

ДИАГНОСТИКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ МЕТОДОМ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ С УЧЕТОМ ТЕРМОЭФФЕКТОВ

Семенов Э. В.¹, Артищев С. А.¹, Городилов А. А.², Сунцов С. Б.²

¹Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
пр. Ленина 40, г. Томск, 634050, Россия

²ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»
ул. Ленина, 52, г. Железногорск, 662972, Россия
e-mail: edwardsemyonov@narod.ru, 824tusur@mail.ru

Аннотация — Проведены экспериментальные исследования по изучению возможности диагностики электрических контактов методом нелинейной рефлектометрии с учетом термоэффектов. Приведены характеристики нелинейности качественного и некачественного электрических контактов, обусловленные их реакцией на тестовое воздействие.

I. Введение

В условиях увеличения скорости передачи данных в информационных магистралях космических летательных аппаратов возрастает роль качества электрических контактов в линии передачи. Среди перспективных методов диагностики линий передачи можно выделить новый метод нелинейной видеоимпульсной рефлектометрии [1, 2]. Его применение способствует активному изучению вопросов, связанных с нелинейными эффектами в электрических контактах. Нами были проделаны работы, показывающие возможность обнаружения методом нелинейной рефлектометрии некачественных контактов вида металл-окисел-металл (МОМ-контакт) [3]. В таких контактах нелинейные свойства проявляются за счет туннельного эффекта между контактирующими поверхностями. Однако данный эффект проявляется не во всех некачественных контактах.

В работах Р. Хольма [4] приведено описание нелинейных термических эффектов, наблюдаемых практически во всех электрических контактах, независимо от их технического состояния. Предполагается, что эти нелинейные эффекты проявляются сильнее в некачественных контактах.

Цель данной работы заключается в изучении возможности применения нелинейной рефлектометрии для диагностики состояния электрических контактов с учетом термоэффектов.

II. Метод диагностики

Некачественные электрические контакты с малой поверхностью стягивания обладают сопротивлением, превышающим значение сопротивления качественного контакта. Значит, при прохождении одного и того же тока, нагревание некачественного контакта происходит больше. Это дает возможность методом нелинейной рефлектометрии на фоне равномерно нагретой токоведущей цепи обнаруживать электрические контакты с повышенным сопротивлением.

Особенностью метода нелинейной рефлектометрии является способность вести оценку характеристики нелинейности сосредоточенной неоднородности в линии с распределенными параметрами. Для обеспечения локализации некачественного контакта в линии передачи тестовые сигналы должны быть короткоимпульсными. В основе метода лежит принцип воздействия на объект двумя тестовыми воздействиями [5].

Некачественный электрический контакт необходимо нагреть, чтобы в нем проявлялись нелинейные термоэффекты. Поэтому в качестве первого тестового сигнала применяется обычный видеоимпульс, а в каче-

стве второго — тот же видеоимпульс, но с постоянным смещением, предназначенным для нагрева объекта. Это соответствует частному случаю, когда вычисление характеристики нелинейности $\varepsilon(t)$ сводится к формуле:

$$\varepsilon(t) = u_C(t) - u_H(t), \quad (1)$$

где $u_C(t)$ и $u_H(t)$ — отклики (падение напряжения) на тестовые сигналы холодного и нагретого объекта соответственно. Падение напряжения на контакте пропорционально изменению его сопротивления, которое в свою очередь зависит от температуры нагрева:

$$R_T = R[1 + \alpha_R(T_V - T)],$$

где R — сопротивление проводника до нагревания; R_T — сопротивление нагретого проводника; α_R — температурный коэффициент электрического сопротивления материала контакта.

Однако во время экспериментальных исследований был зафиксирован и другой термический эффект, также описанный в [4], когда при нагревании сопротивление контакта уменьшается — эффект прилипания контактов. По результатам экспериментов можно оценить, что изменение сопротивления в различных случаях составляет (10...30)%. Изменение сопротивления в зависимости от приложенного воздействия говорит о проявлении нелинейных свойств объекта.

III. Экспериментальные исследования

В качестве объектов исследования рассматриваются два кабельных разъема BNC, представленные на рис. 1, один из которых имеет заведомо некачественное (контактирующие поверхности неплотно прижаты друг к другу) соединение с кабелем (а), а другой имеет качественный (паяный) электрический контакт с кабелем (б).

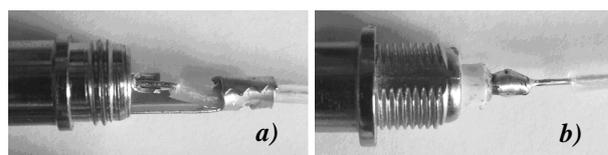


Рис. 1. Электрический контакт разъем-кабель. Контакты: некачественный (а), качественный (б).

Fig. 1. The connector-cable electrical contacts: a defective contact (a), a high-quality contact (b)

В эксперименте использовался тестовый видеоимпульс треугольной формы с длительностью фронтов 500 нс, подаваемый с генератора импульсов Tektronix AFG 3021 (внутреннее сопротивление 50 Ом, ЭДС 10 В). На объекты диагностики с источник тока PSP-405 подавался импульс тока величиной 5 А в течение 2 мин, предназначенный для их нагрева. При прохождении разогревающего импульса сопротивление электрического контакта изменяется. Осциллографом LeCroy WaveSurfer 454 регистрировалось падение напряжения на контакте для отслеживания изменения его состояния. Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки представлена на рис. 2.

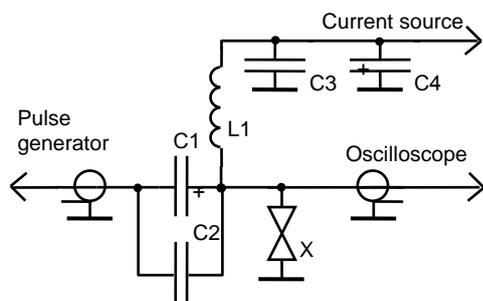


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная установки для измерения характеристики нелинейности электрического контакта X.

Fig. 2. The circuit diagram of a setup for measurement of the nonlinearity characteristic of an electrical contact X

Результат экспериментального исследования качественного и некачественного контакта представлен на рис. 3. Кривая 1 — падение напряжения на контакте (линейный отклик), кривая 2 — характеристика нелинейности контакта, рассчитанная по формуле (1).

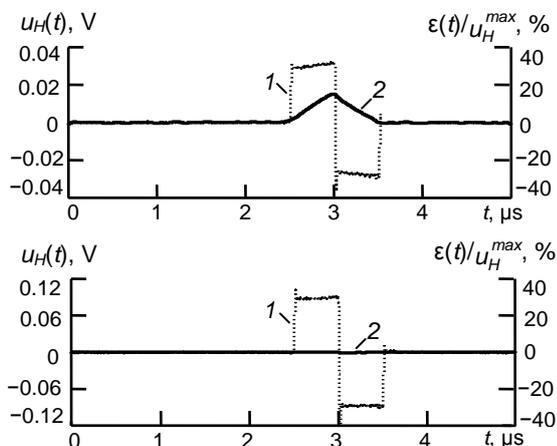


Рис. 3. Линейный (кривая 1) и нелинейный (кривая 2) отклик некачественного (верхний) и качественного (нижний) контакта.

Fig. 3. Linear (curve 1) and nonlinear (curve 2) responses of defective (top) and high-quality (bottom) contacts

IV. Заключение

Показано, что применение нелинейной рефлектометрии с учетом термоэффектов, приводящих к изменению сопротивления электрического контакта, позволяет идентифицировать некачественные электрические контакты.

Нелинейные термоэффекты, в отличие от ранее рассматриваемого туннельного эффекта, всегда наблюдаются в электрических контактах. Однако их проявление сильнее в некачественных контактах, что обуславливает возможность применения нелинейной рефлектометрии для диагностики качества электрических контактов.

Работа выполнена в порядке реализации постановления Правительства РФ № 218 от 09.04.2010 в рамках договора № 13.G25.31.0017 от 7.09.2010 между ОАО «ИСС» и Министерством образования и науки РФ.

V. Список литературы

- [1] Семёнов Э. В. Патент. 2227921 (РФ), МПК7 G01R23/16, G01S13/00. Способ исследования нелинейных свойств объекта. Оpubл. 27.04.2004; Бюл. № 12.
- [2] Bryant P. H. Patent No. : US 7230970, IPC H 04 B 1/69, H 04 M 1/24. Apparatus and Method for Locating Nonlinear Im-

- pairments in a Communication Channel by Use of Nonlinear Time Domain Reflectometry. Date of Patent : June 12, 2007.
- [3] Артищев С. А. Моделирование и экспериментальное исследование нелинейного контакта металл-окисел-металл // XV Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2010»: материалы конф. в 5 ч. (Томск, 4—7 мая 2010 г.). Томск : В-Спектр, 2010. Ч.1. С. 229—231.
- [4] Хольм Р. Электрические контакты. Москва: Из-во иностранной литературы, 1961. 464 с.
- [5] Семёнов Э. В. Нелинейная рефлектометрия с применением видеоимпульсных тестовых сигналов // Изв. Томского политех. ун-та. 2006. Т. 307. № 3. С. 153—155.

DIAGNOSTICS OF ELECTRICAL CONTACTS QUALITY BY THE NONLINEAR REFLECTOMETRY ADJUSTED FOR THERMOEFFECTS

Semyonov E. V.¹, Artishchev S. A.¹,
Gorodilov A. A.², Suntsov S. B.²

¹Tomsk State University of Control Systems and
Radioelectronics

40, Lenina str., Tomsk, 634050, Russia

²JSC «Academican M. F. Reshetnev
«Information Satellite Systems»

52, Lenina str., Zheleznogorsk, 662972, Russia

e-mail: edwardsemyonov@narod.ru, 824tusun@mail.ru

Abstract — Experimental investigation of checking possibility of diagnostics of electrical contacts using the nonlinear reflectometry method in terms of the thermo effects was carried out. The summary gives the characteristics of nonlinearity high-quality and defective electrical contacts, associated with their reaction to test.

I. Introduction

Among promising diagnostic methods of transmission lines, we single out a new method — nonlinear reflectometry [1, 2]. Earlier we have proved the possibility of identification of a defective contact such as metal-oxide-metal (MOM contact) by nonlinear reflectometry [3]. In this work, we show the possibility of application of the nonlinear reflectometry for diagnostics of any electrical contacts taking into account the thermoeffects.

II, III. Main Part

The feature of the nonlinear reflectometry is that the nonlinearity characteristic can be formed for a lumped discontinuity in the transmission line with the distributed parameters. For detection of a defective contact in transmission line, we should use short pulse test signals. In this work, as first test signal the plain baseband pulse was used. The second test signal represented the same pulse but with a constant bias, which is used for heating of an object under test. The nonlinearity characteristic is determined by the formula (1). As an object under test, we have used two BNC connectors (fig. 1). For heating of objects the 5 A pulse of current with 2-min duration was used. The baseband test pulse has a triangular form with 500 ns rise and fall. This signal was generated by source with 10 V electromotive force and 50 Ohm internal resistance. Test baseband pulse was registered on cold $u_C(t)$ and on warm $u_H(t)$ objects. Fig. 3 shows the results of investigation for high-quality (bottom) and defective (top) contact. Curve 1 — voltage drop across the contact (a linear response), the curve 2 — the nonlinearity characteristic (determined under the formula (1)) of a contact.

IV. Conclusion

It is shown that application of the nonlinear reflectometry adjusted for the thermoeffects that lead to change of the resistance of electrical contacts allows identifying defective electrical contacts.

As opposed to previously considered tunnel effect a nonlinear thermo effect is always observed in electrical contacts. However, their impact is more significantly for defective contacts. Therefore, the nonlinear reflectometry can be applied for diagnostics of electrical contacts.