Цель научного исследования, является оценка соотношения R_{0X_0} , оценка соотношения g_{0b_0} , а также определения в электроэнергетических системах математической модели линии электропередач в зависимости от целей исследований. Научное значение работы: обоснован новый метод, основу которого лежит понятия вспомогательных угловсопротивления и проводимостей. Данное исследование проводилось для проектируемой линии 400кВ Армения-Иран. Сравнительный анализ методов показывает, что предлагаемые формулы приемлемы для ЛЭП СВН. Метод учитывает комплексный подход, синтезирует соотношения R_{0X_0} и g_{0b_0} , дает объективную оценку практической реализации моделей ВЛЭП. Ценность проведенного исследования в том, что предлагаемый метод расширяет возможности моделирования режимов ВЛЭП СВН посредством схем замещения. В работе раскрыто, что трехфазная линия электропередачи представляет собой линейную симметричную электрическую цепь. В расчетах установившихся режимов электроэнергетических систем, нелинейность пассивных элементов, как правило, не учитывается. Практическое значение заключается в полученных компактных формулы дают возможность моделировать режимы питающих и системообразующих сетей.

Ключевые слова: линия электропередач, метод, вторичные параметры, удельные погонные параметры, вспомогательные углы.

V. P. ARAKELYAN

National Polytechnic University of Armenia

NEW METHOD OF CALCULATING THE PARAMETERS OF SECONDARY TRANSMISSION LINES. INTRODUCTORY SPEECH ON THE RESEARCH TOPIC

The paper presents a new method for determining the secondary parameters of the power transmission line. It is indicated that in the regional energy programs the problem of electric power transportation is topical, therefore the role of the most mass and specific element of the electric power system is important. It has been ascertained that the overhead power transmission lines having a high throughput are intersystem connections and increase the reliability and economy of the electric power system. During studies of the system modes, it is necessary to take into account the features of the equivalent circuits and the parameters of the power transmission line. The purpose of the scientific study is to estimate the ratio R_{0X_0} , estimate the ratio g_{0b_0} , as well as determine the mathematical model of the power transmission line in the electric power systems depending on the research objectives. Scientific significance of the paper: a new method based on the concept of auxiliary angles of resistance and conductivity is substantiated. This research was conducted for the projected 400 kV Armenia-Iran line. A comparative analysis of the methods shows that the proposed formulas are acceptable for ultrahigh voltage power transmission lines. The method takes into account the complex approach, synthesizes the ratios R_{0X_0} and g_{0b_0} , provides an objective assessment of the practical implementation of the overhead power transmission lines models. The value of the conducted research is that the proposed method extends the possibilities of modeling the modes of the overhead power transmission lines of ultrahigh voltage by means of equivalent circuits. It is revealed in the paper that the three-phase power transmission line is a linear symmetric electrical circuit. The nonlinearity of passive elements, as a rule, is not taken into account in the calculations of sustained modes of electric power systems. The practical significance lies in the resulting formulas that make it possible to model the modes of supply mains and backbone network.

Keywords: transmission line, method, secondary parameters, parameters of the unit length, auxiliary angles.

Введение

Важную роль ВЛЭП диктуется двумя основными факторами: 1. Территориальная разобщенность мест расположения энергетических ресурсов и мест потребления электроэнергии. Так, например, гидроэлектрические станции большой мощности строятся на местах сосредоточенными гидроэнергетическими ресурсами. Мощные тепловые станции строятся в районах с большими запасами топлива. Атомные электростанции экономически выгодно строить большой мощности. 2. Необходимость создания объединенных энергосистем с охватом межсистемными электропередачами.

В региональных энергетических программах актуален проблема транспортировки электрической

енергии. Поэтому важен роль наиболее массового и специфического элемента электроэнергетической системы. Воздушные линии электропередачи (ВЛЭП) обладая большой пропускной способностью, являются межсистемные связи и повышают надежность и экономичность электроэнергетической системы. Во время исследований режимов системы, необходимо учитывать особенности схем замещения и параметры линии электропередач.

Анализ последних исследований и публикаций. Выражении вторичных параметров, которые характеризуют волновые свойства линии электропередач [1-5], можно записать следующим образом:

$$\underline{W}_B = \sqrt{\frac{R_0 + jX_0}{g_0 + jb_0}}; \quad (1)$$

$$\underline{Y}_0 = \sqrt{(R_0 + jX_0) \cdot (g_0 + jb_0)}. \quad (2)$$

где R_0, X_0 – первичные продольные параметры линии;

g_0, b_0 – первичные поперечные параметры линии.

Принимая $g_0 = 0$, после преобразований (1) и (2), получаем:

$$\underline{W}_B = \sqrt{\frac{X_0}{b_0}} \cdot \sqrt{1 - j\frac{R_0}{X_0}}; \quad (3)$$

$$\underline{Y}_0 = j\sqrt{X_0} \cdot b_0 \cdot \sqrt{1 - j\frac{R_0}{X_0}}. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) требуют усовершенствовать в аспекте универсального применения.

Цель исследования. Предлагается новый метод определения вторичных параметров линии электропередач, который дает возможность.

Оценить соотношения между погонных активных и реактивных сопротивлений- R_0/X_0 .

Оценить соотношения между погонных активных и реактивных проводимостей- g_0/b_0 .

В электроэнергетических системах выбрать математические модели линии электропередач в зависимости от целей исследований.

Основной материал. Волновое сопротивление и постоянное распространение электромагнитной волны линии определяются по следующими формулами:

$$\underline{W}_B = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = W_B' - jW_B''; \quad (5)$$

или

$$\underline{W}_B = \sqrt{\frac{R_0 + jX_0}{g_0 + jb_0}}; \quad (6)$$

$$\underline{Y}_0 = \sqrt{Z_0 \cdot Y_0} = \alpha_0 + j\beta_0; \quad (7)$$

или

$$\underline{Y}_0 = \sqrt{(R_0 + jX_0) \cdot (g_0 + jb_0)}. \quad (8)$$

где Z_0, Y_0 – комплексные сопротивление и проводимость единицы длины линии соответственно;

R_0, X_0 – погонное активное и реактивное сопротивление линии соответственно;

g_0, b_0 – погонная активная и реактивная проводимость линии соответственно;

W_B' – действительная часть волнового сопротивления;

W_B'' – мнимая часть волнового сопротивления;

α_0 – коэффициент затухания волны на единицу длины;

β_0 – коэффициент изменения фазы волны на единицу длины.

Погонные сопротивления и проводимости линии представим следующими треугольниками:

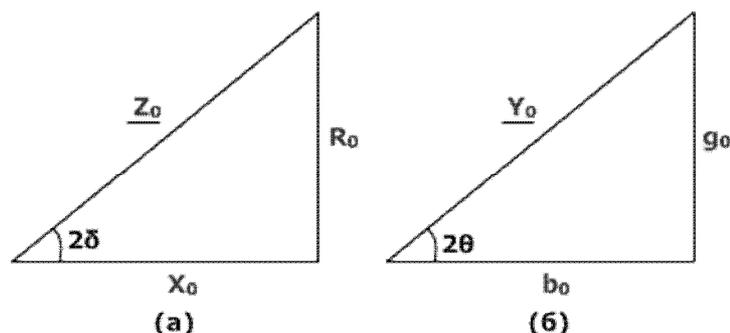


Рис.1. Треугольники погонных параметров (а) - треугольник погонных сопротивлений, (б)- треугольник погонных проводимостей

Вводится два вспомогательных угла (Рис.1):

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \arctg \frac{R_0}{X_0}; \quad (9)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \cdot \arctg \frac{g_0}{b_0}. \quad (10)$$

Комплексное сопротивление и проводимость единицы длины линии выражаем через эти углы, получаем:

$$\underline{Z}_0 = \frac{x_0}{\cos 2\theta}; \quad (11)$$

$$\underline{Y}_0 = \frac{b_0}{\cos 2\theta}. \quad (12)$$

Используя выражения (11) и (12), формулы (5) и (7) приобретают вид:

$$W_B = \sqrt{\frac{x_0 \cdot \cos 2\theta}{b_0 \cdot \cos 2\delta}}. \quad (13)$$

$$\gamma_0 = \sqrt{\frac{x_0 \cdot b_0}{\cos 2\theta \cdot \cos 2\delta}}. \quad (14)$$

$$\varphi_{W_B} = \theta - \delta, \quad (15)$$

$$\varphi_{\gamma_0} = \theta + \delta. \quad (16)$$

где W_B и φ_{W_B} - модуль и аргумент волнового сопротивления соответственно;

γ_0 и φ_{γ_0} - модуль и аргумент постоянной распределений электромагнитной волны соответственно.

Учитывая вид представления комплексной величины, для действительной и мнимой части волнового сопротивления получим:

$$W_B' = W_B \cdot \cos \varphi_{W_B}, \quad (17)$$

$$W_B'' = W_B \cdot \sin \varphi_{W_B}. \quad (18)$$

Аналогично, для коэффициента затухания и коэффициента изменения фазы получим:

$$\alpha_0 = \gamma_0 \cdot \cos \varphi_{\gamma_0}, \quad (19)$$

$$\beta_0 = \gamma_0 \cdot \sin \varphi_{\gamma_0}. \quad (20)$$

Результаты. Исследования проводились для проектируемой линии 400кВ Армения-Иран. Результаты приведены в табл.1-3.

Таблица 1

Исходные данные ВЛЭП

R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-6}$, См/км	$g_0 \cdot 10^{-6}$, См/км
0.0295	0.32	3.497	0.0145

Таблица 2

Расчетные результаты

δ , град	θ , град	W_B , Ом	φ_{W_B} , град	$\gamma_0 \cdot 10^{-3}$, 1/км	φ_{γ_0} , град
2.633534	0.118785	303.140613	-2.514749	1.060092	2.752319

Таблица 3

Сравнительный анализ методов при $g_0=0$

Метод	W_B , Ом	φ_{W_B} , град	$\gamma_0 \cdot 10^{-3}$, 1/км	φ_{γ_0} , град
Новый	303.141916	-2.633534	1.060087	2.633534
Горева	302.82242	-2.639066	1.058969	2.639051

Выводы.

Метод учитывает комплексный подход, синтезирует соотношения R_0/X_0 и g_0/b_0 .

Метод дает объективную оценку практической реализации моделей ВЛЭП.

Составленная в среде С# компьютерная программа обеспечивает высокую точность и универсальность.

Перспективы дальнейших исследований

Исследование характерных режимов ВЛЭП.

Исследование пропускную способность ВЛЭП и определение предела передаваемой мощности по условиям статической устойчивости.

Литература

Рыжов Ю.П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007.-188с.

Ананича С.С. Передача электроэнергии на большие расстояния / С.С. Ананича, П.И. Бартоломей, А.Л. Мызин. -Екатеринбург: УРФУ, 2012. - 85с.

Weedy, B.M., Cory, B.J., Jenkins, N., Ekanayake, J.B., Strbac, G. (2012). *Electric power systems*. United Kingdom: John Wiley&Sons Ltd, 5-th edition, 496.

Gago-Ribas, E., Carril-Campa, M. (2012). Complex parameterization of the lossy transmission line theory. *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, KL, MALAYSIA, March 27-30, 1781-1786.

Kothari, D.P., Nagrath, I.J. (2003). *Modern power system analysis.-New Delhi: Tata McGraw Hill Education Private Limited*, Third Edition, 694.

Аракелян В.П. Программа расчета режимов линий электропередач. / В.П.Аракелян, О.С.Оганесян, Л.А. Акопян., А.В.Аракелян // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. -2011. - Т. LXIV, № 2. - С. 178-182.

References

Ryzhov Ju.P. Dal'nie jelektroperedachi sverhvyssokogo naprjazhenija. - М.: Izdatel'skij dom MJeI, 2007.-188s.

Ananicha S.S. Peredacha jelektroenergii na bol'shie rasstojanija / S.S. Ananicha, P.I. Bartolomej, A.L. Myzin. -Ekaterinburg: URFU, 2012. - 85s.

Weedy, B.M., Cory, B.J., Jenkins, N., Ekanayake, J.B., Strbac, G. (2012). *Electric power systems*. United Kingdom: John Wiley&Sons Ltd, 5-th edition.

Gago-Ribas, E., Carril-Campa, M. (2012). Complex parameterization of the lossy transmission line theory. *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, KL, MALAYSIA, March 27-30, 1781-1786.

Kothari, D.P., Nagrath, I.J. (2003). *Modern power system analysis.-New Delhi: Tata McGraw Hill Education Private Limited*, Third Edition.

Arakeljan V.P. Programma rascheta rezhimov linij jelektroperedach. / V.P.Arakeljan, O.S.Oganesjan, L.A. Akopjan., A.V.Arakeljan // Izv. NAN RA i GIUA. Ser. TN. -2011. - Т. LXIV, № 2. - С. 178-182.

Отримана/Received : 26.9.2017 р. Надрукована/Printed :6.10.2017 р.
Стаття рецензована редакційною колегією