



AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

JEDNOSTKA ORGANIZACYJNA:
ZAKŁAD KOMUNIKACYJNYCH TECHNOLOGII MORSKICH

INSTRUKCJA

ELEKTROTECHNIKA I ELEKTRONIKA
Laboratorium
Ćwiczenie nr 1: Wybrane przyrządy laboratoryjne

Opracował:	dr inż. Marcin Mąka, dr inż. Piotr Majzner
Zatwierdził:	dr inż. Piotr Majzner
Obowiązuje od: 24. IX 2012	

Spis treści

1.1. Cel i zakres ćwiczenia

1.2. Opis stanowiska laboratoryjnego

1.3. Przebieg ćwiczenia

1.4. Warunki zaliczenia

1.5. Część teoretyczna

1.6. Literatura

1.7. Efekty kształcenia

1. WYBRANE PRZYRZĄDY LABORATORYJNE

1.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest opanowanie wiedzy z zakresu podstawowych pojęć elektroniki oraz opanowanie umiejętności pomiarów podstawowych wielkości elektrycznych i elektronicznych.

Zagadnienia

1. Podstawowe wielkości i elementy elektryczne.
2. Sygnały elektryczne.
3. Podstawowe prawa teorii obwodów elektrycznych.
4. Zasady wykonywania pomiarów.
5. Zastosowanie podstawowych urządzeń pomiarowych – multimetrów i oscyloskopów.

Pytania kontrolne

1. Co nazywamy sygnałem elektrycznym ?
2. Podaj klasyfikacje sygnałów elektrycznych.
3. Jakie sygnały nazywamy sygnałami analogowymi ?
4. Jakie sygnały nazywamy sygnałami cyfrowymi ?
5. Jakie sygnały nazywamy sygnałami binarnymi ?
6. Jakie sygnały nazywamy sygnałami impulsowymi ?
7. Podaj przykłady sygnałów impulsowych, prostokątnych, trójkątnych, piłokształtnych.
8. Narysuj i scharakteryzuj przebieg sinusoidalny.
9. Narysuj i scharakteryzuj przebieg impulsowy.
10. Podaj definicję wartości skutecznej napięcia (prądu elektrycznego).
11. Podaj definicję wartości średniej napięcia (prądu elektrycznego).
12. Podaj definicję wartości średniej wyprostowanej (półokresowej) napięcia (prądu elektrycznego).
13. Co to jest współczynnik kształtu ? Ile wynosi dla przebiegu sinusoidalnego ?
14. Co to jest składowa stała przebiegu elektrycznego , a co to jest składowa zmienna przebiegu ?
15. Wymień podstawowe jednostki układu SI ?
16. Wymień przedrostki układu SI ich oznaczenia i mnożniki.
17. Wymień symbole i jednostki: ładunku elektrycznego, napięcia elektrycznego, prądu elektrycznego pojemności, rezystancji, indukcyjności, mocy, energii, częstotliwości czasu.
18. Podaj wzór na wzmocnienie napięciowe (wzmocnienie mocy) wyrażone w dB.
19. Podaj zależność między długością fali elektromagnetycznej a jej częstotliwością.
20. Podaj prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej (światła).
21. Narysuj symbole graficzne podstawowych elementów elektronicznych.
22. Podaj treść prawa Ohma.
23. Podaj wzory na chwilową wartość napięcia i prądu na rezystorze, indukcyjności, pojemności.
24. Podaj treść i wzory opisujące prawa Kirchhoffa.
25. Podaj wzór na rezystancje zastępczą rezystorów połączonych szeregowo.
26. Podaj wzór na rezystancje zastępczą rezystorów połączonych równolegle.
27. Podaj wzór na pojemność zastępczą kondensatorów połączonych szeregowo.
28. Podaj wzór na pojemność zastępczą kondensatorów połączonych równolegle.
29. Podać jak należy podłączyć woltomierz i amperomierz aby zmierzyć małą rezystancję a jak aby zmierzyć dużą rezystancję.
30. Jakie rezystancje wewnętrzne powinny mieć idealny amperomierz i idealny woltomierz oraz jak podłączyć je do obwodu ?

1.2. Opis stanowiska laboratoryjnego

Zestaw urządzeń wykorzystywanych w ćwiczeniu obejmuje :

- zasilacz stabilizowany
- mulimetr cyfrowy,
- oscyloskop analogowy,
- oscyloskop cyfrowy,
- generator funkcyjny,

1.3. Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenie ma charakter demonstracyjny. Należy samodzielnie sporządzić notatki na temat przyrządów laboratoryjnych oraz sposobu ich obsługi.

1.4. Warunki zaliczenia ćwiczenia

Warunkiem zaliczenia jest:

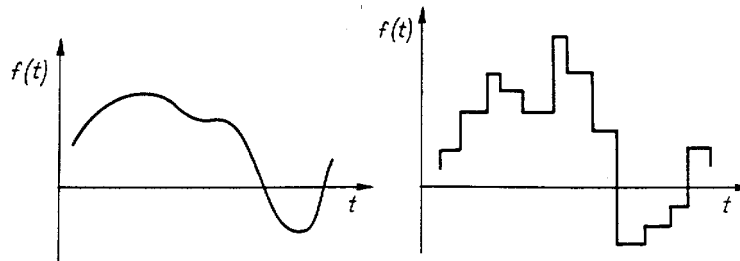
- napisanie z wynikiem pozytywnym krótkiego sprawdzianu na początku zajęć;
- wykonanie ćwiczenia;
- sporządzenie sprawozdania według instrukcji zawartej poniżej;
- obrona sprawozdania na następnych zajęciach;
- potwierdzenie opanowania zakresu ćwiczenia na ostatnich zajęciach zaliczeniowych;

W sprawozdaniu należy opisać przebieg ćwiczenia, opisać przyrządy przedstawione przez prowadzących. W szczególności należy:

- wyjaśnić, po co stosowane są zasilacze;
- wyjaśnić znaczenie stabilizacji napięciowej i stabilizacji prądowej;
- opisać sposób wykonywania pomiarów za pomocą miernika cyfrowego;
- wymienić wielkości elektryczne mierzone za pomocą miernika cyfrowego;
- opisać sposób wykonywania pomiarów za pomocą miernika analogowego znając zakres i wartość wychYLENIA wskazówki;
- opisać przeznaczenie generatorów laboratoryjnych;
- wymienić jakie wielkości można ustawiać na generatorze;
- opisać przeznaczenie oscyloskopu, wymienić typy oscyloskopów;
- opisać sposób wykonywania pomiarów za pomocą oscyloskopu;
- opisać sposób wykonywania pomiarów składowej stałej i składowej zmiennej przebiegu;
- opisać podstawowe elementy regulacyjne oscyloskopu.

1.5.1. Pojęcie sygnałów elektrycznych

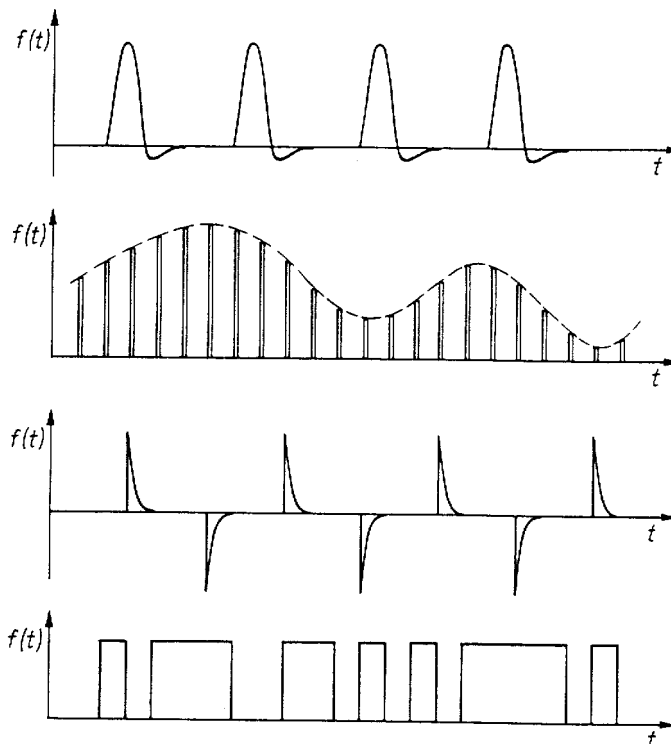
Sygnałem elektrycznym nazywamy przebieg czasowy napięcia lub natężenia prądu elektrycznego wykorzystany do przekazania informacji, np. dźwięku, obrazu, danych, bodźców sterujących itp. W podstawowej klasyfikacji rozróżnia się sygnały *analogowe (ciągłe)* i *cyfrowe (dyskretne)* (rys. 1.1.).



Rys. 1.1. Przykład sygnału ciągłego i dyskretnego

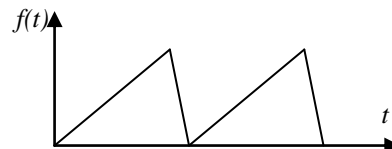
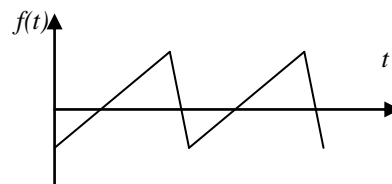
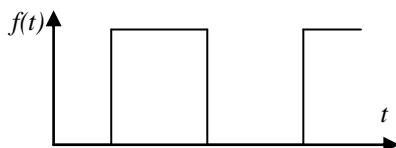
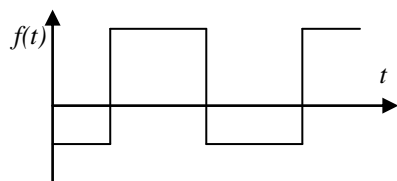
Sygnały analogowe mogą przyjmować nieskończenie wiele wartości dowolnie mało różniących się od siebie, innymi słowy, zbiór wartości sygnału analogowego jest nieprzeliczalny. *Sygnały cyfrowe* przyjmują tylko skończoną liczbę wartości, a więc ich wartości należą do zbioru przeliczalnego. Sygnały analogowe mogą się zmieniać w dowolnej chwili, natomiast sygnały cyfrowe tylko w pewnych punktach czasowych. Szczególnymi rodzajami tych sygnałów są sygnały *harmoniczne (analogowe)* nazywane ogólnie *sygnałami sinusoidalnymi* oraz sygnały *dwuwartościowe (cyfrowe)* nazywane w skrócie *sygnałami binarnymi*.

Ważne znaczenie w technice mają również sygnały nazywane ogólnie impulsowymi. *Sygnałem impulsowym* jest sygnał o dużej amplitudzie trwający bardzo krótko. W praktyce określenie impuls odnosi się najczęściej do przebiegów, których czas trwania jest znacznie krótszy niż okres powtarzania (rys. 1.2).



Rys. 1.2. Przykłady sygnałów impulsowych

Impulsy mogą być dodatnie lub ujemne, pojedyncze lub grupowe, powtarzane okresowo lub nieokresowe itd. Wiele wspólnych cech z sygnałami impulsowymi mają *sygnały okresowe prostokątne* (rys.1.3) i *piłokształtne* (rys.1.4).



Rys. 1.3. Przykłady sygnałów prostokątnych

Rys. 1.4. Przykłady sygnałów piłokształtnych

1.5.2. Parametry stosowane w opisie sygnałów elektrycznych

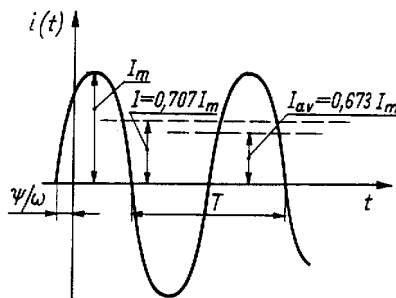
Na rysunku 1.5. przedstawiono przebieg sinusoidalny natężenia prądu elektrycznego. *Wartość chwilową* tego sygnału (prądu sinusoidalnego) $i(t)$ określa następująca zależność:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi)$$

w której:

- I_m – wartość maksymalna (*amplituda*) prądu;
- ψ – faza początkowa prądu w chwili $t = 0$;
- $\omega t + \psi$ – faza prądu w chwili t ;
- $\omega = 2\pi f$ – pulsacja (częstotliwość kątowna);
- $f = 1/T$ – częstotliwość, będąca odwrotnością okresu T .

W czasie jednego okresu T faza prądu zmienia się o 2π , tzn. $\omega = 2\pi$.



Rys. 1.5. Interpretacja graficzna parametrów sygnału sinusoidalnego

Wartość skuteczną (effective) sygnału okresowego (prądu) o okresie T wyraża zależność:

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

Odpowiada ona wartości prądu stałego, który przepływając przez rezystor o stałej (niezmiennej) wartości rezystancji, spowoduje wydzielenie w nim takiej samej ilości energii (w postaci ciepła), co prąd sinusoidalny płynący w tym samym czasie. W przypadku prądu sinusoidalnego wartość skuteczna natężenia prądu jest równa jego amplitudzie podzielonej przez $\sqrt{2}$, czyli

$$I_{ef} = I_m / \sqrt{2} \approx 0,707 I_m$$

Wartość średnią (average) sygnału okresowego (prądu) o okresie T wyraża zależność:

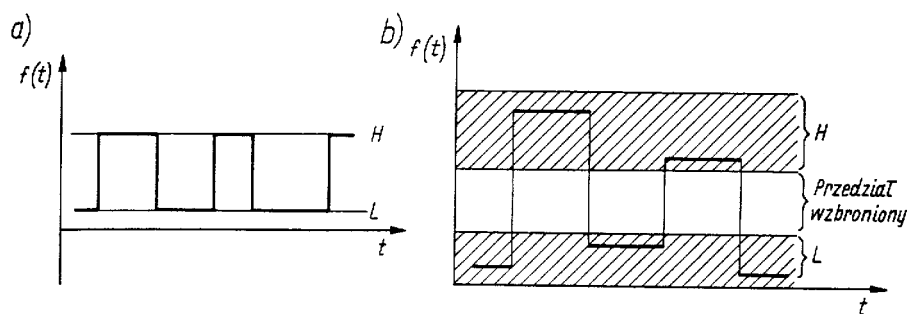
$$I_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt$$

Odpowiada ona wartości prądu stałego, który płynąc przez dany przekrój poprzeczny przewodnika przeniósłby w tym samym czasie taki sam ładunek, jak prąd zmienny. Ponieważ w przypadku prądu sinusoidalnego wartość średnia za cały okres, czyli tzw. wartość całookresowa, jest równa zeru, dlatego zwykle w celu określenia wartości średniej prądu sinusoidalnego przyjmuje się czas równy połowie okresu $T/2$, wówczas

$$I_{av} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i(t) dt = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0,637 I_m$$

Poraz wartości skutecznej i średniej (prądu) określa tzw. *współczynnik kształtu krzywej* $k = I_{ef} / I_{av}$, który dla przebiegów sinusoidalnych jest równy $k = \pi / 2 \sqrt{2} \approx 1,11$.

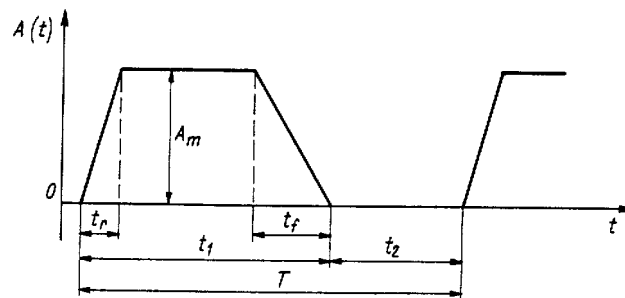
Sygnal binarny (rys. 1.6.a) charakteryzuje się tym, że przyjmuje tylko dwie różne wartości oznaczane zwykle symbolami L, H (Low – niski, High – wysoki) lub 0,1. Cyfry 0, 1 nazywa się *bitami* (*Binary digit*). Wartości napięć i prądów odpowiadające tym dwu wartościom dwójkowym (0, 1) nie muszą być ustalane z bezwzględną dokładnością. Wystarczy, że zawierają się w pewnych dość szerokich przedziałach poziomów L, H, rozdzielonych przedziałem wartości wzbronionych (rys. 1.6.b).



Rys. 1.6. Interpretacja graficzna parametrów sygnału binarnego

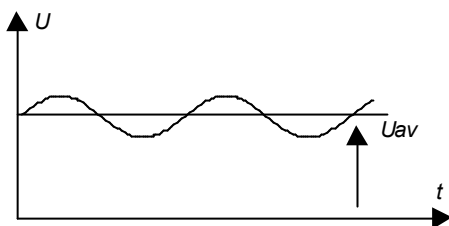
Sygnal binarny przedstawiony w funkcji czasu ma postać ciągu impulsów (zerojedynkowych). Reprezentuje on określoną informację wyrażoną w odpowiednim kodzie, np. dwójkowym naturalnym, dwójkowodziesiątnym (BCD) itp. Uporządkowany zbiór kolejno po sobie następujących bitów stanowi *słowo kodowe*. Charakterystyczną cechą każdego kodu jest *długość słowa kodowego*, wyrażająca się liczbą występujących w nim bitów. Do określania długości słowa jest stosowana jednostka zwana *bajtem* (*byte*), składająca się z umownej liczby bitów; zazwyczaj 1 bajt odpowiada 8 bitom. W zależności od tego, czy poszczególne bity słowa kodowego są przekazywane kolejno (szeregowo), czy jednocześnie (równoległe), rozróżnia się sygnały binarne szeregowo i równoległe.

Podstawowymi parametrami sygnału impulsowego są wartość maksymalna (amplituda) A_m oraz czasy narastania t_r , opadania t_f , trwania t_1 , odstępu t_2 , a także okres powtarzania $T = t_1 + t_2$. Interpretację graficzną tych parametrów podano na rysunku 1.7. Iloraz Czasu trwania (szerokości impulsu) t_1 i okresu powtarzania T określa tzw. współczynnik wypełnienia impulsu (tj. $k_w = t_1/T$).

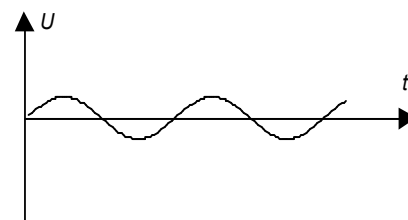


Rys. 1.7. Interpretacja graficzna parametrów sygnału impulsowego

W elektronice często pojawia się określenie składowej stałej sygnału i składowej zmiennej sygnału. W wielu przypadkach trudno mówić o napięciu stałym, jeżeli napięci to waha się w pewnych nieznaczących przedziałach w stosunku do całego napięcia. Składową stałą przebiegu elektrycznego (napięcia elektrycznego, prądu elektrycznego) nazywamy wartość średnią tego przebiegu (rys 1.8). Składową zmienną przebiegu nazywamy różnicę pomiędzy przebiegiem a jego składową stałą (rys 1.9). Inaczej mówiąc składową stałą jest ten fragment przebiegu który się nie zmienia, a składową zmienną tylko ta jego część która się zmienia.



Rys. 1.8 Ilustracja przebiegu ze składową stałą i zmienną



Rys. 1.9 Przebieg tylko ze składową zmienną

1.5.3. Wielkości fizyczne i ich jednostki miar stosowane najczęściej w elektronice

Jednostka miary jest to umownie przyjęta wartość danej wielkości fizycznej, która służy do porównywania ze sobą innych wartości tej samej wielkości. Zbiór jednostek wielkości mierzalnych nosi nazwę **układu jednostek miar**. Obecnie obowiązuje Międzynarodowy Układ Jednostek Miar (Système International d'Unités), w skrócie nazywany układem **SI**. Układ ten zawiera 7 jednostek podstawowych i 2 jednostki uzupełniające (tab. 1.1), jednostki pochodne spójne z jednostkami podstawowymi i uzupełniającymi oraz przedrostki służące do tworzenia jednostek wielokrotnych i podwielokrotnych (tab. 1.2).

Tabela 1.1. Jednostki miar podstawowe i uzupełniające układu SI

Wielkość	Jednostka		
	nazwa	oznaczenie	
Długość	metr	m	podstawowe
Masa	kilogram	kg	
Czas	sekunda	s	
Natężenie prądu elektrycznego	amper	A	
Temperatura (termodynamiczna)	kelwin	K	
Światłość	kandela	cd	
Liczność (ilość) materii	mol	mol	
Kąt płaski	radian	rad	uzupełniające
Kąt bryłowy	steradian	sr	

Tabela 1.2. Przedrostki i oznaczenia do tworzenia jednostek miar wielokrotnych i podwielokrotnych układu SI

Przedrostek	Oznaczenie	Mnożnik
Eksa	E	1 000 000 000 000 000 000 = 10^{18}
Peta	P	1 000 000 000 000 000 = 10^{15}
Tera	T	1 000 000 000 000 = 10^{12}
Giga	G	1 000 000 000 = 10^9
Mega	M	1 000 000 = 10^6
Kilo	k	1 000 = 10^3
Hekto	h	100 = 10^2
Deka	da	10 = 10^1
Decy	d	$10^{-1} = 0,1$
Centy	c	$10^{-2} = 0,01$
Mili	m	$10^{-3} = 0,001$
Mikro	μ	$10^{-6} = 0,000\ 001$
Nano	n	$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$
Piko	p	$10^{-12} = 0,000\ 000\ 000\ 001$
Femto	f	$10^{-15} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 001$
Atto	a	$10^{-18} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$

Podstawową zaletą układu SI jest to, że każdą z jednostek pochodnych można wyrazić za pomocą iloczynu potęg jednostek podstawowych i uzupełniających, przy czym współczynnik liczbowy w tym wyrażeniu jest równy 1.

Przykłady:

$$0,025 \text{ [A]} = 25 \text{ [mA]}$$

$$0,000000007 \text{ [F]} = 7 \text{ [nF]}$$

$$36000000 \text{ [Hz]} = 36 \text{ [MHz]}$$

Niektóre jednostki pochodne układu SI mają swoje własne nazwy, np. jednostka ładunku – kulomb [C] itp. W tabeli 1.3. zestawiono jednostki wielkości elektrycznych i magnetycznych układu SI najczęściej stosowane w elektronice.

Tabela 1.3. Jednostki miar wybranych wielkości elektrycznych i magnetycznych układu SI

Wielkość	Jednostka		Zależności między jednostkami
	nazwa	oznaczenie	
Ładunek elektryczny	kulomb	C	1C = 1A·s (1A·h = 3600 C)
Napięcie elektryczne	wolt	V	1V = 1W/A
Pojemność elektryczna	farad	F	1F = 1C/V
Rezystancja	om	Ω	1Ω = 1V/A
Konduktancja	simens	S	1S = 1/Ω
Indukcyjność	henr	H	1H = 1V·s/A
Indukcja magnetyczna	tesla	T	1T = 1Wb/m ²
Strumień magnetyczny	weber	Wb	(1Gs = 10 ⁻⁴ T)
Przenikalność elektryczna	farad na metr	F/m	
Przenikalność magnetyczna	henr na metr	H/m	
Moc	wat	W	1W = 1V·A
Energia, praca, ciepło	dżul	J	1J = W·s
Częstotliwość	herc	Hz	1Hz = 1/s

Często wzmocnienie napięciowe lub wzmocnienie mocy pewnego układu elektronicznego wyraża się za pomocą jednostki zwanej decybelem. Wzmocnienie napięciowe oraz wzmocnienie mocy liczy się ze według wzoru:

$$k_p = 10 \log_{10} \left[\frac{P_{wy}}{P_{we}} \right] \quad [dB]$$

$$k_u = 20 \log_{10} \left[\frac{U_{wy}}{U_{we}} \right] \quad [dB]$$

gdzie P_{we} i U_{we} są mocą i napięciem wejściowym, P_{wy} i U_{wy} mocą i napięciem wyjściowym a k_p i k_u wzmocnieniem mocy, wzmocnieniem napięcia wyrażonym w dB.

Uzupełnieniem układu jednostek jest tab. 1.4., w której zestawiono najważniejsze stałe fizyczne.

Tabela 1.4. Wybrane stałe fizyczne

Wielkość	Oznaczenie	Wartość	Jednostka
Ładunek elementarny	e	$-1,6022 \cdot 10^{-19}$	C
Masa spoczynkowa elektronu	m_e	$9,1091 \cdot 10^{-31}$	kg
Masa spoczynkowa protonu	m_p	$1,6725 \cdot 10^{-27}$	kg
Masa spoczynkowa neutronu	m_n	$1,6748 \cdot 10^{-27}$	kg
Stała Plancka	h	$6,6262 \cdot 10^{-34}$	J·s
Stała Boltzmanna	k	$1,3807 \cdot 10^{-23}$	J/K
Prędkość światła w próżni	c_0	$2,9979 \cdot 10^{+8}$	m/s
Przenikalność magnetyczna próżni	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	H/m
Przenikalność elektryczna próżni	ϵ_0	$8,8541 \cdot 10^{-12}$	F/m

W radiokomunikacji często operuje się pojęciem fali elektromagnetycznej. Najczęściej stosowane parametry fali elektromagnetycznej to częstotliwość f wyrażana w hercach i długość fali λ wyrażana w metrach. Zależność między nimi wyraża wzór:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \quad [m]$$

gdzie c jest prędkością rozchodzenia się fali elektromagnetycznej wynoszącą w przybliżeniu $c \approx 3 \cdot 10^{+8}$ m/s, a T okresem fali równym:

$$T = \frac{1}{f} \quad [s]$$

Można przyjąć, że prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w powietrzu jest taka sama jak w próżni i wynosi tyle samo co prędkość światła.

W tabeli 1.5 przedstawiono symbole graficzne niektórych częściej stosowanych elementów elektronicznych.

Tabela 1.5 Symbole graficzne niektórych częściej stosowanych elementów elektronicznych

Nazwa	Symbol
Rezystor (stały)	
Rezystor zmienny	
Potencjometr	
Kondensator (stały)	
Kondensator zmienny	
Trymer	
Kondensator elektrolityczny	
Indukcyjność (stała)	
Indukcyjność zmienna	
Induktor z rdzeniem magnetycznym	
Transformator	
Bezpiecznik (topikowy)	
Łącznik	
Ogniwo elektryczne (elektrochemiczne)	
Przewód	
Dioda	
Dioda stabilizacyjna (dioda Zenera)	
Dioda pojemnościowa	
Dioda tunelowa	
Dioda Schottky'ego	
Dioda elektroluminescencyjna	
Fotodioda	
Tranzystor (bipolarny) PNP	
Tranzystor (bipolarny) NPN	
Tranzystor polowy złączowy z kanałem N	
Tranzystor polowy złączowy z kanałem P	
Tyristor (triodowy)	

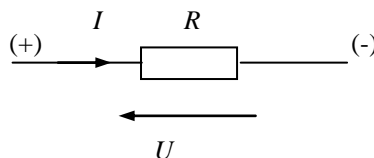
1.5.4. Zagadnienia wchodzące w skład teorii obwodów

Teoria obwodów jest dyscypliną naukową zajmującą się badaniem (analizą i syntezą) obwodów elektrycznych. **Obwód elektryczny** jest to, w znaczeniu ogólnym, pewna struktura zamknięta, utworzona przez odpowiednio połączone elementy elektryczne, w której jest możliwy przepływ prądu elektrycznego. **Element** w takim obwodzie jest rozpatrywany jako swego rodzaju „cegiełka” (część niepodzielna), będąca modelem pewnego zjawiska lub cech fizycznych związanych z obwodem elektrycznym. Ważnym zagadnieniem dla analizy obwodów jest także modelowanie elementów wchodzących w skład obwodów elektrycznych.

W teorii obwodów w szerokim zakresie korzysta się z matematyki – zwłaszcza z analizy matematycznej, algebry macierzy, algebry liczb zespolonych, szeregów Fouriera, równań różniczkowych i całkowych, przekształceń całkowych (Laplace’a, Fouriera), metod numerycznych itp. Warunkiem właściwego zrozumienia funkcjonowania obwodów elektrycznych jest także znajomość zagadnień z rozmaitych działów fizyki, takich jak: elektrostatyka i magnetostatyka, prądu elektrycznego, elektromagnetyzmu, budowy materii. Nieustanny rozwój mikroelektroniki, techniki cyfrowej i analogowej oraz wielu pokrewnych dziedzin nauki i techniki rodzi ciągle nowe potrzeby co powoduje, że problematyka teorii obwodów stale rozwija się.

1.4.5. Podstawowe prawa rządzące zjawiskami zachodzącymi w obwodach elektrycznych

Prawo Ohma zostało sformułowane w 1826 r. przez G.S. Ohma dla obwodu prądu stałego.



Rys. 1.10. Ilustracja równania rezystancji

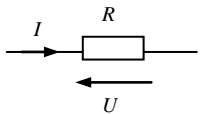
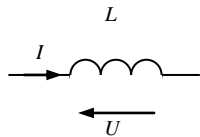
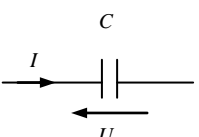
Prawo Ohma głosi, że: napięcie elektryczne U na końcach odcinka przewodnika jest proporcjonalne do natężenia prądu elektrycznego I płynącego przez ten odcinek (rys. 1.10.), czyli

$$U = RI \quad [\text{V}]$$

gdzie R jest współczynnikiem proporcjonalności, zwanym rezystancją (lub oporem elektrycznym czynnym).

Prawo Ohma odnosi się do gałęzi obwodu elektrycznego nie zawierającej źródeł energii (dla gałęzi obwodu elektrycznego zawierającej źródła energii obowiązuje prawo Kirchhoffa). W obwodach prądu zmiennego napięcie i prąd w danym elemencie są powiązane za pomocą zależności różniczkowo-całkowych, będących uogólnioną postacią prawa Ohma (tab. 1.6.)

Tabela 1.6. Uogólnione prawo Ohma

Rodzaj Elementu	Rezystancja	Indukcyjność	Pojemność
			
Postać Prawa Ohma dla wartości chwilowych	$u(t) = R \cdot i(t)$ $i(t) = \frac{u(t)}{R}$	$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$ $i(t) = \frac{1}{L} \int u(t) dt$	$u(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt$ $i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$

Prawa Kirchhoffa (sformułowane w 1847 r. przez G. R. Kirchhoffa) wyrażają zasady rozplywu prądów i rozkładu napięć w obwodach elektrycznych. **Pierwsze prawo Kirchhoffa**, dotyczące bilansu prądów w węźle obwodu elektrycznego, określa zależność

$$\sum_k I_k = 0$$

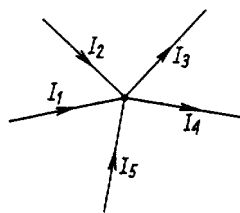
oznaczająca, że suma algebraiczna natężeń prądów w węźle obwodu elektrycznego jest równa zero. Dla węzła przedstawionego na rys. 1.11., przy założeniu, że prądy wpływające do węzła są dodatnie, zaś prądy wypływające z węzła są ujemne (lub odwrotnie, co jest sprawą umowy), pierwsze prawo Kirchhoffa można zapisać w postaci równania

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

które z kolei można przepisać w postaci

$$I_1 + I_2 + I_5 = I_3 + I_4$$

Wyrażającej następującą treść: suma prądów wpływających do węzła obwodu elektrycznego jest równa sumie prądów wypływających z tego węzła.



Rys. 1.11. Wyodrębniony węzeł obwodu elektrycznego ilustrujący pierwsze prawo Kirchhoffa

Drugie prawo Kirchhoffa dotyczące bilansu napięć w oczku obwodu elektrycznego określa zależność:

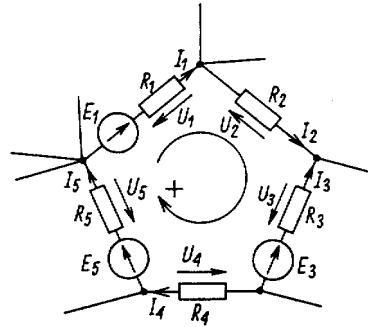
$$\sum_k E_k - \sum_k U_k = 0$$

oznaczająca, że suma algebraiczna wszystkich napięć (źródłowych E_k i odbiornikowych U_k) w oczku obwodu elektrycznego jest równa zero.

Dla oczka przedstawionego na rys. 1.12 przy założonym dodatnim zwrocie kierunku przepływu prądu w oczku (za dodatni przyjęto zwrot napięć zgodny z kierunkiem obchodzenia oczka, tj. kierunkiem ruchu wskazówek zegara), otrzymuje się:

$$(E_1 - E_3 + E_5) - (U_1 + U_2 - U_3 + U_4 + U_5) = 0$$

w którym U_1, U_2, U_3, \dots są to spadki napięć odpowiednio $R_1 I_1, R_2 I_2, R_3 I_3, \dots$ wywołane prądami gałęziowymi o przyjętych umownie dodatnich zwrotach natężenia prądu.



Rys. 1.12. Wyodrębnione oczko obwodu elektrycznego ilustrujący drugie prawo Kirchhoffa

Przy dowolnym charakterze zmienności napięć i prądów, prawa Kirchhoffa odnoszą się do wartości chwilowych tych wielkości. Prawa te są słuszne niezależnie od rodzaju łączonych elementów, pod warunkiem jednak, że są to elementy skupione, czyli charakteryzują się tym, że wszystkie wielkości je opisujące są tylko funkcjami czasu i nie zależą od zmiennych przestrzennych. Prawa Kirchhoffa stosuje się do wyznaczania napięć i natężeń prądów w rozgałęzionych obwodach elektrycznych przy znanych wartościach ich elementów (np. E, R).

Korzystając z podstawowych praw obwodów elektrycznych, można dokonywać przekształcania obwodów rozgałęzionych. Na przykład obwód zawierający rezystory połączone szeregowo $R_1 \dots R_n$ można uprościć, zastępując je jednym rezystorem R , którego rezystancja jest równa sumie rezystancji poszczególnych rezystorów, czyli

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k$$

Podobnie obwód złożony z rezystorów połączonych równolegle $R_1 \dots R_n$ można zastąpić obwodem zawierającym jeden rezystor R , którego rezystancję określa zależność:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

Nieco inaczej kształtuje się wypadkowa pojemność kondensatorów. Obwód zawierający kondensatory połączone szeregowo $C_1 \dots C_n$ można uprościć, zastępując je jednym kondensatorem C , którego pojemność określa wzór:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k}$$

Obwód złożony z kondensatorów połączonych równolegle $C_1 \dots C_n$ można zastąpić obwodem zawierającym jeden kondensator C , którego pojemność jest równa sumie pojemności poszczególnych kondensatorów:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = \sum_{k=1}^n C_k$$

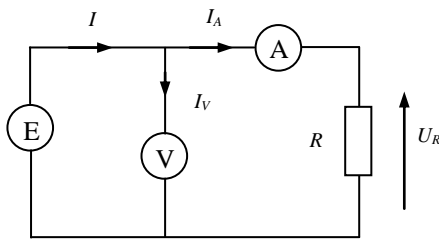
W elektronice często należy wykonać pomiary wielkości elektrycznych. Podstawowymi przyrządami pomiarowymi są woltomierz - mierzący napięcie elektryczne i amperomierz - mierzący natężenie prądu elektrycznego. Woltomierz należy podłączyć **zawsze** równoległe do badanego obwodu, a amperomierz **zawsze** szeregowo w badany obwód.

Idealny woltomierz aby nie zakłócał pracy badanego fragmentu obwodu powinien mieć rezystancję nieskończenie dużą $R_V \rightarrow \infty$. Natomiast idealny amperomierz powinien mieć rezystancję zbliżoną do 0, $R_A \rightarrow 0$. W praktyce każdy woltomierz posiada pewną rezystancję na ogół dość dużą, jednak przy badaniu niektórych obwodów należy uwzględnić poprawkę zmierzonego napięcia. Podobnie amperomierz włączony szeregowo do obwodu posiadając pewną dość małą ale jednak niezerową rezystancję, która potrafi zafałszować wynik mierzonego natężenia prądu.

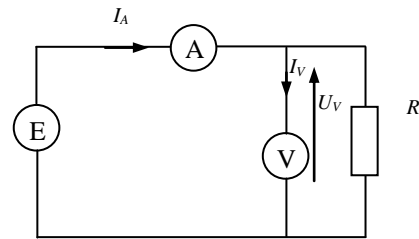
Nieidealne właściwości woltomierza i amperomierza należy uwzględnić przy pomiarze rezystancji. Zgodnie z prawem Ohma, gdy U jest napięciem zmierzonym przez woltomierz a I natężeniem prądu zmierzonym przez amperomierz zmierzona rezystancja wynosi:

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega]$$

Sposób podłączenia woltomierza i amperomierza nie jest obojętny na wielkość zmierzonej rezystancji. Jeżeli mierzona rezystancja jest dość duża (np. porównywalna z rezystancją wewnętrzną woltomierza) należy podłączyć układ do badania rezystancji tak jak na rys. 1.13, natomiast gdy mierzona rezystancja jest dość mała (porównywalna z rezystancją wewnętrzną amperomierza) należy podłączyć układ jak na rys. 1.14



Rys. 1.13 Układ do mierzenia rezystancji dużej



Rys. 1.14 Układ do mierzenia rezystancji małej

Dla układu do mierzenia rezystancji dużej zakładając, że I_A jest prądem zmierzonym przez amperomierz i płynącym przez amperomierz, R_A rezystancją wewnętrzną amperomierza, U_V napięciem zmierzonym przez woltomierz, U_R spadkiem napięcia na badanym rezystorze R , możemy zapisać na podstawie prawa Ohma:

$$R = \frac{U_R}{I_A}$$

Z drugiego prawa Kirchhoffa otrzymujemy:

$$U_V = I_A \cdot R_A + I_A \cdot R = I_A \cdot R_A + U_R$$

Po prostych przekształceniach otrzymujemy wzór na mierzoną rezystancję:

$$R = \frac{U_V - I_A \cdot R_A}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} - R_A$$

Zakładając, że rezystancja amperomierza R_A jest znacznie mniejsza niż mierzona rezystancja R , czyli że $R_A \rightarrow 0$ otrzymujemy:

$$R \approx \frac{U_V}{I_A}$$

Ponieważ w układzie pomiaru rezystancji dużej amperomierz mierzy tylko natężenie prądu płynącego przez mierzoną rezystancję a woltomierz mierzy napięcie będące sumą spadku napięcia na rezystorze R i spadku napięcia na niezerowej rezystancji amperomierza R_A , układ taki nazywa się *układem poprawnego pomiaru prądu*.

Dla układu do mierzenia rezystancji małej zakładając, że I_A jest prądem zmierzonym przez amperomierz i płynącym przez amperomierz, U_V napięciem zmierzonym przez woltomierz, R_V rezystancją wewnętrzną woltomierza, I_R prądem płynącym przez badany rezystor R , możemy zapisać na podstawie prawa Ohma:

$$R = \frac{U_V}{I_R}$$

Prąd zmierzony przez amperomierz I_A jest równy sumie prądu płynącego przez woltomierz I_V oraz prądu płynącego przez mierzoną rezystancję I_R . Z pierwszego prawa Kirchoffa otrzymujemy:

$$I_A = I_R + I_V$$

prąd I_V płynący przez woltomierz jest równy:

$$I_V = \frac{U_V}{R_V}$$

Po prostych przekształceniach otrzymujemy wzór na rezystancję mierzoną:

$$R = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}}$$

Zakładając, że rezystancja wewnętrzna woltomierza R_V jest znacznie większa niż mierzona rezystancja R , czyli że $R_A \rightarrow \infty$ otrzymujemy:

$$R \approx \frac{U_V}{I_A}$$

Ponieważ w układzie pomiaru rezystancji małej woltomierz mierzy spadek napięcia tylko na mierzonej rezystancji R a amperomierz mierzy natężenie prądu będące sumą prądu płynącego przez mierzoną rezystancję i skończoną rezystancję wewnętrzną woltomierza R_V układ taki nazywa się *układem poprawnego pomiaru napięcia*.

1.6 Literatura

1. Rusek M., Pasierbiński J., *Elementy i układy elektroniczne w pytaniach i odpowiedziach*, WNT 1997.
2. Koziej E., Sochoń B., *Elektrotechnika i elektronika*, Warszawa 1986.
3. Przeździecki F., *Elektrotechnika i elektronika*, Warszawa, PWN 1985.
4. *Elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków*, Praca zbiorowa, WNT 2006.
5. Jaczewski J., Opolski A., Stolz J., *Podstawy elektroniki i energoelektroniki*, WNT 1981.
6. Pilawski M., *Podstawy elektrotechniki*, WSiP 1982.
7. Rusek A., *Podstawy elektroniki*, WSiP 1989.
8. Staciewicz T., Kotlicki A., *Elektronika w laboratorium naukowym*, PWN 1994.

1.7 Efekty kształcenia

Metody i kryteria oceny				
EK1	Ma podstawową wiedzę w zakresie pojęć, praw z zakresu elektrotechniki i elektroniki.			
Metody oceny	egzamin pisemny, egzamin ustny, sprawdziany i prace kontrolne w semestrze.			
Kryteria/ Ocena	2	3	3,5 - 4	4,5 - 5
<i>Kryterium 1</i> Wiedza w zakresie pojęć elektrotechniki i elektroniki.	Brak lub niewystarczająca podstawowa wiedza w zakresie pojęć i definicji związanych z tematem.	Opanowana podstawowa wiedza w zakresie pojęć i definicji związanych z tematem.	Zna i potrafi scharakteryzować/o mówić podstawowe pojęcia i definicje Zna i potrafi scharakteryzować/o mówić podstawowe i rozszerzone pojęcia, definicje.	Zna i potrafi przeanalizować pojęcia i definicje oraz wskazać możliwości ich wykorzystania w technice morskiej Biegle zna i potrafi przeanalizować oraz wskazać możliwości wykorzystania w technice morskiej.
<i>Kryterium 2</i> Wiedzę w zakresie praw elektrotechniki i elektroniki.	Brak lub niewystarczająca podstawowa wiedza w zakresie praw związanych z tematem.	Opanowana podstawowa wiedza w zakresie praw związanych z tematem.	Zna i potrafi scharakteryzować/o mówić podstawowe prawa Zna i potrafi scharakteryzować/o mówić podstawowe i rozszerzone prawa.	Zna i potrafi przeanalizować prawa oraz wskazać możliwości ich wykorzystania w technice morskiej Biegle zna i potrafi przeanalizować oraz wskazać możliwości wykorzystania w technice morskiej.
EK2	Posiada umiejętność wykorzystania podstawowych praw elektrotechniki i elektroniki do analizy rachunkowej podstawowych elementów i obwodów elektronicznych.			
Metody oceny	zaliczenie ćwiczeń, laboratoriów/ symulatorów, sprawozdanie/ raport.			
Kryteria/ Ocena	2	3	3,5 - 4	4,5 - 5
<i>Kryterium 1</i> Umiejętność wykorzystania podstawowych praw elektrotechniki i elektroniki do analizy rachunkowej podstawowych elementów i obwodów elektronicznych.	Brak lub niewystarczająca podstawowa wiedza w zakresie wykorzystania pojęć, definicji i praw związanych z tematem.	Opanowana podstawowa wiedza w zakresie wykorzystania pojęć, definicji i praw związanych z tematem.	Zna i potrafi wykorzystać podstawowe pojęcia, definicje i prawa do analizy podstawowych obwodów Zna i potrafi wykorzystać podstawowe i pochodne pojęcia, definicje i prawa do analizy podstawowych obwodów w technice morskiej.	Zna i potrafi wykorzystać podstawowe i pochodne pojęcia, definicje i prawa oraz wzajemne zależności między nimi w technice morskiej Biegle zna i potrafi przeanalizować oraz wskazać możliwości wykorzystania w technice morskiej.
EK3	Ma podstawową wiedzę teoretyczną w zakresie struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów elektrycznych.			
Metody oceny	egzamin pisemny, egzamin ustny, sprawdziany i prace kontrolne w semestrze.			
Kryteria/ Ocena	2	3	3,5 - 4	4,5 - 5

<i>Kryterium 1</i>	Brak lub niewystarczająca podstawowa wiedza w zakresie struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów elektrycznych.	Opanowana podstawowa wiedza w zakresie struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów.	Zna i potrafi scharakteryzować/omówić podstawowe pojęcia z zakresu struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów Zna i potrafi scharakteryzować/omówić podstawowe i rozszerzone pojęcia z zakresu struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów występujących w technice morskiej.	Zna i potrafi przeanalizować pojęcia z zakresu struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów występujących w technice morskiej Biegłe zna i potrafi przeanalizować pojęcia z zakresu struktury, przetwarzania, transmisji i pomiarów sygnałów występujących w technice morskiej.
EK4	Posiada umiejętności pomiarów, analizy i przetwarzania sygnałów elektrycznych.			
Metody oceny	zaliczenie ćwiczeń, laboratoriów/ symulatorów, sprawozdanie/ raport.			
Kryteria/ Ocena	2	3	3,5 - 4	4,5 - 5
<i>Kryterium 1</i>	Brak lub niewystarczające podstawowe umiejętności w zakresie pomiarów, analizy i przetwarzania sygnałów.	Opanowane podstawowe umiejętności w zakresie pomiarów i analizy sygnałów.	Opanowane podstawowe umiejętności w zakresie pomiarów, analizy i przetwarzania sygnałów Opanowane w stopniu dobrym podstawowe umiejętności w zakresie pomiarów, analizy i przetwarzania sygnałów występujących w technice morskiej.	Opanowane w stopniu bardzo dobrym podstawowe umiejętności w zakresie pomiarów, analizy i przetwarzania podstawowych sygnałów występujących w technice morskiej Biegłe zna i potrafi przeanalizować pojęcia z zakresu pomiarów, analizy i przetwarzania złożonych sygnałów występujących w technice morskiej.
EK5	Ma podstawową wiedzę w zakresie zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń elektronicznych.			
Metody oceny	egzamin pisemny, egzamin ustny, sprawdziany i prace kontrolne w semestrze.			
Kryteria/ Ocena	2	3	3,5 - 4	4,5 - 5

<i>Kryterium 1</i> Wiedza w zakresie zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń elektronicznych.	Brak lub niewystarczająca podstawowa wiedza w zakresie zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń.	Opanowana podstawowa wiedza w zakresie zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń.	Zna i potrafi scharakteryzować/omówić podstawowe i rozszerzone pojęcia z zakresu zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń.	Zna i potrafi przeanalizować pojęcia z zakresu zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń Biegłe zna i potrafi przeanalizować pojęcia z zakresu zasad działania, budowy, eksploatacji podstawowych obwodów i urządzeń występujących w technice morskiej.
EK6	Posiada umiejętność analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń elektronicznych.			
Metody oceny	zaliczenie ćwiczeń, laboratoriów/ symulatorów, sprawozdanie/ raport.			
Kryteria/ Ocena	2	3	3,5 - 4	4,5 - 5
<i>Kryterium 1</i> Umiejętność analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń elektronicznych.	Brak lub niewystarczające podstawowe umiejętności w zakresie analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk.	Opanowane podstawowe umiejętności w zakresie analizy działania i pomiaru parametrów podstawowych obwodów i urządzeń.	Opanowane podstawowe umiejętności w zakresie analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń Opanowane w stopniu dobrym podstawowe umiejętności w zakresie analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń.	Opanowane w stopniu bardzo dobrym analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń Biegłe opanowane umiejętności w zakresie analizy działania, pomiaru parametrów oraz wyznaczania charakterystyk podstawowych obwodów i urządzeń występujących w technice morskiej.