

MULTIMETR CYFROWY

1. CEL ĆWICZENIA:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania, obsługą i możliwościami multimetrów cyfrowych.

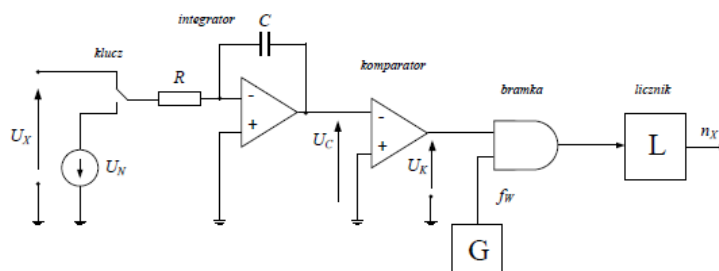
2. WPROWADZENIE:

Współczesna technologia elektroniczna pozwala na budowę uniwersalnych przyrządów pomiarowych – multimetrów cyfrowych (ang. *Digital MultiMeter* - DMM). W multimetrach cyfrowych analogowy sygnał mierzony jest przetwarzany poprzez przetwornik A/C na sygnał cyfrowy. Sygnał ten podlega dalszemu przetwarzaniu w układach cyfrowych, po czym obliczona wartość wielkości mierzonej jest wyświetlana na polu odczytowym. Multimetry cyfrowe umożliwiają pomiary wielu wielkości elektrycznych i nieelektrycznych. Są to z reguły napięcia stałe i zmienne, prądy stałe i zmienne oraz rezystancja i pojemność elektryczna. Dodatkowo możliwe są pomiary częstotliwości oraz testy ciągłości obwodu, testy diod półprzewodnikowych i tranzystorów, pomiary natężenia dźwięku, natężenia światła i inne. Multimetry cyfrowe charakteryzują się względnie prostą konstrukcją mechaniczną. Do ich budowy wykorzystuje się masowo produkowane elementy elektroniczne, co przyczynia się do stosunkowo niskiej ceny takich multimetrów. Przetwarzanie wielkości mierzonej na postać cyfrową umożliwia łatwe zapamiętywanie wyników pomiarów, ich przetwarzanie w multimetrze oraz przesyłanie, np. za pomocą łącza USB, do systemów mikroprocesorowych w celu dalszej obróbki. Wiele multimetrów cyfrowych posiada automatyczny dobór zakresu pomiarowego, automatyczną detekcję biegunowości w pomiarach napięć i prądów stałych oraz zabezpieczenia przed przekroczeniem zakresu. Czyni to z multimetru cyfrowego narzędzie łatwe w obsłudze i bezpieczne. Do wad multimetrów cyfrowych można zaliczyć konieczność zasilania oraz cyfrowy sposób prezentacji wyniku pomiaru. Taki sposób prezentacji utrudnia śledzenie zmian wielkości mierzonej. W przyrządach analogowych można zaobserwować ruch wskazówki, w przyrządach cyfrowych zmiany wielkości mierzonej wywołują ciągłą zmianę wyświetlanej wartości liczbowej trudną do zinterpretowania przez obserwatora. Multimetry często wyposaża się w tzw. linijkę (ang. *bargraph*) obrazującą zmiany wyniku pomiaru.

2.1. Przetworniki analogowo-cyfrowe wykorzystywane w multimetrach

Sercem każdego multimetru cyfrowego jest przetwornik analogowo - cyfrowy. W większości multimetrów cyfrowych wykorzystuje się przetworniki z podwójnym całkowaniem, oraz coraz częściej, multimetry z przetwornikami typu sigma - delta.

Przetworniki z podwójnym całkowaniem Na rys.1 przedstawiono schemat blokowy przetwornika z podwójnym całkowaniem.



Rys.1 Schemat blokowy przetwornika z podwójnym całkowaniem

Przetwarzanie w omawianym przetworniku odbywa się w dwóch fazach.

Faza 1:

W chwili czasowej $t=0$ do układu całkującego (integratora) dołączone jest mierzone napięcie stałe U_X . Napięcie wyjściowe integratora $u_{C1}(t)$ ma przebieg czasowy opisany równaniem:

$$u_{C1}(t) = k \int U_X dt \quad (1)$$

gdzie: $k=1/RC$ – stała integratora.

Ponieważ napięcie U_X jest napięciem stałym, napięcie wyjściowe integratora $u_{C1}(t)$ jest napięciem liniowo narastającym w czasie:

$$u_{C1}(t) = k \int U_X dt = kU_X t \quad (2)$$

Faza pierwsza trwa ściśle określony odstęp czasu T_N , po którym, w chwili $t = t_N$ napięcie na wyjściu integratora ma wartość równą:

$$u_{C1}(t_N) = k \int_0^{t_N} U_X dt = kU_X t_N = kU_X T_N \quad (3)$$

Faza 2:

Układ sterujący przetwornika w chwili $t = t_N$ przełącza klucz, co powoduje dołączenie napięcia wzorcowego U_N do wejścia integratora. Jest to początek fazy 2-giej. Napięcie U_N jest odwrotnie spolaryzowane w stosunku do napięcia mierzonego U_X . Napięcie wyjściowe integratora w fazie 2-giej $u_{C2}(t)$ ma postać:

$$u_{C2}(t) = -k \int U_N dt + kU_X t_N \quad (4)$$

Całkowanie trwa do chwili $t = t_X$, w której napięcie wyjściowe integratora osiągnie wartość zerową. Osiągnięcie poziomu zerowego wykrywane jest przez komparator. Można wówczas napisać następującą zależność:

$$u_{C2}(t_X) = -k \int_{t_N}^{t_X} U_N dt + kU_X T_N \quad (5)$$

Odstęp czasu pomiędzy chwilami t_N i t_X oznaczmy jako T_X . Równanie (5) można wtedy zapisać następująco:

$$-k \int_{t_N}^{t_X} U_N dt + kU_X T_N = -kU_N (t_X - t_N) + kU_X T_N = -kU_N T_X + kU_X T_N = 0 \quad (6)$$

Z zależności powyższej można wyznaczyć wartość mierzonego napięcia w funkcji odstępu czasu T_X :

$$U_X = T_X \frac{T_N}{U_N} \quad (7)$$

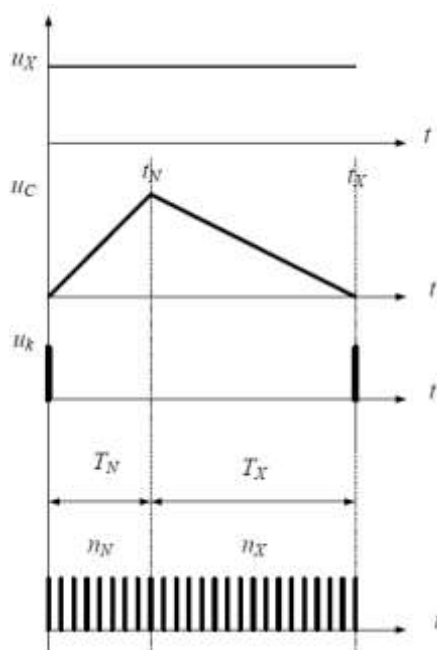
Bramka B jest otwierana na początku fazy 1-szej i zamykana na zakończenie fazy 2-giej na czas $T_N + T_X$. Liczba impulsów, które przejdą przez bramkę w czasie T_N jest dobrana tak, aby w chwili t_N następowało przepełnienie licznika. Od tej chwili licznik zaczyna ponownie zliczać impulsy od zera, zaś zliczanie zatrzymuje się w chwili t_X . Generator wzorcowy wytwarza impulsy o wzorcowym odstępie T_W , zatem odstęp czasu T_X jest równy:

$$T_X = n_X T_W \quad (8)$$

Po uwzględnieniu równania (7) w równaniu (8) otrzymujemy:

$$U_X = n_X U_N \frac{T_W}{T_N} = \text{const} \cdot n_X \quad (9)$$

Z równania (9) wynika, że liczba impulsów zliczonych przez licznik jest proporcjonalna do wartości napięcia mierzonego. Wartość może być wyświetlona bezpośrednio na wyświetlaczu multimetru lub też może być poddana dalszemu przetwarzaniu. Przebiegi czasowe w przetworniku z podwójnym całkowaniem pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Przebiegi czasowe w przetworniku z podwójnym całkowaniem

Właściwości przetwornika z podwójnym całkowaniem są następujące:

- umożliwia wyłącznie pomiar napięcia stałego;
- jest stosunkowo niedrogi;
- charakteryzuje się dobrą stabilnością czasową;
- jest odporny na zakłócenia sieciowe;
- jest stosunkowo wolny (czas przetwarzania zwykle wynosi od 100 do 300 ms).

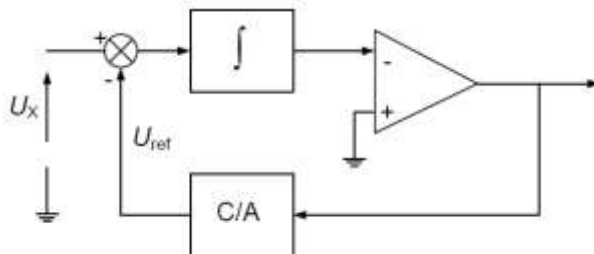
Dwie ostatnie cechy wynikają z następujących przesłanek: zwykle mierzonym napięciom stałym towarzyszą zakłócenia okresowe o częstotliwości sieciowej (w Europie 50 Hz, w Stanach Zjednoczonych 60 Hz). Jeżeli czas pierwszej fazy całkowania zostanie dobrany jako wielokrotność okresu przebiegu zakłócającego, wówczas po czasie pierwszego całkowania wartość napięcia wyjściowego układu całkującego będzie taka sama jak dla przebiegu bez zakłóceń – zakłócenie nie wpłynie na wynik pomiaru. Czas całkowania w fazie 1 dobiera się jako krotność okresu przebiegu zakłócającego odpowiednio 20 ms (dla częstotliwości 50 Hz) lub 16,67 ms (dla częstotliwości 60 Hz). Dobór czasu całkowania równego 100 ms, stanowiącego krotność zarówno 20 jak i 16,67 ms, pozwala na wyeliminowanie wpływu zakłóceń o częstotliwości 50 Hz oraz 60 Hz.

Przetworniki typu sigma-delta

Przetworniki typu sigma-delta, zwane również przetwornikami z próbkowaniem nadmiarowym, składają się z dwóch zasadniczych bloków: modulatora i filtra cyfrowego. Próbkowanie nadmiarowe oznacza próbkowanie z częstotliwością znacznie większą od wymaganej dla prawidłowego odtworzenia przebiegu (zgodnie z twierdzeniem Shannona – Kotelnikowa częstotliwość próbkowania powinna być przynajmniej dwukrotnie większą od najwyższej częstotliwości występującej w widmie sygnału próbkowanego). Modulator, którego schemat jest podobny do przetwornika z podwójnym całkowaniem, zawiera integrator oraz komparator objęte pętlą sprzężenia zwrotnego, w której znajduje się 1-bitowy przetwornik cyfrowo – analogowy. Modulator próbuje nadmiarowo sygnał wejściowy i przetwarza na ciąg bitów o częstotliwości znacznie większej niż wymagana częstotliwość próbkowania. Filtr wyjściowy przetwarza ciąg bitów na ciąg słów cyfrowych. Przetworniki typu sigma - delta charakteryzują się

- dużą szybkością przetwarzania,
- małymi szumami kwantyzacji na skutek zastosowania filtracji cyfrowej,
- dużą rozdzielczością,
- dużą dokładnością,
- niskim kosztem.

Przetworniki typu sigma – delta szczególnie nadają się do zastosowań, w których wymagane jest przetworzenie sygnałów stałych i zmiennych o częstotliwości nie przekraczającej 1 MHz. Schemat blokowy modulatora sigma – delta przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Schemat blokowy modulatora sigma – delta.

2.2. Funkcje multimetru cyfrowego:

Pomiar napięcia stałego

Mierzone napięcie stałe podawane jest na wejście układu wejściowego zawierającego wzmacniacze i dzielniki dopasowujące napięcie wejściowe do zakresu przetwornika A/C. Najniższy zakres multimetru cyfrowego w pomiarach napięcia stałego wynosi zwykle 100 lub 200 mV, najwyższy 1000 V. Rezystancja wejściowa ma typową wartość rzędu 10 MΩ.

Pomiar napięcia przemiennego

Pomiar napięcia przemiennego w multimetrze cyfrowym odbywa się na ogół poprzez przetworzenie napięcia przemiennego na napięcie stałe proporcjonalne do wartości skutecznej napięcia wejściowego. Następnie dokonuje się pomiaru wspomnianego napięcia stałego. Multimetry cyfrowe wykorzystują różne metody pomiaru wartości skutecznej. Najczęściej spotykanymi metodami pomiaru wartości skutecznej są:

- **Metoda *true rms***, w której wartość skuteczna U_{SK} przebiegu u jest wyznaczana przez multimetr zgodnie z równaniem definicyjnym:

$$U_{SK} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad (10)$$

- Zazwyczaj stosuje się próbkowanie sygnałów i obliczanie pierwiastka ze średniej sygnału podniesionego do kwadratu. Tego typu woltomierze mogą być wykorzystane do pomiaru wartości skutecznych przebiegów o dowolnym kształcie.
- **Metoda uśredniania**, która wykorzystuje zależność między wartością średnią wyprostowanego przebiegu a jego wartością skuteczną:

$$U_{SK} = k \frac{1}{T} \int_0^T |u| dt \quad (11)$$

gdzie k – współczynnik kształtu.

- Woltomierze z uśrednianiem wykorzystują zazwyczaj prostowanie dwupołówkowe. Przeznaczone są do pomiaru wartości skutecznej przebiegów sinusoidalnych, dla których współczynnik kształtu k ma wartość 1,11. Zastosowanie woltomierza tego typu do pomiaru wartości skutecznych przebiegów o innych kształtach, a co za tym idzie współczynnikach kształtu innych od 1,11, prowadzi do znacznych błędów pomiaru
- **Metoda szczytowa**: wartość skuteczna wyznaczana jest na podstawie zmierzonej wartości szczytowej U_M w następujący sposób:

$$U_{SK} = k \frac{1}{\sqrt{2}} U_M \quad (12)$$

Omawiana metoda pozwala na pomiar wartości skutecznej wyłącznie przebiegów sinusoidalnych.

Najniższy zakres multimetru cyfrowego w pomiarach napięcia przemiennego wynosi zwykle 100 lub 200 mV, najwyższy 750 V. Rezystancja wejściowa ma typową wartość rzędu 10 MΩ, pojemność wejściowa jest rzędu 100 pF.

Pomiar prądu stałego i przemiennego

Pomiar prądu stałego i zmiennego realizuje się w multimetrach cyfrowych poprzez pomiar spadku napięcia na rezystorze wzorcowym, tzw. boczniku. Wartość rezystora wzorcowego decyduje o rezystancji wejściowej multimetru pracującego jako amperomierz. Typowe zakresy w pomiarach prądów zawierają się w granicach 10 μA do 20 A.

Pomiar rezystancji

Pomiar rezystancji w multimetrach cyfrowych realizuje się na ogół poprzez pomiar spadku napięcia na badanej rezystancji zasilanej stabilizowanym prądem stałym. Typowe zakresy multimetru wykorzystywanego jako omomierz mieszczą się w granicach od 10 Ω do 1 MΩ.

Pomiary wielkości nieelektrycznych

Pomiary wielkości nieelektrycznych w multimetrach cyfrowych realizuje się poprzez pomiar sygnałów wyjściowych lub parametrów przetworników wielkości nieelektrycznych na elektryczne, którymi są najczęściej napięcie lub rezystancja. Zmierzona wartość jest wyświetlana na polu odczytowym.

3. PROGRAM ĆWICZENIA

1. Zapoznać się z zasadami bezpieczeństwa obsługi przyrządów.
2. Zaznajomić się z płytami czołowymi multimetrów Rigol DM3058 i Sanwa CD771. Zlokalizować odpowiednie gniazda i przełączniki.
3. Po uzyskaniu zgody prowadzącego włączyć multimetry i zapoznać się z funkcjami przycisków i pokręteł obydwu multimetrów, w razie potrzeby posługując się instrukcjami obsługi oraz ewentualnie funkcją HELP przyrządu. Wyłączyć multimetry.
4. Realizując kolejne punkty programu ćwiczenia pamiętać o narysowaniu szkicu układu pomiarowego!
5. Za pomocą kabla koncentrycznego z wtykiem BNC oraz 2 wtykami 4 mm (tzw. wtyki bananowe) połączyć wyjście generatora funkcyjnego z gniazdami wejściowymi pomiaru napięcia multimetru Rigol DM3058. Zwrócić uwagę na sposób dołączanie przewodu do gniazda BNC – wtyk przewodu należy nasunąć na gniazdo, lekko wcisnąć i przekręcić w prawo, w razie potrzeby przytrzymując przyrząd. Odłączenie przewodu należy wykonać lekko wciskając wtyk, a następnie po przekręceniu w lewo wysuwając go z gniazda. Przewodami z wtykami 4 mm dołączyć równolegle multimetr Sanwa CD771. Wybrać w obydwu multimetrach funkcję pomiaru napięcia przemiennego. Załączyć generator i dobrać nastawę generatora tak, aby wytwarzał on przebieg sinusoidalny o częstotliwości 50 Hz, amplitudzie 1 V i składowej stałej (tzw. offsetu) równej 0. Odczytać i zanotować wskazania multimetrów.
6. Zmienić kształt przebiegu generatora na prostokątny. Odczytać i zanotować wskazania multimetrów.
7. Zmienić kształt przebiegu generatora na sinusoidalny. Zmienić wartość składowej stałej na 1 V. Odczytać i zanotować wskazania multimetrów.
8. Wybrać funkcję pomiaru napięcia stałego. Dobrać nastawę generatora tak, aby wytwarzał on wyłącznie składową stałą równą 1 V. Odczytać i zanotować wskazania multimetrów.
9. Nie zmieniając funkcji pomiaru napięcia stałego dobrać nastawę generatora tak, aby wytwarzał on przebieg sinusoidalny o częstotliwości 50 Hz o amplitudzie 1 V i składową stałą równą 1 V. Odczytać i zanotować wskazania multimetrów.
10. Zmienić częstotliwość generatora na 45 Hz i obserwować zachowanie wskazania multimetru.
11. Za pomocą kabla koncentrycznego z wtykiem BNC oraz 2 wtykami 4 mm połączyć wyjście generatora funkcyjnego z gniazdami wejściowymi płytki z rezystorem 1000 Ω . Przewodami z wtykami 4 mm dołączyć do wyjścia płytki szeregowo obydwa multimetry. Wybrać w obydwu multimetrach funkcję pomiaru prądu przemiennego. Załączyć generator i dobrać nastawę generatora tak, aby wytwarzał on przebieg sinusoidalny o częstotliwości 50 Hz, amplitudzie 5 V i składowej stałej równej 0. Odczytać i zanotować wskazania multimetrów.
12. Wybrać funkcję pomiaru prądu stałego. Dobrać nastawę generatora tak, aby wytwarzał on wyłącznie składową stałą równą 5 V. Odczytać i zanotować wskazania multimetrów.
13. Do zacisków multimetrów umożliwiających pomiar rezystancji dołączyć za pomocą kabli 4 mm z chwytakami wybrane rezystory. Odczytać i zanotować wynik pomiaru rezystancji.

4. OPRACOWANIE SPRAWOZDANIA

1. Przedstawić cel ćwiczenia.
2. W każdym z poniższych punktów sprawozdania zamieścić schematy realizowanych układów pomiarowych! Na schematach wskazać typy użytych przyrządów.
2. Oszacować niepewność pomiaru napięcia sinusoidalnego (wykonanych zgodnie z pkt. 5 programu ćwiczenia) wykorzystując dane zawarte w instrukcji obsługi. Porównać wyniki otrzymane dla obydwu przyrządów.
3. Porównać wyniki otrzymane dla przebiegu prostokątnego dla obydwu przyrządów (pkt. 6 programu). Wskazać na przyczynę różnic.
4. Porównać wyniki pomiarów napięcia przemiennego (otrzymane w punktach 5 i 7 programu ćwiczenia) obydwoma przyrządami. Ocenić wpływ składowej stałej na wynik pomiaru wartości skutecznej napięcia przemiennego.
5. Dla wyników pomiaru otrzymanych zgodnie z pkt. 8 programu ćwiczenia oszacować niepewność pomiaru napięcia stałego zgodnie z danymi zawartymi w instrukcjach obsługi. Porównać wyniki otrzymane dla obydwu przyrządów.
6. Porównać wyniki pomiarów obydwoma przyrządami otrzymane w punktach 8 i 9 programu ćwiczenia. Ocenić wpływ składowej zmiennej na wynik pomiaru napięcia stałego.
7. Porównać wyniki otrzymane w punktach 8 i 10 programu ćwiczenia. Ocenić zdolność filtrowania sygnału zakłócającego przez obydwu przyrządy.
8. Oszacować niepewność pomiaru prądu sinusoidalnie przemiennego (wykonanych zgodnie z pkt. 11 programu ćwiczenia) wykorzystując dane zawarte w instrukcji obsługi. Porównać wyniki otrzymane dla obydwu przyrządów.
9. Oszacować niepewność pomiaru prądu sinusoidalnie przemiennego (wykonanych zgodnie z pkt. 12 programu ćwiczenia) wykorzystując dane zawarte w instrukcji obsługi. Porównać wyniki otrzymane dla obydwu przyrządów.
10. Oszacować niepewność pomiaru rezystancji (wykonanych zgodnie z pkt. 13 programu ćwiczenia) wykorzystując dane zawarte w instrukcji obsługi. Porównać wyniki otrzymane dla obydwu przyrządów.
11. Skomentować uzyskane wyniki pomiarowe. Ocenić wpływ składowej stałej oraz kształtu przebiegów w pomiarach wartości skutecznej napięcia i prądu. Ocenić wpływ składowej przemiennnej w pomiarach napięcia i prądu stałego. Skomentować możliwe problemy występujące w pomiarach rezystancji. Ocenić wpływ przewodów pomiarowych na błąd pomiaru rezystancji. Przedstawić własne uwagi i spostrzeżenia w trakcie pomiarów multimetrami. Porównać oba multimetry pod względem ich funkcjonalności, dokładności i łatwości obsługi. Ocenić przydatność multimetrów do typowych pomiarów w praktyce.

5. PYTANIA KONTROLNE:

1. Co to jest multimetr cyfrowy?
2. Omówić zasadę działania przetwornika z podwójnym całkowaniem.
3. Wymienić podstawowe cechy przetwornika z podwójnym całkowaniem.
4. Wymienić podstawowe funkcje multimetrów cyfrowych.
5. Dlaczego wskazanie wartości skutecznej przebiegów prostokątnych w niektórych multimetrach jest o 11% większe niż w innych?
6. Jak oszacować niepewność pomiaru multimetrem cyfrowym?

6. LITERATURA:

- [1] Tumański S.: *Technika pomiarowa*. Wydawnictwo WNT, Warszawa 2018.
- [2] Stabrowski M.: *Cyfrowe przyrządy pomiarowe*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002
- [3] Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: *Metrologia elektryczna*. Wydawnictwo WNT, Warszawa 2014.
- [4] SANWA CD771 Digital Multimeter Instruction Manual.
- [5] RIGOL DM3058/DM3058E Digital Multimeter User's Guide.

v.3/2024

Opracował: dr hab. inż. Adam Cichy