

УДК 621.311.004.12

Г.А. Большанин

Братский государственный университет, Братск, Россия

**СВЯЗЬ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВОСЬМИПОЛЮСНИКА С ДВУМЯ
ВХОДНЫМИ И ШЕСТЬЮ ВЫХОДНЫМИ ВЫВОДАМИ**

Восьмиполюсники различных исполнений, в том числе и восьмиполюсник с двумя входными и шестью выходными выводами, необходимы для замещения некоторых энергетических объектов. Особенно тогда, когда интерес представляют лишь входные и выходные характеристики электрической энергии. Особенности состояния восьмиполюсника описываются уравнениями различных форм. Для описания состояния восьмиполюсника с двумя входными и шестью выходными выводами в силовой энергетике чаще всего используются уравнения А-формы. Кроме того, используются уравнения В-формы, G-формы, H-формы, Y-формы и Z-формы. Уравнения этих форм представлены в статье. А для реализации этих уравнений необходимо иметь сведения о численных значениях соответствующих коэффициентов. Их можно определить экспериментально, причем достаточно экспериментально определить коэффициенты уравнений какой-либо одной формы. Методика такого определения известна. Коэффициенты уравнений других форм можно определить аналитически. Для этого необходимо иметь представление о количественной связи коэффициентов уравнений различных форм между собой. Выявлению такой связи и посвящена предлагаемая статья. В статье представлена методика выявления таких связей. Выяснено, что за базовые уравнения целесообразно принимать уравнения В-формы. Именно с коэффициентами уравнений В-формы, описывающих количественную связь между выходными и входными характеристиками электрической энергии в пассивном восьмиполюснике с двумя входными и шестью выходными выводами, удобнее всего установить связь коэффициентов уравнений А-формы, G-формы, H-формы, Y-формы и Z-формы, описывающих состояние этого же восьмиполюсника. Представлены формулы, устанавливающие количественную связь между коэффициентами уравнений В-формы и коэффициентами уравнений А-формы, G-формы, H-формы, Y-формы и Z-формы, описывающих состояние электроэнергетического объекта, замещенного пассивным восьмиполюсником с двумя входными и шестью выходными выводами. Представленная методика формирования количественной связи между коэффициентами уравнений различных форм может быть распространена и на другие типы многополюсников. Такая связь существенно увеличит возможности использования многополюсников в инженерной практике.

Ключевые слова: уравнения, коэффициенты, напряжения, токи, А-форма, В-форма, G-форма, H-форма, Y-форма, Z-форма.

G.A. Bolshanin

Bratsk State University, Bratsk, Russian Federation

CONNECTION OF THE OCCUPATIONAL COEFFICIENTS WITH TWO INPUTS AND SIX OUTPUTS

Eight-port networks of various versions, including an eight-port network with two input and six output terminals, are necessary to replace some energy facilities. Especially when only the input and output characteristics of electrical energy are of interest. Features of the state of the eight-port network are described by equations of various forms. To describe the state of an eight-port network with two input and six output outputs in power engineering, the A-form equations are most often used. In addition, the equations of the B-form, G-form, H-form, Y-form and Z-form are used. The equations of these forms are presented in the article. And for the implementation of these equations it is necessary to have information about the numerical values of the corresponding coefficients. They can be determined experimentally. It is enough to experimentally determine the coefficients of the equations of any one form. The method of this definition is known. The coefficients of equations of other forms can be determined analytically. For this, it is necessary to have an idea of the quantitative relation of the coefficients of equations of various forms among themselves. The proposed article is dedicated to the identification of such a connection. The article presents a method for identifying such links. It was found that it is advisable to take the B-form equations as basic equations. It is with the coefficients of the B-form equations that describe the quantitative relationship between the output and input characteristics of electrical energy in a passive eight-terminal network with two input and six output outputs. It is most convenient to establish a connection between the coefficients of the A-form, G-form, H-form, Y-form, and Z-forms describing the state of the same eight-port network. Formulas are established that establish a quantitative relationship between the coefficients of the B-form equations and the coefficients of the A-form, G-form, H-form, Y-form and Z-form equations describing the state of an electric power object, replaced by a passive eight-pole network with two input and six output pins. The presented method of forming a quantitative relationship between the coefficients of equations of various forms can be extended to other types of multipoles. Such a connection will significantly increase the possibility of using multipoles in engineering practice.

Keywords: equations, coefficients, voltages, currents, A-form, B-form, G-form, H-form, Y-form, Z-form.

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 [3–8]. Позже возможность применения теории многополюсников стали рассматривать при синтезе и анализе электрических цепей [9, 10], в силовой энергетике [11–15], в электронике [16], в системах автоматического управления промышленными технологиями [17–19] и даже в механике [20, 21]. Анализ состояния многополюсников посвящено множество научно-исследовательских разработок [22–25].

Восьмиполюсником следует называть часть электрической цепи, электротехнического устройства или электроэнергетической системы с восемью выводами. Эти выводы могут служить либо для входа (вход-

ные), либо для выхода (выходные) электрических сигналов. Причем количество входных и выходных выводов может быть не менее двух и не более шести. В данном случае интерес вызывает восьмиполюсник с двумя входными и шестью выходными выводами (рис. 1).

Состояние энергетического объекта, замещаемого таким восьмиполюсником, может быть описано уравнениями различных форм. Состояние восьмиполюсника с двумя входными и шестью выходными выводами в силовой электроэнергетике принято описывать уравнениями А-формы. Но это мнение может оказаться субъективным. В ряде отраслей электротехники и электроэнергетики может оказаться целесообразным использование уравнений иных форм: уравнения В-формы, Y-формы, H-формы, G-формы Z-формы. В уравнениях каждой формы используются свои специфические коэффициенты. Их численные значения можно определить экспериментально по методике, аналогичной изложенной в [26].

Получается, что при использовании для анализа состояния одного и того же восьмиполюсника уравнений различных форм необходимо неоднократно выполнить серию экспериментов с последующей аналитической обработкой полученных таким образом данных. Это достаточно громоздкая процедура. Гораздо проще было бы установить количественную связь коэффициентов одной формы с коэффициентами уравнений иных форм. Этому и посвящена предлагаемая статья.

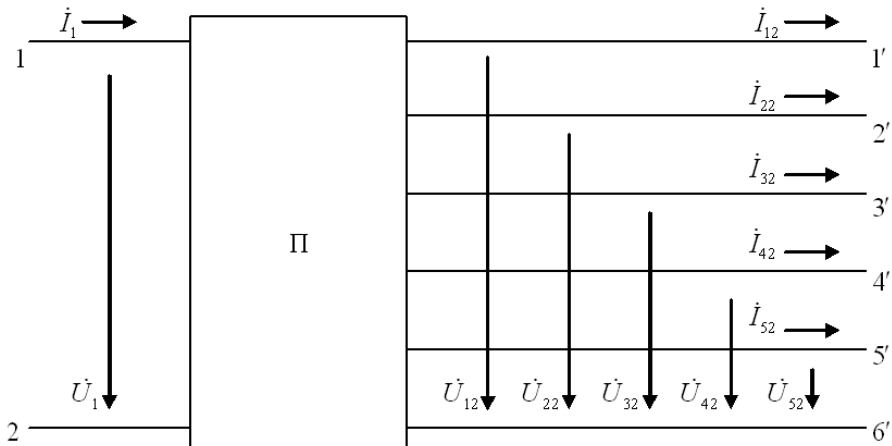


Рис. 1. Пассивный восьмиполюсник с двумя входными и шестью выходными выводами

В [26] представлены возможные формы уравнений, описывающих состояние восьмиполюсника с двумя входными и шестью выходными выводами. Там же рекомендовано преимущественное использование в областях силовой электроэнергетики уравнений А-формы:

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{I}_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B & N & O & P & Q & R & S & V & W \\ C & D & E & F & G & H & J & K & L & M \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_{12} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{I}_{22} \\ \dot{U}_{32} \\ \dot{I}_{32} \\ \dot{U}_{42} \\ \dot{I}_{42} \\ \dot{U}_{52} \\ \dot{I}_{52} \end{pmatrix} = \mathbf{A} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_{12} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{I}_{22} \\ \dot{U}_{32} \\ \dot{I}_{32} \\ \dot{U}_{42} \\ \dot{I}_{42} \\ \dot{U}_{52} \\ \dot{I}_{52} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N, O, P, R, S, V$ и W – коэффициенты уравнений А-формы, описывающих состояние восьмиполюсника с двумя входными и шестью выходными выводами.

Но это не более чем рекомендация. В отдельных областях энергетики целесообразно использование для описания состояния анализируемого восьмиполюсника уравнений иных форм:

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{12} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{I}_{22} \\ \dot{U}_{32} \\ \dot{I}_{32} \\ \dot{U}_{42} \\ \dot{I}_{42} \\ \dot{U}_{52} \\ \dot{I}_{52} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \\ B_{31} & B_{32} \\ B_{41} & B_{42} \\ B_{51} & B_{52} \\ B_{61} & B_{62} \\ B_{71} & B_{72} \\ B_{81} & B_{82} \\ B_{91} & B_{92} \\ B_{101} & B_{102} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{I}_{11} \end{pmatrix} = \mathbf{B} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{I}_{11} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_{11} \\ \dot{U}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{U}_{32} \\ \dot{U}_{42} \\ \dot{U}_{52} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{14} & G_{15} & G_{16} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{24} & G_{25} & G_{26} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} & G_{34} & G_{35} & G_{36} \\ G_{41} & G_{42} & G_{43} & G_{44} & G_{45} & G_{46} \\ G_{51} & G_{52} & G_{53} & G_{54} & G_{55} & G_{56} \\ G_{61} & G_{62} & G_{63} & G_{64} & G_{65} & G_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{I}_{22} \\ \dot{I}_{32} \\ \dot{I}_{42} \\ \dot{I}_{52} \end{pmatrix} = \mathbf{G} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{I}_{22} \\ \dot{I}_{32} \\ \dot{I}_{42} \\ \dot{I}_{52} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{I}_{22} \\ \dot{I}_{32} \\ \dot{I}_{42} \\ \dot{I}_{52} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} & H_{14} & H_{15} & H_{16} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} & H_{24} & H_{25} & H_{26} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} & H_{34} & H_{35} & H_{36} \\ H_{41} & H_{42} & H_{43} & H_{44} & H_{45} & H_{46} \\ H_{51} & H_{52} & H_{53} & H_{54} & H_{55} & H_{56} \\ H_{61} & H_{62} & H_{63} & H_{64} & H_{65} & H_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{I}_{11} \\ \dot{U}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{U}_{32} \\ \dot{U}_{42} \\ \dot{U}_{52} \end{pmatrix} = \mathbf{H} \cdot \begin{pmatrix} \dot{I}_{11} \\ \dot{U}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{U}_{32} \\ \dot{U}_{42} \\ \dot{U}_{52} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_{11} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{I}_{22} \\ \dot{I}_{32} \\ \dot{I}_{42} \\ \dot{I}_{52} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{15} & Y_{16} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{25} & Y_{26} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{35} & Y_{36} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{45} & Y_{46} \\ Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} & Y_{54} & Y_{55} & Y_{56} \\ Y_{61} & Y_{62} & Y_{63} & Y_{64} & Y_{65} & Y_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{U}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{U}_{32} \\ \dot{U}_{42} \\ \dot{U}_{52} \end{pmatrix} = \mathbf{Y} \cdot \mathbf{U} = \mathbf{I}, \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{11} \\ \dot{U}_{12} \\ \dot{U}_{22} \\ \dot{U}_{32} \\ \dot{U}_{42} \\ \dot{U}_{52} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} & Z_{15} & Z_{16} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} & Z_{25} & Z_{26} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} & Z_{35} & Z_{36} \\ Z_{41} & Z_{42} & Z_{43} & Z_{44} & Z_{45} & Z_{46} \\ Z_{51} & Z_{52} & Z_{53} & Z_{54} & Z_{55} & Z_{56} \\ Z_{61} & Z_{62} & Z_{63} & Z_{64} & Z_{65} & Z_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{I}_{11} \\ \dot{I}_{12} \\ \dot{I}_{22} \\ \dot{I}_{32} \\ \dot{I}_{42} \\ \dot{I}_{52} \end{pmatrix} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{I} = \mathbf{U}, \quad (6)$$

где $B_{11}, B_{12}, B_{21}, B_{22}, B_{31}, B_{32}, B_{41}, B_{42}, B_{51}, B_{52}, B_{61}, B_{62}, B_{71}, B_{72}, B_{81}, B_{82}, B_{91}, B_{92}, B_{101}$ и B_{102} – коэффициенты уравнений В-формы; $G_{11}, G_{12}, G_{13}, G_{14}, G_{15}, G_{16}, G_{21}, G_{22}, G_{23}, G_{24}, G_{25}, G_{26}, G_{31}, G_{32}, G_{33}, G_{34}, G_{35}, G_{36}, G_{41}, G_{42}, G_{43}, G_{44}, G_{45}, G_{46}, G_{51}, G_{52}, G_{53}, G_{54}, G_{55}, G_{56}, G_{61}, G_{62}, G_{63}, G_{64}, G_{65}$ и G_{66} – коэффициенты уравнений

G-формы; $H_{11}, H_{12}, H_{13}, H_{14}, H_{15}, H_{16}, H_{21}, H_{22}, H_{23}, H_{24}, H_{25}, H_{26}, H_{31}, H_{32}, H_{33}, H_{34}, H_{35}, H_{36}, H_{41}, H_{42}, H_{43}, H_{44}, H_{45}, H_{46}, H_{51}, H_{52}, H_{53}, H_{54}, H_{55}, H_{56}, H_{61}, H_{62}, H_{63}, H_{64}, H_{65}$ и H_{66} – коэффициенты уравнений H-формы; $Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{21}, Y_{22}, Y_{23}, Y_{24}, Y_{25}, Y_{26}, Y_{31}, Y_{32}, Y_{33}, Y_{34}, Y_{35}, Y_{36}, Y_{41}, Y_{42}, Y_{43}, Y_{44}, Y_{45}, Y_{46}, Y_{51}, Y_{52}, Y_{53}, Y_{54}, Y_{55}, Y_{56}, Y_{61}, Y_{62}, Y_{63}, Y_{64}, Y_{65}$ и Y_{66} – коэффициенты уравнений Y-формы; $Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}, Z_{15}, Z_{16}, Z_{21}, Z_{22}, Z_{23}, Z_{24}, Z_{25}, Z_{26}, Z_{31}, Z_{32}, Z_{33}, Z_{34}, Z_{35}, Z_{36}, Z_{41}, Z_{42}, Z_{43}, Z_{44}, Z_{45}, Z_{46}, Z_{51}, Z_{52}, Z_{53}, Z_{54}, Z_{55}, Z_{56}, Z_{61}, Z_{62}, Z_{63}, Z_{64}, Z_{65}$ и Z_{66} – коэффициенты уравнений Z-формы, описывающих состояние восьмиполюсника с двумя входными и шестью выходными выводами.

Но для этого нужно иметь сведения о численных значениях коэффициентов этих уравнений.

В [26, 27] предложена методика экспериментального определения численных значений коэффициентов уравнений A-формы. На первый взгляд этих сведений может быть достаточно для определения численных значений коэффициентов уравнений иных форм.

Для выяснения связи коэффициентов уравнений различных форм с коэффициентами уравнений A-формы необходимо уравнения A-формы преобразовать так, чтобы они приобрели структуру уравнений той или иной формы, т.е. уравнения A-формы должны приобрести структуру уравнений B-формы, G-формы, H-формы, Y-формы или Z-формы. Но вряд ли это возможно. Дело в том, что состояние восьмиполюсника с двумя входными и шестью выходными выводами описывается двумя уравнениями A-формы (1), десятью уравнениями B-формы, шестью уравнениями G-формы, шестью уравнениями H-формы, шестью уравнениями Y-формы или шестью уравнениями Z-формы. Но нельзя из двух уравнений A-формы получить шесть уравнений G-формы, шесть уравнений H-формы, шесть уравнений Y-формы, шесть уравнений Z-формы и тем более десять уравнений B-формы.

Но если за базовые принять десять уравнений B-формы, то поставленная задача формирования связи уравнений различных форм становится выполнимой. Десять уравнений B-формы можно преобразовать так, чтобы они приобрели структуру двух уравнений A-формы, шести

уравнений G-формы, шести уравнений H-формы, шести уравнений Y-формы или шести уравнений Z-формы. Но для этого необходимо заблаговременно иметь сведения о численных значениях коэффициентов уравнений В-формы. А их в данном случае можно определить только экспериментально. Методика такого определения представлена в [28].

Для формирования количественной связи уравнений В-формы с уравнениями А-формы нужно уравнения В-формы (2) преобразовать так, чтобы они приобрели структуру уравнений А-формы (1). Вариантов такого преобразования множество. Здесь предлагаются лишь пять возможных вариантов.

Первый вариант:

$$\begin{cases} \dot{U}_{11} = \frac{B_{62}}{B_{11}B_{62} - B_{12}B_{61}} \dot{U}_{12} + \frac{B_{12}}{B_{12}B_{61} - B_{11}B_{62}} \dot{I}_{12}, \\ \dot{I}_{11} = \frac{B_{61}}{B_{12}B_{61} - B_{11}B_{62}} \dot{U}_{12} + \frac{B_{11}}{B_{11}B_{62} - B_{12}B_{61}} \dot{I}_{12}. \end{cases}$$

Второй вариант:

$$\begin{cases} \dot{U}_{11} = \frac{B_{72}}{B_{21}B_{72} - B_{22}B_{71}} \dot{U}_{22} + \frac{B_{22}}{B_{22}B_{71} - B_{21}B_{72}} \dot{I}_{22}, \\ \dot{I}_{11} = \frac{B_{71}}{B_{22}B_{71} - B_{21}B_{72}} \dot{U}_{22} + \frac{B_{21}}{B_{21}B_{72} - B_{22}B_{71}} \dot{I}_{22}. \end{cases}$$

Третий вариант:

$$\begin{cases} \dot{U}_{11} = \frac{B_{82}}{B_{31}B_{82} - B_{32}B_{81}} \dot{U}_{32} + \frac{B_{32}}{B_{32}B_{81} - B_{31}B_{82}} \dot{I}_{32}, \\ \dot{I}_{11} = \frac{B_{81}}{B_{32}B_{81} - B_{31}B_{82}} \dot{U}_{32} + \frac{B_{31}}{B_{31}B_{82} - B_{32}B_{81}} \dot{I}_{32}. \end{cases}$$

Четвертый вариант:

$$\begin{cases} \dot{U}_{11} = \frac{B_{92}}{B_{41}B_{92} - B_{42}B_{91}} \dot{U}_{42} + \frac{B_{42}}{B_{42}B_{91} - B_{41}B_{92}} \dot{I}_{42}, \\ \dot{I}_{11} = \frac{B_{91}}{B_{42}B_{91} - B_{41}B_{92}} \dot{U}_{42} + \frac{B_{41}}{B_{41}B_{92} - B_{42}B_{91}} \dot{I}_{42}. \end{cases}$$

Пятый вариант:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{11} &= \frac{B_{102}}{B_{51}B_{102} - B_{52}B_{101}} \dot{U}_{52} + \frac{B_{52}}{B_{52}B_{101} - B_{51}B_{102}} \dot{I}_{52}, \\ \dot{I}_{11} &= \frac{B_{101}}{B_{52}B_{101} - B_{51}B_{102}} \dot{U}_{52} + \frac{B_{51}}{B_{51}B_{102} - B_{52}B_{101}} \dot{I}_{52}. \end{aligned}$$

Сопоставление этих уравнений с уравнениями (1) позволит сформировать равенства для вычисления коэффициентов уравнений А-формы через коэффициенты уравнений В-формы.

Первый вариант:

$$\begin{aligned} A &= \frac{B_{62}}{B_{11}B_{62} - B_{12}B_{61}}; \quad B = \frac{B_{12}}{B_{12}B_{61} - B_{11}B_{62}}; \quad C = \frac{B_{61}}{B_{12}B_{61} - B_{11}B_{62}}; \\ D &= \frac{B_{61}}{B_{11}B_{62} - B_{12}B_{61}}; \end{aligned}$$

$$E = F = G = H = J = K = L = M = N = O = P = Q = R = S = V = W = 0.$$

Второй вариант:

$$A = B = C = D = G = H = J = K = L = M = P = Q = R = S = V = W = 0;$$

$$\begin{aligned} E &= \frac{B_{71}}{B_{22}B_{71} - B_{21}B_{72}}; \quad F = \frac{B_{21}}{B_{21}B_{72} - B_{22}B_{71}}; \\ N &= \frac{B_{72}}{B_{21}B_{72} - B_{22}B_{71}}; \quad O = \frac{B_{22}}{B_{22}B_{71} - B_{21}B_{72}}. \end{aligned}$$

Третий вариант:

$$A = B = C = D = E = F = J = K = L = M = N = O = R = S = V = W = 0;$$

$$\begin{aligned} G &= \frac{B_{81}}{B_{32}B_{81} - B_{31}B_{82}}; \quad H = \frac{B_{31}}{B_{31}B_{82} - B_{32}B_{81}}; \\ P &= \frac{B_{82}}{B_{31}B_{82} - B_{32}B_{81}}; \quad Q = \frac{B_{32}}{B_{32}B_{81} - B_{31}B_{82}}. \end{aligned}$$

Четвертый вариант:

$$A = B = C = D = E = F = G = H = L = M = N = O = P = Q = V = W = 0;$$

$$J = \frac{B_{91}}{B_{42}B_{91} - B_{41}B_{92}}; \quad K = \frac{B_{41}}{B_{41}B_{92} - B_{42}B_{91}};$$

$$R = \frac{B_{92}}{B_{41}B_{92} - B_{42}B_{91}}; S = \frac{B_{42}}{B_{42}B_{91} - B_{41}B_{92}}.$$

Пятый вариант:

$$A=B=C=D=E=F=G=H=J=K=N=O=P=Q=R=S=0;$$

$$L = \frac{B_{101}}{B_{52}B_{101} - B_{51}B_{102}}; M = \frac{B_{51}}{B_{51}B_{102} - B_{52}B_{101}};$$

$$V = \frac{B_{102}}{B_{51}B_{102} - B_{52}B_{101}}; W = \frac{B_{52}}{B_{52}B_{101} - B_{51}B_{102}}.$$

Именно эти равенства устанавливают связь уравнений В-формы с уравнениями А-формы применительно к восьмиполюснику с двумя входными и шестью выходными выводами.

Для формирования связи уравнений В-формы с уравнениями G-формы нужно уравнения В-формы преобразовать так, чтобы они приобрели структуру уравнений G-формы (3):

$$\begin{aligned} \dot{i}_{11} &= -\frac{B_{61}}{B_{62}}\dot{U}_{11} + \frac{1}{B_{62}}\dot{i}_{12}; \dot{U}_{12} = \left(B_{11} - \frac{B_{12}B_{61}}{B_{62}} \right)\dot{U}_{11} + \frac{B_{12}}{B_{62}}\dot{i}_{12}; \\ \dot{U}_{22} &= \left(B_{21} - \frac{B_{22}B_{71}}{B_{72}} \right)\dot{U}_{11} + \frac{B_{22}}{B_{72}}\dot{i}_{22}; \dot{U}_{32} = \left(B_{31} - \frac{B_{32}B_{81}}{B_{82}} \right)\dot{U}_{11} + \frac{B_{32}}{B_{82}}\dot{i}_{32}; \\ \dot{U}_{42} &= \left(B_{41} - \frac{B_{42}B_{91}}{B_{92}} \right)\dot{U}_{11} + \frac{B_{42}}{B_{92}}\dot{i}_{42}; \dot{U}_{52} = \left(B_{51} - \frac{B_{52}B_{101}}{B_{102}} \right)\dot{U}_{11} + \frac{B_{52}}{B_{102}}\dot{i}_{52}. \end{aligned}$$

Это лишь один из вариантов преобразования уравнений (2).

Сопоставление этих уравнений с уравнениями (3) позволит формирование равенств для вычисления коэффициентов уравнений G-формы, описывающих состояние восьмиполюсника с двумя входными и шестью выходными выводами, через коэффициенты уравнений В-формы, описывающих состояние этого же восьмиполюсника:

$$G_{11} = -\frac{B_{61}}{B_{62}}; G_{12} = \frac{1}{B_{62}};$$

$$\begin{aligned} G_{13} &= G_{14} = G_{15} = G_{16} = G_{23} = G_{24} = G_{25} = G_{26} = G_{32} = G_{34} = G_{35} = G_{36} = \\ &= G_{42} = G_{43} = G_{45} = G_{46} = G_{52} = G_{53} = G_{54} = G_{56} = G_{62} = G_{63} = G_{64} = G_{65} = 0; \end{aligned}$$

$$G_{21} = B_{11} - \frac{B_{12}B_{61}}{B_{62}}; G_{22} = \frac{B_{12}}{B_{62}}; G_{31} = B_{21} - \frac{B_{22}B_{71}}{B_{72}}; G_{33} = \frac{B_{22}}{B_{72}};$$

$$G_{41} = B_{31} - \frac{B_{32}B_{81}}{B_{82}}; G_{44} = \frac{B_{32}}{B_{82}}; G_{51} = B_{41} - \frac{B_{42}B_{91}}{B_{92}}; G_{55} = \frac{B_{42}}{B_{92}};$$

$$G_{61} = B_{51} - \frac{B_{52}B_{101}}{B_{102}}; G_{66} = \frac{B_{52}}{B_{102}}.$$

Эти равенства устанавливают связь уравнений В-формы с уравнениями G-формы. Но это лишь один из возможных вариантов таких равенств.

Связь уравнений той или иной формы устанавливается через их коэффициенты. Для выяснения количественной связи уравнений В-формы с уравнениями H-формы нужно уравнения (2) преобразовать так, чтобы они приобрели структуру уравнений (4):

$$\dot{U}_{11} = -\frac{B_{12}}{B_{11}} \dot{I}_{11} + \frac{1}{B_{11}} \dot{U}_{12}; \dot{I}_{12} = \left(B_{62} - \frac{B_{12}B_{61}}{B_{11}} \right) \dot{I}_{11} + \frac{B_{61}}{B_{11}} \dot{U}_{12};$$

$$\dot{I}_{22} = \left(B_{72} - \frac{B_{22}B_{71}}{B_{21}} \right) \dot{I}_{11} + \frac{B_{71}}{B_{21}} \dot{U}_{22}; \dot{I}_{32} = \left(B_{82} - \frac{B_{32}B_{81}}{B_{31}} \right) \dot{I}_{11} + \frac{B_{81}}{B_{31}} \dot{U}_{32};$$

$$\dot{I}_{42} = \left(B_{92} - \frac{B_{42}B_{91}}{B_{41}} \right) \dot{I}_{11} + \frac{B_{91}}{B_{41}} \dot{U}_{42}; \dot{I}_{52} = \left(B_{102} - \frac{B_{52}B_{101}}{B_{51}} \right) \dot{I}_{11} + \frac{B_{101}}{B_{51}} \dot{U}_{52}.$$

Это лишь один из вариантов преобразования уравнений (2) с этой целью.

В результате сопоставления этих уравнений с уравнениями (4) несложно сформировать равенства для вычисления коэффициентов уравнений H-формы через коэффициенты уравнений В-формы:

$$H_{11} = -\frac{B_{12}}{B_{11}}; H_{12} = \frac{1}{B_{11}};$$

$$H_{13} = H_{14} = H_{15} = H_{16} = H_{23} = H_{24} = H_{25} = H_{26} = H_{32} = H_{34} = H_{35} =$$

$$= H_{36} = H_{42} = H_{43} = H_{45} = H_{46} = H_{52} = H_{53} = H_{54} = H_{56} = H_{62} = H_{63} =$$

$$= H_{64} = H_{65} = 0;$$

$$H_{21} = B_{62} - \frac{B_{12}B_{61}}{B_{11}}; H_{22} = \frac{B_{61}}{B_{11}}; H_{31} = B_{72} - \frac{B_{22}B_{71}}{B_{21}}; H_{33} = \frac{B_{71}}{B_{21}};$$

$$H_{41} = B_{82} - \frac{B_{32}B_{81}}{B_{31}}; H_{44} = \frac{B_{81}}{B_{31}}; H_{51} = B_{92} - \frac{B_{42}B_{91}}{B_{41}}; H_{55} = \frac{B_{91}}{B_{41}};$$

$$H_{61} = B_{102} - \frac{B_{52}B_{101}}{B_{51}}; H_{66} = \frac{B_{101}}{B_{51}}.$$

Для формирования количественной связи уравнений В-формы с уравнениями Y-формы структура этих уравнений (5) должна приобрести структуру уравнений (2) после соответствующих преобразований. Вариантов таких преобразований множества. Вот результаты одного из них:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{I}_{11} = -\frac{B_{11}}{B_{12}}\dot{U}_{11} + \frac{1}{B_{12}}\dot{U}_{12}, \\ \dot{I}_{12} = \left(B_{62} - \frac{B_{11}B_{62}}{B_{12}} \right)\dot{U}_{11} + \frac{B_{62}}{B_{12}}\dot{U}_{12}, \\ \dot{I}_{22} = \left(B_{71} - \frac{B_{21}B_{72}}{B_{22}} \right)\dot{U}_{11} + \frac{B_{72}}{B_{22}}\dot{U}_{22}, \\ \dot{I}_{32} = \left(B_{81} - \frac{B_{31}B_{82}}{B_{32}} \right)\dot{U}_{11} + \frac{B_{82}}{B_{32}}\dot{U}_{32}, \\ \dot{I}_{42} = \left(B_{91} - \frac{B_{41}B_{92}}{B_{42}} \right)\dot{U}_{11} + \frac{B_{92}}{B_{42}}\dot{U}_{42}, \\ \dot{I}_{52} = \left(B_{101} - \frac{B_{51}B_{102}}{B_{52}} \right)\dot{U}_{11} + \frac{B_{102}}{B_{52}}\dot{U}_{52}. \end{array} \right.$$

Сопоставление этих уравнений с уравнениями (5) позволит формирование равенств для вычисления коэффициентов уравнений Y-формы, описывающих восьмиполюсник с двумя входными и шестью выходными выводами.

$$Y_{11} = -\frac{B_{11}}{B_{12}}; Y_{12} = \frac{1}{B_{12}};$$

$$Y_{13} = Y_{14} = Y_{15} = Y_{16} = Y_{23} = Y_{24} = Y_{25} = Y_{26} = Y_{32} = Y_{34} = Y_{35} = Y_{36} = Y_{42} = Y_{43} = \\ = Y_{45} = Y_{46} = Y_{52} = Y_{53} = Y_{54} = Y_{56} = Y_{62} = Y_{63} = Y_{64} = Y_{65} = 0;$$

$$Y_{21} = B_{61} - \frac{B_{11}B_{62}}{B_{12}}; Y_{22} = \frac{B_{62}}{B_{12}}; Y_{31} = B_{71} - \frac{B_{21}B_{72}}{B_{22}}; Y_{33} = \frac{B_{72}}{B_{22}}; Y_{41} = B_{81} - \frac{B_{31}B_{82}}{B_{32}};$$

$$Y_{44} = \frac{B_{82}}{B_{32}}; Y_{51} = B_{91} - \frac{B_{41}B_{92}}{B_{42}}; Y_{55} = \frac{B_{92}}{B_{42}}; Y_{61} = B_{101} - \frac{B_{51}B_{102}}{B_{52}}; Y_{66} = \frac{B_{102}}{B_{52}}.$$

Эти равенства устанавливают связь уравнений В-формы с уравнениями Y-формы для восьмиполюсника с двумя входными и шестью выходными выводами.

Для формирования связи уравнений В-формы с уравнениями Z-формы нужно уравнения (2) преобразовать так, чтобы оно приобрели структуру уравнений (6):

$$\begin{aligned}\dot{U}_{11} &= -\frac{B_{62}}{B_{61}} \dot{I}_{11} + \frac{1}{B_{61}} \dot{I}_{12}; \quad \dot{U}_{12} = \left(B_{12} - \frac{B_{11}B_{62}}{B_{61}} \right) \dot{I}_{11} + \frac{B_{11}}{B_{61}} \dot{I}_{12}; \\ \dot{U}_{22} &= \left(B_{22} - \frac{B_{21}B_{72}}{B_{71}} \right) \dot{I}_{11} + \frac{B_{21}}{B_{71}} \dot{I}_{22}; \quad \dot{U}_{32} = \left(B_{32} - \frac{B_{31}B_{82}}{B_{81}} \right) \dot{I}_{11} + \frac{B_{31}}{B_{81}} \dot{I}_{32}; \\ \dot{U}_{42} &= \left(B_{42} - \frac{B_{41}B_{92}}{B_{91}} \right) \dot{I}_{11} + \frac{B_{41}}{B_{91}} \dot{I}_{42}; \quad \dot{U}_{52} = \left(B_{52} - \frac{B_{51}B_{102}}{B_{101}} \right) \dot{I}_{11} + \frac{B_{51}}{B_{101}} \dot{I}_{52}.\end{aligned}$$

Сопоставление этих уравнений с уравнениями (6) позволит сформировать равенства для вычисления коэффициентов уравнений Z-формы через коэффициенты уравнений В-формы.

$$\begin{aligned}Z_{11} &= -\frac{B_{61}}{B_{61}}; \quad Z_{12} = \frac{1}{B_{61}}; \\ Z_{13} &= Z_{14} = Z_{15} = Z_{16} = Z_{23} = Z_{24} = Z_{25} = Z_{26} = Z_{32} = Z_{34} = Z_{35} = Z_{36} = Z_{42} = \\ &= Z_{43} = Z_{45} = Z_{46} = Z_{52} = Z_{53} = Z_{54} = Z_{56} = Z_{62} = Z_{63} = Z_{64} = Z_{65} = 0; \\ Z_{21} &= B_{12} - \frac{B_{11}B_{62}}{B_{61}}; \quad Z_{22} = \frac{B_{11}}{B_{61}}; \quad Z_{31} = B_{21} - \frac{B_{21}B_{72}}{B_{71}}; \quad Z_{33} = \frac{B_{21}}{B_{71}}; \\ Z_{41} &= B_{32} - \frac{B_{31}B_{82}}{B_{81}}; \quad Z_{44} = \frac{B_{31}}{B_{81}}; \quad Z_{51} = B_{42} - \frac{B_{41}B_{92}}{B_{91}}; \quad Z_{55} = \frac{B_{41}}{B_{91}}; \\ Z_{61} &= B_{52} - \frac{B_{51}B_{102}}{B_{101}}; \quad Z_{66} = \frac{B_{51}}{B_{101}}.\end{aligned}$$

Так устанавливается связь уравнений В-формы с уравнениями Z-формы. Таким образом, может быть установлена связь между уравнениями любых форм, описывающих состояние восьмиполюсника с двумя входными и шестью выходными выводами.

В результате выполненного исследования установлена количественная связь между коэффициентами уравнений различных форм, описывающих состояние электроэнергетического объекта, замещенного пассивным восьмиполюсником с двумя входными и шестью выходными выводами. Теперь исследователь может не ограничивать себя в выборе уравнений той или иной формы. Но тем не менее процессу исследования должно предшествовать экспериментальное определение коэффициентов уравнений хотя бы одной формы.

Рассмотренные здесь элементы теории восьмиполосников позволяют объективный анализ электротехнического оборудования трехфазного исполнения, а также трехфазных электроэнергетических систем. Развитие теории восьмиполосников 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 восьмиполосников могут быть образцом для формирования теорий десятиполосников, двенадцатиполосников, четырнадцатиполосников, которыми в условиях пониженного качества электрической энергии могут быть замещены, например, трехфазные линии электропередачи четырехпроводного исполнения, трехпроводного исполнения с грозозащитным тросом [22], пятипроводного и шестипроводного (двухцепная ЛЭП) исполнений. Возможна разработка элементов теории многополосников и иных исполнений.

Библиографический список

1. Воронов Р.А. Общая теория четырехполосников и многополосников. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1951. – 192 с.
2. Зевеке Г.В. Многополосники. – М.: Изд-во 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. Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки. – М.: Техносфера, 2012. – 560 с.
6. Скобелев С.П. Фазированные антенные решетки с секторными диаграммами направленности. – М.: Физматлит, 2016. – 320 с.
7. Фаняев И.А., Кудин В.П. Распределительная матрица для питания восьмизлементной антенной решетки // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2012. – № 4. – С. 52–57.
8. Шауэрман А.А. Исследование зависимости неопределенности измерения комплексного коэффициента отражения оконечных устройств от параметров измерительного преобразователя // Вестник СибГУТИ. – 2013. – № 3. – С. 20–28.

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

10. Селиванов В.Н. Исследование программ расчета электромагнитных процессов АТР-ЕМТР в учебном процессе // Вестник МГТУ. – 2009. – Т. 12. – № 1. – С. 107–112.

11. Куликов А.Л., Лукичева И.А. Определение места и повреждения линии электропередачи по мгновенным значениям осциллограмм аварийных событий // Вестник ИГЭУ. – 2016. – Вып. 5. – С. 16–21.

12. 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.

13. Беляков Ю.С. Многополюсник как модель электрических систем. Ч. 2. – М.: Изд-во НТФ «Энергопрогресс», 2013. – 92 с.

14. Сарапулов Ф.Н., Сарапулов С.Ф., Радионов И.Е. Моделирование тепловых режимов тягового линейного асинхронного двигателя // Электроприводы переменного тока: материалы XVI Международной науч.-техн. конф., 05–09 октября 2015. – Екатеринбург, 2015. – С. 141–144.

15. Беляков Ю.С. Расчет режимов электрических систем, представленных многополюсниками. – М.: Спутник, 2008. – 124 с.

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

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

18. Мусаева У.А. Автоматизированное проектирование СВЧ фазовращателя // Молодой ученый. – 2013. – № 3. – С. 83–88.

19. Львов А.А., Львов П.А. Применение комбинированного многополюсного рефлектометра для измерения расстояния до плоской поверхности // Материалы XII Всерос. совещ. по проблемам управления ВСПУ-2014, 16–19 июля 2014. – М., 2014. – С. 7044–7055.

20. 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.

21. 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.
22. Поплавский В.Б. Формула Крамера для систем линейных уравнений и неравенств над булевой алгеброй // *Известия Саратов. ун-та. Сер. Математика. Информатика*. – 2011. – Вып. 5. – Ч. 2. – С. 43–46.
23. Акопджанян Г.Д., Сафарян В.С. Синтез пассивного линейного многополюсника из одной пары зажимов // *Известия НАН РА и ГИУА. Сер. Технические науки*. – 2002. – Т. LV. – № 2. – С. 258–262.
24. Попов С.А., Корчагин А.Ф. Оценивание параметров эквивалентной схемы многополюсников с помощью многооткликовых моделей // *Вестник Новгород. гос. ун-та*. – 2004. – № 28. – С. 150–155.
25. Бессонов А.В., Лузин С.Ю., Лячек Ю.Т. Определение окрестностей многополюсников // *Известия СПбГЭТУ*. – 2015. – № 5. – С. 20–23.
26. Большанин Г.А. Восьмиполюсники. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – Ч. 1. – 214 с.
27. Большанин Г.А. Экспериментальное определение коэффициентов восьмиполюсника с двумя входными и шестью выходными выводами // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. – 2018. – № 27. – С. 68–91.
28. Большанин Г.А. Восьмиполюсники. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – Ч. 2. – 232 с.

References

1. Voronov R.A. Obshchaia teoriia chetyrekhpoliusnikov i mnogopoliusnikov [The general theory of four-ports and multipoles]. Moscow. Leningrad: Gosenergoizdat, 1951. 192 p.
2. Zeveke G.V. Mnogopoliusniki [Multipolar network]. Moscow: Moskovskii energeticheskii institut, 1971. 23 p.
3. Popov N.M., Olin D.M., Kirilin A.A. Sposob peredachi signalov po sel'skim raspredelitel'nym setiam 0,38 kV [The method of signal transmission over rural distribution networks 0.38 kV]. *Vestnik Krasnoarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet*, 2017, no. 2, pp. 88–97.
4. Barabanov E.A., Mal'tseva I.S., Barabanov I.O. Algoritm parallel'noi obrabotki dannykh v opticheskikh setiakh [Algorithm for parallel processing of data in optical networks]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2004, vol. 56, no. 3, pp. 88–95.

5. Khansen R.S. Fazirovannye antennye reshetki [Phased antenna arrays]. Moscow: Tekhnosfera, 2012. 560 p.

6. Skobelev S.P. Fazirovannye antennye reshetki s sektornymi diagrammami napravlenosti [Phased antenna arrays with sectorial patterns]. Moscow: Fizmatlit, 2016. 320 p.

7. Faniaev I.A., Kudin V.P. Raspredelitel'naia matritsa dlia pitaniia vos'mielementnoi antennoi reshetki [Distribution matrix for powering an eight-element antenna array]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P.O. Sukhogo*, 2012, no. 4, pp. 52-57.

8. Shauerman A.A. Issledovanie zavisimosti neopredelennosti izmereniia kompleksnogo koeffitsienta otrazheniia okonechnykh ustroystv ot parametrov izmeritel'nogo preobrazovatel'ia [Investigation of the dependence of the uncertainty of measurement of the complex reflection coefficient of terminal devices on the parameters of the measuring transducer]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta telekommunikatsii i informatiki*, 2013, no. 3, pp. 20-28.

9. Salimonenko D.A. Primenenie metodov lineinogo programmirovaniia dlia opredeleniia parametrov elektricheskikh tsepei. Chast'. 1 [The use of linear programming methods for determining the parameters of electrical circuits. Part 1]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2015, vol. 20, no. 4. pp. 1155-1163.

10. Selivanov V.N. Issledovanie programm rascheta elektromagnitnykh protsessov ATR-EMTR v uchebnom protsesse [Investigation of programs for the calculation of electromagnetic processes ATP-EMTR in the educational process]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 12, no. 1, pp. 107-112.

11. Kulikov A.L., Lukicheva I.A. Opredelenie mesta ipovrezhdeniia linii elektroperedachi po mgnovennym znacheniiam ostsillogramm avariinykh sobytii [Determination of the location and damage of the transmission line by the instantaneous values of the oscillograms of emergency events]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2016, iss. 5, pp. 16-21.

12. Kitaev A.V., Agbomassu V.L., Glukhova V.I. Skhemy zameshcheniia elektricheskikh dvigatelei peremennogo toka [The equivalent circuit of electric motors of alternating current]. *Elektrotekhnicheskie i komp'iuternye sistemy*, 2013, no. 11(87), pp. 59-65.

13. Beliakov Iu.S. Mnogopoliusnik kak model' elektricheskikh sistem. Chast' 2 [Multipole as a model of electrical systems. Part 2]. Moscow: NTF "EnergoProgress", 2013. 92 p.

14. Sarapulov F.N., Sarapulov S.F., Radionov I.E. Modelirovanie teplovykh rezhimov tiagovogo lineinogo asinkhronnogo dvigatel'ia [Simulation of thermal modes of the traction linear asynchronous motor]. *Elektroprivody peremennogo toka. Materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*, 05-09 Oktober 2015. Ekaterinburg, 2015, pp. 141-144.

15. Beliakov Iu.S. Raschet rezhimov elektricheskikh sistem, predstavlennykh mnogopoliusnikami [Calculation of modes of electrical systems represented by multipoles]. Moscow: Sputnik, 2008. 124 p.

16. Fedotov Iu.B., Nesterov S.A., Mustafa G.M. Povysenie effektivnosti programm modelirovaniia ustroystv silovoi elektroniki [Improving the efficiency of programs for modeling power electronics devices]. *Apriori. Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2015, no. 6, pp. 1-14.

17. Tlustenko S.F., Koptev A.N. Razrabotka i issledovanie metodologii informatsionnogo obespecheniia tekhnologicheskikh sistem agregatno-sborochnogo proizvodstva letatel'nykh apparatov [Development and research of the methodology of information support of technological systems of the aggregate-assembly production of aircraft]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2015, vol. 17, no. 6(2), pp. 491-497.

18. Musaeva U.A. Avtomatizirovannoe proektirovanie SVCh fazovrashchatelia [Automated design of microwave phase shifter]. *Molodoi uchenyi*, 2013, no. 3, pp. 83-88.

19. L'vov A.A., L'vov P.A. Primenenie kombinirovannogo mnogopoliusnogo reflektometra dlia izmereniia rasstoianiiia do ploskoi poverkhnosti [The use of a combined multi-pole reflectometer for measuring the distance to a flat surface]. *Materialy XII vsrossiiskogo soveshchaniia po problemam upravleniia VSPU-2014*. Moscow, 2014, pp. 7044-7055.

20. Kriukov A.N., Shakhmatov E.V., Samsonov V.N., Druzhin A.N. Metodika proektirovaniia i perspektivnaia konstruktsiia sredstv snizheniia shumov sudovykh truboprovodov [Design methodology and perspective design of noise reduction equipment for ship pipelines]. *Fundamental'naia i prikladnaia gidrofizika*, 2014, vol. 7, no. 3, pp. 67-79.

21. Levitskiy Zhorzh G., Imanov Zhenis Zh., Nurgaliyeva Assel D. Quasianalog transformation of Compound Ventilating Network. *European Researcher*, 2013, vol. 40, no. 2-1, pp. 259-267.

22. Poplavskii V.B. Formula Kramera dlia sistem lineinykh uravnenii i neravenstv nad bulevoi algebroi [Kramer's formula for systems of linear equations and inequalities over Boolean algebra]. *Izvestiia Saratovskogo universiteta. Matematika. Informatika*, 2011, iss. 5, part. 2, pp. 43-46.

23. Акопджанян Г.Д., Сафарян В.С. Синтез пассивного линейного многополюсника из одной пары зажимов [Synthesis of a passive linear multipole from one pair of clamps]. *Izvestiia natsional'noi akademii nauk RA i gosudarstvennogo inzhenernogo universiteta Armenii. Tekhnicheskie nauki*, 2002, vol. LV, no. 2, pp. 258-262.

24. Попов С.А., Кorchагин А.Ф. Otsenivanie parametrov ekvivalentnoi skhemy mnogopoliusnikov s pomoshch'iu mnogootklikovykh modelei [Estimation of parameters of the equivalent circuit of multipoles using multi-response models]. *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2004, no. 28, pp. 150-155.

25. Bessonov A.V., Luzin S.Iu., Liachek Iu.T. Opredelenie okrestnostei mnogopoliusnikov [Determining the neighborhoods of multipoles]. *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo elektrotekhnicheskogo universiteta*, 2015, no. 5, pp. 20-23.

26. Bol'shanin G.A. Vos'mipoliusniki [Eight poles]. Bratsk: Bratskii gosudarstvennyi universitet, 2018, part. 1. 214 p.

27. Bol'shanin G.A. Eksperimental'noe opredelenie koeffitsientov vos'mipoliusnika s dvumia vkhodnymi i shest'iu vykhodnymi vyvodami [Experimental determination of the coefficients of an eight-port network with two input and six output outputs]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2018, no. 27, pp. 68-91.

28. Bol'shanin G.A. Vos'mipoliusniki [Eight poles]. Bratsk: Bratskii gosudarstvennyi universitet, 2018, part 2. 232 p.

Сведения об авторе

Большанин Георгий Анатольевич (Братск, Россия) – кандидат технических наук, доцент Братского государственного университета (665709, Братск, Иркутская обл., ул. Макаренко, 40, e-mail: bolshaning@mail.ru).

About the author

Bolshanin Georgiy Anatolevich (Bratsk, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Bratsk State University (665709, Bratsk, Irkutsk region, 40, Makarenko str., e-mail: bolshaning@mail.ru).

Получено 17.01.2019