

Dział "Projekty Czytelników" zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji.

Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane **oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany.** Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przesyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

# Miernik mocy optycznej w światłowodzie, część 1

**Projekt 061**

W artykule prezentujemy najbardziej zaawansowany projekt spośród nadesłanych na konkurs. Ponieważ tematyka poruszana przez autora jest o tyle interesująca, co mało znana, zdecydowaliśmy się opublikować opis projektu wraz ze wstępem teoretycznym. Ze względu na znaczną objętość artykuł podzieliliśmy na części, które będą sukcesywnie publikowane w kolejnych numerach EP. Rozpoczynamy od prezentacji zagadnień związanych z pomiarami mocy optycznej w sieci światłowodowej.



## Wstęp

Rozwijająca się obecnie technika światłowodowa znajduje coraz szersze zastosowania w systemach pomiarowych. Jest odpowiedzią na wciąż wzrastające wymagania związane ze zwiększoną liczbą punktów pomiarowych, niezawodnością oraz niskimi kosztami współczesnych systemów pomiarowych. Światłowód przechodzi obecnie „mutację” z medium transmisyjnego w aktywną strukturę czujnikową z rozłożoną detekcją, w strukturę sieci binarnych.

Coraz częściej dąży się do opracowywania systemów nadzorczych i diagnostycznych, mających na celu zapewnienie bezawaryjnej i bezpiecznej pracy. Systemy takie pracują wyłącznie w zakresie detekcji stanów

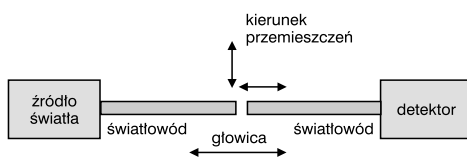
krzytycznych lub podkrytycznych. Bazują na dużej liczbie prostych, często dwustanowych, czujników pomiarowych. Zaletą stosowania w tym zakresie techniki światłowodowej jest praktyczna nieinwazyjność pomiarów, odporność na zakłócenia elektromagnetyczne, odporność na wiele zagrożeń środowiskowych, a często również bezpieczeństwo pracy (w zastosowaniach w elektroenergetyce) ze względu na właściwości izolacyjne. Technika światłowodowa umożliwia również budowanie czujników z rozłożoną i ciągłą detekcją, które znajdują zastosowanie w monitorowaniu rozległych

struktur inżynierskich, takich jak mosty, drogi, tamy, domy itp.

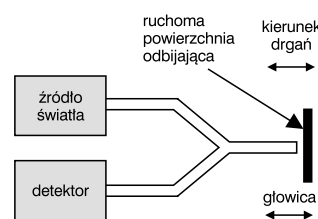
## Czujniki światłowodowe

Światłowody są wręcz idealnym ośrodkiem do przesyłania informacji za pomocą fali elektromagnetycznej i do niedawna wyłącznie do takich celów były wykorzystywane. W literaturze zastosowania tego typu są określane jako konwencjonalne. Wraz z rozwojem techniki światłowodowej pojawiły się możliwości jej niekonwencjonalnych zastosowań, np. do budowy czujników wielkości fizycznych. Czujniki takie zostały nazwane światłowodowymi.

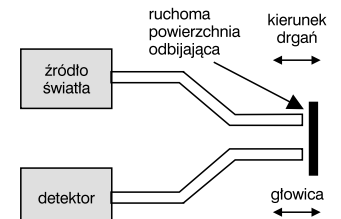
Ze względu na rozległość tematu, przedstawione zosta-



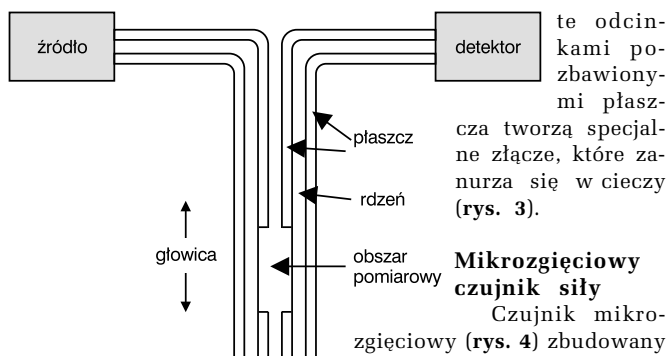
Rys. 1.



Rys. 2a.



Rys. 2b.



Rys. 3.

na bardzo pobieżnie tylko niektóre, wybrane typy czujników.

**Czujniki ze sprzężeniem światłowód-swiatłowód**

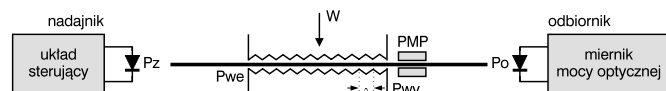
Głowicę pomiarową tych czujników stanowią dwa końce sprzężonych czołowo światłowodów. Jeden z tych światłowodów może być względem drugiego przemieszczany (poprzez wymuszenie zewnętrzne) poziomo lub pionowo rys. 1. Przemieszczenie ruchomego światłowodu lub ruchomej przysłony może być wywołane działaniem zmiennej siły, ciśnienia lub temperatury.

**Czujniki odbiciowe**

W pomiarach zmian położenia, różnego rodzaju drgań, wykorzystuje się ruch po powierzchni odbijającej światło. Podstawowe koncepcje rozwiązań przedstawiono na rys. 2.

**Czujniki strat emisji**

Wprowadzone do światłowodu promieniowanie może się w nim rozchodzić w postaci fal własnych rdzenia, fal płaszczca, względnie wyciekać do otaczającego ośrodka. Indukowanie strat transmisji, wywołanych zmianą sprzężenia między równoległe złączonymi odcinkami światłowodów, znajduje zastosowanie w światłowodowych czujnikach temperatury, czujnikach do pomiaru współczynnika załamania cieczy oraz czujnika do pomiaru poziomu cieczy. Dla przykładu: dwa równoległe światłowody zetknię-



Rys. 4.

te odcinkami pozbawionymi płaszczca tworzą specjalne złącze, które zanurza się w cieczy (rys. 3).

**Mikrozięciowy czujnik siły**

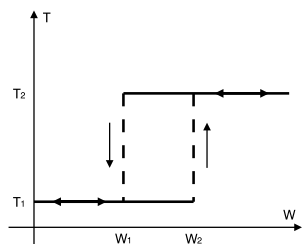
Czujnik mikrozięciowy (rys. 4) zbudowany jest z dwóch płyt wykonanych z twardego materiału. Pomiedzy ich wewnętrznymi, periodycznie zdeformowanymi powierzchniami, umieszczony jest odcinek światłowodu. Dolna płyta jest najczęściej nieruchoma, natomiast górna płyta może przemieszczać się w kierunku do niej prostopadłym. Światłowód w czujniku jest dołączony z jednej strony do źródła światła, zaś z drugiej do fotodetektora w odbiorniku.

**Sieci i magistrale z czujnikami światłowodowymi**

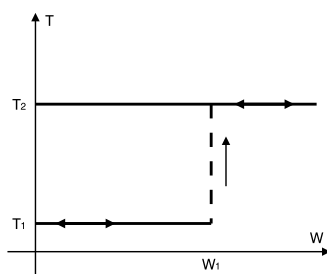
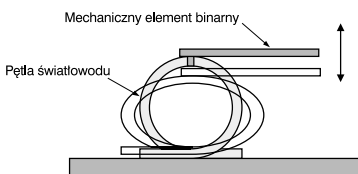
Wykorzystanie światłowodu do budowy czujników oraz jako medium transmisyjnego dla sygnałów pomiarowych pozwala na tworzenie sieci różnego typu i przeznaczenia. Ostrem wymaganiom stawianym przez przemysłowe układy pomiarowe w znacznym stopniu potrafią sprostać znajdujące obecnie coraz większe zastosowanie światłowodowe sieci pomiarowe z czujnikami dwustanowymi, zwanymi także sieciami z czujnikami binarnymi. Układy te wprowadza się głównie tam, gdzie nie jest wymagane uzyskanie informacji o dokładnej wartości mierzonej wielkości, lecz stwierdzenie faktu o przekroczeniu krytycznej wartości mierzonej wielkości fizykochemicznej.

**Czujniki binarne jako elementy magistrali**

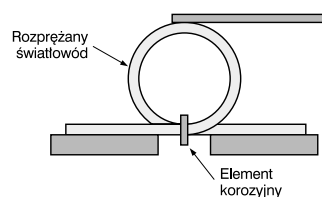
Czujniki binarne są zasadniczymi elementami magistrali światłowodowej. Rozwiązanie konstrukcyjne czujników binarnych (dwustanowych)



Rys. 5a.



Rys. 5b.



umożliwia detekcję przekroczenia parametrów krytycznych w mierzonej wielkości pomiarowej.

Czujnik dwustanowy o własnościach bezpiecznika (rys. 5b) po przerwaniu pierścienia (np. reagującego na korozję) łączącego pętlę światłowodu zmniejsza swoje tłumienie poprzez rozprężenie pętli światłowodowej. Inne rozwiązania oparte na przerywaniu lub zmianie konfiguracji pętli służą jako swobodnego rodzaju binarne czujniki bezpiecznikowe do detekcji przekroczenia wartości temperatury, ciśnienia, naprężeń.

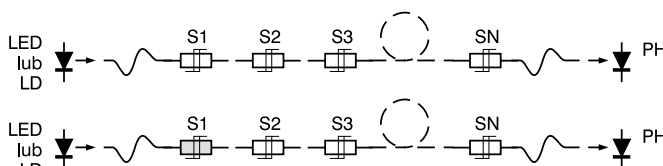
**Magistrale światłowodowe z czujnikami binarnymi**

Wyróżnia się trzy podstawowe typy magistrali światłowodowych: szeregowe, równoległe i szeregowo-równoległe, tzw. „mieszane“.

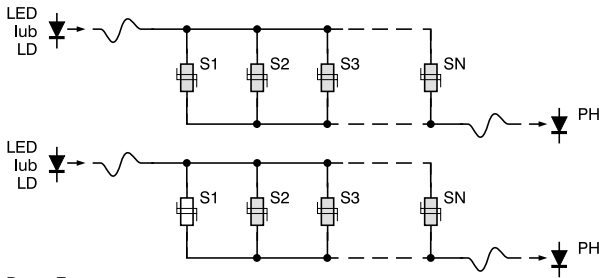
Na rys. 6 przedstawiono topologię światłowodowej magistrali szeregowej i jej pracę w detekcji na „ciemno“, a na rys. 7 topologię światłowodowej magistrali równoległej i jej pracę w detekcji na „jasno“.

Odczyt informacji realizowany jest przez pomiar tłumienia (zmiany tłumienia) magistrali na jej końcu. Pomiar taki jest stosunkowo łatwy, przy tym mało kosztowny. Pasywna magistrala szeregowo przedstawiona jest na rys. 6, gdzie w transmisyjnej linii światłowodowej rozmieszczono czujniki binarne o stanach logicznych „0“ i „1“, odpowiadających np. stanom małego i dużego tłumienia (na „jasno“ i na „ciemno“), w przypadku czujników tłumieniowych. Magistrala równoległa z rys. 7 wymaga sprzężenia czujników poprzez gałęzie równoległe. W zależności od rodzaju pracy - na „ciemno“ lub „jasno“ - z czujnikami tłumieniowymi, detekowany sygnał realizuje funkcję logiczną AND lub OR.

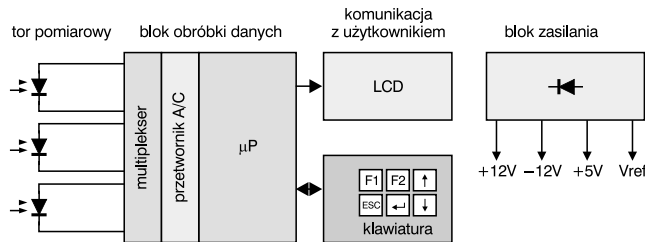
W omawianych magistralach czujnikowych mierzona zmiana tłumienia (w nieskomplikowanym układzie odbiorczym) może osiągać wartość ułamka lub kilku dB, co limituje rozległość magistrali oraz liczbę czujników. Przykładowo, przy zmianach tłumienia czujników rzędu 0,1dB..1dB w magistrali można rozmie-



Rys. 6.



Rys. 7.



Rys. 8.

cić do kilkuset czujników (!!)

**Konstrukcja miernika mocy optycznej**

**Wymagania pomiaru mocy w sieci czujnikowej**

Budując przyrząd pomiarowy do zastosowań w światłowodowych sieciach pomiarowych trzeba zdać sobie sprawę, że na dzisiaj nie istnieją jeszcze żadne normy czy standardy, które precyzowałyby zagadnienia związane z analogowymi bądź binarnymi światłowodowymi sieciami pomiarowymi.

Źródła promieniowania optycznego mogą znacznie różnić się w poszczególnych rozwiązaniach. Różnica ta może dotyczyć każdego z parametrów emitowanej przez nie fali optycznej, począwszy od poziomu mocy, poprzez długość fali, szerokość widma czy też polaryzację. Kolejnym elementem jest sam światłowod. Spotykane są obecnie rozwiązania z użyciem zarówno światłowodów gradientowych jak i jednomodowych.

Także czujniki charakteryzują się sporą różnorodnością. Nie istnieją np. standardowe wartości tłumienia. Sama struktura pomiarowej sieci światłowodowej może być kolejną przyczyną różnic. Liczba zastosowanych w niej

czujników będzie miała decydujący wpływ na poziom mocy strumienia na wyjściu.

Konstruując miernik mocy optycznej do tego typu sieci pomiarowych należało wziąć pod uwagę wszystkie wymienione wyżej czynniki. Taki więc miernik powinien charakteryzować się odpowiednio dużym przedziałem wartości mierzonej mocy. Powinien zapewnić odpowiednią rozdzielczość i dokładność w całym zakresie pomiarowym. Należało uwzględnić również długość fali i szerokość widma.

Na podstawie założeń wstępnych powstał schemat blokowy urządzenia pomiarowego, który przedstawiono na rys. 8.

**Tor pomiarowy**

Zadaniem toru pomiarowego jest detekcja strumienia optycznego. Dokonując wyboru detektorów mocy optycznej, ze względu na swe niewątpliwie zalety, zdecydowano się na czujniki z serii *Intelligent Opto Sensors* produkcji Texas Instruments. Pomiar dokonany jest w ośmiu kanałach pomiarowych z częstotliwością dziesięć pomiarów na sekundę w każdym

z kanałów. Taka częstość jest kompromisem podyktowanym z jednej strony wymaganiami systemów zabezpieczeń - pomiar możliwie jak najczęstszy - a z drugiej strony ograniczonymi możliwościami sprzętowymi.

Wynik pojedynczego pomiaru jest z kolei średnią arytmetyczną kilkunastu wartości (w celu uproszczenia realizacji programowej przyjęto 16). Jak łatwo obliczyć w ciągu jednej sekundy należy wykonać:  $8_{(kanałów)} * 10_{(pomiarów)} * 16_{(próbek)} = 1280$  pomiarów.

Dla tak krótkiego czasu pomiaru wybór padł na czujniki z wyjściem napięciowym. Czujniki z wyjściem częstotliwościowym, mimo iż są bardziej dokładne oraz umożliwiają sterowanie ich parametrami, nie pozwoliłyby na pomiar z tak dużą częstością.

Przyrząd współpracuje z czujnikami: TSL250, TSL251, TSL252, TSL260, TSL261 i TSL262. Czujniki te charakteryzują się dość znaczną dynamiką (maks. TSL251: 28dB).

Zapewnienie odpowiedniej dokładności w całym zakresie czułości osiągnięto sprzętowo, poprzez zastosowanie wzmacniacza, którego schemat znajduje się na rys. 9. Trójstopniowa zmiana jego wzmocnienia - x1, x10, x100 - pozwala na dostosowanie miernika do mierzonego zakresu mocy.

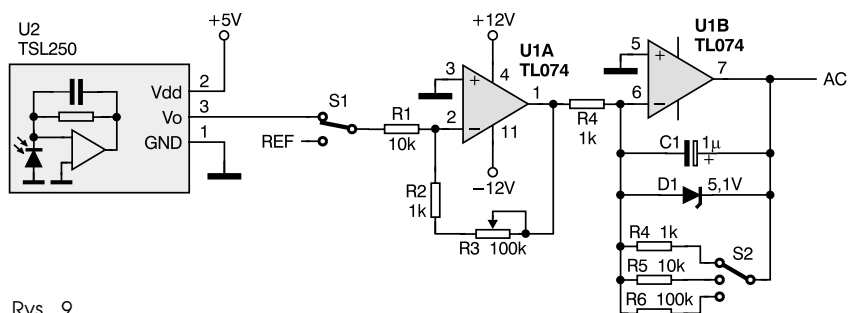
Wszystkie czujniki charakteryzują się także nieliniowym zakresem widmowym. Aby to uwzględnić, również i w tym przypadku zdecydowano się na rozwiązanie sprzętowe. Zastosowano kolejny wzmacniacz z możliwością płynnego nastawienia wzmocnienia w zakresie od 0,1 do 10. Uprościło to dość znacznie oprogramowanie. Program nie musi bowiem przeliczać wartości ze względu na dłu-

gość fali. Rozwiązanie takie było podyktowane tym, że parametry danej sieci, takie jak zakres mocy czy długość fali świetlnej, będą zazwyczaj stałe i znane użytkownikowi. Wystarczy więc jednokrotne dostosowanie przyrządu na początku użytkowania.

Czujnik natężenia podłączony jest poprzez przełącznik S1 do wejścia pierwszego wzmacniacza. Przełącznik S1 umożliwia kalibrację przyrządu, pozwalając na przyłączenie wejścia wzmacniacza do napięcia kalibrującego ze źródła odniesienia. Użytkownik bez dodatkowych przyrządów będzie mógł dobrać wzmocnienie w pierwszym stopniu stosownie do długości mierzonej fali optycznej.

Jako wzmacniacz zastosowano poczwórny wzmacniacz TL074. Zarówno pierwszy jak i drugi stopień pracują w konfiguracji wzmacniaczy odwracających, co w rezultacie daje na wyjściu napięcie dodatnie, wymagane przez przetwornik A/C. Przełącznik S2, którym zmieniane jest wzmocnienie drugiego stopnia (1x, 10x, 100x), umożliwia wybór zakresu pomiarowego. Dioda D1 włączona zaporowo w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego ma za zadanie ograniczyć wartość maksymalnego napięcia na wyjściu wzmacniacza do poziomu 5,1V - dopuszczalnego napięcia jakiego może pojawić się na wyjściu przetwornika A/C. Kondensator C1 znajdujący się w pętli sprzężenia ogranicza, od strony wyższych częstotliwości, pasmo przenoszenia „wycinając” większość zakłóceń. Wzmacniacze zostały zasilone symetrycznym napięciem ± 12V. Zapewniło to pracę z dala od zakresu nasycenia.

**Marek Fiołka**



Rys. 9.