УДК 621.311.004.12 DOI: 10.18324/2077-5415-2018-3-66-72

Уравнения пассивного восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами

Г.А. Большанин

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
bolshaning@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-0218-7334
Статья поступила 22.05.2018, принята 20.08.2018

Восьмиполюсники различных исполнений, в том числе и восьмиполюсник с пятью входными и тремя выходными выводами, необходимы для замещения некоторых энергетических объектов, особенно тогда, когда интерес представляют лишь входные и выходные характеристики электрической энергии. В статье представлены уравнения восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами, устанавливающие связь между этими характеристиками. Уравнения A-формы устанавливают связь между входными и выходными напряжениями и токами, уравнения B-формы — между выходными и входными напряжениями и токами, уравнения G-формы — между входными токами, выходными напряжениями и выходным напряжением, выходными токами, уравнения H-формы — между входным напряжением, выходными токами и выходным током, выходными напряжениями, уравнения Y-формы — между входными и выходными токами и входными и выходными напряжениями, уравнения Z-формы — между входными и выходными напряжениями и входными и выходными токами. При реализации этих уравнений следует обратить внимание на различие направлений токов в каждом отдельном случае. Все уравнения в полной мере оценивают состояние восьмиполюсника и могут использоваться в различных областях электроэнергетики и электротехники. Основные различия между этими уравнениями заключаются в своеобразии соответствующих коэффициентов. Их численные значения могут быть определены экспериментально. Кроме того, существует реальная возможность формирования количественной связи между коэффициентами уравнений восьмиполюсника различных форм. Отмечено, что восьмиполюсник с пятью входными и тремя выходными выводами не может быть обратимым и симметричным.

Ключевые слова: выводы; коэффициенты восьмиполюсника; напряжения; токи; направления напряжений и токов.

Equations of the passive eight-terminal network with five input and three output pins

G.A. Bolshanin

Bratsky State University; 40, Makarenko, Bratsk, Russia
bolshaning@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-0218-7334
Received 22.05.2018, accepted 20.08.2018

Eight-poles of various designs, including an eight-terminal network with five input and three output terminals, are necessary for replacing some power objects especially when only the input and output characteristics of electrical energy are of interest. The paper presents the eight-terminal network equations with five input and three output terminals establishing a connection between these characteristics. The equations of the A-form establish a connection between the input and output voltages and currents; the B-form equations establish a connection between the output and input voltages and currents; the G-form equations establish a connection between the input current, output voltages and output voltage, output currents; the H-form equations establish the relationship between input voltage, output currents and output current, output voltages; the Y-form equations establish a connection between the input and output currents and the input and output voltages; the Z-form equations establish the relationship between the input and output voltages and the input and output currents. When implementing these equations, attention should be paid to the difference in the directions of the currents in each individual case. All these equations fully evaluate the state of the eight-terminal network and can be used in various fields of electric power engineering and electrical engineering. The main differences between these equations are in the singularity of the corresponding coefficients. Their numerical values can be determined experimentally. In addition, there is a real possibility of forming a quantitative relationship between the coefficients of the eight-terminal network equations of various forms. It is noted that an eight-pole with five input and three output terminals can not be reversible and symmetric.

Keywords: conclusions; eight-terminal network coefficients; voltages; currents; voltage and current directions

Введение

Восьмиполюсники — это одна из разновидностей многополюсников. Идея замещения электротехнических объектов многополюсниками возникла давно [1; 2], но до недавнего времени основное внимание уделялось теории четырехполюсников. Теория многополюсников рассматривалась в основном применительно к устройствам связи [3; 4]. Позже возможность применения теории многополюсников стали рассматривать при синтезе и анализе электрических цепей [5], в силовой энергетике [6–8], электронике [9], в системах автоматического управления промышленными технологиями [10] и даже в механике [11; 12].

Восьмиполюсники могут иметь два выходных и шесть выходных, три входных и пять выходных, четыре входных и четыре выходных, пять входных и три выходных, шесть входных и два выходных вывода. К входным выводам обычно подключаются внешние источники электрической энергии или устройства, являющиеся посредниками между источниками электрической энергии и восьмиполюсником, а к выходным — потребители этой энергии.

Восьмиполюсники с четырьмя входными и четырьмя выходными выводами использовались для замещения трехпроводного участка электроэнергетической системы, для замещения линии электропередачи трехпроводного исполнения [13; 14] и отдельных электротехнических устройств [15].

Но электроэнергетические системы могут иметь любую конфигурацию, да и электротехническое оборудование может иметь, в принципе, сколько угодно входов и выходов. Поэтому следует обратить внимание и на восьмиполюсники иных модификаций. В рассматриваемом случае интерес представляет пассивный восьмиполюсник с пятью входными и тремя выходными выводами. Это, безусловно, частный случай.

Обычно восьмиполюсник представляет собой «черный ящик», внутреннее содержание которого чаще всего неизвестно. Интерес в этом случае представляют лишь входные и выходные характеристики электрической энергии, в частности — начала теории восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами, а именно способы описания состояния этого восьмиполюсника соответствующими уравнениями.

Элементы теории. Общий вид пассивного восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами представлен на рис. 1.

Восьмиполюсник с пятью входными и тремя выходными выводами характеризуется четырьмя входными напряжениями $\dot{U}_{11}$, $\dot{U}_{21}$, $\dot{U}_{31}$, $\dot{U}_{41}$; четырьмя входными токами $\dot{I}_{11}$, $\dot{I}_{21}$, $\dot{I}_{31}$, $\dot{I}_{41}$; двумя выходными напряжениями $\dot{U}_{12}$, $\dot{U}_{22}$ и двумя выходными токами $\dot{I}_{12}$, $\dot{I}_{22}$.

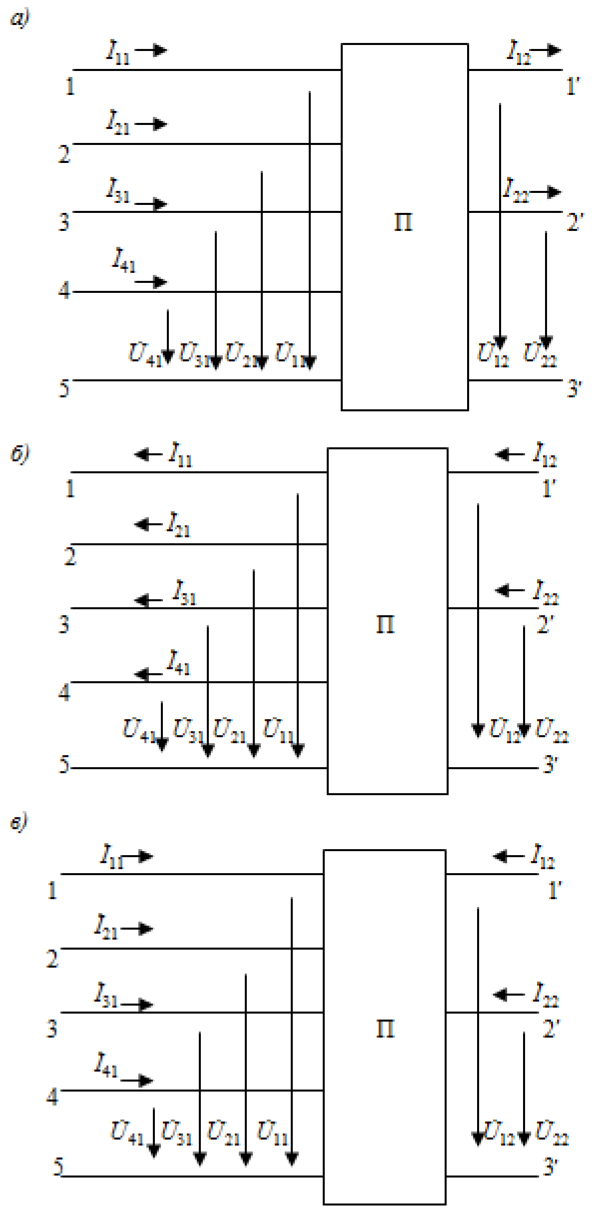

Рис. 1. Пассивный восьмиполюсник с пятью входными и тремя выходными выводами

Входное напряжение $\dot{U}_{11}$ определяется разностью потенциалов между входными выводами 1 и 5, входное напряжение $\dot{U}_{21}$ — разностью потенциалов между входными выводами 2 и 5, входное напряжение $\dot{U}_{31}$ — разностью потенциалов между входными выводами 3 и 5, а входное напряжение $\dot{U}_{41}$ — разностью потенциалов между входными выводами 4 и 5. Разность напряжений $\dot{U}_{11}$ и $\dot{U}_{21}$ определяет напряжение между входными выводами 1 и 2: $\dot{U}_{1} = \dot{U}_{11} - \dot{U}_{21}$; разность напряжений $\dot{U}_{11}$ и $\dot{U}_{31}$ определяет напряжение между входными выводами 1 и 3: $\dot{U}_{13} = \dot{U}_{11} - \dot{U}_{31}$; разность напряжений $\dot{U}_{11}$ и $\dot{U}_{41}$ определяет напряжение между входными выводами 1 и 4: $\dot{U}_{14} = \dot{U}_{11} - \dot{U}_{41}$; разность напряжений $\dot{U}_{21}$ и $\dot{U}_{31}$ определяет напряжение между входными выводами 2 и 3 $\dot{U}_{23} = \dot{U}_{21} - \dot{U}_{31}$; разность напряжений $\dot{U}_{21}$ и $\dot{U}_{41}$ определяет напряжение между входными выводами 2 и 4: $\dot{U}_{24} = \dot{U}_{21} - \dot{U}_{41}$; разность напряжений $\dot{U}_{31}$ и $\dot{U}_{41}$ определяет напряжение между входными выводами 3 и 4: $\dot{U}_{34} = \dot{U}_{31} - \dot{U}_{41}$.

Выходное напряжение $\dot{U}_{12}$ может быть представлено разностью потенциалов между выходными выводами $1'$ и $3'$, выходное напряжение $\dot{U}_{22}$ — разностью потенциалов между выходными выводами $2'$ и $3'$. Разность выходных напряжений $\dot{U}_{12}$ и $\dot{U}_{22}$ определяет напряжение между выходными выводами $1'$ и $2'$: $\dot{U}_{1'2'} = \dot{U}_{12} - \dot{U}_{22}$.

Входной ток $\dot{I}_{11}$ имеет место во входном выводе 1, входной ток $\dot{I}_{21}$ — во входном выводе 2, входной ток $\dot{I}_{31}$ — во входном выводе 3, а входной ток $\dot{I}_{41}$ — во входном выводе 4. Ток во входном выводе 5 определяется суммой этих токов: $\dot{I}_{31} = \dot{I}_{11} + \dot{I}_{21} + \dot{I}_{31} + \dot{I}_{41}$.

Выходной ток $\dot{I}_{12}$ может быть зарегистрирован в выходном выводе $1'$, а ток $\dot{I}_{22}$ — в выходном выводе $2'$. Ток в выходном выводе $3'$ определяется суммой этих токов: $\dot{I}_{32} = \dot{I}_{12} + \dot{I}_{22}$.

Состояние восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами тоже может быть описано уравнениями различных форм: A-формы, B-формы, G-формы, H-формы, Y-формы и Z-формы. Все они в равной степени могут быть использованы в инженерной практике. Но при пользовании этими уравнениями следует учитывать своеобразие условно положительных направлений токов. На рис 1 *а* указаны условно положительные направления напряжений и токов для уравнений A-формы, на рис. 1 *б* — для уравнений B-формы; а на рис 1 *в* — для уравнений G-формы, H-формы, Y-формы и Z-формы.

Количественную связь между входными и выходными характеристиками электрической энергии, каковыми являются напряжения и токи, устанавливают уравнения A-формы:

$$\begin{Vmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{U}_{21} \\ \dot{U}_{31} \\ \dot{U}_{41} \\ \dot{I}_{11} \\ \dot{I}_{21} \\ \dot{I}_{31} \\ \dot{I}_{41} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} A_1 & B_1 & N_1 & O_1 \\ A_2 & B_2 & N_2 & O_2 \\ A_3 & B_3 & N_3 & O_3 \\ A_4 & B_4 & N_4 & O_4 \\ C_1 & D_1 & E_1 & F_1 \\ C_2 & D_2 & E_2 & F_2 \\ C_3 & D_3 & E_3 & F_3 \\ C_4 & D_4 & E_4 & F_4 \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} \dot{U}_{12} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{I}_{22} \end{Vmatrix} = \mathbf{A} \cdot \begin{Vmatrix} \dot{U}_{12} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{I}_{22} \end{Vmatrix},$$

где A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, F_1, N_1, O_1, A_2, B_2, C_2, D_2, E_2, F_2, N_2, O_2, A_3, B_3, C_3, D_3, E_3, F_3, N_3, O_3, A_4, B_4, C_4, D_4, E_4, F_4, N_4 и O_4 — коэффициенты уравнений A-формы, описывающих состояние восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами.

Уравнения A-формы можно представить и так:

$$\begin{Vmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{U}_{21} \\ \dot{U}_{31} \\ \dot{U}_{41} \\ \dot{I}_{11} \\ \dot{I}_{21} \\ \dot{I}_{31} \\ \dot{I}_{41} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} \\ A_{51} & A_{52} & A_{53} & A_{54} \\ A_{61} & A_{62} & A_{63} & A_{64} \\ A_{71} & A_{72} & A_{73} & A_{74} \\ A_{81} & A_{82} & A_{83} & A_{84} \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} \dot{U}_{12} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{I}_{22} \end{Vmatrix} = \mathbf{A} \cdot \begin{Vmatrix} \dot{U}_{12} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{I}_{22} \end{Vmatrix},$$

где A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}, A_{21}, A_{22}, A_{23}, A_{24}, A_{31}, A_{32}, A_{33}, A_{34}, A_{41}, A_{42}, A_{43}, A_{44}, A_{51}, A_{52}, A_{53}, A_{54}, A_{61}, A_{62}, A_{63}, A_{64}, A_{71}, A_{72}, A_{73}, A_{74}, A_{81}, A_{82}, A_{83} и A_{84} — коэффициенты второго варианта уравнений A-формы, описывающих состояние восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами.

В этих уравнениях коэффициенты $A_1(A_{11})$, $D_1(A_{52})$, $F_1(A_{54})$, $N_1(A_{13})$, $A_2(A_{21})$, $D_2(A_{62})$, $F_2(A_{64})$, $N_2(A_{23})$, $A_3(A_{31})$, $D_3(A_{72})$, $F_3(A_{74})$, $N_3(A_{33})$, $A_4(A_{41})$, $D_4(A_{82})$, $F_4(A_{84})$ и $N_4(A_{43})$ безразмерны; коэффициенты $B_1(A_{12})$, $O_1(A_{14})$, $B_2(A_{22})$, $O_2(A_{24})$, $B_3(A_{32})$, $O_3(A_{34})$, $B_4(A_{42})$ и $O_4(A_{44})$ имеют размерность сопротивления (*Ом*), а коэффициенты $C_1(A_{51})$, $E_1(A_{53})$, $C_2(A_{61})$, $E_2(A_{63})$, $C_3(A_{71})$, $E_3(A_{73})$, $C_4(A_{81})$ и $E_4(A_{83})$ — размерность проводимости (*См*).

Количественную связь между выходными и входными характеристиками электрической энергии устанавливают уравнения B-формы:

$$\begin{Vmatrix} \dot{U}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{I}_{22} \end{Vmatrix} =$$

$$= \begin{Vmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} & B_{15} & B_{61} & B_{71} & B_{81} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} & B_{25} & B_{26} & B_{72} & B_{82} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} & B_{35} & B_{36} & B_{37} & B_{38} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} & B_{45} & B_{46} & B_{47} & B_{48} \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{I}_{11} \\ \dot{U}_{21} \\ \dot{I}_{21} \\ \dot{U}_{31} \\ \dot{I}_{31} \\ \dot{U}_{41} \\ \dot{I}_{42} \end{Vmatrix} =$$

$$= \mathbf{B} \cdot \begin{Vmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{I}_{11} \\ \dot{U}_{21} \\ \dot{I}_{21} \\ \dot{U}_{31} \\ \dot{I}_{31} \\ \dot{U}_{41} \\ \dot{I}_{41} \end{Vmatrix},$$

где B_{11}, B_{12}, B_{13}, B_{14}, B_{15}, B_{16}, B_{17}, B_{18}, B_{21}, B_{22}, B_{23}, B_{24}, B_{25}, B_{26}, B_{27}, B_{28}, B_{31}, B_{32}, B_{33}, B_{34}, B_{35}, B_{36}, B_{37}, B_{38}, B_{41}, B_{42}, B_{43}, B_{44}, B_{45}, B_{46}, B_{47} и B_{48} — коэффициенты уравнений B-формы, описывающих состояние восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами.

В уравнениях B-формы коэффициенты B_{11}, B_{13}, B_{15}, B_{17}, B_{21}, B_{23}, B_{25}, B_{27}, B_{32}, B_{34}, B_{36}, B_{38}, B_{42}, B_{44}, B_{46} и B_{48} безразмерны; коэффициенты B_{12}, B_{14}, B_{16}, B_{18}, B_{22}, B_{24}, B_{26} и B_{28} имеют размерность сопротивления (*Ом*); а коэффициенты B_{31}, B_{33}, B_{35}, B_{37}, B_{41}, B_{43}, B_{45} и B_{47} — размерность проводимости (*См*).

Количественную связь между входными токами, выходными напряжениями и входными напряжениями, выходными токами устанавливают уравнения G-формы:

$$\begin{Vmatrix} \dot I_{11} \\ \dot I_{21} \\ \dot I_{31} \\ \dot I_{42} \\ \dot U_{12} \\ \dot U_{22} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{14} & G_{15} & G_{16} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{24} & G_{25} & G_{26} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} & G_{34} & G_{35} & G_{36} \\ G_{41} & G_{42} & G_{43} & G_{44} & G_{45} & G_{46} \\ G_{51} & G_{52} & G_{53} & G_{54} & G_{55} & G_{56} \\ G_{61} & G_{62} & G_{63} & G_{64} & G_{65} & G_{66} \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} \dot U_{11} \\ \dot U_{21} \\ \dot U_{31} \\ \dot U_{41} \\ \dot I_{12} \\ \dot I_{22} \end{Vmatrix} = \mathbf{G} \cdot \begin{Vmatrix} \dot U_{11} \\ \dot U_{21} \\ \dot U_{31} \\ \dot U_{41} \\ \dot I_{12} \\ \dot I_{22} \end{Vmatrix},$$

где G_{11}, G_{12}, G_{13}, G_{14}, G_{15}, G_{16}, G_{21}, G_{22}, G_{23}, G_{24}, G_{25}, G_{26}, G_{31}, G_{32}, G_{33}, G_{34}, G_{35}, G_{36}, G_{41}, G_{42}, G_{43}, G_{44}, G_{45}, G_{46}, G_{51}, G_{52}, G_{53}, G_{54}, G_{55}, G_{56}, G_{61}, G_{62}, G_{63}, G_{64}, G_{65} и G_{66} — коэффициенты уравнений G-формы, описывающих состояние восьмиполюсника пятью входными и тремя выходными выводами.

В уравнениях G-формы коэффициенты G_{15}, G_{16}, G_{25}, G_{26}, G_{35}, G_{36}, G_{45}, G_{46}, G_{51}, G_{52}, G_{53}, G_{54}, G_{61} и G_{62} безразмерны; коэффициенты G_{55}, G_{56}, G_{65} и G_{66} имеют размерность сопротивления (*Ом*); а коэффициенты G_{11}, G_{12}, G_{13}, G_{14}, G_{21}, G_{22}, G_{23}, G_{24}, G_{31}, G_{32}, G_{33}, G_{34}, G_{41}, G_{42}, G_{43} и G_{44}, — размерность проводимости (*См*).

Количественная связь между входными напряжениями, выходными токами и входными токами, выходными напряжениями устанавливается уравнениями H-формы:

$$\begin{Vmatrix} \dot U_{11} \\ \dot U_{21} \\ \dot U_{31} \\ \dot U_{41} \\ \dot I_{12} \\ \dot I_{22} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} & H_{14} & H_{15} & H_{16} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} & H_{24} & H_{25} & H_{26} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} & H_{34} & H_{35} & H_{36} \\ H_{41} & H_{42} & H_{43} & H_{44} & H_{45} & H_{46} \\ H_{51} & H_{52} & H_{53} & H_{54} & H_{55} & H_{56} \\ H_{61} & H_{62} & H_{63} & H_{64} & H_{65} & H_{66} \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} \dot I_{11} \\ \dot I_{21} \\ \dot I_{31} \\ \dot I_{41} \\ \dot U_{12} \\ \dot U_{22} \end{Vmatrix} = \mathbf{H} \cdot \begin{Vmatrix} \dot I_{11} \\ \dot I_{21} \\ \dot I_{31} \\ \dot I_{41} \\ \dot U_{12} \\ \dot U_{22} \end{Vmatrix},$$

где H_{11}, H_{12}, H_{13}, H_{14}, H_{15}, H_{16}, H_{21}, H_{22}, H_{23}, H_{24}, H_{25}, H_{26}, H_{31}, H_{32}, H_{33}, H_{34}, H_{35}, H_{36}, H_{41}, H_{42}, H_{43}, H_{44}, H_{45}, H_{46}, H_{51}, H_{52}, H_{53}, H_{54}, H_{55}, H_{56}, H_{61}, H_{62}, H_{63}, H_{64}, H_{65} и H_{66} — коэффициенты уравнений H-формы, описывающих состояние восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами.

В уравнениях H-формы коэффициенты H_{15}, H_{16}, H_{25}, H_{26}, H_{35}, H_{36}, H_{45}, H_{46}, H_{51}, H_{52}, H_{53}, H_{54}, H_{61}, H_{62}, H_{63} и H_{64} безразмерны; коэффициенты H_{55}, H_{56}, H_{65} и H_{66} имеют размерность сопротивления (*Ом*); а коэффициенты H_{11}, H_{12}, H_{13}, H_{14}, H_{21}, H_{22}, H_{23}, H_{24}, H_{31}, H_{32}, H_{33}, H_{34}, H_{41}, H_{42}, H_{43} и H_{44} — размерность проводимости (*См*).

Количественную связь между токами и напряжениями устанавливают уравнения Y-формы:

$$\begin{Vmatrix} \dot I_{11} \\ \dot I_{21} \\ \dot I_{31} \\ \dot I_{41} \\ \dot I_{12} \\ \dot I_{22} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{15} & Y_{16} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{25} & Y_{26} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{35} & Y_{36} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{45} & Y_{46} \\ Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} & Y_{54} & Y_{55} & Y_{56} \\ Y_{61} & Y_{62} & Y_{63} & Y_{64} & Y_{65} & Y_{66} \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} \dot U_{11} \\ \dot U_{21} \\ \dot U_{31} \\ \dot U_{41} \\ \dot U_{12} \\ \dot U_{22} \end{Vmatrix} = \mathbf{Y} \cdot \mathbf{U} = \mathbf{I},$$

где Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{21}, Y_{22}, Y_{23}, Y_{24}, Y_{25}, Y_{26}, Y_{31}, Y_{32}, Y_{33}, Y_{34}, Y_{35}, Y_{36}, Y_{41}, Y_{42}, Y_{43}, Y_{44}, Y_{45}, Y_{46}, Y_{51}, Y_{52}, Y_{53}, Y_{54}, Y_{55}, Y_{56}, Y_{61}, Y_{62}, Y_{63}, Y_{64}, Y_{65} и Y_{66} — коэффициенты уравнений Y-формы, описывающих состояние восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами.

В уравнениях Y-формы все коэффициенты имеют размерность проводимости (*См*).

Количественная связь между напряжениями и токами устанавливается уравнениями Z-формы:

$$\begin{Vmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{U}_{21} \\ \dot{U}_{31} \\ \dot{U}_{41} \\ \dot{U}_{12} \\ \dot{U}_{22} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} & Z_{15} & Z_{16} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} & Z_{25} & Z_{26} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} & Z_{35} & Z_{36} \\ Z_{41} & Z_{42} & Z_{43} & Z_{44} & Z_{45} & Z_{46} \\ Z_{51} & Z_{52} & Z_{53} & Z_{54} & Z_{55} & Z_{56} \\ Z_{61} & Z_{62} & Z_{63} & Z_{64} & Z_{65} & Z_{66} \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} \dot{I}_{11} \\ \dot{I}_{21} \\ \dot{I}_{31} \\ \dot{I}_{41} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{I}_{22} \end{Vmatrix} =$$

$$= \mathbf{Z} \cdot \mathbf{I} = \mathbf{U},$$

где Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}, Z_{15}, Z_{16}, Z_{21}, Z_{22}, Z_{23}, Z_{24}, Z_{25}, Z_{26}, Z_{31}, Z_{32}, Z_{33}, Z_{34}, Z_{35}, Z_{36}, Z_{41}, Z_{42}, Z_{43}, Z_{44}, Z_{45}, Z_{46}, Z_{51}, Z_{52}, Z_{53}, Z_{54}, Z_{55}, Z_{56}, Z_{61}, Z_{62}, Z_{63}, Z_{64}, Z_{65} и Z_{66} — коэффициенты уравнений Z-формы, описывающих состояние восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами.

В этих уравнениях все коэффициенты имеют размерность сопротивления (*Ом*).

Речь не может идти о возможных обратимости и симметрии восьмиполюсника с разным количеством входных и выходных выводов.

Восьмиполюсник с пятью входными и тремя выходными выводами может замещать различные объекты электроэнергетики, и их состояние может быть описано уравнениями любой из приведенных здесь форм.

Этим восьмиполюсником могут быть замещены, например, трансформаторная группа, трансформаторная подстанция, распределительное устройство или часть электроэнергетической системы.

На рис. 2 в качестве примера приведена часть электроэнергетической системы, включающей в свой состав линию электропередачи четырехпроводного исполнения с изолированной нейтралью, часть распределительного устройства (РП) и две однофазных линии с глухозаземленной нейтралью, которая замещается пассивным восьмиполюсником с пятью входными и тремя выходными выводами. Причем трехфазная линия электропередачи четырехпроводного исполнения с изолированной нейтралью образует вход восьмиполюсника, а две однофазные линии с глухозаземленной нейтралью образуют его выход.

Резисторы $\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$, $\underline{Z}_3$, $\underline{Z}_4$, $\underline{Z}_5$, $\underline{Z}_6$, $\underline{Z}_7$ и $\underline{Z}_8$ на рис. 2 представляют продольные параметры трехфазной линии электропередачи четырехпроводного исполнения, а резисторы $\underline{Z}_9$, $\underline{Z}_{10}$, $\underline{Z}_{11}$ и $\underline{Z}_{12}$ — продольные параметры двух однофазных линий с глухозаземленной нейтралью. Причем в продольных параметрах учтены параметры коммутационных устройств и линейной арматуры.

Резисторы $\underline{Y}_1$, $\underline{Y}_2$, $\underline{Y}_3$, $\underline{Y}_4$, $\underline{Y}_5$, $\underline{Y}_6$, $\underline{Y}_7$ и $\underline{Y}_8$ на рис. 2 иллюстрируют поперечные параметры трехфазной линии электропередачи четырехпроводного исполнения, а резисторы $\underline{Y}_9$ и $\underline{Y}_{10}$ — поперечные параметры двух однофазных линий с глухозаземленной нейтралью.

Связь входных и выходных напряжений и токов в этом участке электроэнергетической системы может быть описана уравнениями любой из представленных форм.

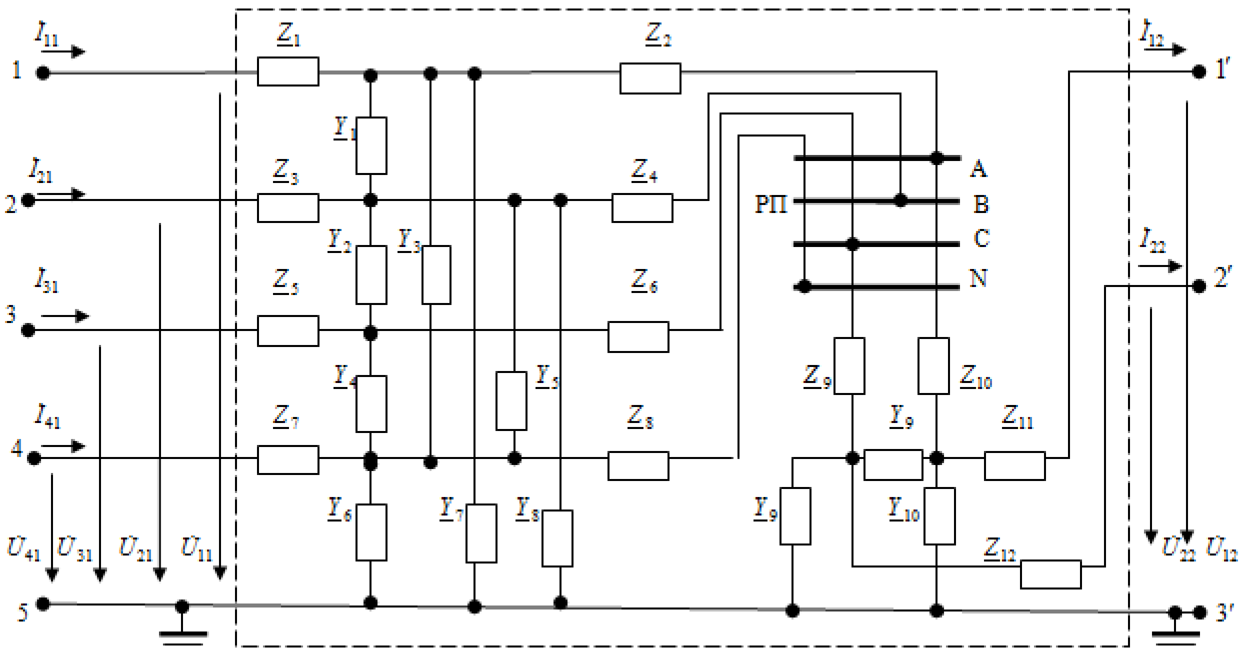

Рис. 2. Вариант замещения участка электроэнергетической системы пассивным восьмиполюсником с пятью входными и тремя выходными выводами

Результаты

Уравнения каждой формы вполне применимы в инженерной практике в той или иной области электротехники. В силовой электроэнергетике, например, важны количественные связи между входными и выходными характеристиками электрической энергии, которые устанавливают уравнения А-формы и В-формы. Чаще всего отдается предпочтение уравнениям А-формы, но для описания восьмиполюсника с пятью входными и тремя выходными выводами они крайне неудобны, поскольку в данном случае количество неизвестных (входных) величин превышает количество известных (выходных). В этом случае удобнее использовать уравнения B-формы.

Тем не менее, нельзя умалять важность уравнений A-формы, G-формы, H-формы, Y-формы и Z-формы. В отдельных случаях они необходимы и нашли применение в ряде отраслей электроэнергетики, поскольку оказались весьма удобными для описания работы отдельных элементов электроэнергетических систем и электротехнического оборудования.

Заключение

Рассмотренные здесь элементы теории восьмиполюсников позволят осуществить объективный анализ электротехнического оборудования трехфазного исполнения, а также трехфазных электроэнергетических систем. Развитие теории восьмиполюсников открывает новые возможности такого анализа. Например, объективный анализ распределения электрической энергии по участкам электроэнергетических систем [13–17], определение параметров линий электропередачи трехпроводного исполнения [16–18] и т. д.

Разработанные здесь элементы теории восьмиполюсников могут быть образцом для формирования теорий десятиполюсников, двенадцатиполюсников, четырнадцатиполюсников, которыми в условиях пониженного качества электрической энергии могут быть замещены, например, трехфазные линии электропередачи четырехпроводного исполнения [19], трехпроводного исполнения с грозозащитным тросом [20], пятипроводного и шестипроводного (двухцепная ЛЭП) [21] исполнений. Возможна разработка элементов теории многополюсников и иных исполнений [22].

В целом статья может служить основой для дальнейшего развития теории восьмиполюсников.

Литература

1. Воронов Р.А. Общая теория четырехполюсников и многополюсников. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1951. 192 с.

2. Зевеке Г.В. Многополюсники. М.: МЭИ, 1971. 23 с.

3. Попов Н.М., Олин Д.М., Кирилин А.А. Способ передачи сигналов по сельским распределительным сетям 0,38 кВ // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 2. С. 88-97.

4. Барабанов Е.А., Мальцева И.С., Барабанов И.О. Алгоритм параллельной обработки данных в оптических сетях // Науч. вестн. НГТУ. 2004. Т. 56, № 3. С. 88-95.

5. Салимоненко Д.А. Применение методов линейного программирования для определения параметров электрических цепей Ч. 1 // Вестн. Башкир. ун-та. 2015. Т. 20, № 4. С. 1155-1163.

6. Куликов А.Л., Лукичева И.А. Определение места повреждения линии электропередачи по мгновенным значениям осциллограмм аварийных событий // Вестн. ИГЭУ. 2016. Вып. 5. С. 16-21.

7. Китаев А.В., Агбомассу В.Л., Глухова В.И. Схемы замещения электрических двигателей переменного тока // Электротехнические и компьютерные системы. 2013. № 11 (87). С. 59-65.

8. Беликов Ю.С. Многополюсник как модель электрических систем. Ч. 2. М.: НТФ Энергопрогресс, 2013. 92 с.

9. Федотов Ю.Б., Нестеров С.А., Мустафа Г.М. Повышение эффективности программ моделирования устройств силовой электроники // Apriori. Сер. Естественные и технические науки. 2015. № 6. С. 1-14.

10. Тлустенко С.Ф., Коптев А.Н. Разработка и исследование методологии информационного обеспечения технологических систем агрегатоно-сборочного производства летательных аппаратов // Изв. Самарского НЦ РАН. 2015. Т. 17. № 6 (2). С. 491-497.

11. Крюков А.Н., Шахматов Е.В., Самсонов В.Н., Дружин А.Н. Методика проектирования и перспективная конструкция средств снижения шумов судовых трубопроводов / Крюков А.Н., Шахматов Е.В., Самсонов В.Н., Дружин А.Н. // Фундоментальная и прикладная гидрофизика. 2014. Т.7, № 3. С. 67-79.

12. Levitskiy Zhorzh G., Imanov Zhenis Zh., Nurgaliyeva Assel D. Quasianalog transformation of Compound Ventilating Network // European Researcher. 2013. Vol. 40. № 2-1. P. 259-267.

13. Большанин Г.А., Большанина Л.Ю. Распределение электрической энергии пониженного качества по трехфазной магистральной линии электропередачи трехпроводного исполнения // Вестн. Ижевс. гос. ун-та. 2008. № 3 (39). С. 130-134.

14. Большанин Г.А., Большанина Л.Ю., Марьясова Е.Г. Распределение гармонических составляющих электрической энергии вдоль несимметричного участка трехфазной ВЛЭП трехпроводного исполнения // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2010. Т. 1, № 2. С. 20-25.

15. Большанин Г.А., Большанина Л.Ю. Элементы трехпроводной линии электропередачи в теории многополюсников // Materiály IX mezinárodní vědecko – praktická konference «Moderni vymoženosti věda – 2013» – Díl 76. Technické vědy: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o S. 24-28.

16. Большанин Г.А., Большанина Л.Ю. Использование теории восьмиполюсника для анализа электропередачи // Lap Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Germany. Saarbrücken, 2014. 145 с.

17. Большанин Г.А. Передача электрической энергии по ЛЭП одно-, двух- и трех проводного исполнений. Братск: Изд-во БрГУ, 2016. 313 с.

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

19. Большанин Г.А., Большанина Л.Ю., Марьясова Е.Г. Распространение электрической энергии пониженного качества по неразветвленной трехфазной четырехпроводной ЛЭП // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2007. 2 (30). С. 65-74.

20. Шевченко М.А., Большанин Г.А. Учет грозозащитного троса при моделировании передачи электрической энергии пониженного качества // Системы Методы Технологии. 2016. № 3 (31). С.135-142.

21. Большанин Г.А., Плотников М.П. Распределение электрической энергии вдоль неоднородного участка двухцепной линии электропередачи // Электротехнические комплексы и системы управления. 2013. № 1 (29). С. 14-20.

22. Большанин Г.А. Многополюсники. Братск: Изд-во БрГУ, 2017. 337 с.

References

1. Voronov R.A. The general theory of four-ports and multipoles. M.-L.: Gosenergoizdat, 1951. 192 p.

2. Zeveke G.V. Multipolar network. M.: MEI, 1971. 23 p.

3. Popov N.M., Olin D.M., Kirilin A.A. Method of signal transmission over rural distribution networks 0.38 kV // The Bulletin of KrasGAU. 2017. № 2. P. 88-97.

4. Barabanov E.A., Mal'ceva I.S., Barabanov I.O. Algorhythm of parallel data processing in optical networks // Scientific Bulletin of NSTU. 2004. T. 56, № 3. P. 88-95.

5. Salimonenko D.A. Application of linear programming methods for determining the parameters of electrical circuits. Part 1//Bulletin of Bashkir University. 2015. T. 20, № 4. P. 1155-1163.

6. Kulikov A.L., Lukicheva I.A. Determination of the fault location of the power transmission line by the instantaneous values of the oscillograms of the emergency events // Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University (named after V.I. Lenin). 2016. Vyp. 5. P. 16-21.

7. Kitaev A.V., Agbomassu V.L., Gluhova V.I. Schemes for the replacement of electric motors of alternating current // Electrotechnic and Computer System. 2013. № 11 (87). P. 59-65.

8. Belikov Yu.S. Multipole network as a model of electrical systems. Part 2. M.: NTF Energoprogress, 2013. 92 p.

9. Fedotov Yu.B., Nesterov S.A., Mustafa G.M. A higher efficiency of simulation programs for power electronics devices // Apriori. Ser. Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2015. № 6. P. 1-14.

10. Tlustenko S.F., Koptev A.N. Development and research of methodology of information support of technological systems of aggregate-assembly production of aircraft //Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2015. T. 17. № 6 (2). P. 491-497.

11. Kryukov A.N., Shahmatov E.V., Samsonov V.N., Druzhin A.N. Design methodology and perspective design of noise reduction means for ship pipelines // Fundamentalnaya I Prilkadnaya Gidrofizika. 2014. T. 7, № 3. P. 67-79.

12. Levitskiy Zhorzh G., Imanov Zhenis Zh., Nurgaliyeva Assel D. Quasianalog transformation of Compound Ventilating Network // European Researcher. 2013.Vol (40). № 2-1. P. 259-267.

13. Bol'shanin G.A., Bol'shanina L.Yu. Distribution of low-quality electric power through a three-phase trunk transmission line of three-wire execution // Bulletin of Kalashnikov ISTU. 2008. № 3 (39). P. 130-134.

14. Bol'shanin G.A., Bol'shanina L.Yu., Mar'yasova E.G. Distribution of harmonic components of electric energy along an asymmetric section of a three-phase high-voltage transmission line of a three-wire version // ELEKTRO. Elektrotekhnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost'. 2010. T. 1, № 2. P. 20-25.

15. Bol'shanin G.A., Bol'shanina L.Yu. Elements of a three-wire power transmission line in the theory of multipoles // Materiály IX mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderni vymoženosti věda- 2013» - Díl 76. Technické vědy: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o P. 24-28.

16. Bol'shanin G.A., Bol'shanina L.Yu.The use of the eight-terminal network theory for power transmission analysis // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Germany. Saarbrücken, 2014.145 p.

17. Bol'shanin G.A. Transmission of electrical energy through single, double and three wire power transmission lines. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2016. 313 p.

18. Bol'shanin G.A., Bol'shanina L.Yu. Determination of secondary parameters of a homogeneous section of a three-wire transmission line by the eight-port method // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2013. № 2 (38). P. 232-237.

19. Bol'shanin G.A., Bol'shanina L.Yu., Mar'yasova E.G. Distribution of low-quality electrical energy through an unbranched three-phase four-wire transmission line // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2007. № 2 (30). P. 65-74.

20. Shevchenko M.A., Bol'shanin G.A. Accounting for a lightning-proof cable in the simulation of lowquality electric power transmission // Systems Methods Technologies. 2016. № 3 (31). P.135-142.

21. Bol'shanin G.A., Plotnikov M.P. Distribution of electrical energy along an inhomogeneous section of a two-circuit power transmission line // Elektrotekhnicheskie kompleksy i sistemy upravleniya. 2013. № 1 (29). P. 14-20.

22. Bol'shanin G.A. Multicars. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2017. 337p.