

Wiktor Chochorowski

ML System S.A.

Charakterystyka wydajności interfejsów komunikacyjnych stosowanych w inwerterach fotowoltaicznych

Artykuł opracowano w ramach projektu: „Pozyskanie wiedzy technicznej nt. współdziałania komponentów elektronicznych w inwerterze fotowoltaicznym dla aplikacji BIPV” (UDA-RPPK-01.03.00-18-035/13-00)

Standard komunikacji RS-485 jest jednym z najpopularniejszych przemysłowych standardów transmisji danych umożliwiającym połączenie wielu urządzeń do pojedynczej magistrali wymiany danych. Na jego warstwie fizycznej bazuje wiele przemysłowych protokołów sieciowych m.in. Modbus czy Profibus. W podstawowym trybie half-dupleks, jako medium transmisji wystarczy magistrala dwuprzewodowa. Wtedy nadawanie i odbiór realizowane muszą być naprzemiennie. Aby zapewnić transmisje full-dupleks należy zastosować dwie magistrale dwuprzewodowe oddzielne do nadawania i odbioru tak, aby w tym samym czasie mógł występować odbiór jak i nadawanie danych na magistrali. Standard RS-485 przewiduje, że nadajnik powinien mieć wyjście różnicowe z minimalnym napięciem na poziomie 1,5V. Natomiast odbiornik powinien odbierać sygnały różnicowe o wartości 200mV. Ważną zaletą standardu RS-485 jest różnicowa transmisja przy użyciu skrętki dwuprzewodowej. Stosując przewód transmisyjny w postaci skrętki można wyeliminować większość zewnętrznych zakłóceń elektromagnetycznych. Zakłócenia te oddziałują jednakowo na obie linie, przez co nie ma to wpływu na sygnał

różnicowy. W przypadku stosowania standardu RS-485 należy stosować przewody o impedancji 120Ω . Magistrale muszą być zakończone rezystorami dopasowującymi o wartości równej impedancji przewodu. Dla jednej magistrali standardowo można podłączyć do 32 urządzeń. Istnieje także możliwość zastosowania układów o mniejszej obciążalności. Pozwala to na zwiększenie ilości podłączonych do magistrali urządzeń do 64 lub nawet, w specjalnych zastosowaniach, do 256 sztuk. Według opisywanego standardu największa zalecana prędkość transmisji to 10Mb/s. Obecnie szybkie interfejsy pracują z prędkościami do 40Mb/s. Zasięg standardu RS-485 sięga około 1200m przy zachowaniu przepływności informacji na poziomie 100 kbit/s. Prędkości transmisji 35Mbit/s jest możliwa przy odległości sięgającej maksymalnie do 10m. Przy dużych długościach linii transmisyjnych szybkość transmisji ograniczona jest przez straty związane z rezystancyjnym charakterem linii transmisyjnej. Przy wysokich częstotliwościach sygnału znaczący wpływ odgrywa reaktancyjny charakter linii, przez co należy stosować krótsze przewody. Przy szybkości transmisji 1000kb/s i czasie narastania 100ns maksymalna długość połączenia urządzenie –

magistrala nie powinna przekraczać 2m, ale już przy szybkości 200kb/s i czasie narastania około 500ns odległość połączenia wzrasta do około 12m.

Drugim z interfejsów komunikacyjnych zbadanych podczas realizacji projektu był standard **Ethernet** (opisany w tabeli 1). Interfejs ten został opracowany w latach 70-tych i jest obecnie oznaczany, jako IEEE 802.3. Wykorzystuje on topologie typu magistrala, pierścień lub gwiazda. Każdy węzeł w sieci posiada unikatowy adres MAC. Szybkość transmisji danych rozpoczyna się od 1Mbit kolejne to 10 i 100Mbit oraz 1 i 10Gbit kończąc na 100Gbit. Ethernet 100Mbit, jako medium transmisyjne najczęściej wykorzystuje skrętkę nieekranowaną UTP kategorii piętej lub wyższej.

Do wykrywania kolizji w sieciach typu Ethernet pracujących w trybie half-duplex, wykorzystuje się specjalny protokół CSMA/CD. W czasie transmisji urządzenie nadające monitoruje dane w celu wykrywania kolizji. W momencie wykrycia kolizji nadawanie jest przerywane i wysyła sekwencje informującą o kolizji, aby poinformować, że dane są nie ważne. Następnie po losowo wybranym czasie następuje sprawdzenie zajętości kanału i próba

transmisji. Gdy ponownie wykryta zostanie kolizja, transmisja jest powtarzana jednak przy większym czasie przerwy niż poprzednio. Po przeprowadzonej poprawnej transmisji kasowany jest licznik kolizji. Typowo w standardzie Ethernet stosuje się podział transmisji z podziałem na protokoły TCP i UDP. Protokół TCP umożliwia transmisje danych z potwierdzeniem. Gwarantuje on dostarczenie pakietów w całości zachowując ich kolejność i nie powodując przesyłania duplikatów. Protokół ten wykorzystuje sumy kontrolne i numery sekwencyjne pakietów w celu weryfikacji wysyłki i odbioru. Protokół UDP W przeciwieństwie do protokołu TCP nie zapewnia kontroli transmisji. A więc nie ma pewności dostarczenia pakietów, rozróżnienia duplikatów ani przekazania pakietów w odpowiedniej kolejności. Zaletą tego typu protokołu jest większa szybkość transmisji.

Istnieje kilka odmian Ethernetu przemysłowego. Najbardziej popularnym jest Profinet. Łączy on cechy sieci Profibus DP (szybkość i cykliczna

wymiana danych) z uniwersalnością Ethernetu. Wprowadzono w nim mechanizmy zwiększające niezawodność komunikacji i możliwość wykonania operacji w czasie rzeczywistym. Kolejną odmianą jest Ethernet/IP. Zapewnia ona szybką i efektywną wymianę komunikację oraz niezawodną wymianę danych.

Obecnie w przemyśle rezygnuje się z komunikacji wykorzystującej, jako medium miedziane przewody zastępując je światłowodami. Głównymi powodami tego przejścia jest ich bardzo wysoka odporność na zakłócenia elektromagnetyczne emitowane przez maszyny oraz odporność na czynniki pogarszające, jakość transmisji - skrajne temperatury i wilgotność czy zjawiska atmosferyczne. Kolejną zaletą światłowodów jest możliwość układania ich razem z przewodami zasilającymi bez obaw, o jakość transmisji np. farmy fotowoltaiczne zapewnienie łączności pomiędzy poszczególnymi elementami instalacji. Brak połączeń miedzianych zapewnia separację galwaniczną

pomiędzy urządzeniami w sieci. Dzięki temu występuje bardzo małe prawdopodobieństwo uszkodzenia urządzeń w sieci na skutek wyładowań atmosferycznych lub przepięć w urządzeniach.

Światłowody są idealnym medium transmisyjnym w strefach zagrożenia wybuchem. Gwarantują bezpieczną transmisję danych odporną na różnego rodzaju przesłuchy. Dodatkową zaletą jest niższa waga światłowodów w porównaniu do przewodów miedzianych. Kolejną zaletą światłowodów jest większa szybkość transmisji, którą można uzyskać za ich pomocą w porównaniu do przewodów miedzianych. Dla przykładu w sieci Profibus stosując przewody miedziane można uzyskać prędkość transmisji 12Mb/s przy odległości maksymalnej 80m. Stosując światłowód plastikowy wielomodowy odległość zwiększy się do 2-3km lub nawet powyżej 15km w przypadku światłowodu jednomodowego. Światłowody są obciążone dużym problemem związanym z ich cięciem i łączeniem. Łączenie odbywa się poprzez użycie specjalistycznego urządzenia zwanego spawarką światłowodową.

W transmisji światłowodowej wykorzystywana jest modulowana fala świetlna pochodząca z lasera półprzewodnikowego lub diody LED. Fala świetlna odbierana jest za pomocą elementu światłoczułego np. foto diody i następnie zamieniana jest na sygnał elektryczny. Światłowody jednomodowe mogą przewodzić tylko jeden mod. Rdzeń takiego światłowodu ma średnicę około 5-10 mikrometrów. Tego typu światłowody posiadają bardzo dobre właściwości częstotliwościowe. Ten rodzaj światłowodów stosowany jest do dalekiej transmisji danych. Ich wadą jest problem z łączeniem ze

Tabela 1. Charakterystyka standardu Ethernet

| Typ standardu | Maksymalna szybkość | Medium transmisji | Maksymalna odległość |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------|
| 100 Megabit Ethernet | | | |
| 100Base-Tx | 100Mbit/s | Wymagane 2 pary skrętki kategorii 5 | 100m |
| 100Base-FX | 100Mbit/s | Światłowód wielomodowy | 2km |
| 1 Gigabit Ethernet | | | |
| 1000BASE-T | 1Gb/s | Skrętka UTP kategorii 5 lub wyżej | 100m |
| 1000BASE-SX | 1Gb/s | Światłowód | 550m |
| 1000BASE-LX | 1Gb/s | Światłowód wielomodowy / jednomodowy | 550 / 5000m |
| 10 Gigabit Ethernet | | | |
| 10GBASE-SR | 10Gb/s | Światłowód wielomodowy | 65m |
| 10GBASE-LX4 | 10Gb/s | Światłowód wielomodowy / jednomodowy | 300 / 10 000m |
| 10GBASE-LR | 10Gb/s | Światłowód jednomodowy | 10 000m |
| 10GBASE-ER | 10Gb/s | Światłowód jednomodowy | 40 000m |
| 10GBASE-ZR | 10Gb/s | Światłowód jednomodowy | 80 000m |
| 10GBASE-T | 10Gb/s | Skrętka UTP kategorii 6a lub 7 | 100m |

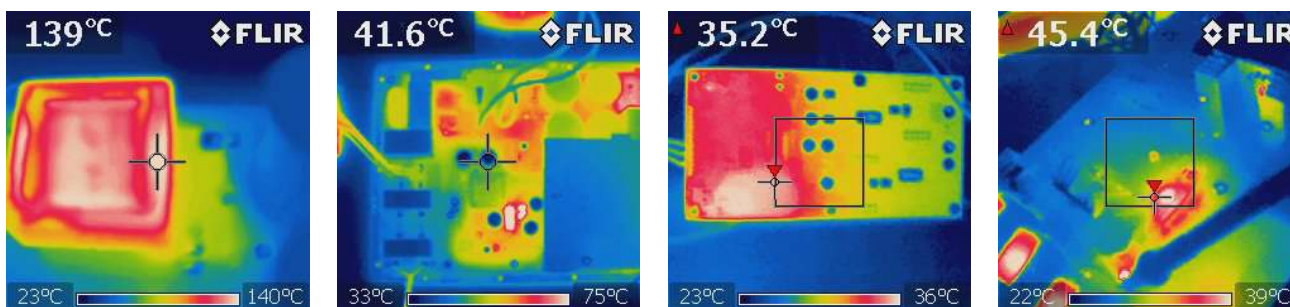
Tabela 2. Charakterystyka interfejsów światłowodowych

| | Długość fali (nm) | Maksymalny zasięg (m) | | | |
|----------------------|-------------------|-----------------------|-----|-----|------|
| | | OM1 | OM2 | OM3 | OM4 |
| Fiber Channel | | | | | |
| 4 Gbps | 850 | 70 | 150 | 380 | 400 |
| 8 Gbps | 850 | 21 | 50 | 150 | 200 |
| 16 Gbps | 850 | 15 | 35 | 100 | 130 |
| Ethernet | | | | | |
| 1 Gbps | 850 | 275 | 550 | 800 | 1100 |
| 10 Gbps | 850 | 33 | 82 | 300 | 550 |
| 40 i 100 Gbps | 850 | - | - | 100 | 125 |
| 1 Gbps | 1300 | 550 | 550 | 550 | 550 |

Promień światła może składać się z wielu składowych, które mogą być przenoszone jednocześnie. W światłowodach wielomodowych występuje zjawisko zniekształcenia impulsu wyjściowego a więc ograniczenie prędkości transmisji i odległości. Charakterystyka interfejsów światłowodowych została przedstawiona w tabeli 2.

względem na bardzo cienki rdzeń. Na rdzeń jest grubszy niż rdzeń rynku dostępne są także światłowodów jednomodowych i ma światłowody wielomodowe. Ich około 50 mikrometrów średnicy.

W ramach projektu przeprowadzono testy z wykorzystaniem ciekłego azotu, nanoszonego na poszczególne elementy interfejsów komunikacyjnych przy pomocy jednorazowych precyzyjnych dyspenserów - nie wykazały one wpływu zmiennych warunków temperaturowych, na jakość, szybkość oraz wydajność pracy układów komunikacyjnych wykorzystujących do transmisji technologię optyczną. Jedynie skrajnie niskie i wysokie miały wpływ na zmianę funkcjonowania interfejsów. Wartości temperatury na uzyskanie, których pozwoliło wykorzystanie ciekłego azotu (poniżej -40°C) potrafiły wpłynąć na prędkość interfejsu, które w każdym z badanych układów wykazywały wzrost szybkości, co jest zgodne z typową budowa układów elektronicznych wykorzystujących w swojej strukturze krzem. Przykładowe zdjęcia z przeprowadzonych testów zostały przedstawione na rysunku nr 1 poniżej. W drugim przypadku – podwyższonej temperatury, której wartość sięgała poza deklarowane przez producentów wartość (powyżej 125°C), którą osiągnęto przy użyciu stacji gorącego powietrza. Efektem oddziaływania tak wysokiej temperatury było spowolnienie transmisji komunikacji oraz błędy CRC.



Rys. 1. Zdjęcia termowizyjne z przeprowadzonych prób termograficznych

Biorąc pod uwagę wszystkie wady i zalety obecnie stosowanych mediów transmisyjnych już na etapie projektowania urządzenia, a nawet i samej jego koncepcji, warto wziąć pod uwagę realizację magistral wymiany danych realizowanych za pomocą łączy światłowodowych. Rozwiązania te pomimo nadal wysokich cen implementacji, stają się z każdym miesiącem coraz tańsze. Już dzisiaj możliwa jest kalkulacja kosztów uwzględniając zalety, jakie niesie ze sobą użycie łączy optycznych, między innymi odporność na zakłócenia elektromagnetyczne i wyładowania atmosferyczne oraz zapewniana separacja galwaniczna pomiędzy poszczególnymi blokami systemu. Poprawienie bezawaryjności urządzenia pozwoli na wyeliminowanie kosztów związanych z serwisowaniem urządzeń w przyszłości.