

\* \* \*

## Тестовая диагностика активных электрических цепей на основе коммутационных воздействий<sup>1</sup>

КИНШТ Н.В., ПЕТРУНЬКО Н.Н.

*Традиционно тестовые воздействия на электрическую цепь в процессе ее диагностирования осуществляются подачей активных тестовых сигналов от источников. В случае, когда диагностируемая электрическая цепь активна, любые изменения ее режима работы могут рассматриваться как тестовые воздействия. Представлены две модели организации тестового диагностирования электрической цепи: модель, основанная на коротких замыканиях доступных узлов, и модель обработки данных, полученных за счет вариации пассивной нагрузки. В теоретических построениях в качестве матрицы параметров применена матрица узловых проводимостей. Это не умаляет общности полученных результатов, которые легко могут быть распространены на любую матрицу параметров, в которой явно фигурируют искомые параметры элементов. Что касается применимости метода коротких замыканий, то он ограничивается лишь технологическими ограничениями на практическое функционирование электрической цепи и в слаботочных электронных цепях имеет большую перспективу. В целом возможности уточнения формулировок и ограничений изложенных задач не исчерпаны.*

*Ключевые слова: электрическая цепь, диагностика, математическая модель, короткое замыкание, вариация нагрузки*

В теории диагностики электрических цепей (ЭЦ) сформулировано и решено множество теоретических и прикладных задач [1, 2], значительный вклад в теорию внесен отечественными исследователями [3, 4]. Некоторые теоретические идеи послужили основой для изобретений, например [5, 6]. В последнее время, в том числе за рубежом, также наблюдается активная публикация статей, посвященных диагностике электрических цепей [7–9]; некоторые новые идеи излагаются в [10, 11], часть из которых более подробно изложена в [12–14]. Анализ многообразия постановок задач диагностики систем и цепей и подходов к их решению оста-

вим в стороне, обратимся к формализации некоторых практических ситуаций.

Традиционно тестовые воздействия на электрическую цепь в процессе ее диагностирования организуются подачей активных тестовых сигналов от источников. Если диагностируемая электрическая цепь активна, любые изменения ее режима работы могут быть объяснены тестовыми воздействиями. Рассмотрим две модели организации тестового диагностирования электрической цепи: модель, основанную на коротких замыканиях доступных узлов, и модель обработки данных, полученных за счет вариации пассивной нагрузки.

**Предварительные соотношения и обозначения.** Следуя [4], рассмотрим  $(n+1)$ -полюсник  $N$ , все узлы которого доступны, и стоит задача определе-

<sup>1</sup> Исследование частично поддержано грантом РФФИ № 13-08-00924.

ния пассивных параметров его ветвей. В качестве диагностической модели, не умаляя общности, принята матрица узловых проводимостей  $\mathbf{Y}^n$ . Проводится  $n$  экспериментов для организации тестового воздействия на узлы источниками тока (рис. 1); для  $k$ -го эксперимента имеем  $\mathbf{Y}_k = \text{col}[J_{1k}, \dots, J_{nk}]$ . При этом в каждом эксперименте на  $n$  узлах наблюдаются векторы напряжений (относительно базисного узла)  $\mathbf{U}_k = \text{col}[U_{1k}, \dots, U_{nk}]$ :

$$\mathbf{U}_k = (\mathbf{Y}^n)^{-1} \mathbf{J}_k, \quad k = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Объединив векторы входных токов всех экспериментов в квадратную матрицу  $\mathbf{J}_{\text{КВ}} = [\mathbf{J}_1, \dots, \mathbf{J}_n]$ , составляем квадратную матрицу напряжений  $\mathbf{U}_{\text{КВ}} = [\mathbf{U}_1, \dots, \mathbf{U}_n]$  и запишем искомую матрицу узловых проводимостей:

$$\mathbf{Y}^n = \mathbf{J}_{\text{КВ}} \mathbf{U}_{\text{КВ}}^{-1} = [\mathbf{J}_1, \dots, \mathbf{J}_n] [\mathbf{U}_1, \dots, \mathbf{U}_n]^{-1}. \quad (2)$$

На основе матрицы  $\mathbf{Y}^n$  легко восстановить структуру и численные значения проводимостей всех ветвей. Эта задача может быть расширена, если:

предположить, что часть пассивных параметров известна;

предположить, что для уменьшения влияния ошибок измерений задача будет переопределена за счет избыточных измерений;

иметь в виду диагностику не пассивной, а активной цепи, когда значения и места включений внутренних источников цепи не заданы;

считать, что «простой» многополюсник  $\mathbf{N}$  является частью более сложной электрической цепи и диагностические воздействия на ЭЦ  $\mathbf{J}$ , а также измерения  $\mathbf{U}$  проводятся в узлах, не связанных с самим многополюсником  $\mathbf{N}$ .

Такие задачи были обозначены и частично представлены в [11].

**Короткие замыкания ЭЦ как тестовое воздействие.** Активная ЭЦ сама по себе может служить источником энергии при тестовых воздействиях. При

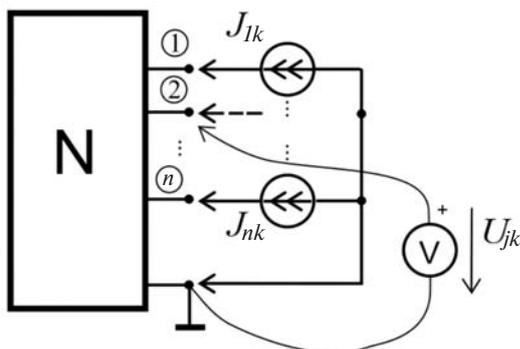


Рис. 1. Тестирование пассивной цепи внешними источниками

этом для постановки задачи диагностирования не обязательно иметь информацию о количестве, местах расположения и значениях параметров активных элементов. Тестовыми воздействиями на активную ЭЦ могут быть изменения ее топологии, например, в простейшем случае возможно проводить короткие замыкания или разрывы ветвей, как показано на рис. 2, а и б.

Простейшее тестовое воздействие заключается в коротком замыкании узла  $i$  на базисный узел (рис. 2, а); при этом измеряются потенциалы остальных узлов и ток короткого замыкания. Другой возможностью является замыкание пары (рис. 2, б) или нескольких доступных узлов между собой. Таким образом, можно сделать необходимые  $n$  независимых экспериментов. Кроме того, следует добавить измерение напряжений холостого хода на доступных узлах. В соответствии с принципом компенсации при замыкании одного  $i$ -го узла на базисный введем дополнительный источник тока  $J_i$ , обеспечивающий равенство нулю  $i$ -го потенциала  $U_i = 0$  (рис. 2, в). Аналогично при закорачивании пары узлов  $i$  и  $j$  между собой вводится пара источников тока  $J_i$  и  $J_j$ , значения которых измерены, обеспечивающих равенство  $U_i = U_j$  (рис. 2, г). Таким образом, формально можно воспользоваться равенством (1) для расчета искомой матрицы пассивных параметров. Учитывая изложенные здесь основные принципы, усложним модель.

**Короткие замыкания частично доступных узлов.** Рассмотрим сложную активную ЭЦ  $A$  с частично недоступными узлами (рис. 3). Часть цепи  $N$ , параметры ветвей которой подлежат определению, инцидентна множеству независимых узлов с номерами  $(1, \dots, n)$ , недоступных для измерений и подачи тестовых воздействий. Внешние узлы с номерами  $((n+1), \dots, 2n)$  доступны для тестовых воздействий и измерений. Диагностическое воздействие заключается в применении коротких замыканий между доступными полюсами.

Измерения потенциалов узлов  $(U_{(n+1)}, \dots, U_{2n})$  и (или) соответствующих токов в короткозамкнутых ветвях могут рассматриваться как не прямые измерения напряжений узлов  $(U_1, \dots, U_n)$ . Ясно, что, определив матрицу входных и передаточных параметров (например проводимостей) относительно узлов  $((n+1), \dots, 2n)$ , придется проводить дальнейший анализ с целью определения искомых параметров многополюсника  $\mathbf{N}$ . Однако связи матрицы  $\mathbf{N}$  относительно узлов  $(1, \dots, n)$  и матрицы параметров всей ЭЦ относительно узлов  $((n+1), \dots, 2n)$  нелинейны и представляют собой рациональные функции. Поставим задачу получить в замкнутой форме соотношения для решения задачи диагностирования параметров многополюсника  $\mathbf{N}$ .

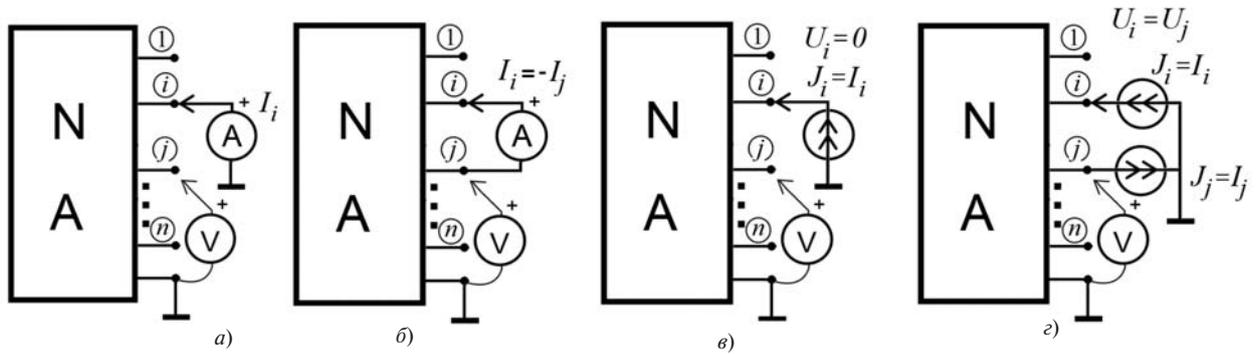


Рис. 2. Организация тестовых экспериментов с короткими замыканиями

Итак, пусть  $Y^N$  – матрица узловых проводимостей многополюсника  $N$  размером  $n' \times n$  и

$$Y = \begin{bmatrix} \hat{e}Y_{11} & Y_{12} \\ \hat{e}Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{matrix} \hat{u} \\ \hat{u} \end{matrix} \text{ – матрица известных узловых}$$

проводимостей сложной цепи  $A$  размером  $2n' \times 2n$ . Полную систему уравнений всей рассматриваемой ЭЦ в режиме холостого хода запишем в виде:

$$(Y^N + Y_{11})U_{\emptyset} + Y_{12}U_{\emptyset} = J_{\emptyset} \quad (3)$$

$$Y_{21}U_{\emptyset} + Y_{22}U_{\emptyset} = J_{\emptyset} \quad (4)$$

где  $U_{\emptyset} = \text{col}(U_{01}, \dots, U_{0n})$ ,  $U_{\emptyset} = \text{col}(U_{0(n+1)}, \dots, U_{02n})$  – векторы напряжений холостого хода рассматриваемых узлов;  $J_{\emptyset} = \text{col}(J_1, \dots, J_n)$ ,  $J_{\emptyset} = \text{col}(J_{(n+1)}, \dots, J_{2n})$  – столбцы узловых токов активной ЭЦ.

Для эксперимента, заключающегося в коротком замыкании  $k$ -го узла на базисный, имеем соотношения:

$$(Y^N + Y_{11})U_{\emptyset} + Y_{12}U_{\emptyset} = J_{\emptyset} \quad (5)$$

$$Y_{21}U_{\emptyset} + Y_{22}U_{\emptyset} = J_{\emptyset} + J_k, \quad (6)$$

где  $U_{\emptyset} = \text{col}(U_{k1}, \dots, U_{kn})$  – напряжения внутренних узлов;  $U_{\emptyset} = \text{col}(U_{k(n+1)}, \dots, U_{k2n})$  – измеренные на-

пряжения;  $J_k = \text{col}(0, \dots, I_k, \dots, 0)$ , ( $k=(n+1), \dots, 2n$ ) – измеренные токи коротких замыканий.

Вычтем соотношения (3), (4) из (5), (6) и составим квадратные матрицы:

$$DU_{\emptyset} = [(U_{\emptyset} - U_{\emptyset}), \dots, (U_{\emptyset} - U_{\emptyset}), \dots, (U_{\emptyset} - U_{\emptyset})];$$

$$DU_{\emptyset} = [(U_{\emptyset} - U_{\emptyset}), \dots, (U_{\emptyset} - U_{\emptyset}), \dots, (U_{\emptyset} - U_{\emptyset})];$$

$$DJ = [J_1, \dots, J_k, \dots, J_n].$$

Полная система уравнений, описывающая все эксперименты, примет вид:

$$(Y^N + Y_{11})DU_{\emptyset} + Y_{12}DU_{\emptyset} = 0; \quad (7)$$

$$Y_{21}DU_{\emptyset} + Y_{22}DU_{\emptyset} = DJ \quad (8)$$

(подразумевается, что  $0$  в (7) также представляет собой квадратную матрицу).

Обратим внимание на отсутствие необходимости в получении информации относительно значений и мест присоединения источников в активной ЭЦ  $A$ ; она скрыта в значениях  $U_{\emptyset}$  и  $U_{\emptyset}$ . Выражая  $DU_{\emptyset}$  из (8) и подставляя в (7), получаем окончательное выражение для искомой матрицы:

$$Y^N = [Y_{12}DU_2 - Y_{11}(Y_{21})^{-1}(DJ - Y_{22}DU_2)]' [ (Y_{21})^{-1}(DJ - Y_{22}DU_2) ]^{-1} \quad (9)$$

**Пример 1.** Рассмотрим ЭЦ на рис. 4. Для демонстрации метода достаточно ограничиться цепью постоянного тока. Многополюсник  $N$  обозначен пунктиром, его  $y$ -параметры ( $y_1, y_3, y_4, y_6, y_7$ ) подлежат определению. Доступными считаются узлы 4, 5, 6. В качестве тестовых предполагаются КЗ узлов 4 и 5 на узел 8 и узлов 4 и 6 между собой.

Для полной системы уравнений цепи  $YU=J$  векторы  $U, J$  примут вид:

$$U = \text{col}(U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6), \quad (U_2 = U_7);$$

$$J = \text{col}(J_1, J_3, J_{27}, J_4, J_5, J_6) = \text{col}(0, 0, J, 0, 0, 0),$$

$$(J_{27} = J_2 + J_7 = J).$$

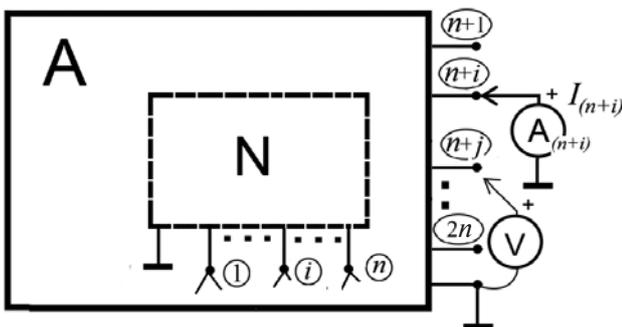


Рис. 3. Сложная цепь  $A$



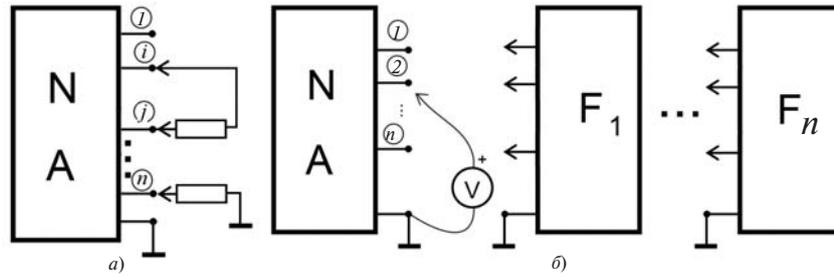


Рис. 5

Более того, возможен вариант, при котором в порядке тестовых испытаний активный многополюсник  $N$  нагружается различными многополюсниками  $F_1, \dots, F_k, \dots, F_n$  с известными параметрами (рис. 5, б). Рассмотрим этот случай.

Так, при присоединении  $k$ -й ( $k=1, \dots, n$ ) нагрузки  $F_k$  имеем систему уравнений, описывающую этот режим:

$$Y^N = (U_k - U_0) = I_k; \quad (10)$$

$$- Y_k^F U_k = I_k, \quad k = 1, \dots, n, \quad (11)$$

где  $I_k$  – вектор токов, протекающих между нагрузкой и многополюсником  $N$ ;  $U_0$  – как и выше, вектор напряжений холостого хода;  $Y_k^F$  – матрица узловых проводимостей  $k$ -го многополюсника  $F_k$ .

Вновь составляем квадратные матрицы:

$$U_{KB} = [(U_1 - U_0), \dots, (U_n - U_0)];$$

$$J_{KB} = [(-Y_1^F U_1), \dots, (-Y_n^F U_n)], \quad k = 1, \dots, n.$$

Решение задачи относительно искомой матрицы узловых проводимостей  $Y^N$  получим аналогично (2):

$$Y^N = J_{KB} (U_{KB})^{-1}. \quad (12)$$

**Вариация нагрузок и частично доступные узлы.**

Поставим задачу, аналогичную представленной выше в разделе «Короткие замыкания частично доступных узлов». Обратимся к схеме тестового эксперимента на рис. 6. Введем в рассмотрение матрицы (известные) параметров нагрузок:

$$Y_k^F = \begin{bmatrix} \hat{e} Y_{k11}^F & Y_{k12}^F \\ \hat{e} Y_{k21}^F & Y_{k22}^F \end{bmatrix}$$

Здесь подразумевается, что тестовые нагрузки могут быть подключены к любым из упомянутых  $2n$  узлов.

Предположим для простоты, что внутренние источники в многополюснике  $A$  инцидентны лишь узлам  $(1, \dots, n)$ , т.е.  $J_{\Phi} = 0$ . Для  $k$ -го эксперимента можно записать систему уравнений:

$$(Y_{21} + Y_{k21}^F) U_{\Phi} + (Y_{22} + Y_{k22}^F) U_{\Phi} = 0; \quad (13)$$

$$U_{\Phi} = \text{col}(U_{k1}, \dots, U_{kn}); \quad (14)$$

$$U_{\Phi} = \text{col}(U_{k(n+1)}, \dots, U_{k2n}).$$

Вспомним соотношения (3), (4), описывающие режим холостого хода, исключим из (13) и (14)  $J_{\Phi}$  и получим систему:

$$\begin{aligned} (Y^N + Y_{11} + Y_{k11}^F) U_{\Phi} + (Y_{12} + Y_{k12}^F) U_{\Phi} = \\ = (Y^N + Y_{11}) U_{\Phi} + Y_{12} U_{\Phi} \end{aligned} \quad (15)$$

$$(Y_{21} + Y_{k21}^F) U_{\Phi} + (Y_{22} + Y_{k22}^F) U_{\Phi} = 0; \quad (16)$$

$$Y_{21} U_{\Phi} = - Y_{22} U_{\Phi} \quad (17)$$

Как и прежде,  $U_{\Phi} = \text{col}(U_{01}, \dots, U_{0n}); U_{\Phi} = \text{col}(U_{0(n+1)}, \dots, U_{02n})$ .

Обратим внимание, что измеренными являются напряжения  $U_{\Phi}$  и  $U_{\Phi}$ , а  $U_{\Phi}$  и  $U_{\Phi}$  подлежат исключению. В результате получим:

$$\begin{aligned} Y^N [Y_{21}^{-1} Y_{22} U_{\Phi} (Y_{21} + Y_{k21}^F)^{-1} (Y_{22} + Y_{k22}^F) U_{\Phi}] = \\ = [Y_{11} (Y_{21} + Y_{k21}^F)^{-1} (Y_{22} + Y_{k22}^F) - (Y_{12} + Y_{k12}^F)] U_{\Phi} + \\ + [Y_{12} - Y_{11} Y_{k21}^{-1} Y_{22}] U_{\Phi} \end{aligned}$$

Обозначим:

$$U_k = Y_{21}^{-1} Y_{22} U_{\Phi} (Y_{21} + Y_{k21}^F)^{-1} (Y_{22} + Y_{k22}^F) U_{\Phi}; \quad (18)$$

$$J_k = [Y_{11} (Y_{21} + Y_{k21}^F)^{-1} (Y_{22} + Y_{k22}^F) - (Y_{12} + Y_{k12}^F)] U_{\Phi} +$$

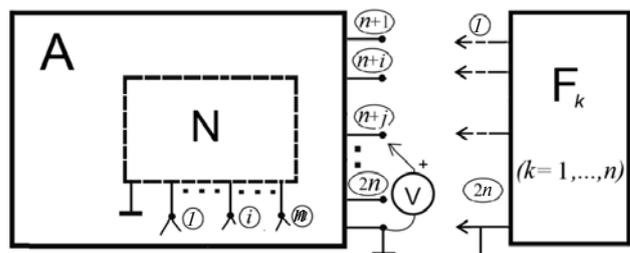


Рис. 6. Схема тестового эксперимента

$$+ [Y_{12} \ Y_{11} \ Y_{21} \ Y_{22}] U_{\theta} \quad (19)$$

и составим квадратные матрицы:

$$U_{KB} = [U_1, \dots, U_k, \dots, U_n]; \quad (20)$$

$$J_{KB} = [J_1, \dots, J_k, \dots, J_n]. \quad (21)$$

Аналогично получаем аналитическое выражение для искомой матрицы  $Y^N$ :

$$Y^N = J_{KB} (U_{KB})^{-1}. \quad (22)$$

**Пример 2.** Проанализируем пример диагностики многополюсника, независимые узлы которого недоступны для коммутаций и измерений. Схема многополюсника изображена на рис. 7, диагностируемый многополюсник  $N$  обозначен штриховой линией, он инцидентен независимым узлам с номерами 1, 2, 3, а также соединен с базисным узлом 7. Варианты тестовых присоединений нагрузок обозначены стрелками  $F_1, F_2, F_3$ .

В соответствии с принятыми обозначениями запишем выражения для подматриц с известными параметрами:

$$Y_{11} = \begin{bmatrix} \hat{e} & 14 & -5 & 0 \\ \hat{e} & 5 & 15 & 0 \\ \hat{e} & 0 & 0 & 8 \end{bmatrix} \quad Y_{12} = \begin{bmatrix} \hat{e} & 0 & 0 & -9 \\ \hat{e} & -10 & 0 & 0 \\ \hat{e} & 0 & -8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Y_{21} = \begin{bmatrix} \hat{e} & 0 & -10 & 0 \\ \hat{e} & 0 & 0 & -8 \\ \hat{e} & 9 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Y_{22} = \begin{bmatrix} \hat{e} & 10 & 0 & 0 \\ \hat{e} & 0 & 9 & -1 \\ \hat{e} & 0 & -1 & 16 \end{bmatrix}$$

и для фрагментов матриц тестовых нагрузок  $Y_{k22}^F$ ,  $k = 1, 2, 3$ :

$$Y_{122}^F = \begin{bmatrix} \hat{e} & 10 & -10 & 0 \\ \hat{e} & 10 & 10 & 0 \\ \hat{e} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Y_{222}^F = \begin{bmatrix} \hat{e} & 10 & 0 & 0 \\ \hat{e} & 0 & 0 & 0 \\ \hat{e} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

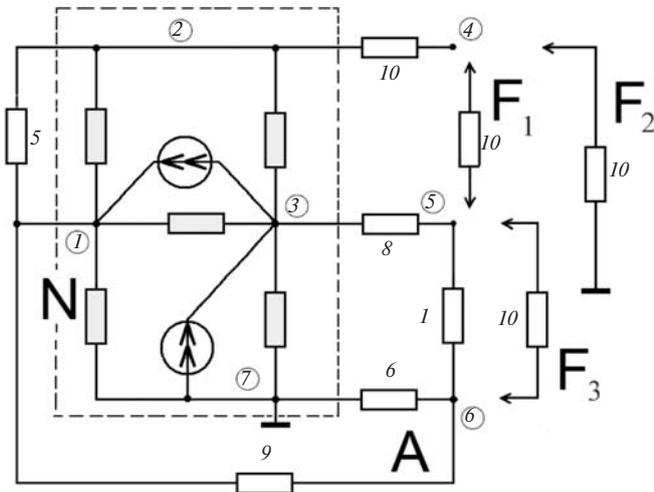


Рис. 7. К примеру 2

$$Y_{322}^F = \begin{bmatrix} \hat{e} & 0 & 0 & 0 \\ \hat{e} & 10 & -10 & 0 \\ \hat{e} & 0 & 10 & 0 \end{bmatrix}$$

Остальные подматрицы нагрузок  $Y_k^F$  ( $k = 1, 2, 3$ )

заполнены нулями, поскольку тестовые нагрузки инцидентны лишь узлам 4, 5, 6.

Проведем 4 эксперимента (один опыт холостого хода и 3 нагрузочных) и запишем «измеренные» узловые напряжения:

$$U_{02} = \text{col}[4,868 \ 0,922 \ 3,793];$$

$$U_{12} = \text{col}[3,204 \ 2,1720 \ 3,679];$$

$$U_{22} = \text{col}[1,606 \ 0,253 \ 3,123];$$

$$U_{32} = \text{col}[4,868 \ 2,2140 \ 3,191].$$

Воспользовавшись выражениями (18)–(21), получим после вычислений:

$$U_{KB} = \begin{bmatrix} \hat{e} & 0,3416 & -1,1168 & -0,1282 \\ \hat{e} & 0,6320 & -1,6560 & 0 \\ \hat{e} & 0,1305 & -0,6689 & 0,3075 \end{bmatrix}$$

$$J_{KB} = \begin{bmatrix} \hat{e} & 0,5958 & 1,3249 & -3,6229 \\ \hat{e} & 8,8678 & -13,3639 & -0,6411 \\ \hat{e} & 8,9560 & -0,0010 & 7,8760 \end{bmatrix}$$

и окончательно по (22):

$$Y^N = \begin{bmatrix} \hat{e} & (y_{12} + y_{13} + y_{17}) & -y_{12} & -y_{13} \\ \hat{e} & -y_{12} & (y_{12} + y_{23}) & -y_{23} \\ \hat{e} & -y_{13} & -y_{23} & (y_{23} + y_{13} + y_{37}) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \hat{e} & 18,8796 & -11,9531 & -3,9093 \\ \hat{e} & -12,0696 & 19,0844 & -7,1177 \\ \hat{e} & -3,7651 & -7,1715 & 24,0430 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \hat{e} & 19 & -12 & -4 \\ \hat{e} & -12 & 19 & -7 \\ \hat{e} & -4 & -7 & 24 \end{bmatrix}$$

Контрольные значения параметров, положенные в основу примера, следующие:  $y_{12} = 12$ ,  $y_{13} = 4$ ,  $y_{17} = 3$ ,  $y_{23} = 7$ ,  $y_{37} = 13$ ,  $J_{31} = 100$ ,  $J_{73} = 50$ .

Расчет примера подтверждает корректность полученных соотношений.

**Вывод.** В рассмотренных теоретических построениях в качестве матрицы параметров применена матрица узловых проводимостей. Ясно, что это не умаляет общности полученных результатов, которые легко могут быть распространены на любую матрицу параметров, в которой явно фигурируют искомые параметры элементов. Что касается применимости метода коротких замыканий, то он лимитируется лишь технологическими ограничениями на практическое функционирование электрической цепи и в слаботочных электронных цепях имеет большую перспективу. В целом возможности уточнения формулировок и ограничений изложенных задач не исчерпаны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Berkowitz R.S.** Conditions for Network-Element-Value Solvability. – IRE Transactions on Circuit Theory, 1962, vol. 9, pp. 24–29.
2. **Bedrosian S.D., Berkowitz R.S.** Solution Procedure for Single-Element-Kind Networks. – IRE Int. Conv. Rec. Part 2. Automatic Control, Circuit Theory, 1962, pp. 16–21.
3. **Киншт Н.В., Герасимова Г.Н., Кац М.А.** Диагностика электрических цепей. – М.: Энергоатомиздат, 1983, 192 с.
4. **Демирчян К.С., Бутырин П.А.** Моделирование и машинный расчет электрических цепей. – М.: Высшая школа, 1988, 335 с.
5. **Pat. 7103856 (US).** Determining points of maximum deflection of a printed circuit board under test/Ahrikencheikh, Cherif; AGILENT TECHNOLOGIES, INC. – Priority date: 2002-08-08. Publication info: US2005093552(A1) 2005-05-05, US7103856 (B2) 2006-09-05.
6. **Pat. № 2069371 (РФ).** Способ диагностики силовых трансформаторов/П.А. Бутырин, Л.В. Алексейчик, М.Е. Алпатов. Опубл. 20.11.1996.
7. **Arvind Sai Sarathi Vasan, Bing Long, Michael Pecht:** Diagnostics and Prognostics Method for Analog Electronic Circuits. – IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 60(11), pp. 5277–5291.
8. **Chen Y.-M., Wu H.-C., Chou M.-W., and Lee K.-Y.** Online failure prediction of electrolytic capacitors for LC filter of switching-mode power converters. – IEEE Trans. Ind. Electron., 2008, vol. 55 № 1, pp. 400–406.
9. **Wei Liao, Jingao Liu.** Research on k-fault diagnosis and testability in analog circuit. – WSEAS Transactions on Electronics, 2008, vol. 5, iss. 10, pp. 417–426.
10. **Киншт Н.В., Петрунько Н.Н.** О двух концепциях в теории диагностики электрических цепей. – Электричество, 2012, № 9, с. 59–64.

11. **Киншт Н.В., Петрунько Н.Н.** Диагностика электрических цепей и систем. – Владивосток: Дальнаука, 2013, 242 с.
12. **Kinsht Nikolay, Petrun'ko Natalia.** Some opportunities of circuit test diagnosis. – Applied Mechanics and Materials, 2013, vols. 373-375(2013) pp. 927–931.
13. **Kinsht Nikolay V., Petrun'ko Natalia N.** Certain problems of the circuit test diagnosis – Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering, 2013, vol. 1, № 3, pp. 76–80.
14. **Kinsht Nikolay V., Petrun'ko Natalia N.** Load modes variation in the circuit test diagnosis. – Int. Journal of Automation and Power Eng., 2014, vol. 3, iss. 1, pp. 23–27.

[06.03.14]

*А в т о р ы : Киншт Николай Владимирович окончил Новосибирский электротехнический институт (НЭТИ) в 1960 г. В 1986 г. в Московском энергетическом институте защитил докторскую диссертацию «Диагностика электрических цепей. Теория и методы». Главный научный сотрудник Института автоматизации и процессов управления (ИАПУ) ДВО РАН, профессор Дальневосточного федерального университета.*

*Петрунько Наталья Николаевна окончила физический факультет Дальневосточного государственного университета в 1985 г. В 2002 г. в ИАПУ ДВО РАН защитила кандидатскую диссертацию «Анализ процессов образования и распространения электромагнитных излучений высоковольтного электроэнергетического оборудования». Старший научный сотрудник ИАПУ ДВО РАН.*

## Test Diagnostics of Active Electric Circuits on the Basis of Passive Impacts

N. V. KINSHT and N. N. PETRUN'KO

*Test impacts applied to an electric circuit in the course of its diagnostics are commonly organized by applying active test signals from sources. If an electric circuit being diagnosed is active, any changes of its operating mode can be regarded as test impacts. Two models of organizing test diagnostics of an electric circuit are presented: a model based on applying short circuits at the accessible nodes and a model for processing data obtained by varying a passive load. The matrix of nodal admittances is used in the theoretical manipulations as a parameter matrix. This approach does not detract from the generality of the obtained results, which can be easily extended for any matrix of parameters in which the sought parameters of elements appear in explicit form. As to applicability of the short-circuit method, it is limited only by technological constraints imposed on practical operation of the electric circuit and has good prospects for use in low-current electronic circuits. On the whole, the possibilities of refining the statements and limitations of the described problems have not been exhausted.*

*Key words: electric circuit, diagnostics, mathematical model, short circuit, variation of load*

## REFERENCES

1. **Berkowitz R.S.** Conditions for Network-Element-Value Solvability. – IRE Transactions on Circuit Theory, 1962.
2. **Bedrosian S.D., Berkowitz R.S.** Solution Procedure for Single-Element-Kind Networks. – IRE Int. Conv. Rec. Part 2. Automatic Control, Circuit Theory, 1962.
3. **Kinsht N.V., Gerasimov G.N., Kats M.A.** *Diagnostika elektricheskikh tsepei* (Electric circuits diagnostics). Moscow. Publ. Energoatomizdat, 1983, 192 p.
4. **Demirchyan K.S., Butyrin P.A.** *Modelirovanie i mashinnyi raschet elektricheskikh tsepei* (Modelling and machine computation of electric circuits). Moscow. Publ. «Vysshaya Shkola», 1988, 335 p.

5. **Pat. 7103856 (US).** Determining points of maximum deflection of a printed circuit board under test/Ahrikencheikh, Cherif; AGILENT TECHNOLOGIES, INC. – Priority date: 2002-08-08. Publication info: US2005093552(A1) 2005-05-05, US7103856 (B2) 2006-09-05.

6. **Pat. № 2069371 (RF).** *Sposob diagnostiki silovyykh transformatorov* (Diagnostics method of power transformers). Butyrin P.A., Alekseychik L.V., Alpatov M.E. Publ. 20.11.1996.

7. **Arvind Sai Sarathi Vasan, Bing Long, Michael Pecht:** Diagnostics and Prognostics Method for Analog Electronic Circuits. – IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 60(11), pp. 5277–5291.

8. **Chen Y-M., Wu H-C., Chou M-W., and Lee K-Y.** Online failure prediction of electrolytic capacitors for LC filter of switching-mode power converters, – IEEE Trans. Ind. Electron., 2008, vol. 55 № 1, pp. 400–406.

9. **Wei Liao, Jingao Liu.** Research on k-fault diagnosis and testability in analog circuit.– WSEAS Transactions on Electronics, 2008, vol. 5, iss. 10, pp. 417–426.

10. **Kinsht N.V., Petrun'ko N.N.** *Elektrichestvo (Electricity)*, 2012, № 9, pp. 59–64.

11. **Kinsht N.V., Petrun'ko N.N.** *Diagnostika elektricheskikh tsepei i sistem (Electric circuits and systems diagnostics)*. Vladivostok. Publ. «Dal'nauka», 2013, 242 p.

12. **Kinsht Nikolay, Petrun'ko Natalia.** Some opportunities of circuit test diagnosis. – Applied Mechanics and Materials, 2013, vols. 373-375(2013) pp. 927–931.

13. **Kinsht Nikolay V., Petrun'ko Natalia N.** Certain problems of the circuit test diagnosis. – Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering, 2013, vol. 1, № 3, pp. 76–80.

14. **Kinsht Nikolay V., Petrun'ko Natalia N.** Load modes variation in the circuit test diagnosis. – Int. Journal of Automation and Power Eng., 2014, vol. 3, iss. 1, pp. 23–27.

*Authors: Kinsht Nikolai Vladimirovich graduated from the Novosibirsk Electrical Engineering Institute in 1960. In 1986 he received the degree of Doctor Techn. Sci. from the Moscow Power Institute. He is a Senior Scientist at the Automatic and Control Processes Institute (ACPI) of the Far-East Branche of Russian Academy of Sciences (FEB RAS) and a Professor Far-East Federal University.*

*Petrun'ko Natal'ya Nikolayevna graduated from the Physical Department of the Far-East State University in 1985. In 2002 she received the degree of Cand. Techn. Sci. from the ACPI FEB RAS. She is a Senior Scientist in the ACPI FEB RAS.*

\* \* \*

## ЧИТАТЕЛЯМ, ПОДПИСЧИКАМ, РЕКЛАМОДАТЕЛЯМ ЖУРНАЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»

Подписка в России и странах СНГ принимается в отделениях связи.

Для желающих представить в журнал статью сообщаем, что правила подготовки рукописей публикуются в №№ 6 и 12 каждого года.

Реклама в черно-белом изображении может быть размещена на страницах журнала и на его обложке, а также в виде вкладки.

Возможно размещение рекламы в цветном изображении (стоимость по договоренности).

При повторении той же рекламы в следующем номере – скидка 10%. При публикации той же рекламы в третьем и последующих номерах – скидка 20%. Стоимость оплаты рекламных статей – по договоренности. Последний срок представления рекламного материала – за 1,5 месяца до выхода номера из печати (обычно номер выходит в середине каждого месяца).

Адрес для переписки: 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 648

тел./факс: (7-495)362-7485

E-mail: l.s.kudinova@rambler.ru

### **Зарубежная подписка**

на журнал «Электричество»

оформляется через фирмы-партнеры ЗАО «МК-Периодика» или непосредственно в ЗАО «МК-Периодика» по адресу:

Россия, 111524 Москва, Электродная ул., 10, стр. 3

ЗАО «МК-Периодика»;

тел. (495) 672-70-12; факс (495) 306-37-57

E-mail: info@periodicals.ru

Internet: <http://www.periodicals.ru>