ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА
Том 76 1954 г.

О РАСЧЕТЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ С МЕСТНОЙ НЕСИММЕТРИЕЙ

В. Н. СОСУНОВА

Под местной несимметрией понимается несимметрия, сосредоточенная в одной точке. Несимметрия может получаться при коротких замыканиях, разрывах фаз и по другим причинам. В настоящей работе ограничимся только рассмотрением местных несимметрий за счет коротких замыканий и обрывов фаз. В целях общности результатов будем предполагать, что в цепи имеется произвольное число (n) коротких замыканий и разрывов фаз.

Общие положения

Когда в цепи имеется одно повреждение, то, как известно, решение задачи методом симметричных составляющих сводится к расчету трех двухполюсников: прямой, обратной и нулевой последовательности. Каждый двухполюсник характеризуется одним уравнением. Поэтому при одном повреждении состояние цепи определяется тремя уравнениями, связанными между собой тремя уравнениями граничных условий. Для решения задачи необходимо составить 6 уравнений.

При двух повреждениях схема каждой последовательности будет представлять обычный (проходной) четырехполюсник. Поскольку такой четырехполюсник характеризуется двумя уравнениями, то в случае двух повреждений состояние цепи будет определяться шестью уравнениями, связанными между собой шестью уравнениями граничных условий. Для решения задачи имеется 12 уравнений.

В случае n повреждений схема каждой последовательности может быть представлена в виде $2n$ — полюсника с попарно равными токами зажимов. Подобный $2n$—полюсник характеризуется n уравнениями. Таким образом, всей цепи будет отвечать система из $3n$ уравнений, соединенных между собой $3n$ уравнениями граничных условий. Для решения задачи в этом случае имеется $6n$ уравнений.

Анализируя зависимости между токами и напряжениями отдельных последовательностей (табл. 1) при повреждениях рассматриваемого вида (коротких замыканиях и разрывах), можно установить, что каждый вид повреждения характеризуется одной группой суммирующихся величин и одной общей величиной. Под суммирующимися величинами мы понимаем токи и напряжения отдельных последовательностей, которые при данном повреждении суммируются, а общими—токи и напряжение, которые для многополюсников отдельных последовательностей являются одинаковыми. Например, при однополюсном коротком замыкании суммирующимися величинами будут напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности расчетной фазы, а общей величиной будет ток в месте короткого замыкания.

Таблица 1

Граничные условия для токов и напряжений отдельных последовательностей при разрывах фаз и коротких замыканиях

	Виды повреждений				Граничные условия	
	разрыв		короткое замыкание		суммирующиеся величины	общие величины
1	Разрыв одной фазы	A	Замыкание на землю двух фаз	B и C	$\dot I^{(0)}+\dot I^{(1)}+\dot I^{(2)}=0$	$\dot U^{(0)}=\dot U^{(1)}=\dot U^{(2)}=\frac{\dot U}{3}$
2		B		C и A	$\dot I^{(0)}+a^2\dot I^{(1)}+a\dot I^{(2)}=0$	$\dot U^{(0)}=a^2\dot U^{(1)}=a\dot U^{(2)}=\frac{\dot U}{3}$
3		C		A и B	$\dot I^{(0)}+a\dot I^{(1)}+a^2\dot I^{(2)}=0$	$\dot U^{(0)}=a\dot U^{(1)}=a^2\dot U^{(2)}=\frac{\dot U}{3}$
4	Разрыв двух фаз	B и C	Замыкание на землю одной фазы	A	$\dot U^{(0)}+\dot U^{(1)}+\dot U^{(2)}=0$	$\dot I^{(0)}=\dot I^{(1)}=\dot I^{(2)}=\frac{\dot I}{3}$
5		C и A		B	$\dot U^{(0)}+a^2\dot U^{(1)}+a\dot U^{(2)}=0$	$\dot I^{(0)}=a^2\dot I^{(1)}=a\dot I^{(2)}=\frac{\dot I}{3}$
6		A и B		C	$\dot U^{(0)}+a\dot U^{(1)}+a^2\dot U^{(2)}=0$	$\dot I^{(0)}=a\dot I^{(1)}=a^2\dot I^{(2)}=\frac{\dot I}{3}$
7			Замыкание между двумя фазами	B и C	$\dot I^{(1)}+\dot I^{(2)}=0$	$\dot U^{(1)}=\dot U^{(2)}=\frac{\dot U_A}{3}$
8				C и A	$a^2\dot I^{(1)}+a\dot I^{(2)}=0$	$a^2\dot U^{(1)}=a\dot U^{(2)}=\frac{\dot U_B}{3}$
9				A и B	$a\dot I^{(1)}+a^2\dot I^{(2)}=0$	$a\dot U^{(1)}=a^2\dot U^{(2)}=\frac{\dot U_C}{3}$

В таблице перечислены все виды коротких замыканий и разрывов фаз.

Уравнение $2n$—полюсников отдельных последовательностей предлагается составлять так, чтобы суммирующиеся токи и напряжения выражались через общие, то есть:

$$\rho_c^{(\mu)}=\zeta^{(\mu)}\rho_0+\zeta_0^{(\mu)} \qquad (\mu=0,1,2), \tag{1}$$

где μ — номер последовательности,

$\rho_c^{(\mu)}$ — вектор, компонентами которого являются суммирующиеся токи и напряжение μ-ой последовательности,

ρ_0 — вектор, компонентами которого являются общие величины,

$\zeta^{(\mu)}$ и $\zeta_0^{(\mu)}$ — матрица и вектор, зависящие от параметров цепи для μ последовательности.

Для повреждений вида коротких замыканий и обрывов фаз, суммирующиеся величины при сложении оказываются равными нулю. Поэтому, если сложить левые и правые части уравнений (1), то для случая одного повреждения получим одно уравнение с одним неизвестным — общей величиной, при двух повреждениях — два уравнения с двумя неизвестными и так далее. При n повреждениях получится n уравнений с n неизвестными. Таким образом, благодаря рациональному способу написания уравнений задача сводится к наименьшему количеству уравнений.

Конечное расчетное уравнение будет иметь вид:

$$0=\zeta\rho_0+\zeta_0, \tag{2}$$

где ζ — некоторая матрица, которую далее будем называть матричным параметром.

ζ_0 — вектор, значение которого может быть определено из решения нормальной работы цепи. Условимся называть ζ_0 векторным параметром.

Компоненты матрицы ζ и вектора ζ_0 имеют вид:

$$\zeta_{ik}=\zeta^{(o)}{}_{ik}+\zeta^{(1)}{}_{ik}+\zeta^{(2)}{}_{ik}, \tag{3}$$

где i — номер строки,

k — номер столбца, верхний индекс — номер последовательности.

В цепи с симметрично выполненными источниками энергии (обычные случаи)

$$\zeta^{(o)}{}_{io}=0, \qquad \zeta^{(2)}{}_{io}=0.$$

Компоненты ζ_{ik} могут быть типа Z, Y, A (цепочечная матрица) или других типов. Для простых $2n$ — полюсников эти коэффициенты вычисляются известными методами холостого хода и короткого замыкания, или методом наложения, или берутся из таблиц [1].

Для сложных $2n$ — полюсников следует использовать теорию составных электрических цепей.

В случае повреждений в разных фазах перед компонентами $\zeta^{(1)}{}_{ik}$ и $\zeta^{(2)}{}_{ik}$ нужно ставить множитель

$$a^{\nu^{(\mu)}_{ik}}\ (a=e^{j120^\circ}).$$

Таким образом, формула для нахождения компонент матрицы ζ и вектора ζ_0 выражается в общем виде уравнением (4):

$$\zeta_{ik}=\zeta_{ik}{}^{(o)}+a^{\nu^{(1)}_{ik}}\zeta^{(1)}{}_{ik}+a^{\nu^{(2)}_{ik}}\zeta^{(2)}{}_{ik}. \tag{4}$$

Показатель $\nu^{(\mu)}{}_{ik}$ может принимать значения $\nu^{(\mu)}{}_{ik}=0,1,2$ и вычисляется по формуле (5)

$$\nu^{(\mu)}_{ik}=\nu^{(\mu)}_{i}-\nu^{(\mu)}_{k}, \tag{5}$$

где $\nu^{(\mu)}_{i}$ — показатель оператора суммирующейся величины μ последовательности, $\nu^{(\mu)}_{k}$ — показатель оператора соответствующей общей величины, $\nu^{(\mu)}_{i}$ и $\nu^{(\mu)}_{k}$ берутся из граничных условий (табл. 1). Покажем определение $\nu^{(\mu)}_{ik}$ на примере.

Пример 1.

Фаза A разорвана, а фаза B замкнута на землю (фиг. 1). Из таблицы граничных условий выписываем суммирующиеся величины

$$\dot I^{(0)}_p+\dot I^{(1)}_p+\dot I^{(2)}_p=0,$$

$$\dot U^{(0)}_\kappa+a^2\dot U^{(1)}_\kappa+a\,\dot U^{(2)}_\kappa=0$$

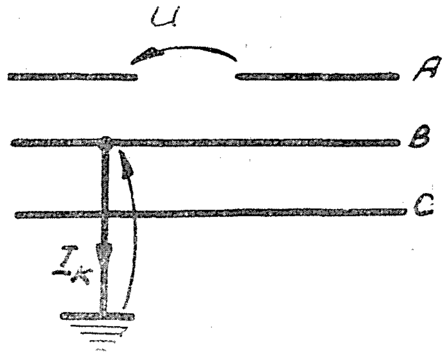
и общие величины

$$\dot U^{(1)}_p=U^{(2)}_p=\dot U^{(0)}_p=\frac{\dot U_p}{3},$$

$$\dot I_\kappa{}^{(o)}=a^2\dot I^{(1)}_\kappa=a\dot I^{(2)}_\kappa=\frac{\dot I_\kappa}{3}.$$

Уравнения схем замещения запишутся в форме уравнения (5′)

$$\begin{pmatrix} \dot I_p \\ \dot U_k \end{pmatrix} = [\zeta] \begin{pmatrix} \dot U_p \\ \dot I_\kappa \end{pmatrix} + \zeta_0 \tag{5'}$$



Фиг. 1

$$\zeta_{11} = \zeta_{11}^{(0)} + \zeta_{11}^{(1)} + \zeta_{11}^{(2)}, \qquad \zeta_{12} = \zeta_{12}^{(0)} + a\zeta_{12}^{(1)} + a^2\zeta_{12}^{(2)},$$

$$\zeta_{21} = \zeta_{21}^{(0)} + a^2\zeta_{21}^{(1)} + a\zeta_{21}^{(2)}, \qquad \zeta_{22} = \zeta_{22}^{(0)} + \zeta_{22}^{(1)} + \zeta_{22}^{(2)},$$

$$\zeta_{10} = \zeta_{10}^{(1)}, \qquad \zeta_{20} = \zeta_{20}^{(1)}.$$

Порядок расчета

Можно рекомендовать следующую технику расчета цепей с рассматриваемыми видами повреждений.

1. Несимметричная цепь заменяется расчетной симметричной путем введения в местах повреждений фиктивных источников э.д.с. и источников тока.

Такая замена необходима для того, чтобы в дальнейшем иметь возможность воспользоваться принципом независимости действия симметричных составляющих токов и напряжений, справедливым, как известно, только для симметрично выполненных цепей.

2. Устанавливаются зависимости между симметричными составляющими токов и напряжений в местах повреждений и производится подразделение этих величин на суммирующиеся и общие.

3. Составляются обычным образом схемы замещения отдельных последовательностей.

4. Составляются уравнения $2n$—полюсников отдельных последовательностей по форме уравнения (1), т. е. так, чтобы суммирующиеся токи и напряжения выражались через общие. Затем, после соответствующего суммирования коэффициентов (формула 3 или 4), находится система уравнений с n неизвестными, которыми будут общие токи и напряжения.

5. Полученная система решается относительно неизвестных величин.

Пример 2.

Разберем подробно предлагаемый способ составления расчетных уравнений на простейшем примере короткого замыкания фазы A (фиг. 2).

Будем придерживаться указанного выше порядка расчета.

Несимметричную цепь заменяем расчетной симметричной путем введения фиктивных источников тока (фиг. 3).

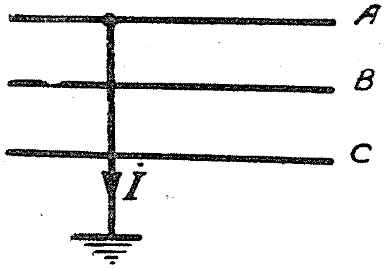
Устанавливаем (или берем из табл. 1) зависимости между симметричными составляющими токов и напряжений в месте короткого замыкания и сразу же подразделяем эти токи и напряжения на суммирующиеся и общие.

Группа суммирующихся величин

$$\dot{U}^{(0)}+\dot{U}^{(1)}+\dot{U}^{(2)}=0.$$

Общая величина

$$\frac{\dot{I}}{3}=\dot{I}^{(1)}=\dot{I}^{(0)}=\dot{I}^{(2)}.$$



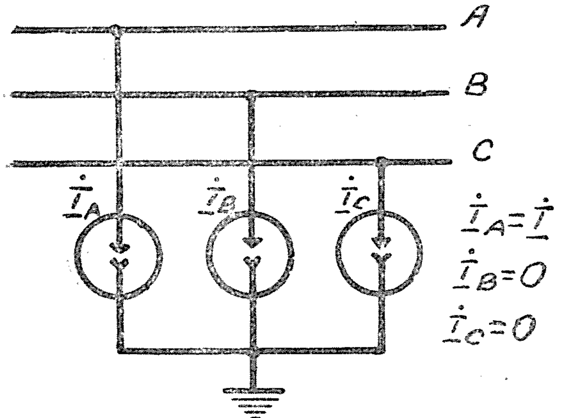
Фиг. 2

Затем составляем схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательности. Так как в цепи одно повреждение, схемы замещения представляем в виде двухполюсников (фиг. 4).

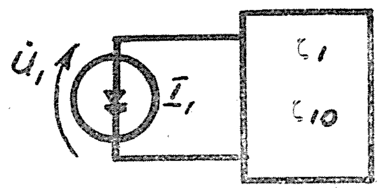
Составляем характеризующие двухполюсники уравнения:

$$\begin{pmatrix} \dot{U}^{(0)} \\ \dot{U}^{(1)} \\ \dot{U}^{(2)} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \zeta_{11}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \zeta_{11}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \zeta_{11}^{(2)} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \dot{I}^{(0)} \\ \dot{I}^{(1)} \\ \dot{I}^{(2)} \end{pmatrix}+\begin{pmatrix} \zeta_{10}^{(1)} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \tag{6}$$

Складывая левые и правые части уравнения (6) и учитывая условия, характеризующие повреждение, получаем уравнение (7), а из него — общеизвестное решение тока короткого замыкания $\dot{I}$.



Фиг. 3



Фиг. 4

Уравнение (7) можно было также просто получить, руководствуясь формулой (3)

$$0=\zeta_{11}^{(0)}+\zeta_{11}^{(1)}+\zeta_{11}^{(2)})\frac{\dot{I}}{3}+\zeta_{10} \tag{7}$$

$$\dot{I}=\frac{3\zeta_{10}}{\zeta_{11}^{(0)}+\zeta_{11}^{(1)}+\zeta_{11}^{(2)}}. \tag{8}$$

Рассмотрим примерный расчет трехфазной цепи при наличии в ней трех повреждений.

Пример 3.

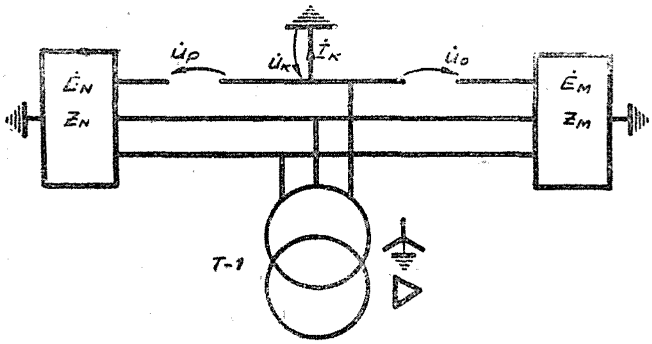
Рассмотрим двухстороннее отключение одной фазы линии при коротком замыкании отключаемой фазы на землю[1]) фиг. 5.

Численные значения параметров исходной схемы в относительных единицах:

$$\dot{E}_M = j2, \quad \dot{E}_N = j1, \quad \dot{Z}_M^{(1)} = j2, \quad \dot{Z}_N^{(1)} = \dot{Z}_M^{(2)} = \dot{Z}_N^{(2)} = \dot{Z}_M^{(0)} = \dot{Z}_N^{(0)} = j1,$$

$$\dot{Z}_T = j0{,}4,$$

линии входят соответствующими величинами в сопротивления частей систем.

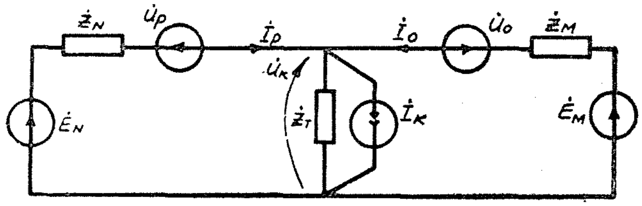


Фиг. 5

Несимметричная расчетная цепь заменяется расчетной симметричной путем введения в места разрыва фиктивных источников э.д.с. и введения в место короткого замыкания фиктивного источника тока.

Для полученной симметричной цепи составляются схемы замещения.

Конфигурация схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей для данной задачи одинакова (фиг. 6).



Фиг. 6

Из табл. 1 берутся зависимости между симметричными составляющими токов и напряжений в местах повреждений.

Суммирующиеся величины:	Общие величины:
$\dot{I}_p^{(0)} + \dot{I}_p^{(1)} + \dot{I}_p^{(2)} = 0,$	$\dot{U}_p^{(0)} = \dot{U}_p^{(1)} = \dot{U}_p^{(2)} = \frac{\dot{U}_p}{3},$
$\dot{I}_0^{(0)} + \dot{I}_0^{(1)} + \dot{I}_0^{(2)} = 0,$	$\dot{U}_0^{(0)} = \dot{U}_0^{(1)} = \dot{U}_0^{(2)} = \frac{\dot{U}_0}{3},$
$\dot{U}_к^{(0)} + \dot{U}_к^{(1)} + \dot{U}^{(2)} = 0.$	$\dot{I}_к^{(0)} = \dot{I}_к^{(1)} = \dot{I}_к^{(2)} = \frac{\dot{I}_к}{3}.$

[1]) Данные примера заимствованы из [2].

Затем составляются уравнения так, чтобы суммирующиеся величины выражались через общие. Так как в рассматриваемой задаче три повреждения, то схему замещения каждой последовательности нужно рассматривать, как шестиполюсник. Уравнения, характеризующие данный шестиполюсник, легко составить по методу наложения.

$$\dot{I}_p = -\frac{1}{\dot{Z}_N + \frac{\dot{Z}_M \dot{Z}_T}{\dot{Z}_M + \dot{Z}_T}}\dot{U}_p + \frac{\frac{\dot{Z}_T}{\dot{Z}_N + \dot{Z}_T}}{\dot{Z}_M + \frac{\dot{Z}_N \cdot \dot{Z}_T}{\dot{Z}_N + \dot{Z}_T}}\dot{U}_0 + \frac{\frac{\dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_M}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_M}}{\dot{Z}_M + \frac{\dot{Z}_N \cdot \dot{Z}_T}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_M}}\dot{I}_\kappa +$$

$$+ \frac{\dot{E}_N}{\dot{Z}_N + \frac{\dot{Z}_M \cdot \dot{Z}_T}{\dot{Z}_M + \dot{Z}_T}} - \frac{\dot{E}_M}{\dot{Z}_M + \frac{\dot{Z}_N \cdot \dot{Z}_T}{\dot{Z}_N + \dot{Z}_T}} \cdot \frac{\dot{Z}_T}{\dot{Z}_N + \dot{Z}_T} \tag{9}$$

$$\dot{I}_0 = \frac{\frac{\dot{Z}_T}{\dot{Z}_M + \dot{Z}_T}}{\dot{Z}_N + \frac{\dot{Z}_T \dot{Z}_M}{\dot{Z}_M + \dot{Z}_T}}\dot{U}_p - \frac{1}{\dot{Z}_M + \frac{\dot{Z}_N \cdot \dot{Z}_T}{\dot{Z}_N + \dot{Z}_T}}\dot{U}_0 + \frac{\frac{\dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_N}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_N}}{\dot{Z}_M + \frac{\dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_N}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_N}}\dot{I}_\kappa -$$

$$- \frac{\dot{E}_N}{\dot{Z}_N + \frac{\dot{Z}_M \cdot \dot{Z}_T}{\dot{Z}_M + \dot{Z}_T}} \cdot \frac{\dot{Z}_T}{\dot{Z}_M + \dot{Z}_T} + \frac{\dot{E}_M}{\dot{Z}_M + \frac{\dot{Z}_N \cdot \dot{Z}_T}{\dot{Z}_N + \dot{Z}_T}} \tag{10}$$

$$\dot{U}_\kappa = -\frac{\frac{\dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_M}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_M}}{\dot{Z}_N + \frac{\dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_M}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_M}}\dot{U}_p - \frac{\frac{\dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_N}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_{MN}}}{\dot{Z}_M + \frac{\dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_N}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_N}}\dot{U}_0 +$$

$$+ \frac{\dot{Z}_N \cdot \dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_M}{\dot{Z}_N \cdot \dot{Z}_T + \dot{Z}_M \cdot \dot{Z}_T + \dot{Z}_N \cdot \dot{Z}_M}\dot{I}_\kappa + \frac{\frac{\dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_M}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_M}}{\dot{Z}_N + \frac{\dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_M}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_M}}\dot{E}_N +$$

$$+ \frac{\frac{\dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_N}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_N}}{\dot{Z}_M + \frac{\dot{Z}_T \cdot \dot{Z}_N}{\dot{Z}_T + \dot{Z}_N}}\dot{E}_M. \tag{11}$$

Подставляя в уравнение 9, 10, 11 численные значения параметров, подсчитываем коэффициенты шестиполюсников прямой, обратной и нулевой последовательностей. Затем по формуле (3) подсчитываем коэффициенты расчетного шестиполюсника. Результаты расчета сведены в табл. 2.

Расчетные уравнения имеют вид:

$$j\frac{83}{36.3}\dot{U}_p - j\frac{41}{72.3}\dot{U}_0 + \frac{25}{36.3}\dot{I}_\kappa + \frac{1}{2} = 0,$$

$$-j\frac{41}{72.3}\dot{U}_p + j\frac{7.41}{144.3}\dot{U}_0 + \frac{41}{72.3}\dot{I}_\kappa + \frac{3}{4} = 0,$$

$$-\frac{25}{36.3}\dot{U}_p - \frac{41}{72.3}\dot{U}_0 + j\frac{25}{36.3}\dot{I}_\kappa + j\frac{1}{2} = 0.$$

Таблица 2

Коэффициенты шестиполюсников			
Последовательностей			Расчетного
прямой	обратной	нулевой	
$\zeta_{11}^{(1)} = j\frac{3}{4}$	$\zeta_{11}^{(2)} = j\frac{7}{9}$	$\zeta_{11}^{(0)} = j\frac{7}{9}$	$\zeta_{11} = j\frac{83}{36.3}$
$\zeta_{12}^{(1)} = j\frac{1}{8}$	$\zeta_{12}^{(2)} = -j\frac{2}{9}$	$\zeta_{12}^{(0)} = -j\frac{2}{9}$	$\zeta_{12} = j-\frac{41}{72.3}$
$\zeta_{13}^{(1)} = \frac{1}{4}$	$\zeta_{13}^{(2)} = \frac{2}{9}$	$\zeta_{13}^{(0)} = \frac{2}{9}$	$\zeta_{13} = \frac{25}{36.3}$
$\zeta_{10}^{(1)} = \frac{1}{2}$	$\zeta_{10}^{(2)} = 0$	$\zeta_{10}^{(0)} = 0$	$\zeta_{10} = \frac{1}{2}$
$\zeta_{21}^{(1)} = -j\frac{1}{8}$	$\zeta_{21}^{(2)} = -j\frac{2}{9}$	$\zeta_{21}^{(0)} = -j\frac{2}{9}$	$\zeta_{21} = -j\frac{41}{72.3}$
$\zeta_{22}^{(1)} = j\frac{7}{16}$	$\zeta_{22}^{(2)} = j\frac{7}{9}$	$\zeta_{22}^{(0)} = j\frac{7}{9}$	$\zeta_{22} = j\frac{7.41}{144.3}$
$\zeta_{23}^{(1)} = \frac{1}{8}$	$\zeta_{23}^{(2)} = \frac{2}{9}$	$\zeta_{23}^{(0)} = \frac{2}{9}$	$\zeta_{23} = \frac{41}{72.3}$
$\zeta_{20}^{(1)} = \frac{3}{4}$	$\zeta_{20}^{(2)} = 0$	$\zeta_{20}^{(0)} = 0$	$\zeta_{20} = \frac{3}{4}$
$\zeta_{31}^{(1)} = -\frac{1}{4}$	$\zeta_{31}^{(2)} = -\frac{2}{9}$	$\zeta_{31}^{(0)} = -\frac{2}{9}$	$\zeta_{31} = -\frac{25}{36.3}$
$\zeta_{32}^{(1)} = -\frac{1}{8}$	$\zeta_{32}^{(2)} = -\frac{2}{9}$	$\zeta_{32}^{(0)} = -\frac{2}{9}$	$\zeta_{32} = -\frac{41}{72.3}$
$\zeta_{33}^{(1)} = j\frac{1}{4}$	$\zeta_{33}^{(2)} = j\frac{2}{9}$	$\zeta_{32}^{(0)} = j\frac{2}{9}$	$\zeta_{33} = j\frac{25}{36.3}$
$\zeta_{30}^{(1)} = j\frac{1}{2}$	$\zeta_{30}^{(2)} =$	$\zeta_{30}^{(0)} = 0$	$\zeta_{30} = j\frac{1}{2}$

Полученные уравнения решаются относительно неизвестных—общих величин

$$\dot{I}_к = 0; \qquad \dot{U}_p = j; \qquad \dot{U}_0 = j\frac{58}{41}.$$

Заметим, что полученные результаты не совпадают с результатами примера статьи [2]. Повидимому, в статье допущена ошибка, так как результаты примера [2] не удовлетворяют уравнению равновесия напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зелях Э. В. Основы общей теории линейных электрических схем, 1951.
2. Соколов Н. И. Построение и применение комплексных схем замещения при сложных несимметричных цепях. Электричество, № 8, 1949.