

Politechnika Łódzka

Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych

**WWW.DSOD.PL**

## **LABORATORIUM METROLOGII ELEKTRONICZNEJ**

ĆWICZENIE nr **4**

Charakterystyki częstotliwościowe czwórników

---

---

**CEL ĆWICZENIA:**

---

---

Celem ćwiczenia jest zaznajomienie się z metodami pomiarowymi charakterystyk częstotliwościowych czwórników.

W ćwiczeniu należy wyznaczyć charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe i fazowo-częstotliwościowe badanych czwórników .

---

---

**SPECYFIKACJA APARATURY:**

---

---

W ćwiczeniu wykorzystana zostanie następująca aparatura pomiarowa oraz oprogramowanie:

**Aparatura**

1. generator cyfrowy DDS typu DF1410
2. Oscyloskop cyfrowy 2-kanałowy typu RIGOL 1052E z modułem obliczeniowym FFT
3. Karta pomiarowa Advantech USB-4711A
4. Multimetr z funkcją próbkowania RIGOL DM3051
5. Zestaw dydaktyczny „DSP-Kit”

**Oprogramowanie:**

1. Program Data4711 do obsługi karty pomiarowej USB-4711A
2. Program DataDSP do akwizycji danych z zestawu dydaktycznego DSP-Kit
3. Arkusz kalkulacyjny z pakietu Office do przetwarzania danych z przyrządów pomiarowych

**Podstawowe wiadomości**

Własności dynamiczne elementu czwórnikowego określa się analitycznie za pomocą równań różniczkowych, ich rozwiązania i interpretacji geometrycznej. Stosuje się głównie opis za pomocą transmitancji operatorowych, które są funkcjami zmiennej zespolonej  $s = a + jb$  ( $j = \sqrt{-1}$ ):

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

gdzie  $Y(s)$ , to postać operatorowa sygnału wyjściowego  $y(t)$ ,

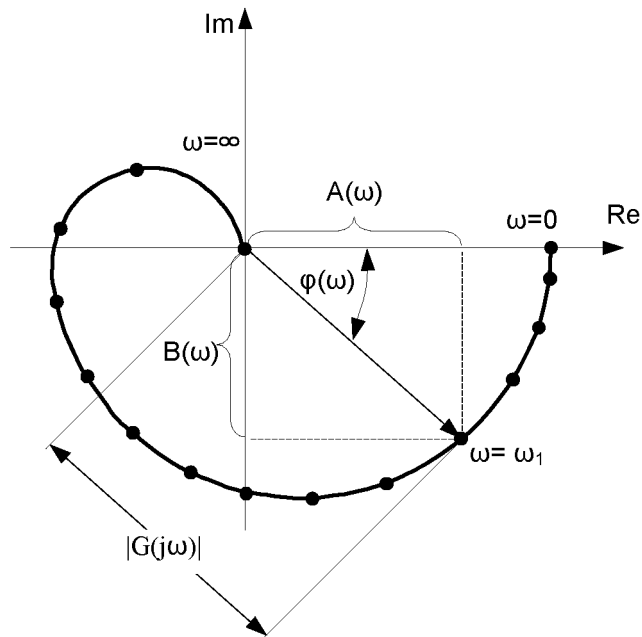
$X(s)$  postać operatorowa sygnału wejściowego  $x(t)$ .

Doświadczalnie wyznaczamy transmitancję poprzez podanie na wejście układu odpowiednio dobranego, zmiennego w czasie sygnału wejściowego (wymuszenia)  $x(t)$  i rejestrację sygnału wyjściowego  $y(t)$ . Stosuje się kilka standardowych sygnałów wejściowych. Najważniejsze z nich to sygnały impulsowe: skokowy, sygnał impulsowy Diraca, oraz sygnały ciągłe: sygnał sinusoidalny.

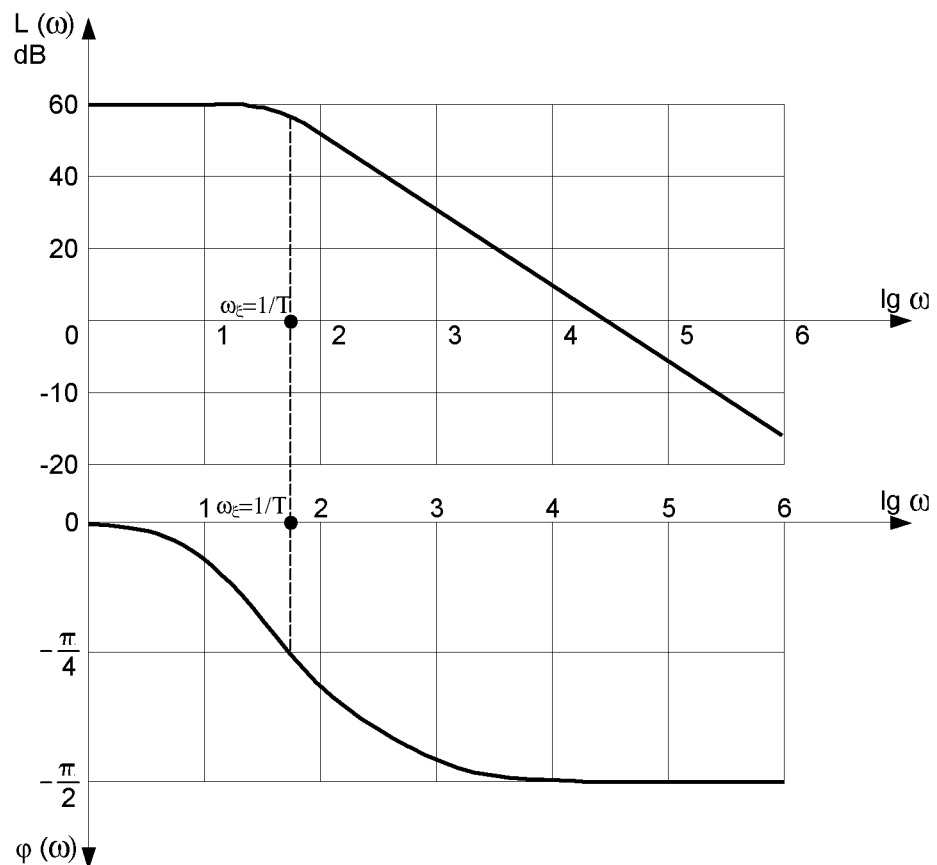
Odpowiedź elementu lub układu na wymuszenie standardowe nazywamy charakterystyką dynamiczną. Inaczej mówiąc, charakterystyka dynamiczna podaje jak zmienia się sygnał wyjściowy  $y(t)$  po podaniu na wejście układu zmiennego w czasie sygnału wymuszającego  $x(t)$ . W układzie dynamicznym wartość wielkości wyjściowej zależy nie tylko od bieżącej wartości wejściowej, ale również od stanu układu w chwili poprzedzającej podanie sygnału wejściowego.

**Widmowa postać transmitancji**

Jeżeli w zależności  $G(s)$  podstawić  $s = j(\omega)$ , to otrzymaną liczbę zespoloną nazywa się transmitancją widmową  $G(j\omega)$ . Transmitancję widmową można przedstawić w różnych formach graficznych. W praktyce najbardziej powszechne są: charakterystyka amplitudowo-fazowa, logarytmiczno-częstotliwościowe charakterystyki modułu i fazy.



Rys. 1. Charakterystyka amplitudowo-fazowa



Rys. 2. Logarytmiczno częstotliwościowe charakterystyki amplitudowo-fazowe

W praktyce pomiarowej najczęściej mamy do czynienia z elementami:  
 proporcjonalnymi - zerowego rzędu, inercyjnymi I-go rzędu, inercyjnymi II-go  
 rzędu, oscylacyjnymi z inercją II-go rzędu.

$$G(j\omega) = G(s)|_{s=j\omega} \quad - \text{transmitancja widmowa}$$

$$G(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega) \quad - \text{transmitancja jako funkcja zmiennej zespolonej}$$

$$P(\omega) = \text{Re}[G(j\omega)] \quad - \text{część rzeczywista transmitancji}$$

$$Q(\omega) = \text{Im}[G(j\omega)] \quad - \text{część urojona transmitancji}$$

$$G(j\omega) = G(\omega)e^{j\Phi(\omega)} \quad - \text{transmitancja widmowa w postaci wykładniczej}$$

$$G(\omega) = |G(j\omega)| = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)} \quad - \text{moduł transmitancji}$$

$$\Phi(\omega) = \text{arctg} \frac{Q(\omega)}{P(\omega)} \quad - \text{argument transmitancji}$$

Podstawowe badane elementy czwórnikowe

### 1. Człon inercyjny I – rzędu

Transmitancja widmowa oraz jej składowa rzeczywista i urojona:

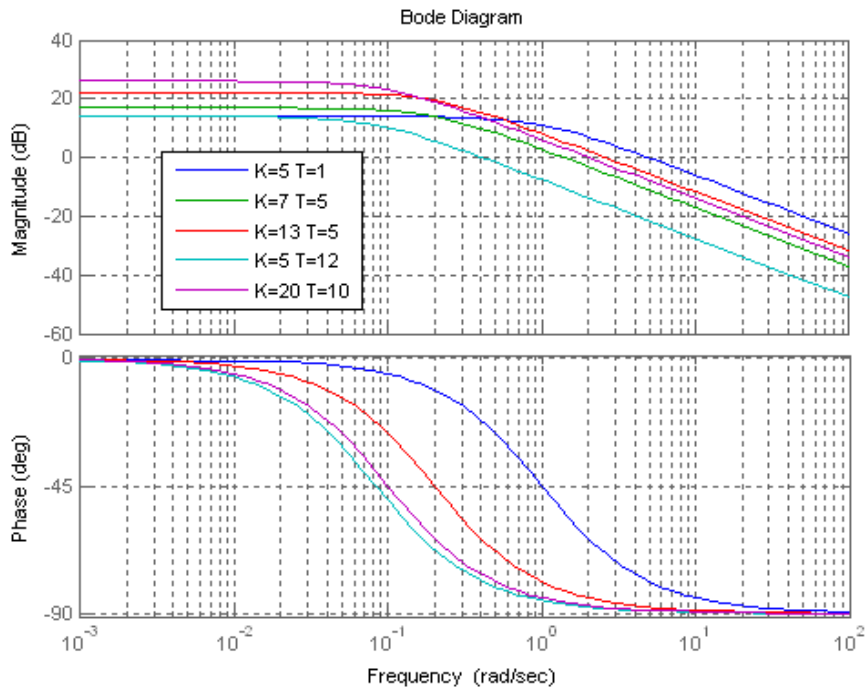
$$G(j\omega) = \frac{k}{(Tj\omega + 1)} \quad P(\omega) = \frac{k}{(\omega^2 T^2 + 1)}$$

$$Q(\omega) = -\frac{kT\omega}{(\omega^2 T^2 + 1)}$$

Moduł transmitancji widmowej i kąt fazowy:

$$G(\omega) = \frac{k}{\sqrt{\omega^2 T^2 + 1}}$$

$$\Phi(\omega) = -\text{arctg} \omega T$$



Rys. 3 Charakterystyki logarytmiczne amplitudowo-częstotliwościowe i fazowo-częstotliwościowe elementu inercyjnego I rzędu

Wpływ stałej T widoczny jest wyraźnie na charakterystykach, punkt  $\omega = 1/T$  jest punktem charakterystycznym. Kąt fazowy zmienia się w zakresie  $(0 -\pi/2)$ .

## 2. Człon oscylacyjny II – rzędu

Transmitancja widmowa oraz jej składowa rzeczywista i urojona:

$$G(j\omega) = \frac{k}{T_0^2(j\omega)^2 + 2T_0\xi j\omega + 1}$$

$$P(\omega) = \frac{k(1 - T_0^2\omega^2)}{(1 - T_0^2\omega^2)^2 + 4T_0^2\xi^2\omega^2}$$

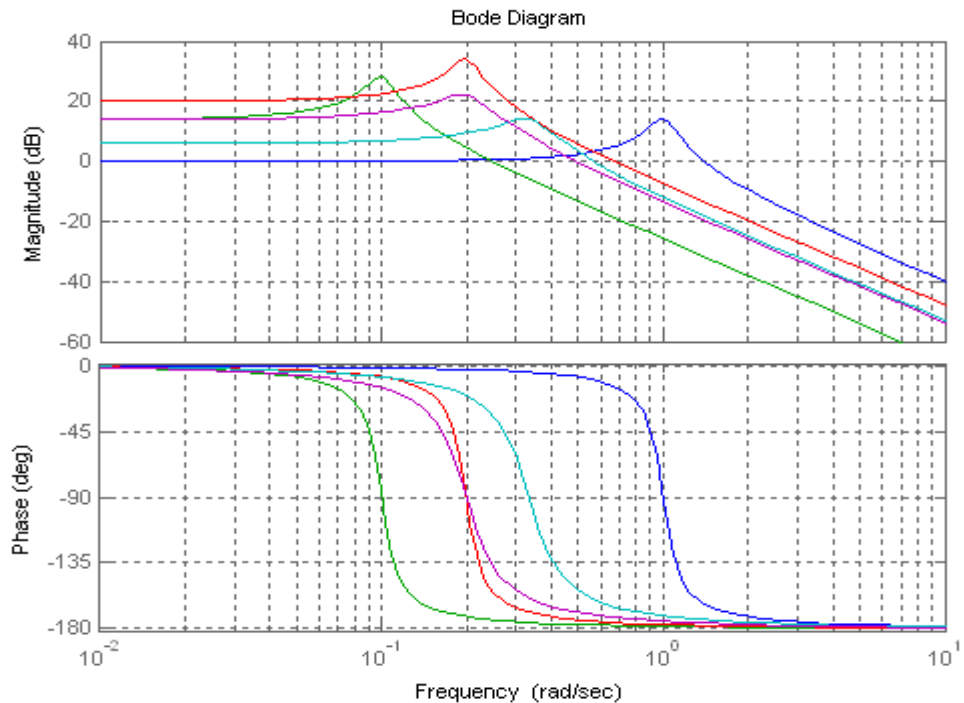
$$Q(\omega) = -\frac{2kT_0\xi\omega}{(1 - T_0^2\omega^2)^2 + 4T_0^2\xi^2\omega^2}$$

Moduł transmitancji widmowej i kąt fazowy:

$$G(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(1 - T_0^2\omega^2)^2 + 4T_0^2\xi^2\omega^2}} \quad \Phi(\omega) = -\arctg \frac{2\xi T_0\omega}{1 - T_0^2\omega^2}$$

Kąt fazowy zmienia się w zakresie  $(0, \Pi)$ .

Współczynnik tłumienia  $\xi$  zmienia się w zakresie  $(0, 1)$ .



Rys. 4 Charakterystyki logarytmiczne amplitudowo-częstotliwościowe i fazowo-częstotliwościowe elementu oscylacyjnego II rzędu

### 3. Człon całkujący z inercją

Transmitancja widmowa oraz jej składowa rzeczywista i urojona:

$$G(j\omega) = \frac{k}{T_1 j\omega(T_1 j\omega + 1)} \quad P(\omega) = \frac{kT}{T_1(\omega^2 T^2 + 1)}$$

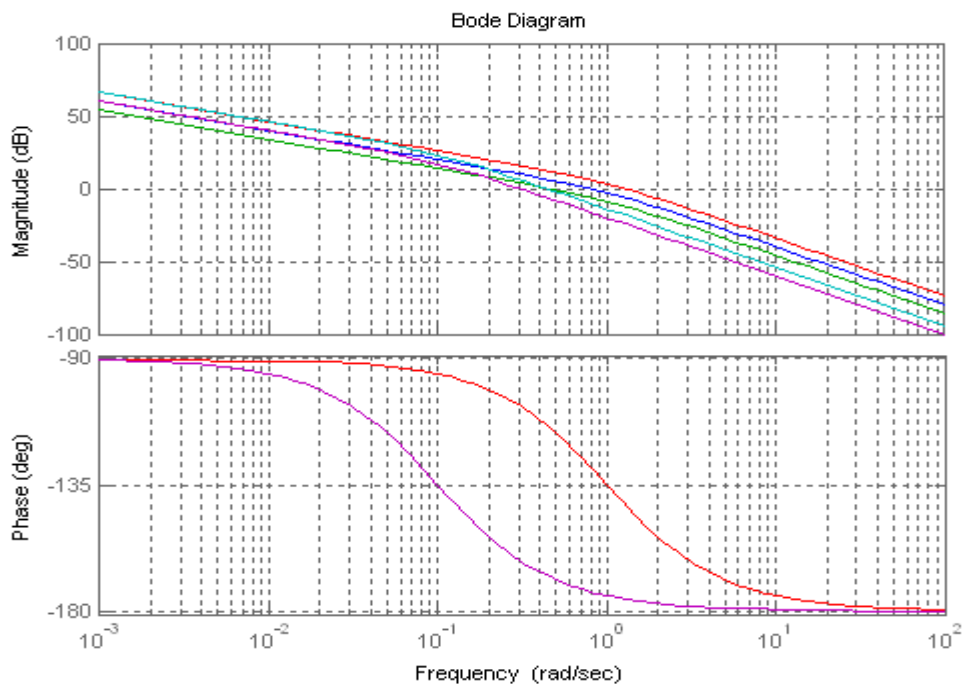
$$Q(\omega) = \frac{kT}{T_1 \omega(\omega^2 T^2 + 1)}$$

Moduł transmitancji widmowej i kąt fazowy:

$$G(\omega) = \frac{k}{T_1 \omega \sqrt{\omega^2 T^2 + 1}} \quad \Phi(\omega) = -\arctg \omega T - \Pi/2$$

Dla charakterystyki amplitudowej punktem charakterystycznym jest  $\omega = 1/T$ .

Kąt fazowy zmienia się w zakresie  $(-\pi/2 - \pi/4)$ .



Rys. 5 Charakterystyki logarytmiczne amplitudowo-częstotliwościowe i fazowo-częstotliwościowe elementu całkującego I rzędu



---

---

### **PRZEBIEG ĆWICZENIA:**

---

---

W realizowanym ćwiczeniu sygnał pomiarowy z generatora sygnałowego doprowadzany jest do jednego z kanałów oscyloskopu oraz do wejścia badanego czwórnika.

Sygnał z wyjściowy z czwórnika podłączony jest do drugiego kanału oscyloskopu .

Należy zarejestrować sygnał wejściowy oraz sygnał wyjściowy za pomocą oscyloskopu.

Należy pomierzyć stosunek amplitudy wartości sygnału wyjściowego do amplitudy sygnału wejściowego oraz przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałami wyjściowymi a sygnałami wejściowymi.

W drugiej metodzie pomiary charakterystyki amplitudowo - częstotliwościowej oraz charakterystyki fazowo-częstotliwościowej należy przeprowadzić za pomocą karty pomiarowej.

W tym celu dla danej częstotliwości sygnału wejściowego należy zarejestrować stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do amplitudy sygnału wejściowego oraz przesunięcie fazowe .

Zmianę częstotliwości wejściowego sygnału sinusoidalnego należy przeprowadzić manualnie na pulpicie generatora .

---

### **ZADANIE 1:**

---

Wyznaczanie charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych oraz charakterystyk fazowo-częstotliwościowych dla filtrów dolnoprzepustowych typu Butterwortha, Czebyszewa oraz Bessela .

Szczegółowe dane odnośnie parametrów sygnałów i warunków przetwarzania będą podane przez prowadzącego zajęcia.

Przykładową charakterystykę filtra pokazano na rys. 6.

**Filter Parameters**

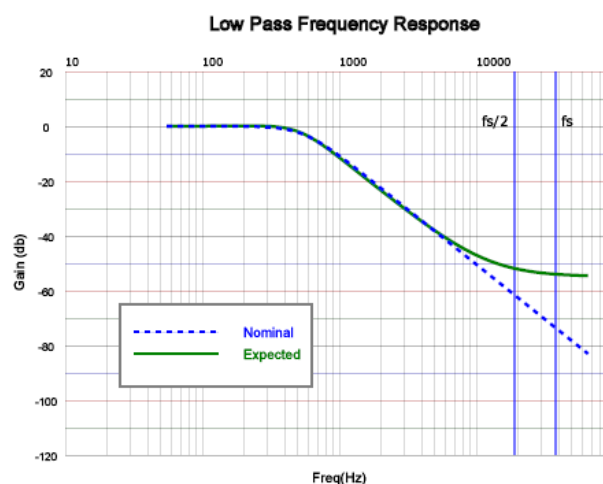
F<sub>Corner</sub> (Hz):  Filter Type:

F<sub>Sample</sub> (Hz):

Gain (dB):

**Calculated Values**

Damping Ratio (d):	1.414
Calculated d:	1.476
Scaled f <sub>0</sub> :	550
Gain (V/V):	1
Calc Gain (C1/C2):	1
C1:	1
C2:	1
C3:	7
C4:	16
CA:	32
CB:	32
Divide by n:	158
Column Clock (Hz):	152000
Oversample Ratio:	69



Rys. 6 Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa filtra dolnoprzepustowego

## ZADANIE 2

Wyznaczanie charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej oraz charakterystyki fazowo-częstotliwościowej dla filtra pasmowego.

Szczegółowe dane odnośnie parametrów sygnałów i warunków przetwarzania będą podane przez prowadzącego zajęcia.

Przykładową charakterystykę filtra pokazano na rys. 7.

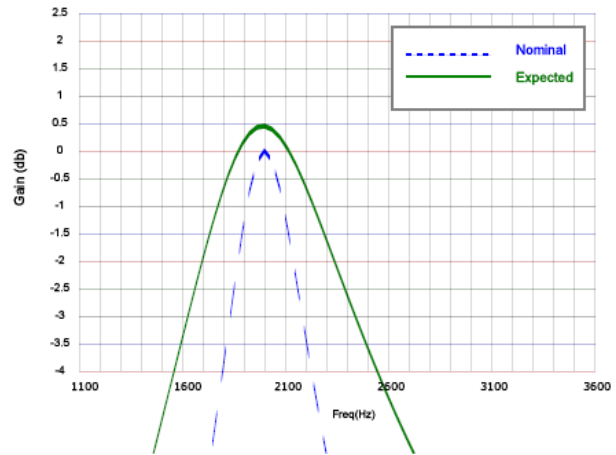
### Filter Parameters

$F_{\text{Center}}$  (Hz):       Gain (dB):   
 $F_{\text{Sample}}$  (Hz):  ( 12000 to 160000 )      C2:  ( 1 to 31 )  
Bandwidth (Hz):  ( 80 to 4000 )

### Calculated Values

Q:	5.714
Calculated Q:	2.708
Scaled $f_0$ :	2001
Gain (V/V):	1
Calc Gain (C1/C2):	1.032
C1:	1
C3:	1
C4:	31
CA:	32
CB:	32
Divide by n:	40
Sample Clock (Hz):	150000
Oversample Ratio:	75

### Band Pass Frequency Response



Rys. 7 Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa filtra wąskopasmowego

### UWAGI KOŃCOWE

---

---

## LITERATURA I MATERIAŁY DODATKOWE

---

---

1. S. Tumański, Technika Pomiarowa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne WNT, Warszawa 2007
2. T.P. Zieliński, Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów, Wydawnictwo ANTYKWA, Kraków 2002
3. T.P. Zieliński, Zarys cyfrowego przetwarzania sygnałów. Od teorii do zastosowań Wydawnictwo WKŁ, Warszawa 2006

### **Materiały dodatkowe:**

1. *www.dspguide.com*
2. [www.analog.com/processors/learning/training/dsp\\_book\\_index.html](http://www.analog.com/processors/learning/training/dsp_book_index.html)
3. *http:farnell.com/cypress-semiconductor*
4. *WWW.cypress.com*

# POLITECHNIKA ŁÓDZKA

## KATEDRA PRZYRZĄDÓW PÓŁPRZEWODNIKOWYCH I OPTOELEKTRONICZNYCH

WWW.DSOD.PL

### LABORATORIUM METROLOGII ELEKTRONICZNEJ

<b>ĆWICZENIE NR:</b>	
<b>TEMAT:</b>	

<b>GRUPA LABORATORYJNA</b>		<b>Kierunek/Semestr</b>	
<b>Lp.</b>	<b>NAZWISKO IMIĘ</b>	<b>NR ALBUMU</b>	
<b>1</b>			
<b>2</b>			
<b>3</b>			
<b>4</b>			

<b>Prowadzący:</b>	
<b>Dzień tygodnia:</b> <b>Data wykonania ćwiczenia:</b>	
<b>Data oddania sprawozdania:</b>	
<b>Ocena:</b>	
<b>Uwagi:</b>	