

DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-2-38-41

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ МЕТОДОМ

© Владимир Владимирович Семенов, Юрий Георгиевич Асцатуров,
Юрий Борисович Ханжонков¹

¹ Донской государственный технический университет, г. Шахты, Россия; e-mail: vvsemenov@mail.ru

*Статья поступила 29 марта 2018 г. Поступила после доработки 17 декабря 2018 г.
Принята к публикации 19 декабря 2018 г.*

Предложен оптико-электронный метод для фиксации пылеотложения на печатных платах радиоэлектронной аппаратуры, на основе которого с учетом разработанной математической модели, диаграмм функционирования, схемы движения световых лучей рассмотрены конструкция и блок-схема алгоритма управляющей программы микроконтроллера возможной экспериментальной установки. Принцип работы метода следующий. Световые импульсы периодически излучаются двумя светодиодами с длиной волны $\lambda_1 = 565$ нм (для оценки уровня пылеотложения) и двумя светодиодами с длиной волны $\lambda_2 = 930$ нм (для учета степени влажности). Отраженные сигналы от трех пластин принимаются фотодиодом. Первая и вторая пластины имеют искусственно нанесенный максимальный уровень запыленности (влажность 10 и 90 % соответственно) и находятся в герметичном корпусе. Третья пластина — контрольная. Пластины выполнены из того же материала, что и печатная плата. Уровень запыленности (массовая концентрация на единицу площади), вызывающий токи утечки между проводниками печатной платы, определяется экспериментально. Он зависит от минимального расстояния между печатными проводниками, по которым протекает ток в данной радиоэлектронной аппаратуре, и толщины слоя осевшей на этих проводниках пыли при максимально допустимой степени влажности.

Ключевые слова: печатная плата; радиоэлектронная аппаратура; оптико-электронный метод обнаружения пылеотложения; оптико-электронное устройство; токи утечки; сигнализация.

DETERMINATION OF THE DUST LEVEL ON PRINTED CIRCUIT BOARDS OF ELECTRONIC EQUIPMENT BY THE OPTICAL-ELECTRONIC METHOD

© Vladimir V. Semenov, Yury G. Astsaturov, Yury B. Khanzhonkov¹

¹ Don State Technical University, g. Shakhty, Russia; e-mail: vvsemenov@mail.ru

Received March 29, 2018. Revised December 17, 2018. Accepted December 19, 2018.

An optoelectronic method for detecting dust deposition on printed circuit boards (PCB) of electronic equipment, which can be used to inform about the critical thresholds of dust accumulation is developed with allowance for the humidity index. The proposed method in combination with the developed mathematical model, functioning diagrams, and light beam motion patterns is used to consider a possible construction and block diagram of the algorithm of control program for the microcontroller of desired implementation of the experimental setup. The principle of operation of the optoelectronic method for detecting dust depositions on printed circuit boards of electronic equipment with allowance for the humidity is following. The light pulses are periodically emitted by two LEDs with a wavelength $\lambda_1 = 565$ nm (to assess the level of dust deposition) and two LEDs with a wavelength $\lambda_2 = 930$ nm (to take into account the level of humidity). The reflected signals from the three plates are taken by the photodiode. The first and second plates placed in a sealed enclosure have an artificially deposited maximum level of dust (humidity 10 and 90%, respectively). The third plate is a control. The third platinum is the control plate. The plates and PCB are made of the same materials. The level of deposited dust (mass concentration per unit area) which triggers the leakage currents between the conductors of the printed circuit board is determined experimentally and depends on the minimum distance between the printed conductors, through which the maximum current flows in a given electronic equipment and on the thickness of the dust layer deposited on the conductors at the maximum permissible humidity specified for the equipment.

Keywords: printed circuit board; electronic equipment; optoelectronic method for detecting dust deposition; optoelectronic device; leakage currents, signaling.

Надежность функционирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) зависит от ее своевременного технического обслуживания, включающего в том числе и удаление пылеотложений. Пыль способствует накоплению электропроводного слоя и появлению токов утечки в твердых изоляционных материалах, снижает сопротивление изоляции [1].

В РЭА часто возникает проблема пылеотложения на печатных платах, что может приводить к выходу аппаратуры из строя [2]. Возникающие при высоком уровне запыленности и неблагоприятном долговременном воздействии влажности (свыше 70 %) токи утечки могут нарушать режим работы в цепях и каскадах с малым токовым потреблением [3].

Загрязнение сухой пылью поверхности диэлектрика не приводит к заметному повышению токов утечки. Однако при увлажнении пылевого слоя электрическое сопротивление между проводниками печатной платы существенно снижается, а токи утечки растут.

Образующаяся неоднородная пленка из водорастворимых составляющих загрязняющего вещества имеет малое удельное сопротивление. Вследствие этого токи утечки по поверхности диэлектрика возрастают и на отдельных участках поверхности из-за неоднородности пленки происходит подсушка. На подсушенном участке токи уменьшаются.

Если промежуток между проводниками печатной платы подсушивается неравномерно, то при появлении малого зазора между проводящими поверхностями возможно возникновение электрической дуги. Условие возникновения дуги, по которому можно определить расстояние между проводниками при заданном напряжении (когда возможен электрический пробой), описывается выражением

$$d \leq U/E_{\text{пр}},$$

где d и U — расстояние и напряжение между проводниками; $E_{\text{пр}}$ — пробивное значение напряженности электрического поля.

В силу инерционности процесса напряжение перекрытия импульсных токов выше, чем постоянных, и определяется формулой [4]

$$U_{\text{пер}} \approx k \left(\frac{\rho}{\Delta S_{\text{п}}} \right)^{0,4} L,$$

где k — экспериментально определяемый коэффициент; ρ — удельное сопротивление; Δ — толщина пленки из водорастворимых составляющих загрязняющего вещества; $S_{\text{п}}$ — площадь поверх-

ности диэлектрика между проводниками печатной платы; L — длина пути утечки.

Цель работы — определение максимально допустимого уровня пылеотложения, при котором могут возникать токи утечки, приводящие к выходу из строя РЭА, оптико-электронным методом.

Предлагаемый оптико-электронный метод обнаружения пылеотложения на печатных платах РЭА заключается в следующем. Четыре светодиода (два с длиной волны $\lambda_1 = 565$ нм — для учета уровня пылеотложения и два с $\lambda_2 = 930$ нм — для оценки степени влажности) периодически излучают световые импульсы. Отраженные от трех пластин сигналы принимаются фотодиодом. Первая и вторая пластины имеют искусственно нанесенный максимальный уровень запыленности (влажность 10 и 90 % соответственно) и находятся в герметичном корпусе, третья — контрольная. Пластины выполнены из того же материала, что и печатная плата. Фотодиод регистрирует поступающие под углом к оптической оси отраженные от пластин излучения: сначала с λ_1 , затем — с λ_2 . Далее излучения сравниваются. В результате происходит определение уровня пылеотложения и фиксируется влажность [5–10].

Функциональная схема оптико-электронного устройства и схема движения световых лучей представлены на рис. 1.

Световые импульсы от источников 1–4, отражаясь от системы зеркал 8 и пластин 5–7 (5 и 6 — герметично закрыты в корпусе устройства, 7 — контрольная, находится вне корпуса), принимаются фотоприемником 9. Микроконтроллер

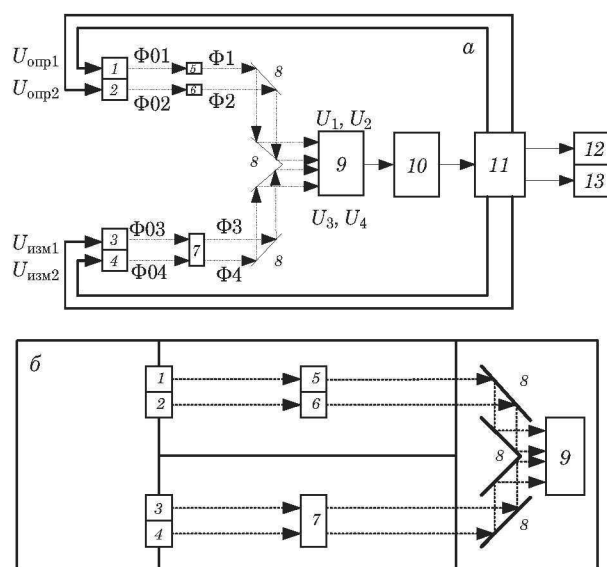


Рис. 1. Функциональная схема оптико-электронного устройства (а) и схема движения световых лучей (б)

11 поочередно посылает импульсы на пары светодиодов: $U_{\text{опр}}$ — на светодиоды 1, 2; $U_{\text{изм}}$ — на 3, 4. Сигналы после усиления усилителем 10 сравниваются в микроконтроллере, который при превышении допустимых уровней запыленности и влажности может соответственно включить индикатор 12 или с помощью электронного ключа 13 отключить нагрузку.

Прошедшие через пластины световые потоки можно описать следующими зависимостями [11]:

$$\Phi_1 = \Phi_{01} e^{-K_1 m_1}, \quad (1)$$

$$\Phi_2 = \Phi_{02} e^{-K_2 m_2}, \quad (2)$$

$$\Phi_3 = \Phi_{03} e^{-K_1 m_1} e^{-K_3 m_3}, \quad (3)$$

$$\Phi_4 = \Phi_{04} e^{-K_2 m_2} e^{-K_3 m_3}, \quad (4)$$

где Φ_{01} , Φ_{02} , Φ_{03} , Φ_{04} — начальные значения потоков; K_1 , K_2 , K_3 — коэффициенты передачи опорного и измерительных каналов; m_1 , m_2 , m_3 — массы вещества и контролируемых компонент.

Далее потоки принимаются фотоприемником и преобразуются в электрические сигналы, которые описываются формулами [12]:

$$U_1 = S\Phi_{01} e^{-K_1 m_1 \alpha}, \quad (5)$$

$$U_2 = S\Phi_{02} e^{-K_2 m_2 \alpha}, \quad (6)$$

$$U_3 = S\Phi_{03} e^{-K_1 m_1 \alpha} e^{-K_3 m_3 \alpha}, \quad (7)$$

$$U_4 = S\Phi_{04} e^{-K_2 m_2 \alpha} e^{-K_3 m_3 \alpha}, \quad (8)$$

где S , α — чувствительность и показатель нелинейности фотоприемника.

На рис. 2 приведены временные диаграммы напряжений ($U_{\text{опр}}$ и $U_{\text{изм}}$ — напряжения, подаваемые на опорные и измерительные каналы соответственно). Видно, что для корректной работы метода необходимо задать некоторое пороговое напряжение, зависящее от состава пыли и определяемое экспериментально.

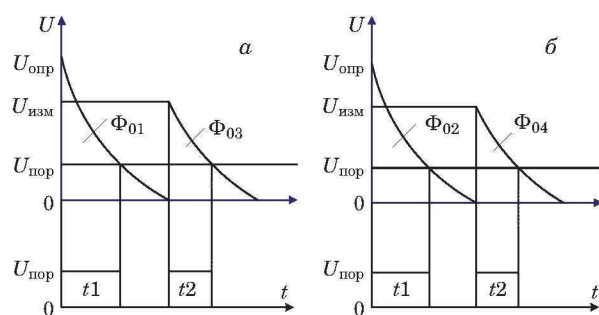


Рис. 2. Временные диаграммы напряжений

Блок-схема алгоритма управляющей программы микроконтроллера опико-электронного устройства приведена на рис. 3.

Программа работает следующим образом. При включении питания импульсы от микроконтроллера 11 подаются на светодиоды 1 и 3, затем они обрабатываются и временно сохраняются. Далее импульсы от микроконтроллера посылаются на светодиоды 2 и 4. Световые потоки от светодиодов 2 и 4, отраженные от пластин и системы зеркал, обрабатываются фотоприемником 9 и после усилителя фиксируются в памяти микроконтроллера.

Пары сохраненных сигналов сравниваются с использованием условий $S_1(t) - S_3(t) < 0$ и $S_2(t) - S_4(t) < 0$. Если первое условие выполняется, то происходит включение индикации 12 (сигнал о высоком уровне пылеотложения). Если — второе (при критическом пылеотложении), то активизируется пороговое устройство отключения нагрузки 13. В случае если ни одно из условий не выполняется, то сохраненные данные сбрасываются и цикл начинается сначала.

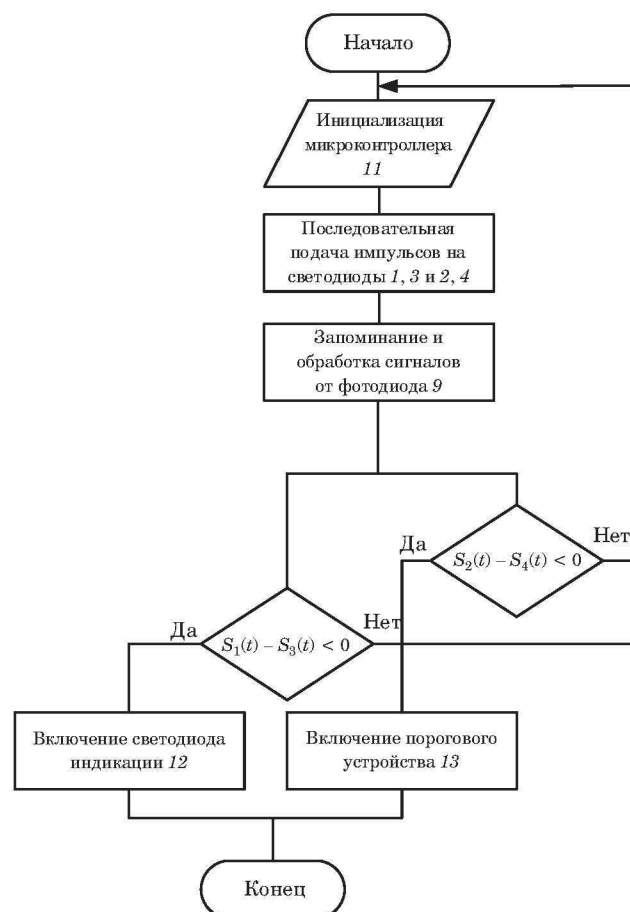


Рис. 3. Блок-схема алгоритма управляющей программы микроконтроллера

Таким образом, предложенные оптико-электронный метод и устройство на его основе позволяют определять уровень запыленности, вызывающий токи утечки между проводниками печатной платы, в зависимости от минимального расстояния между печатными проводниками, по которым протекает ток в данной РЭА, и толщины слоя осевшей на них пыли при максимально допустимой влажности [13]. Также устройство обеспечивает индикацию повышенного уровня пылеотложения и отключение РЭА при достижении предельного порога влажности пылевого слоя, предохраняя тем самым от токов утечки, повышая общую надежность функционирования аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астафьев А. В. Окружающая среда и надежность радиотехнической аппаратуры. — М.: Энергия, 1965. — 359 с.
2. Справочник конструктора РЭА. Общие принципы конструирования / Под ред. Р. Г. Варламова. — М.: Сов. радио, 1980. — 480 с.
3. Билибин К. И., Власов А. И., Журавлева Л. В. и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: учебник для вузов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 528 с.
4. Справочник по электротехническим материалам. В 3 т. / Под ред. Ю. В. Корицкого и др. 3-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 368 с.
5. Семенов В. В., Асатуров Ю. Г., Ханжонков Ю. Б. Устройство для обнаружения пылеотложения на печатных платах радиоэлектронной аппаратуры / 11-я международная науч.-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности»: сб. тр. — СПб.: Изд-во политехнического университета, 2011. С. 175 – 176.
6. Пат. 2426982 РФ, МПК G 01 N 21/94. Способ обнаружения пылеотложения на печатных платах радиоэлектронной аппаратуры / Семенов В. В., Асатуров Ю. Г., Ханжонков Ю. Б., Шанстный Д. А.; заявитель и патентообладатель Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса. — № 2009125424/28; заявл. 02.07.2009; опубл. 20.08.2011. Бюл. № 23.
7. Пат. 2503952 РФ, МПК G 01 N 21/94. Устройство обнаружения пылеотложения на печатных платах радиоэлектронной аппаратуры / Семенов В. В., Медведев П. А.; заявитель и патентообладатель Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса. — № 2012116304/28; заявл. 23.04.2012; опубл. 10.01.2014. Бюл. № 1.
8. Пат. 2503951 РФ, МПК G 01 N 21/94. Способ обнаружения пылеотложения на печатных платах радиоэлектронной аппаратуры / Семенов В. В., Асатуров Ю. Г., Ханжонков Ю. Б., Медведев П. А.; заявитель и патентообладатель Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса. — № 2012112207/28; заявл. 29.03.2012; опубл. 10.01.2014. Бюл. № 1.
9. Семенов В. В., Медведев П. А. Разработка устройства контроля пылеотложения в радиоэлектронной аппаратуре / 4-я международная науч. конф. «Современные проблемы радиоэлектроники»: сб. тр. — Ростов-на-Дону: ЮРГУЭС, 2012. С. 394 – 397.
10. Семенов В. В., Медведев П. А. Разработка устройства контроля пылеотложения в радиоэлектронной аппаратуре / Актуальные проблемы техники и технологии: сб. тр. / Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса. — Шахты: ЮРГУЭС, 2012. С. 84 – 86.
11. Мухитдинов М., Мусаев Э. Оптические методы и устройства контроля влажности. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 96 с.
12. Мухитдинов М., Мусаев Э. Светодиодающие диоды и их применение. — М.: Радио и связь, 1988. — 80 с.
13. Зеленюк И. Непрерывная оценка надежности электронных узлов / Электроника: наука, технология, бизнес. 2004. № 5. С. 40 – 42.

REFERENCES

1. Astafyev A. V. Environment and Reliability of Radio Equipment. — Moscow: Energiya, 1965. — 359 p. [in Russian].
2. Reference Designer REE: General Design Principles / R. G. Varlamov (ed.). — Moscow: Sov. Radio, 1980. — 480 p. [in Russian].
3. Bilibin K. I., Vlasov A. I., Zhuravleva L. V., et al. Design and technological design of electronic equipment. — Moscow: Izd. MGTO im. N. É. Bauman, 2002. — 528 p. [in Russian].
4. Handbook of electrical materials / Yu. V. Koritsky et al. (eds.) — Moscow: Énergoatomizdat, 1986. — 368 p. [in Russian].
5. Semenov V. V., Astsurov Yu. G., Khanzhonkov Yu. B. A device for detecting dust deposits on printed circuit boards of electronic equipment / 11th International scientific and practical conf. “Research, Development and Application of High Technologies in Industry”: coll. of works. — St. Petersburg: Izd. Politekh. Univ., 2011. P. 175 – 176 [in Russian].
6. Pat. 2426982 RF, IPC G 01 N 21/94. Method of dust detection on electronic hardware PCBs / Semenov V. V., Astsurov Yu. G., Khanzhonkov Yu. B., Shchanstny D. A.; applicant and owner South-Russian State University of Economics and Service. — N 2009125424/28; appl. 07.02.2009; publ. 08.20.2011. Byull. N 23 [in Russian].
7. Pat. 2503952 RF, IPC G 01 N 21/94. Device to detect dust deposit on printed circuit boards of radio electronics equipment / Semenov V. V., Medvedev P. A.; applicant and owner South-Russian State University of Economics and Service. — N 2012116304/28; appl. 04.23.2012; publ. 10.01.2014. Byull. N 1 [in Russian].
8. Pat. 2503951 RF, IPC G 01 N 21/94. Method to detect dust deposit on printed circuit boards of radio electronics equipment / Semenov V. V., Astsurov Yu. G., Khanzhonkov Yu. B., Medvedev P. A.; applicant and owner South-Russian State University of Economics and Service. — N 2012112207/28; appl. 03.29.2012; publ. 01.10.2014. Byull. N 1 [in Russian].
9. Semenov V. V., Medvedev P. A. Development of a device for controlling dust deposition in electronic equipment / 4th International Scientific Conference “Modern problems of radio electronics”: coll. of works. — Rostov-on-Don: SRSUES, 2012. P. 394 – 397 [in Russian].
10. Semenov V. V., Medvedev P. A. Development of a device for controlling dust extraction in electronic equipment / Actual problems of equipment and technology: coll. of works. / South-Russian State University of Economics and Service. — Shakh-tu: SRSUES, 2012. P. 84 – 86 [in Russian].
11. Mukhitdinov M., Musaev E. Optical methods and humidity control devices. — Moscow: Énergoatomizdat, 1986. — 96 p. [in Russian].
12. Mukhitdinov M., Musaev E. Light-emitting diodes and their application. — Moscow: Radio i svyaz, 1988. — 80 p. [in Russian].
13. Zelenyuk I. Continuous Evaluation of the Reliability of Electronic Nodes / Élektronika: Nauka. Tekhnol. Biznes. 2004. N 5. P. 40 – 42 [in Russian].