

## УЧЕТ ЕМКОСТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ОДНОЦЕПНОЙ ЛЭП С ГРОЗОТРОСАМИ

Наибольшую сложность при расчете параметров режима однофазного короткого замыкания в сети с эффективно заземленной нейтралью с целью дистанционного определения места повреждения представляет моделирование линий электропередачи. Математическая модель ЛЭП должна учитывать не только сопротивление проводников и грозотросов, но их электростатическое и электромагнитное взаимодействие. В системах электроснабжения эта задача дополнительно усложняется несимметричным расположением проводящих элементов на опоре и отсутствием транспозиции. Таким образом, актуальной является задача разработки уточненной математической модели ЛЭП, учитывающей перечисленные выше факторы. В работе предложена комбинированная схема замещения емкостной составляющей одноцепной ЛЭП с двумя грозотросами, основанная на сочетании методов симметричных составляющих и фазных координат

**Ключевые слова:** линия электропередачи, схема замещения, поперечная емкость, фазные координаты, симметричные составляющие, промышленное электроснабжение, однофазное короткое замыкание.

### ВВЕДЕНИЕ

Решение такой задачи, как дистанционное определение места повреждения при однофазном коротком замыкании, требует применения математической модели ЛЭП, учитывающей электромагнитное и электростатическое взаимодействие ее проводящих элементов. Наиболее распространенным подходом к моделированию линий в таком случае является использование метода симметричных составляющих и моделей ЛЭП, приведенных в действующих руководящих указаниях [1]. Однако необходимо учитывать, что метод симметричных составляющих основан на предположении, что ток, протекающий по элементу электрической цепи, можно разложить на составляющие прямой, обратной и нулевой последовательности в том случае, если сам этот элемент является симметричным. Это не позволяет учесть возможную несимметрию сопротивлений ЛЭП, обусловленную несимметричным расположением проводов и тросов на опоре друг относительно друга. Это особенно актуально в условиях систем промышленного электроснабжения, где линии электропередачи 110-220 кВ не имеют транспозиции. Учет несимметрии сопротивлений ЛЭП возможен при использовании метода фазных координат.

Данный метод широко используется для моделирования режимов в условиях энергосистем. Так, в [2] авторы предлагают математическую модель многоцепной несимметричной воздушной ЛЭП, ориентированную на расчеты параметров установившихся режимов. В работе [3] авторами предложена математическая модель ЛЭП с симметрирующим устройством. Авторы [4] использовали программный комплекс MATLAB для составления универсальной математической модели высоковольтной линии электропередачи. Однако такой подход не позволяет моделировать ЛЭП совместно с многомашинной системой, что существенно ограничивает возможности по ее использованию. Данный инструмент использован также в [5] для моделирования режима однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью. Авторы [6] разработали математическую модель двухцепной ЛЭП в фазных координатах для расчета установившегося режима

и определения потерь. В [7] метод фазных координат использован для оценки электрических параметров двенадцатицепной ЛЭП. Авторы [8] предложили использовать метод фазных координат для определения поперечной емкости ЛЭП высокого и сверхвысокого напряжения. В [9] авторы также учли зависимость сопротивления ЛЭП от частоты.

Рассмотренные модели ЛЭП и алгоритмы расчета параметров режима, в которых они использованы, не учитывают особенностей систем промышленного электроснабжения и ориентированы на сложноразветвленные сети энергосистем. В данной работе предложена комбинированная схема замещения одноцепной ЛЭП с двумя грозотросами для расчетов параметров режима однофазного короткого на ЛЭП в системе электроснабжения с преобладанием разомкнутых участков сети 110-220 кВ, коротких нетранспонированных линий и наличием нескольких источников электрической энергии и узлов примыкания к энергосистеме. Предложенная схема замещения основана на сочетании методов фазных координат и симметричных составляющих [10] и, таким образом, позволяет одновременно учесть несимметрию ЛЭП и выполнять расчет параметров режима в симметричных составляющих, что значительно упрощает расчет и схему замещения.

### КОМБИНИРОВАННАЯ СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ

Для определения поперечной емкости одноцепной ЛЭП с двумя грозотросами использовано сочетание методов зеркального изображения и фазных координат. В соответствии с этим составлена матрица потенциальных коэффициентов:

$$\alpha = \begin{pmatrix} \alpha_{AA} & \alpha_{AB} & \alpha_{AC} & \alpha_{AT_1} & \alpha_{AT_2} \\ \alpha_{AB} & \alpha_{BB} & \alpha_{BC} & \alpha_{BT_1} & \alpha_{BT_2} \\ \alpha_{AC} & \alpha_{BC} & \alpha_{CC} & \alpha_{CT_1} & \alpha_{CT_2} \\ \alpha_{AT_1} & \alpha_{BT_1} & \alpha_{CT_1} & \alpha_{T_1T_1} & \alpha_{T_1T_2} \\ \alpha_{AT_2} & \alpha_{BT_2} & \alpha_{CT_2} & \alpha_{T_1T_2} & \alpha_{T_2T_2} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{ii}$  – собственный потенциальный коэффициент провода либо грозозащитного троса, м/Ф;  $\alpha_{ij}$  – взаимный потенциальный коэффициент, м/Ф.

Для определения собственных и взаимных потенциальных коэффициентов использованы известные выражения [1]:

$$\alpha_{ii} = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \frac{S_{ii}}{\rho_n}; \quad (2)$$

$$\alpha_{ij} = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \frac{S_{ij}}{D_{ij}}, \quad (3)$$

где  $S_{ii}$  – расстояние между проводом (тросом) и его зеркальным изображением, м;  $S_{ij}$  – расстояние между проводом одной фазы (тросом) и его зеркальным изображением провода другой фазы, м;  $\rho_n$  – действительный радиус провода фазы, м;  $D_{ij}$  – расстояние между проводниками фаз либо тросами, м.

Для преобразования матрицы потенциальных коэффициентов одноцепной ЛЭП с двумя грозозащитными тросами в симметричные составляющие необходимо разделить матрицу  $\alpha$  на четыре подматрицы:

– подматрица собственных и взаимных потенциальных коэффициентов фазных проводников

$$\alpha_{\Pi} = \begin{pmatrix} \alpha_{AA} & \alpha_{BA} & \alpha_{CA} \\ \alpha_{AB} & \alpha_{BB} & \alpha_{CB} \\ \alpha_{AC} & \alpha_{BC} & \alpha_{CC} \end{pmatrix}; \quad (4)$$

– подматрицы взаимных потенциальных коэффициентов фазных проводников и тросов

$$\alpha_{\Pi T} = \begin{pmatrix} \alpha_{AT_1} & \alpha_{AT_2} \\ \alpha_{BT_1} & \alpha_{BT_2} \\ \alpha_{CT_1} & \alpha_{CT_2} \end{pmatrix}; \quad (5)$$

$$\alpha_{\Pi T}^T = \begin{pmatrix} \alpha_{AT_1} & \alpha_{BT_1} & \alpha_{CT_1} \\ \alpha_{AT_2} & \alpha_{BT_2} & \alpha_{CT_2} \end{pmatrix}; \quad (6)$$

– подматрица собственных и взаимных потенциальных коэффициентов грозозащитных тросов

$$\alpha_T = \begin{pmatrix} \alpha_{T_1T_1} & \alpha_{T_1T_2} \\ \alpha_{T_1T_2} & \alpha_{T_2T_2} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Пользуясь подматрицами (4)-(7), можно преобразовать матрицу потенциальных коэффициентов (1) в эквивалентную матрицу размерностью  $3 \times 3$ :

$$\alpha_{(n)T} = \alpha_{\Pi} - \alpha_{\Pi T} \alpha_T^{-1} \alpha_{\Pi T}^T = \begin{pmatrix} \alpha_{AA(T)} & \alpha_{BA(T)} & \alpha_{CA(T)} \\ \alpha_{AB(T)} & \alpha_{BB(T)} & \alpha_{CB(T)} \\ \alpha_{AC(T)} & \alpha_{BC(T)} & \alpha_{CC(T)} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

В матрице (8):

– диагональные элементы

$$\alpha_{ii(T)} = \alpha_{ii} + \frac{\alpha_{T_2T_2} \alpha_{T_1T_1}^2 + \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2}^2 - 2\alpha_{T_1T_2} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2}}{\alpha_{T_1T_2}^2 - \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2}}; \quad (9)$$

– недиагональные элементы

$$\alpha_{ij(T)} = \alpha_{ij} + \frac{\alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} + \alpha_{T_2T_2} \alpha_{T_2T_2} \alpha_{T_1T_1} - \alpha_{T_1T_2} X}{\alpha_{T_1T_2}^2 - \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2}}; \quad (10)$$

$$X = \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} + \alpha_{T_2T_2} \alpha_{T_1T_1}.$$

Преобразование матрицы (8) в составляющие прямой, обратной и нулевой последовательности:

$$\alpha_{S(T)} = \frac{1}{3} \mathbf{s}^{-1} \alpha_{(n)T} \mathbf{s} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_{12} & \alpha_{10} \\ \alpha_{21} & \alpha_2 & \alpha_{20} \\ \alpha_{01} & \alpha_{02} & \alpha_0 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где  $\mathbf{s}$  – матрица фазового поворота, содержащая оператор  $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ .

$$\mathbf{s} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix}$$

Подставив (8) в (11), получим потенциальные коэффициенты одноцепной ЛЭП с двумя грозотросами:

– прямой (обратной) последовательности

$$\alpha_{1(2)} = \frac{A}{\alpha_{T_1T_2}^2 - \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2}}; \quad (12)$$

$$\begin{aligned} A = & \alpha_{AA} \alpha_{T_1T_2}^2 + \alpha_{BB} \alpha_{T_1T_2}^2 + \alpha_{CC} \alpha_{T_1T_2}^2 - \\ & - \alpha_{AA} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} - \alpha_{BB} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} - \alpha_{CC} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} + \\ & + \alpha_{AT_1}^2 \alpha_{T_2T_2} - 2\alpha_{AT_1} \alpha_{AT_2} \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{AT_1} \alpha_{BT_2} \alpha_{T_1T_2} + \\ & + \alpha_{AT_1} \alpha_{CT_2} \alpha_{T_1T_2} - \alpha_{AT_1} \alpha_{BT_1} \alpha_{T_2T_2} - \alpha_{AT_1} \alpha_{CT_1} \alpha_{T_2T_2} + \\ & + \alpha_{AT_2}^2 \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{AT_2} \alpha_{BT_1} \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{AT_2} \alpha_{CT_1} \alpha_{T_1T_2} - \\ & - \alpha_{AT_2} \alpha_{BT_2} \alpha_{T_1T_1} - \alpha_{AT_2} \alpha_{CT_2} \alpha_{T_1T_1} + \alpha_{BT_1}^2 \alpha_{T_2T_2} - \\ & - 2\alpha_{BT_1} \alpha_{BT_2} \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{BT_1} \alpha_{CT_2} \alpha_{T_1T_2} - \alpha_{BT_1} \alpha_{CT_1} \alpha_{T_2T_2} + \\ & + \alpha_{BT_2}^2 \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{BT_2} \alpha_{CT_1} \alpha_{T_1T_2} - \alpha_{BT_2} \alpha_{CT_2} \alpha_{T_1T_1} + \alpha_{CT_1}^2 \alpha_{T_2T_2} - \\ & - 2\alpha_{CT_1} \alpha_{CT_2} \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{CT_2}^2 \alpha_{T_1T_1} + \alpha_{AB} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} + \\ & + \alpha_{AC} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} + \alpha_{BC} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} - \alpha_{AB} \alpha_{T_1T_2}^2 - \alpha_{AC} \alpha_{T_1T_2}^2 - \\ & - \alpha_{BC} \alpha_{T_1T_2}^2; \end{aligned}$$

– нулевой последовательности

$$\alpha_0 = \frac{B}{\alpha_{T_1T_2}^2 - \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2}}; \quad (13)$$

$$\begin{aligned} B = & \alpha_{AA} \alpha_{T_1T_2}^2 + \alpha_{BB} \alpha_{T_1T_2}^2 + \alpha_{CC} \alpha_{T_1T_2}^2 + \\ & + 2(\alpha_{AB} \alpha_{T_1T_2}^2 + \alpha_{AC} \alpha_{T_1T_2}^2 + \alpha_{BC} \alpha_{T_1T_2}^2) + \alpha_{AT_1}^2 \alpha_{T_2T_2} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & +\alpha_{AT_2}^2 \alpha_{T_1T_1} + \alpha_{BT_1}^2 \alpha_{T_2T_2} + \alpha_{BT_2}^2 \alpha_{T_1T_1} + \alpha_{CT_1}^2 \alpha_{T_2T_2} + \\
 & +\alpha_{CT_2}^2 \alpha_{T_1T_1} - \alpha_{AA} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} - \alpha_{BB} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} - \\
 & -\alpha_{CC} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} + 2(\alpha_{AT_1} \alpha_{BT_1} \alpha_{T_2T_2} + \alpha_{AT_2} \alpha_{BT_2} \alpha_{T_1T_1} + \\
 & +\alpha_{AT_1} \alpha_{CT_1} \alpha_{T_2T_2} + \alpha_{AT_2} \alpha_{CT_2} \alpha_{T_1T_1} + \alpha_{BT_1} \alpha_{CT_1} \alpha_{T_2T_2} + \\
 & +\alpha_{BT_2} \alpha_{CT_2} \alpha_{T_1T_1}) - 2(\alpha_{AT_1} \alpha_{AT_2} \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{AB} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} + \\
 & +\alpha_{AT_1} \alpha_{BT_2} \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{AT_2} \alpha_{BT_1} \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{AC} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} + \\
 & +\alpha_{AT_1} \alpha_{CT_2} \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{AT_2} \alpha_{CT_1} \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{BT_1} \alpha_{BT_2} \alpha_{T_1T_2} + \\
 & +\alpha_{BC} \alpha_{T_1T_1} \alpha_{T_2T_2} + \alpha_{BT_1} \alpha_{CT_2} \alpha_{T_1T_2} + \alpha_{BT_2} \alpha_{CT_1} \alpha_{T_1T_2} + \\
 & +\alpha_{CT_1} \alpha_{CT_2} \alpha_{T_1T_2}).
 \end{aligned}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена комбинированная схема замещения емкостной составляющей одноцепной ЛЭП с двумя грозотросами. Предложенная математическая модель позволяет учесть при расчете режима однофазного короткого замыкания несимметричное расположение проводящих элементов на опоре и их электростатическое взаимодействие. При этом модель ЛЭП в фазных координатах можно использовать совместно со схемой замещения электрической сети в симметричных составляющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчет токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ. М.: Энергия, 1979. 152 с.
2. Борисова Ю.А., Ведерников А.С., Гольдштейн В.Г. О моделировании режимов несимметричных многоцепных воздушных линий // Электроэнергетика глазами молодежи – 2018: материалы IX Междунар. молодежной науч.-технич. конференции. В 3-х т., Казань, 01–05 октября 2018 года. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2018. С. 229-232.

3. Попов Н.М., Петрищев М.В. Моделирование линии с симметрирующим устройством в фазных координатах // Труды международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2012. Т.1. С. 116-121.
4. Кабанов В.О. Моделирование высоковольтной линии электропередачи для определения предела передаваемой мощности // Энергия-2021: тезисы докладов Шестнадцатой всероссийской (восьмой международной) научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 6-ти томах, Иваново, 06–08 апреля 2021 года. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2021. С. 17.
5. Дихно А.О., Макашева С.И. Моделирование электромагнитных процессов параллельных линий электропередачи при замыканиях в одной из них // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2019. Т. 2. С. 227-231.
6. Шишков Е.М. Ведерников А.С., Гольдштейн В.Г. Влияние несимметрии параметров двухцепной воздушной линии электропередачи на установившиеся режимы // Электричество. 2013. № 4. С. 9-17.
7. Binsaroor A. S., Tiwari S. N. Evaluation of twelve-phase (multiphase) transmission line parameters // Electr. Power Syst. Res. 1988. Vol. 15. No. 1. Pp. 63-76.
8. Equivalent Circuit Parameters of Power Tap-Off from Insulated Shield Wires of High Voltage Transmission Lines at Different Rated Voltages / G. Qi, Y. Zheng, K. Xia, W. Wu, F. Liao, S. Shu // ICHVE 2018 - 2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application, 2019. 4 p.
9. Tavares M.C., Pissolato J., Portela C.M. New multiphase transmission line model // Proceedings of International Conference on Harmonics and Quality of Power, ICHQP, 1998. Pp. 489-494.
10. Панова Е.А., Альбрехт А.Я. Уточненные удельные электрические параметры двухцепных ЛЭП 110 кВ для дистанционного определения места повреждения // Электротехнические системы и комплексы. 2016. №4(33). С. 35-40. doi: 10.18503/2311-8318-2016-4(33)-35-40

Поступила в редакцию 12 сентября 2021 г.

INFORMATION IN ENGLISH

INTRODUCTION OF THE CAPACITIVE CONDUCTIVITY OF A NON-SYMMETRIC SINGLE-CIRCUIT LINE WITH GROUND WIRE

Evgeniya A. Panova

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia, ea.panova@magtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9392-3346>

The greatest difficulty in calculating the parameters of a single-phase short circuit mode in a network with an effectively grounded neutral for the purpose of remotely locating a fault is the modeling of power lines. The mathematical model of power transmission lines should take into account not only the resistance of conductors and ground wires, but their electrostatic and electromagnetic interaction. In power supply systems, this task is further complicated by the asymmetrical arrangement of conductive elements on the tower and the lack of transposition. Thus, the urgent task is to develop a refined mathematical model of power transmission lines, taking into account the above factors. The paper proposes a combined equivalent circuit for the

capacitive component of a single-circuit power transmission line with two ground wires, based on a combination of methods of symmetric components and phase coordinates.

**Keywords:** power line, equivalent circuit, transverse capacitance, phase coordinates, symmetrical components, industrial power supply, single-phase short circuit.

REFERENCES

1. *Rukovodyashchie ukazaniya po releynoy zashchite. Vyp. 11. Raschet tokov korotkogo zamykaniya dlya releynoy zashchity i sistemnoy avtomatiki v setyakh 110-750 kV* [Relay protection guidelines. Issue 11. Calculation of short-circuit currents

- for relay protection and system automation in 110-750 kV networks], Moscow, Energiya Publ., 1979. 152 p.
2. Borisova Yu.A., Vedernikov A.S., Gol'dshteyn V.G. Modeling the modes of asymmetric multi-circuit overhead lines. *Elektoenergetika glazami molodezhi* [Materials of the IX Intern. youth scientific and technical conference "Electric power industry through the eyes of youth"]. Kazan, Kazan State Power Engineering University Publ., 2018, pp. 229-232. (In Russian)
  3. Popov N.M., Petrishchev M.V. Modeling a line with a balun in phase coordinates. *Energoobespechenie i energosbere-zhenie v sel'skom khozyaystve* [Proceedings of the international scientific and technical conference "Energy supply and energy saving in agriculture"]. Moscow, All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization Publ., 2012, vol. 1, pp. 116-121. (In Russian)
  4. Kabanov V.O. Simulation of a high voltage power line to determine the limit of the transmitted power. *Energiya-2021* [Abstracts of the Sixteenth All-Russian (Eighth International) Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "Energy-2021"]. Ivanovo, Ivanovo Power Engineering Institute Publ., 2021, pp. 17. (In Russian)
  5. Dikhno A.O., Makasheva S.I. Simulation of electromagnetic processes of parallel power transmission lines in case of short circuits in one of them. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke* [Scientific, technical and economic cooperation of the Asia-Pacific countries in the KSHI century]. Khabarovsk, Far Eastern State Transport University Publ., 2019, vol. 2, pp. 227-231. (In Russian)
  6. Shishkov E.M., Vedernikov A.S., Gol'dshteyn V.G. The influence of the asymmetry of the parameters of a double-circuit overhead power transmission line on steady-state modes. *Elektrichestvo* [Elektrichestvo], 2013, no. 4, pp. 9-17. (In Russian)
  7. Binsaroor A.S., Tiwari S.N. Evaluation of twelve-phase (multiphase) transmission line parametersю Electr. Power Syst. Res. 1988, vol. 15, no 1, pp. 63-76.
  8. Qi G., Zheng Y., Xia K., Wu W., Liao F., Shu S. Equivalent Circuit Parameters of Power Tap-Off from Insulated Shield Wires of High Voltage Transmission Lines at Different Rated Voltages. ICHVE 2018 - 2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application. 2019. 4 p.
  9. Tavares M.C., Pissolato J., Portela C.M. New multiphase transmission line model. Proceedings of International Conference on Harmonics and Quality of Power, ICHQP, 1998, pp. 489-494.
  10. Panova E.A., Al'brekht A.Ya. Specified Per-unit Parameters of Double-circuit 110 kV Overhead Lines for Distant Fault Location. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2016, no. 4(33), pp. 35-40. (In Russian). doi: 10.18503/2311-8318-2016-4(33)-35-40

Панова Е.А. Учет емкостной проводимости несимметричной одноцепной ЛЭП с грозотросами // Электротехнические системы и комплексы. 2021. № 4(53). С. 72-75. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4\(53\)-72-75](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4(53)-72-75)

Panova E.A. Introduction of The Capacitive Conductivity of a Non-Symmetric Single-Circuit Line with Ground Wire. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2021, no. 4(53), pp. 72-75. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4\(53\)-72-75](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4(53)-72-75)