

Streszczenie

Niniejsza rozprawa prezentuje rezultaty badań dotyczących optymalizacji pracy długodystansowych, światłowodowych łączy do transferu czasu i częstotliwości, zawierających dwukierunkowe wzmacniacze optyczne. Rozwiązania tego typu wymagają szczególnej uwagi w zakresie doboru wzmacnień, w celu zapewnienia możliwie wysokiej jakości przesyłanych sygnałów, przekładającej się na stabilność i niezawodność pracy łącza. Choć dobór ten może zostać wykonany w oparciu o metody symulacyjne, to ze względu na brak wiarygodnych danych pozwalających zamodelować łącze, metody te mają ograniczoną dokładność. W związku z tym uzasadnione jest przeprowadzenie tego procesu w łączy fizycznym, w oparciu o wyniki wykonywanych na bieżąco pomiarów jakości jego pracy.

Degradacja jakości pracy łącza związana jest z występowaniem zjawisk niepożądanych, takich jak np. pojedyncze i podwójne rozpraszanie Rayleigha, wzmacniona emisja spontaniczna, czy rozpraszanie Brillouina. Optymalizacja ma na celu znalezienie zestawu wzmacnień, przy których uzyskuje się minimalizację wspomnianych zjawisk niepożądanych, przy jednoczesnym zapewnieniu dużego marginesu, w jakim jakość przesyłanych w łączy sygnałów może ulec zmianie, bez wpływu na pracę całego systemu transmisyjnego. Do oceny tej jakości, można wykorzystać wyniki wykonywanych na końcach łącza pomiarów fluktuacji fazy przesyłanych sygnałów, czyli tzw. jittera, co jednak wymaga wcześniejszego doprowadzenia łącza do stanu operacyjnego. W związku z tym zaproponowano procedurę inicjalizacyjną, która pozwala ustawić wzmacnienia kolejnych wzmacniaczy „jeden po drugim” w taki sposób, by moc optyczna w sąsiadującym urządzeniu osiągnęła wartość powyżej przyjętego progu, związanego np. z czułością wykorzystywanych układów pomiarowych. Po zainicjalizowaniu pracy łącza można przeprowadzić jego optymalizację, zgodnie z opracowaną procedurą, polegającą na wprowadzaniu niewielkich korekt wzmacnień kolejnych wzmacniaczy, każdorazowo sprawdzając ich wpływ na jakość przesyłanych sygnałów. Decyzja odnośnie utrzymania lub wycofania wprowadzonej korekty podejmowana jest na podstawie wyników pomiaru jittera z obydwu końców i z wykorzystaniem kryterium minimax lub kryterium uproszczonego (analiza pierwiastka sumy kwadratów zmierzonych wartości jittera). Rozważono także sytuację, w której pomiar jittera wykonywany jest tylko na jednym z końców łącza. Rezultaty badań potwierdziły możliwość przeprowadzenia skutecznej optymalizacji i uzyskania spójnych rezultatów, bez względu na zastosowane kryterium decyzyjne, jak również niezależnie od sekwencji, w jakiej wprowadzane są korekty wzmacnień wzmacniaczy.

Spośród analizowanych zjawisk niepożądanych, szczególną uwagę zwrócono na wymuszone rozpraszanie Brillouina, które może utrudnić lub wręcz uniemożliwić działanie łącza. W rozprawie przedstawiono wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych dotyczących warunków występowania samego zjawiska, jak i możliwości jego wczesnego wykrycia. Stwierdzono, że dla niskich wartości mocy sygnału rozproszonego, nieliniowość zjawiska ujawnia się w mniejszym stopniu niż w

momencie, gdy rozpraszanie zachodzi w sposób intensywny. Pozwoliło to zaproponować metodę detekcji, polegającą na analizie przyrostów prądu fotodiody, w której następuje zdudnianie sygnałów pochodzących z nieliniowego rozpraszania Brillouina oraz liniowego rozpraszania Rayleigha. Jeśli przyrostowi mocy sygnału, który podlega rozpraszaniu (związanemu np. ze zwiększeniem wzmocnienia wzmacniacza) odpowiada w przybliżeniu liniowo proporcjonalny przyrost prądu, to można przyjąć, że rozpraszanie Brillouina nie zachodzi w sposób mogący zaburzyć pracę łącza.

Ostatnia część rozprawy odnosi się do przypadku, w której pomiary jakości przesyłanych sygnałów wykonywane są nie w modułach brzegowych, ale lokalnie we wzmacniaczach. Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że możliwe jest lokalne odwzorowanie warunków panujących na końcach łącza, w stopniu pozwalającym na prawidłową ocenę jakości jego pracy. Na tej podstawie można przeprowadzić optymalizację bez konieczności zapewnienia komunikacji między zainstalowanymi w łączy urządzeniami.