

MODULACJE ANALOGOWE I CYFROWE W ŚRODOWISKU MATHCAD I VISSIM

Krystyna Maria NOGA

Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny, 81-225 Gdynia, ul. Morska 81-87
Katedra Automatyki Okrętowej, tel: (58) 6901471, fax: (58) 69 01 445, e-mail: jagat@am.gdynia.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono pakiet dydaktyczny umożliwiający praktyczne zapoznanie się z właściwościami różnych rodzajów modulacji analogowych i cyfrowych.

Słowa kluczowe: symulacja, modulacje analogowe i cyfrowe, Mathcad, Vissim.

1. WSTEP

Zadaniem systemu telekomunikacyjnego jest przesłanie informacji od nadawcy do odbiorcy, przy czym nadawca i odbiorca są fizycznie od siebie odseparowani. Większość kanałów transmisyjnych posiada charakter pasmowy. Dlatego też w nadajniku dokonuje się przekształcenia sygnału informacyjnego do postaci dogodnej dla transmisji poprzez określony kanał. Tory transmisyjne wymagają stosowania modulacji sygnału nośnego. W procesie modulacji sygnał informacyjny (sygnał modulujący, użyteczny) małej częstotliwości wpływa na określone parametry sygnału wielkiej częstotliwości (sygnału modulowanego, nośnego). Modulacja polega więc na zmianie parametrów sygnału. Odpowiednio dobrana modulacja zmniejsza wpływ zakłóceń na jakość transmisji. Wybór rodzaju modulacji zależy między innymi od pasma częstotliwości zajmowanego przez informację, poziomu mocy użytecznej, mocy zakłóceń, wymaganej niezawodności transmisji. W artykule zostanie przedstawiony pakiet dydaktyczny, który prezentuje wybrane zagadnienia z zakresu modulacji analogowych i cyfrowych (kluczowanych). Do budowy pakietu wykorzystano środowisko Mathcad oraz Vissim. Każde zagadnienie zawiera opis teoretyczny przygotowany w Microsoft Office. Środowiska Mathcad i Vissim są wzajemnie uzupełniającymi się narzędziami, które umożliwiają testowanie poszczególnych rozwiązań wybranego systemu modulacji. Pakiet umożliwia porównanie systemów modulacji zbudowanych w środowisku Mathcad na podstawie opisu matematycznego oraz z odpowiednich elementów blokowych zbudowanych w Vissimie. Komentarze do poszczególnych zależności matematycznych zawierają nazwy równoważnych bloków opracowanych w środowisku Vissim. Każdy użytkownik pakietu ma możliwość poznania nie tylko przebiegów czasowych w dowolnych punktach układu, ale posiada również możliwość zapoznania się z jego strukturą wewnętrzną. Dlatego też w pakiecie nie wykorzystano gotowych bloków, np. modulatorów, demodulatorów przetworników ADC, DAC, przesuw-

ników fazowych, znajdujących się w środowisku Vissim. Do budowy układów najczęściej wykorzystano najprostsze standardowe elementy środowiska Vissim. Opracowany w ramach pracy dyplomowej [1] pakiet ma za zadanie zapoznać studentów z właściwościami wybranych rodzajów modulacji stosowanych w systemach transmisji danych. Pakiet umożliwia analizę czasową i widmową omawianych rodzajów modulacji i demodulacji, poznanie technik telekomunikacyjnych. Ponadto umożliwia weryfikację treści zawartych w licznych publikacjach, np. [2, 3, 7, 8]. W pakiecie zaprezentowano między innymi modulacje amplitudy: dwuwęstęgową bez fali nośnej (DSB-SC), z falą nośną (DSB-LC, AM), z wytłumioną wstęgą boczną i falą nośną (SSB-SC), z wytłumioną wstęgą boczną SSB (SSB-LC), z częściowo wytłumioną wstęgą boczną (VSB, VSB-AM), modulację fazy PM, modulację częstotliwości FM, modulacje impulsowe: amplitudy PAM, czasu trwania impulsów PWM, szerokości impulsu PWM, położenia impulsu PPM, kodową PCM, sigma – delta SDM, modulacje kluczowane amplitudy: ASK, OOK, MASK, częstotliwości: FSK, MFSK, fazy: PSK, DPSK, wielowartościowe modulacje kwadraturowe: QPSK, DQPSK, MPSK, QAM, $\pi/4$ -QPSK, QQPSK. Ze względu na szeroki zakres zaprezentowanych w pakiecie zagadnień, w artykule przedstawiono jedynie wybrane rodzaje modulacji i demodulacji.





2. BUDOWA PAKIETU DYDAKTYCZNEGO

Omawiany pakiet zawiera projekty układów oraz symulacje, które prezentują poszczególne systemy modulacji (tablica 1). Dzięki odnośnikom możliwe jest łatwe przejście do kolejnego zagadnienia. Po dwukrotnym kliknięciu myszką na określone zagadnienie w menu głównym lub ikonę w pozostałych oknach otwiera się nowe okno dotyczące wybranego tematu. W prezentacji multimedialnej dostępne są cztery różne ikony, które umożliwiają otwarcie przypisanych do nich okien z informacjami przygotowanymi w określonym środowisku (tablica 2). Główne menu pakietu zostało przygotowane w środowisku Mathcad. Zastosowano tutaj system wyróżnień tekstu, co ułatwia przeglądania danego okna. Kolor zielony wskazuje na komentarz dotyczący opisu matematycznego, natomiast żółty oznacza możliwość zmiany parametrów.

Tablica. 1. Modulacje omówione w pakiecie

analogowe	amplitudy	DSB-SC, AM, SSB-SC, SSB, VSB	
	kąta	PM, FM	
impulsowe	analogowe	PAM, PDM, PWM, PPM	
	kodowe (cyfrowe)	PCM, DPCM, DM, Sigma_Delta	
cyfrowe	ASK	2ASK, MASK	OOK
	PSK	2PSK, DPSK, MPSK	QPSK, DQPSK, $\pi/4$ QPSK, MPSK, QPSK
	FSK	2FSK, MFSK	MSK, GMSK
	QAM		

Tablica 2. Ikony dostępne w pakiecie

Ikona	Funkcja
	opis teoretyczny określonego zagadnienia w formacie MS Word
	okno prezentujące wybrane zagadnienie w środowisku Mathcad
	okno prezentujące wybrane zagadnienie w środowisku Vissim
	powrót do przeglądanej wcześniej okna

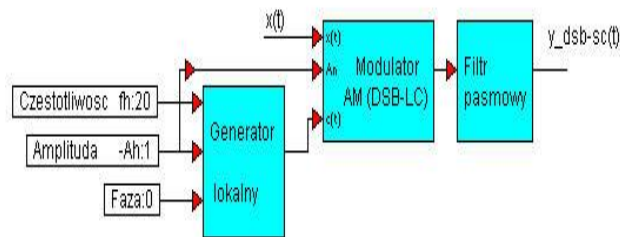
3. PRZYKŁADOWE MODULACJE

Zakres omawianego pakietu jest bardzo szeroki, dlatego też w dalszej części artykułu zostaną przedstawione jedynie wybrane przykłady.

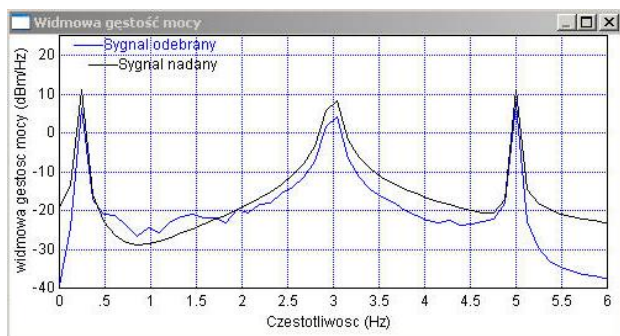
3.1. Modulacje analogowe

W wyniku gwałtownego rozwoju technik cyfrowych modulacje analogowe są coraz częściej zastępowane przez doskonalsze systemy modulacji kluczowanych. W omawianym pakiecie modulacje analogowe zostały przedstawione bardziej ze względów historycznych. Jedną z metod modulacji analogowych jest system z częściowo wytłumioną falą nośną VSB (Vestigial Side Band). System ten łączy zalety modulacji SSB-SC (100% sprawności, zwiększona odporność na zakłócenia) oraz systemów z falą nośną [1]. Był on wykorzystywany do transmisji telewizyjnej. W tym przypadku nie następuje całkowite tłumienie jednej ze wstęg, tak jak w modulacjach SSB. Wspomniane modulacje charakteryzują się znacznymi zniekształceniami sygnału informacyjnego w zakresie małych częstotliwości, a te dla transmisji TV związane są z dużymi zmianami kontrastu dużych powierzchni obrazu. Dzięki temu modulacja VSB zajmuje prawie dwukrotnie mniejsze pasmo. W systemie VSB generowany jest początkowo sygnał dwuwstęgowy z falą nośną AM. Sygnał ten następnie jest filtrowany za pomocą filtra środkowo przepustowego o odpowiednio dobranej charakterystyce amplitudowo-fazowej. Jego zadaniem jest silne, ale niepełne tłumienie dolnej wstęgi bocznej sygnału AM-LC (Double-Side Band Large Carrier) [1]. Schemat blokowy modulatora VSB z nie w pełni ukształtowanym sygnałem VSB przedstawiono na rysunku 1. Natomiast na rysunku 2 zobrazowano widmo mocy sygnału nadanego oraz odebranego

tego. Należy podkreślić, że wszystkie elementy środowiska Vissim zawarte w blokach oznaczonych niebieskim kolorem zawierają kolejne, samodzielnie skonstruowane podobwoły. Po kliknięciu myszką na określony blok, otwiera się kolejne okno, które umożliwia poznanie struktury wewnętrznej danego bloku.

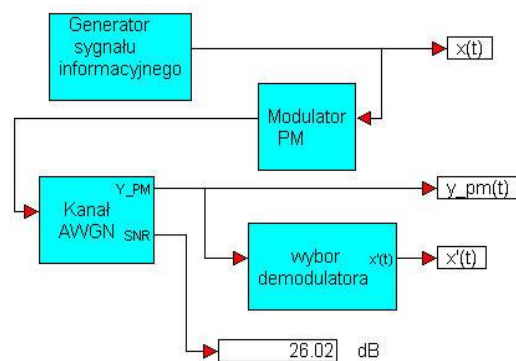


Rys. 1. Schemat blokowy modulatora VSB



Rys. 2. Widmo mocy sygnału nadanego oraz odebranego dla modulacji VSB

Modulacja fazy (PM) polega na zmianie kąta fazowego, jest ona proporcjonalna do sygnału modulującego. W omawianym pakiecie przedstawiono modulator szerokopasmowy zbudowany na generatorze sterowanym napięciem (VCO). Demodulacja sygnału PM polega na przekształceniu odebranego sygnału na sygnał zmodulowany amplitudowo. Jedną z metod jest różniczkowanie sygnału. Metoda ta jest wykorzystywana w zestawach wytwarzanych przez producentów pomocy szkolnych. Schemat blokowy dla transmisji sygnałów z modulacją PM przedstawiono na rysunku 3. Dodatkowo układ ten zawiera możliwość symulacji transmisji sygnału przez kanał z addytywnym szumem gaussowskim (AWGN). Można także dokonać wyboru jednego z trzech rodzajów demodulatora, tj. kwadraturowego, z układem różniczkującym oraz z pętlą synchronizacji fazowej PLL. W pakiecie przedstawiono także modulator częstotliwości (FM) z możliwością wyboru demodulatora jak dla modulacji PM.

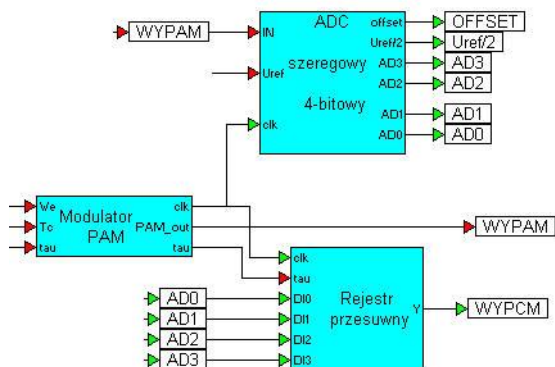


Rys. 3. Schemat blokowy dla transmisji PM

3.2. Modulacje impulsowe

W impulsowych systemach modulacji nośnikiem informacji jest najczęściej fala prostokątna. W zależności od rodzaju modulacji zmiany wartości próbek sygnału informacyjnego podlega jeden z parametrów: amplituda impulsów, wypełnienie lub położenie, które zachodzą w dyskretnych chwilach czasu. Wśród modulacji impulsowych wyróżniamy modulację analogową oraz kodową. Do analogowych modulacji impulsowych należą: modulacja amplitudy impulsów PAM, modulacja czasu trwania impulsów PDM, modulacja szerokości impulsów PWM, modulacja położenia impulsów PPM. Natomiast do modulacji impulsowo-kodowych zaliczamy: modulację impulsowo-kodową PCM, różnicowo-kodową DPCM, przyrostową delta DM, przyrostową sigma – delta. Wszystkie wymienione modulacje znalazły zastosowanie w telekomunikacji. Zostały one zaprezentowane w omawianym pakiecie.

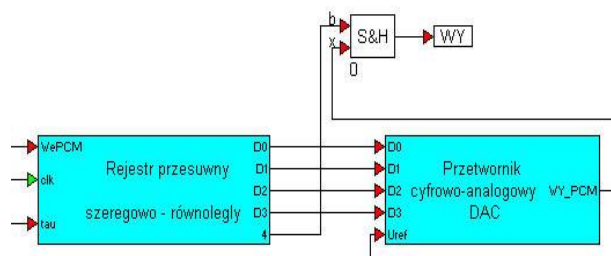
W systemach impulsowo-kodowych sygnał informacyjny ulega próbkowaniu, kwantowaniu oraz kodowaniu. Podstawową modulacją impulsowo-kodową jest modulacja PCM. Działanie tego systemu opiera się w najprostszym przypadku na kodowaniu sygnału PAM. W wyniku kwantowania zakres zmienności amplitudy impulsów sygnału PAM jest dzielony na skończoną liczbę przedziałów. Poszczególne poziomy kwantyzacji można zakodować słowami binarnymi o stałej długości równej n [2]. Po zakodowaniu sygnału informacja źródłowa posiada postać cyfrową. W celu jej przesłania znakom binarnym „1” i „0” przypisuje się określoną postać fizyczną. W praktyce stosowane są różne rodzaje reprezentacji znaków binarnych, które tworzą kod sygnałowy. W opracowanym pakiecie przyjęto kod RZ (return to zero). W kodzie tym znak binarny „1” jest reprezentowany krótkim dodatnim impulsem o określonej amplitudzie i czasie trwania $\tau \leq T_s/n$, natomiast znak binarny „0” poziomem zerowym, przy czym T_s jest czasem trwania impulsu. Transmitowany sygnał PCM tworzy ciąg dodatnich impulsów kodowych. Schemat blokowy modulatora PCM został przedstawiony na rysunku 4. Początkowo sygnał informacyjny jest próbkowany, otrzymujemy wówczas sygnał PAM. Następnie sygnał jest kwantowany w przetworniku ADC. Przetwarzanie to odbywa się w cyklach, których czas trwania jest równy okresowi próbkowania T_s . W multiplexerze następuje kodowanie skwantowanego sygnału PAM w sygnał PCM. Odbywa się to przez podział czasu T_s na szczeliny czasowe równe $\tau = T_s/2^m$, gdzie m jest ilością bitów przetwornika ADC.



Rys. 4. Schemat blokowy modulatora PCM

Demodulację sygnału PCM można zrealizować za pomocą układu, którego schemat blokowy został pokazany na rysunku 5. W układzie tym następuje wyodrębnienie poszczególnych bitów z sygnału W_ePCM i przesłanie ich na

przetwornik DAC. W wyniku tej operacji następuje odtworzenie skwantowanego sygnału. Dodatkowo na wyjściu można zastosować filtr dolnoprzepustowy, którego zadaniem jest usunięcie zbędnych składników z sygnału wyjściowego.

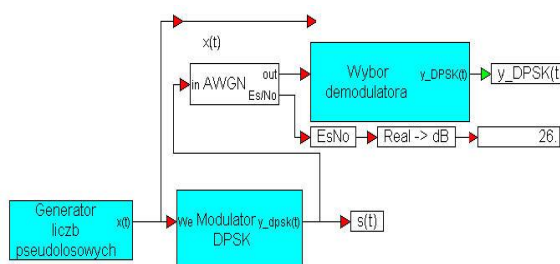


Rys. 5. Schemat blokowy demodulatora PCM

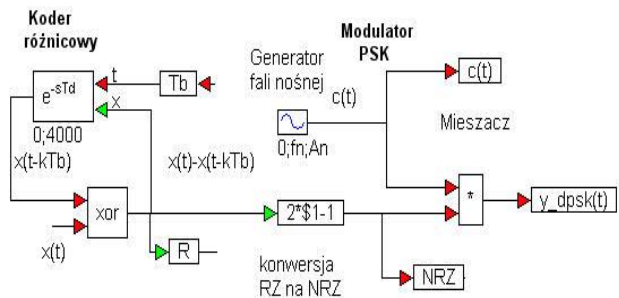
3.3. Modulacje cyfrowe

W systemach modulacji cyfrowych informacja o sygnale jest przesyłana do odbiornika w postaci ciągu impulsów, których amplituda (ASK), faza (PSK) lub częstotliwość (FSK) jest uzmienniana w zależności od transmitowanej informacji [2, 3]. W praktyce stosuje się również różne warianty podstawowych rodzajów modulacji cyfrowych, np. CPFSK, MSK, BPSK, DPSK, wielowartościowe kwadratowe modulacje fazy i amplitudy QPSK, QAM. Te ostatnie są coraz częściej stosowane we współczesnych systemach transmisyjnych. Wymienione modulacje zostały także w omawianym pakiecie zaprezentowane.

Modulacja ASK charakteryzuje się małą odpornością na zakłócenia. Dlatego jest stosowana w urządzeniach, w których nie jest wymagana duża niezawodność transmisji, np. w alarmach samochodowych, sterownikach napędów do bram wjazdowych. Kolejny rodzaj modulacji, tj. kluczowanie częstotliwości charakteryzuje się prostą budową, dużą odpornością na zakłócenia, wysoką szybkością transmisji, dlatego też jest powszechnie wykorzystywane w systemach przesyłu danych. Natomiast przykładem modulacji fazy jest BPSK, DPSK oraz QPSK. W różnicowej modulacji fazy DPSK kodowana jest zmiana fazy sygnału informacyjnego (rys. 6, 7). Takie rozwiązanie zapewnia odporność na błąd fazy w kanale transmisyjnym oraz umożliwia dodatkowo detekcję niekoherentną. Metoda ta jest prostsza w implementacji, gdyż nie jest potrzebny sygnał odniesienia. Powoduje ona jednak więcej błędów. De-modulacja niekoherentna sygnału DPSK polega na wymnożeniu sygnału wejściowego z tym samym sygnałem wejściowym opóźnionym o czas trwania bitu T_b , odfiltrowaniu i detekcji poziomów. Do detekcji DPSK można również wykorzystać demodulator koherentny, który jest dodatkowo wyposażony w dekodery różnicowy. W układzie przedstawionym na rysunku 6 jest możliwość wyboru obu tych demodulatorów, przy czym dodatkowo również sygnał jest transmitowany przez kanał z addytywnym zakłóceniem gaussowskim.

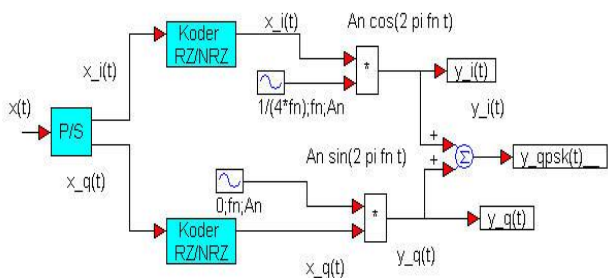


Rys. 6. Schemat blokowy dla transmisji DPSK



Rys. 7. Modulator DPSK

Zwiększenie wartości modulacji, przy ograniczonym paśmie kanału, powoduje większą szybkość transmisji. Jedną z takich modulacji jest QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), która umożliwia jednoczesne przesłanie dwóch bitów. Charakteryzuje się ona czterowartościowym kluczowaniem fazy polegającym na generacji sygnału nośnego o czterech wartościach fazy. Na wejściu modulatora binarny ciąg impulsów informacyjnych jest rozdzielany w rejestrze szeregowo – równoległym P/S na składową synfazową i kwadraturową. Następnie sygnały są konwertowane na kod NRZ (no return to zero) i przenoszone w wyższe pasmo w modulatorze kwadraturowym. Demodulację sygnału QPSK można przeprowadzić np. z wykorzystaniem korelatorów lub z dolnopasmowymi filtrami Butterworth’a. W pracach [1, 4, 5, 6, 7] zostały przedstawione jeszcze inne przykłady rozwiązań modulatorów QPSK. W porównaniu z BPSK modulacja QPSK dla takiej samej szybkości transmisji przesyła dane dwa razy szybciej. Ponadto chociaż zwiększa się prawdopodobieństwo błędu znaku, prawdopodobieństwo błędu bitu (BER) pozostaje takie samo [2]. W pakiecie istnieje możliwość symulacji przesyłu danych przez kanał transmisyjny z zakłóceniami i obserwacji prawdopodobieństwa błędu. Schemat blokowy przykładowego modulatora QPSK został przedstawiony na rysunku 8.



Rys. 8. Schemat blokowy modulatora QPSK

4. WNIOSKI

Głównym zadaniem opracowanego pakietu jest odpowiednie przedstawienie wszystkich etapów obróbki transmitowanego sygnału. Przedstawiony pakiet dydaktyczny oma-

wia bardzo szeroki zakres materiału dotyczący zagadnień związanych z modulacją i demodulacją. Dlatego też pominięto systemy modulacji z widmem rozproszonym. Ponadto w symulacjach modulacji kluczowanych, w celu pokazania pełnego widma zmodulowanego sygnału, nie wprowadzono impulsów okienkujących transmitowane sygnały informacyjne. Wyjątkiem są modulacje MSK i GMSK, które są wyposażone w taki układ. Zastosowanie wspomnianych uproszczeń ułatwiło przedstawienie systemów modulacji oraz skróciło opis. Każdy użytkownik pakietu ma możliwość porównania modelu zbudowanego w oparciu o opis matematyczny systemów modulacji z odpowiednimi wirtualnymi układami zbudowanymi z podstawowych elementów blokowych. Może zaobserwować przebiegi czasowe i widmo częstotliwościowe sygnału, jak zmieniają się przebiegi czasowe oraz częstotliwościowe sygnału zmodulowanego po zmianie parametrów sygnału modulującego, nośnego. Użytkownik może poznać różnice w budowie poszczególnych modulatorów i demodulatorów, różnice w sposobie kształtowania sygnału zmodulowanego oraz ich wady i zalety. Może także obserwować konstelację zmodulowanego sygnału. Omawiany pakiet można potraktować jako rozszerzenie zagadnień przedstawionych w pracy [4]. Należy podkreślić, że w środowisku Vissim są dostępne niektóre modulatory i demodulatory, można je więc porównać z tymi, które zostały zbudowane na potrzeby omawianego pakietu dydaktycznego. Podobne systemy modulacji zostały zbudowane w Simulinku i przedstawione w pracy [8].

5. BIBLIOGRAFIA

1. Częścik S. - Modulacje analogowe i cyfrowe – opracowanie pakietu dydaktycznego, praca dyplomowa inżynierska, AM, Gdynia, 2012
2. Fuqin Xiong - Digital Modulation Techniques, Artech, 2000, ISBN 0-89006-970-0
3. Szabatin J., Radecki K. - Teoria sygnałów i modulacji, ćwiczenia laboratoryjne, Oficyna Wydawnicza PW, 2005, praca zbiorowa
4. Noga K. M. - Wybrane zagadnienia z cyfrowego przetwarzania sygnałów – prezentacja witryny internetowej, Zeszyty Naukowe WEiA PG, Nr 32, 2012, ISSN 1425 – 5766
5. Noga K. M. – Zastosowanie pakietu Commisim i Multisim w nauczaniu cyfrowego przetwarzania sygnałów, Zeszyty Naukowe WEiA PG, Nr 22, 2006, ISSN 1425 – 5766
6. Noga K. M., Radwański M. - Using the virtual model in teaching digital signal processing, Technological Developments in Education and Automation, edited by Magued Iskander, USA, Springer 2010, ISBN 978-90-481-3655-1 (HB), ISBN 978-90-481-3656-8 (e-book)
7. <http://www.inatel.br/docentes/dayan>
8. <http://home.agh.edu.pl/~mgi>

ANALOG AND DIGITAL MODULATIONS IN MATHCAD AND VISSIM ENVIRONMENT

Key-words: simulation, analog and digital modulations, Mathcad, Vissim

This paper presents the didactic packet which was prepared in the Department of Ship Automation in Gdynia Maritime University. The packet makes possible presenting propriety of different kinds of analog and digital modulations.