

Politechnika Łódzka

Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych

WWW.DSOD.PL

LABORATORIUM METROLOGII ELEKTRONICZNEJ

ĆWICZENIE nr **4**

Pomiary podstawowych parametrów sygnałów

Łódź 2010

CEL ĆWICZENIA:

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie się z metodami pomiaru i wyznaczania podstawowych parametrów sygnałów zmiennych w czasie.

SPECYFIKACJA APARATURY:

W ćwiczeniu wykorzystana zostanie następująca aparatura pomiarowa oraz oprogramowanie:

Aparatura

1. Oscyloskop cyfrowy RIGOL DS1052E
2. Generator cyfrowy DDS DF1410
3. Karta pomiarowa ADVANTECH USB4711
4. Multimetr RIGOL DM3051

Oprogramowanie:

1. Program DATA4711 do obsługi karty pomiarowej USB4711
2. Program do obsługi oscyloskopu ULTRASCOPE FOR DS1000E
3. Program do generowania przebiegów sinusoidalnych AUDIOGENERATOR
4. Arkusz kalkulacyjny z pakietu Office do przetwarzania danych z przyrządów pomiarowych

PODSTAWY TEORETYCZNE

WSTĘP

Bardzo często w technice właściwości obiektu lub parametry jakiegoś zjawiska określa się nie na drodze pomiaru wielkości fizycznej lecz na podstawie pomiaru parametrów sygnałów zmiennych. Jeżeli obiekt pobudzany jest sygnałem najczęściej okresowo zmiennym wówczas generowana jest odpowiedź obiektu która również jest sygnałem zmiennym. Parametry i kształt sygnału mogą zależeć od właściwości lub stanu obiektu. W przypadku rejestrowanego zjawiska, jego parametry charakterystyczne lub przebieg zmian może być reprezentowany sygnałem ciągłym, którego parametry są ściśle związane z samym zjawiskiem.

TYPOWE PARAMETRY SYGNAŁÓW OKRESOWO ZMIENNYCH

Sygnał okresowy zmienny reprezentuje wartość wielkości zmiennej w czasie spełniającą zależność :

$$x(t) = x(t + kT) \quad (1)$$

gdzie: T – okres sygnału.

Jeżeli sygnał okresowy jest sygnałem dyskretnym, czyli takim który reprezentowany jest jako ciąg indeksowanych wartości liczbowych $x(n) = \{x(0), x(1) \dots x(n)\}$ wówczas sygnał zapisany jest zależnością :

$$x(n) = x(n + kN) \quad (2)$$

gdzie: N – okres sygnału dyskretnego.

Sygnał okresowo zmienny spełniający warunki Dirichleta może być wyrażony szeregiem Fouriera (3) czyli jako kombinacja liniowa składowej stałej i składowych zmiennych sinusoidalnych nazywanych w skrócie harmonicznymi.

$$x(t) = X_0 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (3)$$

gdzie:

X_0 - składowa stała,

X_n - amplituda n-tej harmonicznej,

φ_n - przesunięcie fazowe n-tej harmonicznej,

$n\omega$ - pulsacja n-tej harmonicznej.

Jeżeli sygnał zawiera więcej niż jedną harmoniczną wówczas określany jest jako sygnał poliharmoniczny.

W praktyce bardzo często sygnały pomiarowe są sygnałami poliharmonicznymi. Odpowiedź nieliniowego układu pomiarowego (takiego, który nie spełnia zasady superpozycji) na wymuszenie sygnałem sinusoidalnym, będzie sygnałem okresowym zniekształconym zawierającym składowe harmoniczne.

Dla oceny sygnałów okresowych, sinusoidalnych oraz poliharmonicznych stosuje się następujące parametry charakteryzujące przebieg:

Wartość maksymalna sygnału:

$$X_{\text{MAX}} = \max|x(t)| \quad (4)$$

$$X_{\text{MAX}} = \max|x(n)| \quad (5)$$

Wartość średnia sygnału:

$$X_0 = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (6)$$

$$X_0 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \quad (7)$$

Wartość średnia z modułu sygnału:

$$X_{\text{AVG}} = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad (8)$$

$$X_{\text{AVG}} = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} |x(n)| \quad (9)$$

Wartość skuteczna sygnału za okres:

$$X_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (10)$$

$$X_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} x^2(n)} \quad (11)$$

Współczynnik kształtu(ang. Waveform Factor):

$$k_k = k_{\text{WF}} = \frac{X_{\text{RMS}}}{X_{\text{AVG}}} \quad (12)$$

Współczynnik szczytu (ang. Crest Factor):

$$k_s = k_{\text{CF}} = \frac{X_{\text{MAX}}}{X_{\text{RMS}}} \quad (13)$$

Współczynnik zawartości harmonicznych:

$$\text{THD}_{\%} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} X_n^2}}{X_1} 100\% \quad (14)$$

$$\text{THD}_{\text{RMS}} = \frac{\sqrt{X_{\text{RMS}}^2 - X_{1\text{RMS}}^2}}{X_{1\text{RMS}}} \quad (15)$$

Współczynnik zniekształceń nieliniowych:

$$\text{THD}_{n\%} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} X_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} X_n^2}} 100\% \quad (16)$$

W celu określenia wartości parametrów sygnałów zmieniających się w bardzo szerokim zakresie stosuje się miarę decybelową odniesioną do przyjętej wartości odniesienia. Wzór (17) i (18) definiuje poziom wartości skutecznej sygnału dyskretnego odniesiony odpowiednio do 1V i 1μV wyrażony w decybelach.

$$X_{\text{dBV}} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{X_{\text{RMS}}}{1\text{V}} \right) \quad (17)$$

$$X_{\text{dB}\mu\text{V}} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{X_{\text{RMS}}}{1\mu\text{V}} \right) \quad (18)$$

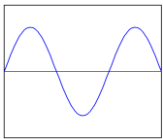
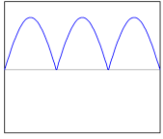
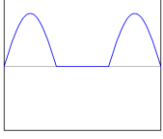
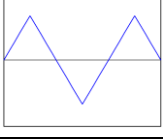
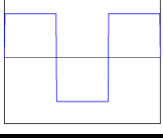
Tłumienie lub wzmocnienie jako stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do amplitudy sygnału wejściowego wyrażane w decybelach:

$$X_{\text{dB}} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{X_{\text{OUT}}}{X_{\text{IN}}} \right) \quad (19)$$

Dynamika sygnału (odstęp sygnału od szumu) wyrażany jako stosunek kwadratu amplitudy sygnału do amplitudy szumu lub mocy sygnału do mocy szumu:

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{X_{\text{MAX}}^2}{X_{\text{NOISE}}^2} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{X_{\text{MAX}}}{X_{\text{NOISE}}} \right) \quad (20)$$

Tabela 1. Zestawienie parametrów typowych sygnałów okresowych

| Sygnal | opis | X_{AVG} | X_{RMS} | k_k | k_s | THD _% | THD _{n%} |
|---|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------|-------------------|
|  | Przebieg sinusoidalny | $\frac{2}{\pi} \approx 0,637$ | $\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$ | $\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11$ | $\sqrt{2} \approx 1,414$ | 0 | 0 |
|  | Przebieg sinusoidalny wyprostowany | $\frac{2}{\pi} \approx 0,637$ | $\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$ | $\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11$ | $\sqrt{2} \approx 1,414$ | $\approx 0,225$ | $\approx 0,219$ |
|  | Przebieg sinusoidalny wyprostowany | $\frac{1}{\pi} \approx 0,318$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{\pi}{2} \approx 1,571$ | 2 | $\approx 0,441$ | $\approx 0,401$ |
|  | Przebieg trójkątny bipolarny | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,577$ | $\frac{2}{\sqrt{3}} \approx 1,155$ | $\sqrt{3} \approx 1,732$ | $\approx 0,121$ | $\approx 0,120$ |
|  | Przebieg prostokątny bipolarny | 1 | 1 | 1 | 1 | $\approx 0,483$ | $\approx 0,435$ |

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

ZADANIE 1:

Wyznaczanie wartości średniej i skutecznej z zastosowaniem różnych technik pomiarowych

Wartość skuteczną X_{RMS} i średnią X_{AVG} sygnału należy określić następującymi metodami:

- A) funkcje pomiaru automatycznego w oscyloskopie,
 - B) pomiar z zastosowaniem multimetrów,
 - C) pomiar z zastosowaniem scalonego przetwornika RMS/DC AD637,
 - D) pomiar z zastosowaniem karty pomiarowej.
- A) Wyznaczyć wartość skuteczną i średnią korzystając z funkcji pomiaru automatycznego oscyloskopu. Jako przebiegi testowe ustawić w generatorze następujące przebiegi:
- przebieg sinusoidalny (**SIN**),
 - przebieg sinusoidalny wyprostowany dwupołówkowo (**SIN 2P**),
 - przebieg sinusoidalny wyprostowany jednapołówkowo (**SIN 1P**),
 - przebieg trójkątny (**TR**),
 - przebieg prostokątny (**PR**).

W każdym przypadku ustawić wartości parametrów przebiegów zgodnie z zaleceniami prowadzącego (częstotliwość, amplituda, składowa stała)

Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki pomiaru parametrów sygnałowych z zast. Oscyloskopu.

| Typ przebiegu | V_{AMP} | V_{PP} | f | V_{RMS} | V_{AVG} |
|---------------|-----------|----------|----|-----------|-----------|
| - | V | V | Hz | V | V |
| SIN | | | | | |
| SIN 2P | | | | | |
| SIN 1P | | | | | |
| TR | | | | | |
| PR | | | | | |

B) Wyznaczyć wartość skuteczną korzystając z funkcji pomiaru wartości skutecznej i częstotliwości w multimetrach RIGOL i METEX. Jako przebiegi testowe ustawić w generatorze przebiegi o parametrach takich samych jak w punkcie 1 zadanie 1.

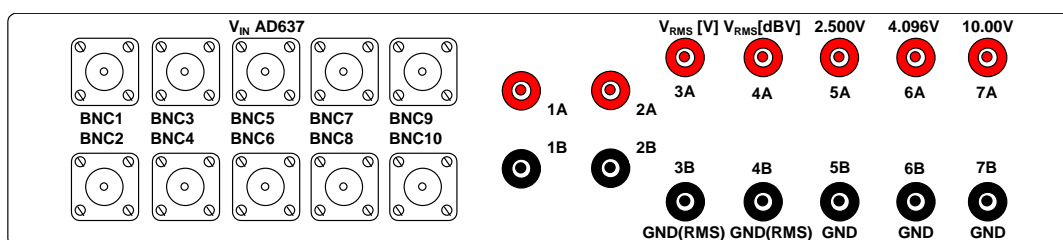
Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki pomiaru parametrów sygnałowych z zastosowaniem multimetrów.

| Typ przebiegu | V_{RMS} (RIGOL DM3051) | f (RIGOL DM3051) | V_{RMS} (METEX 3270D) | f (METEX 3270D) |
|---------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------|
| - | V | Hz | V | Hz |
| SIN | | | | |
| SIN 2P | | | | |
| SIN 1P | | | | |
| TR | | | | |
| PR | | | | |

C) Wyznaczyć wartość skuteczną korzystając ze scalonego przetwornika RMS/DC oraz funkcji pomiaru napięcia stałego w multimetrach RIGOL DM3051. Jako przebiegi testowe ustawić w generatorze przebiegi o parametrach takich samych jak w punkcie 1 zadanie 1.

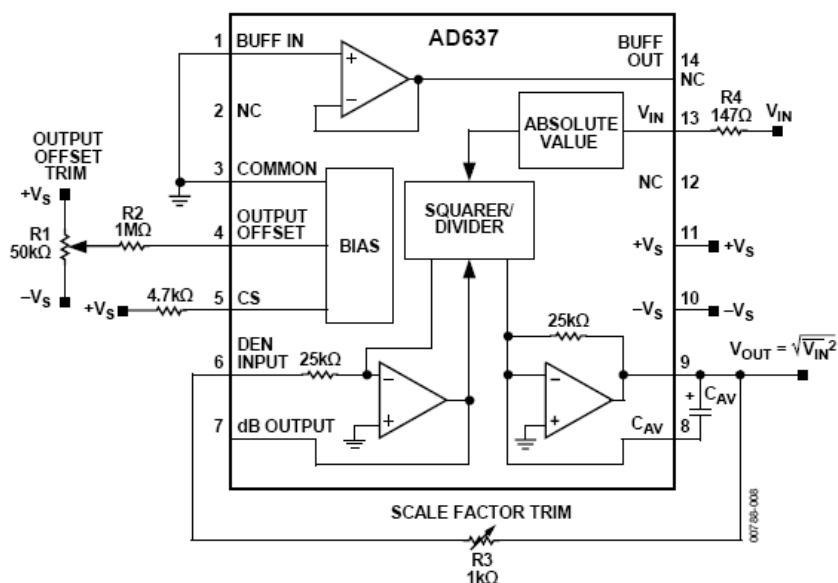
W celu skorzystania z układu AD637, który jest scalonym przetwornikiem RMS/DC podłączyć generator i multimetr do kasety pomiarowej zgodnie z rysunkiem 1. Pomiary napięcia stałego proporcjonalne do wartości skutecznej sygnału wyrażane w V oraz dBV zapisać w tabeli 4.



Rys. 1. Opis połączeń przetwornika RMS/DC AD637

$V_{INAD637}$ (BNC5)- wejście sygnałowe układu; $V_{RMS}[V]$ (3A) – wyjście DC (V) proporcjonalne do V_{RMS} w voltach; $V_{RMS}[dBV]$ (4A) – wyjście DC (V) proporcjonalne do V_{RMS} w decybelach względem 1V; (3A, 3B) – wyjścia GND konwertera

Schemat aplikacyjny układu scalonego AD637 zastosowany w ćwiczeniu przedstawiony został na rysunku 2.



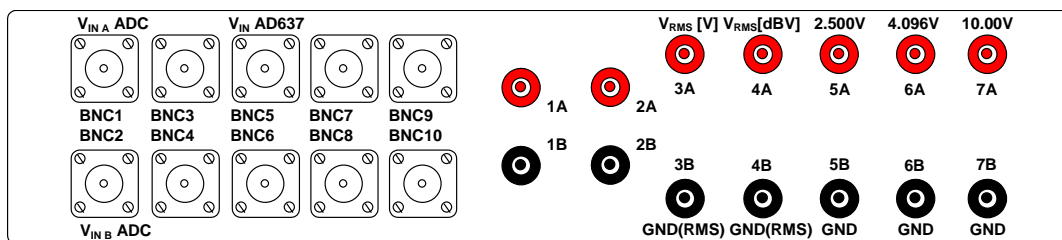
Rys. 2. Schemat aplikacyjny układu scalonego przetwornika wartości skutecznej na napięcie stałe RMS/DC AD637 f-my Analog Devices

Tabela 4. Wyniki pomiaru i obliczeń parametrów sygnałowych z zastosowaniem scalonego przetwornika RMS/DC.

| | V_{RMS} (RIGOL DM3051) | V_{RMS} (obliczone z wzoru 17) |
|---------------|-----------------------------|--|
| Typ przebiegu | V | dBV |
| SIN | | |
| SIN 2P | | |
| SIN 1P | | |
| TR | | |
| PR | | |

D) Wyznaczyć wartości skuteczne i średnie sygnałów korzystając z karty pomiarowej oraz funkcji arkusza kalkulacyjnego Excel. Jako przebiegi testowe ustawić w generatorze przebiegi o parametrach takich samych jak w punkcie 1 zadanie 1.

Aby wykonać akwizycję danych do pliku *.txt który będzie przetwarzany w arkuszu kalkulacyjnym należy podłączyć generator sygnałowy do wejścia BNC1 ($V_{IN A}$ ADC) kasyty pomiarowej (rys. 3).



Rys. 3. Widok kasyty pomiarowej z opisem wyprowadzeń do podłączenia przetwornika RMS/DC (AD637)

Korzystając z programu DATA4711 wykonać akwizycję danych za pomocą karty pomiarowej Advantech USB4711. Ustawić parametry karty pomiarowej w programie zgodnie z następującymi regułami:

- wybrać jako aktywne wejście pomiarowe karty WEJŚCIE A,
- ustawić zakres napięcia wejściowego karty optymalny względem wartości międzyszczytowej sygnału z generatora DDS DF1410,
- wybrać z listy wartość częstotliwości próbkowania tak, aby była co najmniej dziesięciokrotnie większa niż częstotliwość próbkowanego przebiegu,
- określić liczbę próbek zebranych podczas akwizycji kartą pomiarową. Liczba próbek powinna być na tyle liczna aby zarejestrowany przebieg obrazował jeden lub dwa pełne okresy przebiegu.

Wykonując import danych do arkusza kalkulacyjnego, wykonać obliczenie wartości średniej, skutecznej, współczynnika kształtu, współczynnika szczytu korzystając z wzorów 9, 11, 12 oraz 13. Wyniki zanotować w tabeli 5.

Tabela 5. Wyniki obliczeń parametrów sygnałowych z zastosowaniem karty pomiarowej Advantech USB4711

| - | V_{RMS} | V_{AVG} | k_K | k_S |
|---------------|-----------|-----------|-------|-------|
| Typ przebiegu | V | V | - | - |
| SIN | | | | |
| SIN 2P | | | | |
| SIN 1P | | | | |
| TR | | | | |
| PR | | | | |

W podsumowaniu zadania 1 zestawić błąd względny wskazań przyrządów pomiarowych i obliczeń w odniesieniu do wartości parametrów określonych analitycznie w tabeli 1. Wyjaśnić przyczyny rozrzutu wartości skutecznej określonej różnymi metodami. Wskazać metodę najdokładniejszą. Zestawienie i wyniki obliczeń zamieścić w tabeli 6.

Tabela 6. Zestawienie porównawcze wyników pomiarów i obliczeń wartości skutecznej przebiegów wszystkimi metodami.

| | Metoda A | Metoda B | Metoda C | Metoda D |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Przebieg: SIN | | | | |
| V_{RMS} [V] | | | | |
| δV_{RMS} [%] | | | | |
| Przebieg: SIN 2P | | | | |
| V_{RMS} [V] | | | | |
| δV_{RMS} [%] | | | | |
| Przebieg: SIN 1P | | | | |
| V_{RMS} [V] | | | | |
| δV_{RMS} [%] | | | | |
| Przebieg: TR | | | | |
| V_{RMS} [V] | | | | |
| δV_{RMS} [%] | | | | |
| Przebieg: PR | | | | |
| V_{RMS} [V] | | | | |
| δV_{RMS} [%] | | | | |

Wzór (21) do obliczania względnego błędu pomiaru wartości skutecznej sygnału.

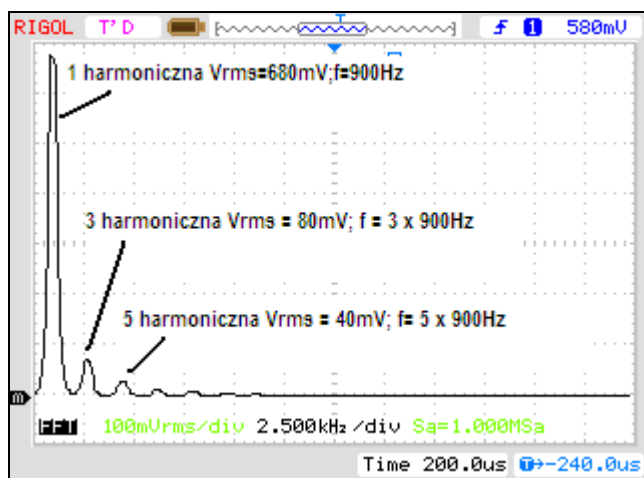
$$\delta V_{RMS} = \left(\frac{V_{RMS} - V_{RMS (tabela 1)}}{V_{RMS (tabela 1)}} \right) 100\% \quad (21)$$

ZADANIE 2

Wyznaczanie współczynnika THD

W celu określenia wartości parametrów $THD_{\%}$, $THD_{N\%}$, THD_{RMS} dla sygnałów poliharmonicznych można skorzystać z funkcji FFT oscyloskopu cyfrowego RIGOL DS1052E w menu **MATH/OPERATE** -> **FFT**. Funkcja szybkiej transformaty Fouriera FFT (ang. Fast Fourier Transform) w oscyloskopie prezentuje przebieg widma sygnału czyli przebieg zmian wartości amplitudy lub wartości skutecznych harmonicznnych w funkcji częstotliwości. Korzystając z kursorów X-Y można określić wartości amplitud i częstotliwości

poszczególnych harmonicznym. Przykład ilustrujący widmo sygnału trójkątnego oraz identyfikację harmonicznym został pokazany na rysunku 4.



Rys. 4 Przykład widma przebiegu trójkątnego oraz identyfikacji harmonicznym przebiegu wykorzystanych do obliczenia współczynników THD

W zadaniu należy określić wartości współczynników $THD_{\%}$, $THD_{N\%}$, THD_{RMS} dla przebiegu trójkątnego i prostokątnego. Wynik pomiarów i obliczeń zanotować w tabeli 7.

Tabela 7. Wyniki pomiarów harmonicznym i obliczeń współczynników THD.

| | Amplituda V_N n-tej harmonicznym | Wartość skuteczna $V_{N\text{RMS}}$ n-tej harmonicznym | Częstotliwość f_N n-tej harmonicznym | THD $_{\%}$ | THD $_{N\%}$ | THD $_{RMS}$ |
|----------|--|---|--|-------------|--------------|--------------|
| | V | V | Hz | - | - | - |
| Przebieg | TRÓJKĄTNY | | | | | |
| V_1 | | | | | | |
| V_3 | | | | | | |
| V_5 | | | | | | |
| V_7 | | | | | | |
| | | | | | | |
| Przebieg | PROSTOKĄTNY | | | | | |
| V_1 | | | | | | |
| V_3 | | | | | | |
| V_5 | | | | | | |
| V_7 | | | | | | |
| V_9 | | | | | | |
| V_{11} | | | | | | |
| | | | | | | |

UWAGI KOŃCOWE

Wersja instrukcji 1.0

Użyteczne wzory do określania parametrów sygnałów dyskretnych:

Wartość średnia sygnału dyskretnego w przedziale

$$\bar{x} = \frac{1}{n_2 - n_1 + 1} \sum_{n=n_1}^{n_2} x(n)$$

Wartość średnia całego sygnału dyskretnego

$$\bar{x} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x(n)$$

Wartość średnia sygnału dyskretnego okresowego

$$\bar{x}_N = \frac{1}{N} \sum_{n=n_0}^{n_0+(N-1)} x(n), N - \text{okres}$$

Energia całego sygnału dyskretnego

$$E_x = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x^2(n)$$

Moc średnia sygnału dyskretnego w przedziale

$$P_x = \overline{x^2} = \frac{1}{n_2 - n_1 + 1} \sum_{n=n_1}^{n_2} x^2(n)$$

Moc średnia całego sygnału (wartość średniokwadratowa)

$$P_x = \bar{x} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x^2(n)$$

Moc średnia sygnału dyskretnego okresowego

$$P_x = \overline{x^2}_N = \frac{1}{N} \sum_{n=n_0}^{n_0+(N-1)} x^2(n), N - \text{okres}$$

Wartość skuteczna sygnału dyskretnego

$$x_{RMS} = \sqrt{P_x}$$

LITERATURA I MATERIAŁY DODATKOWE

1. Tumański S.: Technika pomiarowa, WNT, Warszawa 2007,
2. Szabatin J.: Podstawy teorii sygnałów. WKŁ, Warszawa 2008,
3. Rydzewski J.: Pomiary oscyloskopowe, WNT, Warszawa 1994
4. Zieliński T.P.: Zarys cyfrowego przetwarzania sygnałów. Od teorii do zastosowań Wydawnictwo WKŁ, Warszawa 2006
5. Stabrowski M.: Miernictwo Elektroniczne, Cyfrowa Technika Pomiarowa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999
6. Dusza J., Gortat G., Leśniewski A.: Podstawy miernictwa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998

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: | |