

УДК 621.316.1

## ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЛАВНЫХ ВЕТВЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ЛОКАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОНТУРНЫХ ТОКОВ

*Ш.Н. Хусаинов, И.Е. Киеци*

Рассмотрено влияние отклонения параметров главных ветвей от номинальных на погрешности определение параметров остальных ветвей. Определены параметры ветвей подверженных износу в предположении, что параметры главных ветвей имеют небольшое отклонение от номинальных.

Ключевые слова: электрическая схема, точность.

В предыдущих статьях [1, 2] была рассмотрена локальная диагностика электрической цепи с помощью метода главных величин, а именно метода напряжений главных сечений и метода главных контурных токов. Проводился анализ электрической цепи и определены параметры ветвей подверженных износу. На основании чего, определялась степень повреждения.

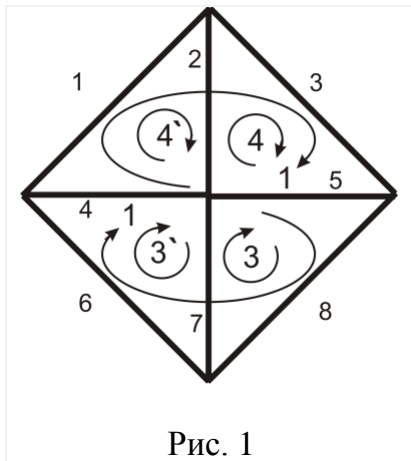


Рис. 1

В данной статье метод главных контурных токов использован для исследования влияния отклонения параметров главных ветвей (не подверженных износу) от заданных параметров на погрешность определения параметров остальных ветвей.

Ранее предполагалось, что параметры второй и седьмой ветви (рис. 1) неизменны. Рассчитаем влияние отклонения параметров этих ветвей на определение параметров оставшейся части схемы.

В качестве примера выберем контуры, удовлетворяющие требованиям метода главных контурных токов [3]. Первый вариант выбора контуров представлен на рис.1. Используя правила метода контурных токов, для цепи на рис. 1 получаем уравнение:

$$\begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{4568} & -r_{45} & r_{58} & -r_5 \\ -r_{45} & r_{1345} & -r_5 & r_{35} \\ r_{64} & -r_4 & 0 & 0 \\ -r_4 & r_{41} & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{k1} \\ I_{k2} \\ I_{k3} \\ I_{k4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{k1} \\ E_{k2} \\ Ek_3 - U_7 \\ Ek_4 - U_2 \end{bmatrix}, & (1)
 \end{matrix}$$

После переноса в котором, напряжения общих ветвей  $U_7$  и  $U_2$  перенесены в правую часть. Уравнение (1) имеет в общем случае следующую структуру:

$$\begin{matrix} 1 & 2 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{11}^k & \mathbf{R}_{12}^k \\ \mathbf{R}_{21}^k & \mathbf{0} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{k1} \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_{k1} \\ \mathbf{E}_{k2} - \mathbf{U}_2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Для схемы, представленной на рис. 1, подматрицы сопротивлений можно записать как:

$$\mathbf{R}_{12}^k = \begin{bmatrix} r_{58} & -r_5 \\ -r_5 & r_{35} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\mathbf{R}_{21}^k = \begin{bmatrix} r_{64} & -r_4 \\ -r_4 & r_{41} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

а подматрицы Э.Д.С:

$$\mathbf{E}_{k1} = \begin{bmatrix} E_4 + E_5 + E_6 + E_8 \\ E_1 + E_3 - E_5 - E_4 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$\mathbf{E}_{k2} = \begin{bmatrix} E_4 + E_6 - E_7 \\ E_1 - E_2 - E_4 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Из уравнения (2) получаем:

$$\mathbf{I}_{k1} = (\mathbf{R}_{11} - \mathbf{R}_{12} \cdot \mathbf{G}_k \cdot \mathbf{R}_{21})^{-1} \cdot (\mathbf{E}_{k1} - \mathbf{R}_{12} \cdot \mathbf{G}_k \cdot \mathbf{E}_{k2}), \quad (7)$$

$$\mathbf{I}_{k2} = \mathbf{G}_k \cdot (\mathbf{E}_{k2} - \mathbf{R}_{21} \cdot \mathbf{I}_{k1}), \quad (8)$$

где  $\mathbf{G}_k = \begin{bmatrix} \frac{1}{r_7} & 0 \\ 0 & \frac{1}{r_2} \end{bmatrix}$ . (9)

С использованием уравнений (2)-(9) были смоделированы два эксперимента при различных значениях ЭДС в ветвях и при следующих заданных параметрах:  $r_1 = 2 \text{ Ом}$ ;  $r_2 = 3 \text{ Ом}$ ;  $r_3 = 2 \text{ Ом}$ ;  $r_4 = 3 \text{ Ом}$ ;  $r_5 = 2 \text{ Ом}$ ;  $r_6 = 3 \text{ Ом}$ ;  $r_7 = 2 \text{ Ом}$ ;  $r_8 = 3 \text{ Ом}$ . С учетом изменения сопротивления второй и седьмой ветвей в пределах погрешности  $p$ , сопротивления этих ветвей  $r_{2E} = (1 + p)r_2$ ;  $r_{7E} = (1 + p)r_7$ .

С четом этой погрешности матрица  $\mathbf{G}_k$  примет вид  $\mathbf{G}_{kE} = \begin{bmatrix} \frac{1}{r_{7E}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{r_{2E}} \end{bmatrix}$

### 1 эксперимент

При значении  $\mathbf{E} = [0 \ 0 \ 150 \ 0 \ 100 \ 0 \ 0 \ 0]^T$  были получены следующие значения матриц  $\mathbf{I}_{k1} = \begin{pmatrix} 13.53 \\ 31.431 \end{pmatrix}$  и  $\mathbf{I}_{k2} = \begin{pmatrix} -6.428 \\ 38.093 \end{pmatrix}$ .

### 2 эксперимент

При значении  $\mathbf{E} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 100 \ 0 \ 0]^T$  были получены следующие значения матриц  $\mathbf{I}_{k1} = \begin{pmatrix} 19.83 \\ -5.823 \end{pmatrix}$  и  $\mathbf{I}_{k2} = \begin{pmatrix} -17.866 \\ 28.955 \end{pmatrix}$ .

В пакете Matcad была разработана программа по расчету данной схемы, при изменении различных параметров цепи. В результате получили следующее:

$$R_{21E} = (E_{k2} - G_2^{-1} \cdot I_2) \cdot I_{k1}^{-1} = \begin{pmatrix} 5.97 & -2.979 \\ -2.941 & 4.902 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

При изменении сопротивлений второй и седьмой ветвей (на погрешность  $p = 0,02$ ), получили сопротивления для первой, четвертой и шестой ветвей:

$$r_{4p} = -R_{21E_{1,2}} = 2,979 \quad (11)$$

$$r_{1p} = R_{21E_{2,2}} - r_{4p} = 1,923 \quad (12)$$

$$r_{6p} = R_{21E_{1,1}} - r_{4p} = 2,991 \quad (13)$$

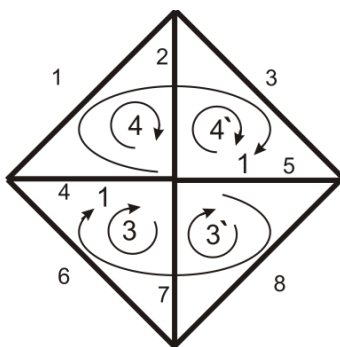


Рис. 2

Рассмотрим второй вариант выбора контуров для исходной схемы. Для схемы, представленной на рис.2, подматрицы сопротивлений можно записать как:

$$\mathbf{R}_{12}^k = \begin{bmatrix} r_{64} & -r_4 \\ -r_4 & r_{41} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{R}_{21}^k = \begin{bmatrix} r_{58} & -r_5 \\ -r_5 & r_{35} \end{bmatrix}.$$

А подматрицы Э.Д.С как:

$$\mathbf{E}_{k1} = \begin{bmatrix} E_4 + E_5 + E_6 + E_8 \\ E_1 + E_3 - E_5 - E_4 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{E}_{k2} = \begin{bmatrix} E_5 + E_7 + E_8 \\ E_2 + E_3 - E_5 \end{bmatrix}.$$

Решение уравнения(2) примет вид:

$$\mathbf{I}_{k1} = (\mathbf{R}_{11} - \mathbf{R}_{12} \cdot \mathbf{G}_{kE} \cdot \mathbf{R}_{21})^{-1} \cdot (\mathbf{E}_{k1} - \mathbf{R}_{12} \cdot \mathbf{G}_{kE} \cdot \mathbf{E}_{k2}),$$

$$\mathbf{I}_{k2} = \mathbf{G}_{kE} \cdot (\mathbf{E}_{k2} - \mathbf{R}_{21} \cdot \mathbf{I}_{k1}).$$

Так же было проведено два эксперимента при различных значениях ЭДС в ветвях при тех же заданных параметрах:

$r_1 = 2 \text{ Ом}; r_2 = 3 \text{ Ом}; r_3 = 2 \text{ Ом}; r_4 = 3 \text{ Ом}; r_5 = 2 \text{ Ом}; r_6 = 3 \text{ Ом}; r_7 = 2 \text{ Ом}; r_8 = 3 \text{ Ом}$ . Погрешность второй и седьмой ветвей изменяется в пределах  $p = 0,02$ ; т.е.  $r_{2E} = (1 + p)r_2$ ;  $r_{7E} = (1 + p)r_7$ .

### 1 эксперимент

При значении  $\mathbf{E} = [0 \ 0 \ 150 \ 0 \ 100 \ 0 \ 0 \ 0]^T$  были получены следующие значения матриц  $\mathbf{I}_{k1} = \begin{pmatrix} 19.958 \\ -6.662 \end{pmatrix}$  и  $\mathbf{I}_{k2} = \begin{pmatrix} -6.428 \\ 38.093 \end{pmatrix}$ .

### 2 эксперимент

При значении  $\mathbf{E} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 100 \ 0 \ 0]^T$  были получены следующие значения матриц  $\mathbf{I}_{k1} = \begin{pmatrix} 1.964 \\ 23.133 \end{pmatrix}$  и  $\mathbf{I}_{k2} = \begin{pmatrix} 17.866 \\ -28.955 \end{pmatrix}$ .

В пакете Matcad был произведен расчет данной схемы:

$$R_{21E} = (E_{k2} - G_2^{-1} \cdot I_2) \cdot I_{k1}^{-1} = \begin{pmatrix} 4.998 & -1.969 \\ -1.913 & 3.918 \end{pmatrix}$$

При изменении сопротивлений второй и седьмой ветвей (на погрешность  $p = 0,02$ ), получили для третьей, пятой и восьмой ветвей получили:

$$\begin{aligned} r_{5p} &= -R_{21E1,2} = 1,969 \\ r_{3p} &= R_{21E2,2} - r_{5p} = 1,949 \\ r_{8p} &= R_{21E1,1} - r_{4p} = 3,029 \end{aligned}$$

С учетом всех расчетов, погрешности в процентном соотношении для всех ветвей станут следующие:

$$\begin{bmatrix} \frac{r_1 - r_{1p}}{r_1} \\ \frac{r_3 - r_{3p}}{r_3} \\ \frac{r_4 - r_{4p}}{r_4} \\ \frac{r_5 - r_{5p}}{r_5} \\ \frac{r_6 - r_{6p}}{r_6} \\ \frac{r_8 - r_{8p}}{r_8} \end{bmatrix} \cdot 100 = \begin{bmatrix} 3.85 \\ 2.569 \\ 0.701 \\ 1.555 \\ 0.294 \\ -0.954 \end{bmatrix}$$

Данные погрешности находятся в пределах нормы.

Рассмотренная методика была использована в пакете Matcad для исследования влияния отклонений параметров ветви не подверженных износу, от заданных параметров, на погрешность определения параметров остальных ветвей. Расчет приведены в таблице:

$r_1 = 2 \text{ Ом}; r_2 = 3 \text{ Ом}; r_3 = 2 \text{ Ом}; r_6 = 3 \text{ Ом}; r_7 = 2 \text{ Ом}; r_8 = 3 \text{ Ом}; p = 0,02.$

Таблица

Изменяемые параметры	Погрешности сопротивления ветвей					
	1	3	4	5	6	8
$r_4 = 3 \text{ Ом};$ $r_5 = 2 \text{ Ом}.$	4,298	1,961	2,454	1,961	2,076	1,961
$r_4 = 30 \text{ Ом};$ $r_5 = 20 \text{ Ом}.$	7,076	1,961	5,449	1,961	3,109	1,961
$r_1 = 10 \text{ Ом};$ $r_2 = 15 \text{ Ом}.$	7,487	1,961	2,214	1,961	2,095	1,961
$r_1 = 20 \text{ Ом};$ $r_2 = 30 \text{ Ом}.$	11,636	1,961	2,178	1,961	2,108	1,961
$r_1 = 30 \text{ Ом};$ $r_2 = 45 \text{ Ом}.$	15,8	1,961	2,165	1,961	2,115	1,961
$r_8 = 30 \text{ Ом};$ $r_6 = 30 \text{ Ом}.$	12,603	1,961	2,392	1,961	2,033	1,961
$r_8 = 20 \text{ Ом};$ $r_6 = 20 \text{ Ом}.$	9,534	1,961	2,54	1,961	2,06	1,961
$r_8 = 10 \text{ Ом};$ $r_6 = 10 \text{ Ом}.$	6,485	1,961	2,788	1,961	2,111	1,961
$r_7 = 20 \text{ Ом};$ $r_8 = 30 \text{ Ом}.$	2,613	1,961	0,877	1,961	1,846	1,961
$r_1 = 10 \text{ Ом};$ $r_3 = 10 \text{ Ом}.$	1,131	1,961	2,434	1,961	1,863	1,961
$r_1 = 15 \text{ Ом};$ $r_3 = 15 \text{ Ом}.$	0,741	1,961	2,397	1,961	1,801	1,961
$r_1 = 20 \text{ Ом};$ $r_3 = 20 \text{ Ом}.$	0,547	1,961	2,374	1,961	1,765	1,961
$r_1 = 25 \text{ Ом};$ $r_3 = 25 \text{ Ом}.$	0,432	1,961	2,359	1,961	1,742	1,961

### Выводы

1. Исследовано влияние отклонений действительных параметров главных ветвей от заданных на погрешность определения параметров ветвей подверженных износу.

2. Исследования показали, что отклонение параметров ветвей, сопротивления и проводимости которых считаются заданными от действительных значений на 2 %, позволяет определить параметры остальных ветвей с точностью 3,85.

3. Точность определения параметров зависит также от выбора системы независимых сечений. При неудачном выборе погрешности увеличиваются до десятков процентов.

### Библиографический список

1. Хусаинов, Ш.Н. Локальная диагностика электрических цепей / Ш.Н. Хусаинов, И.Е. Киесш // Вестник ЮУрГУ, серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 17. – № 16(275). – С. 103–106.

2. Хусаинов, Ш.Н. Локальная диагностика электрических цепей. Метод главных контурных токов / Ш.Н. Хусаинов, И.Е. Киесш // Сборник материалов 63-й научной конференции «Наука ЮУрГУ», секция технических наук. Т. 2. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – С. 260–264.

3. Хусаинов, Ш.Н. Топологические формулы для матриц проводимостей сечений и контурных сопротивлений электрических цепей с многополюсными элементами / Ш.Н. Хусаинов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1999. – 17 с.

4. Хусаинов, Ш.Н. Теория электрических цепей с многополюсными элементами / Ш.Н. Хусаинов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 307 с.

[К содержанию](#)