

Adam KUŹMA, Maciej ZAJKOWSKI
POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA

Sterowanie przekształtnikiem równoległego filtra aktywnego ze światłowodową transmisją TOSLINK

Dr inż. Adam KUŹMA

Pracownik Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej na stanowisku asystenta w Katedrze Energoelektroniki i Napędów Elektrycznych. Obszar zainteresowań: elektroenergetyczne filtry aktywne, napędy elektryczne, automatyka, programowalne sterowniki cyfrowe PLC. Członek PTETiS.



e-mail: akuzma@pb.edu.pl

Dr inż. Maciej ZAJKOWSKI

Pracownik Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej na stanowisku adiunkta w Katedrze Promieniowania Optycznego. Obszar zainteresowań: światłowody, optoelektronika, technika świetlna, fotometria. Członek PTETiS, SEP, PKOŚ.



e-mail: maczak@we.pb.edu.pl

Streszczenie

Artykuł przedstawia wyniki badań równoległego filtra aktywnego poprawiającego właściwości odbiornika nieliniowego, w którym wykorzystano transmisję sygnałów sterujących łączem światłowodowym. Transmisję światłowodową zrealizowano przy wykorzystaniu układu TOTO/TORX 173 i polimerowego włókna optycznego (POF). Dotychczasowe rozwiązania wykorzystujące klasyczne łącza miedziane sprawdzały się do transmisji na odległość tylko rzędu kilkunastu centymetrów, ze względu na bardzo duże zniekształcenia wynikające z oddziaływania zewnętrznego pola elektromagnetycznego na przewody transmisyjne. Stosując optyczne łącza światłowodowe uzyskano poprawną pracę układu z możliwością odseparowania modułów sterujących na odległość rzędu 10 m, z perspektywą wydłużenia linii transmisyjnej, wykorzystując technikę WDM.

Słowa kluczowe: odbiornik nieliniowy, filtr aktywny, światłowod, LED, fotodoetektor, WDM.

Inverter control of parallel active power filter with TOSLINK optical transmission

Abstract

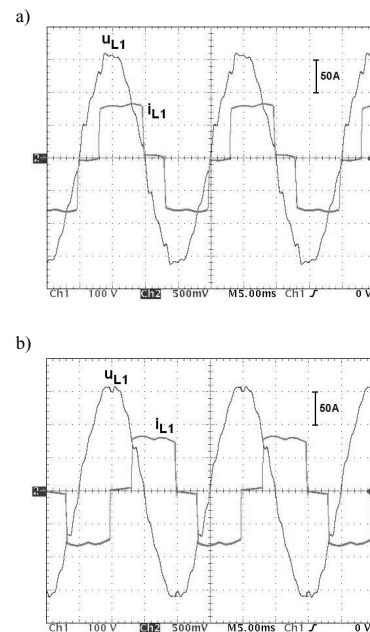
The paper presents investigation results of the parallel active power filter, which improves the propriety of nonlinear receiver set. Control system is using the TOSLINK optical link transmission. The optical systems of data transmission usually be used in telecommunication optical nets, audio-video connection or there, where assured the suitable quality of signal has to be. The light is insensitive on electromagnetic field, under regard his speed of changes and the value of field amplitude. This optical track proprieties can transfer information in subject to electromagnetic disturbance environments Fig. 4) [3]. The system control was executed in two ways. Technologically simpler was the system of individual input-output channels (Fig. 5). The more advanced WDM system (Fig. 6), was using the multiplexation and demultiplexation of optical signal broadcast with single fiber. The transoptors elimination from control systems and leaning in their place the optical broadcast system based on TOTX/TORX 173 (Fig. 7) improves the quality of steering signal quality and increases the transmission band in comparison to integrated arrangements. The use of optical fiber separation permits on shortening the distance between module and inverter. The signal analysis from oscilloscope (Fig. 8) shows small delay, which results from the time of detection by TORX and insignificant disconnection time of TOTX. The test of optical link was executed by the optical fiber of length nearly 10 m.

Keywords: nonlinear receiver, active power filter, optical fiber, LED, photodetector, WDM.

1. Wstęp

Tyristorowe prostowniki sterowane zastosowane w odbiornikach nieliniowych posiadają wiele wad [1]. Wprowadzają szereg deformacji w przebiegu napięcia w węzle sieci, do którego są podłączone. Przebieg prądu charakteryzuje się dużym odkształceniem od sinusoidy (rys. 1). Powstaje także niekorzystne przesunięcie pierwszej harmonicznej prądu względem napięcia. Powoduje to

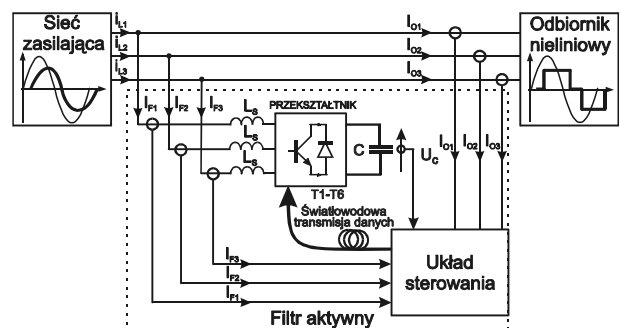
zmniejszenie $\cos \varphi$ i pogorszenie jakości energii pobieranej lub oddawanej do sieci zasilającej.



Rys. 1. Oscylogramy napięcia fazowego u_{L1} i prądu i_{L1} podczas pobierania (a) i podczas oddawania (b) energii do sieci zasilającej przez odbiornik nieliniowy (prąd w obwodzie prądu stałego wynosi 500 A)

Fig. 1. The net voltage u_{L1} and current i_{L1} waveforms during absorb power (a) and develop power (b) by nonlinear receiver (operation state $I_d = 500$ A)

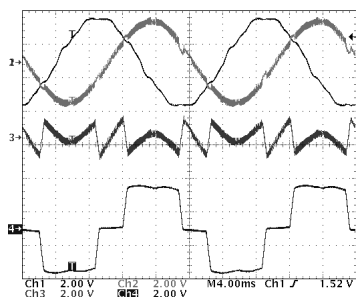
Aby zminimalizować niekorzystny wpływ odbiorników nieliniowych na kształt przebiegu napięcia i prądu linii zasilającej zainstalowano równoległy filtr aktywny (APF), którego sposób podłączenia oraz schemat blokowy przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schemat blokowy podłączenia filtra aktywnego

Fig. 2. The block scheme of connecting active power filter

Filtr włączony jest równoległe do odbiornika, którego czasowy przebieg prądu odkształcony jest od sinusoidy. Filtr aktywny sterowany jest w taki sposób, aby kształtowany przez niego prąd po zsumowaniu z prądem odbiornika nieliniowego był w przybliżeniu sinusoidalny (rys. 3).



Rys. 3. Przebiegi czasowe napięcia fazowego (1), prądu sieci zasilającej (2), prądu filtra aktywnego (3) oraz prądu odbiornika nieliniowego (4)
Fig. 3. Voltage and currents waveforms: power network voltage and current (1, 2), active filter current (3) and nonlinear receiver current (4)

Filtr aktywny może być sterowany również w taki sposób aby oprócz mocy deformacji kompensował moc bierną [2], wówczas pierwsza harmoniczna prądu sieci zasilającej jest w fazie z napięciem sieci. Trójfazowy filtr aktywny ma konfigurację 6T - 6D tzn. jest zbudowany z 6 tranzystorów IGBT ($T_1 - T_6$) oraz 6 diod ($D_1 - D_6$) połączonych odwrotnie równoległe. Od strony stałonapięciowej podłączona jest bateria kondensatorów elektrolitycznych C, pracująca jako magazyn energii służący do wyrównywania pulsacji chwilowej mocy czynnej pobieranej przez odbiornik nieliniowy.

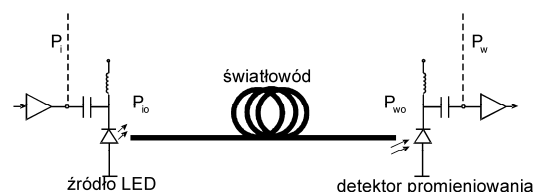
Przekształtnik filtra aktywnego (rys. 2) zbudowany jest z tranzystorów bipolarnych z izolowaną bramką (IGBT, Isolated Gate Bipolar Transistor). Stanowią one atrakcyjny półprzewodnikowy łącznik przydatny do układów o mocy nawet kilkuset kilowatów pracujący z częstotliwością przełączania sięgającą 20 kHz. Maksymalne dopuszczalne wartości blokowanego napięcia przekraczają 2 kV, co oznacza pełną przydatność IGBT w układach zasilanych z sieci o napięciu skutecznym 400 V i wyższym. Prądy znamionowe mogą mieć wartość do 1 kA. Niezwykle ważną zaletą IGBT jest, przejęta od tranzystora MOS, łatwość sterowania go przez zmianę potencjału izolowanej bramki, co bardzo upraszcza konstrukcję całego urządzenia. Między układem sterowania i kluczami tranzystorowymi poszczególnych modułów musi być zapewniona izolacja galwaniczna. Izolacja galwaniczna musi obejmować zarówno zasilanie jak i sygnały sterowania oraz błędów (IFO). Producent modułów tranzystorowych proponuje aby sygnały sterujące i błędów były przekazywane za pośrednictwem separatorów optoelektronicznych (transoptorów). W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania światłowódów do przekazywania sygnałów sterowania i sygnału o zakłóceniach. Takie rozwiązanie ma wiele zalet. Jedną z nich, może nawet najważniejszą, jest niewrażliwość na zakłócenia powstałe przez pole elektromagnetyczne co daje możliwość umieszczenia układu sterowania w znacznych odległościach od części siłowej.

2. Systemy światłowodowe

Światłowodowe systemy transmisji danych wykorzystywane są zwykle w telekomunikacyjnych sieciach optycznych, torach transmisji sygnału audio-video lub tam, gdzie zapewniona musi być odpowiednia jakość sygnału. Światło, jako medium transmisyjne, jest niewrażliwe na pola elektromagnetyczne, zarówno pod względem jego szybkości zmian jak również wartości amplitudy pola. Dzięki tym właściwościom tor optyczny może przenosić informację w środowiskach narażonych na zakłócenia elektromagnetyczne [3].

System transmisji danych, który wykorzystuje łącze światłowodowe, składa się z nadajnika, włókna optycznego oraz odbiornika (rys. 4). Przy transmisji danych najczęściej wykorzystuje się

światło z zakresu podczerwieni (850 nm) lub górnego zakresu pasma widzialnego (650 nm). W transmisji dalekosieżnej stosuje się promieniowanie podczerwone z zakresu (1300 nm, 1550 nm), które zależy od spadku tłumienia w oknach transmisyjnych (spadek tłumienia przy długościach fali 850 nm, 1300 nm i 1550 nm) [4]. Do sterowania systemami energetycznymi wystarczy widzialny zakres promieniowania lub bliska podczerwień. Światłowody wykorzystywane w technice cyfrowej transmisji to głównie włókna plastikowe POF (Plastic Optical Fibre) lub PCS (Polimer-Clad Silica) ze szklanym rdzeniem.



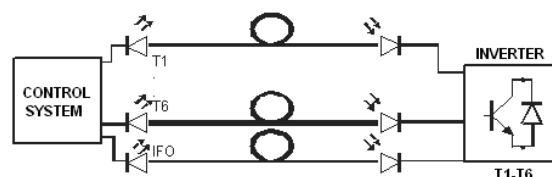
Rys. 4. Tor optyczny do transmisji danych wykorzystujący światłowód (P_1 – sygnał wejściowy przed konwersją elektrooptyczną, P_{10} – moc optyczna sygnału wejściowego, P_w – sygnał wyjściowy po konwersji elektrooptycznej, P_{w0} – moc optyczna sygnału wyjściowego)

Fig. 4. Optical path with fiber optic to data transmission (P_1 – input signal before electrooptical conversion, P_{10} – optical power of input signal, P_w – output signal after electrooptical conversion, P_{w0} – optical power of output signal)

Transmisja sygnału między układami IPM narzuca separację galwaniczną. Przełączniki optyczne (transoptory) należą do najprostszych elementów separujących, przy czym należy zwrócić uwagę, iż transoptory wymagają doprowadzenia sygnału sterującego za pomocą kabla elektrycznego. O ile przy bardzo krótkich odcinkach (rzędu mm) nie ma to większego znaczenia, to gdy doprowadzenie elektryczne przekracza kilkanaście centymetrów, wówczas staje się ono anteną odbierającą zakłócenia elektryczne. Dodatkowym minusem optycznej separacji z wykorzystaniem transoptorów, jest ich ograniczona częstotliwość oraz szybkość przełączania. Aby wyeliminować słabe ogniwo takiego systemu, należy w obszar komutacji sygnału optycznego wprowadzić włókno światłowodowe [5].

Systemy transmisyjne w najprostszej postaci budowane są w oparciu o nadajniki LED (źródło w postaci diody lub lasera półprzewodnikowego) oraz odbiorniki w postaci fotodiod PIN lub fotodiod lawinowych. System taki jest wówczas jednokanałowy. O ile nadajnik wykonany w technologii LED potrafi przesłać sygnał o częstotliwości poniżej 200MHz w zakresie bliskiej podczerwieni (850 nm), to większość popularnych fotodiod używanych w transoptorach lub układach TOSLINK charakteryzuje się częstotliwością graniczną około 20 kHz.

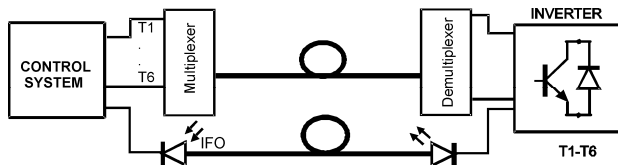
Współpraca filtra aktywnego APF oraz BES wymusza transmisję na poziomie 1 MHz, zatem typowe rozwiązania oparte na klasycznych fotodiodach są w tym przypadku bezużyteczne, co potwierdziły wcześniejsze badania, przeprowadzone z użyciem układów TOSLINK [4]. Fotodiody typu PIN lub fotodiody lawinowe osiągają czasy przełączania rzędu 5 ns, przy czym czasy narastania i opadania impulsu są mniejsze niż 1 ns [4]. Przy transmisji jednokanałowej i odległościach między modułami sterowania rzędu kilku metrów możliwe jest wykorzystanie analogowej transmisji światłowodowej z detekcją bezpośrednią (rys. 5).



Rys. 5. Sterowanie przekształtnika za pomocą systemu z detekcją bezpośrednią
Fig. 5. Inverter control by direct detection system

Sterowanie przekształtnikiem można realizować na dwa sposoby, prostszym technologicznie układem pojedynczych kanałów nadawczo-odbiorczych (rys. 5), lub bardziej zaawansowanym

systemem WDM z multipleksacją i demultipleksacją sygnału optycznego transmitowanego pojedynczym włóknem (rys. 6).



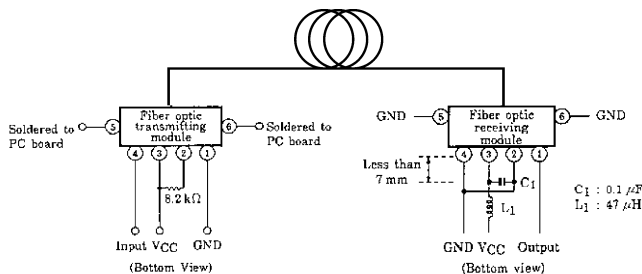
Rys. 6. Sterowanie przekształtnika za pomocą szerokopasmowego systemu WDM
Fig. 6. Inverter control by WDM broad-band system

Długość światłowodu nie przekracza kilkunastu metrów, zatem przesył sygnału odbywa się bez regeneracji. W badaniach dotyczących możliwości sterowania systemami zasilającymi wykorzystano układ z detekcją bezpośrednią oparty na układach TOTX/TORX 173, które cechują się właściwościami opisanymi w tabeli 1.

Tab. 1. Właściwości układu TOTX/TORX 173
Tab. 1. TOTO/TORX 173 properties

Parametr	TOTX 173	TORX 173
Prędkość, Mb/s	6	6
Długość światłowodu, m	10 (POF)	10 (POF)
Długość fali promieniowania, nm	400 – 800	660
Czas narastania impulsu, ns	10 – 30	–
Czas opadania impulsu, ns	5 – 30	–
Pobór prądu, mA	15 – 25	22 – 40
Napięcie V_{IH} , V	2,0	2,7
Napięcie V_L , V	0,8	0,4

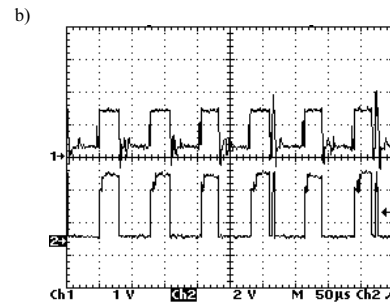
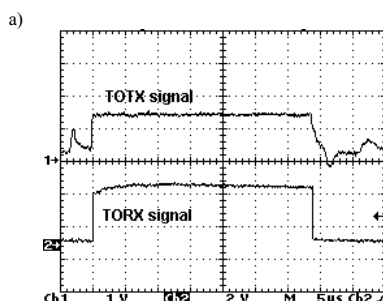
Do poprawnej pracy systemu światłowodowego niezbędna jest odpowiednia aplikacja modułów nadawczych i odbiorczych, która w przypadku układów TOTX/RX 173 wygląda jak na rysunku 7.



Rys. 7. Układ pracy TORX173 i TOTX173
Fig. 7. TOTO/TORX173 application

Separacja galwaniczna wykorzystująca światłowód, pozwoliła na zdystansowanie względem siebie modułu sterującego i inwertera. Uzyskane przebiegi sygnału po wyjściu ze światłowodu i konwersji do postaci TTL pozwalają sądzić, że układ oparty na włóknie optycznym spełnia swoje zadanie.

Analizując sygnał z oscyloskopu (rys. 8), można zaobserwować bardzo małe opóźnienie sygnału, którego wynikiem jest czas detekcji przez układ TORX, oraz nieznaczny czas wyłączenia nadajnika TOTX. Próby łącza optycznego wykonano przy światłowodzie o długości 10 m.



Rys. 8. Sygnały elektryczne w układzie TOTX/TORX173: a) pojedynczy sygnał sterujący, b) sekwencja sygnałów sterujących
Fig. 8. Electrical signals in TOTX/TORX173: a) single control signal, b) sequence of control signals

3. Podsumowanie

Zaletą światłowodowych systemów transmisji danych jest ich niewrażliwość na pole elektromagnetyczne, w którym znajduje się włóknem optyczne. Wykorzystanie zintegrowanych układów optoelektronicznych w sterowaniu przekształtnikiem nie jest możliwe, ze względu na konieczność doprowadzenia sygnałów sterujących przewodem ekranowanym. Kable sygnałowe znajdują się w obszarze działania bardzo silnego pola elektromagnetycznego, wobec czego następuje bardzo duże zaburzenie transmisji. Wyeliminowanie transoptorów i wprowadzenie w ich miejsce światłowodowego systemu transmisji, powoduje polepszenie jakości sygnałów sterujących oraz zwiększenie pasma transmisyjnego w porównaniu do układów zintegrowanych. Optyczna transmisja sygnału sterującego odbywać się może w znacznym zakresie długości fali, począwszy od promieniowania widzialnego aż do podczerwieni. Wykorzystanie źródeł LED z zakresu widzialnego promieniowania elektromagnetycznego można realizować tylko wtedy, gdy światłowody zaopatrzone są w płaszcz ochronny, pochłaniający promieniowanie pasożytnicze z zewnątrz i dodatkowo chroniący włóknem od narażeń środowiskowych. Praca układu optycznego w którymkolwiek oknie transmisyjnym pozwala na standaryzację zarówno systemu nadawczego jak też odbiorczego. Sterowanie równoległym filtrem aktywnym stanowi przykład, w którym wykorzystano światłowodową transmisję sygnałów sterujących. Światłowodową transmisję TOSLINK można wykorzystać we wszystkich przekształtnikach energoelektronicznych zbudowanych na bazie tranzystorów bipolarnych z izolowaną bramką (IGBT).

Przedstawione prace prowadzone są w ramach pracy własnej nr S/WE/01/08 i S/WE/02/08 finansowanej przez KBN.

4. Literatura

- [1] Multi-author work edited by Heider A.: Batterie – Energiespeicher in der Elektrizitätsversorgung. Kompendium Verlag Mainz, Aachen, 1996.
- [2] Kuźma A.: Kompensacja negatywnego oddziaływania akumulatorowego zasobnika energii elektrycznej na sieć zasilającą. Pol. Białostocka 2006.
- [3] Werdoni J.: The applications of plastic fibers in industrial electronic systems. Proc. of SPIE, vol.6159, Warsaw 2006.
- [4] Bielecki Z.: Detekcja sygnałów optycznych. WNT, Warszawa 2001.
- [5] Kuźma A., Zajkowski M.: Optical transmission of the active power filter cooperating with battery energy storage control system. Proc. of SPIE, vol.6937, Warsaw 2007.