

---

## T.3. POMIARY POŚREDNIE. WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYK UKŁADÓW

---

### 1. WPROWADZENIE

Wszystkie pomiary fizyczne można sklasyfikować jako:

1. **pomiary bezpośrednie** - wynik otrzymuje się bezpośrednio ze wskazania wybranego miernika; taką metodę stanowi np. pomiar natężenia prądu elektrycznego zużyciem amperomierza czy też oznaczanie średnicy wałka za pomocą suwmiarki;

2. **pomiary pośrednie** - wynik uzyskuje się mierząc inne wielkości w sposób bezpośredni a następnie obliczając wartość zadanej wielkości ze znanej zależności między nią a wielkościami mierzonymi, ustalonej doświadczalnie lub teoretycznie; przykładem pomiarów pośrednich jest wyznaczanie oporu elektrycznego  $R$  przez bezpośredni pomiar napięcia  $U$  i natężenia prądu  $I$  a następnie wykorzystanie znanej zależności:  $R = U/I$ .

Pomiar pośredni wykonuje się zazwyczaj w sytuacji gdy pomiar bezpośredni jest niemożliwy do zrealizowania, np. z powodu braku odpowiedniego przyrządu pomiarowego.

### 2. SZACOWANIE NIEPEWNOŚCI POMIARÓW POŚREDNICH

W pomiarach pośrednich wielkość mierzona  $Y$  jest funkcją  $n$  wielkości  $X_i$  mierzonych bezpośrednio:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (1)$$

Na podstawie wyników pomiarów bezpośrednich wielkości  $X_i$  można wyznaczyć wartość wielkości mierzonej pośrednio, korzystając ze znanej zależności. W przypadku, gdy dana wielkość  $X_i$  została zmierzona wielokrotnie, do obliczeń przyjmujemy jej wartość średnią  $X_{is}$  jako wartość zmierzoną. Oczywiście każda z wielkości  $X_i$  wyznaczona jest z pewną niepewnością standardową  $u(X_i)$ . Niepewność standardowa pomiaru każdej wielkości  $X_i$  może być wyznaczona metodą typu A lub B. W przypadku, kiedy dla danej wielkości  $X_i$  możliwe jest oszacowanie zarówno niepewności typu A jak i typu B, konieczne jest wyznaczenie dla niej niepewności standardowej złożonej na podstawie znanego wzoru:

$$u_c(X_i) = \sqrt{u_A^2(X_i) + u_B^2(X_i)} \quad (2)$$

Niepewności pomiarów wielkości  $X_i$  przenoszą się na niepewność pomiaru wielkości  $Y$ . Dlatego mówi się o *propagacji niepewności* w pomiarach pośrednich, a reguły wyznaczania niepewności wielkości mierzonych pośrednio nazywa się *prawem propagacji niepewności*.

Niepewność pomiaru wielkości  $Y$  jest niepewnością złożoną, gdyż wyznaczana jest na podstawie różnych typów niepewności pomiaru kilku wielkości fizycznych. W przypadku, gdy wielkości  $X_i$  są niezależne, niepewność złożoną pomiaru wielkości  $Y$  opisuje poniższy wzór:

$$u_c(Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 u^2(X_i)} \quad (3)$$

Jeżeli wielkości  $X_i$  są ze sobą skorelowane sposób wyznaczenia niepewności pomiaru wielkości  $Y$  jest dużo bardziej skomplikowany. W praktyce jednak przyjmuje się założenie o niezależności wielkości mierzonych bezpośrednio i przy wyznaczaniu niepewności złożonej pomiaru pośredniego wielkości  $Y$  korzysta się z powyższego wyrażenia.

Po wyznaczeniu niepewności standardowej pomiaru wartości  $Y$  należy jeszcze wyznaczyć niepewność rozszerzoną. Określenie właściwej wartości współczynnika rozszerzenia dla zadanego poziomu ufności stanowi tutaj największy problem. W celu wyznaczenia jego poprawnej wartości należałoby określić rozkład prawdopodobieństwa zmiennej losowej jaką jest wartość wielkości  $Y$ , będący splotem rozkładów prawdopodobieństwa wartości wielkości  $X_i$ . Wyznaczenie splotu tych rozkładów nastęrcza wiele trudności, dlatego też w praktyce operacji tych dokonuje się tylko w wyjątkowych przypadkach. Zazwyczaj przyjmuje się dwie wartości współczynnika rozszerzenia:  $k = 2$  dla poziomu ufności  $p = 0,95$  oraz  $k = 3$  dla  $p = 0,99$ .

### 3. MIARA DECYBELOWA

W elektronie często spotkać się można z miarą decybelową. Jest to logarytmiczna miara względna określająca stosunek dwóch wartości tej samej wielkości fizycznej. Używana jest zwłaszcza wtedy, gdy należy porównywać wielkości zmieniające się w bardzo szerokim zakresie.

Decybele zaczęto stosować w laboratoriach Bell Telephone Laboratories, do określania stosunku mocy sygnałów przenoszonych przez linie telefoniczne. Pierwotnie stosowano jednostkę o nazwie TU – *transmission unit*, następnie zmieniono jej nazwę na Bel (B) na cześć wynalazcy telefonu Aleksandra Grahama Bella. Jeden Bel (1 B) oznacza dziesięciokrotny stosunek mocy dwóch sygnałów. W praktyce wygodniejsze okazało się jednak używanie jednostki dziesięciokrotnie mniejszej, czyli decybel. Obecnie jednostka ta jest powszechnie wykorzystywana w elektronice – szczególnie w telekomunikacji, radiokomunikacji i elektroakustyce. Za jej pomocą wyraża się najczęściej poziom mocy lub napięcia sygnału oraz wzmocnienie lub tłumienie torów transmisyjnych, linii transmisyjnych, wzmacniaczy, filtrów itp.

Stosunek mocy  $P_1$  do  $P_2$  wyrażony w decybelach wyznacza się ze wzoru:

$$k[dB] = 10 \log \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \quad (4)$$

Miara decybelowa używana jest nie tylko do wyrażania stosunku mocy, równie często jest ona wykorzystywana do porównywania wartości różnych napięć. Zależność łącząca moc  $P$  wydzieloną na rezystancji  $R$  od przyłożonego do niej napięcia  $U$  ma postać:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (5)$$

W przypadku gdy wyznaczany stosunek mocy wydzielonych na takich samych rezystancjach ( $R_1 = R_2 = R$ ), podstawiając powyższą zależność do wzoru (4), otrzymamy:

$$k[dB] = 10 \log \left( \frac{\frac{U_1^2}{R}}{\frac{U_2^2}{R}} \right) = 10 \log \left( \frac{U_1^2}{U_2^2} \right) = 10 \log \left( \frac{U_1}{U_2} \right)^2 \quad (6)$$

Wykorzystując znane właściwości logarytmów otrzymujemy następujące wyrażenie:

$$k[dB] = 20 \log \left( \frac{U_1}{U_2} \right) \quad (7)$$

Widzimy więc, że w takim przypadku stosunek dwóch napięć daje 2-krotnie większą różnicę wartości w mierze decybelowej, niż taki sam stosunek dwóch mocy. Jeśli, natomiast dokonamy porównania dwóch napięć, stanowiących np. tłumienie, bądź wzmocnienie jakiegoś układu, nie znając wartości rezystancji, na których odłożyły się te napięcia, to nie jesteśmy w stanie nic powiedzieć o relacjach mocy tych sygnałów. W praktyce bardzo rzadko dokonuje się przeliczania wzmocnienia mocy na wzmocnienie napięciowe, dlatego traktując te wzmocnienia w oderwaniu od siebie możemy zaniedbać warunek równości rezystancji.

Zależności (4) i (7) określają relacje dwóch wartości danej wielkości fizycznej w mierze decybelowej i obie są poprawne, aczkolwiek dadzą inne wyniki. Zależność (4) jest zależnością pierwotną, którą należy stosować przy porównywaniu mocy (bądź energii), natomiast zależność (7) jest zależnością wtórną, która się wywodzi z przejścia od mocy do napięcia i przyjęło się ją stosować do wyrażania relacji w mierze decybelowej dowolnych wielkości fizycznych nie mających wprost wymiaru energii (np. napięcia, prądu, ciśnienia akustycznego, itp.).

### 4. PARAMETRY NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO

Napięcie jest jedną z podstawowych wielkości, charakteryzujących obwody elektryczne i elektroniczne. Ze względu na zmienność w czasie napięcia dzielimy na stałe i zmienne. Napięcie, którego przebieg w funkcji czasu zmienia się zgodnie z zależnością:

$$u(t) = u(t + nT)$$

gdzie:  $t$  – bieżący czas,  $n$  – liczba całkowita,  $T$  – okres rozpatrywanego napięcia;

nazywamy napięciem okresowo zmiennym. Napięcia okresowe dzielą się na napięcia tętniące i przemienne. Szczególnym przypadkiem napięcia zmiennego jest napięcie sinusoidalne.

Charakterystycznymi parametrami przebiegu okresowego są:

- **Wartość chwilowa  $u = f(t)$**  to wartość napięcia w danej, konkretnej chwili czasowej; umożliwia ona określenie kształtu przebiegu napięcia lub prądu.

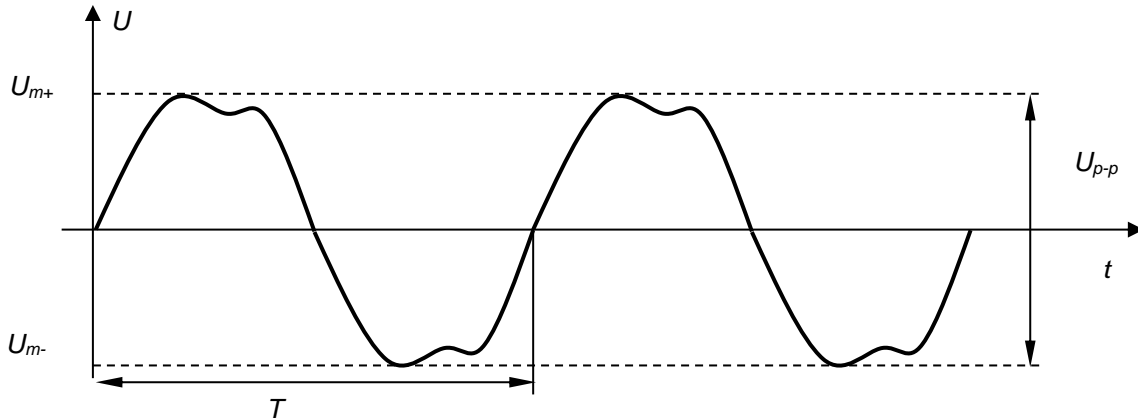
W przypadku przebiegów wolnozmiennych (przy częstotliwościach zmian nie większych niż ok. 0,1 Hz), jej wartość może być pomierzona za pomocą przyrządów do pomiaru napięcia lub natężenia prądu stałego.

Wartość chwilową napięcia zmiennego  $u(t)$  o kształcie sinusoidalnym określamy zależnością:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

gdzie:  $U_m$  – amplituda sygnału zmiennego,  $\omega$  - pulsacja,  $\varphi$  - faza początkowa.

- **Wartość maksymalna  $U_m$**  - inaczej wartość szczytowa lub amplituda należy do zbioru wartości chwilowych i określa jej największą chwilową wartość.



Rys. 1. Parametry charakteryzujące napięcie zmienne.

Rozważmy hipotetyczny przebieg napięcia przedstawiony na poniższym rysunku. Dla takiego przebiegu można zdefiniować następujące parametry napięciowe:

- **Amplituda połówki dodatniej**, czyli największa z wartości chwilowych przebiegu. Można ją opisać wzorem:

$$U_{m+} = \max [u(t)]$$

- **Amplituda połówki ujemnej**, czyli wartość bezwzględna najmniejszej z wartości chwilowych przebiegu:

$$U_{m-} = \min [u(t)]$$

- **Wartość międzyszczytowa**, definiowana jako suma amplitud połówki dodatniej i ujemnej, co odpowiada podwojonej amplitudzie, nazywanej napięciem „pik – pik” –  $U_{p-p}$  lub „szczyt – szczyt” -  $U_{s-s}$ .

$$U_{p-p} = U_{m+} + U_{m-}$$

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że dla przebiegów symetrycznych zachodzi równość:

$$U_m = U_{m+} = U_{m-} = U_{p-p} / 2$$

Jednocześnie dla przebiegów zmiennych o jednym rodzaju polaryzacji (albo dodatnich albo ujemnych) nie definiuje się parametrów  $U_{m+}$  i  $U_{m-}$ , zachodzi jednak równość:

$$U_m = U_{p-p}$$

- **Wartość średnia (average)**, którą generalnie definiuje się dla prądu przemiennego, jako taką jego wartość, która w tym samym czasie równym okresowi napięcia zmiennego w tym samym obwodzie przeniesie tę samą ilość ładunku elektrycznego, co prąd stały o tej samej wartości.

Zakładając, że obwód jest zamknięty, definicję tę można uogólnić także dla napięcia zmiennego.

Definicję tę można zapisać w sposób następujący:

$$I \cdot T = \int_0^T i(t) dt$$

$$\frac{U}{R} \cdot T = \int_0^T \frac{u(t)}{R} dt$$

$$U = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = U_{\text{sr}}$$

Wartość średnia napięcia jest średnią arytmetyczną przebiegu. Wartość średnia całokresowa przebiegu zmiennego (np. sinusoidalnego) jest równa zero, bowiem taki sam ładunek elektryczny przepłynie w kierunku dodatnim w ciągu jednej połowy okresu, jaki w ciągu drugiej połowy w kierunku ujemnym. Dlatego uśrednienie przebiegów zmiennych ogranicza się do połowy okresu:

$$U_{\text{sr}} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u(t) dt$$

Dla przebiegu sinusoidalnego:

$$u(t) = U_m \sin \omega t$$

wartość średnia wyniesie:

$$U_{\text{sr}} = \frac{2}{\pi} U_m = 0,637 U_m$$

Wartości średnie mają znaczenie przy rozpatrywaniu procesów prostowania prądu zmiennego na prąd tętniący, m.in. w przetwornikach pomiarowych. Przyrządy magnetoelektryczne prostownikowe najczęściej mierzą wartości średnie.

- **Wartość średnia jednopółkowa  $U_{\text{srI}}$  dla sygnałów zmiennych:**

$$U_{\text{srI}} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} u(t) dt$$

- **Wartość średnia dwupółkowa  $U_{\text{srII}}$  dla sygnałów zmiennych:**

$$U_{\text{srII}} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} u(t) dt$$

Wzór ten jest słuszny tylko w tych przypadkach, w których czas trwania półki dodatniej jest równy czasowi półki ujemnej oraz gdy obydwie półki mają ten sam kształt. W innym przypadku należy korzystać ze wzoru:

$$U_{\text{srII}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

Łatwo zauważyć, że dla przebiegów symetrycznych zmiennych spełniona jest zależność:

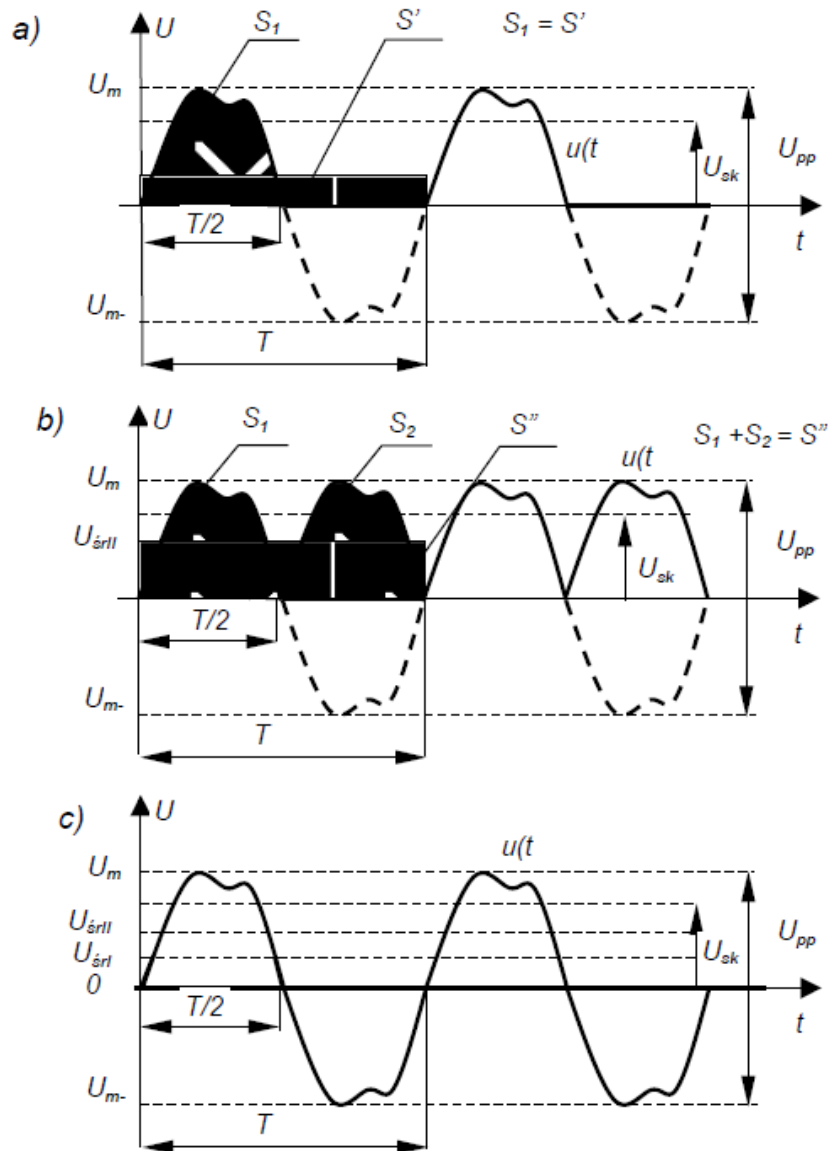
$$U_{\text{srII}} = 2 U_{\text{srI}}$$

Graficzną ilustrację wartości średniej wyprostowanej przedstawia rysunek 2. Można ją zinterpretować jako wysokość prostokąta o podstawie równej okresowi sygnału przemiennego i polu równym polu pod krzywą opisującą przebieg wyprostowany.

Dla przebiegu sinusoidalnie zmiennego wartość średnia przebiegu wyprostowanego (dwu- lub jednopółkowo) jest różna od zera i wynosi:

$$U_{\text{sr(d.p.)}} = \frac{1}{2\pi} \cdot 2 \int_0^{\pi} U_m \sin(\omega t) d\omega t = \frac{U_m}{\pi} \cdot (-\cos(\omega t)) \Big|_0^{\pi} = \frac{U_m}{\pi} \cdot [ -(-1) - (-1) ] = \frac{2}{\pi} U_m$$

$$U_{\text{sr(j.p.)}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{\pi} U_m \sin(\omega t) d\omega t = \frac{U_m}{2\pi} \cdot (-\cos(\omega t)) \Big|_0^{\pi} = \frac{U_m}{2\pi} \cdot [ -(-1) - (-1) ] = \frac{1}{\pi} U_m$$



Rys. 2. Graficzna interpretacja wartości średniej wyprostowanej: a) jednopółkowo, b) dwupółkowo; c) wartości charakteryzujące sygnał zmienny we wspólnym układzie współrzędnych.

- **Wartość skuteczna (effective, RMS – Root Mean Square)** sygnału okresowego o okresie  $T$ , jest to wartość równoważnego napięcia stałego, które na rezystorze  $R$ , w tym samym czasie, równym okresowi lub całkowitej krotności okresu napięcia zmiennego spowoduje wydzielenie takiej samej mocy, co napięcie zmienne.

Jest to więc wartość określająca parametry energetyczne przebiegu. Oznaczana jest ona jako  $U$  lub  $U_{sk}$ . Zakładając, że obwód jest zamknięty można zapisać:

$$I^2 \cdot R \cdot T = R \cdot \int_0^T i^2(t) dt$$

$$\frac{U^2}{R} \cdot T = \int_0^T \frac{u^2(t)}{R} dt$$

$$U = U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

Warto zauważyć, że podane definicje są prawdziwe tylko dla sygnałów okresowych, tzn. spełniających zależność:

$$\hat{u}(t) = u(t + T)$$

gdzie:  $u(t)$  - wartość chwilowa napięcia zdeterminowanego (sygnał nielosowy).

Dla napięcia sinusoidalnego wartość skuteczna jest równa:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m$$

Podobnie jak w przypadku wartości średniej należy pamiętać, że jest to zależność słuszna jedynie dla przebiegu sinusoidalnego. Dla innych kształtów przebiegów konieczne jest przeprowadzenie całkowania wg zależności definicyjnej.

Sygnał proporcjonalny do wartości skutecznej uzyskuje się na wyjściu przetworników pomiarowych elektromagnetycznych, elektrodynamicznych, oraz termoelektrycznych.

## 5. WOLTOMIERZE NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO

Dokładność pomiaru napięcia stałego za pomocą woltomierza jest ograniczona jedynie klasą przyrządu i stosunkiem jego rezystancji do rezystancji źródła mierzonego napięcia oraz wpływem zewnętrznych czynników zakłócających. **Na błąd pomiaru napięcia przemiennego składa się znacznie większa liczba składników.** Należy do nich między innymi:

- częstotliwość mierzonego napięcia;
- kształt mierzonego napięcia;
- charakter impedancji wejściowej woltomierza;
- stosunek impedancji wejściowej woltomierza do impedancji źródła;
- inne czynniki zakłócające.

Najliczniejszą grupę woltomierzy stanowią analogowe woltomierze elektromagnetyczne (nazwa ta określa budowę ustroju wychyłowego) oraz woltomierze elektroniczne analogowe i cyfrowe. Moment napędowy woltomierzy elektromagnetycznych jest proporcjonalny do kwadratu wartości skutecznej prądu, dlatego mogą mierzyć napięcia i prądy stałe i zmienne, a wpływ kształtu mierzonego napięcia na dokładność pomiaru jest praktycznie pomijalny. Ze względu na gorsze właściwości metrologiczne (m.in. mała czułość, duży pobór mocy), w porównaniu z innymi miernikami napięć i prądów zmiennych, są stosowane przede wszystkim w pomiarach energetycznych.

Woltomierze analogowe elektroniczne są obecnie wykonywane najczęściej w oparciu o ustrój magnetoelektryczny (ME) oraz wzmacniacz elektroniczny. Mierniki takie służą do pomiaru napięcia stałego, a jeśli są wyposażone w odpowiedni przetwornik AC/DC to można je wykorzystywać także do pomiarów napięć zmiennych. Rolą **przetwornika AC/DC** (ang. Alternating Current/Direct Current) jest zamiana zmiennej w czasie wielkości wejściowej (mierzonej) na wielkość stałą proporcjonalną do jednej z opisujących wielkość zmienną wartości charakterystycznych. Są nimi najczęściej wartość średnia, skuteczna lub szczytowa – stąd nazwy przetworników AC/DC: wartości średniej, skutecznej i szczytowej.

Woltomierze cyfrowe są przeznaczone do pomiaru napięcia stałego oraz, po wyposażeniu w odpowiedni przetwornik AC/DC, również napięcia zmiennego. Woltomierze cyfrowe osiągają większe dokładności niż woltomierze analogowe. Jednak na obecnym poziomie rozwoju techniki dokładność tych mierników jest nadal ograniczona przede wszystkim przez część analogową przyrządu.

Niezależnie od zastosowanego rodzaju przetwornika AC/DC woltomierze analogowe i cyfrowe wzorcuje się w większości przypadków przebiegiem sinusoidalnym i opisuje w wartościach skutecznych tego przebiegu. Woltomierze takie wykorzystywane do pomiarów napięć o przebiegach różniących się od sinusoidy, mierzą więc z błędami dodatkowym, którego wartość zależy przede wszystkim od rodzaju zastosowanego przetwornika AC/DC. Błędy te są błędami o charakterze systematycznym i przy znanym kształcie mierzonego napięcia można je usunąć za pomocą odpowiednich poprawek. Ich wykorzystanie w pomiarach napięć o kształtach odbiegających od sinusoidalnych powinno być zatem związane ze stosowaniem poprawek eliminujących powyższe błędy.

Coraz częściej jednak do pomiarów wartości skutecznej napięć zmiennych sinusoidalnych i napięć o innym kształcie stosuje się przyrządy cyfrowe z nowoczesnymi przetwornikami AC/DC wartości skutecznej, które bardzo dokładnie wykonują operację podnoszenia do kwadratu napięcia wejściowego (zgodnie z wymogiem wprowadzonym przez zależność definicyjną. Stosowana w ich przypadku nazwa handlowa TRUE RMS (true root mean square – prawdziwa wartość skuteczna) wskazuje wówczas jednoznacznie na brak konieczności wyznaczania poprawek na kształt mierzonego napięcia.

Większość elektronicznych przyrządów analogowych i cyfrowych mierzy tylko wartość składowej zmiennej. Jeżeli mierzony przebieg zmienny zawiera również składową stałą, to w celu wyznaczenia

wartości skutecznej takiego przebiegu należy zmierzyć składową stałą woltomierzem napięcia stałego, a następnie wartość skuteczną składowej zmiennej i dopiero wtedy dokonać obliczenia wartości całkowitej.

Woltomierze elektroniczne analogowe i cyfrowe posiadają dużą impedancję wejściową, rzędu  $10^6 \Omega$  i więcej oraz szeroki zakres częstotliwościowy. Praktycznie nie pobierają mocy z obwodu kontrolowanego.

Na rynku występuje duża liczba różnych konstrukcji woltomierzy oferowanych przez rozmaitych producentów. Każdy eksperymentator przystępując do rozwiązania zadania pomiarowego powinien umieć dobrać woltomierz do zadania pomiarowego. Innymi słowy istnieje konieczność określenia zdolności woltomierza do wykonania zadania pomiarowego. Aby móc tego dokonać należy przyjąć jakieś wspólne wymagania dla wszystkich woltomierzy. Do podstawowych parametrów woltomierzy należą:

- zakres pomiarowy,
- dokładność,
- zakres częstotliwości mierzonego napięcia,
- typ przetwornika napięcia zmiennego na stałe (AC/DC),
- rezystancja (impedancja) wejściowa,
- charakter podziałki (równomierna lub nierównomierna),
- czułość i stała podziałki,
- zdolność rozdzielcza (rozdzielczość).

Oczywiste jest, że idealny woltomierz powinien mieć szeroki zakres pomiarowy, dużą dokładność, jak najszerszy zakres częstotliwości, dużą rezystancję (w woltomierzach napięcia zmiennego reaktancja powinna być równa zero), równomierną podziałkę, dużą czułość i rozdzielczość, znaczną odporność na przeciążenie i zakłócenia, a przetwornik AC/DC najlepiej żeby był przetwornikiem wartości skutecznej. Osoba dokonująca wyboru woltomierza do zadania pomiarowego powinna znać sposób określania poszczególnych parametrów woltomierzy oraz powód ograniczeń, jakie stoją przed ich dowolnym podwyższaniem.

**Zakres pomiarowy** nominalny (znamionowy) – jest definiowany, jako różnica między największą i najmniejszą wartością, którą danym woltomierzem można zmierzyć. Zakres nominalny woltomierza najczęściej oznaczany jest jako  $U_N$ . Bardzo często parametr ten podaje się tylko za pomocą wartości największego wskazania (ze względu na to, że wartość najmniejsza jest zwykle bliska zeru). Zakres pomiarowy jest ograniczony od dołu rozdzielczością i dokładnością przyrządu oraz poziomem szumów własnych i innych zakłóceń. Od góry zakres pomiarowy jest ograniczony odpornością energetyczną elementów użytych do jego konstrukcji (szczególnie obwodów wejściowych – wejściowy dzielnik napięcia, wzmacniacz wejściowy, ewentualnie przetwornik AC/DC, jeżeli występuje na wejściu woltomierza). Obecnie woltomierzami dokonuje się pomiarów napięcia od nanowoltów (nanowoltomierze selektywne) do około tysiąca woltów. Istnieje możliwość zwiększania górnej granicy zakresu pomiarowego przez:

- włączanie szeregowo do woltomierza rezystorów dodatkowych o znanej wartości zwanych posobnikami (do kilku kilowoltów), np. zastosowanie posobnika o rezystancji równej rezystancji wejściowej woltomierza zwiększa jego zakres pomiarowy dwukrotnie;
- zastosowanie przekładników napięciowych (do kilkuset kilowoltów), które są bardzo dokładnie wykonanymi transformatorami obniżającymi napięcie oraz dzielników napięć i tłumików (attenuatorów) – od kilku do kilkuset woltów.

**Dokładność** – jest pojęciem jakościowym a nie ilościowym. Do ilościowego określenia tego parametru stosuje się parametr nazywany klasą dokładności przyrządu pomiarowego (przyrządy analogowe elektryczne i elektroniczne) lub błąd podstawowy przyrządu pomiarowego (przyrządy cyfrowe i analogowe elektroniczne). U źródeł ograniczonej dokładności przyrządów leży brak powtarzalności parametrów elementów wykorzystanych przy konstrukcji woltomierzy, nieliniowość charakterystyk przetwarzania kolejnych bloków funkcjonalnych woltomierzy itp.

**Zdolność rozdzielcza** (rozdzielczość) – jest to najmniejsza różnica wartości wielkości mierzonej powodująca rozróżnialną zmianę wskazania przyrządu (dla przyrządów cyfrowych odpowiada to zmianie wskazania o najmniej znaczącą cyfrę). Rozdzielczość jest podawana w jednostkach wielkości mierzonej a w przypadku przyrządów cyfrowych może być podana w postaci liczby cyfr wyświetlacza, za pomocą których jest zobrazowywany wynik pomiaru.