

УДК 621.36.2

А. А. Верлань, канд. техн. наук,  
Ю. Стертен

### ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОБУЧАЮЩИХ И ПРОВЕРОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Аннотация:** Предложен метод локализации неисправных подсхем электронных устройств, который основан на принципе декомпозиции. Показано, что путем проверки определенным образом сформированных гипотез относительно состояния составных частей электронных устройств (суть — анализа их характеристик), можно выделить неисправную подсхему. Доказана эффективность метода локализации при диагностике электронных устройств.

**Ключевые слова:** диагностика, локализация неисправных подсхем, принцип декомпозиции

A. Verlan, PhD.,  
Jo. Sterten

### DIAGNOSING COMPLEX ELECTRONIC CIRCUITS BASED ON THE METHOD OF TRAINING AND TESTING CHARACTERISTICS

**Abstract.** A method for locating faulty subcircuits electronic devices, which is based on the decomposition principle. It is shown that by checking in a certain way formed hypotheses about the state of the component parts of electronic devices (essence — analysis of their characteristics), we can distinguish the faulty subcircuit. Proven effective localization method in the diagnosis of electronic devices.

**Keywords:** diagnosis, localization of faulty subcircuits, the principle of decomposition

A. A. Verlanь, канд. техн. наук,  
Ю. Стертен

### ДІАГНОСТУВАННЯ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ НА ОСНОВІ МЕТОДУ НАВЧАЮЧИХ ТА ПЕРЕВІРОЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Анотація:** Запропоновано метод локалізації несправних підсхем електронних пристроїв, який ґрунтується на принципі декомпозиції. Показано, що шляхом перевірки певним чином сформованих гіпотез відносно стану складових частин електронних пристроїв (суть — аналізу їх характеристик), можна виділити несправну підсхему. Доведено ефективність методів локалізації при діагностиці електронних пристроїв.

**Ключові слова:** діагностика, локалізація несправних підсхем, принцип декомпозиції

**Введение.** Диагностирование работоспособного состояния электронных устройств (ЭУ) различного назначения представляет собой важную техническую задачу. В постановочном плане и в процессе реализации данная задача существенно осложняется необходимостью получения оценок диагностирования непосредственно в ходе рабочего цикла электронного устройства. Особенно актуально указанный аспект решения задачи диагностики стоит для устройств, которые не могут быть выведены из эксплуатации. Например, это относится к элементам аварийной сигнализации, нерезервированным компонентам диспетчерского управления, а также устройствам, работающим в автономном режиме.

Известные к настоящему времени методы функционального и тестового диагностирования электронных устройств [1 – 12] характеризуются рядом существенных недостатков. Так, методы функционального диагностирования ограничены возможностью проведения диагностического эксперимента (например, формирование на входе подсхемы произвольного тестового сигнала), что существенно снижает эффективность диагностирования. Методы тестового диагностирования, в свою очередь, требуют выведения из эксплуатации электронного устройства, что не

позволяет использовать данные методы непосредственно в ходе рабочего цикла.

**Цель работы.** Разработка методов диагностирования, обеспечивающих, с одной стороны – максимальную полноту получаемой оценки диагностирования, а с другой стороны – проведение диагностического эксперимента непосредственно в процессе эксплуатации электронного устройства.

**Основная часть.** Рассмотрим метод локализации неисправных электронных подсхем, основанный на анализе их обучающих и проверочных характеристик (метод ОПХ) и, который, по существу, можно отнести к методам декомпозиции. Суть метода ОПХ состоит в том, что поиск неисправной электронной подсхемы  $S_i$  ( $i = \overline{1, N}$ , где  $N$  – общее число локализованных подсхем) сводится к поочередному рассмотрению гипотез  $H_i$  о неисправности. При этом если какая-либо гипотеза  $H_i$  принимается, то подсхема  $S_i$  считается неисправной.

В качестве подсхем в ЭУ выделяются только такие, для которых возможна проверка априорно принятых гипотез  $H_i$ . Выделенная подсхема представляет собой многополюсник, имеющий  $m + 1$  внешних (полюсных) узлов. Для описания подсхем необходимо иметь  $m$  независимых уравнений относительно  $2m$

переменных [13 – 14], однозначно описывающих его состояние

$$\begin{cases} \varphi_1(x_1, \dots, x_{2m}) = 0, \\ \vdots \\ \varphi_m(x_1, \dots, x_{2m}) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Переменными  $x_1, \dots, x_{2m}$  являются токи, потребляемые под схемой через полюсные узлы и напряжения между ее полюсами. При этом можно образовать различные системы из этих переменных, среди которых традиционными являются системы полюсных величин (рис. 1, а) и величин сторон многополюсника (рис. 1, б).

Для описания многополюсников можно использовать и другие системы независимых величин. В этом случае вводится понятие “обобщенной стороны” многополюсника, определяемой в виде произвольной пары его полюсов. Данной паре соответствует напряжение, равное разности потенциалов полюсов и контурный ток. Для определения системы независимых величин в графе, полученном в результате представления каждой обобщенной стороны отрезком, выбирают дерево. Всего для  $m + 1$ -полюсника можно построить  $(m + 1)^{m-1}$  систем  $2m$  независимых величин.

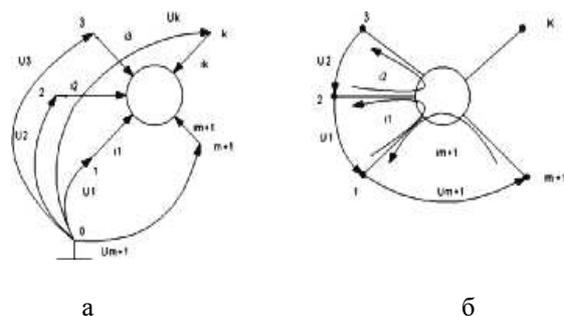


Рис. 1. Взаимосвязь переменных, характеризующих состояние электронной схемы: а – система полюсных величин; б – система величин сторон многополюсника

Если разбить  $2m$  независимых переменных на две группы по  $m$  переменных и разрешить, при возможности, систему (1) относительно одной из групп, тогда многополюсник можно описать системой уравнений вида [3]

$$\begin{cases} y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_m), \\ y_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_m), \\ \dots \\ y_m = f_m(x_1, x_2, \dots, x_m). \end{cases} \quad (2)$$

В случае, если представление вида (2) возможно, то вектор  $x = [x_1, \dots, x_m]^T$  ( $T$  – знак транспонирования) можно рассматривать как вход под схемы, а вектор  $y = [y_1, \dots, y_m]^T$  – как выход под схемы. В зависимости от вида уравнений системы (2) многополюсники разделяют на линейные и нелинейные.

Для любого линейного многополюсника с постоянными параметрами систему уравнений (1) можно представить в виде

$$Ax = C, \quad (3)$$

где  $x = x(p)$  –  $2m$ -мерный вектор изображений по Лапласу независимых переменных,  $C = C(p)$  –  $m$ -мерный вектор, соответствующий изображениям по Лапласу источников энергии, принадлежащих под схеме,  $A$  – квадратная матрица размерности  $2m \times 2m$ , элементами которой являются постоянные величины или дробно-рациональные функции от оператора  $p$ .

В зависимости от выбранной системы независимых переменных вектор  $x$  можно разбить на части

$$x = [I; U]^T, \quad (4)$$

где  $I = I(p)$ ,  $U = U(p)$  – изображения по Лапласу токов и напряжений, вошедших в выбранную систему переменных.

В соответствии с (4) систему (3) можно представить в виде

$$[M; N] \begin{bmatrix} I \\ U \end{bmatrix} = C,$$

откуда

$$MI + NU = C. \quad (5)$$

Уравнение (5) при ряде допущений позволяет получить другие формы уравнений многополюсника.

Так, в частности, если существует  $M^{-1}$ , то

$$I = -M^{-1}NU + M^{-1}C,$$

или, обозначив

$$\begin{aligned} -M^{-1}N &= Y; \\ M^{-1}C &= J, \end{aligned}$$

получим

$$I = YU + J. \quad (6)$$

Если существует  $N^{-1}$ , то

$$U = -N^{-1}MI + N^{-1}C$$

или, обозначив

$$\begin{aligned} -N^{-1}M &= Z; \\ N^{-1}C &= E, \end{aligned}$$

получим

$$U = ZI + E. \quad (7)$$

Уравнения (6) и (7) говорят о том, что как вектор токов, так и вектор напряжений можно выбирать в качестве входных или выходных сигналов для линейных под схем. Кроме того, разбивая векторы

$$\begin{aligned} I &= [I_1; I_2]^T; \\ U &= [U_1; U_2]^T, \end{aligned}$$

и обозначив

$$\begin{aligned} \xi_1 &= [I_1; U_2]^T; \\ \xi_2 &= [U_1; I_2]^T, \end{aligned}$$

можно получить гибридное уравнение для многополюсника

$$\xi_1 = D\xi_2 + d \quad (8)$$

т.е. входные и выходные векторы можно формировать из различных независимых переменных (в (8)  $D$  и  $d$  — некоторые числовые константы).

Для нелинейных подсхем будем считать, что существует система уравнений вида (2). Необходимым условием для существования системы уравнений (2) является отсутствие в рассматриваемой подсхеме источников тока и напряжения, управляемых токами или напряжениями ветвей цепи, не входящими в данный многополюсник.

Таким образом, при использовании метода ОПХ для проверки гипотезы  $H_i$ , в зависимости от того, какое представление выбрано для подсхемы  $S_i$ , необходимо определить оценку выходного сигнала  $m+1$  полюсника. Эта оценка сводится к набору из  $m$  независимых переменных, представляющих собой напряжения между полюсами подсхемы и токи, потребляемые подсхемой через полюсные узлы.

**Выводы.** Предложен метод локализации неисправных электронных схем, позволяющий аналитически (не прибегая к натурному эксперименту) определить неисправность электронной схемы, путем проверки некоторых, априорно принятых гипотез. Отличительной чертой метода является возможность декомпозиции в ходе проверки (диагностирования), что обеспечивает, с одной стороны — локализацию неисправности, а, с другой стороны — оценку «риска» диагностированной неисправности (отказа).

#### Список использовано литературы

1. Мозгалевский А. В. Диагностирование электронных схем / А. В. Мозгалевский, В. П. Калявин, Г. Г. Костанди. – С-Пб. : Судостроение, 2004. – 224 с.
2. Дубровский Л. К. Контроль работоспособности САУ с помощью эквивалентной модели / Л. К. Дубровский, А. В. Мозгалевский // Техническая диагностика. – С-Пб. : ЛЭТИ. – 1992. – Вып. 303. – С. 96 – 98.
3. Дубровский Л. К. Определение работоспособности сложных систем / Л. К. Дубровский // Методы и системы технической диагностики: сб. статей. – Саратов : СГУ. – 2011. – Вып. 2. – С. 45 – 48.
4. Дмитренко Л. Л. Формализация структурного проектирования технических средств диагностирования / Л. Л. Дмитренко, В. П. Калявин // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: сб. статей. – Харьков : Вища школа. – 2013. – С. 63 – 71.
5. Дуров А. А. Аппаратно-программный комплекс для мониторинга поверхностных электрических полей / А. А. Дуров, Н. Н. Портнягин // Вестник КамчатГТУ. – Петропавловск-Камчатский : Камчат-ГТУ. – 2002. – № 1. – С. 111 – 113.
6. Кхаин Ч. Ч. Автоматизированная обучающая система диагностирования электронных схем / Ч. Ч. Кхаин, И. В. Ашарина. – М. : МИЭТ, 2007. – 175 с.
7. Малафеев С. И. Надежность технических систем / С. И. Малафеев, А. И. Копейкин. – СПб. : Издво Лань, 2012. – 320 с. Режим доступа:

<http://e.lanbook.com/view/book/2778/> (Дата доступа 15.06.2012).

8. Половко А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров: 2-е изд.; перераб. и доп. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 702 с.
  9. Яхьяев Н. Я. Основы теории надежности и диагностика / Н. Я. Яхьяев, А. В. Кораблин. – М. : Академия, 2009. – 251 с.
  10. Гуляев Б. А. Применение нечёткой логики в управляющих и диагностических устройствах / Б. А. Гуляев // Электронное моделирование. – 1993. – С. 69 – 73.
  11. Влах И. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем / И. Влах, К. Сингхал – М. : Радио и связь, 2008. – 560 с.
  12. Donald A. Neamen, (2006), *Electronic Circuits Analysis and Design, Tata McGraw-Hill; Third Edition.* ISBN-10: 0070634335.
  13. Allan Wm. Bonnick, (1998), *Vehicle Eelectronic Systems and Fault Diagnosis, STS Press*, 225 p.
  14. William B. Ribbens, (1998), *Understanding Automotive Electronics, Butterworth-Heinemann*, 434 p.
  15. Моргунов А. П. Надежность технических устройств / А. П. Моргунов. – Омск : ОИВТ, 2013. – 191 с.
  16. Дорохов А. Н. Обеспечение надежности сложных технических систем / А. Н. Дорохов, В. А. Керножицкий, А. Н. Миронов, О. Л. Шестопалова. – СПб. : Лань, 2010. – 352 с. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/629/> (Дата доступа 12.07.2010).
  17. Белоглазов И. Н. Диагностика и надежность автоматизированных систем / И. Н. Белоглазов, А. И. Кравцов. – СПб. : Руда и металлы, 2004. – 167 с.
  18. Глазунов Л. П. Теория надежности автоматизированных систем управления. – СПб. : Энергоатомиздат, 2014. 208 с.
  19. Михаэль А. Бенкс. Техническая диагностика: пер. с англ. – К. : ВЕК, 2010. – 269 с.
- Получено 30.05.2015
- #### References
1. Moskalevski A.V., Kalabin V. P. and Kostandi G. G. *Diagnostirovanie elektronnykh skhem* [Diagnostics of Electronic Circuits], (2004), St.Petersburg, Russian Federation, *Sudostroenie*, 224 p. (In Russian).
  2. Dubrovsky L.K., and Moskalevski A.V. *Kontrol' rabotosposobnosti SAU s pomoshch'yu ekvivalentnoi modeli* [Performance Monitoring of ACS, using the Equivalent Model]. (1992). St.Petersburg, Russian Federation, *Technical Diagnostics*, Vol. 303, pp. 96 – 98 (In Russian).
  3. Dubrovsky L.K. *Opreделение rabotosposobnosti slozhnykh sistem* [Assessing the Performance of Complex Systems], (2011), Saratov, Russian Federation, *Methods and Systems of Technical Diagnostics. Sat.Articles*, Vol. 2, pp. 45 – 48 (In Russian).
  4. Dmitrenko L.L., and Kasvin V.P. *Formalizatsiya strukturnogo proektirovaniya tekhnicheskikh sredstv diagnostirovaniya* [Formalization Structural Design of

Technical Means of Diagnosis], (2013), Kharkov, Ukraine, *Automated Control Systems and Devices: SB. Articles, Vishcha School*, pp. 63 – 71 (In Russian).

5. Durov A.A., and Portnyagin N.N. Apparato-programmnyi kompleks dlya monitoringa poverkhnostnykh elektricheskikh polei [Hardware-software Complex for Monitoring of Surface Electric Fields], (2002), Petropavlovsk-Kamchatka, Russian Federation, *Bulletin Kamchatka-GTP*, No. 1, pp. 111 – 113 (In Russian).

6. Chain H.H., and Asarina I.V. Avtomatizirovannaya obuchayushchaya sistema diagnostirovaniya elektronnykh skhem [Automated Training System for Diagnosing Electronic Circuits], (2007), Moscow, Russian Federation, *MIET*, 175 p. (In Russian).

7. Malafeev S.I., and Kopeikin A.I. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem [Reliability of Technical Systems], (2012), St.Petersburg, Russian Federation *Publishing house of the Deer*. 320 p. (In Russian), available at: <http://e.lanbook.com/view/book/2778/> (accessed 15.06.2012).

8. Polovko A.M., and Gurov S.V. Osnovy teorii nadezhnost' [Fundamentals of Reliability Theory], (2006), St.Petersburg, Russian Federation, *BHV-Petersburg*, 702 p. (In Russian).

9. Ziya N.I., and Korablin A.V. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostikai [Foundations of the Theory of Reliability and Diagnostics], (2009), Moscow, Russian Federation, *Academy*, 251 p. (In Russian).

10. Gulyaev B. A. Primenenie nechetkoi logiki v upravlyayushchikh i diagnosticheskikh ustroystvakh [Application of Fuzzy Logic in Control and Diagnostic Devices], (1993), Moscow, Russian Federation, *Electronic Modeling*, pp. 69 – 73 (In Russian).

11. Vlach I., and Singhal K. Mashinnye metody analiza i proektirovaniya elektronnykh skhem [Machine Methods of Analysis and Design of Electronic Circuits], (2008), Moscow, Russian Federation, *Radio and Communication*, 560 p. (In Russian).

12. Donald A. Neamen, (2006), *Electronic Circuits Analysis and Design, Tata McGraw-Hill; Third Edition*, ISBN-10: 0070634335.

13. Allan Wm. Bonnick, (1998), *Vehicle Electronic Systems and Fault Diagnosis*, *STS Press*, 225 p.

14. William B. Ribbens, (1998), *Understanding Automotive Electronics*, Butterworth-Heinemann, 434 pp.

15. Morgunov A. P. Nadezhnost' tekhnicheskikh ustroystv [Reliability of Technical Devices], (2013), Omsk, Russian Federation, *OIVT*, 191 p. (In Russian).

16. Dorokhov A.N., Kernozhitski V.A., Mironov A.N., and Shestopalov O.L. Obespechenie nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Ensuring the Reliability of Complex Technical Systems], (2010), St.Petersburg, Russian Federation, *Lan*. 352 pp. (In Russian), available at: <http://e.lanbook.com/view/book/629/> (accessed 12.07.2010).

17. Beloglazov I. N. and Kravtsov A. I. Diagnostika i nadezhnost' avtomatizirovannykh sistem [Diagnostics and Reliability of Automated Systems], (2004), St.Petersburg, Russian Federation, *Ore and Metals*, 167 p. (In Russian).

18. Glazunov L. P. Teoriya nadezhnosti avtomatizirovannykh sistem upravleniya [Theory of Reliability Automatic Shut-specialized Control Systems], (2014), St.Petersburg, Russian Federation, *Energoatom Publishing*, 208 p. (In Russian).

19. Michael A. Banks. Tekhnicheskaya diagnostika: per. s ang. [Technical Diagnostics: trans. with eng.], (2010), Kiev, Ukraine, *BEK*, 269 p. (In Russian).



Верлань  
Андрей Анатольевич, к.т.н.,  
с.н.с. Национального технического  
ун-та Украины «КПИ»,  
пр. Победы, 37, г. Киев,  
Украина  
тел.: +38-050-594-94-41.  
E-mail:  
verlandr@gmail.com



Стертен  
Ю., доцент факультета техно-  
логии, экономики и менедж-  
мента университета.  
г. Йовика, Teknologivn. 22,  
2815, г. Йовик, Королевство  
Норвегия,  
тел.: +47- 611-35-2-87.  
E-mail:  
jo.sterten@hig.no