ЛОКАЛИЗАЦИЯ НА МНОГОКРАТНИ НЕИЗПРАВНОСТИ В ЛИНЕЙНИ АНАЛОГОВИ СХЕМИ

Е. Димитрова В. Борисов Е. Бехов

ГИМК ВАРНА

В настоящата работа се предлага едно решение на актуалната задача за откриване на многократни неизправности в аналогови електронни схеми с помощта на компютърна симулация. Методът за диагностика е изложен подробно в [1]. Накратко същността му се заключава в следното.

Всеки елемент на електронната схема (представен чрез двуполюсници и зависими източници) приема номинална стойност и допустим толеранс около нея. Ако той надхвърли този толеранс, това се възприема като дефект. Работоспособността на схемата може да се контролира чрез измерване на **n** напрежения в достъпни възли. Нека допуснем, че има **k** на брой (**k<n**) едновременни дефекти. Промените в елементите могат да се представят като външни товари в **(n+k)** полюсна схема (фиг.1), където:

$$V^m = [V_1^m, V_2^m, \ldots, V_n^m]^t \quad (1), \qquad I^m = [I_1^m, I_2^m, \ldots, I_n^m]^t \quad (2),$$

$$V^x = [V_1^x, V_2^x, \ldots, V_k^x]^t \quad (3), \qquad I^x = [I_1^x, I_2^x, \ldots, I_k^x]^t \quad (4)$$

и е в сила уравнението:

$$\begin{bmatrix} V^m \\ V^x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{mm} & Z_{mx} \\ Z_{xm} & Z_{xx} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I^m \\ I^x \end{bmatrix} \quad (5).$$

Нека полюсите на измерване са възбудени от източник на ток, или са отворени вериги. Номиналният напрежителен вектор, отговарящ на недефектирала схема е:

$$\begin{bmatrix} V^{mo} \\ V^{xo} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{mm} & Z_{mx} \\ Z_{xm} & Z_{xx} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I^m \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6).$$

Промяната във вектора на напреженията $\Delta V = [\Delta V^m, \Delta V^x]^t$ се формира като разлика на (5) и (6), откъдето $\Delta V^m = Z_{mx}.I^x$ (8). Решението на (8) е $I^x = (Z_{mx}^t.Z_{mx})^{-1}.Z_{mx}^t.\Delta V^m$ (9). След елиминиране на I^x от (8) и (9) се получава уравнението

$$[Z_{mx}.(Z_{mx}^t.Z_{mx})^{-1}.Z_{mx}^t - 1].\Delta V^m = 0 \quad (10).$$

Означаваме $Z_{mx}.(Z_{mx}^t.Z_{mx})^{-1}.Z_{mx}^t = \bar{Z}_{mx}$, откъдето $(\bar{Z}_{mx}-1).\Delta V^m = 0$ (11). Ако изразът (11) е различен от 0, това означава, че комбинацията от дефектни елементи не е локализирана. Следователно за да се лока-

лизират k дефекти трябва да се изчисли (11) за всички комбинации, състоящи се от k елемента, т.е.

$(\bar{Z}mx^{-1}).\Delta V^{m}=0$ (12), $i = 1, 2, \ldots, \binom{p}{k}$, p – общ брой на елементите. Това означава да се разгледат толкова (n+k) полюсни вериги, колкото е броят на комбинациите. Тъй като ΔV^{m} е известно (измерва се), то изчисляването на (12) се свежда до съставяне на всички Zmx^{i}. За да се избегне многократното съставяне на Zmx в [1] е предложено да се формира обща матрица Zmxo с размерност nxp, от която се извличат подматриците Zmx^{i}. Използва се симулация на присъединената схема, за която е в сила следното:

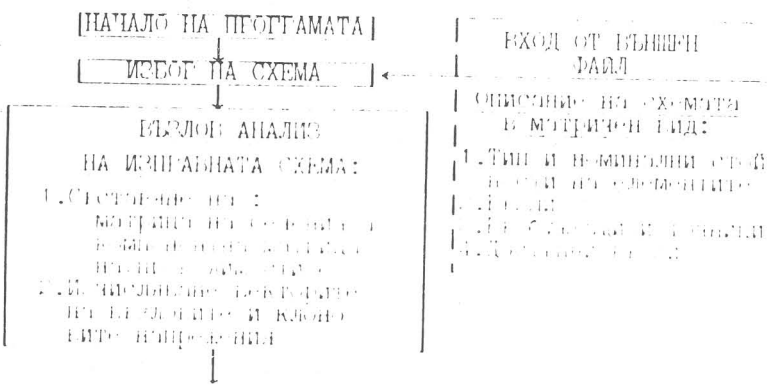
$$\begin{bmatrix} \hat{V}^{m} \\ \hat{V}^{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z^{t}mm & Z^{t}xm \\ Z^{t}mx & Z^{t}xx \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}^{m} \\ \hat{I}^{x} \end{bmatrix}.$$

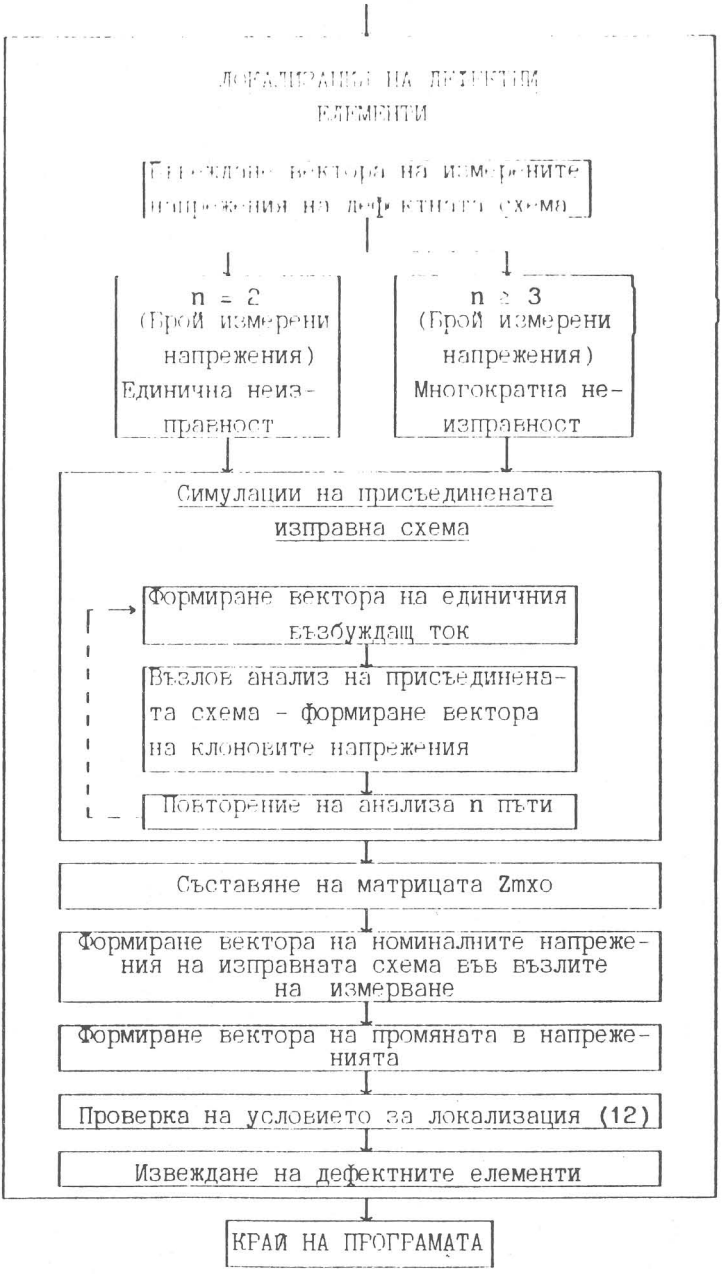
Нека $[\hat{V}^{x}]$ съдържа всички клонови напрежения на присъединената схема. Когато $\hat{I}^{x} = 0$, то $Z^{t}mx.\hat{I}^{m} = \hat{V}^{x}$. Ако се анализира схемата за n вектора на задаващите токове $\hat{I}^{m}_{j}$, j=1,2,...,n, като във всеки вектор само j-тия елемент има единична стойност, а останалите са нули, то могат да се изчислят n вектора $\hat{V}^{x}_{j}$, за които е в сила равенството

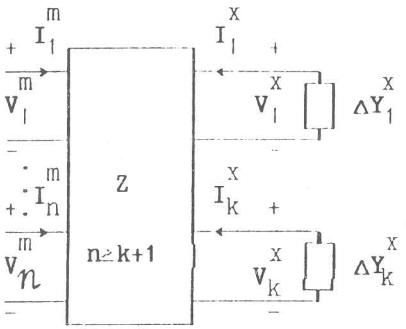
$$[\hat{V}^{x}_{1},\ldots,\hat{V}^{x}_{j},\ldots,\hat{V}^{x}_{n}]=Z^{t}mxo.[\hat{I}^{m}_{1},\ldots,\hat{I}^{m}_{j},\ldots,\hat{I}^{m}_{n}] = Z^{t}mxo.[1].$$

Следователно $Zmxo=[\hat{V}^{x}_{1},\ldots,\hat{V}^{x}_{j},\ldots,\hat{V}^{x}_{n}]^{t}$. Извличането на подматриците Zmx^{i} става чрез подбор на стълбове от Zmxo с номера, определени от клоните, чиито елементи образуват i – тата комбинация.

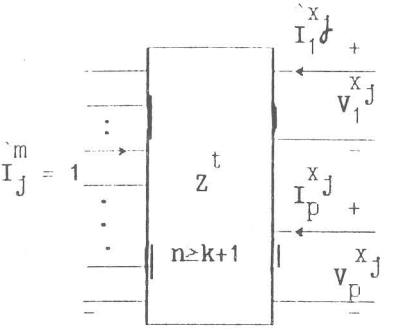
Представеният по-долу алгоритъм описва в детайли етапите на разгледаната локализационна процедура.




ЛОКАЛИЗАЦИЯ НА ДЕФЕКТНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ
Генериране вектора на измерените напрежения на дефектната схема
n = 2
(Брой измерени напрежения)
Единична неизправност
n ≥ 3
(Брой измерени напрежения)
Многократна неизправност
Симулации на присъединената изправна схема
Формиране вектора на единичния възбуждащ ток
Възлов анализ на присъединената схема - формиране вектора на клоновите напрежения
Повторение на анализа n пъти
Съставяне на матрицата Zmxo
Формиране вектора на номиналните напрежения на изправната схема във възлите на измерване
Формиране вектора на промяната в напреженията
Проверка на условието за локализация (12)
Извеждане на дефектните елементи
КРАЙ НА ПРОГРАМАТА



фиг.1



фиг.2

По описания алгоритъм в среда за матрични изчисления "MATLAB" [2] е създадена програма за локализация TEST. В настоящата работа предлагаме резултатите от теста на веригата - електронна схема от класа на активните филтри (фиг.3). Вместо измерванията в тестовия пример се използват резултати от симулация на дефектната схема. Машинният анализ на схемата е проведен след представяне на операционните усилватели с еднополюсен макромодел (фиг.4). Симулацията на дефектната схема и диагностиката са изпълнени за честота f = 10Hz. В симулативните експерименти е заложено откриването на едно- и двукратна неизправност от вида:

- прекъснат(и) елемент(и)
- елемент(и) накъсо
- ± 10 % изменение

При проведените разнообразни тестове за откриване на единични и двойни неизправности локализираният с програмата дефект в 100% от случаите съвпада с предварително заложения. По-долу са представени някои от по-съществените резултати при локализиране на заложен дефект в елементите R1, R2, на които е зададена стойност 0,1 Ohm (късо съединение). Изведени са вектори на номиналните напрежения в изправната схема V^{mo}, векторът на измерените напрежения в дефектната схема V^{m} и резултатът от проверката на тестовото уравнение (11) за Zmx^{1}, включващо 1 ви и 3 ти стълб на Zmxo. Измерванията са направени за осем достъпни точки, посочени на фиг.4.

V^{no}	V^{m}	Проверка по (11)
9.94e-01- 1.05e-05i	1.99e-003- 2.55e-010i	4.72e-013- 2.05e-015i
2.02e-01- 8.69e-03i	9.97e-004- 2.55e-010i	9.91e-015- 7.07e-013i
1.43e-07+ 3.35e-06i	2.52e-012+ 1.65e-008i	1.29e-017+ 1.11e-018i
6.00e-08+ 1.40e-06i	1.76e-012+ 6.93e-009i	5.67e-018+ 8.98e-019i
-1.67e-02- 3.89e-01i	3.02e-003- 1.91e-003i	-1.35e-012- 2.40e-014i
8.55e-05- 3.34e-06i	1.71e-007 1.65e-008i	2.92e-017- 9.62e-019i
3.58e-05- 1.40e-06i	7.21e-008- 6.92e-009i	1.22e-017- 4.01e-019i
-9.92e+00+ 3.89e-01i	-1.99e-002+ 1.91e-003i	-3.36e-012+ 9.42e-014i

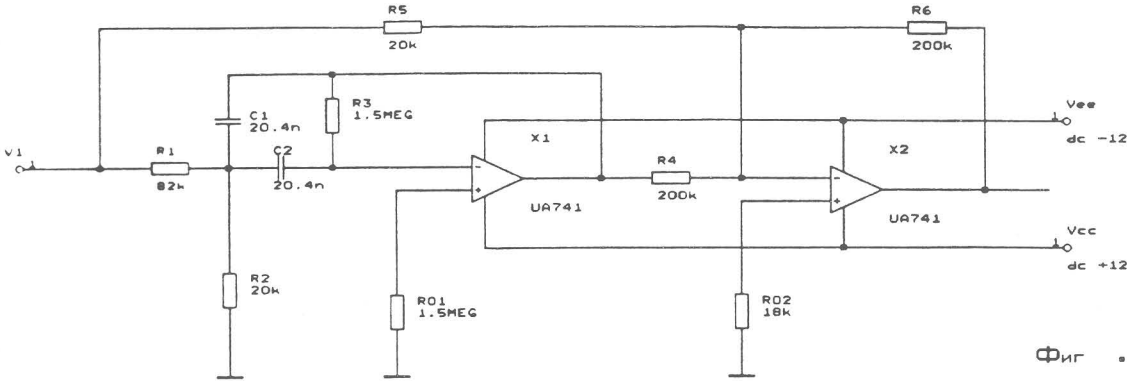
Наред със заложените в този случай програмата посочва като дефектен и елемента Rb. Това се дължи на факта, че Rb е включен паралелно на дефектните елементи, т.е. локализирана е област,включваща дефектните елементи. Необходимо е още да се подчертае, че тестовото равенство не дава резултат, тъждествено равен на нула. Това може да се обясни със зависимостта на резултата от два фактора:

- машинната нула
- отчитане допустимия толеранс на елементите

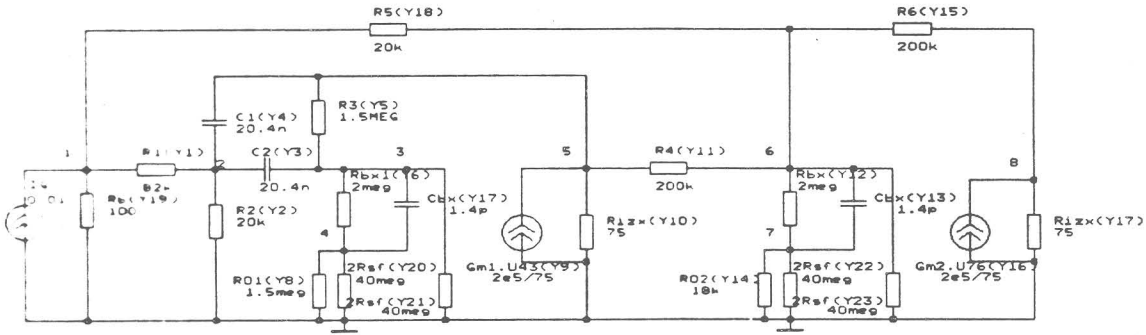
Оценката на втория фактор е твърде сложна задача, която може да бъде обект на допълнително изследване.

Използвана литературата

1. R.Biernacki, J.Bandler, "Multiple-Fault Location of Analog Circuits", IEEE, Transactions on Circuits and Systems, May 1981
2. MATLAB User's Guide, MathWorks, 1987


R5
20k
R6
200k
C1
20.4n
R3
1.5MEG
V1
R1
82k
C2
20.4n
X1
UA741
R4
200k
X2
UA741
Vee
dc -12
Vcc
dc +12
R2
20k
R01
1.5MEG
R02
18k

Фиг . 3


R5(Y18)
20k
R6(Y15)
200k
C1(Y4)
20.4n
R3(Y5)
1.5MEG
1
R1(Y1)
82k
C2(Y3)
20.4n
3
5
R4(Y11)
200k
6
8
Rb(Y19)
100
R2(Y2)
20k
Rbx1(Y6)
2meg
Cbx(Y17)
1.4p
4
Rizx(Y10)
75
Gm1.U43(Y9)
2e5/75
R01(Y8)
1.5meg
2Rsf(Y20)
40meg
2Rsf(Y21)
40meg
Rbx(Y12)
2meg
Cbx(Y13)
1.4p
7
R02(Y14)
18k
2Rsf(Y22)
40meg
2Rsf(Y23)
40meg
Gm2.U76(Y16)
2e5/75
Rizx(Y17)
75

Фиг . 4