

Politechnika Łódzka

Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych

WWW.DSOD.PL

LABORATORIUM METROLOGII ELEKTRONICZNEJ

ĆWICZENIE nr **5**

Pomiary rezystancji, pojemności, indukcyjności,
impedancji

Łódź 2010

CEL ĆWICZENIA:

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie się z pomiarami rezystancji, pojemności, indukcyjności, impedancji oraz pomiarami współczynników stratności kondensatorów i dobroci cewek za pomocą współczesnych multimetrów i mostków automatycznych.

SPECYFIKACJA APARATURY:

W ćwiczeniu wykorzystana zostanie następująca aparatura pomiarowa oraz oprogramowanie:

Aparatura

1. Multimetr cyfrowy APPA 109N
2. Multimetr cyfrowy M-3270D
3. Miernik RLC MT4080D
4. Multimetr cyfrowy Rigol DM3000

Oprogramowanie:

1. Arkusz kalkulacyjny z pakietu Office do przetwarzania danych z przyrządów pomiarowych

PODSTAWY TEORETYCZNE

WSTĘP

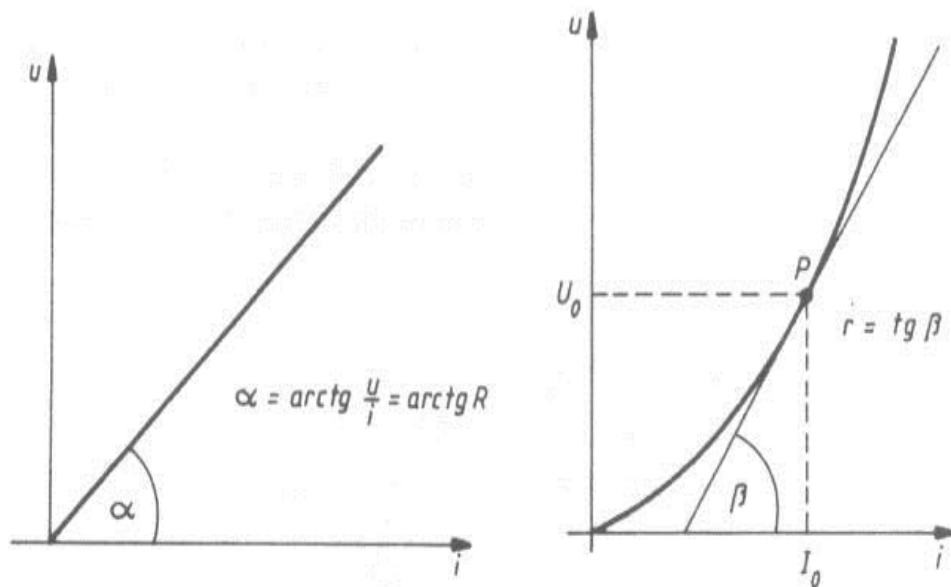
Elementy bierne takie jak: oporniki, cewki, kondensatory występują w każdej aparaturze elektronicznej. Elementy te mogą być określone za pomocą schematów zastępczych składających się z elementów idealnych: rezystorów, indukcyjności i pojemności.

Wyznaczanie parametrów układów zastępczych, w ogólnym przypadku impedancji (admitancji) wymaga znajomości metod pomiarowych oraz wpływu parametrów sygnałów pomiarowych (także zakłóceń) na wynik pomiaru.

SCHEMATY ZASTĘPCZE ELEMENTÓW BIERNYCH

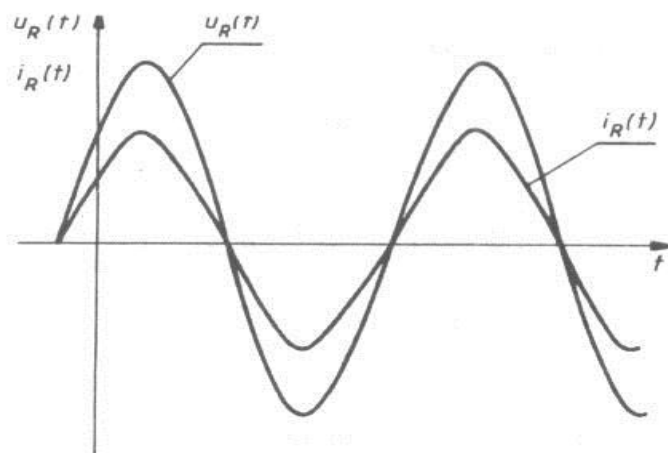
Do elementów biernych zaliczamy: oporniki, kondensatory, cewki. Każdy z tych elementów opisany jest za pomocą schematów zastępczych obowiązujących dla danego zakresu częstotliwości złożonych z elementów idealnych: rezystancji, pojemności i indukcyjności.

Opornik charakteryzowany jest przez rezystancję R. Rezystor liniowy ma charakterystykę napięciowo-prądową $u=f(i)$ określoną funkcją liniową.



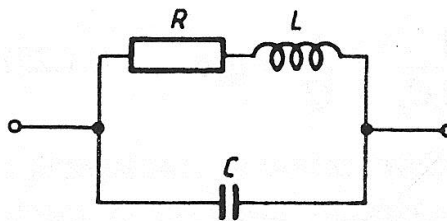
Rys.1 Charakterystyki napięciowo-prądowe dla rezystora liniowego (po lewej stronie) i nieliniowego (po prawej)

Idealny rezystor nie wprowadza przesunięcia fazowego.



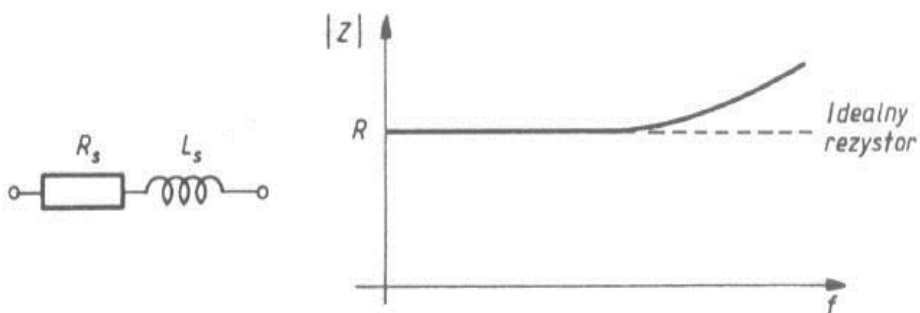
Rys.2 Przebiegi napięcia i prądu dla idealnego rezystora

Schemat zastępczy rezystora rzeczywistego przedstawiono na rysunku 3. Indukcyjność L jest sumą indukcyjności doprowadzeń oraz cewki wykonanej z materiału rezystancyjnego. Pojemność C odpowiada sumie pojemności międzyzwojowych oraz pojemności w stosunku do masy.



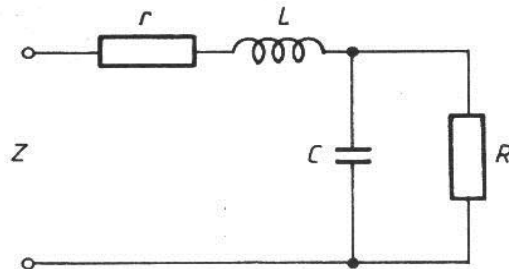
Rys.3 Schemat zastępczy rzeczywistego rezystora (cewki)

Dla oporników o stosunkowo małych wartościach rezystancji tzn. $(\omega RC)^2 \ll 1$ oraz w zakresie niezbyt dużych częstotliwości można schemat zastępczy z rysunku 3 przedstawić w postaci pokazanej na rysunku 4.



Rys.4 Uproszczony schemat zastępczy opornika (dla małych rezystancji i niezbyt dużych częstotliwości)

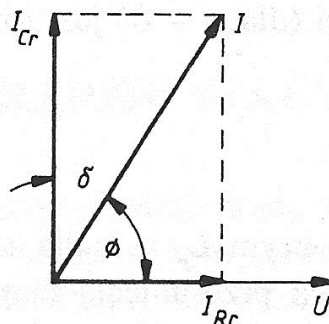
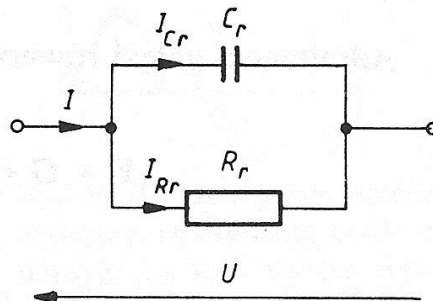
Schemat zastępczy rzeczywistego kondensatora pokazano na rysunku 5. Rezystancje r i R reprezentują odpowiednio rezystancje doprowadzeń oraz określają straty dielektryczne i upływność dielektryka. Indukcyjność L odpowiada indukcyjności doprowadzeń.



Rys. 5 Schemat zastępczy kondensatora rzeczywistego

Uprozczone schematy zastępcze kondensatorów pokazano na rysunkach 6 (dla układu równoległego) i 7 (dla układu szeregowego). Współczynnik charakteryzujący straty (tangens kąta stratności) $\text{tg}\delta$ dla układu z rysunku 6 można określić:

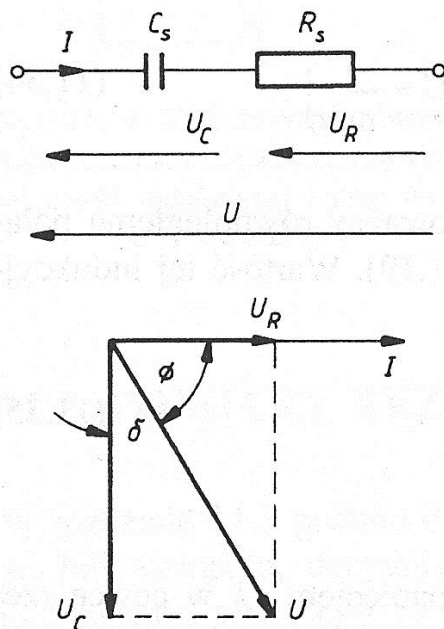
$$\text{tg}\delta = \frac{1}{\omega R_r C_r} \quad (1)$$



Rys.6 Równoległy schemat zastępczy oraz jego wykres wskazowy

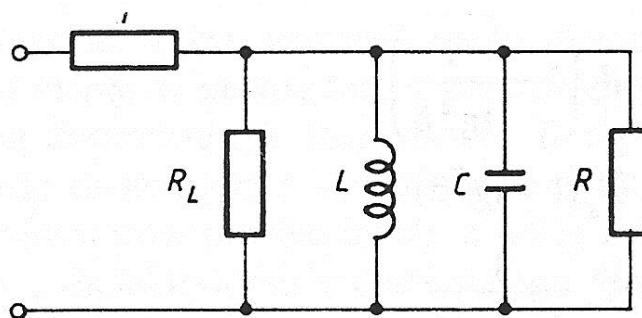
Równoważny schemat zastępczy dla układu szeregowego pokazano na rysunku 7. Tangens kąta stratności dla tego układu wynosi:

$$\operatorname{tg} \delta = \omega R_s C_s \quad (2)$$



Rys.7 Szeregowy schemat zastępczy oraz jego wykres wskazowy

Dla cewki rzeczywistej schemat zastępczy będzie zależał od jej technologii. Dla układu z rysunku 6 (lewy) rezystancje r , R i R_L będą odpowiednio reprezentowały rezystancje doprowadzeń i uzwojenia, rezystancję określającą straty energii w pojemnościach międzyzwojowych oraz rezystancję określającą straty energii w indukcyjności (rdzeniu). Pojemność C reprezentuje pojemności międzyzwojowe oraz w stosunku do masy.



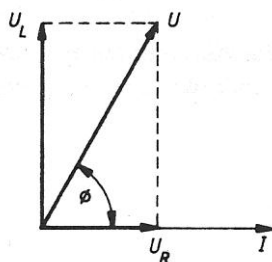
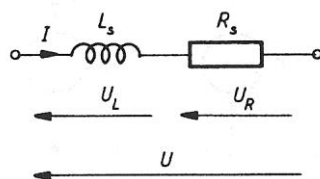
Rys. 8 Schemat zastępczy cewki rzeczywistej

Uproszczone schematy zastępcze cewki zamieszczono na rysunkach 9 (dla układu szeregowego) i 10 (dla układu równoległego). Współczynnik charakteryzujący straty określany jest za pomocą dobroci cewki Q , dla układu szeregowego wynosi:

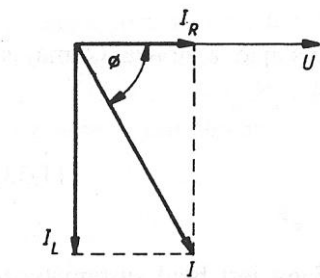
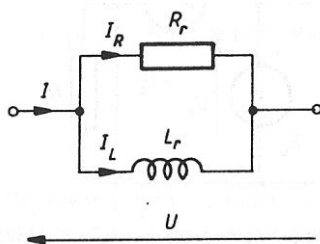
$$Q = \operatorname{tg} \phi = \frac{\omega L_s}{R_s} \quad (3)$$

Natomiast dla układu równoległego:

$$Q = \operatorname{tg} \phi = \frac{R_r}{\omega L_r} \quad (4)$$



Rys.9 Uproszczony szeregowy schemat zastępczy cewki i jej wykres wskazowy

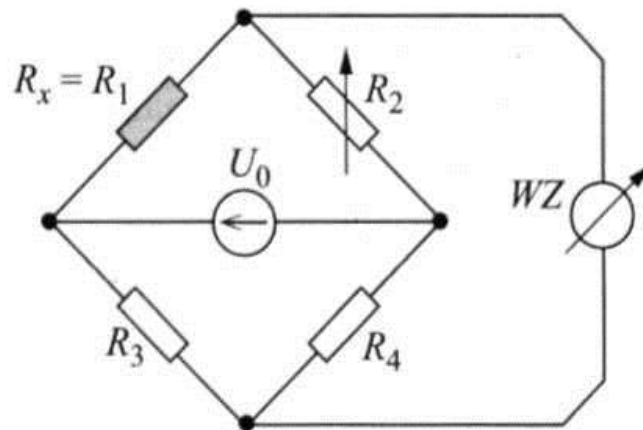


Rys.10 Uproszczony równoległy schemat zastępczy cewki i jej wykres wskazowy

POMIARY MOSTKOWE

Układy mostkowe prądu stałego

Mostek Wheatstone'a służy do pomiaru rezystancji w zakresie od kilku Ω do $M\Omega$, z dokładnością w granicach 0,01-0,05%. Na rysunku 7 rezystor R_x jest rezystorem badanym, wskaźnik WZ jest wskaźnikiem zera.



Rys.7 Schemat ideowy mostka Wheatstone'a

Warunek równowagi przyjmuje postać:

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4} \quad (5)$$

Zazwyczaj stosunek rezystancji R_3/R_4 jest ustawiany w sekwencji: 0,01...0,1...1... 10...100 i wówczas zmiana tego stosunku powoduje zmianę zakresu układu mostkowego.

Mierzona rezystancja jest określana na podstawie ustawienia wartości rezystora R_2 .

Niepewność względna określania rezystancji R_x zależy od niepewności określenia pozostałych rezystancji mostka:

$$u(R_x) = \sqrt{u^2(R_2) + u^2(R_3) + u^2(R_4)} \quad (6)$$

Jeśli układ pracuje jako zrównoważony mostek rezystancji, ważną rolę odgrywa błąd nieczułości (rozdzielczości) układu, czyli najmniejsza możliwa do wykrycia zmiana rezystancji ΔR .

Pomiar bardzo małych rezystancji możliwy jest przy zastosowaniu modyfikacji mostka Wheatstone'a zaproponowanej przez Thomsona. Mostek Thomsona

umożliwia pomiar rezystancji w zakresie $0,0001\Omega$ - $10\ \Omega$. Podłączenie badanego rezystora jest czteroprzewodowe.

Układy mostkowe prądu przemiennego

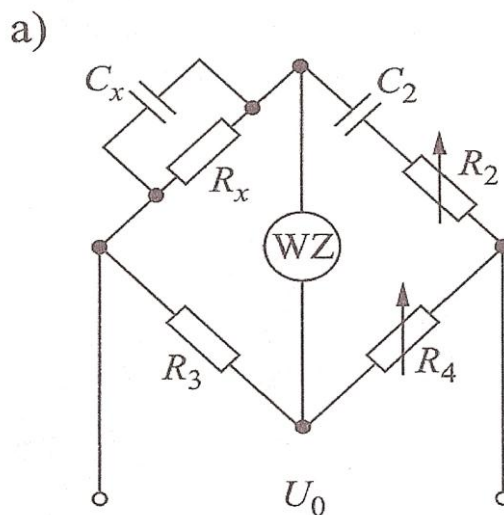
Doprowadzenie mostka prądu przemiennego do równowagi, wymaga zrównoważenia zarówno amplitudy, jak i fazy. Układ mostkowy prądu przemiennego równoważy się więc dwoma elementami i procedura równoważenia jest znacznie bardziej skomplikowana w porównaniu z mostkami prądu stałego - do równowagi zbliżamy się w sposób iteracyjny.

Ponadto w układach mostkowych prądu przemiennego konieczne jest uwzględnienie pojemności rozproszonych układu i sprzężeń pomiędzy elementami obwodu.

Warunek równowagi układu mostkowego można przedstawić w postaci:

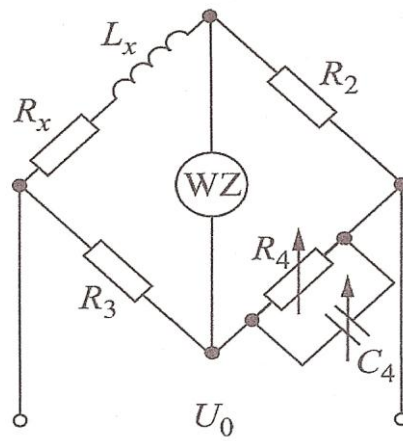
$$\begin{aligned} |Z_1||Z_4| &= |Z_2||Z_3| \\ \varphi_1 + \varphi_4 &= \varphi_2 + \varphi_3 \end{aligned} \quad (7)$$

Najbardziej rozpowszechnionymi mostkami są: mostek do pomiaru pojemności Wiena (rys.8a) i do pomiaru indukcyjności Maxwella-Wiena (rys.8b).



Rys. 8a Mostek Wiena

b)



Rys. 8b Mostek Maxwella-Wiena

Pomiary rezystancji i reaktancji metodą pośrednią

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

ZADANIE 1:

Pomiary parametrów schematu zastępczego rezystora

Wykonać kalibrację mostka MT 4080D przy rozwartych i zwartych gniazdach pomiarowych zgodnie z instrukcją przyrządu.

Wykonać pomiary parametrów rezystorów rzeczywistych dla schematu zastępczego zamieszczonego na rys.4 za pomocą mostka automatycznego RLC typu Motech MT 4080D. Pomiary należy przeprowadzić korzystając z sondy czteroprzewodowej z kablami koncentrycznymi .

Wyznaczyć niepewność pomiaru u_B modułu impedancji $|Z|$ metodą typu B (dla danych technicznych zamieszczonych w instrukcji).

Tabela 1. Wyniki pomiarów parametrów rezystorów dla częstotliwości $f=100$ Hz ,

Obiekt Badań	R_s dla DCR	L_s	$ Z $	ϕ	u_B
	Ω	mH	Ω	deg	Ω
Rezystor drutowy 1					
Rezystor drutowy 2					
Rezystor masowy					

Uwaga: pomiar rezystancji wykonać dla prądu stałego

Tabela 2. Wyniki pomiarów parametrów rezystorów dla częstotliwości $f=1000$ Hz

Obiekt Badań	R_s dla DCR	L_s	$ Z $	ϕ	u_B
	Ω	mH	Ω	deg	Ω
Rezystor drutowy 1					
Rezystor drutowy 2					
Rezystor masowy					

Uwaga: pomiar rezystancji wykonać dla prądu stałego,

ZADANIE 2:Pomiary parametrów schematu zastępczego cewki

Wykonać pomiary parametrów cewek dla schematu zastępczego zamieszczonego na rys.8 oraz schematu z rys.2 za pomocą mostka automatycznego RLC typu Motech MT 4080D

Tabela 3. Wyniki pomiarów parametrów cewek dla częstotliwości $f=100$ Hz dla schematu na rys.9

Obiekt Badań	R_s	L_s	Q	$ Z $
	Ω	mH		Ω
Cewka dławika				
Uzwojenie pierwotne transformatora				
Uzwojenie wtórne transformatora				
Cewka głośnika				

Tabela 4a. Wyniki pomiarów parametrów cewek dla częstotliwości $f=100$ Hz , dla schematu na rys.2

Obiekt Badań	R	L	C	Q	$ Z $
	Ω	mH	pF		Ω
Cewka dławika					
Uzwojenie pierwotne transformatora					
Uzwojenie wtórne transformatora					
Cewka głośnika					

Tabela 4b. Wyniki pomiarów parametrów cewek dla częstotliwości $f=1000\text{Hz}$, dla schematu na rys.2 .

Obiekt Badań	R	L	C	Q	$ Z $
	Ω	mH	pF		Ω
Cewka dławika					
Uzwojenie pierwotne transformatora					
Uzwojenie wtórne transformatora					
Cewka głośnika					

Tabela 5. Wyniki pomiarów parametrów cewek oraz obliczenia ich reaktancji dla różnych częstotliwości dla schematu z rys.9

Częstotliwość (Hz)	Cewka dławika			Uzwojenie pierwotne transformatora			Uzwojenie wtórne transformatora			Cewka głośnika		
	Q	L (mH)	X_L (Ω)	Q	L (mH)	X_L (Ω)	Q	L (mH)	X_L (Ω)	Q	L (mH)	X_L (Ω)
100												
120												
1000												
10000												

ZADANIE 3

Pomiary parametrów schematu zastępczego kondensatora

Wykonać pomiary parametrów kondensatorów dla schematu zastępczego zamieszczonego na rys.6 za pomocą mostka automatycznego RLC typu Motech MT 4080D .

Tabela 6. Wyniki pomiarów parametrów kondensatorów dla częstotliwości $f=100$ Hz dla schematu z rys.6 oraz wyniki obliczeń reaktancji X_C

Obiekt Badań	R_r	C_r	$tg\delta$	X_C
	Ω	mF		Ω
Kondensator styrofleksowy				
Kondensator papierowy				
Kondensator elektrolityczny				
Kondensator ceramiczny				

Wykonać pomiary $\tan \delta$ i pojemności kondensatorów dla różnych częstotliwości oraz obliczenia reaktancji kondensatorów.

Tabela 7. Wyniki pomiarów parametrów kondensatorów oraz wyniki obliczeń

Częstotliwość (Hz)	Kondensator styrofleksowy			Kondensator papierowy			Kondensator elektrolityczny			Kondensator ceramiczny		
	$tg\delta$	C (mF)	X_C (Ω)	$tg\delta$	C (mF)	X_C (Ω)	$tg\delta$	C (mF)	X_C (Ω)	$tg\delta$	C (mF)	X_C (Ω)
100												
120												
1000												
10000												

Wykonać pomiary pojemności kondensatorów różnymi przyrządami oraz wyznaczyć niepewność pomiarów typu B

Tabela 8. Wyniki pomiarów parametrów wykonane różnymi przyrządami

Obiekt badań	APPA		METEX		Rigol		Motech	
	C_r (mF)	u_B (mF)	C_r (mF)	u_B (mF)	C_r (mF)	u_B (mF)	C_r (mF)	u_B (mF)
Kondensator styroflexowy								
Kondensator papierowy								
Kondensator elektrolityczny								
Kondensator ceramiczny								

UWAGI KOŃCOWE

Wersja instrukcji 2.0

LITERATURA I MATERIAŁY DODATKOWE

1. Rydzewski J.: Pomiary oscyloskopowe, WNT, Warszawa 1994
2. Stabrowski M.: Miernictwo Elektroniczne, Cyfrowa Technika Pomiarowa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999
3. Dusza J., Gortat G., Leśniewski A.: Podstawy miernictwa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998
4. Tumański S.: Technika pomiarowa, WNT, Warszawa 2007

POLITECHNIKA ŁÓDZKA

KATEDRA PRZYRZĄDÓW PÓŁPRZEWODNIKOWYCH I OPTOELEKTRONICZNYCH

WWW.DSOD.PL

LABORATORIUM METROLOGII ELEKTRONICZNEJ

ĆWICZENIE NR:	
TEMAT:	

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

Prowadzący:	
Dzień tygodnia: Data wykonania ćwiczenia:	
Data oddania sprawozdania:	
Ocena:	
Uwagi:	