



УРАВНЕНИЯ ПАССИВНОГО ВОСЬМИПОЛЮСНИКА С ТРЕМЯ ВХОДНЫМИ И ПЯТЬЮ ВЫХОДНЫМИ ВЫВОДАМИ

Г.А. Большанин

Братский государственный университет, г. Братск, Россия

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0218-7334>, bolshaning@mail.ru

Резюме: Восемиполюсники различных исполнений, в том числе и восьмиполюсник с тремя входными и пятью 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 тремя входными и пятью выходными выводами, устанавливающие связь между этими характеристиками. Уравнения А-формы устанавливают связь между входными и выходными напряжениями и токами; уравнения В-формы устанавливают связь между выходными и входными напряжениями и токами; уравнения G-формы устанавливают связь между входным током, выходными напряжениями и выходным напряжением, выходными токами; уравнения H-формы устанавливают связь между входным напряжением, выходными токами и выходным током, выходными напряжениями; уравнения Y-формы устанавливают связь между входными и выходными токами и входными и выходными напряжениями; уравнения Z-формы устанавливают связь 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.

Ключевые слова: выводы, коэффициенты восьмиполюсника, напряжения, токи, направления, матричная запись.

DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-109-119

Для цитирования: Большанин Г.А. Уравнения пассивного восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018. Т. 20. № 9-10. С. 109-119. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-109-119.

EQUIVALENTS OF THE PASSIVE EIGHT-EARTH POLAR WITH THREE INPUT AND FIVE OUTPUT CONCLUSIONS

G.A. Bolshanyn

Bratsky State University, Bratsk, Russia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0218-7334>, bolshaning@mail.ru

Abstract: Eight-poles of various designs, including an eight-terminal network with three input and five output terminals, are needed to replace 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 three input and five output terminals, establishing a connection

between these characteristics. 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; G-form equations establish a connection between the input current, output voltages and output voltage, output currents; H-form equations establish the relationship between the 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.

Keywords: *conclusions, coefficients of an eight-terminal network, voltages, currents, directions, matrix recording.*

For citation: *G.A. Bolshanyn Equivalents of the passive eight-earth polar with three input and five output conclusions // Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS 2018. vol. 20. № 9-10. pp. 109-119. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-9–10-109-119.*

Введение

Восьмиполусником называют часть электрической цепи, электротехнического устройства или электроэнергетической системы с восемью выводами. Эти выводы делятся на входные и выходные. Причем их соотношение может быть самым разнообразным. Разнообразие этих соотношений обуславливает различие модификаций восьмиполусников.

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

Восьмиполусники могут иметь два входных 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 восьмиполусником, а к выходным – потребители этой энергии.

Восьмиполусники делятся на активные и пассивные.

Активными называют восьмиполусники, содержащие в своем составе источник или источники электрической энергии.

Пассивными называют восьмиполусники, не содержащие в своем составе источник или источники электрической энергии.

Обычно восьмиполусник представляет собой «черный ящик», внутреннее содержание которого чаще всего неизвестно. Интерес в этом случае представляют лишь входные и выходные характеристики электрической энергии.

Методика исследования

Общий вид восьмиполусника с тремя входными и пятью выходными выводами показан на рис. 1.

Анализируемый восьмиполусник характерен двумя входными напряжениями \dot{U}_{11} и \dot{U}_{21} , двумя входными токами \dot{I}_{11} и \dot{I}_{21} , четырьмя выходными напряжениями \dot{U}_{12} , \dot{U}_{22} , \dot{U}_{32} , \dot{U}_{42} и четырьмя выходными токами \dot{I}_{12} , \dot{I}_{22} , \dot{I}_{32} , \dot{I}_{42} .

Входное напряжение \dot{U}_{11} определяется разностью потенциалов между входными выводами 1 и 3, а входное напряжение \dot{U}_{21} – разностью потенциалов между входными выводами 2 и 3. Разность этих напряжений определяет напряжение между входными выводами 1 и 2: $\dot{U}_1 = \dot{U}_{11} - \dot{U}_{21}$.

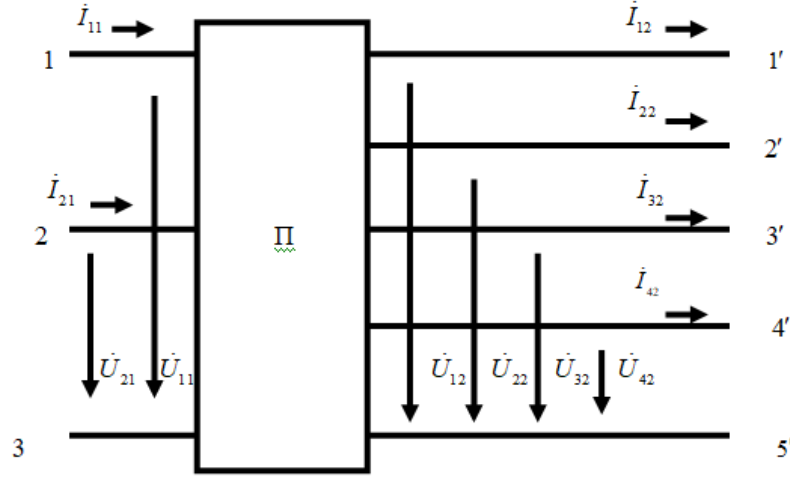


Рис. 1. Пассивный восьмиполусник с тремя входными и пятью выходными выводами

Выходное напряжение \dot{U}_{12} может быть представлено разностью потенциалов между выходными выводами 1' и 5'; выходное напряжение \dot{U}_{22} – разностью потенциалов между выходными выводами 2' и 5'; выходное напряжение \dot{U}_{32} – разностью потенциалов между выходными выводами 3' и 5'; выходное напряжение \dot{U}_{42} – разностью потенциалов между выходными выводами 4' и 5'. Разность выходных напряжений \dot{U}_{12} и \dot{U}_{22} определяет напряжение между выходными выводами 1' и 2': $\dot{U}_{1'2'} = \dot{U}_{12} - \dot{U}_{22}$; разность выходных напряжений \dot{U}_{12} и \dot{U}_{32} определяет напряжение между выходными выводами 1' и 3': $\dot{U}_{1'3'} = \dot{U}_{12} - \dot{U}_{32}$; разность выходных напряжений \dot{U}_{12} и \dot{U}_{42} – напряжение между выходными выводами 1' и 4': $\dot{U}_{1'4'} = \dot{U}_{12} - \dot{U}_{42}$. Разность выходных напряжений \dot{U}_{22} и \dot{U}_{32} определяет напряжение между выходными выводами 2' и 3': $\dot{U}_{2'3'} = \dot{U}_{22} - \dot{U}_{32}$; разность напряжений \dot{U}_{22} и \dot{U}_{42} – напряжение между выходными выводами 2' и 4': $\dot{U}_{2'4'} = \dot{U}_{22} - \dot{U}_{42}$. Разность выходных напряжений \dot{U}_{32} и \dot{U}_{42} определяет напряжение между выходными выводами 3' и 4': $\dot{U}_{3'4'} = \dot{U}_{32} - \dot{U}_{42}$.

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

Выходной ток \dot{I}_{12} может быть зарегистрирован в выходном выводе 1', ток \dot{I}_{22} – в выходном выводе 2', ток \dot{I}_{32} – в выходном выводе 3', ток \dot{I}_{42} – в выходном выводе 4'. Ток в выходном выводе 5' определяется суммой этих токов: $\dot{I}_{52} = \dot{I}_{12} + \dot{I}_{22} + \dot{I}_{32} + \dot{I}_{42}$.

Состояние восьмиполусника с тремя входными и пятью выходными выводами тоже может быть описано уравнениями различных форм: *A*-формы, *B*-формы, *G*-формы, *H*-формы, *Y*-формы и *Z*-формы. Эти уравнения могут быть составлены и использованы в инженерной практике с учетом своеобразия условно положительных направлений токов. На рис. 1 показаны условно положительные направления напряжений и токов, принимаемые при составлении уравнений *A*-формы. На рис. 2, *a* показаны условно положительные направления напряжений и токов, принимаемые при составлении уравнений *B*-формы, а на рис. 2, *б* – при составлении уравнений *G*-формы, *H*-формы, *Y*-формы и *Z*-формы.

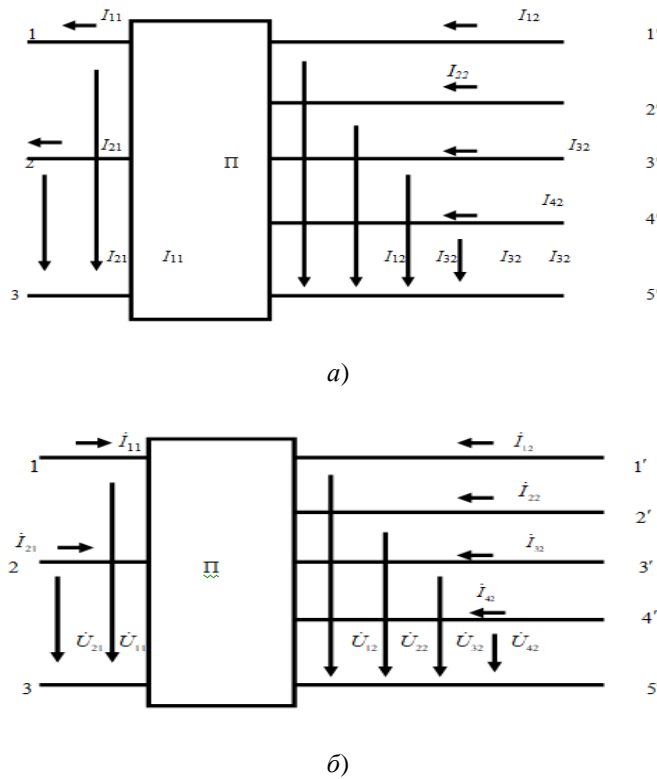


Рис. 2. Пассивные восьмиполусники с тремя входными и пятью выходными выводами

Количественную связь между входными и выходными напряжениями и токами устанавливают уравнения *A*-формы:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{11} &= A_1 \dot{I}_{12} + B_1 \dot{I}_{12} + N_1 \dot{I}_{22} + O_1 \dot{I}_{22} + P_1 \dot{I}_{32} + Q_1 \dot{I}_{32} + R_1 \dot{I}_{42} + S_1 \dot{I}_{42}; \\ \dot{U}_{21} &= A_2 \dot{I}_{12} + B_2 \dot{I}_{12} + N_2 \dot{I}_{22} + O_2 \dot{I}_{22} + P_2 \dot{I}_{32} + Q_2 \dot{I}_{32} + R_2 \dot{I}_{42} + S_2 \dot{I}_{42}; \\ \dot{I}_{11} &= C_1 \dot{I}_{12} + D_1 \dot{I}_{12} + E_1 \dot{I}_{22} + F_1 \dot{I}_{22} + G_1 \dot{I}_{32} + H_1 \dot{I}_{32} + J_1 \dot{I}_{42} + K_1 \dot{I}_{42}; \\ \dot{I}_{21} &= C_2 \dot{I}_{12} + D_2 \dot{I}_{12} + E_2 \dot{I}_{22} + F_2 \dot{I}_{22} + G_2 \dot{I}_{32} + H_2 \dot{I}_{32} + J_2 \dot{I}_{42} + K_2 \dot{I}_{42}, \end{aligned} \right\}$$

где $A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, F_1, G_1, H_1, J_1, K_1, N_1, O_1, P_1, Q_1, R_1, S_1, A_2, B_2, C_2, D_2, E_2, F_2, G_2, H_2, J_2, K_2, N_2, O_2, P_2, Q_2, R_2$ и S_2 – коэффициенты уравнений *A*-

формы, описывающих состояние восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами.

В матричном виде уравнения A -формы могут быть представлены так:

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{U}_{21} \\ \dot{I}_{11} \\ \dot{I}_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & B_1 & N_1 & O_1 & P_1 & Q_1 & R_1 & S_1 \\ A_2 & B_2 & N_2 & O_2 & P_2 & Q_2 & R_2 & S_2 \\ C_1 & D_1 & E_1 & F_1 & G_1 & H_1 & J_1 & K_1 \\ C_2 & D_2 & E_2 & F_2 & G_2 & H_2 & J_2 & K_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_{12} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{I}_{22} \\ \dot{U}_{32} \\ \dot{I}_{32} \\ \dot{U}_{42} \\ \dot{I}_{42} \end{pmatrix} = \mathbf{A} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_{12} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{I}_{22} \\ \dot{U}_{32} \\ \dot{I}_{32} \\ \dot{U}_{42} \\ \dot{I}_{42} \end{pmatrix}.$$

Уравнения A -формы можно представить и в ином виде:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{11} &= A_{11}\dot{U}_{12} + A_{12}\dot{I}_{12} + A_{13}\dot{U}_{22} + A_{14}\dot{I}_{22} + A_{15}\dot{U}_{32} + A_{16}\dot{I}_{32} + A_{17}\dot{U}_{42} + A_{18}\dot{I}_{42}; \\ \dot{U}_{21} &= A_{21}\dot{U}_{12} + A_{22}\dot{I}_{12} + A_{23}\dot{U}_{22} + A_{24}\dot{I}_{22} + A_{25}\dot{U}_{32} + A_{26}\dot{I}_{32} + A_{27}\dot{U}_{42} + A_{28}\dot{I}_{42}; \\ \dot{I}_{11} &= A_{31}\dot{U}_{12} + A_{32}\dot{I}_{12} + A_{33}\dot{U}_{22} + A_{34}\dot{I}_{22} + A_{35}\dot{U}_{32} + A_{36}\dot{I}_{32} + A_{37}\dot{U}_{42} + A_{38}\dot{I}_{42}; \\ \dot{I}_{21} &= A_{41}\dot{U}_{12} + A_{42}\dot{I}_{12} + A_{43}\dot{U}_{22} + A_{44}\dot{I}_{22} + A_{45}\dot{U}_{32} + A_{46}\dot{I}_{32} + A_{47}\dot{U}_{42} + A_{48}\dot{I}_{42}, \end{aligned} \right\}$$

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

А в матричном виде:

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

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

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{12} &= B_{11}\dot{U}_{11} + B_{12}\dot{I}_{11} + B_{13}\dot{U}_{21} + B_{14}\dot{I}_{21}; \\ \dot{U}_{22} &= B_{21}\dot{U}_{11} + B_{22}\dot{I}_{11} + B_{23}\dot{U}_{21} + B_{24}\dot{I}_{21}; \\ \dot{U}_{32} &= B_{31}\dot{U}_{11} + B_{32}\dot{I}_{11} + B_{33}\dot{U}_{21} + B_{34}\dot{I}_{21}; \\ \dot{U}_{42} &= B_{41}\dot{U}_{11} + B_{42}\dot{I}_{11} + B_{43}\dot{U}_{21} + B_{44}\dot{I}_{21}; \\ \dot{I}_{12} &= B_{51}\dot{U}_{11} + B_{52}\dot{I}_{11} + B_{53}\dot{U}_{21} + B_{54}\dot{I}_{21}; \\ \dot{I}_{22} &= B_{61}\dot{U}_{11} + B_{62}\dot{I}_{11} + B_{63}\dot{U}_{21} + B_{64}\dot{I}_{21}; \\ \dot{I}_{32} &= B_{71}\dot{U}_{11} + B_{72}\dot{I}_{11} + B_{73}\dot{U}_{21} + B_{74}\dot{I}_{21}; \\ \dot{I}_{42} &= B_{81}\dot{U}_{11} + B_{82}\dot{I}_{11} + B_{83}\dot{U}_{21} + B_{84}\dot{I}_{21}, \end{aligned} \right\}$$

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

А в матричном виде:

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

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

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

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 с тремя входными и пятью выходными выводами.

А в матричном виде:

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

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

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

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 тремя входными и пятью выходными выводами.

А в матричном виде:

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

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

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

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 тремя входными и пятью выходными выводами.

А в матричном виде:

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

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

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

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 тремя входными и пятью выходными выводами.

А в матричном виде:

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

Результаты дальнейших исследований утверждают, что коэффициенты A , D , F , H , K , N и P безразмерны, коэффициенты B , S , O и Q имеют размерность сопротивления (Ом), а коэффициенты C , E , G и J – размерность проводимости (См).

Проверку условий обратимости и симметрии анализируемого восьмиполюсника выполнять в данном случае не имеет смысла, поскольку восьмиполюсник с тремя входными и пятью выходными выводами в принципе не может быть ни обратимым, ни симметричным.

Примером объекта электроэнергетики, который может быть замещен пассивным восьмиполюсником с тремя входными и пятью выходными выводами, может служить часть электроэнергетической системы, входом для которой двухпроводная линия электропередачи. А ее выход обеспечивают две двухпроводные линии или одна четырехпроводная с изолированной нейтралью. Внутри такого восьмиполюсника может находиться один или несколько распределительных пунктов, одно или несколько преобразовательных устройств и другие электроэнергетические и электротехнические устройства. Укрупненная схема замещения этой части электроэнергетической системы показана на рис. 3. Здесь символами Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 , Z_5 и Z_6 обозначены продольные параметры замещаемой части электроэнергетической системы, а символами Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 , Y_5 , Y_6 , Y_7 , Y_8 , Y_9 , Y_{10} , Y_{11} , Y_{12} и Y_{13} – поперечные.

Полученный таким образом восьмиполюсник может быть описан уравнениями любой из представленных форм, например уравнениями A -формы. Численные значения коэффициентов этих уравнений определяются экспериментально по методике, изложенной в работе [13]. После этого при известных выходных напряжениях и токах можно сравнительно просто определить напряжения и токи на входе анализируемой части электроэнергетической системы.

Первичными параметрами анализируемой части электроэнергетической системы в данном случае следует считать параметры схемы замещения этого объекта, изображенной на рис. 3. При известных напряжениях и токах на входе и на выходе объекта задача определения параметров этой схемы замещения сводится к задаче синтеза электрических цепей. В данном случае это сравнительно несложная задача.

3. Результаты

Каждая из приведенных здесь форм уравнений, описывающих состояние восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами, вполне применима в той или иной области электротехники. Например, в силовой электроэнергетике предпочтительны сведения о количественной связи между входными и выходными характеристиками электрической энергии. Такую связь устанавливают уравнения A -формы и B -формы. В данном случае предпочтительны уравнения A -формы, поскольку именно в этих уравнениях количество неизвестных (входных напряжений и токов) меньше количества известных (выходных напряжений и токов).

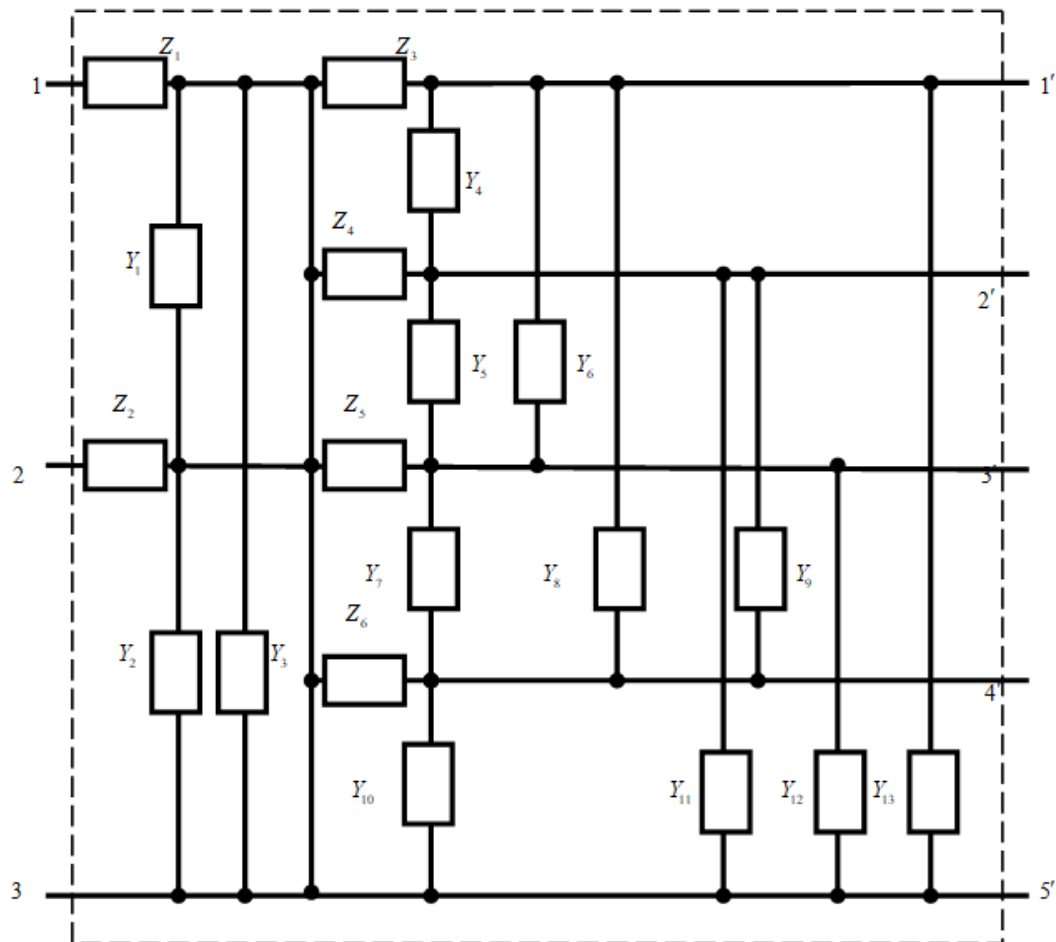


Рис. 3. Пример замещения пассивным восьмиполусником с тремя входными и пятью выходными выводами части электроэнергетической системы

4. Заключение

Рассмотренные здесь элементы теории восьмиполусников позволят провести объективный анализ электротехнического оборудования трехфазного исполнения, а также трехфазных электроэнергетических систем. Развитие теории восьмиполусников открывает новые возможности такого анализа, например: объективный анализ распределения электрической энергии по участкам электроэнергетических систем, определение параметров линий электропередачи трехпроводного исполнения и т.д.

Разработанные здесь элементы теории восьмиполусников могут быть образцом для формирования теорий десятиполусников, двенадцатиполусников, четырнадцатиполусников, которыми в условиях пониженного качества электрической энергии могут быть замещены, например, трехфазные линии электропередачи четырехпроводного исполнения, трехпроводного исполнения с грозозащитным тросом, пятипроводного и шестипроводного (двухцепная ЛЭП) исполнений. Возможна разработка элементов теории многополусников и иных исполнений.

Литература

1. Воронов Р.А. Общая теория четырехполусников и многополусников. 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 // Вестник КрасГАУ. 2017. № 2. С. 88–97.
4. Барабанов Е.А., Мальцева И.С., Барабанов И.О. Алгоритм параллельной обработки данных в оптических сетях // Научный вестник НГТУ. 2004. Т. 56, № 3. С. 88–95.
5. Салимоненко Д.А. Применение методов линейного программирования для определения параметров электрических цепей. Часть 1. // Вестник Башкирского 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 // Вестник 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. Часть 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. Серия: естественные и технические науки. 2015. № 6. С. 1–14.
10. Тлустенко С.Ф., Коптев А.Н. Разработка и исследование методологии информационного обеспечения технологических систем агрегатно-сборочного производства летательных аппаратов // Известия Самарского НЦ РАН. 2015. Т. 17, № 6 (2). С. 491–497.
11. Методика проектирования и перспективная конструкция средств снижения шумов судовых трубопроводов /А.Н. Крюков, Е.В. Шахматов, В.Н. Самсонов, А.Н. Дружин // Фундаментальная 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. Pp. 259–267.
13. Большанин Г.А. Восьмиполюсники. Ч. 1. Братск: ФГБОУ ВО «БрГУ», 2018. 214 с.

Автор публикации

Большанин Георгий Анатольевич – канд. техн. наук, профессор кафедры «Электроэнергетика и электротехника» Братского государственного университета.

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. Moscow: MEI, 1971, 23 p.
3. Popov N.M., Olin D.M., Kirilin A.A. The method of signal transmission over rural distribution networks 0.38 kV. Bulletin of KrasAA. 2017. No. 2. Pp. 88-97.
4. Barabanov E.A., Maltseva I.S., Barabanov I.O. Algorithm for parallel processing of data in optical networks // Scientific Bulletin of the 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.// Herald of the Bashkir University. 2015. T.20, No. 4. P. 1155-1163.
6. Kulikov A.L., Lukicheva I.A. Determine the fault location of the power line by the instantaneous values of the alarm events. //Bulletin of ISEU. 2016. Issue 5. Pp. 16–21.
7. Kitaev A.V., Agbomatsu V.L., Glukhova V.I. Schemes of replacement of electric motors of an alternating current. //Electrical and Computer Systems. 2013. No. 11 (87). Pp. 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. Increasing the effectiveness of simulation programs for power electronics devices. // Apriori. Series: natural and technical sciences. 2015. No. 6. Pp. 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 RAS. 2015. T.17, No. 6 (2). Pp. 491–497.

11. Design methodology and perspective design of noise reduction means for ship pipelines. /A.N. Kryukov, E.V. Shakhmatov, V.N. Samsonov, A.N. Druzhin. // Fundamental and applied hydrophysics. 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. Pp. 259–267.

13. Bolshanin G.A. The eight-poles. Part 1. Bratsk: FGBOU V BrSU, 2018. 214 p.

Author of the publication

Georgiy A. Bolshanin – PhD (techn) Sci, professor, Department of Electrical Power Engineering and Electrical Engineering, Bratsk State University.

Поступила в редакцию

22 мая 2018 г.