АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
АВТОМЕТРИЯ

№ 4 1968

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ

УДК 621.317.7.083.5+621.317 733

К. М. СОБОЛЕВСКИЙ
(Новосибирск)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ УРАВНОВЕШИВАНИЯ

Как известно, основные свойства и характеристики электроизмерительных цепей уравновешивания выражаются независимо от их структуры в виде соотношений между коэффициентами характеризующих измерительные цепи функций исследуемого параметра, представляющих отношения некоторых активных величин цепей [1, 2]. Эти коэффициенты указанных характеристических функций измерительных цепей определяются обычно через параметры элементов цепей индивидуально для каждой заданной структуры цепи или для заданного ее геометрического образа (см., например, [1, 3—6]). Нетрудно, однако, выразить коэффициенты характеристических функций цепей и через более общие их параметры, которыми являются различные коэффициенты и характеристики передачи, а также параметры матриц схем. Не стремясь к исчерпывающему рассмотрению данного вопроса, остановимся ниже на нескольких характерных примерах, обращая внимание на ряд следующих из приводимого анализа практических выводов.

Электроизмерительную цепь уравновешивания (ЭИЦУ) целесообразно в общем случае представить в виде пассивного восьмиполюсника [7], к одной паре полюсов которого подключен исследуемый объект (двухполюсник), ко второй паре полюсов присоединен источник питания (источник напряжения E или тока I), а остальные две пары полюсов предназначены для подключения входных цепей указателя квазиравновесия (или равновесия). Этот многополюсник, представляющий образцовую часть ЭИЦУ, для определенности будем характеризовать матрицей проводимостей $\|Y\|$. Будем полагать, что указатель квазиравновесия может в соответствии с [8] отмечать определенное соотношение двух напряжений, или двух токов, или напряжения и тока; интересуясь принципиальным решением задачи, в случае входной цепи указателя, чувствительной к напряжению, ее входное сопротивление будем полагать бесконечно большим, а в случае входной цепи, чувствительной к току, это сопротивление будем считать равным нулю.

Пусть, например, как показано на рис. 1, пассивный восьмиполюсник, который характеризует матрица $\|Y\|$ и к полюсам x которого подключен исследуемый объект, питается от идеального источника тока, подключенного к полюсам f, и в качестве активных величин A_i и A_j, соотношением которых характеризуют измерительное состояние данной

ЭИЦУ, используются напряжение на полюсах i (U_i) и ток в ветви j (I_j), а в качестве исследуемого объекта выступает пассивный двухполюсник, характеризуемый операторами $Z_и$ (сопротивление) или $Y_и$ (проводимость). Для определения характеристической функции $w = \frac{A_i}{A_j}$ необходимо соотносимые величины $A_i = U_i$ и $A_j = I_j$ выразить через общие параметры многополюсника и исследуемый оператор $Z_и$ ($Y_и$). Это нетрудно сделать, заменив подключаемый исследуемый пассивный объект $Z_и$ ($Y_и$) эквивалентной э. д. с. E_x и затем рассчитав цепь методом суперпозиции, пользуясь при этом известной связью между вторичными параметрами цепи и ее матрицей проводимости.

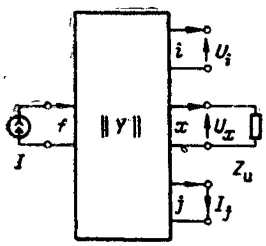

Рис. 1.

В соответствии с [9] э. д. с. E_x, подключение которой к зажимам x эквивалентно подключению к ним исследуемого объекта $Z_и$ ($Y_и$), определяется выражением

$$E_x = \mu\, U_{x\,o}; \tag{1}$$

здесь $\mu = \frac{Z_и}{Z_и + Z_{xx}} = \frac{Y_{xx}}{Y_{xx} + Y_и}$, причем — Z_{xx} — входное сопротивление, а Y_{xx} — входная проводимость данной цепи со стороны полюсов x; U_{xo} — напряжение на полюсах x до подключения к ним исследуемого объекта. Указанные входные параметры цепи (см. рис. 1) со стороны полюсов x, а также величина U_{xo} могут быть выражены следующим образом:

$$Z_{xx} = \frac{1}{Y_{xx}} = \frac{\Delta_{jj,\,xx}}{\Delta_{jj}}; \tag{2}$$

$$U_{x\,o} = [Z^{o}_{пер}]^{jj}_{fx}\, I = \frac{\Delta_{jj,\,fx}}{\Delta_{jj}}\, I; \tag{3}$$

здесь $\Delta_{jj,\,xx}$, Δ_{jj}, $\Delta_{jj,\,fx}$ — алгебраические дополнения матрицы $\|Y\|$, отвечающей системе независимых сечений [10] (такая матрица $\|Y\|$ нами используется и впредь); $[Z^{o}_{пер}]^{jj}_{fx}$ — сопротивление передачи частного четырехполюсника f — x при холостом ходе, определяемое при закороченных полюсах j.

Определим составляющие напряжения U_i и тока I_j, обусловливаемые в отдельности действием источников I и E_x:

$$\begin{aligned}
U_i^{I} &= [Z^{o}_{пер}]^{jj,\,xx}_{fi}\, I = \frac{\Delta_{ji,\,xx,\,fi}}{\Delta_{jj,\,xx}}\, I;\\
I_j^{I} &= [K_I^{к}]^{xx}_{fj}\, I = \frac{\Delta_{xx,\,fj}}{\Delta_{xx,\,jj}}\, I;\\
U_i^{E_x} &= [K_U^{o}]^{jj}_{xi}\, E_x = \frac{\Delta_{jj,\,xi}}{\Delta_{jj,\,xx}}\, E_x;\\
I_j^{E_x} &= [Y^{к}_{пер}]_{xj}\, E_x = \frac{\Delta_{xj}}{\Delta_{xx,\,jj}}\, E_x;
\end{aligned} \tag{4}$$

в выражениях (4) и ниже приняты обозначения: $[K_I^{к}]^{р}_{э}$ — коэффициент передачи тока частного четырехполюсника при коротком замыкании;

$[K_U^{\text{о}}]_{\text{э}}^{\text{р}}$ — коэффициент передачи напряжения частного четырехполюсника при холостом ходе; $[Y_{\text{пер}}^{\text{к}}]_{\text{э}}^{\text{р}}$ — проводимость передачи частного четырехполюсника при коротком замыкании; при этом нижний индекс (э) указывает на направление передачи энергии, а верхний (р), если используется, указывает полюса, которые следует рассматривать закороченными (т. е. уточняет «режим» многополюсника).

Выражая теперь характеристическую функцию данной цепи уравновешивания как отношение суммарного напряжения $U_i = U_i^I + U_i^{Ex}$ к суммарному току $I_j = I_j^I + I_j^{Ex}$ и учитывая при этом формулы (1)—(4), получим

$$w = \frac{U_i}{I_j} = \frac{(\Delta_{jj,\,xx,\,fi}\,\Delta_{jj} + \Delta_{jj,\,fx}\,\Delta_{jj,\,xi})\,Z_{\text{и}} + \Delta_{jj,\,xx,\,fi}\,\Delta_{jj,\,xx}}{(\Delta_{xx,\,fj}\,\Delta_{jj} + \Delta_{jj,\,fx}\,\Delta_{xj})\,Z_{\text{и}} + \Delta_{xx,\,fj}\,\Delta_{xx,\,jj}}; \tag{5}$$

после несложных преобразований с использованием теоремы Якоби (см., например, [11]) выражение (5) можно привести к виду

$$w = \frac{\Delta_{jj,\,fi}\,Z_{\text{и}} + \Delta_{jj,\,xx,\,fi}}{\Delta_{fj}\,Z_{\text{и}} + \Delta_{xx,\,fj}} \tag{6}$$

или

$$w = \frac{\Delta_{jj,\,xx,\,fi}\,Y_{\text{и}} + \Delta_{jj,\,fi}}{\Delta_{xx,\,fj}\,Y_{\text{и}} + \Delta_{fj}}. \tag{7}$$

Таким образом, как видно из формул (6) и (7), коэффициенты характеристической функции w исследуемого пассивного параметра z рассматриваемой ЭИЦУ (см. рис. 1)

$$w = \frac{az + b}{cz + d}$$

могут быть выражены как определенные алгебраические дополнения матрицы проводимости восьмиполюсника, представляющего образцовую часть ЭИЦУ. Для определенности напомним, что формулу (6) и аналогичные ей необходимо использовать в том случае, когда параметры исследуемого объекта требуется определять по последовательной схеме замещения, а формулу (7) и ей подобные — в том случае, когда схема замещения исследуемого объекта параллельная.

От выражений (6) и (7) нетрудно перейти к такому представлению данной характеристической функции, при котором каждый из ее коэффициентов приобретает реальный физический смысл; в частности, эту функцию можно представить следующим образом:

$$w = \frac{[Z_{\text{пер}}^{\text{о}}]_{fi}^{jj}\,Z_{\text{и}} + [Z_{\text{пер}}^{\text{о}}]_{fi}^{jj,\,xx}\,[Z_{xx}]^{jj}}{[K_I^{\text{к}}]_{fj}\,Z_{\text{и}} + [K_I^{\text{к}}]_{fj}^{xx}\,[Z_{xx}]^{jj}} =$$

$$= \frac{[K_U^{\text{о}}]_{fi}^{jj}\,Z_{\text{и}} + [K_U^{\text{о}}]_{fi}^{jj,\,xx}\,[Z_{xx}]^{jj,\,ff}}{[Y_{\text{пер}}^{\text{к}}]_{fj}^{ff,\,jj}\,Z_{\text{и}} + [Y_{\text{пер}}^{\text{к}}]_{fj}^{ff,\,jj,\,xx}\,[Z_{xx}]^{jj,\,ff}}; \tag{6а}$$

$$w = \frac{[Z_{\text{пер}}^{\text{о}}]_{fi}^{jj,\,xx}\,Y_{\text{и}} + [Z_{\text{пер}}^{\text{о}}]_{fi}^{jj}\,[Y_{xx}]^{jj}}{[K_I^{\text{к}}]_{fj}^{xx}\,Y_{\text{и}} + [K_I^{\text{к}}]_{fj}\,[Y_{xx}]^{jj}} =$$

$$= \frac{[K_U^{\text{о}}]_{fi}^{jj,\,xx}\,Y_{\text{и}} + [K_U^{\text{о}}]_{fi}^{jj}\,[Y_{xx}]^{jj,\,ff}}{[Y_{\text{пер}}^{\text{к}}]_{fj}^{ff,\,jj,\,xx}\,Y_{\text{и}} + [Y_{\text{пер}}^{\text{к}}]_{fj}^{ff,\,jj}\,[Y_{xx}]^{jj,\,ff}}; \tag{7а}$$

здесь коэффициенты характеристической функции приобрели смысл определенных коэффициентов и характеристик передачи соответствующих частных четырехполюсников при холостом ходе и коротком замыкании либо произведений указанных коэффициентов и характеристик передачи на входное сопротивление (проводимость) многополюсника со стороны полюсов x, причем входное сопротивление и входная проводимость определяются при закороченных полюсах j или j, f.

Заметим, что поскольку вторичные параметры (коэффициенты и характеристики передачи; входные сопротивления и проводимости) частных четырехполюсников цепи в режимах холостого хода и короткого замыкания представляют простые отношения определенных алгебраических дополнений матрицы схемы не только для использованной нами системы независимых сечений, но также и для системы независимых контуров или канонических систем координат [10], то, следовательно, коэффициенты характеристической функции рассмотренной ЭИЦУ (см. рис. 1) могут быть выражены как алгебраические дополнения матрицы схемы, записанной для образцовой части ЭИЦУ в любой из упомянутых систем координат.

Для ЭИЦУ, представленной на рис. 1, характеристическая функция сохранит вид (6), (7), (6а), (7а) и в том случае, когда для питания цепи вместо идеального источника тока использовать идеальный источник напряжения (E); этого и следовало ожидать, поскольку в цепях уравновешивания мостового типа вид источника питания не должен, как известно (см., например, [3]), влиять на соотношение между параметрами исследуемого объекта и образцовых мер, имеющее место в момент достижения измерительного состояния и вытекающее из функции w.

Из выражений (6а), (7а) и подобных им, представляющих характеристические функции ЭИЦУ, в которых измерительные состояния оцениваются по соотношениям между некоторыми двумя выходными активными величинами, легко получить формулы характеристических функций таких цепей, в которых в качестве одной из величин A_i и A_j служит непосредственно напряжение или ток питания (E или I). Так, например, для цепей, измерительные состояния которых характеризуются функциями (6), (7), необходимо при $A_i = E$ или при $A_j = I$ коэффициенты $[K_U^{\text{о}}]_{fi}^{jj}$ и $[K_U^{\text{о}}]_{fi}^{jj,\,xx}$ или соответственно $[K_I^{\text{к}}]_{fj}$ и $[K_I^{\text{к}}]_{fj}^{xx}$ в выражениях (6а) и (7а) положить равными единице, что отвечает совмещению полюсных пар f и i или соответственно f и j, и индекс j в остальных вторичных параметрах, входящих в эти выражения, отвечающий совмещаемой с ff полюсной паре, заменить на индекс f.

Для цепей уравновешивания, характеризуемых соотношением двух напряжений или двух токов, коэффициенты характеристических функций исследуемого пассивного параметра можно определить аналогично изложенному выше. Общие соотношения коэффициентов a, b, c, d характеристических функций $w = \dfrac{A_i}{A_j}$ пассивного параметра $z = Z_{\text{и}}$ ($Y_{\text{и}}$) для всех указанных основных случаев оценки измерительных режимов ЭИЦУ при представлении всей образцовой части цепи в виде многополюсника (восьмиполюсник или шестиполюсник — при совмещении одного из выходов со входом цепи) приведены в таблице. Так как переход от функции $w = f(Z_{\text{и}})$ к функции $w = f(Y_{\text{и}})$ соответствует тому, что коэффициенты a, c и b, d меняются местами, то общие выражения этих коэффициентов указаны в единых клетках таблицы.

Если к полюсам x пассивного восьмиполюсника, питаемого идеальным источником тока I или напряжения E (подключен к полюсам f)

Общие соотношения коэффициентов $a,\ b,\ c,\ d$
характеристических функций $w=\dfrac{A_i}{A_j}=\dfrac{az+b}{cz+d}$
пассивного параметра $z=Z_{и}\ (Y_{и})$

Источник питания ЭИЦУ	Соотносимые активные величины		Коэффициенты характеристической функции* [перед круглыми скобками указаны коэффициенты функции $w=f\,(Z_{и})$, а в круглых скобках—коэффициенты функции $w=f\,(Y_{и})$]			
	A_i	A_j	$a\ (b)$	$b\ (a)$	$c\ (d)$	$d\ (c)$
E или I	U_i	U_j	Δ_{fi}	$\Delta_{xx,\ fi}$	Δ_{fj}	$\Delta_{xx,\ fj}$
			$[K_U^{о}]_{fi}$	$[K_U^{о}]_{fi}^{xx}\ [Z_{xx}]^{ff}$	$[K_U^{о}]_{fj}$	$[K_U^{о}]_{fj}^{xx}\ [Z_{xx}]^{ff}$
	I_i	I_j	$\Delta_{jj,\ fi}$	$\Delta_{xx,\ jj,\ fi}$	$\Delta_{ii,\ fj}$	$\Delta_{xx,\ ii,\ fj}$
			$[K_I^{к}]_{fi}^{jj}$	$[K_I^{к}]_{fi}^{jj,\ xx}\ [Z_{xx}]^{jj\ ii,}$	$[K_I^{к}]_{fj}^{ii}$	$[K_I^{к}]_{fj}^{ii,\ xx}[Z_{xx}]^{jj,\ ii}$
	U_i	I_j	$\Delta_{jj,\ fi}$	$\Delta_{jj,\ xx,\ fi}$	Δ_{fj}	$\Delta_{xx,\ fj}$
			$[Z_{пер}^{о}]_{fi}^{jj}$	$[Z_{пер}^{о}]_{fi}^{jj,\ xx}\ [Z_{xx}]^{jj}$	$[K_I^{к}]_{fj}$	$[K_I^{к}]_{jj}^{xx}\ [Z_{xx}]^{jj}$
			$[K_U^{о}]_{fi}^{jj}$	$[K_U^{о}]_{fi}^{jj,\ xx}[Z_{xx}]^{jj,ff}$	$[Y_{пер}^{к}]_{fj}^{ff,\ jj}$	$[Y_{пер}^{к}]_{fj}^{ff,\ jj,\ xx}\times$ $\times\,[Z_{xx}]^{ff,\ jj}$
E	E	U_j	1	$[Z_{xx}]^{ff}$	$[K_U^{о}]_{fj}$	$[K_U^{о}]_{fj}^{xx}\ [Z_{xx}]^{ff}$
		I_j	1	$[Z_{xx}]^{ff,\ jj}$	$[Y_{пер}^{к}]_{fj}^{ff,\ jj}$	$[Y_{пер}^{к}]_{fj}^{ff,\ jj,\ xx}\times$ $\times\,[Z_{xx}]^{ff,\ jj}$
I	I_i	I	$[K_I^{к}]_{fi}^{ff}$	$[K_I^{к}]_{fi}^{ff,\ xx}[Z_{xx}]^{ff,\ ii}$	1	$[Z_{xx}]^{ff,\ ii}$
	U_i		$[Z_{пер}^{о}]_{fi}^{ff}$	$[Z_{пер}^{о}]_{fi}^{ff,\ xx}[Z_{xx}]^{ff}$	1	$[Z_{xx}]^{ff}$

* Алгебраические дополнения матрицы схемы соответствуют системе независимых сечений; источник питания (E; I) присоединен к полюсам ff многополюсника, а исследуемый объект ($Z_{и}$; $Y_{и}$) — к полюсам xx.

в качестве исследуемого объекта подсоединен источник напряжения $U_{и}$ или источник тока $I_{и}$, то выражение для характеристической функции соответствующей исследуемой величины с использованием общих параметров цепи легко записать непосредственно на основе схемы данной

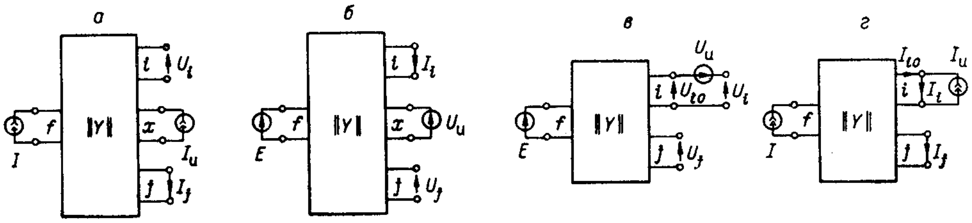

Рис. 2.

цепи. Подобным образом формула характеристической функции исследуемой активной величины с общими выражениями коэффициентов может быть записана непосредственно на основе схемы ЭИЦУ и в том случае, когда подключение исследуемого объекта к образцовой части цепи обеспечивает взаимную ненагружаемость исследуемого и образцового источников электрической энергии (см., например, [8, 12]). Для таких ЭИЦУ (компенсационного типа), приведенных в качестве примера на рис. 2, соответствующие характеристические функции имеют следующий вид:

$$w = \frac{U_l}{I_j} = \frac{\left[Z^{\text{о}}_{\text{пер}}\right]^{jj}_{xl} I_{\text{и}} + \left[Z^{\text{о}}_{\text{пер}}\right]^{jj}_{fl} I}{\left[K^{\text{к}}_I\right]_{xj} I_{\text{и}} + \left[K^{\text{к}}_I\right]_{fj} I} \quad \text{(см. рис. 2, } a\text{);}$$

$$w = \frac{I_i}{U_j} = \frac{\left[Y^{\text{к}}_{\text{пер}}\right]^{ff}_{xl} U_{\text{и}} + \left[Y^{\text{к}}_{\text{пер}}\right]^{xx}_{fi} E}{\left[K^{\text{о}}_U\right]^{ff,\,ll}_{xj} U_{\text{и}} + \left[K^{\text{о}}_U\right]^{xx,\,ll}_{fj} E} \quad \text{(см. рис. 2, } б\text{);}$$

$$w = \frac{U_l}{U_j} = \frac{E^{-1} U_{\text{и}} + \left[K^{\text{о}}_U\right]_{fl}}{\left[K^{\text{о}}_U\right]_{fj}} \quad \text{(см. рис. 2, } в\text{);}$$

$$w = \frac{I_l}{I_j} = \frac{I^{-1} I_{\text{и}} + \left[K^{\text{к}}_I\right]^{jj}_{fl}}{\left[K^{\text{к}}_I\right]^{ll}_{fj}} \quad \text{(см. рис. 2, } г\text{).}$$

Охарактеризуем теперь вкратце представление ЭИЦУ как пассивного десятиполюсника, к двум парам полюсов которого подключены соответственно исследуемый объект $Z_{\text{и}}$ ($Y_{\text{и}}$) и источник питания, две другие пары полюсов служат для подключения входных цепей указателя, а к пятой паре полюсов присоединен образцовый двухполюсник, характеризуемый сопротивлением Z_0 или проводимостью Y_0. Такое представление ЭИЦУ имеет самостоятельное значение в задачах синтеза цепей уравновешивания [7]. В данном случае характеристические функции цепей легко находить, воспользовавшись последовательной заменой подключаемых к многополюснику пассивных объектов $Z_{\text{и}}$ ($Y_{\text{и}}$) и $Z_{\text{о}}$ ($Y_{\text{о}}$) эквивалентными им э. д. с. E_x и E_s, с применением метода суперпозиции. К сожалению, коэффициенты этих функций не столь просты, как рассмотренные выше, поскольку зависят от параметра образцового двухполюсника. В частности, для цепи с десятиполюсником, схема которой изображена на рис. 3, характеристическая функция может быть выражена формулой

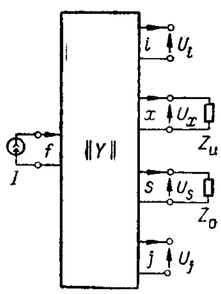

Рис. 3.

$$w = \frac{U_i}{U_j} =$$

$$= \frac{(\Delta_{xx,\,ss,\,fl}\,\Delta + \Delta_{ss,\,xl}\,\Delta_{fx} + \Delta_{xx,\,si}\,\alpha)\,Z_{\text{и}} + \Delta_{xx,\,ss,\,fi}\Delta_{xx} + \Delta_{xx,\,si}\beta}{(\Delta_{xx,\,ss,\,fj}\,\Delta + \Delta_{ss,\,xj}\,\Delta_{fx} + \Delta_{xx,\,sj}\,\alpha)\,Z_{\text{и}} + \Delta_{xx,\,ss,\,fj}\,\Delta_{xx} + \Delta_{xx,\,sj}\beta},$$

где $\alpha = \Delta_{fs}\,\xi$; $\beta = \Delta_{xx,\,fs}\,\xi$; $\xi = \left[1 + \frac{\Delta_{xx,\,ss}}{\Delta_{xx} Z_{\text{о}}}\right]^{-1}$.

Очевидно, что использование коэффициентов данной характеристической функции в общем случае может оказаться затруднительным.

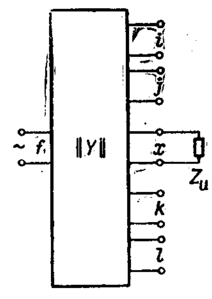

Рис. 4.

Располагая коэффициентами характеристической функции ЭИЦУ, выраженными через общие параметры цепи, можно существенно расширить возможности общего изучения свойств и характеристик ЭИЦУ (см., например, [2, 13]), а также перейти к задачам синтеза цепей уравновешивания при минимальной априорной информации об их структуре [7]. Вполне естественно, что общие соотношения коэффициентов характеристических функций пассивного параметра, приведенные в таблице, могут упростить и определение характеристик цепей уравновешивания конкретной заданной структуры.

Как указано в [2], измерительный режим цепи уравновешивания может представлять и некоторую совокупность (комбинацию) элементарных измерительных режимов. При этом структура и свойства ЭИЦУ определяются уже не одной характеристической функцией, а по меньшей мере двумя. Так, например, для цепи, схема которой приведена на рис. 4, измерительное состояние и характеристики могут определяться некоторыми характеристическими функциями w_{ij} и w_{kl}, представляющими отношения активных выходных величин $\dot{A}_i$, $\dot{A}_j$, $\dot{A}_k$ и $\dot{A}_l$:

$$w_{ij} = \frac{\dot{A}_i}{\dot{A}_j}; \quad w_{kl} = \frac{\dot{A}_k}{\dot{A}_l}.$$

Приравнивание друг другу тех или иных компонент каждой из функций w_{ij} и w_{kl} (или величин, им пропорциональных) обеспечивает большое разнообразие комбинационных измерительных режимов, отличающихся от элементарных режимов тем, что в данном случае определенная компонента одной из функций (например, функции w_{ij}) должна быть равна в момент достижения измерительного состояния не некоторой заданной заранее постоянной величине, а определенной компоненте другой функции (w_{kl}), которая в общем случае является величиной переменной. Необходимо подчеркнуть, что под понятием «компонента» мы подразумеваем в данном случае не только ортогональные составляющие функции w, но и пропорциональные им активные электрические величины. Для общего анализа свойств ЭИЦУ в таких комбинационных режимах также необходимо рассмотренное выше представление характеристических функций с выражением их коэффициентов через алгебраические дополнения матриц схемы или через вторичные параметры и произведения вторичных параметров частных четырехполюсников цепи.

Отметим, наконец, что общие коэффициенты характеристических функций ЭИЦУ, в которых в качестве одной из соотносимых активных величин использовано напряжение или ток питания (см., например, таблицу), могут оказаться полезными при исследовании зависимости какой-либо из характеристик передачи четырехполюсника (коэффициента передачи напряжения или тока, сопротивления или проводимости передачи) от определенного параметра (пассивного или активного) какого-либо из входящих в этот четырехполюсник двухполюсников.

В заключение целесообразно подчеркнуть, что поскольку в рассмотренном нами определении общих коэффициентов характеристических функций ЭИЦУ мы исходили из матрицы схемы как линейного оператора, то при использовании соответствующих формул этих коэффициентов необходимо обеспечить соблюдение указанного условия. Как известно, это достигается с помощью определенных видов преобразования функций времени, описывающих токи и напряжения электрической цепи, благодаря чему осуществляется переход от интегро-дифференциальных уравнений к алгебраическим (см., например, [10]); согласно тому же (см. также [8]), представление используемого для характеристики ЭИЦУ отношения двух активных величин, взятых как произвольные функции времени, в виде полной или неполной дробно-линейных функций некоторой третьей величины, являющейся также некоторой произвольной функцией времени (см., например, [14]), возможно в общем случае лишь тогда, когда образцовая часть цепи — многополюсник — не содержит реактивных элементов, причем коэффициенты такой характеристической функции могут быть только действительными величинами. Вполне очевидно, кстати, что в силу последнего осуществимость раздельного измерения компонент спектральных (эквивалентных) [14] и обычных комплексных активных величин и пассивных параметров квазиуравновешенными цепями одинаковой конфигурации, состоящими исключительно из безреактивных образцовых элементов, определяется одними и теми же условиями, получаемыми на основе [4, 6] с учетом особенностей перехода от комплексных коэффициентов характеристической функции к действительным; иначе говоря, любую ЭИЦУ с исключительно безреактивными образцовыми элементами, обеспечивающую раздельное измерение той или иной компоненты обычного комплексного параметра, можно использовать для раздельного измерения аналогичной компоненты спектрального (эквивалентного) комплексного параметра (естественно, располагая соответствующим «спектральным» указателем [14] измерительного состояния цепи).

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Б. Карандеев, Г. А. Штамбергер. Квазізрівноважені мости змінного струму. Київ, Вид-во АН УРСР, 1960.
2. К. М. Соболевский. Обобщенный анализ и элементы синтеза электроизмерительных цепей уравновешивания.— Проблемы электрометрии. Новосибирск, «Наука», 1967.
3. К. Б. Карандеев, Г. А. Штамбергер. Обобщенная теория мостовых цепей переменного тока. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1961.
4. К. М. Соболевский. Основы синтеза квазиуравновешенных цепей для раздельного измерения составляющих комплексных величин.— Автоматический контроль и методы электрических измерений (Труды IV конференции), т. 1. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.
5. К. М. Соболевский, В. А. Красиленко. Об одной задаче синтеза квазиуравновешенных мостовых цепей.— Измерительная техника, 1965, № 4.
6. Г. А. Штамбергер. О раздельном измерении компонент комплексных величин методами уравновешивания.— ИВУЗ, Приборостроение, 1963, № 3.
7. К. М. Соболевский. Электроизмерительные цепи уравновешивания и элементы их общей теории.— Автометрия, 1965, № 2.
8. К. М. Соболевский. О некоторых возможностях построения измерительных цепей уравновешивания.— Электрические методы автоматического контроля (труды ИАЭ СО АН СССР, вып. 9). Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.
9. М. И. Левин. Электрические измерения. Элементы теории электрических измерительных цепей. М., МЭИ, 1965.
10. В. П. Сигорский, А. И. Петренко. Основы теории электронных схем. Киев, «Техника», 1967.
11. В. П. Сигорский. Анализ электронных схем. Киев, Гостехиздат УССР, 1963.
12. Г. А. Штамбергер. Электроизмерительные цепи аппаратуры для индуктивной электроразведки и тенденции их развития.— Автометрия, 1967, № 5.
13. П. А. Ветчинов, К. М. Соболевский. Методика анализа статических погрешностей квазиуравновешенных измерительных цепей.— Автометрия, 1968, № 1.
14. Г. А. Штамбергер. Принципы построения и элементы общей теории измерительных цепей для аэроэлектроразведки. Автореф. докт. дисс. Новосибирск, СО АН СССР, 1967.

Поступила в редакцию
6 марта 1968 г.