

УДК 621.311.1-027-044.952

ББК 3279-051.1-017

А.Г. СЕМЕНОВА, А.О. ФЁДОРОВ,
В.С. ПЕТРОВ, А.М. ДМИТРЕНКО

ОСОБЕННОСТИ МОДАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В УСТРОЙСТВЕ ВОЛНОВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ

Ключевые слова: модальное преобразование, кабельная линия электропередачи, волновое определение места повреждения.

Известно, что при коротком замыкании на воздушной линии электропередачи волны в фазах содержат составляющие двух воздушных и одного земляного волновых каналов. Из-за разной скорости распространения по линии этих составляющих в месте установки устройства волнового определения места повреждения они возникают в разное время. Это приводит к тому, что фронты волн в фазах становятся менее выраженными, и, следовательно, снижаются точность фиксации моментов их возникновения и точность определения места повреждения. Для разделения фазных величин воздушной линии электропередачи на независимые составляющие волновых каналов используются инвариантные преобразования Кларк, Карренбауэра или Ведпола. Однако данные преобразования в классическом виде не могут быть применены к электрическим величинам кабельной линии, поскольку её конструкция отличается от конструкции воздушной линии электропередачи. Цель настоящего исследования – иллюстрация использования модального преобразования на кабельной линии. В результате исследования получены следующие выводы: токи в жилах кабельной линии не влияют друг на друга, поэтому в устройстве волнового определения места повреждения, измеряющем волны тока, необходимо использовать непосредственно фазные токи жил без модального преобразования; если устройство волнового определения места повреждения контролирует токи или напряжения экранов кабелей, то нужно осуществлять модальное преобразование, при этом требуется учесть, что три волновых канала, образуемых экранами, аналогичны трем волновым каналам воздушной линии; если к кабельной линии примыкает силовой трансформатор, то волны тока в жилах будут полностью отражаться от места измерений, в таком случае в устройстве волнового определения места повреждения необходимо использовать волны напряжения в канале между жилой и экраном каждого кабеля трехфазной группы.

При коротком замыкании (КЗ) на воздушной линии электропередачи (ЛЭП) волны в фазах содержат составляющие двух воздушных и одного земляного волновых каналов [1]. Из-за разной скорости распространения этих составляющих в месте установки устройства волнового определения места повреждения (ОМП) они возникают в разное время [5]. Это приводит к тому, что фронты волн в фазах становятся менее выраженными и, следовательно, снижаются точность фиксации моментов их возникновения и точность определения места повреждения [8]. Для разделения фазных величин воздушной ЛЭП на независимые составляющие волновых каналов используются инвариантные преобразования Кларк [3], Карренбауэра [6] или Ведпола [9]. Однако данные преобразования в классическом виде не могут быть применены к электрическим величинам кабельной линии (КЛ), поскольку её конструкция отличается от конструкции воздушной ЛЭП.

Цель настоящего исследования – иллюстрация использования модального преобразования на КЛ.

Математическая модель КЛ. Сегодня в электрических сетях наиболее распространены КЛ, представляющие собой трехфазную группу одножильных кабелей¹. Поэтому сначала рассмотрим взаимосвязь электрических величин в одножильном кабеле, а затем распространим полученные закономерности на трехфазную группу.

Токи и напряжения в одножильном кабеле связаны соотношениями (рис. 1) [4]

$$\begin{cases} -\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} U_1(x, p) \\ U_2(x, p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1(p) & -Z_{12}(p) \\ -Z_{12}(p) & Z_2(p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1(x, p) \\ I_2(x, p) \end{bmatrix}, \\ -\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} I_1(x, p) \\ I_2(x, p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1(p) & 0 \\ 0 & Y_2(p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(x, p) \\ U_2(x, p) \end{bmatrix}, \end{cases} \quad (1)$$

где $I_1(x, p)$ – ток, протекающий по жиле и возвращающийся через экран; $I_2(x, p)$ – ток, протекающий по наружной поверхности экрана и возвращающийся через землю; $U_1(x, p)$ – напряжение между жилой и экраном; $U_2(x, p)$ – напряжение между экраном и землей; $Z_1(p) = Z_c^{out}(p) + Z_{is}^{in}(p) + Z_s^{in}(p)$; $Z_c^{out}(p)$ – удельное сопротивление внешней поверхности жилы; $Z_{is}^{in}(p)$ – удельное сопротивление внутренней изоляции; $Z_s^{in}(p)$ – удельное сопротивление внутренней поверхности экрана; $Z_2(p) = Z_s^{out}(p) + Z_{is}^{out}(p) + Z_g(p)$; $Z_s^{out}(p)$ – удельное сопротивление внешней поверхности экрана; $Z_{is}^{out}(p)$ – удельное сопротивление внешней изоляции; $Z_g(p)$ – сопротивление поверхности земли; $Z_{12}(p)$ – удельное внутреннее сопротивление экрана, $Y_1(p)$ и $Y_2(p)$ – удельные емкостные проводимости внутренней и внешней изоляции, соответственно.

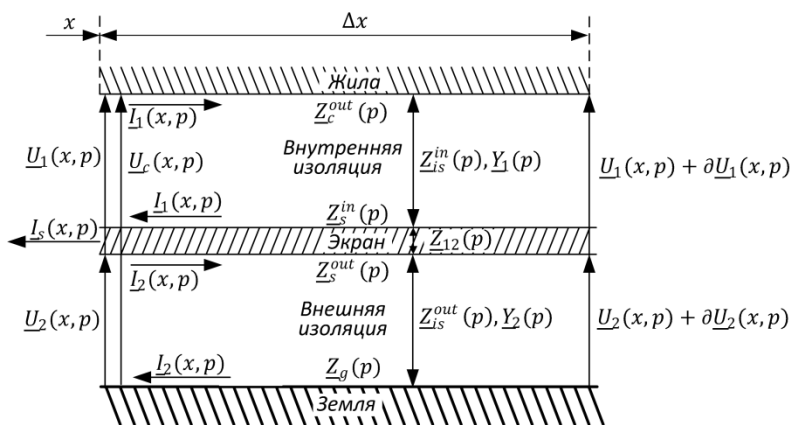


Рис. 1. Пояснение к расчету одножильного кабеля

¹ СТО 56947007- 29.060.20.071-2011 Силовые кабельные линии напряжением 110–500 кВ. Условия создания. Нормы и требования. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», дата введения: 25.03.2011.

Из рис. 1 видно, что

$$\begin{cases} \underline{U}_1(x, p) = \underline{U}_c(x, p) - \underline{U}_2(x, p), \\ \underline{I}_2(x, p) = \underline{I}_s(x, p) + \underline{I}_1(x, p), \end{cases} \quad (2)$$

где $\underline{U}_c(x, p)$ и $\underline{I}_s(x, p)$ – фазные напряжение жилы и ток в экране, соответственно.

Для удобства введем обозначения

$$\underline{I}_1(x, p) = \underline{I}_c(x, p) \text{ и } \underline{U}_2(x, p) = \underline{U}_s(x, p).$$

Тогда из (1) и (2) получим телеграфные уравнения одножильного кабеля

$$\begin{cases} -\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} \underline{U}_c(x, p) \\ \underline{U}_s(x, p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{cc}(p) & \underline{Z}_{cs}(p) \\ \underline{Z}_{cs}(p) & \underline{Z}_{ss}(p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_c(x, p) \\ \underline{I}_s(x, p) \end{bmatrix}, \\ -\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} \underline{I}_c(x, p) \\ \underline{I}_s(x, p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Y}_{cc}(p) & -\underline{Y}_{cc}(p) \\ -\underline{Y}_{cc}(p) & \underline{Y}_{ss}(p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_c(x, p) \\ \underline{U}_s(x, p) \end{bmatrix}, \end{cases}$$

где

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{cc}(p) &= \underline{Z}_1(p) - 2\underline{Z}_{12}(p) + \underline{Z}_2(p), \\ \underline{Z}_{cs}(p) &= -\underline{Z}_{12}(p) + \underline{Z}_2(p), \\ \underline{Z}_{ss}(p) &= \underline{Z}_2(p), \\ \underline{Y}_{cc}(p) &= \underline{Y}_1(p), \\ \underline{Y}_{ss}(p) &= \underline{Y}_1(p) + \underline{Y}_2(p). \end{aligned}$$

Распространим рассуждения на симметричную трехфазную группу одножильных кабелей (рис. 2). При этом учтем, что электромагнитная связь между одножильными кабелями обусловлена лишь токами в экранах [7], а ёмкостная проводимость между экранами кабелей равна нулю, поскольку они заземлены [7].

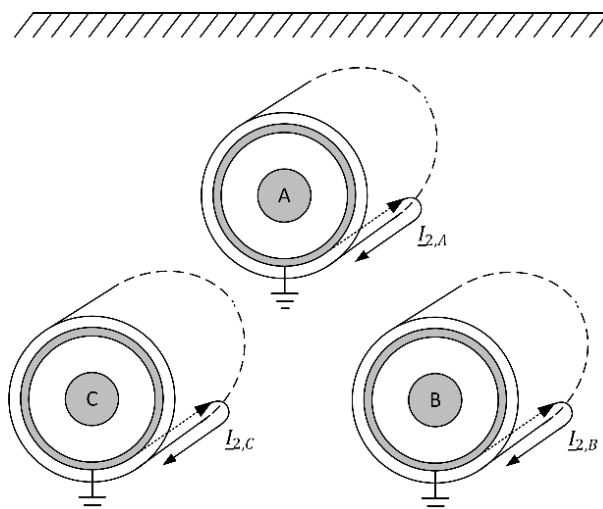


Рис. 2 Трехфазная группа одножильных кабелей

С учетом (1) для симметричной трехфазной группы одножильных кабелей получим

$$\begin{cases} -\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_1 \\ \mathbf{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_1 & -\mathbf{Z}_{12} \\ -\mathbf{Z}_{12} & \mathbf{Z}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix}, \\ -\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Y}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_1 \\ \mathbf{U}_2 \end{bmatrix}, \end{cases} \quad (3)$$

где \mathbf{U}_1 и \mathbf{U}_2 , \mathbf{I}_1 и \mathbf{I}_2 – векторы-столбцы, состоящие из $U_{1,v}(x, p)$ и $U_{2,v}(x, p)$, $I_{1,v}(x, p)$ и $I_{2,v}(x, p)$, соответственно ($v = \overline{A, B, C}$); \mathbf{Z}_1 и \mathbf{Z}_{12} , \mathbf{Y}_1 и \mathbf{Y}_2 – диагональные матрицы, элементы на главной диагонали которых равны $\underline{Z}_1(p)$ и $\underline{Z}_{12}(p)$, $\underline{Y}_1(p)$ и $\underline{Y}_2(p)$, соответственно; \mathbf{Z}_2 – матрица, элементы на главной диагонали которой равны $\underline{Z}_2(p)$, а все остальные – удельному междуфазному сопротивлению $\underline{Z}_M(p)$, $\mathbf{0}$ – нулевая матрица.

Из (3) с учетом (2), принимая во внимание, что удельное внутреннее сопротивление экрана $\underline{Z}_{12}(p) \approx 0$, получим [4, 7]

$$\begin{cases} -\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_c \\ \mathbf{U}_s \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{Z}} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_c \\ \mathbf{I}_s \end{bmatrix}, \\ -\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_c \\ \mathbf{I}_s \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{Y}} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_c \\ \mathbf{U}_s \end{bmatrix}, \end{cases} \quad (4)$$

где \mathbf{U}_c и \mathbf{U}_s , \mathbf{I}_c и \mathbf{I}_s – векторы-столбцы, состоящие из $U_{c,v}(x, p)$ и $U_{s,v}(x, p)$, $I_{c,v}(x, p)$ и $I_{s,v}(x, p)$, соответственно; $\underline{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{Z}}_{cc} & \underline{\mathbf{Z}}_{ss} \\ \underline{\mathbf{Z}}_{ss} & \underline{\mathbf{Z}}_{ss} \end{bmatrix}$, $\underline{\mathbf{Y}} = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{Y}}_{cc} & -\underline{\mathbf{Y}}_{cc} \\ -\underline{\mathbf{Y}}_{cc} & \underline{\mathbf{Y}}_{ss} \end{bmatrix}$, $\underline{\mathbf{Z}}_{cc}$ и $\underline{\mathbf{Z}}_{ss}$ – матрицы, элементы на главных диагоналях которых равны $\underline{Z}_{cc}(p)$ и $\underline{Z}_{ss}(p)$, соответственно, а все остальные – $\underline{Z}_M(p)$, $\underline{\mathbf{Y}}_{cc}$ и $\underline{\mathbf{Y}}_{ss}$ – диагональные матрицы, элементы на главной диагонали которых равны $\underline{Y}_{cc}(p)$ и $\underline{Y}_{ss}(p)$, соответственно.

Продифференцировав оба выражения системы (4), получим дифференциальные уравнения с одной неизвестной

$$\begin{cases} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_c \\ \mathbf{U}_s \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{Z}} \underline{\mathbf{Y}} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_c \\ \mathbf{U}_s \end{bmatrix}, \\ \frac{\partial^2}{\partial x^2} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_c \\ \mathbf{I}_s \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{Y}} \underline{\mathbf{Z}} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_c \\ \mathbf{I}_s \end{bmatrix}, \end{cases} \quad (5)$$

Модальное преобразование электрических величин. Решение дифференциальных уравнений (5) является сложной задачей, поскольку требует учета взаимной связи между электрическими величинами в жилах и экранах. Чтобы преодолеть эту сложность, удобно рассматривать распространение волн в независимых волновых каналах.

Напряжения и токи волновых каналов определяются с использованием свойств матричных преобразований подобия из уравнений

$$\begin{bmatrix} \mathbf{U}_c \\ \mathbf{U}_s \end{bmatrix} = \mathbf{T}_u \begin{bmatrix} \mathbf{U}_c^m \\ \mathbf{U}_s^m \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{\mathbf{I}}_c \\ \underline{\mathbf{I}}_s \end{bmatrix} = \mathbf{T}_i \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{I}}_c^m \\ \underline{\mathbf{I}}_s^m \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где \mathbf{T}_u и \mathbf{T}_i – матрицы связи величин волновых каналов с фазными величинами; $\underline{\mathbf{U}}_c^m$ и $\underline{\mathbf{U}}_s^m$, $\underline{\mathbf{I}}_c^m$ и $\underline{\mathbf{I}}_s^m$ – напряжения и токи волновых каналов: векторы-столбцы, состоящие из $\underline{U}_{c,\delta}(x,p)$ и $\underline{U}_{s,\delta}(x,p)$, $\underline{I}_{c,\delta}(x,p)$ и $\underline{I}_{s,\delta}(x,p)$, соответственно ($\delta = \overline{1,2,3}$).

Подставляя (6) и (7) в (5), получим систему дифференциальных уравнений волновых каналов:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{U}}_c^m \\ \underline{\mathbf{U}}_s^m \end{bmatrix} = \mathbf{T}_u^{-1} \underline{\mathbf{Z}} \mathbf{Y} \mathbf{T}_u \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{U}}_c^m \\ \underline{\mathbf{U}}_s^m \end{bmatrix}, \\ \frac{\partial^2}{\partial x^2} \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{I}}_c^m \\ \underline{\mathbf{I}}_s^m \end{bmatrix} = \mathbf{T}_i^{-1} \underline{\mathbf{Y}} \mathbf{Z} \mathbf{T}_i \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{I}}_c^m \\ \underline{\mathbf{I}}_s^m \end{bmatrix}. \end{cases} \quad (8)$$

Из (8) следует, что матрицы преобразований \mathbf{T}_u и \mathbf{T}_i должны быть выбраны таким образом, чтобы произведения $\mathbf{T}_u^{-1} \underline{\mathbf{Z}} \mathbf{Y} \mathbf{T}_u$ и $\mathbf{T}_i^{-1} \underline{\mathbf{Y}} \mathbf{Z} \mathbf{T}_i$ были диагональными матрицами. Это будет верно только в том случае, если матрицы \mathbf{T}_u и \mathbf{T}_i будут состоять из собственных векторов матриц $\underline{\mathbf{Z}} \mathbf{Y}$ и $\underline{\mathbf{Y}} \mathbf{Z}$, соответственно [1]. С учетом этого можно получить матрицы преобразования для токов

$$\mathbf{T}_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -\frac{1}{3} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{3} \\ 0 & -1 & 0 & \frac{2}{3} & 0 & \frac{1}{3} \\ 0 & 0 & -1 & -\frac{1}{3} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{3} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T}_i^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 1 & -\frac{1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{3} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{3} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

и напряжений

$$\mathbf{T}_u = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{3} & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{3} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{3} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{3} & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T}_u^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Из анализа уравнений (6), (7), (9) и (10) следует, что:

1. Токи в жилах кабельной линии не влияют друг на друга. Поэтому в устройстве волнового ОМП, измеряющем волны тока, необходимо использовать непосредственно фазные токи без модального преобразования.

2. Если устройство волнового ОМП контролирует токи или напряжения экранов кабелей, то нужно осуществлять модальное преобразование. При этом требуется учесть, что три волновых канала, образуемых экранами, аналогичны трем волновым каналам воздушной линии.

3. Если к кабельной линии примыкает силовой трансформатор, то волны тока в жилах будут полностью отражаться от места измерений. В таком случае в устройстве волнового ОМП необходимо использовать волны напряжения в канале между жилой и экраном каждого кабеля трехфазной группы.

Литература / References

1. *Alekseev V.S., Petrov V.S., Naumov V.A.* Invariance of Modal Transformations of Electrical Values in Traveling Wave Fault Locator. 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia, 2020, pp. 1–5. DOI: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9111912.

2. *Ametani A., Ohno T., Nagaoka N.* Cable system transients: theory, modeling and simulation. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015.

3. *Clarke I.E.* Circuit Analysis of Alternating Current Power Systems. New York, Wiley, 1943, vol. 1.

4. *Dommel H.W.* Electromagnetic Transients Program: Theory Book, Bonneville Power Administration, 1986.

5. *Fedorov A., Petrov V., Naumov V., Hristoforov V.* Theory of single-end traveling wave fault location. In: Int. Conf. on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia, 2021, pp. 68–74. DOI: 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446310.

6. *Lei A., Dong X., Shi S.* A Novel Method to Identify the Travelling Wave Reflected from the Fault Point or the Remote-end Bus. In: IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2015, pp. 1–5. DOI: 10.1109/PESGM.2015.7285725.

7. *Martinez-Velasco J.A.* Power System Transients. Parameter Determination, CRC Press, 2010, 644 p. DOI: 10.1201/9781420065305.

8. *Schweitzer E., Guzmán A., Mynam M., Skendzic V., Kasztenny B., Marx S.* Locating faults by the traveling waves they launch. In: 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, 2014, pp. 95–110. DOI: 10.1109/CPRE.2014.6798997.

9. *Wedepohl L.M.* Application of matrix methods to the solution of travelling-wave phenomena in polyphaser systems. Proc. IEE 110, 1963, no. 12, pp. 2200–2212.

СЕМЕНОВА АНАСТАСИЯ ГЕННАДЬЕВНА – инженер департамента автоматизации энергосистем, ООО НПП «ЭКРА», Россия, Чебоксары (semenova_ag@ekra.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0211-5341>).

ФЁДОРОВ АЛЕКСЕЙ ОЛЕГОВИЧ – аспирант кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики, Чувашский государственный университет; инженер-исследователь 3-й категории департамента автоматизации энергосистем, ООО НПП «ЭКРА», Россия, Чебоксары (fedorov_a@ekra.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8863-5956>).

ПЕТРОВ ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (petrov_vs@ekra.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3667-1442>).

ДМИТРЕНКО АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ – доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения и интеллектуальных электроэнергетических систем имени А.А. Фёдорова, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (dmitrenko_am@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4380-3482>).

Anastasia G. SEMENOVA, Aleksey O. FEDOROV,
Vladimir S. PETROV, Aleksandr M. DMITRENKO

**MODAL TRANSFORM FEATURES OF CABLE LINE ELECTRICAL VALUES
IN A TRAVELING WAVE FAULT LOCATOR**

Key words: modal transform, cable line, traveling wave fault location.

It is known that during a short circuit on an overhead line, the traveling waves in the phases contain components of two aerial and one ground modes. Due to the different propagation velocity along the line of these components at the locator installation place they arrive at different times. This leads to the fact that the traveling wave front in the phases becomes less pronounced, and, consequently, the accuracy of determining their arrival time and accuracy of the fault location decrease. To divide the phase values of an overhead line into independent components of modes, invariant transformations – Clark transformation, Karrenbauer transformation, or Wedepohl transformation – are used. However, these transformations in their classical form cannot be applied to the electrical values of a cable line, since its design differs from that of an overhead power line. The purpose of the article is to illustrate the use of modal transformation on a cable line. As a result of the study, the following conclusions were obtained: currents in the cable line cores do not affect each other, therefore, in the wave fault locator that measures current waves, it is necessary to use directly the phase currents of the cores without modal transformation; if the wave fault locator measures the currents or voltages of the cable screens, the modal transformation should be performed, and it must be taken into account that the three modes formed by the screens are similar to the three modes of the overhead line; if a power transformer is adjacent to the cable line, the current traveling waves in the cores will be completely reflected from the measurement place, in this case in the wave fault locator it is necessary to use voltage traveling waves in the mode between the core and the screen of each cable of the three-phase group.

ANASTASIA G. SEMENOVA – Engineer, Power Systems Automation Department, EKRA Ltd, Russia, Cheboksary (semenova_ag@ekra.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0211-5341>).

ALEKSEY O. FEDOROV – Post-Graduate Student, Theoretical Foundations of Electrical Engineering and Relay Protection and Automation Department, Chuvash State University; Research Engineer, Power Systems Automation Department, EKRA Ltd, Russia, Cheboksary (fedorov_a@ekra.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8863-5956>).

VLADIMIR S. PETROV – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Department of Theoretical Foundations of Electrical Engineering and Relay Protection and Automation, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (petrov_vs@ekra.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3667-1442>).

ALEKSANDR M. DMITRENKO – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Power Supply and Intelligent Electric Power Systems named after A.A. Fedorov, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (dmitrenko_am@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4380-3482>).

Формат цитирования: Семенова А.Г., Фёдоров А.О., Петров В.С., Дмитренко А.М. Особенности модального преобразования электрических величин кабельной линии электропередачи в устройстве волнового определения места повреждения // Вестник Чувашского университета. – 2022. – № 3. – С. 81–87. DOI: 10.47026/1810-1909-2022-3-81-87.