

УДК 621.311.004.12

Г. А. Большанин

Братский государственный университет

Экспериментальное определение коэффициентов восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами

Восьмиполюсники различных исполнений необходимы для замещения электротехнического оборудования, а также отдельных участков электроэнергетических систем. Особенно тогда, когда интерес представляют лишь входные и выходные характеристики электрической энергии. Особенности состояния восьмиполюсника описываются уравнениями различных форм. Для описания состояния восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами в силовой энергетике чаще всего используются уравнения А-формы, а для реализации этих уравнений необходимо иметь сведения о численных значениях соответствующих коэффициентов. В статье представлен один из возможных вариантов экспериментального определения этих коэффициентов. Для экспериментального определения численных значений коэффициентов уравнений А-формы, описывающих состояние восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами, требуется выполнить восемь опытов. Численные значения этих коэффициентов позволят определить численные значения коэффициентов уравнений иных форм, описывающих состояние этого же восьмиполюсника. Сведения о численных значениях коэффициентов восьмиполюсника позволят установить количественную связь между входными и выходными характеристиками электрической энергии.

Коэффициенты восьмиполюсника для уравнений А-формы, схема эксперимента, опыт холостого хода, опыт короткого замыкания, вольтметр, амперметр, фазометр

Восьмиполюсником 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, что обуславливает различие модификаций восьмиполюсников.

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

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

Восьмиполюсник может иметь три входных и пять выходных выводов (рис. 1). Таким шестиполюсником можно заменить какое-либо электро-

техническое оборудование или его часть, часть какой-либо электрической цепи или электроэнергетической системы.

Восьмиполюсники – одна из разновидностей многополюсников. Идея замещения электротехнических объектов многополюсниками возникла давно [1], но до недавнего времени основное внимание уделялось теории четырехполюсников. Теория многополюсников рассматривалась в основном применительно к устройствам связи [2]. Позже возможность применения теории многополюсников стали рассматривать при синтезе и анализе электрических цепей [3], в силовой энергетике [4], в электронике [5], в системах автоматического управления промышленными технологиями [6] и даже в механике [7].

Состояние восьмиполюсника, а следовательно, и объекта, который он замещает, описывается уравнениями различных форм. В силовой энергетике, например, состояние такого восьмиполюсника, а значит, и объекта электроэнергетики, который он замещает, предпочитают описывать уравнениями А-формы, хотя это не принципиально, тем более когда установлена количественная связь между коэффициентами уравнений различ-

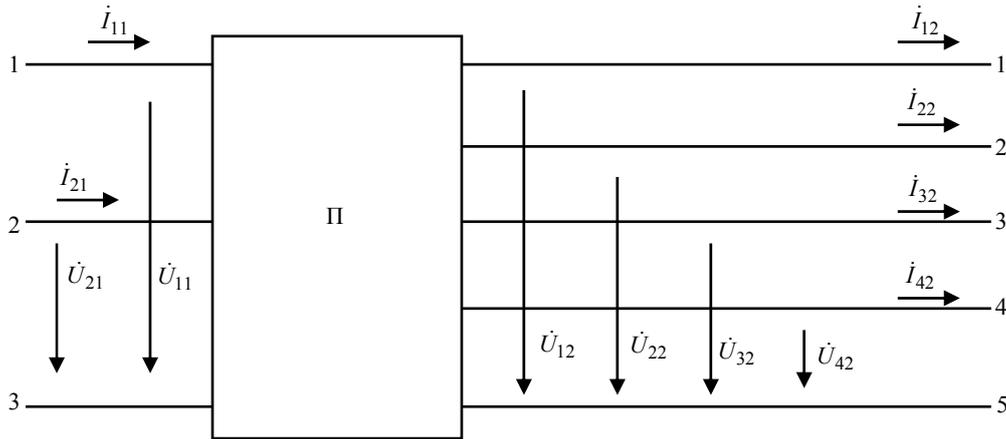


Рис. 1

ных форм. Однако необходимо иметь сведения о численных значениях коэффициентов уравнений хотя бы одной формы.

Состояние восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами преимущественно, по крайней мере в силовой электротехнике, оценивается уравнениями А-формы [8]

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{11} &= A_1 \dot{U}_{12} + B_1 \dot{I}_{12} + N_1 \dot{U}_{22} + O_1 \dot{I}_{22} + \\ &+ P_1 \dot{U}_{32} + Q_1 \dot{I}_{32} + R_1 \dot{U}_{42} + S_1 \dot{I}_{42}; \\ \dot{U}_{21} &= A_2 \dot{U}_{12} + B_2 \dot{I}_{12} + N_2 \dot{U}_{22} + O_2 \dot{I}_{22} + \\ &+ P_2 \dot{U}_{32} + Q_2 \dot{I}_{32} + R_2 \dot{U}_{42} + S_2 \dot{I}_{42}; \\ \dot{I}_{11} &= C_1 \dot{U}_{12} + D_1 \dot{I}_{12} + E_1 \dot{U}_{22} + F_1 \dot{I}_{22} + \\ &+ G_1 \dot{U}_{32} + H_1 \dot{I}_{32} + J_1 \dot{U}_{42} + K_1 \dot{I}_{42}; \\ \dot{I}_{21} &= C_2 \dot{U}_{12} + D_2 \dot{I}_{12} + E_2 \dot{U}_{22} + F_2 \dot{I}_{22} + \\ &+ G_2 \dot{U}_{32} + H_2 \dot{I}_{32} + J_2 \dot{U}_{42} + K_2 \dot{I}_{42}, \end{aligned} \right\} (1)$$

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

Всего четыре уравнения, но они содержат 32 (тридцать два) коэффициента, численные значения которых следует определить. Для этого необходимо определить еще 28 (двадцать восемь) дополнительных уравнений, причем должны быть известны входные и выходные напряжения и токи, участвующие в этих уравнениях. Ситуация осложняется тем, что внутреннее содержание анализируемого восьмиполюсника чаще всего неизвестно. Поэтому определить требуемые напряжения и токи можно только экспериментально.

При планировании эксперимента следует учитывать, где будет использоваться или уже ис-

пользуется анализируемый восьмиполюсник. Если в цепях постоянного тока, то в эксперименте следует использовать источники электрической энергии постоянного тока, а в результате эксперимента достаточно ограничиться определением модулей входных и выходных напряжений и токов. Если же в цепях переменного тока, что чаще всего и бывает, то в эксперименте следует использовать источники электрической энергии синусоидального тока, а в результате экспериментального исследования нужно определить изображения на комплексной плоскости входных и выходных напряжений и токов, т. е. следует определить их модули и начальные фазы.

В данном случае следует рассмотреть наиболее часто встречающийся случай, предполагая, что восьмиполюсник будет использоваться в цепях переменного тока. Но при необходимости предлагаемую здесь методику после небольших изменений можно применить и в цепях постоянного тока.

Возможная схема экспериментальной установки для определения численных значений коэффициентов уравнений А-формы, оценивающих состояние пассивного восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами, изображена на рис. 2.

Представленная схема экспериментальной установки предполагает использование двух источников ЭДС синусоидальной формы \dot{E}_1 и \dot{E}_2 , 6 (шесть) вольтметров PV1–PV6, 6 (шесть) амперметров PA1–PA6 и 11 (одиннадцать) фазометров Pφ1–Pφ11, а также 12 (двенадцать) коммутационных устройств, в качестве которых могут служить ключи, переключатели или разъединители. В качестве электрических нагрузок Н1–Н4 в предлагаемой схеме могут применяться, например, линейные резисторы. Впрочем, в предлагаемых здесь опытах они не участвуют.

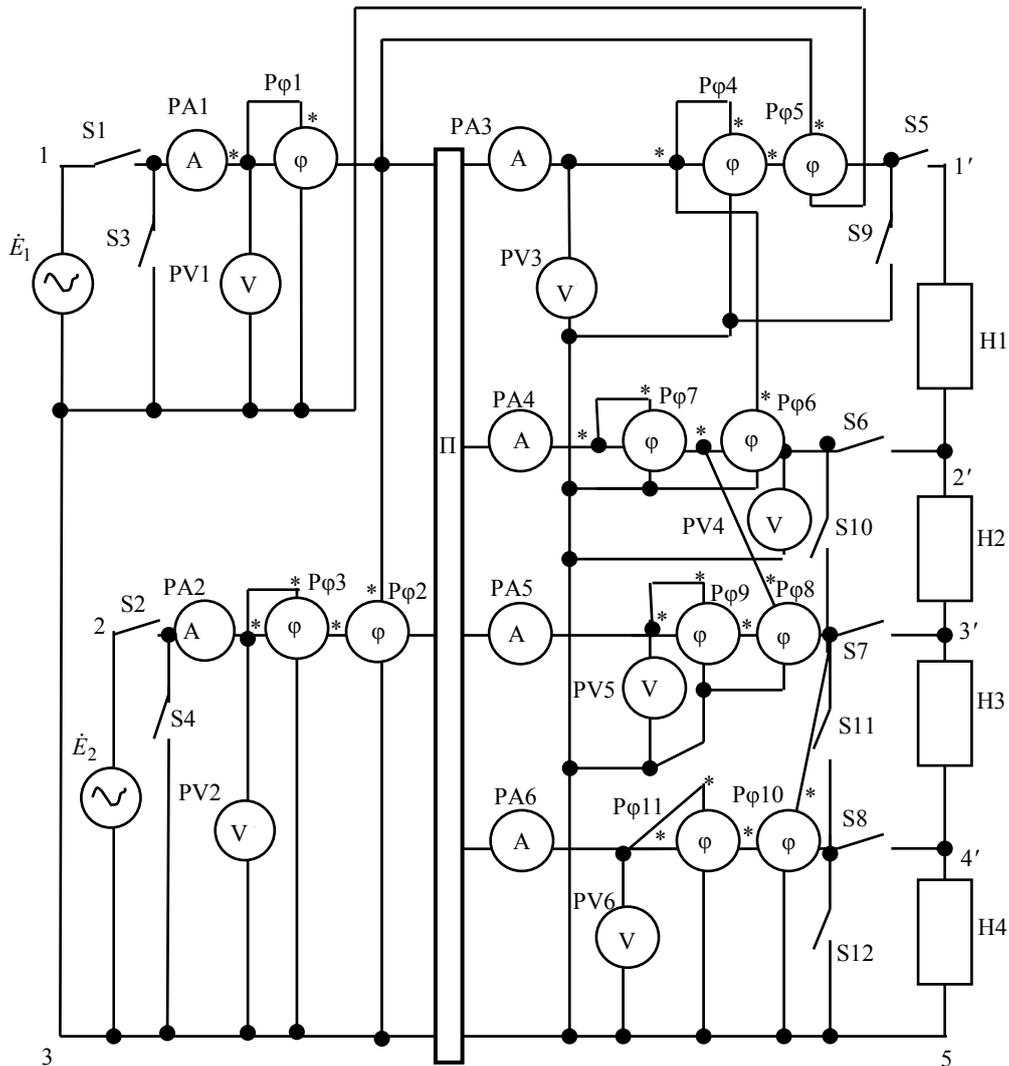


Рис. 2

Модули и начальные фазы ЭДС внешних источников электрической энергии обычно известны. Если же нет, то при пренебрежимо малых внутренних сопротивлениях источников электрической энергии модули этих ЭДС можно измерить вольтметрами PV1 и PV2 при их подключении так, как показано на рис. 2, а начальная фаза хотя бы одного из ЭДС задается априори. Чаще всего ей присваивается нулевое значение.

В рассматриваемом случае нулевое значение присваивается начальной фазе ЭДС \dot{E}_1 . Это означает, что и начальная фаза входного напряжения \dot{U}_{11} равна нулю: $\varphi_{u11} = 0$.

На рис. 2 показано, как должны быть подключены электроизмерительные приборы в режиме передачи электрической энергии через анализируемый восьмиполюсник электрической нагрузки Н1–Н4. Однако это не означает, что именно данный режим нужно реализовать в процессе предлагаемых здесь экспериментальных исследова-

ний. Конечная цель этих исследований заключается в формировании равенств, отличающихся, по возможности, минимальной громоздкостью, для вычисления коэффициентов уравнений А-формы, оценивающих состояние восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами.

Схема экспериментальной установки на рис. 2 скомпонована так, чтобы с помощью показаний указанных здесь приборов можно было сформировать изображения на комплексной плоскости всех входных и выходных напряжений и токов.

Чтобы получить исходные данные для определения численных значений коэффициентов уравнений А-формы, описывающих состояние восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами, необходимо выполнить экспериментальные исследования из восьми опытов.

Первый опыт может быть опытом холостого хода. Он выполняется при использовании двух источников электрической энергии \dot{E}_1 и \dot{E}_2 . При

выполнении этого опыта должны быть разомкнуты ключи S3–S12 и замкнуты ключи S1, S2. Этот опыт характерен отсутствием выходных токов $i_{12}^{(1)}$, $i_{22}^{(1)}$, $i_{32}^{(1)}$ и $i_{42}^{(1)}$: $i_{12}^{(1)} = i_{22}^{(1)} = i_{32}^{(1)} = i_{42}^{(1)} = 0$. Это подтверждается нулевыми показаниями амперметров PA3–PA6.

Модули входных напряжений $U_{11}^{(1)}$ и $U_{21}^{(1)}$ регистрируются вольтметрами PV1 и PV2, а модули входных токов $i_{11}^{(1)}$ и $i_{21}^{(1)}$ – амперметрами PA1 и PA2.

Фазометр Pφ1 регистрирует разность начальных фаз входных напряжения $U_{11}^{(1)}$ и тока $i_{11}^{(1)}$: $\varphi_1 = \varphi_{u11} - \varphi_{i11}$. При известной начальной фазе входного напряжения $U_{11}^{(1)}$ ($\varphi_{u11} = 0$) начальная фаза тока определится как $\varphi_{i11} = \varphi_{u11} - \varphi_1$.

Фазометр Pφ2 измерит разность начальных фаз входных напряжения $U_{11}^{(1)}$ и тока $i_{21}^{(1)}$: $\varphi_2 = \varphi_{u11} - \varphi_{i21}$. Тогда начальную фазу входного тока $i_{21}^{(1)}$ можно определить как $\varphi_{i21} = \varphi_{u11} - \varphi_2$.

Фазометр Pφ3 регистрирует разность начальных фаз входных напряжения $U_{21}^{(1)}$ и тока $i_{21}^{(1)}$: $\varphi_3 = \varphi_{u21} - \varphi_{i21}$. В таком случае начальная фаза напряжения определится как $\varphi_{u21} = \varphi_3 + \varphi_{i21}$.

В результате выполненных действий сформировались изображения на комплексной плоскости входных напряжений и токов: $U_{11}^{(1)} = U_{11}^{(1)} e^{j\varphi_{u11}}$; $U_{21}^{(1)} = U_{21}^{(1)} e^{j\varphi_{u21}}$; $i_{11}^{(1)} = I_{11}^{(1)} e^{j\varphi_{i11}}$; $i_{21}^{(1)} = I_{21}^{(1)} \times e^{j\varphi_{i21}}$.

Модули выходных напряжений $U_{12}^{(1)}$, $U_{22}^{(1)}$, $U_{32}^{(1)}$ и $U_{42}^{(1)}$ регистрируются вольтметрами PV3–PV6 соответственно.

Чтобы определить начальные фазы выходных напряжений, нужно токовые обмотки фазометров Pφ5, Pφ7, Pφ9 и Pφ11 переключить на входной вывод 1. В результате таких переключений фазометр Pφ5 покажет разность начальных фаз выходного напряжения $U_{12}^{(1)}$ и входного тока $i_{11}^{(1)}$: $\varphi_5 = \varphi_{u12} - \varphi_{i11}$; фазометр Pφ7 – разность начальных фаз выходного напряжения $U_{22}^{(1)}$ и входного

тока $i_{11}^{(1)}$: $\varphi_7 = \varphi_{u22} - \varphi_{i11}$; фазометр Pφ9 – разность начальных фаз выходного напряжения $U_{32}^{(1)}$

и входного тока $i_{11}^{(1)}$: $\varphi_9 = \varphi_{u32} - \varphi_{i11}$; а фазометр Pφ11 – разность начальных фаз выходного напряжения $U_{42}^{(1)}$ и входного тока $i_{11}^{(1)}$: $\varphi_{11} = \varphi_{u42} - \varphi_{i11}$. Тогда начальные фазы выходных напряжений определяются как $\varphi_{u12} = \varphi_5 + \varphi_{i11}$; $\varphi_{u22} = \varphi_7 + \varphi_{i11}$; $\varphi_{u32} = \varphi_9 + \varphi_{i11}$; $\varphi_{u42} = \varphi_{11} + \varphi_{i11}$.

Так формируются изображения выходных напряжений на комплексной плоскости: $U_{12}^{(1)} = U_{12}^{(1)} e^{j\varphi_{u12}}$; $U_{22}^{(1)} = U_{22}^{(1)} e^{j\varphi_{u22}}$; $U_{32}^{(1)} = U_{32}^{(1)} e^{j\varphi_{u32}}$; $U_{42}^{(1)} = U_{42}^{(1)} e^{j\varphi_{u42}}$.

В результате исполнения первого опыта уравнения (1) переписутся следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{11}^{(1)} &= A_1 \dot{U}_{12}^{(1)} + N_1 \dot{U}_{22}^{(1)} + R_1 \dot{U}_{32}^{(1)} + R_1 \dot{U}_{42}^{(1)}; \\ \dot{U}_{21}^{(1)} &= A_2 \dot{U}_{12}^{(1)} + N_2 \dot{U}_{22}^{(1)} + P_2 \dot{U}_{32}^{(1)} + R_2 \dot{U}_{42}^{(1)}; \\ \dot{i}_{11}^{(1)} &= C_1 \dot{U}_{12}^{(1)} + E_1 \dot{U}_{22}^{(1)} + G_1 \dot{U}_{32}^{(1)} + J_1 \dot{U}_{42}^{(1)}; \\ \dot{i}_{21}^{(1)} &= C_2 \dot{U}_{12}^{(1)} + E_2 \dot{U}_{22}^{(1)} + G_2 \dot{U}_{32}^{(1)} + J_2 \dot{U}_{42}^{(1)}. \end{aligned} \right\} (2)$$

Второй опыт может быть опытом короткого замыкания. Он тоже выполняется с использованием двух источников ЭДС \dot{E}_1 и \dot{E}_2 . Во избежание аварийных ситуаций этот опыт следует выполнять при пониженных входных напряжениях. Опыт короткого замыкания выполняется замыканием ключей S1, S2, S9–S12. Ключи S3–S8 при этом должны быть разомкнуты. Характерная особенность этого опыта заключается в отсутствии выходных напряжений $U_{12}^{(2)}$, $U_{22}^{(2)}$, $U_{32}^{(2)}$ и $U_{42}^{(2)}$:

$\dot{U}_{12}^{(2)} = \dot{U}_{22}^{(2)} = \dot{U}_{32}^{(2)} = \dot{U}_{42}^{(2)} = 0$. Этот факт подтверждается нулевыми показаниями вольтметров PV3–PV6.

Изображения входных напряжений $U_{11}^{(2)}$, $U_{21}^{(2)}$ и токов $i_{11}^{(2)}$, $i_{21}^{(2)}$ на комплексной плоскости во втором опыте определяются точно так же, как и в первом.

Модули выходных токов $i_{12}^{(2)}$, $i_{22}^{(2)}$, $i_{32}^{(2)}$ и $i_{42}^{(2)}$ измеряются амперметрами PA3–PA6.

При подключении фазометра Рф4, как на рис. 2, он покажет разность начальных фаз входного напряжения $\dot{U}_{11}^{(2)}$ и выходного тока $\dot{I}_{12}^{(2)}$: $\varphi_4 = \varphi_{u11} - \varphi_{i12}$, поэтому начальная фаза выходного тока $\dot{I}_{12}^{(2)}$ определится следующим образом: $\varphi_{i12} = \varphi_{u11} - \varphi_4$.

Для того чтобы определить начальные фазы выходных токов $\dot{I}_{22}^{(2)}$, $\dot{I}_{32}^{(2)}$ и $\dot{I}_{42}^{(2)}$, необходимо обмотки напряжения фазометров Рф7, Рф9 и Рф11 переключить на входные выводы 1 и 3. После таких переключений эти фазометры смогут зарегистрировать следующее: фазометр Рф7 – разность начальных фаз входного напряжения $\dot{U}_{11}^{(2)}$ и выходного тока $\dot{I}_{22}^{(2)}$: $\varphi_7 = \varphi_{u11} - \varphi_{i22}$; фазометр Рф9 – разность начальных фаз входного напряжения $\dot{U}_{11}^{(2)}$ и выходного тока $\dot{I}_{32}^{(2)}$: $\varphi_9 = \varphi_{u11} - \varphi_{i32}$; фазометр Рф11 – разность начальных фаз входного напряжения $\dot{U}_{11}^{(2)}$ и выходного тока $\dot{I}_{42}^{(2)}$: $\varphi_{11} = \varphi_{u11} - \varphi_{i42}$. Теперь можно определить начальные фазы выходных токов $\dot{I}_{22}^{(2)}$, $\dot{I}_{32}^{(2)}$ и $\dot{I}_{42}^{(2)}$: $\varphi_{i22} = \varphi_{u11} - \varphi_7$; $\varphi_{i32} = \varphi_{u11} - \varphi_9$; $\varphi_{i42} = \varphi_{u11} - \varphi_{11}$.

Так формируются изображения на комплексной плоскости выходных токов: $\dot{I}_{12}^{(2)} = I_{12}^{(2)} e^{j\varphi_{i12}}$; $\dot{I}_{22}^{(2)} = I_{22}^{(2)} e^{j\varphi_{i22}}$; $\dot{I}_{32}^{(2)} = I_{32}^{(2)} e^{j\varphi_{i32}}$; $\dot{I}_{42}^{(2)} = I_{42}^{(2)} \times e^{j\varphi_{i42}}$.

По результатам второго опыта уравнения (1) переписутся следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{11}^{(2)} &= B_1 \dot{U}_{12}^{(2)} + O_1 \dot{U}_{22}^{(2)} + Q_1 \dot{U}_{32}^{(2)} + S_1 \dot{U}_{42}^{(2)}; \\ \dot{U}_{21}^{(2)} &= B_2 \dot{U}_{12}^{(2)} + O_2 \dot{U}_{22}^{(2)} + Q_2 \dot{U}_{32}^{(2)} + S_2 \dot{U}_{42}^{(2)}; \\ \dot{I}_{11}^{(2)} &= D_1 \dot{U}_{12}^{(2)} + F_1 \dot{U}_{22}^{(2)} + H_1 \dot{U}_{32}^{(2)} + K_1 \dot{U}_{42}^{(2)}; \\ \dot{I}_{21}^{(2)} &= D_2 \dot{U}_{12}^{(2)} + F_2 \dot{U}_{22}^{(2)} + H_2 \dot{U}_{32}^{(2)} + K_2 \dot{U}_{42}^{(2)}. \end{aligned} \right\} (3)$$

Третий опыт тоже может быть опытом холостого хода, но с использованием лишь одного источника электрической энергии, например \dot{E}_1 . Входные выводы 2 и 3 при этом должны быть соединены. При выполнении этого опыта ключи

S2, S3, S5–S12 должны быть разомкнуты и S1, S4 – замкнуты. Третий опыт характерен отсутствием входного напряжения $\dot{U}_{21}^{(3)}$ и выходных токов $\dot{I}_{12}^{(3)}$, $\dot{I}_{22}^{(3)}$, $\dot{I}_{32}^{(3)}$ и $\dot{I}_{42}^{(3)}$: $\dot{U}_{21}^{(3)} = 0$; $\dot{I}_{12}^{(3)} = \dot{I}_{22}^{(3)} = \dot{I}_{32}^{(3)} = \dot{I}_{42}^{(3)} = 0$. Это обстоятельство нашло подтверждение в нулевых показаниях вольтметра PV2 и амперметров РА3–РА6.

Модули входного напряжения $\dot{U}_{11}^{(3)}$ регистрируются вольтметром PV1, а модули входных токов $\dot{I}_{11}^{(3)}$ и $\dot{I}_{21}^{(3)}$ – амперметрами РА1 и РА2.

Начальная фаза входного напряжения $\dot{U}_{11}^{(3)}$, как было уже указано, известна заранее. Начальная фаза входного тока $\dot{I}_{11}^{(3)}$ определится из показаний фазометра Рф1: $\varphi_{i11} = \varphi_{u11} - \varphi_1$. Подобным образом из показаний фазометра Рф2 определится начальная фаза входного тока $\dot{I}_{21}^{(3)}$: $\varphi_{i21} = \varphi_{u11} - \varphi_2$.

Так формируются изображения входных напряжений и токов на комплексной плоскости: $\dot{U}_{11}^{(3)} = U_{11}^{(3)} e^{j\varphi_{u11}}$; $\dot{I}_{11}^{(3)} = I_{11}^{(3)} e^{j\varphi_{i11}}$; $\dot{I}_{21}^{(3)} = I_{21}^{(3)} \times e^{j\varphi_{i21}}$.

Изображения на комплексной плоскости выходных напряжений $\dot{U}_{12}^{(3)}$, $\dot{U}_{22}^{(3)}$, $\dot{U}_{32}^{(3)}$ и $\dot{U}_{42}^{(3)}$ определяются так же, как и в первом опыте.

В итоге исполнения третьего опыта уравнения (1) переписутся следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{11}^{(3)} &= A_1 \dot{U}_{12}^{(3)} + N_1 \dot{U}_{22}^{(3)} + R_1 \dot{U}_{32}^{(3)} + R_1 \dot{U}_{42}^{(3)}; \\ 0 &= A_2 \dot{U}_{12}^{(3)} + N_2 \dot{U}_{22}^{(3)} + P_2 \dot{U}_{32}^{(3)} + R_2 \dot{U}_{42}^{(3)}; \\ \dot{I}_{11}^{(3)} &= C_1 \dot{U}_{12}^{(3)} + E_1 \dot{U}_{22}^{(3)} + G_1 \dot{U}_{32}^{(3)} + J_1 \dot{U}_{42}^{(3)}; \\ \dot{I}_{21}^{(3)} &= C_2 \dot{U}_{12}^{(3)} + E_2 \dot{U}_{22}^{(3)} + G_2 \dot{U}_{32}^{(3)} + J_2 \dot{U}_{42}^{(3)}. \end{aligned} \right\} (4)$$

Четвертый опыт, как и третий, может быть опытом холостого хода с одним источником электрической энергии \dot{E}_1 . Отличие состоит лишь в том, что входной вывод 2 оказывается разомкнутым, не соединенным ни с каким другим выводом анализируемого восьмиполусника. Четвертый опыт выполняется при разомкнутых ключах S2–S12 и замкнутым ключе S1. Для него характерно отсутствие входного тока $\dot{I}_{21}^{(4)}$ и выходных токов $\dot{I}_{12}^{(4)}$, $\dot{I}_{22}^{(4)}$,

$i_{32}^{(4)}$ и $i_{42}^{(4)}$: $i_{21}^{(4)} = i_{12}^{(4)} = i_{22}^{(4)} = i_{32}^{(4)} = i_{42}^{(4)} = 0$.

Это обстоятельство подтверждается нулевыми показаниями амперметров РА2–РА6.

Модули входных напряжений $\dot{U}_{11}^{(4)}$ и $\dot{U}_{21}^{(4)}$ регистрируются вольтметрами PV1 и PV2, а модуль входного тока $\dot{I}_{11}^{(4)}$ – амперметром РА1.

При известной начальной фазе входного напряжения $\dot{U}_{11}^{(4)}$, φ_{u11} из показаний фазометра Рф1 несложно определить начальную фазу входного тока $\dot{I}_{11}^{(4)}$: $\varphi_{i11} = \varphi_{u11} - \varphi_1$.

Для того чтобы определить начальную фазу входного напряжения $\dot{U}_{21}^{(4)}$, нужно токовую обмотку фазометра Рф1 переключить на входной вывод 1. Тогда этот фазометр сможет зарегистрировать разность начальных фаз входных напряжений $\dot{U}_{21}^{(4)}$ и тока $\dot{I}_{11}^{(4)}$: $\varphi_3 = \varphi_{u21} - \varphi_{i11}$. Искомая начальная фаза в таком случае определится как $\varphi_{u21} = \varphi_3 + \varphi_{i11}$.

Так формируются изображения на комплексной плоскости входных напряжений и тока: $\dot{U}_{11}^{(4)} = U_{11}^{(4)} e^{j\varphi_{u11}}$; $\dot{U}_{21}^{(4)} = U_{21}^{(4)} e^{j\varphi_{u21}}$; $\dot{I}_{11}^{(4)} = I_{11}^{(4)} e^{j\varphi_{i11}}$.

Изображения на комплексной плоскости выходных напряжений $\dot{U}_{12}^{(4)}$, $\dot{U}_{22}^{(4)}$, $\dot{U}_{32}^{(4)}$ и $\dot{U}_{42}^{(4)}$ определяются так же, как и в первом опыте.

В результате исполнения четвертого опыта уравнения (1) приобретут вид

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{11}^{(4)} &= A_1 \dot{U}_{12}^{(4)} + N_1 \dot{U}_{22}^{(4)} + R \dot{U}_{32}^{(4)} + R_1 \dot{U}_{42}^{(4)}; \\ \dot{U}_{21}^{(4)} &= A_2 \dot{U}_{12}^{(4)} + N_2 \dot{U}_{22}^{(4)} + P_2 \dot{U}_{32}^{(4)} + R_2 \dot{U}_{42}^{(4)}; \\ \dot{I}_{11}^{(4)} &= C_1 \dot{U}_{12}^{(4)} + E_1 \dot{U}_{22}^{(4)} + G_1 \dot{U}_{32}^{(4)} + J_1 \dot{U}_{42}^{(4)}; \\ 0 &= C_2 \dot{U}_{12}^{(4)} + E_2 \dot{U}_{22}^{(4)} + G_2 \dot{U}_{32}^{(4)} + J_2 \dot{U}_{42}^{(4)}. \end{aligned} \right\} (5)$$

Пятый опыт полностью дублирует четвертый. Отличие состоит лишь в том, что в пятом опыте выходной вывод 1' соединен с выходным выводом 5'. Он предполагает размыкание ключей S2–S8 и S10–S12, а также замыкание ключей S1 и S9. Этот опыт характерен отсутствием входного тока $\dot{I}_{21}^{(5)}$, выходного напряжения $\dot{U}_{12}^{(5)}$ и выходных токов $\dot{I}_{22}^{(5)}$, $\dot{I}_{32}^{(5)}$ и $\dot{I}_{42}^{(5)}$: $\dot{I}_{21}^{(5)} = \dot{I}_{22}^{(5)} =$

$= \dot{I}_{32}^{(5)} = \dot{I}_{42}^{(5)} = 0$; $\dot{U}_{12}^{(5)} = 0$. Это подтверждается нулевыми показаниями амперметров РА2, РА4–РА6 и вольтметра PV3.

Изображения на комплексной плоскости входных напряжений $\dot{U}_{11}^{(5)}$, $\dot{U}_{21}^{(5)}$ и входного тока $\dot{I}_{11}^{(5)}$ в этом опыте формируются точно так же, как и в предыдущем.

Модуль выходного тока $\dot{I}_{12}^{(5)}$ регистрируется амперметром РА3, а модули выходных напряжений $\dot{U}_{22}^{(5)}$, $\dot{U}_{32}^{(5)}$ и $\dot{U}_{42}^{(5)}$ – вольтметрами PV4, PV5 и PV6 соответственно.

Фазометр Рф4 регистрирует разность начальных фаз входного напряжения $\dot{U}_{11}^{(5)}$ и выходного тока $\dot{I}_{12}^{(5)}$: $\varphi_4 = \varphi_{u11} - \varphi_{i12}$. Отсюда легко определить начальную фазу выходного тока $\dot{I}_{12}^{(5)}$: $\varphi_{i12} = \varphi_{u11} - \varphi_4$.

Для того, чтобы определить начальные фазы выходных напряжений $\dot{U}_{22}^{(5)}$, $\dot{U}_{32}^{(5)}$ и $\dot{U}_{42}^{(5)}$, нужно токовые обмотки фазометров Рф7, Рф9 и Рф11 переключить на выходной вывод 1'. В результате таких переключений эти фазометры смогут зарегистрировать следующее: фазометр Рф7 – разность начальных фаз выходных напряжений $\dot{U}_{22}^{(5)}$ и тока $\dot{I}_{12}^{(5)}$: $\varphi_7 = \varphi_{u22} - \varphi_{i12}$; фазометр Рф9 – разность начальных фаз выходного напряжения $\dot{U}_{32}^{(5)}$ и выходного тока $\dot{I}_{12}^{(5)}$: $\varphi_9 = \varphi_{u32} - \varphi_{i12}$; фазометр Рф11 – разность начальных фаз входного напряжения $\dot{U}_{42}^{(5)}$ и выходного тока $\dot{I}_{12}^{(5)}$: $\varphi_{11} = \varphi_{u42} - \varphi_{i12}$. Поэтому искомые начальные фазы следует в таком случае определять так: начальная фаза выходного напряжения $\dot{U}_{22}^{(5)}$ – $\varphi_{u22} = \varphi_7 + \varphi_{i12}$; начальная фаза выходного напряжения $\dot{U}_{32}^{(5)}$ – $\varphi_{u32} = \varphi_9 + \varphi_{i12}$; начальная фаза выходного напряжения $\dot{U}_{42}^{(5)}$ – $\varphi_{u42} = \varphi_{11} + \varphi_{i12}$.

Изображения выходных тока и напряжений на комплексной плоскости формируются следующим образом: $\dot{I}_{12}^{(5)} = I_{12}^{(5)} e^{j\varphi_{i12}}$; $\dot{U}_{22}^{(5)} = U_{22}^{(5)} e^{j\varphi_{u22}}$; $\dot{U}_{32}^{(5)} = U_{32}^{(5)} e^{j\varphi_{u32}}$; $\dot{U}_{42}^{(5)} = U_{42}^{(5)} e^{j\varphi_{u42}}$.

Результаты выполнения пятого опыта позволяют переписать уравнения (1) следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{11}^{(5)} &= B_1 \dot{U}_{12}^{(5)} + N_1 \dot{U}_{22}^{(5)} + P_1 \dot{U}_{32}^{(5)} + R_1 \dot{U}_{42}^{(5)}; \\ \dot{U}_{21}^{(5)} &= B_2 \dot{U}_{12}^{(5)} + N_2 \dot{U}_{22}^{(5)} + P_2 \dot{U}_{32}^{(5)} + R_2 \dot{U}_{42}^{(5)}; \\ \dot{i}_{11}^{(5)} &= D_1 \dot{U}_{12}^{(5)} + E_1 \dot{U}_{22}^{(5)} + G_1 \dot{U}_{32}^{(5)} + J_1 \dot{U}_{42}^{(5)}; \\ 0 &= D_2 \dot{U}_{12}^{(5)} + E_2 \dot{U}_{22}^{(5)} + G_2 \dot{U}_{32}^{(5)} + J_2 \dot{U}_{42}^{(5)}. \end{aligned} \right\} (6)$$

Шестой опыт тоже рекомендуется выполнять с одним источником электрической энергии \dot{E}_1 . Входной вывод 2 при этом должен быть разомкнут, а выходные выводы 2' и 5' – замкнуты между собой. Все электрические нагрузки Н1–Н4 в этом опыте должны быть отключены. Это достигается размыканием ключей S2–S9, S11, S12 и замыканием ключей S1 и S10. Отличительная черта шестого опыта заключается в отсутствии входного тока $\dot{i}_{21}^{(6)}$, выходных токов $\dot{i}_{12}^{(6)}$, $\dot{i}_{32}^{(6)}$, $\dot{i}_{42}^{(6)}$ и выходного напряжения $\dot{U}_{22}^{(6)}$: $\dot{i}_{21}^{(6)} = \dot{i}_{12}^{(6)} = \dot{i}_{32}^{(6)} = \dot{i}_{42}^{(6)} = 0$; $\dot{U}_{22}^{(6)} = 0$. Это подтверждается нулевыми показаниями амперметров PA2, PA3, PA5, PA6 и вольтметра PV4.

Комплексные значения входных напряжений $\dot{U}_{11}^{(6)}$, $\dot{U}_{21}^{(6)}$ и тока $\dot{i}_{11}^{(6)}$ здесь определяются так же, как в четвертом опыте.

Модули выходных напряжений $\dot{U}_{12}^{(6)}$, $\dot{U}_{32}^{(6)}$ и $\dot{U}_{42}^{(6)}$ регистрируются вольтметрами PV3, PV5 и PV6, а модуль выходного тока $\dot{i}_{22}^{(6)}$ – амперметром PA4.

Токовую обмотку фазометра Pф5 нужно переключить на входной вывод 1. Тогда создается возможность измерения этим фазометром разность начальных фаз выходного напряжения $\dot{U}_{12}^{(6)}$ и входного тока $\dot{i}_{11}^{(6)}$: $\varphi_5 = \varphi_{u12} - \varphi_{i11}$. А искомая начальная фаза выходного напряжения $\dot{U}_{12}^{(6)}$ определится так: $\varphi_{u12} = \varphi_5 + \varphi_{i11}$.

Фазометр Pф6 регистрирует, если он подключен, как показано на рис. 2, разность начальных фаз выходных напряжения $\dot{U}_{12}^{(6)}$ и тока $\dot{i}_{22}^{(6)}$: $\varphi_6 =$

$= \varphi_{u12} - \varphi_{i22}$. Отсюда несложно определить начальную фазу выходного тока $\dot{i}_{22}^{(6)}$: $\varphi_{i22} = \varphi_{u12} - \varphi_6$.

Переключение токовых обмоток фазометров Pф9 и Pф11 на выходной вывод 2' обеспечит измерение этими фазометрами следующих величин: фазометр Pф9 сможет измерить разность начальных фаз выходных напряжения $\dot{U}_{32}^{(6)}$ и тока $\dot{i}_{22}^{(6)}$: $\varphi_9 = \varphi_{u32} - \varphi_{i22}$; а фазометр Pф11 – разность начальных фаз входных напряжения $\dot{U}_{42}^{(6)}$ и тока $\dot{i}_{22}^{(6)}$: $\varphi_{11} = \varphi_{u42} - \varphi_{i22}$. Теперь можно определить искомые начальные фазы: начальную фазу выходного напряжения $\dot{U}_{32}^{(6)}$: $\varphi_{u32} = \varphi_9 + \varphi_{i22}$; начальную фазу выходного напряжения $\dot{U}_{42}^{(6)}$: $\varphi_{u42} = \varphi_{11} + \varphi_{i22}$.

Так формируются комплексные значения выходных напряжений и тока: $\dot{U}_{12}^{(6)} = U_{12}^{(6)} e^{j\varphi_{u12}}$; $\dot{i}_{22}^{(6)} = I_{22}^{(6)} e^{j\varphi_{i22}}$; $\dot{U}_{32}^{(6)} = U_{32}^{(6)} e^{j\varphi_{u32}}$; $\dot{U}_{42}^{(6)} = U_{42}^{(6)} e^{j\varphi_{u42}}$.

Уравнения (1) по результатам исполнения шестого опыта примут вид

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{11}^{(6)} &= A_1 \dot{U}_{12}^{(6)} + O_1 \dot{i}_{22}^{(6)} + P_1 \dot{U}_{32}^{(6)} + R_1 \dot{U}_{42}^{(6)}; \\ \dot{U}_{21}^{(6)} &= A_2 \dot{U}_{12}^{(6)} + O_2 \dot{i}_{22}^{(6)} + P_2 \dot{U}_{32}^{(6)} + R_2 \dot{U}_{42}^{(6)}; \\ \dot{i}_{11}^{(6)} &= C_1 \dot{U}_{12}^{(6)} + F_1 \dot{i}_{22}^{(6)} + G_1 \dot{U}_{32}^{(6)} + J_1 \dot{U}_{42}^{(6)}; \\ 0 &= C_2 \dot{U}_{12}^{(6)} + F_2 \dot{i}_{22}^{(6)} + G_2 \dot{U}_{32}^{(6)} + J_2 \dot{U}_{42}^{(6)}. \end{aligned} \right\} (7)$$

Седьмой опыт отличается от предыдущего тем, что с выходным выводом 5' соединяется выходной вывод 3', а не 2'. В этом опыте тоже должна быть отключена вся электрическая нагрузка Н1–Н4, а также только один источник электрической энергии \dot{E}_1 – это обеспечивается размыканием ключей S2–S10 и S12, а также замыканием ключей S1 и S11. Отличительная особенность этого опыта заключается в отсутствии входного тока $\dot{i}_{21}^{(7)}$, выходных токов $\dot{i}_{12}^{(7)}$, $\dot{i}_{22}^{(7)}$, $\dot{i}_{42}^{(7)}$ и выходного напряжения $\dot{U}_{32}^{(7)}$: $\dot{i}_{21}^{(7)} = \dot{i}_{12}^{(7)} = \dot{i}_{22}^{(7)} = \dot{i}_{42}^{(7)} = 0$;

$\dot{U}_{32}^{(7)} = 0$. Эта особенность нашла подтверждение в нулевых показаниях амперметров PA2–PA4, PA6 и вольтметра PV5.

Изображения на комплексной плоскости входных напряжений $\dot{U}_{11}^{(7)}$, $\dot{U}_{21}^{(7)}$ и тока $\dot{i}_{11}^{(7)}$ здесь определяются так же, как и в четвертом опыте.

Модули выходных напряжений $\dot{U}_{12}^{(7)}$, $\dot{U}_{22}^{(7)}$ и $\dot{U}_{42}^{(7)}$ измеряются вольтметрами PV3, PV4 и PV6, а модуль выходного тока $\dot{i}_{32}^{(7)}$ – амперметром PA5.

Для определения начальных фаз выходных напряжений $\dot{U}_{12}^{(7)}$ и $\dot{U}_{22}^{(7)}$ необходимо токовые обмотки фазометров Pф5 и Pф7 переключить на входной вывод 1. Тогда эти фазометры смогут показать следующие величины: фазометр Pф5 – разность начальных фаз выходного напряжения $\dot{U}_{12}^{(7)}$ и входного тока $\dot{i}_{11}^{(7)}$: $\varphi_5 = \varphi_{u12} - \varphi_{i11}$; фазометр Pф7 – разность начальных фаз выходного напряжения $\dot{U}_{22}^{(7)}$ и входного тока $\dot{i}_{11}^{(7)}$: $\varphi_7 = \varphi_{u22} - \varphi_{i11}$. Тогда искомые начальные фазы определяются как $\varphi_{u12} = \varphi_5 + \varphi_{i11}$, $\varphi_{u22} = \varphi_7 + \varphi_{i11}$.

Фазометр Pф8, если он подключен, как показано на рис. 2, регистрирует разность начальных фаз выходных напряжения $\dot{U}_{22}^{(7)}$ и тока $\dot{i}_{32}^{(7)}$: $\varphi_8 = \varphi_{u22} - \varphi_{i32}$. Тогда начальная фаза выходного тока $\dot{i}_{32}^{(7)}$ определится как $\varphi_{i32} = \varphi_{u22} - \varphi_8$.

Переключение токовой обмотки фазометра Pф11 на выходной вывод 3' позволит зарегистрировать этим фазометром разность начальных фаз выходных напряжения $\dot{U}_{42}^{(7)}$ и тока $\dot{i}_{32}^{(7)}$: $\varphi_{11} = \varphi_{u42} - \varphi_{i32}$. Поэтому начальную фазу выходного напряжения $\dot{U}_{42}^{(7)}$ можно определить как $\varphi_{u42} = \varphi_{11} + \varphi_{i32}$.

Таким образом формируются изображения выходных напряжений и тока на комплексной плоскости: $\dot{U}_{12}^{(7)} = U_{12}^{(7)} e^{j\varphi_{u12}}$; $\dot{U}_{22}^{(7)} = U_{22}^{(7)} e^{j\varphi_{u22}}$; $\dot{i}_{32}^{(7)} = I_{32}^{(7)} e^{j\varphi_{i32}}$; $\dot{U}_{42}^{(7)} = U_{42}^{(7)} e^{j\varphi_{u42}}$.

Результаты исполнения седьмого опыта позволят переписать уравнения (1) так:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{11}^{(7)} &= A_1 \dot{U}_{12}^{(7)} + N_1 \dot{U}_{22}^{(7)} + Q_1 \dot{i}_{32}^{(7)} + R_1 \dot{U}_{42}^{(7)}; \\ \dot{U}_{21}^{(7)} &= A_2 \dot{U}_{12}^{(7)} + N_2 \dot{U}_{22}^{(7)} + Q_2 \dot{i}_{32}^{(7)} + R_2 \dot{U}_{42}^{(7)}; \\ \dot{i}_{11}^{(7)} &= C_1 \dot{U}_{12}^{(7)} + E_1 \dot{U}_{22}^{(7)} + H_1 \dot{i}_{32}^{(7)} + J_1 \dot{U}_{42}^{(7)}; \\ 0 &= C_2 \dot{U}_{12}^{(7)} + E_2 \dot{U}_{22}^{(7)} + H_2 \dot{i}_{32}^{(7)} + J_2 \dot{U}_{42}^{(7)}. \end{aligned} \right\} (8)$$

Восьмой опыт тоже предполагает использование только одного источника электрической энергии \dot{E}_1 при отключении электрических нагрузок Н1–Н4. От предыдущего опыта он отличается тем, что выходной вывод 5' соединен с выходным выводом 4', а не 3'. Это достигается размыканием ключей S2–S11 и замыканием ключей S1 и S12.

В восьмом опыте отсутствуют входной ток $\dot{i}_{21}^{(8)}$, выходные токи $\dot{i}_{12}^{(8)}$, $\dot{i}_{22}^{(8)}$, $\dot{i}_{32}^{(8)}$ и выходное напряжение $\dot{U}_{42}^{(8)}$: $\dot{i}_{21}^{(8)} = \dot{i}_{12}^{(8)} = \dot{i}_{22}^{(8)} = \dot{i}_{32}^{(8)} = 0$; $\dot{U}_{42}^{(8)} = 0$. Это подтверждается нулевыми показаниями амперметров PA2–PA5 и вольтметра PV6.

Комплексные значения входных напряжений $\dot{U}_{11}^{(8)}$, $\dot{U}_{21}^{(8)}$ и тока $\dot{i}_{11}^{(8)}$ определяются так же, как в четвертом опыте.

Модули выходных напряжений $\dot{U}_{12}^{(8)}$, $\dot{U}_{22}^{(8)}$ и $\dot{U}_{32}^{(8)}$ измеряются вольтметрами PV3–PV5, а модуль выходного тока $\dot{i}_{42}^{(8)}$ – амперметром PA6.

Для определения начальных фаз выходных напряжений $\dot{U}_{12}^{(8)}$, $\dot{U}_{22}^{(8)}$ и $\dot{U}_{32}^{(8)}$ нужно токовые обмотки фазометров Pф5, Pф7 и Pф9 переключить на входной вывод 1. В результате таких переключений эти фазометры смогут измерить следующее: фазометр Pф5 – разность начальных фаз выходного напряжения $\dot{U}_{12}^{(8)}$ и входного тока $\dot{i}_{11}^{(8)}$: $\varphi_5 = \varphi_{u12} - \varphi_{i11}$; фазометр Pф7 – разность начальных фаз выходного напряжения $\dot{U}_{22}^{(8)}$ и входного тока $\dot{i}_{11}^{(8)}$: $\varphi_7 = \varphi_{u22} - \varphi_{i11}$; а фазометр Pф9 – разность начальных фаз выходного напряжения $\dot{U}_{32}^{(8)}$ и входного тока $\dot{i}_{11}^{(8)}$: $\varphi_9 = \varphi_{u32} - \varphi_{i11}$. Искомые начальные фазы выходных напряжений сле-

дует определять как $\varphi_{u12} = \varphi_5 + \varphi_{i11}$; $\varphi_{u22} = \varphi_7 + \varphi_{i11}$; $\varphi_{u32} = \varphi_9 + \varphi_{i11}$.

Фазометр Рф10 регистрирует разность начальных фаз выходных напряжения $\dot{U}_{32}^{(8)}$ и тока $\dot{i}_{42}^{(8)}$: $\varphi_{10} = \varphi_{u32} - \varphi_{i42}$, поэтому начальную фазу выходного тока $\dot{i}_{42}^{(8)}$ следует определять как $\varphi_{i42} = \varphi_{u32} - \varphi_{10}$.

Таким образом формируются изображения на комплексной плоскости выходных напряжений и тока: $\dot{U}_{12}^{(8)} = U_{12}^{(8)} e^{j\varphi_{u12}}$; $\dot{U}_{22}^{(8)} = U_{22}^{(8)} e^{j\varphi_{u22}}$; $\dot{U}_{32}^{(8)} = U_{32}^{(8)} e^{j\varphi_{u32}}$; $\dot{i}_{42}^{(8)} = I_{42}^{(8)} e^{j\varphi_{i42}}$.

По результатам выполнения восьмого опыта уравнения (1) переписываются так:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{11}^{(8)} &= A_1 \dot{U}_{12}^{(8)} + N_1 \dot{U}_{22}^{(8)} + P_1 \dot{U}_{32}^{(8)} + S_1 \dot{U}_{42}^{(8)}; \\ \dot{U}_{21}^{(8)} &= A_2 \dot{U}_{12}^{(8)} + N_2 \dot{U}_{22}^{(8)} + P_2 \dot{U}_{32}^{(8)} + S_2 \dot{U}_{42}^{(8)}; \\ \dot{i}_{11}^{(8)} &= C_1 \dot{U}_{12}^{(8)} + E_1 \dot{U}_{22}^{(8)} + G_1 \dot{U}_{32}^{(8)} + K_1 \dot{U}_{42}^{(8)}; \\ 0 &= C_2 \dot{U}_{12}^{(8)} + E_2 \dot{U}_{22}^{(8)} + G_2 \dot{U}_{32}^{(8)} + K_2 \dot{U}_{42}^{(8)}. \end{aligned} \right\} (9)$$

Совместное решение уравнений (2)–(9) позволит получить равенства для вычисления коэффициентов уравнений А-формы, оценивающих состояние восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{h\dot{U}_{11}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) - f\dot{U}_{21}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) - eh\dot{U}_{32}^{(1)}\dot{U}_{11}^{(4)} -}{h\dot{U}_{12}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) - g\dot{U}_{22}^{(1)}(e\dot{U}_{22}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) -} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{-cf\dot{U}_{32}^{(1)}\dot{U}_{42}^{(4)} + ef\dot{U}_{32}^{(1)}\dot{U}_{22}^{(4)} - ah\dot{U}_{42}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) + ch\dot{U}_{42}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) + edh\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{12}^{(4)} +}{-h\dot{U}_{32}^{(1)}(b\dot{U}_{42}^{(4)} - e\dot{U}_{12}^{(4)}) - cg\dot{U}_{32}^{(1)}\dot{U}_{42}^{(4)} + e\dot{U}_{32}^{(1)}\dot{U}_{22}^{(4)} - bh\dot{U}_{42}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) +} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{+cdf\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{42}^{(4)} - def\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{22}^{(4)} - adh\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{42}^{(4)}}{+cg\dot{U}_{42}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) + dh\dot{U}_{42}^{(1)}(b\dot{U}_{42}^{(4)} - e\dot{U}_{12}^{(4)}) + cdg\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{42}^{(4)} - de\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{22}^{(4)}}; \\ N_1 &= \frac{f - A_1 g}{h}; \quad R_1 = \frac{e\dot{U}_{11}^{(4)} + A_1(b\dot{U}_{42}^{(4)} - e\dot{U}_{12}^{(4)}) + N_1(c\dot{U}_{42}^{(4)} - e\dot{U}_{22}^{(4)}) - a\dot{U}_{42}^{(4)}}{e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}}; \\ R_1 &= \frac{a - A_1 b - N_1 c - R_1 d}{e}; \quad B_1 = \frac{\dot{U}_{11}^{(5)} - N_1 \dot{U}_{22}^{(5)} - R_1 \dot{U}_{32}^{(5)} - R_1 \dot{U}_{42}^{(5)}}{\dot{i}_{12}^{(5)}}; \\ O_1 &= \frac{\dot{U}_{11}^{(6)} - A_1 \dot{U}_{12}^{(6)} - R_1 \dot{U}_{32}^{(6)} - R_1 \dot{U}_{42}^{(6)}}{\dot{i}_{22}^{(6)}}; \quad Q_1 = \frac{\dot{U}_{11}^{(7)} - A_1 \dot{U}_{12}^{(7)} - N_1 \dot{U}_{22}^{(7)} - R_1 \dot{U}_{42}^{(7)}}{\dot{i}_{32}^{(7)}}; \\ S_1 &= \frac{\dot{U}_{11}^{(8)} - A_1 \dot{U}_{12}^{(8)} - N_1 \dot{U}_{22}^{(8)} - R_1 \dot{U}_{32}^{(8)}}{\dot{i}_{42}^{(8)}}; \\ C_1 &= \frac{h\dot{i}_{11}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) - r\dot{U}_{21}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) - eh\dot{U}_{32}^{(1)}\dot{i}_{11}^{(4)} -}{h\dot{U}_{12}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) - g\dot{U}_{22}^{(1)}(e\dot{U}_{22}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) -} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{-cr\dot{U}_{32}^{(1)}\dot{U}_{42}^{(4)} + er\dot{U}_{32}^{(1)}\dot{U}_{22}^{(4)} - hq\dot{U}_{42}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) + ch\dot{U}_{42}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) + edh\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{12}^{(4)} +}{-h\dot{U}_{32}^{(1)}(b\dot{U}_{42}^{(4)} - e\dot{U}_{12}^{(4)}) - cg\dot{U}_{32}^{(1)}\dot{U}_{42}^{(4)} + e\dot{U}_{32}^{(1)}\dot{U}_{22}^{(4)} - bh\dot{U}_{42}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) +} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{+cdr\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{42}^{(4)} - der\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{22}^{(4)} - dhq\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{42}^{(4)}}{+cg\dot{U}_{42}^{(1)}(e\dot{U}_{32}^{(4)} - d\dot{U}_{42}^{(4)}) + dh\dot{U}_{42}^{(1)}(b\dot{U}_{42}^{(4)} - e\dot{U}_{12}^{(4)}) + cdg\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{42}^{(4)} - de\dot{U}_{42}^{(1)}\dot{U}_{22}^{(4)}}; \end{aligned}$$

$$E_1 = \frac{r - C_1 g}{h}; \quad G_1 = \frac{e i_{11}^{(4)} + C_1 (b \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{12}^{(4)}) + E_1 (c \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{22}^{(4)}) - q \dot{U}_{42}^{(4)}}{e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}};$$

$$J_1 = \frac{q - C_1 b - E_1 c - G_1 d}{e}; \quad D_1 = \frac{i_{11}^{(5)} - E_1 \dot{U}_{22}^{(5)} - G_1 \dot{U}_{32}^{(5)} - J_1 \dot{U}_{42}^{(5)}}{i_{12}^{(5)}}; \quad F_1 = \frac{i_{11}^{(6)} - C_1 \dot{U}_{12}^{(6)} - G_1 \dot{U}_{32}^{(6)} - J_1 \dot{U}_{42}^{(6)}}{i_{22}^{(6)}};$$

$$H_1 = \frac{i_{11}^{(7)} - C_1 \dot{U}_{12}^{(7)} - E_1 \dot{U}_{22}^{(7)} - J_1 \dot{U}_{42}^{(7)}}{i_{32}^{(7)}}; \quad K_1 = \frac{i_{11}^{(8)} - C_1 \dot{U}_{12}^{(8)} - E_1 \dot{U}_{22}^{(8)} - G_1 \dot{U}_{32}^{(8)}}{i_{42}^{(8)}};$$

$$A_2 = \frac{h \dot{U}_{21}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) - m \dot{U}_{21}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) - e h \dot{U}_{32}^{(1)} \dot{U}_{21}^{(4)} -}{h \dot{U}_{12}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) - g \dot{U}_{22}^{(1)} (e \dot{U}_{22}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) -}$$

$$\rightarrow \frac{-c f \dot{U}_{32}^{(1)} \dot{U}_{42}^{(4)} + e m \dot{U}_{32}^{(1)} \dot{U}_{22}^{(4)} - h k \dot{U}_{42}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) + c h \dot{U}_{42}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) + e d h \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{12}^{(4)} +}{-h \dot{U}_{32}^{(1)} (b \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{12}^{(4)}) - c g \dot{U}_{32}^{(1)} \dot{U}_{42}^{(4)} + e \dot{U}_{32}^{(1)} \dot{U}_{22}^{(4)} - b h \dot{U}_{42}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) +}$$

$$\rightarrow \frac{+ c d m \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{42}^{(4)} - d e m \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{22}^{(4)} - d h k \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{42}^{(4)}}{+ c g \dot{U}_{42}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) + d h \dot{U}_{42}^{(1)} (b \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{12}^{(4)}) + c d g \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{42}^{(4)} - d e \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{22}^{(4)}};$$

$$N_2 = \frac{m - A_2 g}{h}; \quad P_2 = \frac{e \dot{U}_{21}^{(4)} + A_2 (b \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{12}^{(4)}) + N_2 (c \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{22}^{(4)}) - k \dot{U}_{42}^{(4)}}{e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}};$$

$$R_2 = \frac{k - A_2 b - N_2 c - P_2 d}{e}; \quad B_2 = \frac{\dot{U}_{21}^{(5)} - N_2 \dot{U}_{22}^{(5)} - P_2 \dot{U}_{32}^{(5)} - R_2 \dot{U}_{42}^{(5)}}{i_{12}^{(5)}};$$

$$O_2 = \frac{\dot{U}_{21}^{(6)} - A_2 \dot{U}_{12}^{(6)} - P_2 \dot{U}_{32}^{(6)} - R_2 \dot{U}_{42}^{(6)}}{i_{22}^{(6)}}; \quad Q_2 = \frac{\dot{U}_{21}^{(7)} - A_2 \dot{U}_{12}^{(7)} - N_2 \dot{U}_{22}^{(7)} - R_2 \dot{U}_{42}^{(7)}}{i_{32}^{(7)}};$$

$$S_2 = \frac{\dot{U}_{21}^{(8)} - A_2 \dot{U}_{12}^{(8)} - N_2 \dot{U}_{22}^{(8)} - P_2 \dot{U}_{32}^{(8)}}{i_{42}^{(8)}}; \quad C_2 = \frac{h i_{21}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) - p \dot{U}_{21}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) -}{h \dot{U}_{12}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) - g \dot{U}_{22}^{(1)} (e \dot{U}_{22}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) -}$$

$$\rightarrow \frac{-c p \dot{U}_{32}^{(1)} \dot{U}_{42}^{(4)} + e p \dot{U}_{32}^{(1)} \dot{U}_{22}^{(4)} - h n \dot{U}_{42}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) + c h \dot{U}_{42}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) + e d h \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{12}^{(4)} +}{-h \dot{U}_{32}^{(1)} (b \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{12}^{(4)}) - c g \dot{U}_{32}^{(1)} \dot{U}_{42}^{(4)} + e \dot{U}_{32}^{(1)} \dot{U}_{22}^{(4)} - b h \dot{U}_{42}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) +}$$

$$\rightarrow \frac{+ c d p \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{42}^{(4)} - d e p \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{22}^{(4)} - d h n \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{42}^{(4)}}{+ c g \dot{U}_{42}^{(1)} (e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}) + d h \dot{U}_{42}^{(1)} (b \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{12}^{(4)}) + c d g \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{42}^{(4)} - d e \dot{U}_{42}^{(1)} \dot{U}_{22}^{(4)}};$$

$$E_2 = \frac{p - C_2 g}{h}; \quad G_2 = \frac{C_2 (b \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{12}^{(4)}) + E_2 (c \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{22}^{(4)}) - n \dot{U}_{42}^{(4)}}{e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)}};$$

$$J_2 = \frac{n - C_2 b - E_2 c - G_2 d}{e}; \quad D_2 = \frac{-E_2 \dot{U}_{22}^{(5)} - G_2 \dot{U}_{32}^{(5)} - J_2 \dot{U}_{42}^{(5)}}{i_{12}^{(5)}}; \quad F_2 = \frac{-C_2 \dot{U}_{12}^{(6)} - G_2 \dot{U}_{32}^{(6)} - J_2 \dot{U}_{42}^{(6)}}{i_{22}^{(6)}};$$

$$H_2 = \frac{-C_2 \dot{U}_{12}^{(7)} - E_2 \dot{U}_{22}^{(7)} - J_2 \dot{U}_{42}^{(7)}}{i_{32}^{(7)}}; \quad K_2 = \frac{-C_2 \dot{U}_{12}^{(8)} - E_2 \dot{U}_{22}^{(8)} - G_2 \dot{U}_{32}^{(8)}}{i_{42}^{(8)}};$$

где

$$\begin{aligned}
 a &= i_{12}^{(2)} \dot{U}_{11}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{22}^{(2)} i_{12}^{(5)} \dot{U}_{11}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{32}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} \dot{U}_{11}^{(7)} i_{42}^{(8)} + \\
 &\quad + i_{42}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} \dot{U}_{11}^{(8)} - \dot{U}_{11}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)}; \\
 b &= i_{22}^{(2)} i_{12}^{(5)} \dot{U}_{12}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{32}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} \dot{U}_{12}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{42}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} \dot{U}_{12}^{(8)}; \\
 c &= i_{12}^{(2)} \dot{U}_{22}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{32}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} \dot{U}_{22}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{42}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} \dot{U}_{22}^{(8)}; \\
 d &= i_{12}^{(2)} \dot{U}_{32}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{22}^{(2)} i_{12}^{(5)} \dot{U}_{32}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{42}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} \dot{U}_{32}^{(8)}; \\
 e &= i_{12}^{(2)} \dot{U}_{42}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{22}^{(2)} i_{12}^{(5)} \dot{U}_{42}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{32}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} \dot{U}_{42}^{(7)} i_{42}^{(8)}; \\
 f &= e \dot{U}_{11}^{(3)} \left(e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)} \right) - e^2 \dot{U}_{32}^{(3)} \dot{U}_{11}^{(4)} + a e \dot{U}_{32}^{(3)} \dot{U}_{42}^{(4)} - \\
 &\quad - a \dot{U}_{42}^{(3)} \left(e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)} \right) + d e \dot{U}_{42}^{(3)} \dot{U}_{11}^{(4)} - a d \dot{U}_{42}^{(3)} \dot{U}_{42}^{(4)}; \\
 g &= e \dot{U}_{12}^{(3)} \left(e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)} \right) + e \dot{U}_{32}^{(3)} \left(b \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{12}^{(4)} \right) - b \dot{U}_{42}^{(3)} \left(e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)} \right) - d \dot{U}_{42}^{(3)} \left(b \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{12}^{(4)} \right); \\
 h &= e \dot{U}_{22}^{(3)} \left(e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)} \right) + e \dot{U}_{32}^{(3)} \left(c \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{22}^{(4)} \right) - c \dot{U}_{42}^{(3)} \left(e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)} \right) - d \dot{U}_{42}^{(3)} \left(c \dot{U}_{42}^{(4)} - e \dot{U}_{22}^{(4)} \right); \\
 k &= i_{12}^{(2)} \dot{U}_{21}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{22}^{(2)} i_{12}^{(5)} \dot{U}_{21}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{32}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} \dot{U}_{21}^{(7)} i_{42}^{(8)} + \\
 &\quad + i_{42}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} \dot{U}_{21}^{(8)} - \dot{U}_{21}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)}; \\
 m &= -e^2 \dot{U}_{32}^{(3)} \dot{U}_{21}^{(4)} + k e \dot{U}_{32}^{(3)} \dot{U}_{42}^{(4)} - k \dot{U}_{42}^{(3)} \left(e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)} \right) + d e \dot{U}_{42}^{(3)} \dot{U}_{12}^{(4)} - d k \dot{U}_{42}^{(3)} \dot{U}_{42}^{(4)}; \\
 n &= -\dot{U}_{11}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)}; \\
 p &= e i_{21}^{(3)} \left(e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)} \right) + e n \dot{U}_{32}^{(3)} \dot{U}_{42}^{(4)} - n \dot{U}_{42}^{(3)} \left(e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)} \right) - d n \dot{U}_{42}^{(3)} \dot{U}_{42}^{(4)}; \\
 q &= i_{12}^{(2)} i_{11}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{22}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{11}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)} + i_{32}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{11}^{(7)} i_{42}^{(8)} + \\
 &\quad + i_{42}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{11}^{(8)} - i_{11}^{(2)} i_{12}^{(5)} i_{22}^{(6)} i_{32}^{(7)} i_{42}^{(8)}; \\
 r &= e i_{11}^{(3)} \left(e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)} \right) - e^2 \dot{U}_{32}^{(3)} i_{11}^{(4)} + e q \dot{U}_{32}^{(3)} \dot{U}_{42}^{(4)} - q \dot{U}_{42}^{(3)} \left(e \dot{U}_{32}^{(4)} - d \dot{U}_{42}^{(4)} \right) + d e \dot{U}_{42}^{(3)} i_{11}^{(4)} - d q \dot{U}_{42}^{(3)} \dot{U}_{42}^{(4)}.
 \end{aligned}$$

Это – лишь один из многих возможных вариантов исполнения экспериментальных исследований с целью получения исходных данных для формирования равенств для вычисления коэффициентов уравнений А-формы, оценивающих состояние восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами. Исходные данные формируются в виде уравнений типов (2)–(9). Вариантов их совместного решения также множество. Результаты каждого из возможных решений дают весьма достоверные и однозначные сведения о численных значениях искомых коэффициентов и имеют равноценные права на существование.

Таким образом, сформирована методика экспериментального определения численных значений коэффициентов уравнений А-формы, описы-

вающих состояние восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами. Представлен один из множества возможных вариантов серии опытов, необходимых для решения поставленной задачи. Исследователь вправе подбирать наиболее приемлемый вариант, исходя из внешних условий и минимизируя организационные и технические трудности проведения необходимых экспериментов. Для выполнения этих экспериментов необходимо иметь свободный доступ к исследуемому объекту электроэнергетики, который может быть замещен пассивным шестиполюсником с тремя входными и пятью выходными выводами, а также парком соответствующих электроизмерительных приборов.

Предлагаемая серия экспериментов по своей сути представляет один из способов косвенного измерения коэффициентов уравнений А-формы. Однако при необходимости сведения о численных значениях коэффициентов А-формы могут оказать существенную помощь в определении численных значений коэффициентов иных форм, тоже описывающих состояние восьмиполюсника с тремя входными и пятью выходными выводами.

Рассмотренные в статье элементы теории восьмиполюсников позволят 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, определение параметров линий электропередачи трехпроводного исполнения 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, трехпроводного исполнения с грозозащитным тросом, пятипроводного и шестипроводного (двухцепная ЛЭП) исполнений. Возможна разработка элементов теории многополюсников и иных исполнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов Р. А. Общая теория четырехполюсников и многополюсников. М., Л.: Госэнергоиздат, 1951. 192 с.
2. 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.
3. Салимоненко Д. А. Применение методов линейного программирования для определения параметров электрических цепей. Ч. 1 // Вестн. Башкирского ун-та. 2015. Т. 20, № 4. С. 1155–1163.
4. Беликов Ю. С. Многополюсник как модель электрических систем: в 2 ч. Ч. 2. М.: НТФ Энергопрогресс, 2013. 92. с.
5. 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.
6. Тлустенко С. Ф., Коптев А. Н. Разработка и исследование методологии информационного обеспечения технологических систем агрегатно-сборочного производства летательных аппаратов // Изв. Самарского НЦ РАН. 2015. Т. 17, № 6 (2). С. 491–497.
7. Levitskiy Zh. G., Imanov Zh. Zh., Nurgaliyeva A. D. Quasianalog transformation of Compound Ventilating Network // European Researcher. 2013. Vol. 1(40), № 2–1. P. 259–267.
8. Большанин Г. А. Многополюсники. Братск: Изд-во БрГУ, 2017. 337 с.

G. A. Bolshinin
Bratsk State University

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE EIGHT-POLE FACTORS WITH THREE INPUT AND FIVE OUTPUT CLAMPS

Eight-poles of various designs are necessary for replacing electrical equipment, as well as individual sections of electric power systems. Especially when only the input and output characteristics of electrical energy are of interest. The singularities of the state of the eight-terminal network are described by equations of various forms. To describe the state of an eight-terminal network with three input and five output terminals in power engineering, the A-form equations are most often used. And for the realization of these equations it is necessary to have information about the numerical values of the corresponding coefficients. The article presents one of the possible variants of the experimental determination of these coefficients. For the experimental determination of the numerical values of the coefficients of the A-form equations describing the state of the eight-terminal network with three input and five output terminals, eight experiments are required. Numerical values of these coefficients will allow us to determine the numerical values of the coefficients of equations of other forms describing the state of the same eight-terminal network. Information on the numerical values of the coefficients of the eight-terminal network will make it possible to establish a quantitative relationship between the input and output characteristics of electrical energy.

Coefficients of the eight-terminal network for the A-form equations, the experiment circuit, the idling experience, the short-circuit experiment, the voltmeter, the ammeter, the phase meter