

Feliks SZCZOT, Paweł JASNY

POLITECHNIKA OPOLSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI, ul. Sosnkowskiego 31, 45-272 OPOLE

Dwustanowe czujniki temperatury z przełącznikami światłowodowymi

Dr inż. Feliks SZCZOT

Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Opolskiej w 1971 r. Stopień doktora uzyskał na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w 1981 r. Od początku pracy zawodowej w Politechnice Opolskiej specjalizuje się w tematyce telekomunikacji światłowodowej i czujników światłowodowych. Jest autorem kilkunastu czujników światłowodowych do pracy w układach sieci pomiarowych i ponad 100 publikacji związanych z techniką światłowodową.

e-mail: f.szczot@po.opole.pl



Inż. Paweł JASNY

Absolwent Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej 2010 r. na kierunku Elektronika i Telekomunikacja. Interesuje się techniką światłowodową, a w ramach pracy dyplomowej podjął badania nad czujnikami pomiarowymi z przełącznikami światłowodowymi. Obecnie pracuje w branży telekomunikacyjnej.

e-mail: pjasny@gmail.com



Streszczenie

W referacie przedstawiono dwustanowe czujniki temperatury bazujące na przełącznikach optycznych (światłowodowych) pracujących jako pojedyncze układy pomiarowe lub stanowiące elementy całkowicie optycznych magistrali kontrolno-monitorujących. Sprecyzowano warunki pracy przełącznika światłowodowego (optycznego) dla wersji „ON”-„OFF” i możliwości sprzężenia go z tradycyjnym czujnikiem temperatury (dwustanowym elementem pomiarowym). Podano przykłady czujników temperatury w oparciu o mechaniczne przełączniki temperatury („migowe” czujniki bimetalowe) oraz wytyczne i wstępne wymagania dla konstrukcji tak utworzonych czujników dwustanowych (hybrydowych) z wyjściowym sygnałem optycznym.

Słowa kluczowe: czujniki światłowodowe, czujniki dwustanowe, pomiary temperatury.

Binary temperature sensors with optical fiber switches

Abstract

Single fiber optic sensors use various forms of interaction of a measured variable with optical beam guided by fiber optic cable: attenuation, polarization, interference etc.; usually demanding expensive information processing unit. Therefore there is a tendency to group single sensors into simplified networks with distributed binary sensors, even if it occurs at the cost of limited accuracy. This paper presents binary temperature sensors based on optical (optical fiber) switches working either as single measurement system or as a part of entirely optical measuring-controlling buses. We specify operating conditions for optical fiber switch in “ON” and “OFF” versions and possibilities of connecting it with conventional temperature sensor (two-state measuring element). Moreover we present some examples of temperature sensors based on mechanical switches (bimetallic sensors) and present guidelines and conditions for construction of this kind of sensors with optical output signal. Some constructional solutions of sensors with optical switches may offer innovative approach to implementation of logical sensors’ network optical output. They may be implemented as a detection systems for over threshold signaling especially in difficult and dangerous environment. Summarizing they allow the connection of extended measuring and controlling networks which provide information about state and conditions of devices and their work conditions.

Keywords: optical fiber sensors, binary sensors, temperature sensors.

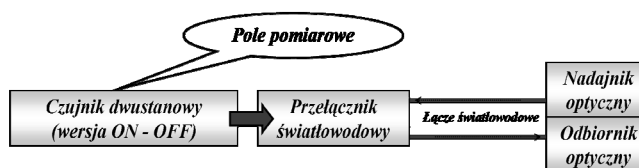
1. Wstęp

Pojedyncze czujniki światłowodowe wykorzystują różne formy oddziaływania czynnika pomiarowego na strumień optyczny prowadzony światłowodem: tłumienie, zmiany polaryzacji, interferencje, itd.; często wymagając skomplikowanego i drogiego układu obróbki informacji. Stąd tendencja, aby czujniki grupować w układy sieciowe, w postaci uproszczonej i rozłożonej struktury czujników dwustanowych, nawet kosztem dokładności pomiarowej.

W referacie przedstawiono dwustanowe czujniki temperatury bazujące na przełącznikach optycznych (światłowodowych) pracujących jako pojedyncze układy pomiarowe lub stanowiące elementy całkowicie optycznych magistrali kontrolno-monitorujących. Sprecyzowano warunki pracy przełącznika światłowodowego (optycznego) dla wersji „ON”-„OFF” i możliwości sprzężenia go z tradycyjnym czujnikiem temperatury (dwustanowym elementem pomiarowym). Podano przykłady czujników temperatury w oparciu o mechaniczne przełączniki temperatury („migowe” czujniki bimetalowe) oraz wytyczne i wstępne wymagania dla konstrukcji tak utworzonych czujników dwustanowych (hybrydowych) z wyjściowym sygnałem optycznym.

2. Idea czujnika dwustanowego z przełącznikiem światłowodowym

Idea światłowodowego czujnika tłumieniowego (natężeniowego, amplitudowego) zarówno w wersjach zamkniętych (ang. *Intrinsic*, wewnętrznych,) jak i otwartych (ang. *extrinsic*, zewnętrznych) jest szeroko opisywana w literaturze [1, 2, 3, 4, 5], ze względu na nieskomplikowaną budowę i szeroki wachlarz zastosowań. W pracach [5, 6] opisane zostały czujniki pętlowe, w których zmiany tłumienia dla stanów „ON” – „OFF” zawierają się w granicach 1–5dB. W czujnikach tych całkowite odcięcie strumienia optycznego jest niemożliwe. Tym samym trudne w realizacji mogą być kontrolno-monitorujące sieci logiczne na nich bazujące [7, 8, 9].



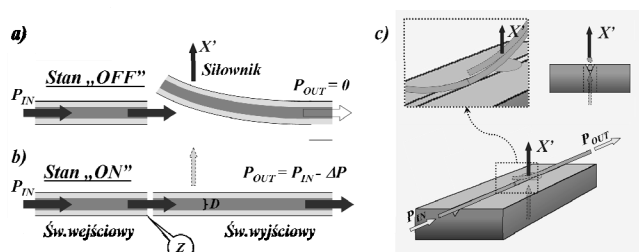
Rys. 1. Struktura dwustanowego czujnika pomiarowego z przełącznikiem światłowodowym

Fig. 1. Structure of the two stage measuring sensor with optical fiber switch

Dwustanowy tłumieniowy czujnik „logiczny” o dwóch wyraźnych stanach „ON” (stan minimalnego tłumienia, zwany też stanem „jasnym”) i „OFF” (stan odcięcia w transmisji sygnału, zwany też stanem „ciemnym”) zbudowany z wykorzystaniem przełącznika światłowodowego (rozdzielnego) przedstawiono na rys. 1. Czujnik taki może być zrealizowany w oparciu o tradycyjny czujnik liniowy, sprzężony z mechanizmem dwustanowym, oddziaływującym następnie na przełącznik światłowodowy; lub od razu w oparciu o dwustanowy czujnik pomiarowy bezpośrednio sprzężony z przełącznikiem optycznym.

3. Przełącznik światłowodowy (optyczny)

Przełączniki optyczne w wersjach światłowodowych są dość dobrze znane z układów telekomunikacyjnych, zwłaszcza w technice WDM (ang. *Wavelength Division Multiplexing*), jako skomplikowane układy komutacji i multipleksowania [1, 2, 3], ale ich bezpośrednie aplikacje do struktur czujników dwustanowych nie zawsze są technicznie i ekonomicznie uzasadnione. Stąd propozycja, jak niżej na rys. 2., układu przełącznika pobudzanego mechanicznie z „tradycyjnego układu pomiarowego” [4, 5, 10, 11, 12].



Rys. 2. Przełącznik światłowodowy w realizacji dwustanowej, a) układ światłowodów w stanie „OFF”, b) układ światłowodów w stanie „ON”, c) realizacja przełącznika w oparciu o rowek V

Fig. 2. Optical fiber switch in the bistable realization, a) arrangement of optical fiber in the “OFF” state, b) arrangement of optical fiber in the “ON” state, c) switch based on the V groove

Budowę i elementy przełącznika światłowodowego opartego na rowku o kształcie litery V przedstawiono na rys. 2. Dwa światłowody umieszczone w precyzyjnie wykonanym rowku V (lekką wygięte jak pokazuje szczegół na rys. 2.c.), w celu uzyskania centryczności połączenia) swoim ustawieniem gwarantują minimalne straty sygnału optycznego na złączu. Taki stan w dalszej części referatu jest oznaczony jako w detekcji na „jasno”, albo załączony „ON”. W przypadku przełącznika musi jednak wystąpić minimalna przerwa (wymiar konstrukcyjny z), umożliwiająca ruch jednego ze światłowodów. Drugi stan przełącznika oznaczony jako w detekcji na „ciemno”, albo wyłączony „OFF”, związany jest z takim przesunięciem światłowodu (poprzecznym x'), aby transmisja sygnału optycznego w znaczącym stopniu zanikała. Nietrudno zrozumieć, że najciekawszym będzie przesunięcie boczne, gwarantujące całkowity brak transmisji optycznej poprzez złącze, co ma miejsce dla $x' > H_{\min}$.

W uproszczonych sieciach pomiarowo kontrolnych opartych na tłumieniowych czujnikach optycznych najważniejszy jest bilans mocy optycznej, który limituje rozkład i liczbę czujników w takiej sieci [2, 6, 9, 12]. W naszym przypadku interesujące dla bilansu mocy optycznej są straty w stanie „ON”, co dla przedstawionego przełącznika można wyrazić wzorem stosunku mocy wyjściowej do wejściowej w postaci:

$$P_{OUT} / P_{IN} = (1 - R_F)^2 (1 - L_S) \quad (1)$$

lub stratami wyrażonymi w jednostkach decybelowych:

$$\Delta P = 2\Delta P_F + \Delta P_L \quad (2)$$

gdzie:

- R_F – względne straty odbiciowe Fresnel’a na jednej powierzchni,
- L_S – względne straty geometryczne połączenia światłowodów,
- ΔP_F , ΔP_L – straty Fresnel’a i geometryczne dla odległości konstrukcyjnej z ,
- n_1 , n_2 , n_0 – współczynniki załamania płaszcza, rdzenia, przerwy z ,
- α – kąt akceptacji wyliczony z apertury numerycznej światłowodów NA ,

- z – odstęp między światłowodami (wymiar konstrukcyjny),
- D – średnica rdzenia światłowodu,
- NA – apertura numeryczna światłowodów,
- $R_F = \{(n_2 - n_0) / (n_2 + n_0)\}^2$; $\alpha = \arcsin NA$

Biorąc pod uwagę typowy światłowód telekomunikacyjny wielomodowy typu 62,5/125 μm , 50/125 μm o parametrach $NA = 0,22$; $n_2 = 1,453$ straty Fresnel’a nie przekraczają 3,4%, co daje $P_{OUT} = 93,3\%$, P_{IN} ; $\Delta P = 0,3$ dB. Oszacowania wymagają straty geometryczne, które przy gwarantowanym ustawieniu $z/D = 0,5$ nie przekraczają 1,5-2,5 dB. Należy zwrócić uwagę, że wykorzystując światłowody o mniejszej aperturze numerycznej NA (ze szkielek specjalnych) znacząco można zmniejszyć straty geometryczne. Całkowite straty pojedynczego czujnika w stanie załączonym „ON” nie powinny, przy wykorzystaniu tradycyjnych światłowodów, przekraczać 2,0-3,5 dB.

Stan wyłączenia przełącznika „OFF” wymaga przesunięcia światłowodu w osi x' , inaczej mówiąc odchylenia światłowodu w taki sposób, by stożek strumienia wyjściowego jednego ze światłowodów nie pokrywał się z stożkiem akceptacji drugiego światłowodu (rys. 2.b.). Występuje wtedy całkowite przerwanie transmisji światła. Minimalne odchylenie H_{\min} gwarantujące takie warunki można wyznaczyć z zależności:

$$H_{\min} = D + z \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

gdzie:

- α – kąt apertury numerycznej światłowodów z NA ,
- z – odstęp między światłowodami,
- D – średnica rdzenia światłowodu,

co przy typowych wartościach parametrów stosowanych światłowodów daje wartość odchylenia minimalnego H_{\min} na poziomie 0,1-0,3 mm. Jak wykazano w następnym rozdziale, przesunięcie musi być na tyle małe, że nie występuje wysunięcie światłowodu z prowadnic rowka V, a jednocześnie z nadmiarem spełnienia zostaje warunek przesunięcia światłowodu do stanu rozłączenia złącza. W praktyce migowe mikroprzełączniki bimetaliczne o działaniu dwustanowym, użyte jako elementy pośredniczące, zapewniają przesunięcia znacznie większe od wymaganego.

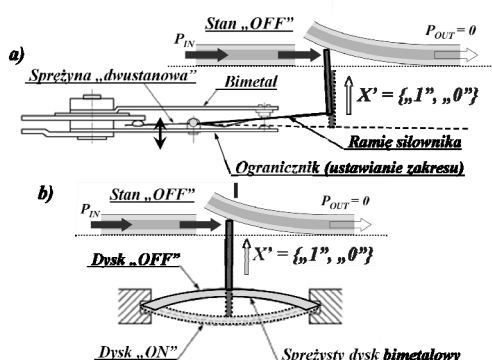
4. Dwustanowy czujnik temperatury

Dwustanowy czujnik temperatury realizowano jako element regulowany (termostat) i w postaci nieregulowanego ogranicznika temperatury o zadanych parametrach przełączających (bezpiecznik temperaturowy). Każdy z nich ma charakterystykę dwustanową, stąd łatwość sprzężenia go z przełącznikiem optycznym.

Zasadę pracy regulowanego czujnika temperatury przedstawiono na rys. 3.a., a szkic konstrukcyjny na rys. 4.a. Adaptowano do tych celów typowy i powszechnie stosowany termostatowy regulator temperatury, gdzie w miejsce układu przełącznika styku elektrycznego zamontowano dźwignię siłownika przesuwającego jeden ze światłowodów w rowku V. Złącza światłowodowe wykonano na giętej metalowej blaszce (rowek V o kącie 60°), a same światłowody klejono do rowka, z niewielkim sprężystym ugięciem i z ustaleniem kalibrowanej przerwy z , za pomocą kleju chemo utwardzalnego. Charakterystyki przełączania czujnika termostataycznego wynikające z pobudzenia temperaturowego nie odbiegały od katalogowych, natomiast zakres tłumienia w stanie „ON” przełącznika przy precyzyjnym wykonaniu łącznika optycznego nie przekraczał 5-6 dB. W stanie „OFF” uzyskiwano całkowity zanik transmisji światła do światłowodu odbiorczego. Należy tu wspomnieć, że przy zastosowaniu zwykłych światłowodów 62,5/125 μm w miękkiej izolacji polietylenowej praca modelowego czujnika możliwa jest w zakresie do 150°C. Dla wyższych temperatur pracy konieczne byłoby zastosowanie światłowodów z izolacją (pokryciem) wysokotemperaturowym oraz wykonanie rowka V z materiałów o mniejszej niż dla metalu rozszerzalności termicznej.

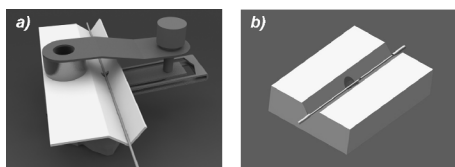
Zasadę pracy ogranicznika temperatury przedstawiono na rys. 3.b., a szkic konstrukcyjny na rys. 4.b. Adaptowano do tych celów dyskowe przełączniki temperaturowe, gdzie w miejsce układu przesuwanego styk elektryczny umieszczono siłownik przesuwały jeden ze światłowodów w rowku V. Złącza światłowodowe wykonano w tym przypadku na bazie monolitycznego bloku metalowego z wyfrezowanym rowkiem V, a same światłowody klejono do rowka, z niewielkim sprężystym ugięciem, z ustaleniem kalibrowanej przerwy z , za pomocą kleju chemoutwardzalnego. Bimetalowy dysk pomiarowy umieszczono pod blokiem przełącznika światłowodowego mocowanego za pomocą obejm ustalonych miniaturowymi wkrętami. Charakterystyki przełączania czujnika dyskowego wynikające z pobudzenia temperaturowego nie odbiegały od katalogowych, natomiast zakres tłumienia w stanie on przełącznika przy precyzyjnym wykonaniu łącza optycznego nie przekraczał 5-7 dB.

Należy tu wspomnieć, że przy zastosowaniu zwykłych światłowodów 62,5/125 μm w miękkiej izolacji polietylenowej praca modelowych czujników możliwa jest w zakresie do 150°C. Dla wyższych temperatur pracy konieczne byłoby zastosowanie światłowodów z izolacją (pokryciem) wysokotemperaturowym oraz wykonanie rowka V z materiałów o mniejszej niż dla metalu rozszerzalności termicznej.



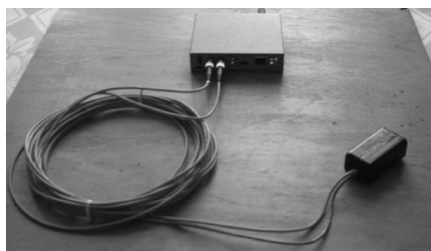
Rys. 3. Dwustanowy czujnik temperatury w realizacji: a) z bimetalowym regulowanym elementem pomiarowym, b) z bimetalowym dyskiem pomiarowym

Fig. 3. Binary temperature sensor in the implementation: a) with adjustable bimetallic sensing element, b) with the bimetallic disc



Rys. 4. Szkic konstrukcyjny czujnika temperatury a) z bimetalowym regulowanym elementem pomiarowym, b) z bimetalowym dyskiem pomiarowym

Fig. 4. Structure of the temperature sensor: a) with the bimetallic adjustable measuring element, b) with the bimetallic measuring disc



Rys. 5. Układ laboratoryjny dwustanowego czujnika temperatury z bimetalicznym dyskiem pomiarowym

Fig. 5. Laboratory binary temperature sensor with the bimetallic measuring disc

Dopełnieniem całego układu pomiarowego czujnika jest układ nadawczo odbiorczy (rys. 5). W pracy ustalono na wstępie, że będzie to gotowy układ dostępny na rynku, stąd zdecydowano się na konwerter mediów AT-MC13. Jest to zespół nadajnika i odbiornika zamkniętego w jednej obudowie. Konwerter jest przystosowany do pracy ze światłowodem wielomodowym 62,5/125 μm z typowymi złączami ST, i z dodatkową funkcją „fiber test link” o zakresie detekcji strat na drodze optycznej na poziomie powyżej 40 dB. Ta wbudowana funkcja testowa ułatwiła sprawę do tego stopnia, że nie była konieczna rozbudowa konwertera o sygnalizację sygnału odbieranego.

5. Podsumowanie

Przedstawione w referacie możliwe rozwiązania konstrukcyjne czujników z przełącznikami optycznymi stanowią nowe podejście do realizacji czujników „logicznych” z wyjściem optycznym. Praktyczna realizacja przełącznika optycznego umożliwia sprzężenie go z dowolnym czujnikiem wielkości fizyko-chemicznych (dwustanowym lub liniowym oraz mechanizmem dwustanowym), jeżeli tylko wymuszenie wyjściowe pozwala na przesunięcie światłowodu na odległość 0,1-0,3 mm z siłą na poziomie kilkunastu mN.

Czujniki światłowodowe w przedstawionych wersjach z powodzeniem mogą znaleźć zastosowanie jako układy detekcyjne przekroczenia nastawionych wielkości pomiarowych (czujniki „detekcji stanów krytycznych”), zwłaszcza w trudnym i niebezpiecznym środowisku, a z pewnością w układach monitorujących trudne obiekty [1, 3, 9, 10, 12]. Konstrukcja czujników umożliwia łączenie ich w struktury logicznych sieci pomiarowo-kontrolnych, wypracowujących zbiorczy sygnał detekcyjny informujący o stanie i warunkach pracy obiektów i urządzeń.

6. Literatura

- [1] Dakin J., Culshaw B.: Optical fiber sensors, application, analysis, and future trends. Vol. 4, Artech House, Inc., 1997.
- [2] Miller C. L.: Optical fiber splices and connectors – theory and methods. Marcel Dekker, INC, 1986.
- [3] Grattan K.T.V., Meggit B.T.: Optical fiber Sensor technology. Application and systems, Vol.3, Kluwer Academic Publisher, 1999.
- [4] Szczot F.: Optical fiber loop sensors. Proc. of SPIE, Vol. 5028, Apr. 2003, p. 115-117.
- [5] Szczot F.: Adaptation of two-state (binary) optical fibre loop sensors for industrial use. Photonics Applications in Industry and Research IV. Proc. SPIE Vol. 5948, pp. 420-425, Sep. 2005.
- [6] Szczot F.: Optical fiber monitoring and controlling transmission buses with non-addressed and addressed binary sensors. Proc. of the Symposium on Photonics Technologies for 7th Framework Program, 12 - 14 October 2006, Wrocław, s. 480 - 483.
- [7] Szczot F.: Control and measuring buses with amplitude fiber optical sensors. Proc. of SPIE, Vol. 5484, Jul 2004, p. 400 - 405.
- [8] Szczot F.: Światłowodowe sieci kontrolne z czujnikami dwustanowymi. X Konferencja Naukowa Światłowody i ich zastosowania. Krasnobród, 4 - 7 października 2006, T. II, s. 650 - 655.
- [9] Szczot F.: Logical and pseudo-logical optical fibre networks based on two-state (binary) optical fibre sensors for industrial monitoring and control system. Photonics Applications in Industry and Research IV. Proc. SPIE Vol. 5948, pp. 576-582, Sep. 2005.
- [10] Szczot F.: Światłowody w systemach łączności i układach pomiarowych. Cz. III Czujniki światłowodowe w systemach kontrolno-pomiarowych, Systemy Alarmowe, nr 3/2006, 2006, s. 48 - 52.
- [11] Cochran K.R., Fan L., DeVoe D.L.: High-power optical microswitch based on direct fiber actuation, Sensors and Actuators A, Vol. 119, April 2005.
- [12] Szczot F.: Dwustanowe czujniki światłowodowe na bazie przełączników optycznych. Krajowa Konferencja Automatykacji i Eksploatacji Systemów Sterowania, Gdynia, październik 2009.

otrzymano / received: 02.03.2010

przyjęto do druku / accepted: 04.05.2010

artykuł recenzowany