

УДК 621.378.001

Дао Ань Куан, А. С. Увайсова, С. К. Демченко, Лэ Куок Хань Фам

Алгоритм Кохонена в задачах классификации дефектов печатных узлов

Диагностика дефектов в электронных устройствах – важная задача обеспечения надежной работы системы. Для неразрушающего теплового контроля в процессе автоматизированной диагностики используется инфракрасный термограф. При моделировании тепловых процессов и последующего их анализа применяются современные пакеты термического анализа Solidworks, Ansys, а также программное обеспечение для моделирования Multisim, Pspice. Для классификации и обнаружения дефектов в исследуемом электронном устройстве применен алгоритм Кохонена.

Ключевые слова: диагностирование, алгоритм Кохонена, тепловая модель, латентный дефект, термограмма, радиоэлектронная аппаратура

Об авторах

Куан Дао Ань – аспирант 3-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

Хань Фам Лэ Куок – аспирант 4-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

Демченко Сергей Константинович – аспирант 2-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА. *E-mail:* skdemchenko@ya.ru. Москва, Проспект Вернадского, д. 78.

Увайсова Аида Сайгидовна – аспирант 4-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

В настоящее время диагностика дефектов в электронных устройствах играет важную роль в повышении качества и надежности системы. Метод диагностики на основе температуры является наиболее широко используемым методом и имеет множество преимуществ. Тепловой метод основан на анализе тепловых излучений деталей, элементов или устройств при их функционировании. Изменение тепловых характеристик теплового излучения свидетельствует об изменении режима работы устройства. Для отдельных деталей и элементов увеличение интенсивности их теплового излучения характеризует локальные тепловые перегревы, связанные с наличием дефектов или неоднородности. Своевременное обнаружение этих дефектов позволяет принять меры по предупреждению выхода из строя деталей устройства в целом.

Использование температурного метода в сочетании с алгоритмом Кохонена для обнаружения дефектов на плате повысит надежность, скорость и точность диагностики.

Структурная схема классификации дефектов печатных узлов с применением метода Кохонена

Структурная схема классификации дефектов печатных узлов с применением метода Кохонена показана на рис. 1. По принципиальной схеме строится электрическая модель, позволяющая имитировать работу схемы. Для этого применяют специализированное программное обеспечение Multisim, Spice. В ходе моделирования удалось получить значения мощностей электронных компонентов, которые вместе с температурной моделью и списком дефектов являются исходными данными для моделирования тепловых процессов и нахождения температурных градиентов в печатном узле с помощью программного обеспечения FloTHERM PCB. По результатам моделирования разрабатывается база данных, содержащая экземпляры записей с описанием дефектов электронного средства. Эта база данных является основой для построения сети Кохонена и дальнейшего ее обучения. После обучения сеть будет использоваться в задачах идентификации для классификации и обнаружения дефектов на печатной плате.

Процесс идентификации заключается в следующем: тепловое исследование печат-

ного узла посредством тепловизионных камер или тепловых датчиков позволяет получить значения температуры всех компонентов, размещенных на нем. Эта информация вводится в идентификационную модель для обнаружения дефектов на печатной плате.

Анализ принципа работы схемы с помощью программы Multisim

В качестве объекта исследования выбрана схема усилителя. На основе принципиальной схемы создана имитационная модель в программном комплексе Multisim (рис. 2).

По результатам моделирования проведен анализ сигналов, как показано на рис. 3.

В проводимом исследовании были смоделированы следующие дефекты: Q3 не работает, Q6 не работает и Q8 не работает, и ситуация, когда схема работает нормально без дефектов (рис. 4). Последовательно выполняется моделирование каждого режима. После моделирования процесса получены значения потребляемой мощности в каждом случае, указанные в табл. 1.

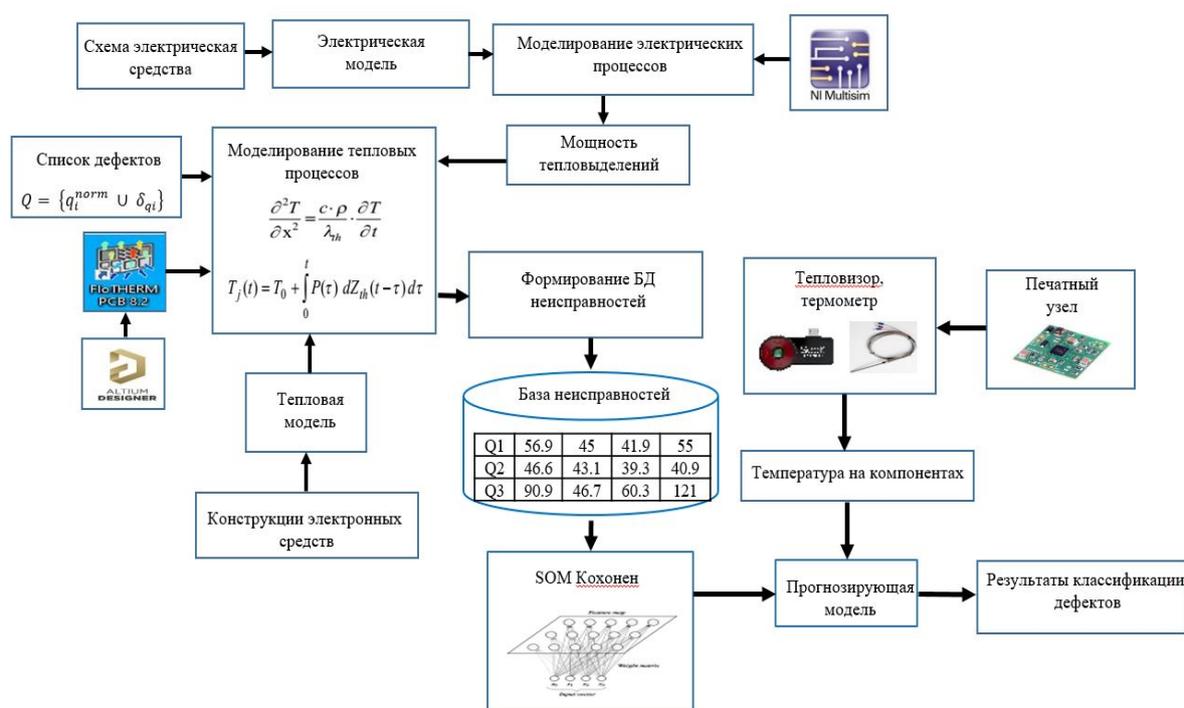


Рис. 1. Структурная схема классификации дефектов печатных узлов с применением метода Кохонена

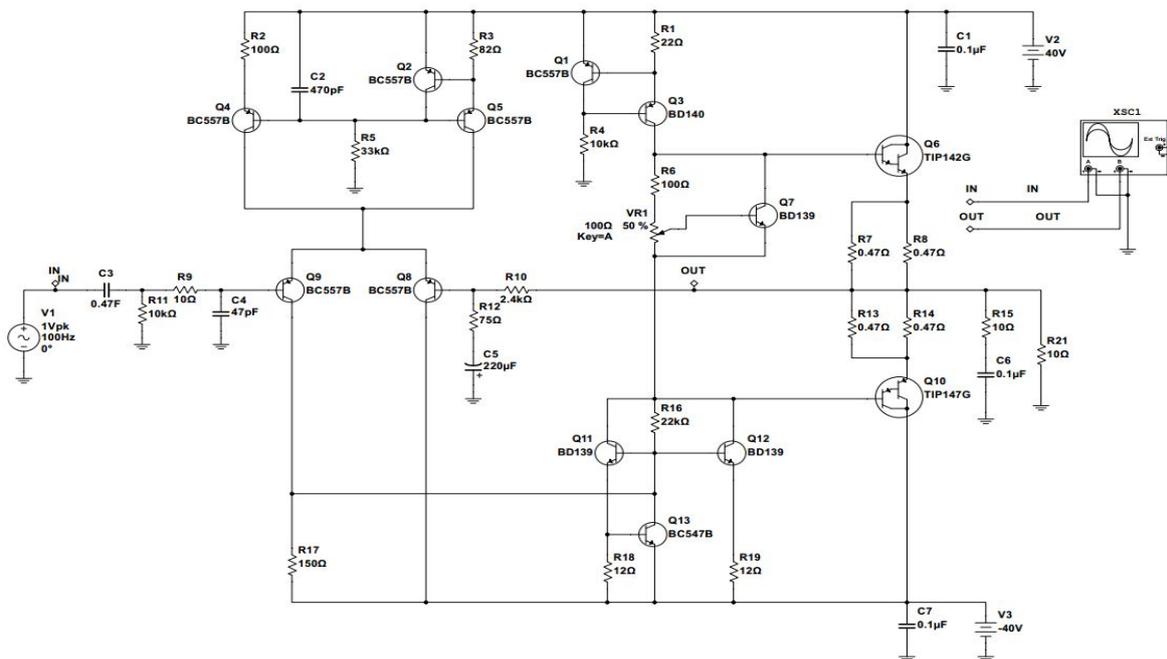


Рис. 2. Синтез электрической принципиальной схемы РЭС в среде Multisim

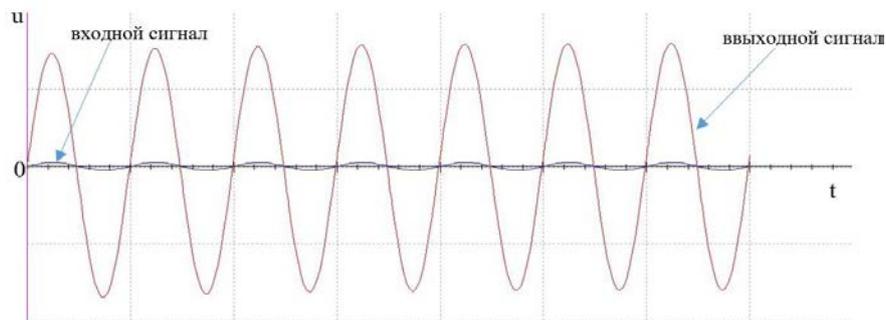


Рис. 3. Анализ сигналов в схеме

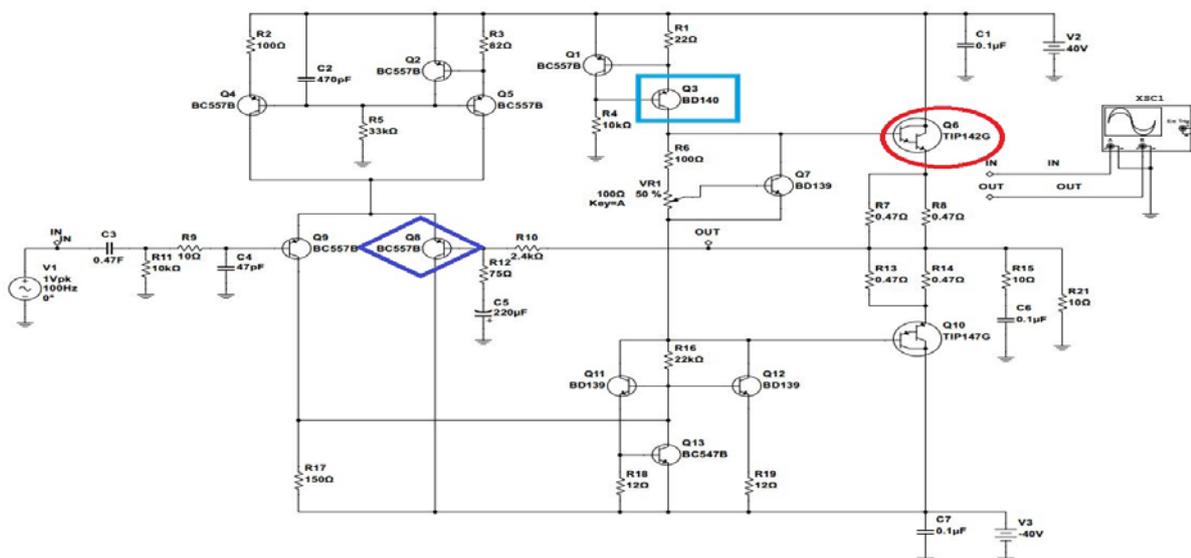


Рис. 4. Дефектное расположение компонентов на принципиальной схеме

Таблица 1. Потребляемая мощность компонентов печатной платы в каждом случае

Компонент	Мощность в нормальном режиме, mW	Мощность (дефект на транзисторе Q3, mW)	Мощность (дефект на транзисторе Q6, mW)	Мощность (дефект на транзисторе Q8, mW)
Q1	5.27	4.52	2.02	5.25
Q2	1.58	1.57	1.58	1.58
Q3	1240	0	628	2460
Q4	258	403	262	255
Q5	311	486	316	307
Q6	14700	0	0	0
Q7	49.4	0	20	51.3
Q8	428	281	515	0
Q9	169	86.4	74.4	592
Q10	14700	38600	11200	8530
Q11	558	0	165	3.25
Q12	558	0	165	3.25
R1	23.1	0	11	23.1
R2	4.5	4.47	4.5	4.49
R3	5.36	5.33	5.36	5.34
R4	149	0	151	149
R5	4.51	4.52	4.54	4.5
R6	19.2	0	11.9	19.3
R7	289	0	0	0
R8	289	0	0	0
R10	201	0	33.9	0
R13	316	557	105	1590
R14	316	557	105	1590
R15	2	0	0	0
R16	88	11.1	180	0
R17	4.95	0	3.11	6.19
R18	2.83	0	1.16	5.11
R19	2.83	0	1.16	5.11
VR1	19	0	11.8	19

Анализ температуры в печатном узле с помощью программного обеспечения FloTHERM

Для построения модели схемы в исследовании применены программные продукты

Altium Designer и Solidworks (рис. 5), затем для моделирования температурного процесса на печатной плате в каждом конкретном случае использовалось программное обеспечение floTHERM PCB (рис. 6–9).

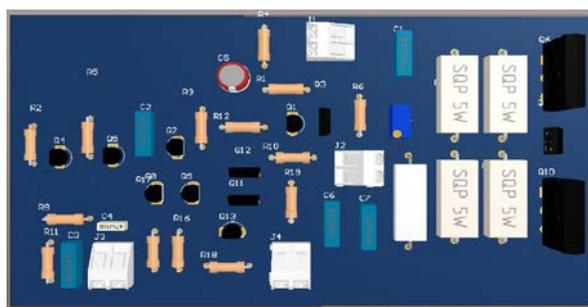


Рис. 5. Разработка 3D-модели печатного узла в САПР SolidWorks

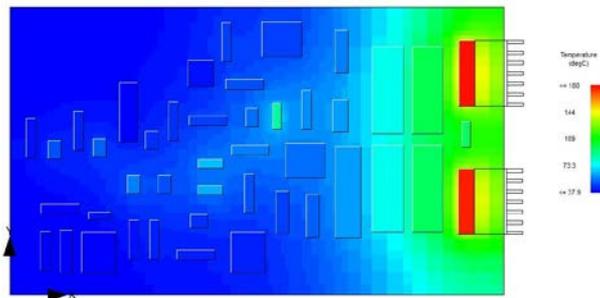


Рис. 6. Тепловое изображение при нормальной работе цепи

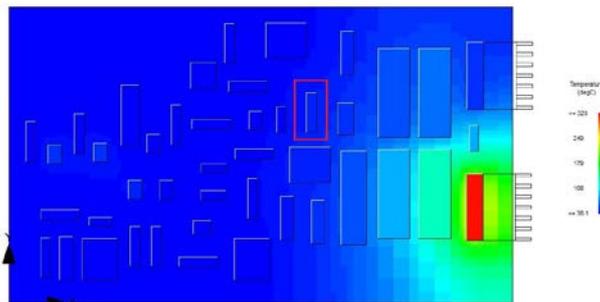


Рис. 7. Тепловое изображение печатной платы при неработающем транзисторе Q3

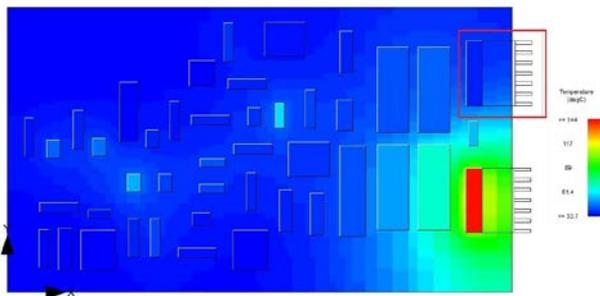


Рис. 8. Тепловое изображение печатной платы при неработающем транзисторе Q6

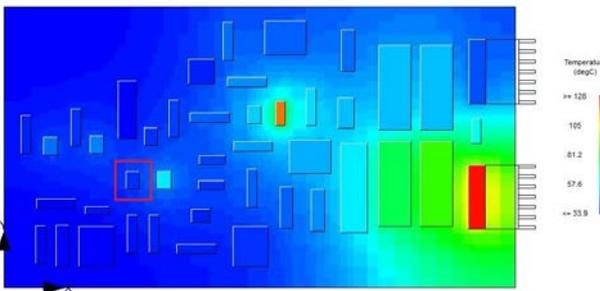


Рис. 9. Тепловое изображение печатной платы при неработающем транзисторе Q8

Результатом моделирования в ПО FloTHERM PCB стали температуры компонентов на печатной плате для каждого конкретного случая (табл. 2), которые послужили осно-

вой для создания базы данных дефектов электронного средства. В сочетании с алгоритмом Кохонена она применяется для классификации и обнаружения дефектов.

Таблица 2. Температура компонентов печатной платы в каждом случае

Компонент	Температура в нормальном режиме, °С	Температура (дефект на транзисторе Q3, °С	Температура (дефект на транзисторе Q6, °С	Температура (дефект на транзисторе Q8, °С
Q1	56.9	45	41.9	55
Q2	46.6	43.1	39.3	40.9
Q3	90.9	46.7	60.3	121
Q4	51.3	57.9	47.1	46.9
Q5	53.6	59.1	49	48.4
Q6	180	56.5	40.2	43.2
Q7	98.1	95.2	56.7	60.7
Q8	58.6	51.5	55.4	41
Q9	53.3	45.3	43	58.3
Q10	179	320	144	128
Q11	65.4	40.7	43.3	40
Q12	67	41.5	44.1	42.1
R1	52.7	43.5	40	49.6
R2	42.8	45	38.5	38.6
R3	47.5	42.3	38.7	41.7
R4	50.2	41.4	40.7	46.1
R5	44.6	46.5	40	40.1
R6	60.7	51.5	42.8	56.5
R7	100	74	47.3	54.4
R8	79.1	66.5	44.7	53.5
R10	60	46.1	42.1	50.6
R13	98.9	133	69.7	87.1
R14	77.9	92.7	54.1	76.3
R15	63.1	68.2	45.8	58.1
R16	46.4	41.5	42.4	38.6
R17	43.8	41	39.2	37.6
R18	44.8	41.6	37.7	38.8
R19	52.7	46	39.8	45
VR1	63.3	57.9	43	53.4

Самоорганизующиеся карты Кохонена

SOM – это искусственная нейронная сеть, основанная на обучении без учителя. В картах самоорганизации нейроны помещены в узлах решетки, обычно одно- или двумерной. Все нейроны этой решетки связаны со всеми узлами входного слоя.

Цель этих сетей – сгруппировать или классифицировать входные данные, при этом

аналогичные входные данные должны быть отнесены к одной и той же категории. Эти категории определяются одной и той же сетью на основе корреляции входных данных. Важной особенностью SOM является преобразование большого количества входных данных в карту низкой размерности (обычно двухмерную) на выходе.

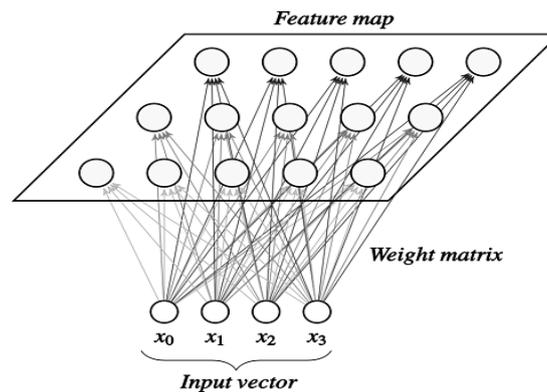


Рис. 10. Модель самоорганизованной карты Кохонена

SOM строится с нейронами в виде матрицы и все они возбуждаются входным сигналом. Важной частью сети является механизм, который для каждого нейрона определяет степень сходства его весов с входным сигналом и вычисляет нейрон с лучшим совпадением – победитель. Наконец, сеть имеет возможность адаптироваться к нейрону-победителю и его соседям, чтобы осуществлять самоорганизацию. Таким образом, топология сети зависит от силы, с которой она реагировала на входные данные. Тогда можно предположить, что сеть устроена, если топологические соотношения между входными сигналами и их изображениями одинаковы. SOM имеет возможность сокращения (преобразования) большого количества входных данных в меньшее количество выходных данных (кластеров), что приводит к сетевой архитектуре двух уровней: входного и выходного. Входные блоки полностью соединены с весами с выходным блоком, которые показаны на рис. 10.

Алгоритм обучения основан на представлении признаков на входе SOM, и он может быть найден и может быть кратко процитирован следующим образом:

– шаг 1 – инициализация: для всех векторов синаптических весов:

$$W_j = [\omega_{j1}, \omega_{j2}, \dots, \omega_{jm}]^{-T} \quad j = 1, 2, \dots, 1,$$

где 1 – общее количество нейронов; m – размерность входного пространства;

– шаг 2 – подборка: выбираем вектор $u = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ из входного пространства;

– шаг 3 – поиск победившего нейрона или процесс конкуренции: находим наиболее подходящий (победивший нейрон) $i(x)$ на шаге n , используя критерий минимума Евклидова

расстояния (что эквивалентно максимуму скалярных произведений $w_j^T x$):

$$i(x) = \arg \min \|x - w_j\|, \quad j = 1, 2, \dots, 1,$$

$$\|x - y\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^2};$$

– шаг 4 – процесс кооперации:

$$h_{j,i} = \exp\left(-\frac{d_{j,i}^2}{2\sigma^2}\right),$$

$$d_{j,i}^2 = |r_j - r_i|^2,$$

$$\sigma(n) = \sigma_0 \exp\left(-\frac{n}{\tau_1}\right), \quad n = 0, 1, 2, \dots,$$

где: $d_{j,i}$ – это латеральное расстояние между победившим i и соседними нейронами j ; где σ – эффективная ширина; τ_1 – некоторая константа; n – шаг обучения; σ_0 – начальное значение σ ;

– шаг 5 – процесс адаптации кооперации:

$$W_j(n+1) = w_j(n) + \eta(n) h_{j,i}(n) (x - w_j(n)),$$

$$\eta(n) = \eta_0 \exp\left(-\frac{n}{\tau_2}\right), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

После обновления весов возвращаемся к шагу 2 и так далее.

Заключение

В данной статье представлены результаты моделирования и анализа работы схемы усилителя в среде Multisim. С использованием ПО FloTHERM определены температуры компонентов печатного узла в нормальном рабочем режиме и при возникновении неисправностей компонентов. Затем на основе созданной базы неисправностей с применением метода Кохонена распознаются дефекты исследуемого узла.

Библиографический список

1. Валяев Е.А. Нейросетевой каскад на основе самоорганизующихся карт Кохонена // Высокие технологии и инновации в науке; национальная безопасность России: актуальные аспекты. Казань: ГНИИ «Нацразвитие», 2019. С. 192–204.

2. Горбаченко В.И., Ахметов Б.С., Кузнецова О.Ю. Интеллектуальные системы: нечеткие системы и сети. М.: Юрайт, 2019. 105 с. – URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/444125> (дата обращения: 10.01.2020).

3. Кохонен Т.К. Самоорганизующиеся карты. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 655 с.

4. Сулейманов С.П., Долматов А.В., Увайсов С.У. Теплое диагностирование радиоэлектронных устройств // Радиовысотометрия–2004 : тр. Первой Всеросс. науч. конф.

/ под ред. А.А. Иофина, Л.И. Пономарева. Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2004. С. 55–59.

5. Хайкин С.Э. Нейронные сети. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.

6. Юрков Н.К., Исаев С.С. Методика тепловизионного контроля неисправностей печатных узлов РЭА на этапе производства // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2013. Т. 2. С. 92–95.

7. Beale M.H., Hagan M.T., Demuth H.B. Neural Network Toolbox. User's Guide. Natick: Math Works, Inc., 2015.

8. Tian Jing, Azarian Michael H., Pecht Michael. Anomaly Detection Using Self-Organizing Maps Based K-Nearest Neighbor Algorithm. – Center for Advanced Life Cycle Engineering (CALCE), University of Maryland, College Park, MD, 20742, U.S.A.

*Поступила в редакцию
27.11.2020*