

LABORATORIUM Z METROLOGII

Ćwiczenie 7

Pomiary napięć przemiennych

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie sposobów pomiarów wielkości charakterystycznych i współczynników, stosowanych do opisu okresowych przebiegów odkształconych. W ćwiczeniu przedstawiono wybrane układy pomiarowe stosowane do wyznaczania tych wielkości. Pomiary przeprowadzono dla napięć przemiennych.

2. Wprowadzenie

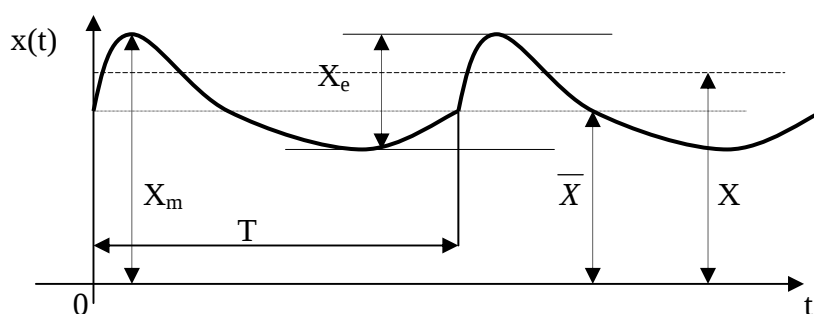
Wśród mierzonych przebiegów (np. napięć) szczególną grupę stanowią przebiegi okresowe, zmienne. Charakteryzują się tym, że ta sama wartość chwilowa $x(t)$ badanego przebiegu pojawia się cyklicznie po upływie jednakowych odstępów czasu T (okresu)– rys.1. Jeżeli w obwodach, w których występują przebiegi okresowe znajdują się elementy nieliniowe, to przebiegi te zawierają wyższe harmoniczne.

Jeżeli przebieg jest ciągły i okresowy, to można go odwzorować zależnością w postaci trygonometrycznego szeregu Fouriera

$$x(t) = \bar{X} + \sum_{k=1}^{\infty} X_{mk} \sin(k\omega_1 t + \psi_k) \quad (1)$$

przy czym : $k = 1, 2, \dots$, $x(t)$ – wartość chwilowa przebiegu, $\bar{X}$ - wartość średnia przebiegu, X_{mk} - amplituda k -tej harmonicznej, ψ_k - faza początkowa k -tej harmonicznej, ω_1 - pulsacja podstawowa.

Dla wartości $k > 1$ przebieg opisany zależnością (1) nazywamy **odkształconym lub (poliharmonicznym)**.



Rys.1 Obraz przebiegu okresowego i jego wielkości charakterystyczne
 T – okres przebiegu, X_m – wartość maksymalna, X_e –
wartość międzyszczytowa, $\bar{X}$ - wartość średnia,
 X – wartość skuteczna

Dla tak opisanego przebiegu można zdefiniować następujące **wielkości charakterystyczne**:

- wartość średnią (składową stałą) - $\bar{X}$

$$\bar{X} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2)$$

- wartość skuteczną - X

$$X = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt} \quad (3)$$

Wartość skuteczną przebiegu okresowego opisanego składowymi harmonicznymi można również przedstawić w postaci

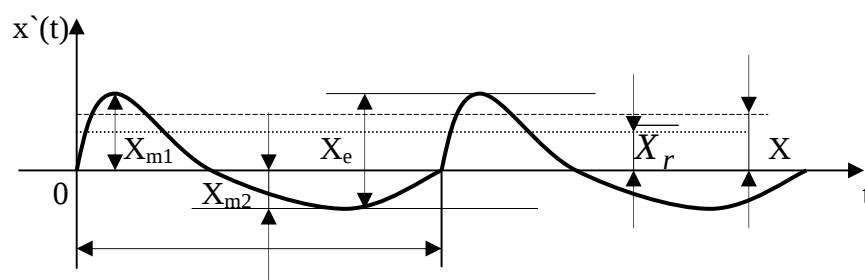
$$X = \sqrt{\bar{X}(t)^2 + \sum_{k=1}^{\infty} X_k^2} \quad (4)$$

gdzie: X_k – wartość skuteczna k-tej harmonicznej.

Wartość międzyszczytowa - X_e , definiujemy jako bezwzględną wartość różnicy między największą, a najmniejszą wartością przebiegu okresowego.

Dla przebiegu okresowego $x(t)$, którego wartość średnia $\bar{X}$ jest równa 0 (rys.2) tzn. przebiegu zawierającego tylko składową przemienną, wprowadzamy **wartość średnią wyprostowaną** - $\bar{X}_r$

$$\bar{X}_r = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad (5)$$



Rys.2 Obraz przebiegu okresowego, przemiennego o wartości średniej równej 0 i jego wielkości charakterystyczne

Jak można zauważyć na rysunku 2 niektóre przebiegi okresowe, przemiennie można scharakteryzować dwoma różnymi wartościami maksymalnymi (X_{m1} , X_{m2}).

Występowanie wyższych harmonicznymi w obwodach jest najczęściej zjawiskiem niepożądanym. Niezbędne jest więc ilościowe opisanie występujących zniekształceń

nieliniowych przebiegu. Służą do tego obok wielkości charakterystycznych, określone współczynniki wyznaczone pośrednio.

Ponieważ analizę zniekształceń nieliniowych przeprowadza się przede wszystkim dla przebiegów przemiennych więc, podane poniżej definicje współczynników odnoszą się do przypadków szczególnych, przebiegów o wartościach średnich równych 0 (rys.2):

- **współczynnik kształtu** - k_k wyznaczany jako stosunek wartości skutecznej do wartości średniej wyprostowanej

$$k_k = \frac{X}{X_r} \quad (6)$$

- **współczynnik amplitudy (szczytu)** - k_a wyznaczany tylko w przypadku równych wartości maksymalnych przebiegu ($X_{m1} = X_{m2}$), jako stosunek wartości maksymalnej składowej przemiennej (amplitudy) do wartości średniej wyprostowanej

$$k_a = \frac{X_m}{X_r} \quad (7)$$

- **współczynnik odkształcenia** – k_{od} definiowany jako stosunek wartości skutecznej pierwszej harmonicznej do wartości skutecznej badanego przebiegu

$$k_{od} = \frac{X_1}{X} \quad (8)$$

- **współczynnik zniekształceń nieliniowych** – h_1 definiowany jako stosunek wartości skutecznej wyższych harmonicznych do wartości skutecznej pierwszej harmonicznej

$$h_1 = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} X_k^2}}{X_1} \quad (9)$$

Często spotykana jest w literaturze inna definicja współczynnika zniekształceń nieliniowych, nazywanego również **współczynnikiem zawartości harmoniczných** - h . Przyjmuje się, że jest on równy stosunkowi wartości skutecznej wyższych harmoniczných do wartości skutecznej całego przebiegu.

$$h = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} X_k^2}}{X} \quad (10)$$

3. Sposoby pomiaru wielkości charakterystycznych i współczynników opisujących przebiegi odkształcone

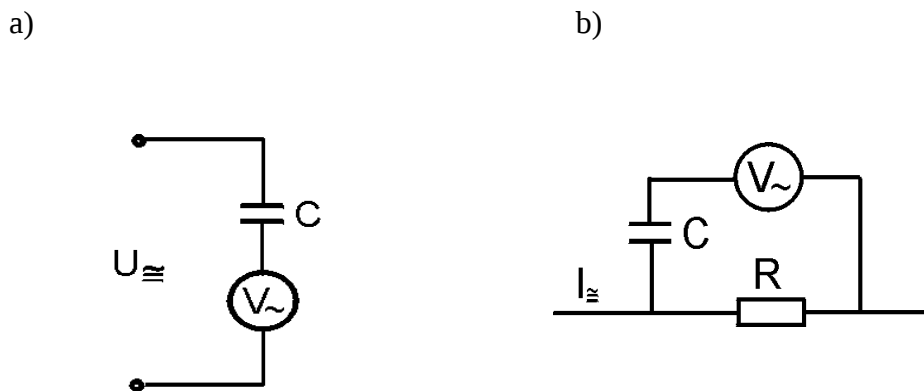
Pomiary poszczególnych wartości charakterystycznych wykonuje się stosując odpowiednie przyrządy pomiarowe samodzielnie lub współpracujące z określonymi układami pomiarowymi.

Wartość średnią $\overline{X}$ przebiegu $x(t)$ mierzy się bezpośrednio przyrządem magnetoelektrycznym lub innym miernikiem (analogowym lub cyfrowym) z przetwornikiem wartości średniej.

Należy w tym miejscu zauważyć, że dla pewnej grupy przebiegów, dla której wartość średnia $\overline{X}$ jest dużo mniejsza od amplitudy X_{mk} - k-tej harmonicznej, może w trakcie pomiaru nastąpić uszkodzenie przyrządu pomiarowego. Przyrząd nie zareaguje na działanie k-tej harmonicznej, chociaż popłynie przez niego prąd proporcjonalny do amplitudy tej harmonicznej i przekraczający dopuszczalny zakres przyrządu.

Wartość skuteczną X mierzy się bezpośrednio miernikiem wartości skutecznej, np. elektromagnetycznym, elektrodynamicznym lub cyfrowym z przetwornikiem wartości skutecznej – (np. przetwornikiem RMS value¹)

Wartość skuteczną X_{sp} samej składowej przemiennej mierzy się miernikiem wartości skutecznej po oddzieleniu składowej stałej, zwykle za pomocą kondensatora. Przykłady włączenia miernika wartości skutecznej w pomiarze wartości skutecznej napięcia i prądu składowej przemiennej przedstawia rysunek 3.



Rys.3 Schemat układów do pomiaru wartości skutecznej składowej przemiennej:
a) napięcia, b) prądu

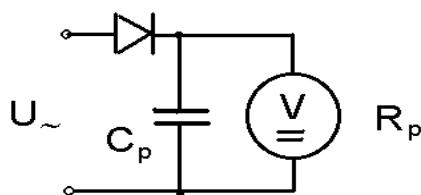
Pojemność C w przypadku pomiaru składowej przemiennej napięcia (rys.3.a), jak i w przypadku pomiaru składowej przemiennej prądu (rys.3.b) powinna być duża, aby napięcie na niej było pomijalnie małe czyli powinna zachodzić zależność:

¹RMS – root-mean-square (average) - średnia kwadratowa, skuteczna

$$\frac{1}{\frac{2\pi C}{T}} \ll R_p \quad (11)$$

przy czym: R_p – rezystancja przyrządu,
 T – okres napięcia wejściowego.

Wartość maksymalną przebiegu przemiennego X_m (napięcia) mierzy się w układzie przedstawionym na rysunku 4, zawierającym woltomierz o dużej rezystancji wewnętrznej R_p włączony na zakres pomiaru napięcia stałego. Kondensator C_p ładuje się do wartości równej wartości maksymalnej napięcia wejściowego. Wartość tę wskazuje woltomierz.



Rys.4 Schemat układu do pomiaru wartości maksymalnej napięcia

Aby pomiar można było uznać za poprawny, powinien być spełniony następujący warunek:

$$R_p C_p \gg 10T \quad (12)$$

przy czym : T jest okresem napięcia wejściowego.

W przypadku, jeżeli sygnał wejściowy charakteryzują dwie wielkości maksymalne X_{m1} i X_{m2} - (rys.2), należy przeprowadzić pomiar drugiej wartości maksymalnej przeciwnie włączając diodę prostowniczą.

Wartość międzyszczytową X_e – (rys.1) można zmierzyć w układach przedstawionych na rysunku 5 a i b. Pojemność kondensatora C , występującego w obu układach powinna być tak duża, aby występujący na nim spadek napięcia wywołany składową przemienną napięcia mierzonego, był pomijalnie mały w stosunku do tej składowej. W przybliżeniu można ten warunek przedstawić w postaci zależności (11).

Kondensator C służy do oddzielenia składowej stałej napięcia wejściowego. Analogicznie do nierówności (12), w układach pomiaru wartości międzyszczytowej napięcia powinny być spełnione warunki:

- dla układu z rys. 5a

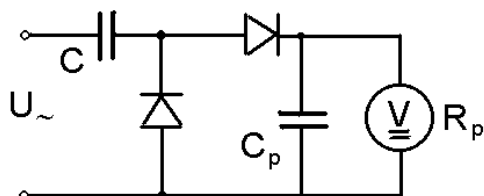
$$R_p \gg 10T \quad (13)$$

- dla układu z rys. 5b

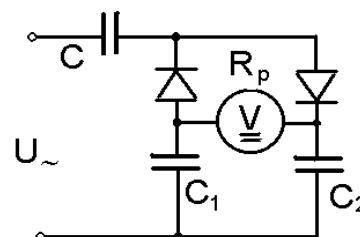
$$R_p \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \gg 10T \quad (14)$$

przy czym T jest okresem napięcia wejściowego.

a)



b)



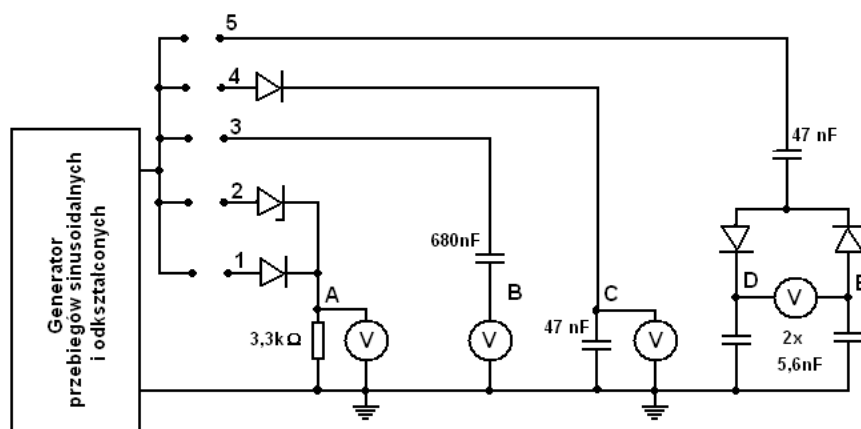
Rys.5 Schemat układów do pomiaru wartości międzyszczytowej napięcia

3. Program ćwiczenia

3.1 Układ pomiarowy

Układ pomiarowy przedstawiono na rysunku 7. Umożliwia on:

- generowanie wybranych napięć odkształconych, występujących w układach elektronicznych;
- wyznaczanie wybranych wartości charakterystycznych i współczynników odpowiednich dla przebiegów (napięć) sinusoidalnych i odkształconych.



Rys.7 Układ pomiarowy do wyznaczania wartości charakterystycznych i współczynników odpowiednich dla przebiegów odkształconych

Jako generator należy zastosować generator przebiegów funkcyjnych i arbitralnych serii DG1000. Pomiary napięć należy mierzyć zgodnie z programem ćwiczeń multimetrem cyfrowym serii DM3000 i M-6000H. Wartości rezystancji i pojemności wewnętrznych

woltomierzy należy przyjąć zgodnie z danymi technicznymi przyrządów. Przebiegi napięć należy obserwować i rejestrować wykorzystując oscyloskop cyfrowy serii DS1000.

Pomiary napięć przemiennych (bez składowej stałej) można z pewnymi ograniczeniami przeprowadzić włączając woltomierz pomiędzy zaciski - B i masę. Pomiar wartości maksymalnej napięcia wymaga podłączenia woltomierza do zacisków - C i masy.

Pomiar wartości międzyszczytowej wymaga podłączenia woltomierza do zacisków D i E.

3.2 Program pomiarów

- a. Podłączyć multimetr cyfrowym serii DM3000 i multimetr M-6000H oraz oscyloskop do generatora przebiegów funkcyjnych i arbitralnych. Ustalić parametry generowanego sygnału: napięcia przemiennie sinusoidalne o amplitudzie 10V i częstotliwości 1000Hz. Zmierzyć wartość skuteczną napięcia przemiennego i zanotować wyniki pomiarów. Oszacować niepewność pomiaru. Obliczyć amplitudę. Porównać wynik obliczeń z ustawieniami generatora i wskazaniem oscyloskopu.
- b. Wyjście generatora podłączyć do zacisków 4 i masy, a multimetry i oscyloskop do zacisków C i masy. Przyjąć następujące ustawienia parametrów generatora: amplituda napięcia przemiennego sinusoidalnego - 10V i częstotliwość kolejno 10Hz, 1kHz, 1MHz. Zmierzyć wartość maksymalną (amplitudę) napięcia przemiennego sinusoidalnego. Oszacować niepewność pomiaru. Porównać wynik pomiarów z ustawieniami generatora i wskazaniem oscyloskopu. Sprawdzić poprawność pomiaru w odniesieniu do warunku (12).
- c. Wyjście generatora podłączyć do zacisków 5 i masy, a multimetry i oscyloskop do zacisków D i E. Przyjąć następujące ustawienia generatora: amplituda napięcia przemiennego sinusoidalnego - 10V i częstotliwość kolejno 10Hz, 1kHz, 1MHz. Zmierzyć wartość międzyszczytową napięcia przemiennego sinusoidalnego. Oszacować niepewność pomiaru. Porównać wynik pomiarów z ustawieniami generatora i wskazaniem oscyloskopu. Sprawdzić poprawność pomiaru w odniesieniu do warunku (14).
- d. Podłączyć multimetry cyfrowe oraz oscyloskop do generatora przebiegów funkcyjnych i arbitralnych. Przyjąć następujące ustawienia generatora: amplituda napięcia przemiennego sinusoidalnego 10V, częstotliwość 1kHz i składowa stała 1V. Zmierzyć wartość skuteczną napięcia oraz składową stałą i zanotować wyniki pomiarów. Oszacować niepewność pomiaru. Obliczyć amplitudę składowej przemiennnej i porównać z ustawieniami generatora.
- e. Wyjście generatora podłączyć do zacisków 4 i masy, a multimetry i oscyloskop do zacisków C i masy. Przyjąć następujące ustawienia generatora: amplituda napięcia przemiennego sinusoidalnego 10V, częstotliwość 1kHz i składowa stała kolejno 1V i -1V. Zmierzyć wartość maksymalną napięcia zmiennego. Oszacować niepewność pomiaru. Porównać wynik pomiarów z ustawieniami generatora i wskazaniem oscyloskopu.

- f. Wyjście generatora podłączyć do zacisków 5 i masy, a multimetry i oscyloskop do zacisków D i E. Przyjąć następujące ustawienia generatora: amplituda napięcia przemiennego sinusoidalnego 10V, częstotliwość 1kHz i składowa stała kolejno 1V i -1V. Zmierzyć wartość międzyszczytową napięcia zmiennego. Oszacować niepewność pomiaru. Porównać wynik pomiarów z ustawieniami generatora i wskazaniami oscyloskopu.
- g. Powtórzyć pomiary przeprowadzone zgodnie z punktami d,e,f dla prostokątnego przebiegu napięcia przemiennego. Przyjąć następujące ustawienia generatora: wartość maksymalna napięcia przemiennego prostokątnego 10V, okres przebiegu napięcia 0,001s, składowa stała kolejno 1V i -1V, a współczynnik wypełnienia 0,5 i 0,1. Pomiary przeprowadzić dla różnych ustawień filtra wejściowego (AC). Oszacować niepewność pomiaru. Porównać wynik obliczeń z ustawieniami generatora i wskazaniami oscyloskopu. Przeprowadzić analizę harmoniczną wykorzystując funkcję oscyloskopu – Analiza harmoniczna FFT.
- h. Wyjście generatora podłączyć do zacisków 1 i masy, a multimetry i oscyloskop do zacisków A i masy. Przyjąć następujące ustawienia generatora: amplituda napięcia przemiennego sinusoidalnego kolejno 1V, 5V i 10V, częstotliwość 1kHz. Zmierzyć wartość skuteczną napięcia przemiennego. Obliczyć wartość amplitudy napięcia przemiennego sinusoidalnego wykorzystując wyniki pomiarów uzyskane multimetrem. Porównać wynik pomiarów z ustawieniami generatora i wskazaniami oscyloskopu.
- i. Powtórz pomiary opisane w punkcie h podłączając generator do zacisków 2 i masy, a multimetry i oscyloskop do zacisków A i masy. Zrealizować bez zmian pozostałe procedury pomiarów.
- j. Zawsze zanotować ustawienia zakresów multimetrów. Do łączenia wykorzystać matrycę łączeniową. Przebiegi napięć należy rejestrować wykorzystując oscyloskop cyfrowy serii DS1000.

3.3 Sprawozdanie z pomiarów

- a. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabelach. Dołączyć zarejestrowane obrazy z oscyloskopu.
- b. Wyniki wszystkich pomiarów uzupełnić obliczeniami niepewności pomiaru.
- c. Przedstawić zależności zastosowane w obliczeniach.
- d. Dla napięć zmiennych wyznaczyć współczynniki charakterystyczne.
- e. Uzasadnić rozbieżności w wynikach pomiarów i obliczeniach.

4. Pytania kontrolne

- Jakie wielkości charakterystyczne stosuje się do opisu przebiegów odkształconych, okresowych?
- Jakie współczynniki definiuje się dla przebiegów odkształconych, okresowych?
- Czym różni się współczynnik odkształcenia, współczynnik zniekształceń nieliniowych, współczynnik zawartości harmoniczných?

- Oblicz wartość średnią, wartość skuteczną, współczynnik kształtu i współczynnik szczytu dla przebiegu sinusoidalnego wyprostowanego jedno i dwupołkowo.
- Jak można zmierzyć wartość skuteczną składowej zmiennej prądu płynącego przez rezystor R ?
- Dlaczego dla poprawnego pomiaru wartości maksymalnej przebiegu napięcia zmiennego powinien być spełniony warunek (12)?
- Dlaczego nie można miernikiem magnetoelektrycznym przystosowanym do pomiarów napięć sinusoidalnie przemiennych mierzyć napięć odkształconych?

Literatura

- Mała encyklopedia metrologii. WNT, Warszawa 1989;
- Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: Metrologia elektryczna. WNT, Warszawa 1994;
- Parchański J.: Miernictwo elektryczne i elektroniczne. WSzIP Warszawa 1998;
- Sydenham P.H. Podręcznik metrologii. Tom I i II Podstawy praktyczne. WKŁ Warszawa 1990;
- Piotrowski J.: Podstawy metrologii. WNT Warszawa 2002;
- PN-88/E-01100 Oznaczenia wielkości i jednostek miar używanych w elektryce. Postanowienia ogólne. Wielkości podstawowe.