



Partnerzy:



Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



---

# Laboratorium podstaw teleinformatyki

---

## Ćwiczenie 1





Partnerzy:



## Spis treści

1.	Model światłowodowego łącza analogowego .....	3
2.	Założenia modelu .....	6
3.	Struktura podsystemów .....	6
3.1.	Źródło sygnału .....	9
3.2.	Modulator .....	11
3.3.	Sterownik diody LED/Lasera .....	13
3.4.	Dioda LED/LD .....	14
3.5.	Tor światłowodowy .....	17
3.6.	Odbiornik optyczny .....	19
3.7.	Demodulator .....	21
3.8.	Odbiorca sygnału .....	24
4.	Pomiar tłumienia .....	24
5.	Pomiar wartości skutecznej .....	25
6.	Analizator .....	26
7.	Obsługa modelu .....	26
8.	Część eksperymentalna .....	29
9.	Zalecenia do sprawozdania: .....	37





## 1. Model światłowodowego łącza analogowego

W oparciu o zagadnienia teoretyczne, został zbudowany model światłowodowego łącza analogowego z modulacją AM/FM/PM z wykorzystaniem pakietu MATLAB. Każdy z bloków modelu ma swój odpowiednik w rzeczywistym łączy. W modelu, przy pomocy prostych operacji matematycznych na wartościach liczbowych, zostały zasymulowane kolejne etapy przetwarzania sygnału przesyłanego łączy od nadawcy do odbiorcy. Zbudowany model jest w dużym stopniu wyidealizowany, jednak celem jego budowy nie było odtworzenie wszystkich zjawisk zachodzących w łączy analogowym lecz walory dydaktyczne.

Struktura modelu pozwala zapoznać się studentom z następującymi zagadnieniami:

- dobór częstotliwości fali nośnej oraz czułości modulatora do parametrów przesyłanego sygnału,
- wpływ doboru rodzaju modulacji analogowej na parametry transmisji,
- modulację mocy optycznej diody LED i lasera oraz ze sterowaniem tymi elementami (uwzględnienia polaryzacji wstępnej, czułości, prądów progowych oraz maksymalnych),
- wpływ struktury toru światłowodowego na jego tłumienie,
- dobór czułości układu detekcji sygnału optycznego i wpływ szumów odbiornika przy dużym tłumieniu toru światłowodowego.

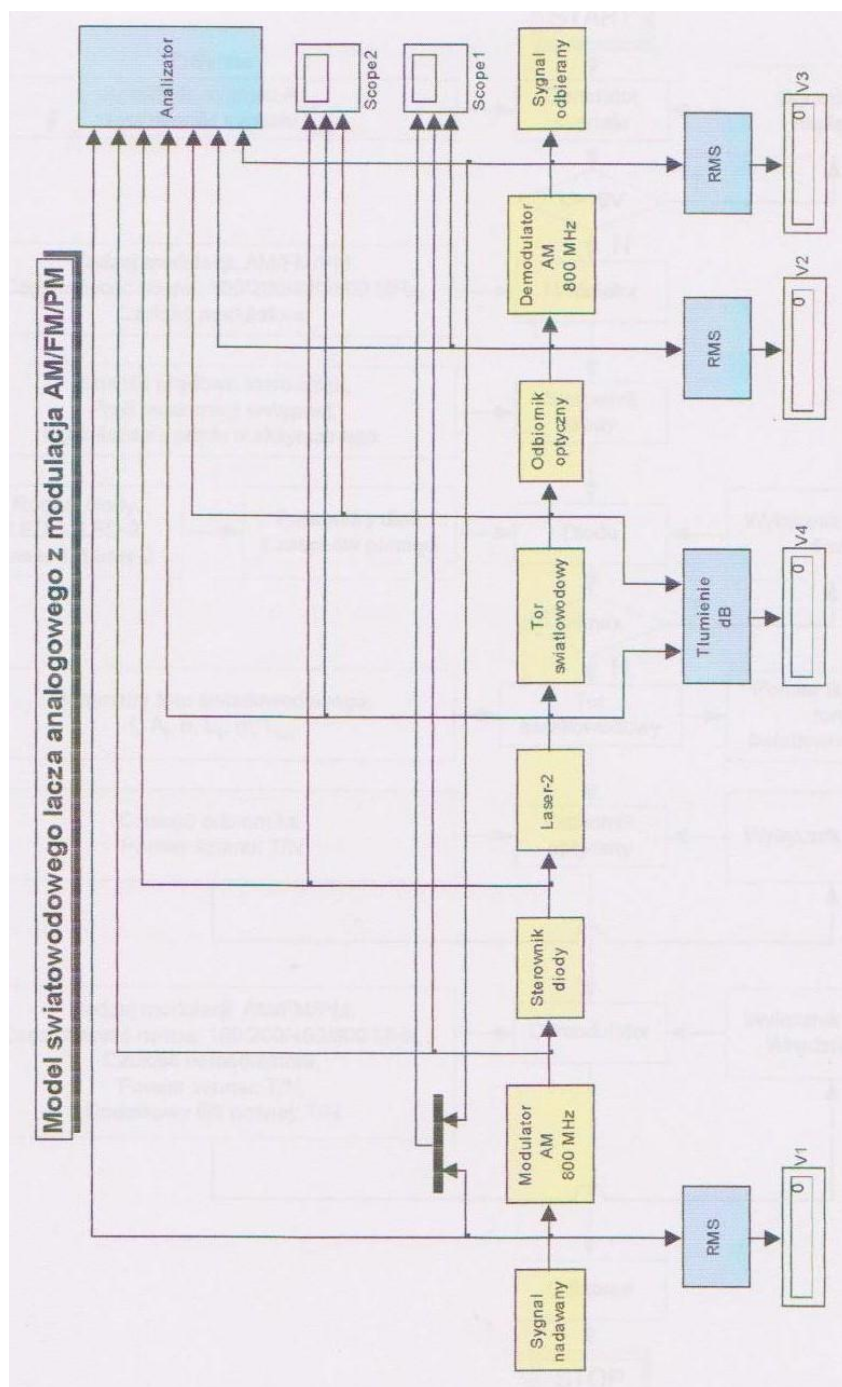
Model jest bardzo prosty w obsłudze i nie wymaga od użytkownika znajomości pakietu MATLAB. Wymagana jest jedynie podstawowa umiejętność poruszania się w środowisku WINDOWS. Struktura modelu zobrazowana jest na rys. 1.



Partnerzy:



Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



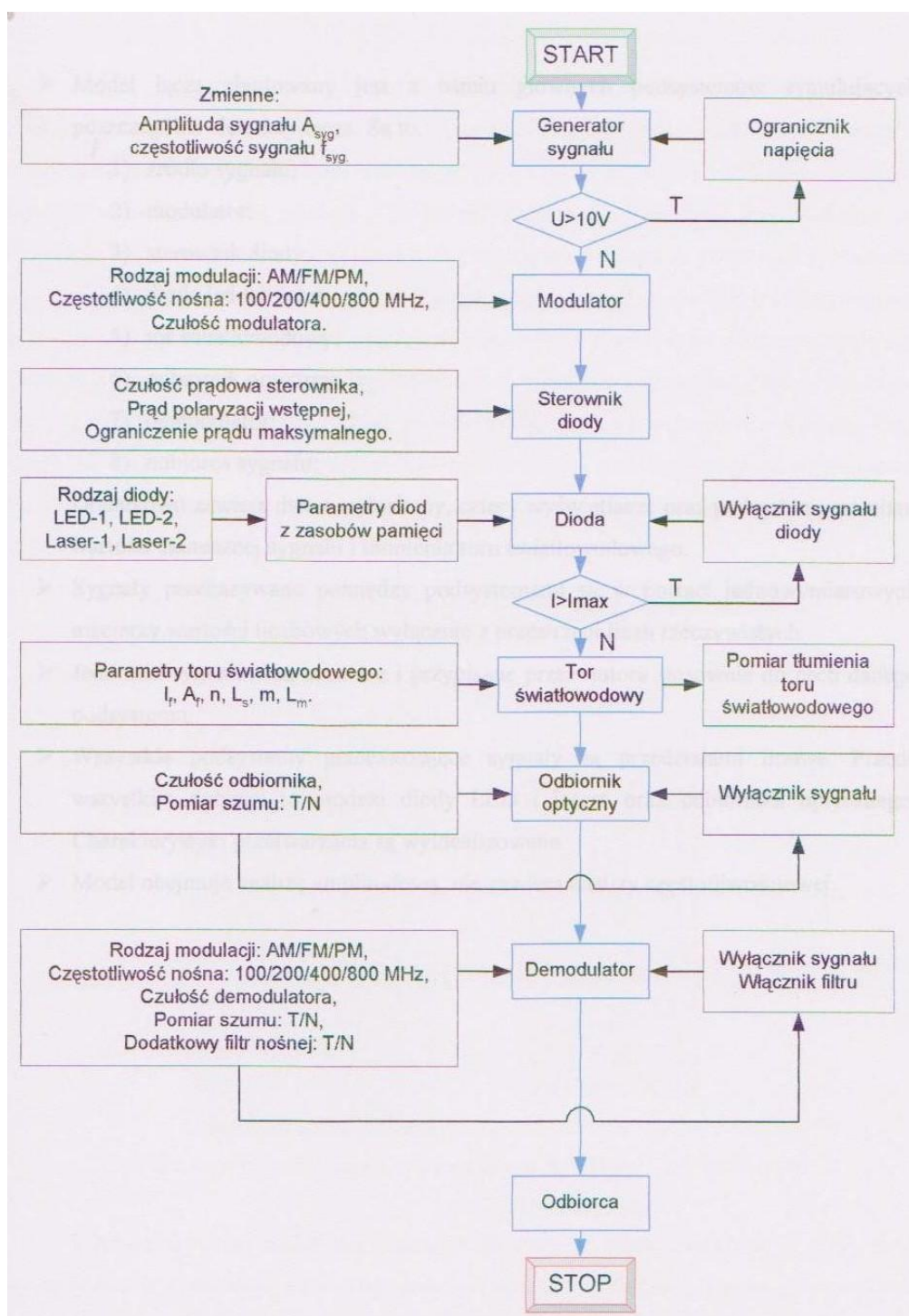
Rys. 1. Model światłowodowego łącza analogowego z modulacją AM/FM/PM.



Partnerzy:



Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



Rys. 2. Algorytm działania modelu łącza.



Partnerzy:



## 2. Założenia modelu

- Model łącza zbudowany jest z ośmiu głównych podsystemów symulujących poszczególne elementy łącza. Są to:
  - 1) źródło sygnału;
  - 2) modulator;
  - 3) sterownik diody;
  - 4) dioda led lub laser;
  - 5) tor światłowodowy;
  - 6) odbiornik optyczny;
  - 7) demodulator;
  - 8) odbiorca sygnału;

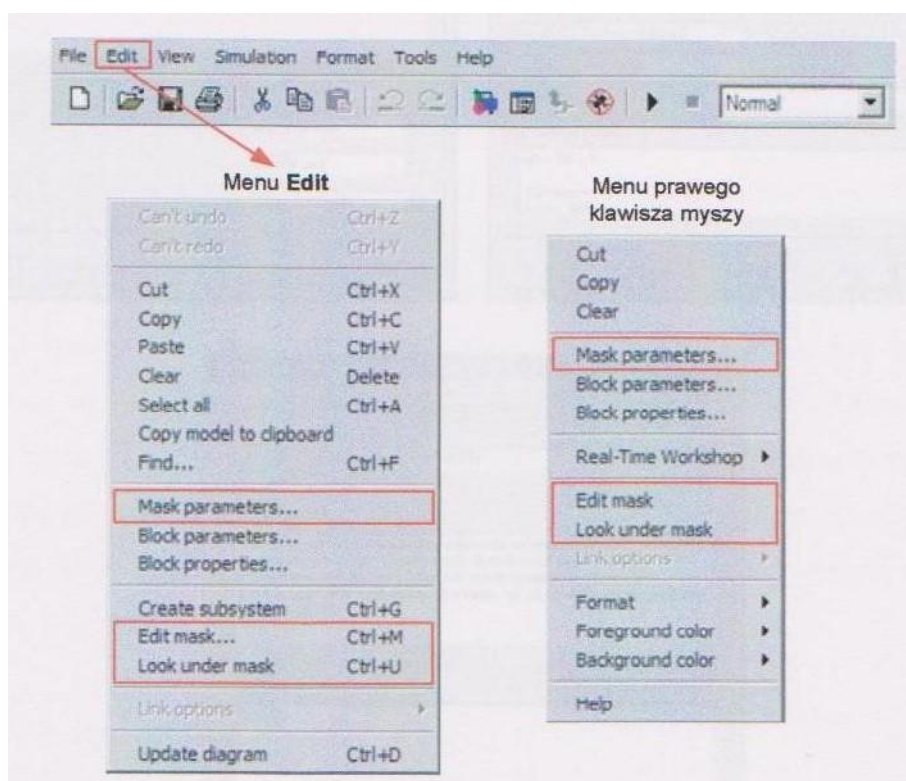
Dodatkowo zawiera dwa oscyloskopy, cztery wyświetlacze oraz podsystemy pomiaru wartości skutecznej sygnału i tłumienia toru światłowodowego.

- Sygnały przekazywane pomiędzy podsystemami są w postaci jednowymiarowych macierzy wartości liczbowych wyłącznie z przestrzeni liczb rzeczywistych.
- Jednostki sygnałów są umowne i przypisane przez autora stosownie do cech danego podsystemu.
- Wszystkie podsystemy przetwarzające sygnały są przedziałami linowe. Przede wszystkim dotyczy to modelu diody LED i lasera oraz odbiornika optycznego. Charakterystyki przetwarzania są wyidealizowane.

## 3. Struktura podsystemów

Każdy z podsystemów ma swoją strukturę wewnętrzną wywoływaną poleceniem **Look under mask** z menu **Edit** lub z menu prawego klawisza myszy (rys. 3). Po wejściu do podsystemu zmianę parametrów elementów wywołuje się podwójnym kliknięciem lewego klawisza myszy na dany element. Większość parametrów określana jest liczbowo za wyjątkiem tych, które podane są w postaci zmiennych deklarowanych przez maskę. Wartości tych zmiennych są wprowadzane na poziomie głównym po przez podwójne kliknięcie myszy na podsystem lub wywołanie polecenia **Mask parameters** z menu **Edit** albo menu prawego klawisza myszy (rys. 3). Okno wywołane w ten sposób dla **Demodulatora** przedstawia rys. 5. Wszystkie zmienne w obrębie jednego podsystemu są zmiennymi lokalnymi i ich nazwy nie mają znaczenia w innych podsystemach. Edycja maski podsystemu wywoływana jest poleceniem **Edit mask** z menu **Edit** lub z menu prawego klawisza myszy (rys. 3)





Rys. 3. Wywoływanie poleceń **Mask parameters**, **Edit Mask** i **Look under mask**.

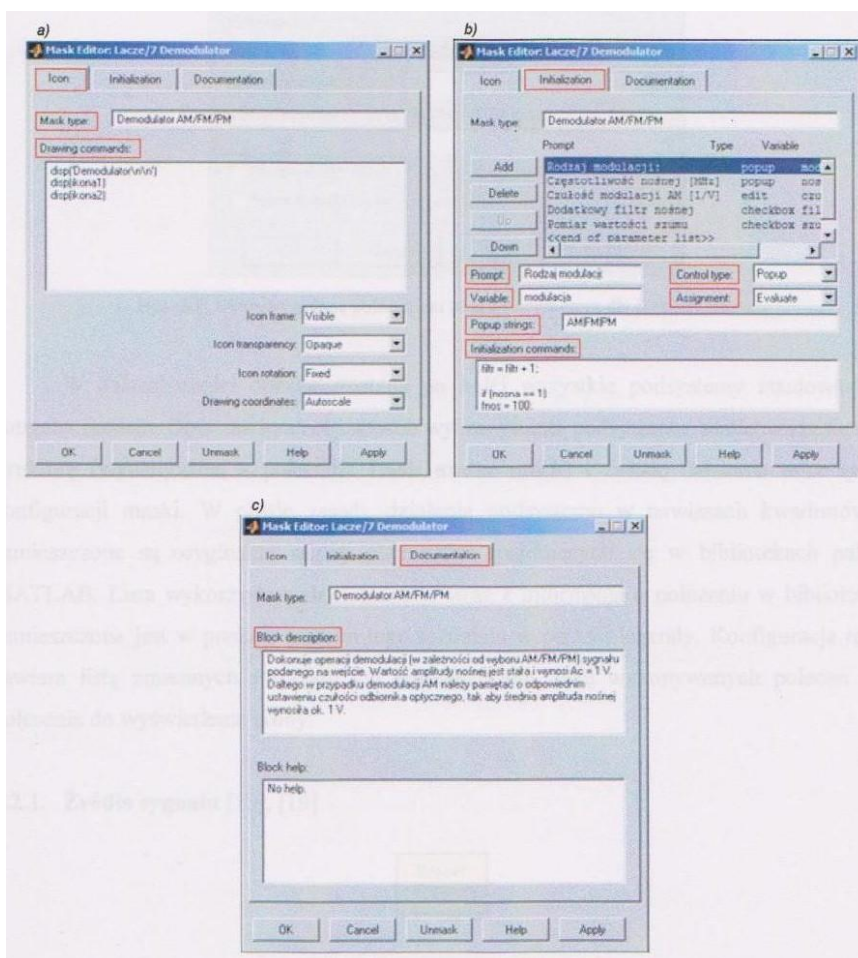
Edytowane są trzy części maski: **Icon**, **Initialization**, **Documentation**. W części **Icon** w oknie **Mask type** wpisywana jest nazwa podsystemu. W oknie **Drawing commands** wpisywane są polecenia do wyświetlenia ikony podsystemu widocznej w oknie głównym. W części **Initialization** deklarowane są zmienne podsystemu: **Prompt** - tekst wyświetlany przy zapytaniu o wartość zmiennej, **Variable** - nazwa zmiennej oraz **Control type**, **Assignment** i **Popup strings** - określające sposób jej wprowadzania do podsystemu. W oknie **Initialization commands** wpisywane są polecenia wykonywane w obrębie podsystemu przy jego uruchomieniu. W części **Documentation** w oknie **Block description** wpisywany jest tekst wyświetlany w opisie elementu przy wywołaniu zmiany parametrów podsystemu. Edycja maski pokazana jest na rys. 4. Konfiguracje masek poszczególnych podsystemów są zamieszczone w opisach poszczególnych podsystemów.



Partnerzy:



Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



Rys. 4. Okna wywoływane poleceniem **Edit Mask** trzy części maski: a) **Icon**, b) **Initialization**, c) **Documentation**.

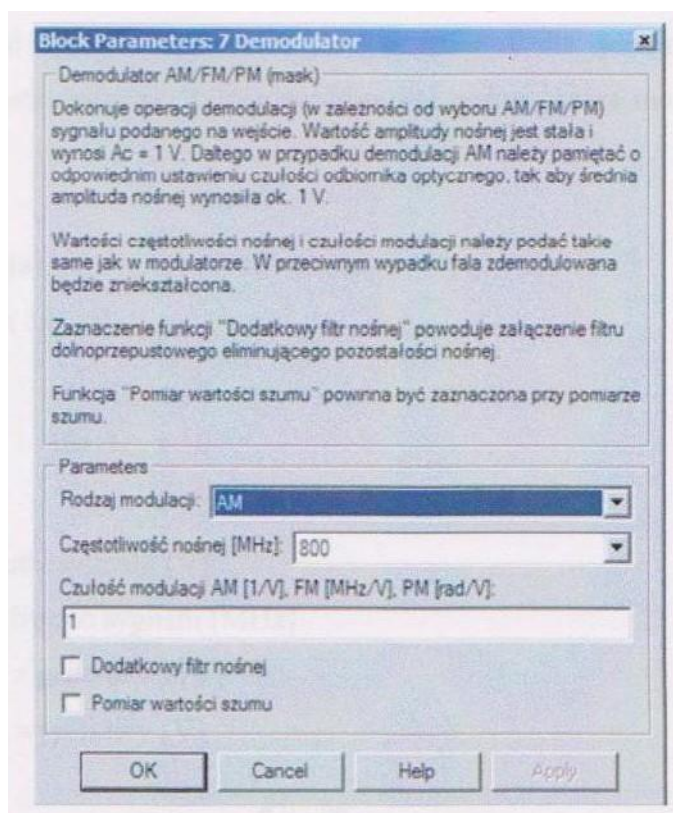




Partnerzy:



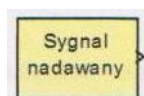
Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



Rys. 5. Okno wywoływane poleceniem **Mask parameters** dla Demodulatora.

W dalszej części opisane zostaną po kolei wszystkie podsystemy zbudowane na potrzeby modelu. Opis zawiera cel i sposób wykorzystania podsystemu, realizowaną funkcję, strukturę (wywoływaną z polecenia **Look under mask**) i zasadę działania oraz sposób konfiguracji maski. W opisie zasady działania podsystemu w nawiasach kwadratowych zamieszczone są oryginalne nazwy elementów znajdujących się w bibliotekach pakietu MATLAB. Lista wykorzystanych elementów wraz z informacją o położeniu w bibliotekach zamieszczona jest w punkcie trzecim tego rozdziału w postaci legendy. Konfiguracja maski zawiera listę zmiennych i sposób ich wprowadzania, listę wykonywanych poleceń oraz polecenia do wyświetlenia ikony.

### 3.1. Źródło sygnału



Źródło sygnału generuje sinusoidalny sygnał o określonej amplitudzie i częstotliwości. Wartość amplitudy wyrażona jest w V i nie powinna przekraczać 10 V. W przypadku podania większej wartości, zostanie ona ograniczona do 10 V.

Częstotliwość sygnału wyrażona jest w MHz i dla poprawności dokonywanej modulacji powinna stanowić ok. 1/10 częstotliwości nośnej, która może wynosić 100, 200, 400 lub 800 MHz.

### Realizowana funkcja:

$$U_G = A_{\text{syg}} \sin(2\pi f_{\text{syg}} t) \quad (1)$$

$$U_{\text{out}} = \begin{cases} U_G & \text{dla } U_G \leq 10 \\ 10 & \text{dla } U_G > 10 \end{cases} \quad (2)$$

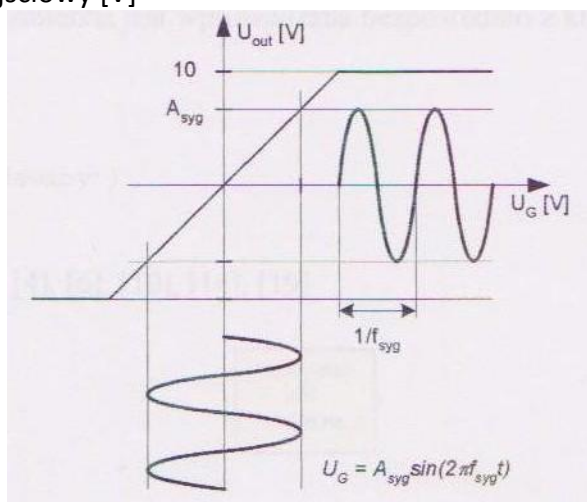
gdzie:

$A_{\text{syg}}$  – amplituda sygnału [V]

$f_{\text{syg}}$  – częstotliwość sygnału [MHz]

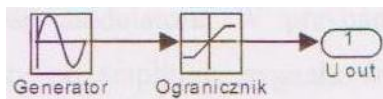
$U_G$  – sygnał z generatora [V]

$U_{\text{out}}$  – sygnał wyjściowy [V]



Rys. 6. Charakterystyka obrazująca realizowaną funkcję przez źródło sygnału.

### Struktura:



Rys. 7. Struktura wewnętrzna podsystemu: Źródło sygnału.

### Zasada działania:

Generator [Sine Wave] wytwarza sygnał sinusoidalny o amplitudzie i częstotliwości określonej przez parametry deklarowane w masce podsystemu. W przypadku wprowadzenia amplitudy przekraczającej 10 V, ogranicznik [Saturation] zasymuluje stan nasycenia. Sygnał jest wyprowadzony z podsystemu elementem Uout [Outl].



Partnerzy:



### Konfiguracja maski:

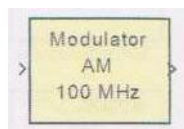
Nazwa: Źródło sygnału

Zmienne:

Opis	Typ	Nazwa
Amplituda sygnału [V]:	edit	Asyg
Częstotliwość sygnału [MHz]:	edit	f <sub>syg</sub>

Typ „edit” oznacza, że zmienna jest wprowadzana bezpośrednio z klawiatury.

## 3.2. Modulator



Modulator dokonuje operacji modulacji (w zależności od wyboru AM/FM/PM) sygnałem podanym na wejście. Wartość amplitudy nośnej jest stała i wynosi  $A_c = 1$  V. Częstotliwość nośnej należy dobrać mając na uwadze częstotliwość sygnału przesyłanego.

Należy określić czułość modulatora. W przypadku modulacji AM -  $k_a$  [1/V]. Głębokość modulacji  $m$  zależy od amplitudy sygnału wejściowego  $U_{in}$  oraz od czułości i wynosi:

$$m = k_a \times U_{in} \times 100\%$$

Dla modulacji FM i PM są to odpowiednio: czułość częstotliwościowa  $k_f$  [MHz/V] i czułość fazowa -  $k_p$  [rad/V].

**Realizowana funkcja:**

$$U_{out} = \begin{cases} A_c [1 + k_a U_{in}(t)] \cos(2\pi f_c t) & \text{dla } \text{mod } ulacja = 1 \\ A_c \cos[2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t U_{in}(t) dt] & \text{dla } \text{mod } ulacja = 2 \\ A_c \cos[2\pi f_c t + k_p U_{in}(t)] & \text{dla } \text{mod } ulacja = 3 \end{cases} \quad (3)$$

gdzie:

$U_{out}$  - sygnał wyjściowy [V]

$U_{in}$  - sygnał wejściowy [V]

$A_c$  - amplituda fali nośnej = 1 V

$f_c$  - częstotliwość fali nośnej = 100 MHz

$k_a$  - czułość amplitudowa modulatora [1/V]

$k_f$  - czułość częstotliwościowa modulatora [MHz/V]

$k_p$  - czułość fazowa modulatora [rad/V]

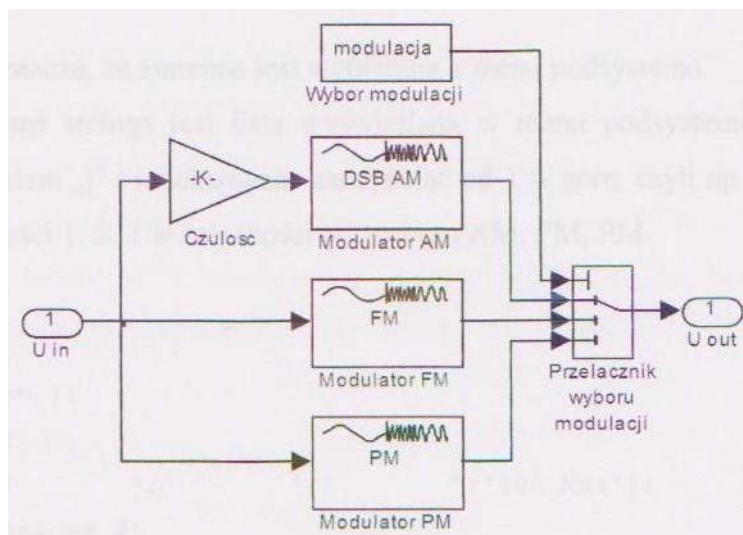
*modulacja* - zmienna pomocnicza



Partnerzy:



## Struktura:



Rys. 8. Struktura wewnętrzna podsystemu: Modulator.

## Zasada działania:

Element  $U_{in}$  [In] wprowadza sygnał do podsystemu. Jest on podawany jednocześnie na wszystkie trzy modulatory. Wartość częstotliwości nośnej można dobierać. Modulatory są tak skonfigurowane, że czas próbkowania dobierany jest automatycznie jako  $0.1/f_{nos}$ . Sygnał do modulatora AM [DSB AM Modulator Passband] jest mnożony przez wartość zmiennej *czułość* [Gain]. Do modulatorów FM [FM Modulator Passband] i PM [PM Modulator Passband] zmienna *czułość* jest wprowadzana bezpośrednio. Sygnały z modulatorów są zbierane przed przełącznikiem wyboru modulacji. Zmienna *modulacja* [Constant] jest podawana na I wejście sterujące przełącznikiem wyboru modulacji [Multiport Switch]. W zależności od wartości podanej na to wejście przełącznik wybiera sygnał modulatora (1-AM, 2-FM, 3-PM) i podaje go na wyjście  $U_{out}$  [Out].

## Konfiguracja maski:

Nazwa: Modulator AM/FM/PM

Zmienne:

Opis		Typ	Nazwa
Rodzaj modulacji:		popup	<i>modulacja</i>
Popup strings:	AM FM PM		
Częstotliwość nośnej [MHz];		popup	<i>nosna</i>
Popup strings:	100 200 400 800		
Czułość modulatora AM [I/V], FM [MHz/V], PM [rad/V]:		edit	<i>czułość</i>





Partnerzy:



Typ „popup” oznacza, że zmienna jest wybierana z menu podsystemu.

Zawartość **Popup strings** jest listą wyświetlaną w menu podsystemu. Elementy listy są oddzielane znakiem „|” i indeksowane zaczynając od 1 w górę, czyli np.: zmienna *modulacja* przyjmuje wartości 1, 2, 3 w zależności od wyboru AM, FM, PM.

### 3.3. Sterownik diody LED/Lasera



Sterownik ma za zadanie wysterowanie diody LED lub lasera sygnałem prądowym. Wejście sterownika jest napięciowe. Należy podać czułość prądową sterownika oraz prąd polaryzacji wstępnej uwzględniając parametry nadajnika optycznego.

Wartość ograniczenia prądu maksymalnego diody należy wprowadzić w celu zabezpieczenia diody LED lub lasera przed uszkodzeniem. W przypadku, gdy sygnał przekroczy wartość dopuszczalną, zadziała ogranicznik prądu.

**Realizowana funkcja:**

$$I_1 = \begin{cases} 0 & \text{dla } K_1 \times U_{in} + I_{pol} \leq 0 \\ K_1 \times U_{in} + I_{pol} & \text{dla } 0 < K_1 \times U_{in} + I_{pol} \leq I_{ogr} \\ I_{ogr} & \text{dla } K_1 \times U_{in} + I_{pol} \geq I_{ogr} \end{cases} \quad (4)$$

gdzie:

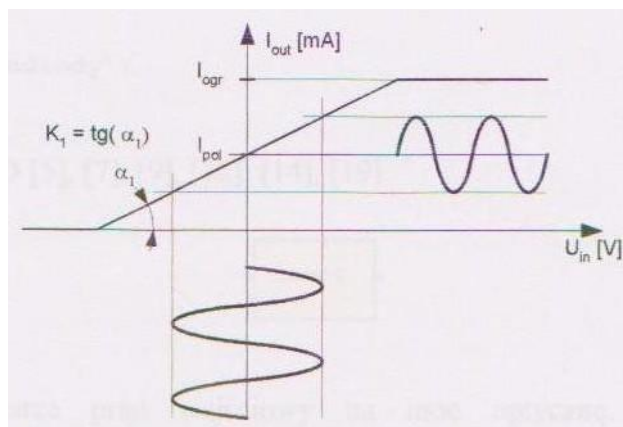
$U_{in}$  - sygnał wejściowy [V]

$I_{out}$  - sygnał wyjściowy [mA]

$K_1$  - czułość prądowa sterownika [mA/V]

$I_{pol}$  - prąd polaryzacji wstępnej diody [mA]

$I_{ogr}$  - ograniczenie prądowe [mA]



Rys. 9. Charakterystyka obrazująca realizowaną funkcję przez sterownik diody.

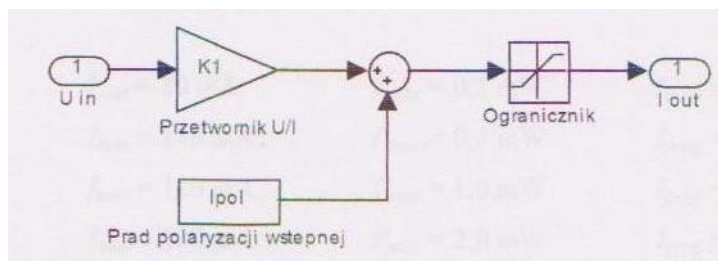




Partnerzy:



## Struktura:



Rys. 10. Struktura wewnętrzna podsystemu: Sterownik diody LED/Lasera.

## Zasada działania:

Element  $U_{in}$  [In] wprowadza sygnał zmodulowany do podsystemu. Następnie jest on mnożony przez wartość współczynnika  $K1$  [Gain]. Do tak otrzymanego sygnału prądowego dodawana [Sum] jest stała wartość  $I_{pol}$  [Constant] odpowiadająca prądowi polaryzacji wstępnej. Ogranicznik [Saturation] symuluje stan nasycenia elementu przy wartościach mniejszych od zera i większych od  $I_{logr}$ . Przetworzony sygnał jest wyprowadzany przez wyjście  $I_{out}$  [Out].

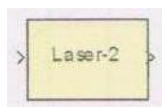
## Konfiguracja maski:

Nazwa: Sterownik diody LED/Lasera

Zmienne:

Opis	Typ	Nazwa
Czułość prądowa sterownika [mA V]:	edit	K1
Prąd polaryzacji wstępnej [mA]:	edit	$I_{pol1}$
Ograniczenie prądu maksymalnego [mA]:	edit	$I_{logr}$

## 3.4. Dioda LED/LD



Dioda przetwarza prąd wejściowy na moc optyczną. Zachodzi modulacja intensywności mocy optycznej źródła światła. W zależności od sposobu zmodulowania sygnału wejściowego jest to modulacja AM-IM, FM-IM lub PM-IM. Blok obejmuje nadajnik optyczny zintegrowany ze sprzęgaczem wejściowym. Do wyboru są dwie diody LED oraz dwa lasery:

LED-1:	$I_{max}=80\text{mA}$	$P_{max}=0,1\text{mW}$	$I_{prog}=0$
LED-2:	$I_{max}=140\text{mA}$	$P_{max}=0,5\text{mW}$	$I_{prog}=0$
LED-1:	$I_{max}=120\text{mA}$	$P_{max}=1,0\text{mW}$	$I_{prog}=40\text{mA}$
LED-2:	$I_{max}=100\text{mA}$	$P_{max}=2,0\text{mW}$	$I_{prog}=60\text{mA}$

W przypadku przekroczenia prądu maksymalnego diody lub lasera element ulega uszkodzeniu i przestaje generować sygnał optyczny.



**Realizowana funkcja:**

$$P_{out} = \begin{cases} 0 & \text{dla } I_{in} \leq I_{prog} \\ K_2 \times (I_{in} - I_{prog}) & \text{dla } I_{prog} < I_{in} \leq I_{max} \\ 0 & \text{dla } I_{in} > I_{max} \end{cases} \quad (5)$$

gdzie:

$I_{in}$  – sygnał wejściowy [mA]

$P_{out}$  – moc optyczna na wyjściu [mW]

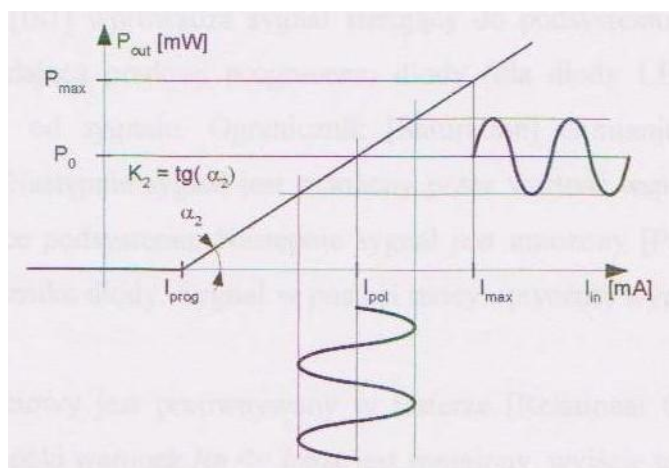
$K_2$  – współczynnik przetwarzania [mW/mA]:

$$K_2 = \frac{P_{max}}{I_{max} - I_{prog}} \quad (6)$$

$P_{max}$  – moc maksymalna diody [mW]

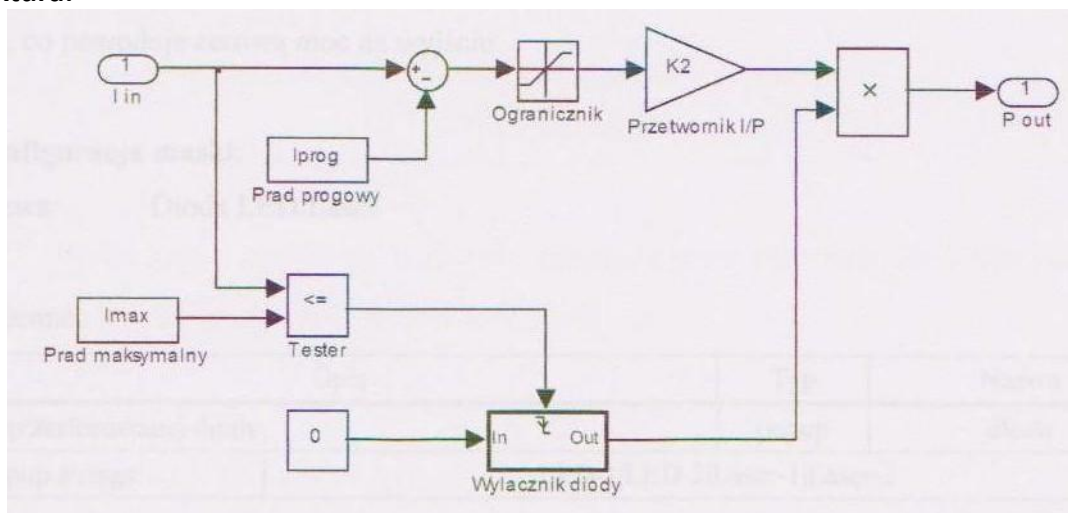
$I_{max}$  – prąd maksymalny diody [mA]

$I_{prog}$  – prąd progowy diody [mA]

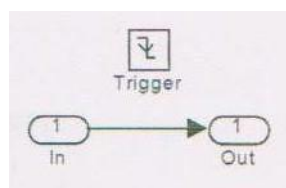


Rys. 11. Charakterystyka obrazująca realizowaną funkcję przez diodę LED/Laser.

## Struktura:



Rys. 12. Struktura wewnętrzna podsystemu: Dioda LED/Laser.



Rys. 13. Struktura wewnętrzna podsystemu: Wyłącznik diody.

## Zasada działania:

Element *lin* [In] wprowadza sygnał sterujący do podsystemu. Stała wartość *Iprog* [Constant] odpowiadająca prądowi progowemu diody (dla diody LED -  $I_{prog} = 0$ ) jest odejmowana [Sum] od sygnału. Ogranicznik [Saturation] eliminuje wszystkie wartości mniejsze od *Iprog*. Następnie sygnał jest mnożony przez wartość współczynnika *K2* [Gain] obliczonego w masce podsystemu. Następnie sygnał jest mnożony [Product] przez wartość „1” z wyjścia wyłącznika diody. Sygnał w postaci mocy optycznej wyprowadzony jest przez wyjście *Pout* [Out].

Sygnał wejściowy jest porównywany w testerze [Relational Operator] z wartością *Imax* [Constant]. Dopóki warunek  $lin \leq Imax$  jest spełniony, wyjście testera ma wartość „1”. W momencie przekroczenia przez *lin* wartości *Imax*, wyjście testera podaje „0” na wyłącznik diody [Triggered Subsystem]. Opadające zbocze sygnału z testera powoduje przekazanie „0” z wejścia wyłącznika diody na wyjście. Sygnał mocy optycznej jest wtedy mnożony przez „0”, co powoduje zerową moc na wyjściu.



Partnerzy:



Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



### Konfiguracja maski:

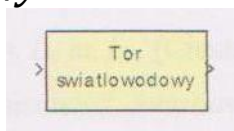
Nazwa: Dioda LED/Laser

Zmienne:

Opis	Typ	Nazwa
Typ zastosowanej diody:	popup	dioda
Popup strings:	LED-1   LED-2   Laser-1   Laser-2	

Podobnie jak w **Modulatorze** - zmienna *dioda* przyjmuje wartości 1, 2, 3, 4 w zależności od wyboru LED-1, LED-2, Laser-1, Laser-2.

### 3.5. Tor światłowodowy



Tłumi sygnał wejściowy o wartość określoną przez parametry toru. Moc wejściowa określona jest w mW, natomiast wyjściowa w  $\mu$ W.

**Realizowana funkcja:**

$$\alpha_{dB} = -(l_f \times A_f + n \times L_s + m \times L_m) \quad (7)$$

$$\alpha_{dB} = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (8)$$

$$P_{out} = P_{in} \times 10^{[-0,1(l_f \times A_f + n \times L_s + m \times L_m)]} \quad (9)$$

gdzie:

znak „-” oznacza stratę mocy

$l_f$  – długość światłowodu [km]

$A_f$  – tłumienie jednostkowe światłowodu [dB/km]

$n$  – ilość połączeń spawanych

$L_s$  – średnie tłumienie dla połączenia spawanego [dB]

$m$  – ilość połączeń rozłączonych

$L_m$  – średnie tłumienie dla połączenia rozłącznego [dB]



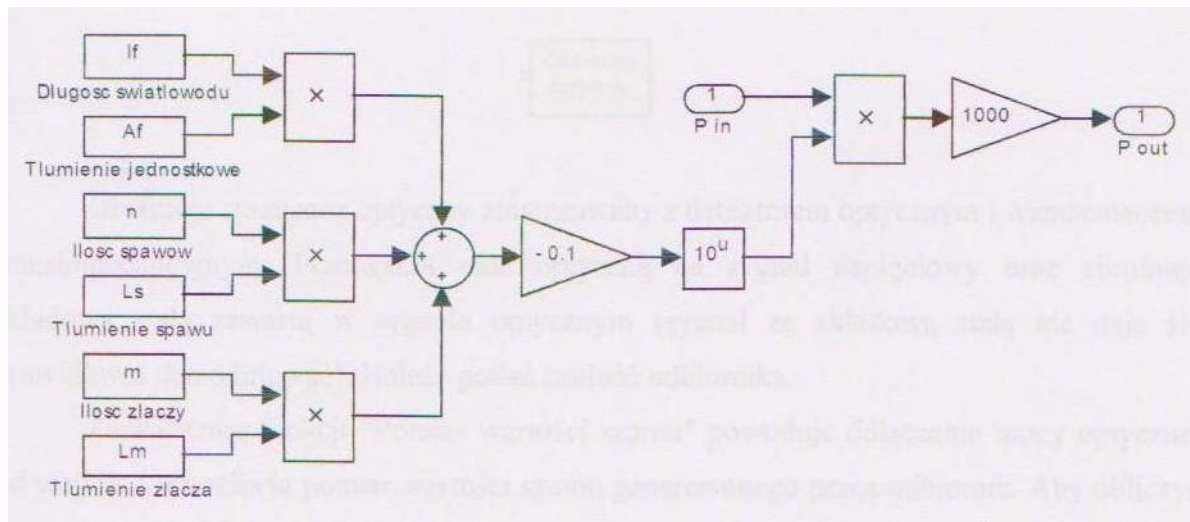
Partnerzy:



Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



## Struktura:



Rys. 14. Struktura wewnętrzna podsystemu: Tor światłowodowy.

## Zasada działania:

Zadeklarowane wartości  $I_f$ ,  $A_f$ ,  $n$ ,  $L_s$ ,  $m$ ,  $L_m$ , [Constant] są mnożone [Product] parami wg rys. 3.10. Tak otrzymane wartości tłumienności światłowodu, połączeń spawanych i połączeń rozłącznych są sumowane [Sum] i mnożone [Gain] przez wartość (- 0.1). Tak otrzymana wartość jest wykładnikiem liczby 10 [Math Function]. Przez tak otrzymany współczynnik tłumienia wyrażony w  $\mu\text{W}/\mu\text{W}$  jest mnożona [Product] wartość mocy  $P_{in}$  skalowanej w mW. Ostatnia operacja mnożenia [Gain] zrealizowana jest w celu wyrażenia mocy  $P_{out}$  w  $\mu\text{W}$ .

## Konfiguracja maski:

Nazwa: Tor światłowodowy

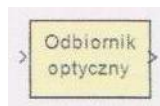
Zmienne:

Opis	Typ	Nazwa
Długość światłowodu [km]:	edit	$L_f$
Tłumienie jednostkowe światłowodu [dB/km]:	edit	$A_f$
Ilość połączeń spawanych:	edit	$n$
Średnie tłumienie dla połączenia spawanego [dB] :	edit	$L_s$
Ilość połączeń rozłącznych:	edit	$m$
Średnie tłumienie dla połączenia rozłącznego [dB]:	edit	$L_m$





### 3.6. Odbiornik optyczny



Obejmuje sprzęgacz optyczny zintegrowany z detektorem optycznym i wzmacniaczem transimpedancyjnym. Przetwarza moc optyczną na sygnał napięciowy oraz eliminuje składową stałą zawartą w sygnale optycznym (sygnał ze składową stałą nie daje się prawidłowo demodulować). Należy podać czułość odbiornika.

Zaznaczenie funkcji "Pomiar wartości szumu" powoduje odłączenie mocy optycznej od wejścia i umożliwia pomiar wartości szumu generowanego przez odbiornik. Aby obliczyć moc szumu należy uwzględnić czułość odbiornika.

**Realizowana funkcja:**

$$U_{out} = \begin{cases} K_3 \times (P_{in} + P_{szum}) & \text{dla } K_3 \times (P_{in} + P_{szum}) \leq U_{nas} \wedge szum = 1 \\ U_{nas} & \text{dla } K_3 \times (P_{in} + P_{szum}) > U_{nas} \wedge szum = 1 \\ K_3 \times P_{szum} & \text{dla } szum = 2 \end{cases} \quad (10)$$

gdzie:

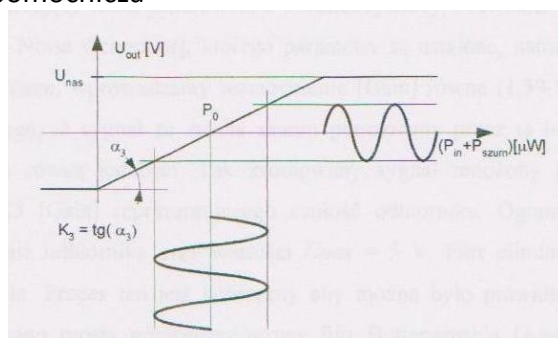
$P_{in}$  - moc optyczna na wejściu [ $\mu W$ ]

$P_{szum}$  - moc szumu odbiornika [ $\mu W$ ]

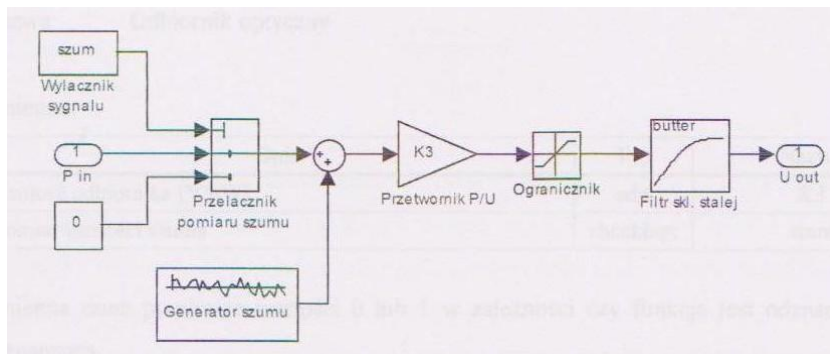
$U_{out}$  - sygnał wyjściowy [V]

$K_3$  - współczynnik przetwarzania [V/ $\mu W$ ]

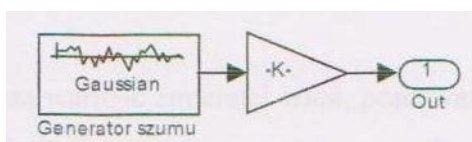
$szum$  - zmienna pomocnicza



Rys. 15. Charakterystyka obrazująca realizowaną funkcję przez odbiornik optyczny.

**Struktura:**

Rys. 16. Struktura wewnętrzna podsystemu: Odbiornik optyczny.



Rys. 17. Struktura wewnętrzna podsystemu: Generator szumu.

**Zasada działania:**

Element Pin [In1] wprowadza sygnał optyczny do podsystemu. Zmienna *szum* [Constant] jest podawana na pierwsze wejście przełącznika pomiaru szumu [Multiport Switch]. W zależności od jej wartości (1 lub 2), na sumator [Sum] będzie podłączone odpowiednio: albo wejście sygnałowe albo wartość zerowa.

Na drugie wejście sumatora podany jest sygnał z generatora szumu. Jest to mniejszy podsystem wytwarzający szum gaussowski o określonej mocy. Wewnątrz znajduje się źródło szumu [Gaussian Noise Generator], którego parametry są ustalone, natomiast deklarując w masce wartość *Pszum*, wprowadzamy wzmacnienie [Gain] równe  $(1,39 * Pszum)$ . Wartość 1,39 wynika z tego, iż sygnał ze źródła szumu pomnożony przez tą liczbę, daje wartość skuteczną szumu równą jedności. Tak zsumowany sygnał mnożony jest przez wartość współczynnika *K3* [Gain] reprezentującego czułość odbiornika. Ogranicznik [Saturation] symuluje nasycenie odbiornika przy wartości  $Unas = 5 \text{ V}$ . Filtr eliminuje składową stałą zawartą w sygnale. Proces ten jest konieczny aby można było prawidłowo demodulować sygnał. Zastosowano prosty górnoprzepustowy filtr Butterworth'a [Analog Filter Design] pierwszego rzędu o częstotliwości granicznej 10 MHz. Otrzymany sygnał napięciowy wyprowadzany jest z podsystemu elementem Uout [Out1].



Partnerzy:



### Konfiguracja maski:

Nazwa: Odbiornik optyczny

Zmienne:

Opis	Typ	Nazwa
Czułość odbiornika [V/μW]:	edit	<i>K3</i>
Pomiar wartości szumu	checkbox	<i>szum</i>

Zmienna *szum* przyjmuje wartości 0 lub 1 w zależności czy funkcja jest odznaczona czy zaznaczona.

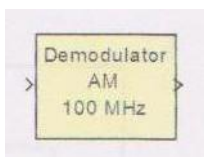
### Maska generatora szumu:

Nazwa: Generator szumu

Zmienne:

Opis	Typ	Nazwa
Moc szumu [μW]:	edit	<i>Pszum</i>

## 3.7. Demodulator



Dokonyuje operacji demodulacji (w zależności od wyboru AM/FM/PM) sygnału podanego na wejście. Wartość amplitudy nośnej jest stała i wynosi  $A_c = 1$  V. Dlatego w przypadku demodulacji AM należy pamiętać o odpowiednim ustawieniu czułości odbiornika optycznego, tak aby średnia amplituda nośnej wynosiła ok. 1 V.

Wartości częstotliwości nośnej i czułości modulacji należy podać takie same jak w modulatorze. W przeciwnym wypadku fala zdemodulowana będzie zniekształcona.

Zaznaczenie funkcji "Dodatkowy filtr nośnej" powoduje załączenie filtra dolnoprzepustowego eliminującego pozostałości nośnej.

Funkcja "Pomiar wartości szumu" powinna być zaznaczona przy pomiarze szumu.

### Realizowana funkcja:

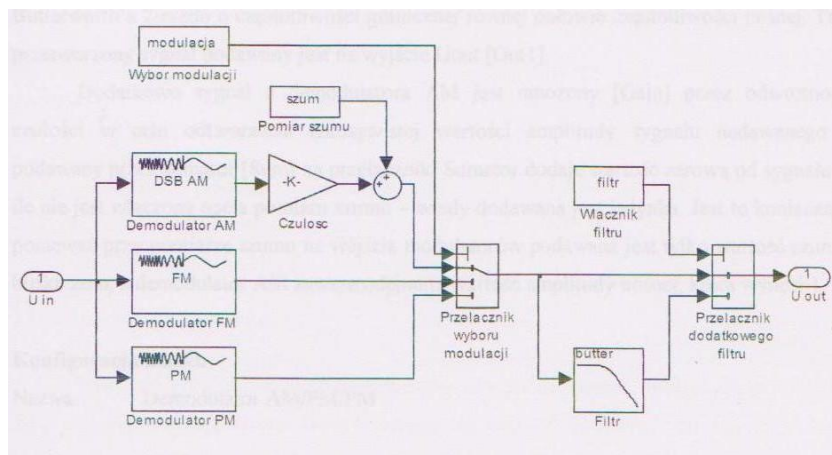
$$U_{out} = \begin{cases} dem_{AM}(U_{in}) & \text{dla } mod_{ulacja} = 1 \\ dem_{FM}(U_{in}) & \text{dla } mod_{ulacja} = 2 \\ dem_{PM}(U_{in}) & \text{dla } mod_{ulacja} = 3 \end{cases} \quad (11.)$$

gdzie:



$U_{out}$  - sygnał wyjściowy [V]  
 $U_{in}$  - sygnał wejściowy [V]  
 $dem$  - oznacza proces demodulacji  
 $modulacja$  - zmienna pomocnicza

### Struktura:



Rys. 18. Struktura wewnętrzna podsystemu: Demodulator.

### Zasada działania:

Element  $U_{in}$  [In] wprowadza sygnał do podsystemu. Jest on podawany jednocześnie na wszystkie trzy demodulatory [DSB AM Modulator Passband], [FM Modulator Passband], [PM Modulator Passband]. Częstotliwość nośna jest wybierana z menu. Na wartość  $f_{nos}$  dobierane są filtry demodulatorów. Dobór współczynników macierzy licznika  $[num]$  i mianownika  $[den]$  dla filtrów wywoływany jest poleceniem:

```
>>[num,den] = butter (2, fnos*tprob.);
```

gdzie 2 jest rzędem filtra Butterworth'a. Przy założeniu czasu próbkowania  $tprob$  równym  $0.1/f_{nos}$  współczynniki będą stałe niezależnie od wartości częstotliwości nośnej. Po wykonaniu polecenia:

```
>>[num,den] = butter (2,0.1);
```

otrzymuje się:

```
num = [0.0201 0.0402 0.0201]
```

```
den = [1.0000 -1.5610 0.6414].
```

Sygnały z demodulatorów są zbierane przed przełącznik wyboru modulacji [Multiport Switch]. Analogicznie jak w modulatorze, zmienna  $modulacja$  [Constant] jest podawana na I wejście sterujące przełącznikiem wyboru modulacji. Następnie sygnał jest dwiema drogami: bezpośrednio oraz przez filtr, podany na przełącznik dodatkowego filtru [Multiport Switch]. Zmienna  $filtr$  [Constant] steruje przełącznikiem (1 - bez filtra, 2 - z filtrem). Włączenie filtra eliminuje pozostałości fali nośnej w sygnale. Zastosowano dolnoprzepustowy filtr Butterworth'a 2-rzędu o częstotliwości granicznej równej połowie częstotliwości nośnej. Tak przetworzony sygnał podawany jest na wyjście  $U_{out}$  [Out1].



Partnerzy:



Dodatkowo sygnał z demodulatora AM jest mnożony [Gain] przez odwrotność czułości w celu odtworzenia rzeczywistej wartości amplitudy sygnału nadawanego i podawany przez sumator [Sum] na przełącznik. Sumator dodaje wartość zerową od sygnału o ile nie jest włączona opcja pomiaru szumu - wtedy dodawana jest jedynka. Jest to konieczne, ponieważ przy pomiarze szumu na wejścia modulatorów podawana jest tylko wartość szumu bliska zeru, a demodulator AM zawsze odejmuje wartość amplitudy nośnej, która wynosi 1.

### Konfiguracja maski:

Nazwa: Demodulator AM/FM/PM

Zmienne:

Opis		Typ	Nazwa
Rodzaj modulacji:		popup	<i>modulacja</i>
Popup strings:	AM   FM   PM		
Częstotliwość nośnej [MHz]:		popup	<i>nosna</i>
Popup strings:	100   200   400   800		
Czułość modulatora AM [I/V], FM [MHz/V], PM [rad/V]:		edit	<i>czulosc</i>
Dodatkowy filtr nośnej		checkbox	<i>filtr</i>
Pomiar wartości szumu		checkbox	<i>szum</i>

Zasada przypisywania wartości zmiennej typu „popup” i „checkbox” jest analogiczna jak w poprzednich przypadkach.



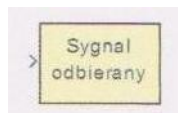




Partnerzy:

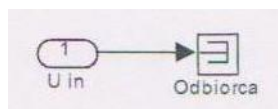


### 3.8. Odbiorca sygnału



Odbiera sygnał przesyłany od nadawcy.

**Struktura:**



Rys. 19. Struktura wewnętrzna podsystemu: Odbiorca sygnału.

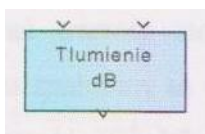
**Zasada działania:**

Sygnał wejściowy jest podłączony do odbiorcy [Terminator]. Zapobiega komunikatom w czasie symulacji o nie podłączonych wyjściach elementów.

**Konfiguracja maski:**

Nazwa: Odbiorca sygnału

## 4. Pomiar tłumienia

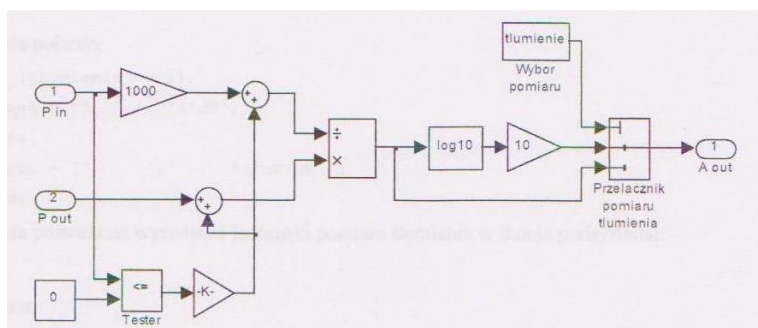


Podając na wejścia przetwornika sygnały z wejścia i wyjścia światłowodu uzyskuje się wartość tłumienia całkowitego toru światłowodowego wyrażoną, w zależności od wyboru, w **dB** lub  $\mu\text{W}/\mu\text{W}$ .

**Realizowana funkcja:**

$$A_{out} = \begin{cases} 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} & \text{dla } \text{tłumienie} = 1 \\ \frac{P_{out}}{P_{in}} & \text{dla } \text{tłumienie} = 2 \end{cases} \quad (12)$$

**Struktura:**



Rys. 20. Struktura wewnętrzna podsystemu: Pomiar tłumienia.



Partnerzy:



### Zasada działania:

Sygnały mocy optycznej wprowadzane są na wejścia przetwornika [In1], [In2]. Sygnał Pin wyrażony jest w mW dlatego musi być przemnożony przez 1000 [Gain]. Następnie obliczany jest ich stosunek [Product], logarytmowany [Math Function] i mnożony przez 10 [Gain]. Tak otrzymana wartość tłumienia w dB podana jest na przełącznik. Na drugie wejście przełącznika podany jest sam stosunek mocy w  $\mu\text{W}/\mu\text{W}$ . Wartość zmiennej *tłumienie* powoduje wybór wartości podanej na wyjście przetwornika [Out1]. Tester [Relational Operator] ma za zadanie porównywać wartość mocy wejściowej światłowodu z zerem [Constant]. Jeśli warunek  $\text{Pin} \leq 0$  jest spełniony to na wyjściu testera pojawia się jedynka, która następnie pomnożona przez wartość  $10^{-6}$  [Gain] zostaje dodana [Sum] do sygnału wejściowego i wyjściowego. W przypadku gdy warunek nie jest spełniony dodawana jest wartość zerowa. Działanie to ma na celu eliminację komunikatów o dzieleniu przez zero i logarytmowaniu zera w przypadku wyłączonej diody.

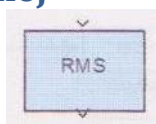
### Konfiguracja maski:

Nazwa: Przetwornik do pomiaru tłumienia

Zmienne:

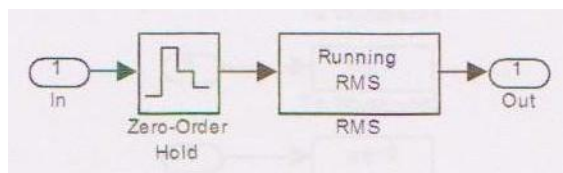
Opis		Typ	Nazwa
Pomiar tłumienia:		popup	<i>tłumienie</i>
Popup strings:	dB   $\mu\text{W}/\mu\text{W}$		

## 5. Pomiar wartości skutecznej



Oblicza wartość skuteczną sygnału po zakończeniu symulacji.

### Struktura:



Rys. 21. Struktura wewnętrzna podsystemu: Pomiar wartości skutecznej.

### Zasada działania:

Wejściowy sygnał [In1] jest próbkowany w czasie [Zero-Order Hold] a następnie wartości są zapamiętywane w pamięci [RMS] i po zakończonej symulacji obliczana jest wartość skuteczna i wprowadzana na wyjście [Out1].





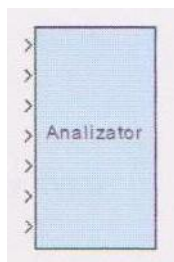
Partnerzy:



## Konfiguracja maski:

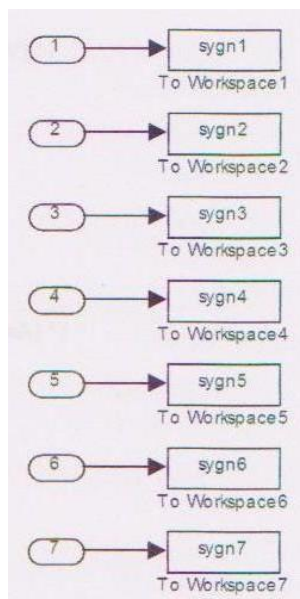
Nazwa: Pomiar RMS

## 6. Analizator



Analizator zbiera sygnały z poszczególnych punktów pomiarowych i wysyła je do przestrzeni roboczej gdzie zachowywane są w postaci macierzy. Po przez wywołanie odpowiednich m-plików można wykorzystać te dane do wykonania wykresów wygodnych do eksportowania np. do pakietu Office.

### Struktura:

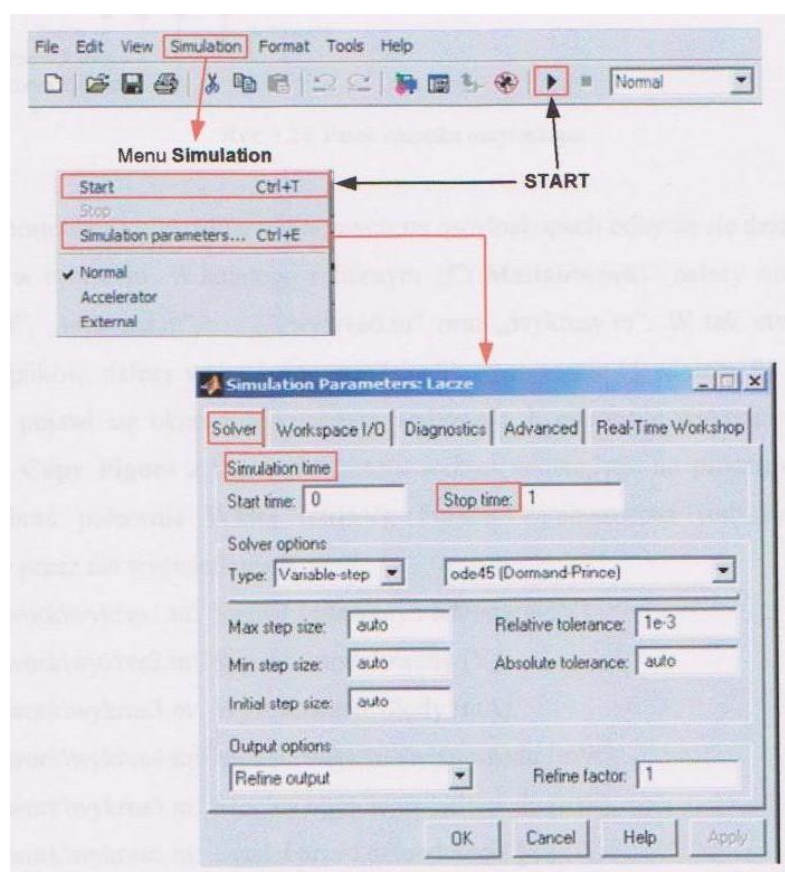


Rys. 22. Struktura wewnętrzna podsystemu: Analizator.

## 7. Obsługa modelu

Po uruchomieniu pakietu MATLAB z menu **File** należy wybrać polecenie **Open**. W katalogu roboczym „C:\Matlab\work\” należy wybrać plik „Lacze.mdl”. W otwartym oknie pojawi się model łącza analogowego. Otwarcie opcji wprowadzania parametrów do poszczególnych bloków odbywa się po przez podwójne kliknięcie lewym klawiszem myszy na określony blok lub wybranie opcji **Mask parameters...** z menu **Edit** lub z menu prawego klawisza myszy (Rys. 3.3.). W tak otwartym oknie należy wprowadzić wymagane parametry

wg instrukcji zamieszczonej w krótkim opisie na początku okna parametrów. Symulację uruchamia się w menu **Simulation** poleceniem **Start** (ctrl+T) lub przyciskiem **Start simulation** z paska narzędzi (Rys. 23).



Rys. 23. Uruchomienie symulacji i zmiana czasu jej trwania.

Zmiany czasu trwania symulacji dokonuje się w menu **Simulation** przez wywołanie polecenia **Simulation parameters** (ctrl+E). W oknie **Solver - Simulation time** należy określić końcowy czas symulacji **Stop time**. Czas ten jest określony w wartościach umownych. Przy założeniu częstotliwości sygnału modulującego rzędu MHz, wartość „1” będzie odpowiadała 1µs (rys. 23).

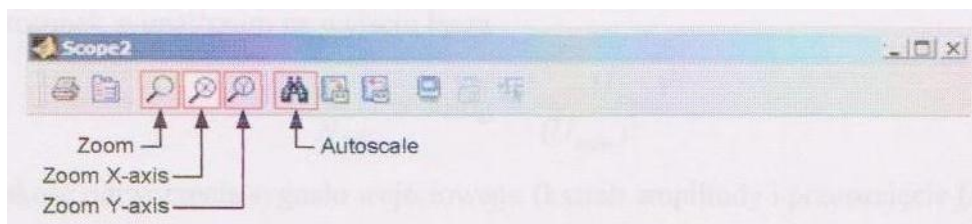
Obserwacja przebiegów sygnałów możliwa jest po dwukrotnym kliknięciu lewym klawiszem myszy na oscyloskop [Scope]. Opcje **Zoom**, **Zoom X-axis**, **Zoom Y-axis**, **Autoscale** z paska narzędzi oscyloskopu umożliwiają obserwację wybranych części przebiegów (rys. 24).



Partnerzy:



Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



Rys. 24. Pasek narzędzi oscyloskopu.

Eksportowanie wykresów widocznych na oscyloskopach odbywa się dzięki M-plikom napisanym w tym celu. W katalogu roboczym „C:\Matlab\work\” należy otworzyć pliki: „wykres1.m”, „wykres2.m”, ... , „wykres6.m” oraz „wykresy.m”. W tak otwartym oknie edytora M-plików, należy wybrać odpowiedni plik, a następnie klawiszem **F5** wykonać go. Na ekranie pojawi się okno z wykonanym wykresem. Kopiowanie wykresu wykonuje się poleceniem **Copy Figure** z menu **Edit**. Aby wykres wkleić, np. do programu MS Word, należy wybrać polecenie **Wklej** (ctrl+V). Poniżej zamieszczona jest lista M-plików i wykresów przez nie wyświetlanych:

C:\Matlab\work\wykres1.m: Sygnał nadawany i odbierany [V],

C:\Matlab\work\wykres2.m: Sygnał zmodulowany [V],

C:\Matlab\work\wykres3.m: Wysterowanie diody [mA],

C:\Matlab\work\wykres4.m: Moc na wejściu światłowodu [mW],

C:\Matlab\work\wykres5.m: Moc na wyjściu światłowodu [ $\mu$ W],

C:\Matlab\work\wykres6.m: Sygnał przed demodulacją [V],

C:\Matlab\work\wykresy.m: Wszystkie wyżej wymienione na wspólnym rysunku.





Partnerzy:



Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



## 8. Część eksperymentalna

Możliwości przeprowadzanych symulacji można podzielić na dwie grupy: część elektryczną i optyczną. W obu przypadkach kryterium, jakości transmisji są:

- stosunek sygnał/szum na wyjściu łącza

$$\frac{S}{N}_{(dB)} = 20 \log \frac{(U_{out} - U_{szum})^2}{(U_{szum})^2},$$

- jakość odtworzenia sygnału wejściowego (kształt amplitudy i przesunięcie fazowe).

W części elektrycznej można badać wpływ doboru:

- rodzaju modulacji,
- czułości modulacji w stosunku do amplitudy sygnału wejściowego,
- częstotliwości fali nośnej w stosunku do częstotliwości sygnału.

Natomiast w części optycznej można badać wpływ doboru:

- parametrów sterownika nadajnika optycznego, aby poprawnie została zmodulowana moc optyczna (uwzględnienie prądu progowego diody, prądu maksymalnego diody – uszkodzenie nadajnika, wykorzystanie zakresu liniowej części charakterystyki),
- mocy nadajnika optycznego w zależności od zadanej długości toru światłowodowego,
- czułości odbiornika optycznego, aby sygnał mógł być prawidłowo demodulowany.

Obie części stanowią integralną całość i zadanie można dostosować wykorzystując kombinację powyższych możliwości.

Wykorzystując część wyżej wymienionych możliwości należy przeprowadzić kilka eksperymentów mających na celu potwierdzenie możliwości modelu.

W celu wykonania ćwiczenia należy uruchomić program Matlab oraz otworzyć plik *lacze.mdl*.

### Eksperyment 1

#### Badanie łącza AM w normalnych warunkach.

Sygnał wejściowy:  $U_{in} = 1 \text{ V}$        $f_m = 2 \text{ MHz}$

Modulator: AM       $k_a = 1 \text{ V}^{-1}$        $f_c = 200 \text{ MHz}$

Sterownik: K1 = 10 mA/V       $I_{pol} = 80 \text{ mA}$        $I_{ogr} = 100 \text{ mA}$

Dioda: Laser-2

Tor światłowodowy:  $A_{dB} = -20 \text{ dB}$

Odbiornik: K3 = 0,2 V/μW

Demodulator: AM       $k_a = 1 \text{ V}^{-1}$        $f_c = 200 \text{ MHz}$



Wyniki pomiarów:  $U_{in} = 707,1 \text{ mV}$

Sygnał:	$U_{out}$	$U_{szum}$	S/N
	[mV]	[mV]	[dB]
przed demodulacją			
po demodulacji bez dodatkowego filtra nośnej			
po demodulacji z dodatkowym filtrem nośnej			

Pomiar bez dodatkowego filtra nośnej.

Pomiar z dodatkowym filtrem nośnej.

Pomiar szumu.



Partnerzy:



## Eksperyment 2

### Badanie łącza FM w normalnych warunkach.

Sygnał wejściowy:  $U_{in} = 1 \text{ V}$   $f_m = 2 \text{ MHz}$   
Modulator: FM  $k_a = 1 \text{ V}^{-1}$   $f_c = 200 \text{ MHz}$   
Sterownik: K1 = 10 mA/V  $I_{pol} = 80 \text{ mA}$   $I_{ogr} = 100 \text{ mA}$   
Dioda: Laser-2  
Tor światłowodowy:  $A_{dB} = -20 \text{ dB}$   
Odbiornik: K3 = 0,2 V/ $\mu\text{W}$   
Demodulator: FM  $k_a = 1 \text{ V}^{-1}$   $f_c = 200 \text{ MHz}$

Wyniki pomiarów:  $U_{in} = 707,1 \text{ mV}$

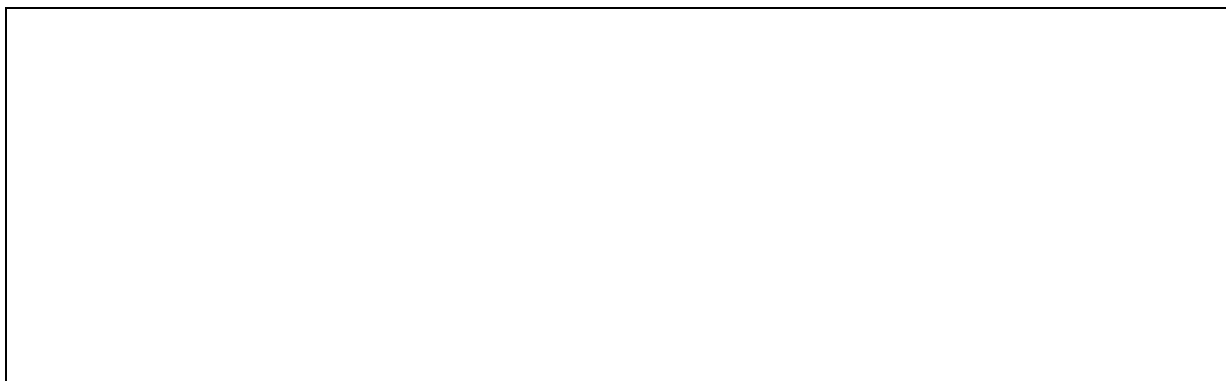
Sygnał:	$U_{out}$	$U_{szum}$	S/N
	[mV]	[mV]	[dB]
przed demodulacją			
po demodulacji bez dodatkowego filtra nośnej			
po demodulacji z dodatkowym filtrem nośnej			

Pomiar bez dodatkowego filtra nośnej.

Pomiar z dodatkowym filtrem nośnej.



Partnerzy:



Pomiar szumu (powiększenie).

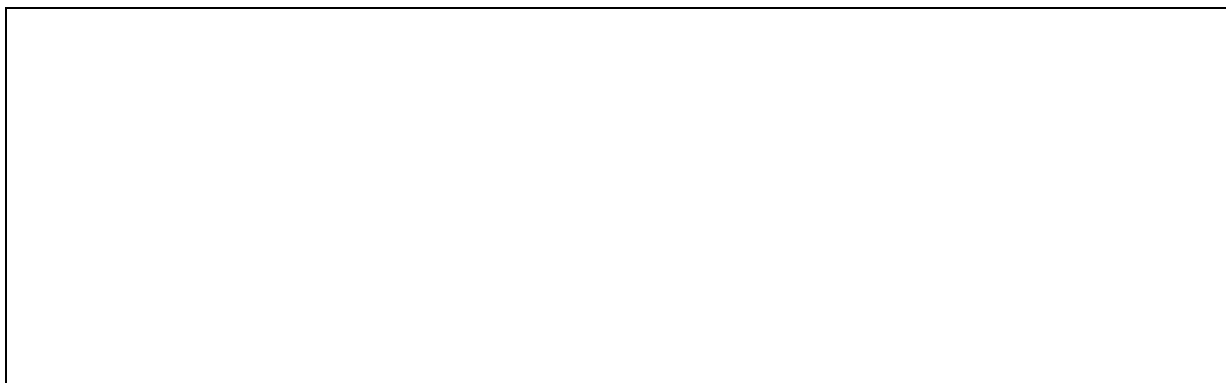
### **Eksperyment 3**

#### **Badanie łącza PM w normalnych warunkach.**

Sygnał wejściowy:  $U_{in} = 1 \text{ V}$        $f_m = 2 \text{ MHz}$   
Modulator: PM       $k_a = 1 \text{ V}^{-1}$        $f_c = 200 \text{ MHz}$   
Sterownik: K1 = 10 mA/V       $I_{pol} = 80 \text{ mA}$        $I_{ogr} = 100 \text{ mA}$   
Dioda: Laser-2  
Tor światłowodowy:  $A_{dB} = -20 \text{ dB}$   
Odbiornik: K3 = 0,2 V/ $\mu\text{W}$   
Demodulator: PM       $k_a = 1 \text{ V}^{-1}$        $f_c = 200 \text{ MHz}$

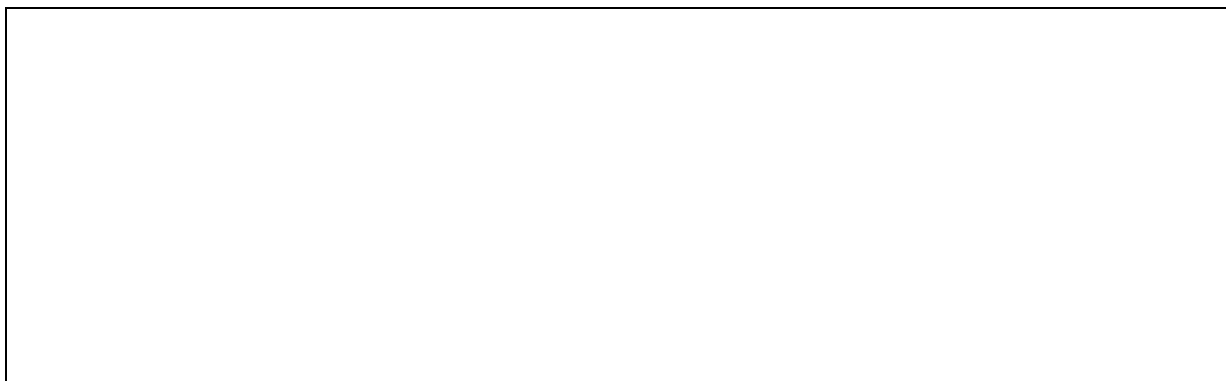
Wyniki pomiarów:  $U_{in} = 707,1 \text{ mV}$

Sygnał:	$U_{out}$	$U_{szum}$	S/N
	[mV]	[mV]	[dB]
przed demodulacją			
po demodulacji bez dodatkowego filtra nośnej			
po demodulacji z dodatkowym filtrem nośnej			

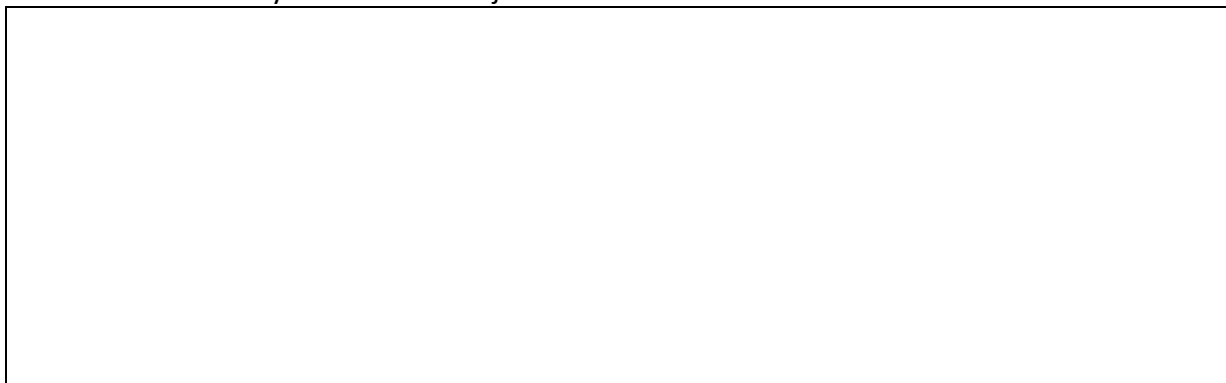


Pomiar bez dodatkowego filtra nośnej.





Pomiar z dodatkowym filtrem nośnej.



Pomiar szumu (powiększenie).

#### **Eksperyment 4**

##### **Badanie łącza AM przy dużym tłumieniu światłowodu.**

Sygnał wejściowy:  $U_{in} = 1 \text{ V}$        $f_m = 2 \text{ MHz}$   
Modulator:      AM       $k_a = 1 \text{ V}^{-1}$        $f_c = 200 \text{ MHz}$   
Sterownik:      K1 = 10 mA/V       $I_{pol} = 80 \text{ mA}$        $I_{ogr} = 100 \text{ mA}$   
Dioda:      Laser-2  
Tor światłowodowy:  $A_{dB} = -30 \text{ dB}$   
Odbiornik:      K3 = 2 V/ $\mu\text{W}$   
Demodulator:      AM       $k_a = 1 \text{ V}^{-1}$        $f_c = 200 \text{ MHz}$



Partnerzy:



Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



Wyniki pomiarów:  $U_{in} = 707,1 \text{ mV}$

Sygnał:	$U_{out}$	$U_{szum}$	S/N
	[mV]	[mV]	[dB]
przed demodulacją			
po demodulacji bez dodatkowego filtra nośnej			
po demodulacji z dodatkowym filtrem nośnej			

Pomiar bez dodatkowego filtra nośnej.

Pomiar z dodatkowym filtrem nośnej.

Pomiar szumu (powiększenie).







Partnerzy:



Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



## Eksperyment 5

### Badanie łącza AM przy nieodpowiednimysterowaniu diody – przekroczenie prądu maksymalnego i nieuwzględnienie prądu progowego.

Sygnał wejściowy:  $U_{in} = 1\text{ V}$   $f_m = 2\text{ MHz}$

Modulator: AM  $k_a = 1\text{ V}^{-1}$   $f_c = 200\text{ MHz}$

Sterownik: K1 = 15 mA/V  $I_{pol} = 80\text{ mA}$   $I_{ogr} = 100\text{ mA}$

Dioda: Laser-2

Tor światłowodowy:  $A_{dB} = -20\text{ dB}$

Odbiornik: K3 = 0,15 V/ $\mu\text{W}$

Demodulator: AM  $k_a = 1\text{ V}^{-1}$   $f_c = 200\text{ MHz}$

Wyniki pomiarów:  $U_{in} = 707,1\text{ mV}$

Sygnał:	$U_{out}$	$U_{szum}$	S/N
	[mV]	[mV]	[dB]
przed demodulacją			
po demodulacji bez dodatkowego filtra nośnej			
po demodulacji z dodatkowym filtrem nośnej			

Pomiar bez dodatkowego filtra nośnej.

Pomiar z dodatkowym filtrem nośnej.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Partnerzy:

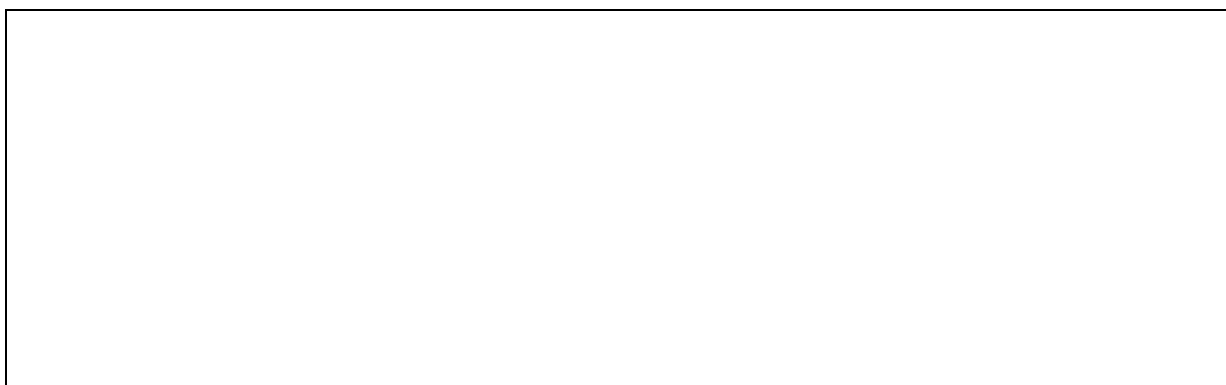


Kształt sygnału przesyłanego światłowodem.

### **Eksperyment 6**

**Badanie łącza AM przy nieodpowiednimysterowaniu diody – przekroczenie prądu maksymalnego i nieuwzględnienie prądu progowego oraz przy braku zabezpieczenia prądu ograniczającego – uszkodzenie diody.**

Sygnał wejściowy:  $U_{in} = 1\text{ V}$        $f_m = 2\text{ MHz}$   
Modulator:      AM       $k_a = 1\text{ V}^{-1}$        $f_c = 200\text{ MHz}$   
Sterownik:      K1 = 10,1 mA/V       $I_{pol} = 80\text{ mA}$        $I_{ogr} = 200\text{ mA}$   
Dioda:      Laser-2  
Tor światłowodowy:  $A_{dB} = -20\text{ dB}$   
Odbiornik:      K3 = 0,2 V/ $\mu\text{W}$   
Demodulator:      AM       $k_a = 1\text{ V}^{-1}$        $f_c = 200\text{ MHz}$



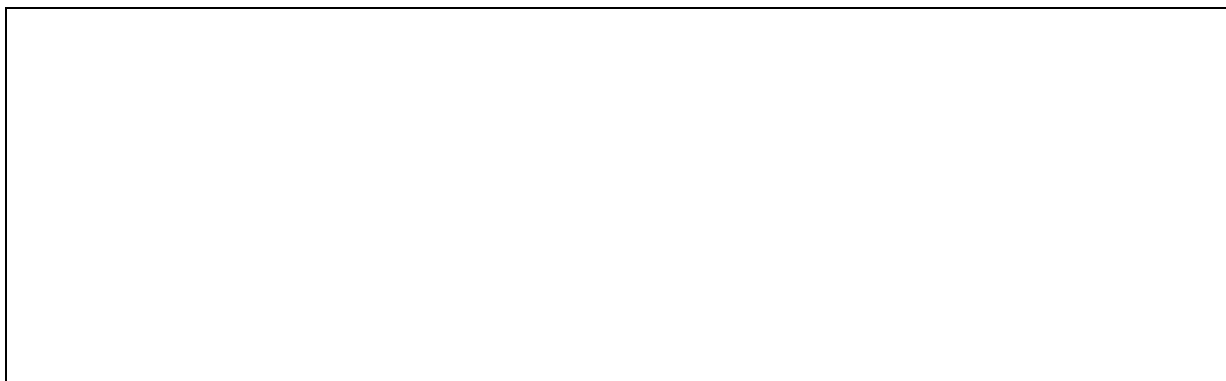
Kształt sygnału przy uszkodzeniu diody.



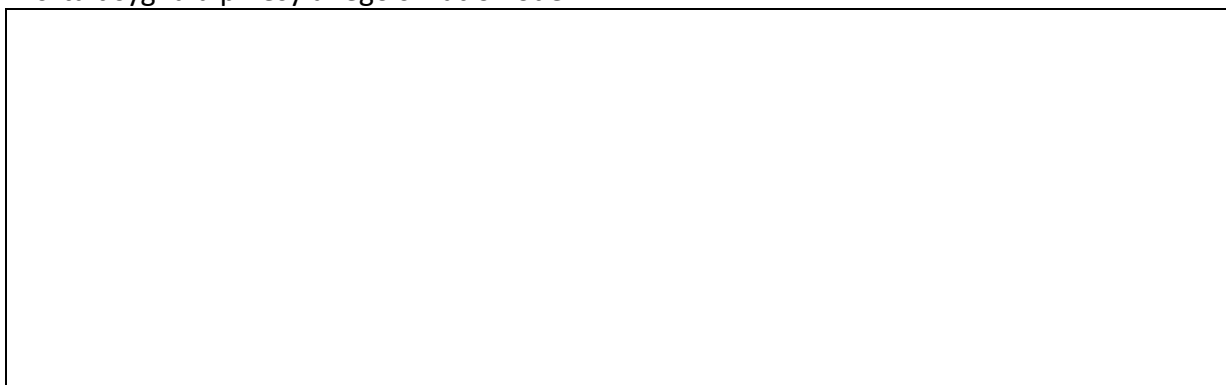
Partnerzy:



Międzynarodowe  
Centrum Szkoleń  
i Kompetencji



Kształt sygnału przesyłanego światłowodem.



Kształt sygnału przed demodulacją.

## 9. Zalecenia do sprawozdania:

1. W odpowiednie miejsca należy wkleić obrazy wygenerowane przez Matlab.
2. Wykonać niezbędne obliczenia i wpisać je do tabel.
3. Należy sporządzić wnioski zawierające ocenę wyników symulacji zgodną z przyjętymi kryteriami jakości transmisji.