

Światłowody

Bolesław Polus
Polvision

w TV przemysłowej (cz. 1)

O światłowodach w TV przemysłowej pisaliśmy ponad 4 lata temu. Choć od tamtego czasu nie nastąpiły rewolucyjne zmiany w tej dziedzinie, obserwujemy znaczny wzrost zainteresowania tymi zagadnieniami wśród instalatorów. Poza tym od tego czasu grono Czytelników „Twierdzy” znacznie powiększyło się. Wielu z pewnością nie czytało wcześniejszych artykułów, zatem warto nie tylko zanurzyć się w nowościach, ale również odświeżyć już posiadaną wiedzę.

W trzech kolejnych numerach „Twierdzy” przedstawimy zastosowania światłowodów w TV przemysłowej na poziomie elementarnym, bez zagłębiania się w zagadnienia teoretyczne. W pierwszej części artykułu Czytelnik znajdzie podstawowe informacje dotyczące specyfiki światłowodowego przesyłu informacji oraz konstrukcji światłowodów i połączeń. Drugą część poświęcimy podstawowym sposobom modulacji strumienia świetlnego, budżetowi optycznemu oraz przykładom jego obliczania, natomiast w trzeciej części przedstawimy kilka wybranych urządzeń światłowodowych przeznaczonych do zastosowań w TV przemysłowej, nie pomijając zagadnień praktycznych. Cykl zakończymy zestawem pytań i odpowiedzi dotyczących tych zagadnień, których nie dotkniemy w trzech pierwszych odcinkach. Moją intencją jest maksymalne „upraktycznienie” treści artykułu, pozwalające na samodzielne zaprojektowanie i realizację światłowodowego toru przesyłu wizji i danych o niezbyt złożonym poziomie skomplikowania przez średnio zaawansowanego instalatora. Czytelników pragnących zgłębić zagadnienia teoretyczne, odsyłam do ciekawego artykułu Macieja Brzyskiego „Wykorzystanie światłowodów do transmisji sygnałów wizyjnych” zamieszczonego w „Systemach Alarmowych” nr 6/2000. Na rynku nie brakuje też innych wydawnictw, które mogą być przydatne przy tej okazji.

Rynek światłowodów

Choć światłowody są znane i stosowane od dawna, gwałtowny rozwój tej dziedziny telekomunikacji obserwujemy od kilkunastu lat. Obecnie zapotrze-

bowanie na światłowody jest tak duże, że znacząco wzrosły ich ceny. Ta sytuacja wynika z gwałtownego wzrostu zapotrzebowania na zaawansowane usługi telekomunikacyjne, również z powodu niesamowitego upowszechnienia internetu. Podobna sytuacja ma miejsce na rynku przetworników optoelektronicznych i specjalizowanych układów scalonych. Jednocześnie daje się zauważyć przyrost liczby producentów oferujących podzespoły optoelektroniczne, a także wytwórców urządzeń światłowodowych.

Jestem przekonany, że ten boom w technice światłowodowej jest zjawiskiem trwałym. W dającej się przewidzieć przyszłości, miedź zostanie wyparta przez światłowody, szczególnie w torach szerokopasmowych, i to niezależnie od również niezwykle dynamicznie rozwijającego się rynku szerokopasmowych usług bezprzewodowych. Tak więc nieodległa jest chwila, kiedy do mieszkania, firmy, instytucji dotrze jednym światłowodem kompleksowa usługa telekomunikacyjna, dostarczająca wielu interaktywnych kanałów telewizji cyfrowej, internet, telefonię, opomiarowanie zużycia energii i... kto wie, co jeszcze. To naprawdę nieodległa przyszłość!

Podstawowe informacje o światłowodach

Światłowody mieszczą się w grupie przewodowych mediów transmisyjnych, aczkolwiek podobieństwo to dotyczy wyłącznie konstrukcji mechanicznej. Typowym przedstawicielem przewodowych mediów transmisyjnych jest powszechnie stosowany drut miedziany, przenoszący sygnały elektryczne. W światłowodzie nośnikiem informacji jest zmodulowany strumień świetlny, zatem tu kończy się podobieństwo obu mediów.

Światłowód z bliska

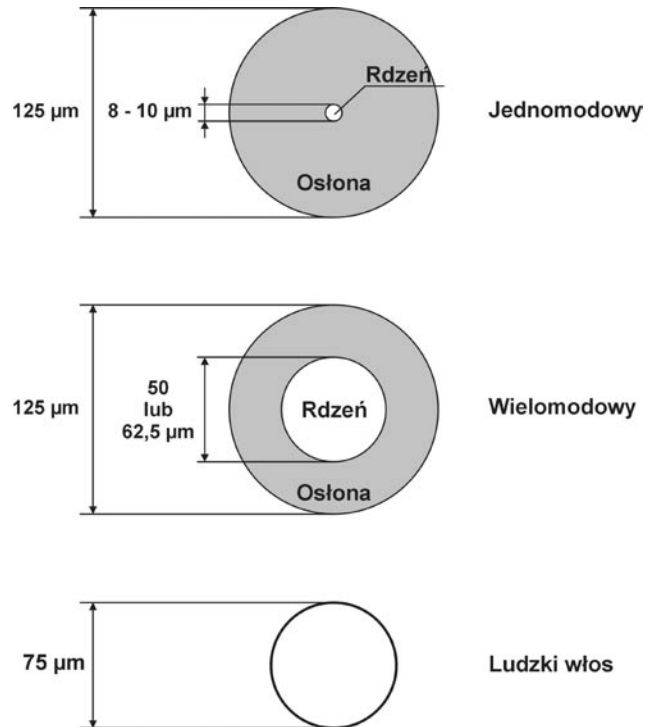
Światłowód to w istocie bardzo cienki, porównywalny z grubością włosa rdzeń kwarcowy o wysokiej czystości, domieszkowany w sposób pozwalający uzyskać pożądane struktury i właściwości. Nieodłącznym elementem światłowodu jest tzw. płaszcz, który ma

mniejszy współczynnik załamania światła niż rdzeń. W związku z tym na granicy obu ośrodków następuje całkowite wewnętrzne odbicie strumienia świetlnego, zapobiegające wydostawaniu się światła poza rdzeń.

Nośnikiem informacji jest zmodulowana fala elektromagnetyczna o długości z zakresu 0,8-1,6 μm . Jest to zatem fala świetlna z zakresu tzw. bliskiej podczerwieni. Dla porządku dodam, że poza światłowodami z rdzeniem czysto kwarcowym, produkuje się i stosuje światłowody kwarcowo-polimerowe (PCS) lub wyłącznie polimerowe o znacząco większych średnicach rdzenia, ale znajdują one zastosowania ograniczone do niewielkich odległości ze stosunkowo niską przepływnością.

Z grupy światłowodów znajdujących zastosowanie w TV przemysłowej można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje: światłowody gradientowe wielomodowe (ang. Multi Mode-MM) i jednomodowe (ang. Single Mode-SM).

Jak dotąd, nie znalazłem w literaturze prostego i jasnego wytłumaczenia pojęcia „mod”. Najprościej i najkrócej można powiedzieć, że mod to droga pojedynczej fali elektromagnetycznej (świetlnej) o określonej długości (częstotliwości, czyli barwie), przemieszczająca się wzdłuż rdzenia (włókna). W światłowodzie jednomodowym (SM) jest to pojedyncza droga, podczas gdy w światłowodzie wielo-



Rys. 1. Wymiary podstawowych światłowodów.

PROMOCJA
Cyfrowych Rejestratorów Obrazu VDR-S

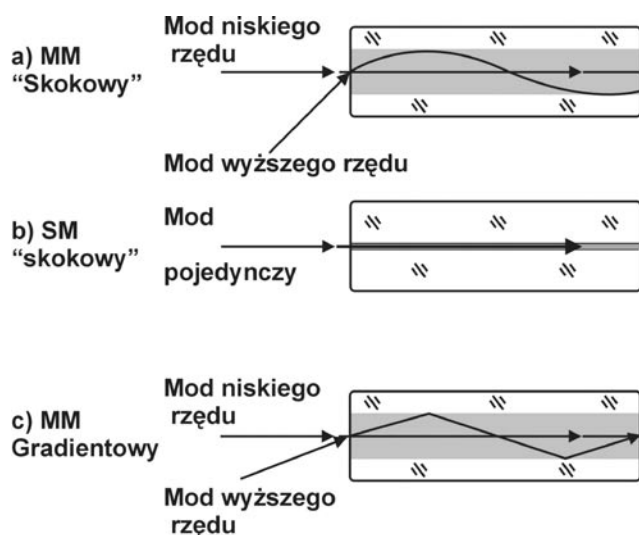
ceny już od **400 PLN***

Szczegóły promocji pod adresem:
www.alnet.pl/promocja

* VDR-S PRO4 (25 kl/s 4 wejścia wideo)

ALNET SYSTEMS®
 Alnet Sp. z o.o.
 ul. 3 Maja 54, 81-850 Sopot
 tel (+48 58) 555 73 82, tel (+48 58) 555 73 83, fax (+48 58) 550 20 49
 e-mail: alnet@alnet.pl, www.alnet.pl

Monitoring przez
 telefony GSM / PDA



Rys. 2. Rodzaje światłowodów.

domowym jest to wiele dróg rozchodzenia się strumienia świetlnego. Ilustruje to rys. 2.

Dla naszych potrzeb najważniejsze są cechy transmisyjne światłowodów. Światłowodów jednomodowy oferuje większe pasmo i transmisję na większe odległości. Złącza i urządzenia do światłowodów jednomodowych są jednak droższe. Światłowody wielomodowe (tańsze złącza i urządzenia) stosuje się, gdy zapotrzebowanie na pasmo i zasięgi są mniejsze, np. wewnątrz budynku lub obiektu. Różnica w cenach samych światłowodów jest na tyle

niewielka, że nie może być decydująca przy wyborze rozwiązania. O kosztowych aspektach stosowania światłowodów porozmawiamy w następnych odcinkach cyklu. Zanim to nastąpi, kilka słów dotyczących zalet i wad światłowodów widzianych przez pryzmat zastosowań w TV przemysłowej.

Wnioski z poniższej tabeli są oczywiste: stosowanie któregoś z nich musi być poprzedzone analizą wymagań co do jakości przesyłu w konkretnych warunkach środowiskowych. Analiza ta nie może być pozbawiona elementu kosztowego, uwzględniającego nie tylko wartość materiałów, ale również koszt robocizny. Generalnie prace specjalistyczne związane z wykonaniem połączeń światłowodowych są znacząco droższe w porównaniu z wykonaniem połączeń miedzianych, jednak efekty są zwykle przewidywalne, podczas gdy tory przewodowe mogą przysporzyć немало problemów (i kosztów), jeśli aplikacja dotyczy długich łączy lub prowadzonych w środowisku silnie zakłóconym. Niekiedy wręcz nie ma alternatywy!

Podstawowe parametry transmisyjne światłowodów

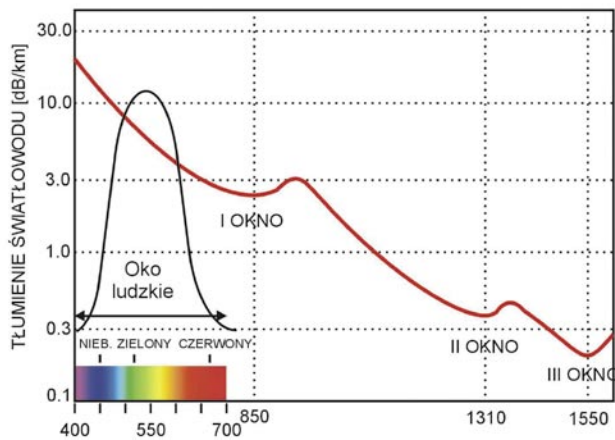
W poniższej tabeli zestawiono typowe parametry transmisyjne najpopularniejszych kabli światłowodowych. Do obliczeń np. budżetu mocy (zasięgu, o czym w następnej części artykułu) należy jednak przyjąć wartości podane w kartach katalogowych, ponieważ różnice bywają znaczne i mogą być przyczyną błędnych obliczeń.

Tab. 1. Zalety i wady światłowodów w porównaniu do przewodu miedzianego.

Cecha - parametr	Koncentryk lub skrętka	Światłowod
Tłumienność	wysoka, rośnie z częstotliwością	niska
Impedancja	zmienna z częstotliwością, niejednorodna na długich kablach	nie dotyczy
Odporność na różnice potencjałów nad. – odb	niska (koncentryk) lub wysoka (skrętka)	pełna izolacja
Odporność na zakłócenia EM	niska (koncentryk) lub dobra (skrętka)	niewrażliwość
Zasięg transmisji	ograniczony do kilkuset m (koncentryk) lub 2000 m (skrętka)	duży lub b. duży
Jakość transmisji	niska lub zadowalająca	wysoka
Podatność łączeniowa	doskonała	wymaga specjalistycznych umiejętności i sprzętu, kosztowna
Odporność mechaniczna	wysoka	stosunkowo niska, ale akceptowalna
Koszt realizacji	niski, ale jeśli łącze nie jest długie, tzn. poniżej 800 m	wysoki lub bardzo wysoki, w zależności od aplikacji

Tab. 2. Typowe parametry transmisyjne najpopularniejszych kabli światłowodowych.

Parametr	Długość fali strumienia św	Jednostka miary	Światłowod wielomodowy		Światłowod jednomodowy
			G/50	G/62,5	
Typowa wartość tłumienności	850 nm 1300 nm 1550 nm	dB/km	2,5 0,7 -	3,0 0,8 -	- 0,33 0,20
Maksymalna wartość tłumienności	850 nm 1300 nm 1550 nm	dB/km	3,0 1,0 -	3,5 1,0 -	- 0,45 0,30
Minimalne pasmo przenoszenia	850 nm 1300 nm 1550 nm	MHz * km	450 800 -	300 600 -	nie ma ograniczenia w zakresie użytkowym



Rys. 3. Charakterystyka tłumienności światłowodu.

W tab. 2 symbolem G/50 oznaczono światłowód gradientowy 50 /125 μm , w którym średnica rdzenia wynosi 50 μm , natomiast średnica płaszczka - 125 μm . Typowa grubość rdzenia w światłowodzie jednomodowym wynosi 8-10 μm , zaś średnica płaszczka, podobnie jak dla światłowodów wielomodowych, 125 μm . Pewnego komentarza wymaga jednostka miary związana z pasmem przenoszenia. Otóż pasmo przenoszenia określa się iloczynem MHz * km, co wskazuje na związek zasięgu i częstotliwości sygnału w danym światłowodzie. Tak określone pasmo przenoszenia światłowodu wskazuje na zakres stosowalności światłowodów wielomodowych do przenoszenia sygnałów szerokopasmowych w funkcji odległości. W przypadku przesyłu wizji w paśmie podstawowym, powyższe ograniczenie „nie zdąży” zadziałać, bowiem jako pierwszy pojawi się problem wyłumienia sygnału świetlnego do poziomu jeszcze akceptowalnego przez czułość odbiornika. Inaczej ma się sprawa w przypadku przesyłu wizji w postaci sygnału FM, kiedy nośna wynosi 70 MHz lub więcej. Wówczas w pierwszej kolejności może zadziałać ograniczenie wynikające z iloczynu pasmo razy odległość, zwłaszcza że ten rodzaj modulacji charakteryzuje się lepszą „wydajnością” zarówno po stronie nadawczej, jak i odbiorczej. Wymagany stosunek sygnału do szumu na wejściu demodulatora może być niższy niż w przypadku modulacji intensywności strumienia świetlnego (AM), przy jednocześnie lepszym S/N sygnału wizyjnego po demodulacji. Podobnie przedstawia się problem przesyłu wizji po cyfryzacji. Stąd wniosek praktyczny: światłowody wielomodowe doskonale nadają się do przesyłu wizji w paśmie naturalnym, ale znacznie gorzej w przypadku modulacji szerokopasmowej. W pewnym zakresie zastosowań dopuszczalne i opłacalne jest stosowanie prostych i tanich rozwiązań, w innych nie jest to możliwe. Wówczas trzeba sięgać po „większy kaliber”. Taka sytuacja powstaje zwykle przy konieczności przesyłu wizji na odległości przekraczające 4-5 km. Do zagadnienia powrócimy w drugiej części artykułu.

Tłumienie niemodulowanego strumienia świetlnego obrazuje także rys. 3, na którym daje się zauważyć





trzy wyraźne minimum tłumienia, związane z określonymi długościami promieniowania świetlnego. Mówi się o tzw. oknach. W związku z takim „zachowaniem się” światłowodów, zarówno źródła promieniowania, jak i detektory optymalizuje się do pracy o owych oknach. Pozwala to na wykorzystanie selektywnych właściwości toru do zwielokrotnienia pojemności transmisyjnej. Jest to zwielokrotnienie z podziałem (multipleksowaniem) długości fali promieniowania (ang. wavelength division multiplexing - WDM). Ten rodzaj zwielokrotnienia wymaga stosowania specjalnych sprzęgaczy (ang. coupler) optycznych, ale pozwala również na realizację duplexowych transmisji na jednym światłowodzie.

Jako źródła światła stosuje się półprzewodnikowe diody emisyjne (LED) lub lasery półprzewodnikowe. Pierwsze z nich są znacznie tańsze od drugich, ale zakres zastosowań obejmuje mniejsze moce promieniowania (rzędu 100-150 μW , rzadko więcej) oraz mniejsze częstotliwości modulacji (rzędu 50-200 MHz, choć spotyka się „szybsze”). Zakres promieniowania LED obejmuje pierwsze lub drugie okno. Diody laserowe mają znacznie większy zakres zastosowań, poczynając od mocy (kilka mW lub więcej), a na szybkości kończąc (zakres GHz). Ponadto doskonale nadają się do systemów ze zwielokrotnieniem WDM, ponieważ mają bardzo wąskie pasma promieniowania fali świetlnej, co przy użyciu specjalnych (i również wąskopasmowych) filtrów optycznych, pozwala na „upakowanie” wielu kanałów przesyłowych w jednym światłowodzie. Niestety, zalety te okupione są bardziej skomplikowanym sterowaniem, uwzględniającym zwrotną kontrolę strumienia dzięki wbudowanej diodzie detekcyjnej, a także znacznie większym kosztem. Jeżeli chodzi o trwałość źródeł promieniowania, to mamy do czynienia z pewną degradacją strumienia świetlnego, postępującą z czasem pracy i „siłą”ysterowania. Najszybciej degradacja następuje w pierwszym okresie eksploatacji, aby po kilkuset godzinach pracy ustabilizować się na stałym, powolnym zmniejszaniu strumienia. Niemniej współczesne źródła promieniowania świetlnego mogą zapewnić pracę przez setki tysięcy godzin. Choć stopniowa degradacja mocy strumienia świetlnego nie jest jedyną przyczyną zmiany poziomu sygnału na wejściu odbiornika, to wymaga stosowania w odbiorniku automatycznej regulacji wzmacnienia (ang. AGC). Systemy bez takiej regulacji zalicza się do najniższej półki.

Konstrukcja kabli światłowodowych

Z natury rzeczy bardzo wąty rdzeń kwarcowy musi być wzmocniony w celu uzyskania akceptowalnej wytrzymałości. Problem ten jest znacznie bardziej złożony niż w przypadku kabli miedzianych. Obecnie stosowane technologie zapewniają dużą wytrzymałość mechaniczną kabli światłowodowych, co nie oznacza, że można obchodzić się z nimi nieostrożnie. Bezwzględnie należy przestrzegać zaleceń producenta dotyczących zginania, rozciągania

Typowe, popularne złącza rozłączalne

	FC/PC: Fiber Connector (ang. złącze światłowodowe) opracowane w NTT złącze z mocowaniem gwintowanym. Physical Contact (ang. kontakt fizyczny) Bardzo mały współczynnik odbicia. Dobre złącze zarówno dla SM, jak i MM.
	SC: Subscriber Connector (ang. złącze abonenckie) o przekroju prostokątnym, w obudowie plastikowej; niebieskie dla SM, a beżowe dla MM. Dedykowane urządzeniom (punktom) abonenckim, ale stosowane znacznie powszechniej. Niewielkie i tanie, o niskiej tłumienności i małym współczynniku odbicia.
	SMA: złącze gwintowane. Jedno z wcześniejszych opracowań, obecnie rzadko stosowane z powodu małej powtarzalności i niskiej jakości.
	ST: Straight Tip (ang. zakończenie proste); złączka z mocowaniem bagnetowym. Uchwyt może być plastikowy lub metalowy. Popularny typ złącza o przyzwoitych parametrach opracowany w firmie AT&T.

Niekiedy nazwy złącz rozszerza się o dodatkowe symbole, wskazujące dodatkowe cechy, np:

PC = Physical Contact (ang. kontakt fizyczny) tłumienność odbiciowa ORL < -45 dB

SPC = Super Polished Physical Contact (ang. kontakt fizyczny superpolerowany), ORL < -50 dB. UPC (kontakt fizyczny ultrapolerowany), ORL < -55 dB

AC = Angled Contact (ang. połączenie kątowe), ORL < -65 dB

APC = Angled Physical Contact (ang. połączenie kątowe z kontaktem fizycznym).

i sposobów układania. W przeciwnym wypadku można narazić się na znaczne koszty. W jednym kablu umieszcza się nawet do kilkudziesięciu nitek światłowodowych.

Ramy niniejszego artykułu ograniczają szczegółowe omówienie obszernego zagadnienia, jakim jest konstrukcja kabli światłowodowych. Materiałami na ten temat dysponuje OTO Lublin - jeden z dwóch polskich producentów kabli optotelekomunikacyjnych. Ich dane adresowe zamieścimy w następnym numerze „Twierdzy”. Karty katalogowe kabli optotelekomunikacyjnych w części dotyczącej konstrukcji mechanicznej zawierają informacje wystarczające do celów praktycznych. Specjalistyczne prace związane z układaniem i łączeniem kabli oraz wykonywaniem połączeń najlepiej zlecić firmie wyspecjalizowanej w tej dziedzinie. Zresztą nie tylko wiedza i doświadczenie są niezbędne do tych czynności: tzw. zarabianie i łączenie światłowodów wymaga specjalistycznego, drogiego oprzyrządowania, co zniechęca do samodzielnego wykonywania połączeń w niewielkiej ilości. Na ogół instalator TV przemysłowej zamawia gotowe zakończenia, które łączy z urządzeniami końcowymi. Zwykle urządzenia te nie wymagają żadnej regulacji (wbudowana ARW). Warto jednak pamiętać, aby odbiór wykonanych łącz poprzedzić pomiarami tłumienności (metryczki!), co pozwoli uniknąć kłopotów podczas uruchamiania transmisji.

Sposoby łączenia światłowodów

O ile znajomość konstrukcji kabli światłowodowych ma niewielkie znaczenie praktyczne dla instalatora (choć nie można sprawy tej zupełnie zaniedbać), o tyle znajomość sposobów łączenia światłowodów uważam za sprawę ważną. Generalnie połączenia światłowodów można podzielić na stałe i rozłączalne. Wykonanie jednych i drugich wymaga posiadania specjalistycznego, kosztownego sprzętu i umiejętności. Niemniej „zarabianie” złącz ruchomych można przy

niewielkim nakładzie pracy i kosztów wykonywać we własnym zakresie. Opłacalność tego przedsięwzięcia może być jednak wątpliwa, jeśli liczba złącz do wykonania jest niewielka i nie ma perspektywy jej zwiększenia w krótkim czasie. Dostępne są specjalne zestawy do zarabiania złącz w cenach rzędu kilka tysięcy złotych.

Jakość połączeń stałych wykonywanych metodą spawania zapewnia niewielkie straty sygnału na poziomie 0,25 dB dla wielomodowych i 0,15 dB dla jednomodowych. Połączenia klejone charakteryzują się nieco większą tłumiennością. Połączenia stałe wykonuje się w celu połączenia odcinków kabli lub w celu naprawy uszkodzonego odcinka.

Połączenia rozłączalne są stosowane najczęściej do połączenia urządzeń końcowych pomiędzy sobą lub z panelem zakończeń kablowych. Jakość tego rodzaju połączeń zapewnia tłumienność rzędu 1,0 dB dla wielomodowych i 0,3 dB dla jednomodowych. Istnieje kilka rozpowszechnionych, znormalizowanych typów złącz światłowodowych, spośród których w TV przemysłowej spotyka się niemal wyłącznie złącza typu ST i FC/PC, a od niedawna SC.

Wyposażeni w tę absolutnie podstawową wiedzę, spokojnie poczekajmy na następny numer „Twierdzy, w którym:

- o podstawowych sposobach modulacji strumienia świetlnego;
- o kalkulacji (budżet optyczny) łącza światłowodowego;
- adresy polskich producentów kabli światłowodowych.

Zainteresowanych tematem odsyłamy również do lektury „światłowodowego” numeru 2/2003 „Twierdzy”, w którym obszernie przedstawiliśmy technologie i urządzenia transmisyjne. Spis artykułów nr 2/2003 można przeczytać na www.twierdza.info