

| | | | |
|---|-------------------|--------------------------------------|--|
| Termin zajęć Poniedziałek - TN – 13:15 | | Miernictwo II | |
| Osoby wykonujące ćwiczenie: Andrzej Szyper Piotr Przychodzeń | | Grupa nr: 4 | |
| Tytuł ćwiczenia: POMIAR SYGNAŁÓW PRZEMIENNYCH I IMPULSOWYCH | | Ćwiczenie nr: 5 | |
| Data wykonania ćwiczenia | 24-03-2025 | Ocena: | |
| Data oddania sprawozdania | 06-04-2025 | | |

Oświadczam, że zapoznałem/łam się ze niniejszym sprawozdaniem i uważam je za poprawnie wykonane:

Piotr Przychodzeń

Andrzej Szyper

.....

.....

Oświadczam/y iż poniższe sprawozdanie zostało wykonane przeze mnie/nas samodzielnie:

Piotr Przychodzeń

Andrzej Szyper

.....

.....

CELE ĆWICZENIA:

- Zapoznanie się z podstawowymi parametrami woltomierzy i amperomierzy AC (z różnymi typami przetworników).
- Rozpoznawanie i prawidłowe stosowanie pojęć: amplituda, napięcie międzyszczytowe, wartość średnia, średnia z modułu, wartość skuteczna.
- Analiza parametrów typowych sygnałów sinus, prostokąt, trójkąt
- Właściwości i zastosowanie przebiegów o modulowanej szerokości impulsów (PWM)
- Umiejętność szacowania niepewności pomiarów.

WYPOSAŻENIE POMIAROWE:

- Generator sygnałowy
- Mierniki prądu i napięcia – w zależności od konfiguracji stanowiska:
 - multimetr HP 3478A
 - multimetr Meratronik V560
- Oscyloskop (do podglądu mierzonych przebiegów)
- Generator PWM z driverem i obciążeniem regulowanym

Dokumentacja mierników:

| <u>3.2. Pomiar napięć przemiennych</u> | |
|---|---|
| - podzakresy | 100 mV, 1 V, 10 V, 100 V, 1000 V |
| - maks. napięcie mierzone | 650 V / $U \times f \leq 2 \times 10^7$ |
| - uchyb pomiaru w zakresie częstotliwości | |
| 30 Hz ... 10 kHz | $\pm 0,5\%$ w.m. $\pm 0,2\%$ w.z. |
| 10 kHz ... 100 kHz | $\pm 5\%$ w.m. $\pm 0,5\%$ w.z. |

| <u>3.1. Pomiar napięć stałych</u> | |
|--|--|
| - podzakresy | 100 mV, 1 V, 10 V, 100 V, 1000 V |
| - maks. napięcie mierzone | 650 V |
| - uchyb pomiaru | |
| podzakresy 100 mV i 1 V | $\pm 0,1\%$ w.m. $\pm 0,05\%$ w.z. |
| podzakresy 10 V, 100 V, 1000 V | $\pm 0,2\%$ w.m. $\pm 0,05\%$ w.z. |
| - prąd wejściowy | 500 pA |
| - rezystancja wejściowa | 10 M Ω $\pm 1\%$ |
| - tłumienie zakłóceń równoległych z rezystancją 1 k Ω w obwodzie zacisku "LO" | 80 dB dla napięcia stałego i napięcia o częstotliwości sieci zasilającej / 50 Hz $\pm 1\%$ |
| - czas ustalania się wskazań | 3 s |

Rys. 1 Dokumentacja niepewności miernika Meratronik V560

Measurement Accuracy:

\pm (% of reading + number of counts)

Auto-zero ON. 5½ digit display. Accuracy is specified for sine-wave inputs only, > 10% of full scale.

1 Year, Cal. Temp. $\pm 5^{\circ}\text{C}$

| Input Frequency | 300mV | Ranges 3V, 30V | 300V |
|-----------------|------------|---------------------------------|------------|
| 20Hz-50Hz | 1.14 + 163 | 1.14 + 102 | 1.18 + 102 |
| 50Hz – 100Hz | 0.46 + 163 | 0.46 + 103 | 0.50 + 102 |
| 100Hz – 20kHz | 0.20 + 120 | 0.20 + 70 | 0.24 + 70 |
| 20kHz – 50kHz | 0.38 + 205 | 0.26 + 140 | 0.42 + 140 |
| 50kHz – 100kHz | 1.20 + 840 | 0.87 + 780 | 0.98 + 780 |
| 100kHz – 300kHz | | 10.1 + 3720 (30V Range Only) | |

Rys 2. Dokumentacja niepewności miernika HP 3478A dla napięcia prądów przemiennych

Measurement Accuracy:

\pm (% of reading + number of counts)

Auto-zero ON

5½ Digit Mode:

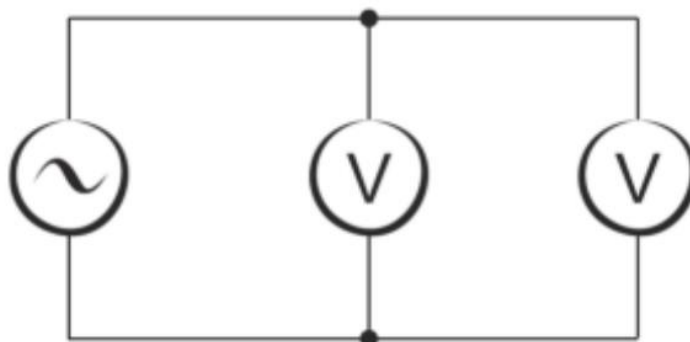
| Range | Cal. Temp $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 24 Hours | Cal. Temp. $\pm 5^{\circ}\text{C}$ | |
|-------|--|---------------------------------------|------------|
| | | 90 Day | 1 Year |
| 30mV | 0.025 + 40 | 0.0275 + 40 | 0.035 + 40 |
| 300mV | 0.004 + 4 | 0.005 + 5 | 0.007 + 5 |
| 3 V | 0.003 + 2 | 0.004 + 2 | 0.006 + 2 |
| 30 V | 0.004 + 3 | 0.005 + 4 | 0.007 + 4 |
| 300 V | 0.004 + 2 | 0.005 + 2 | 0.007 + 2 |

Rys 3. Dokumentacja niepewności miernika HP 3478A dla napięcia prądów stałych

ZADANIE 1 - POMIAR NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO

Zestawienie układu pomiarowego.

Pomiar odbywa w układzie jak na poniższym rysunku – źródłem sygnału jest generator funkcyjny, do którego wyjścia dołączone są multimetry i oscyloskop do podglądu sygnału.



Rys. 4. Schemat pomiarowy

Przebieg pierwszego pomiaru:

Na generatorze ustawiono typ sygnału na sygnał sinusoidalny o napięciu zgodnym ze wskazówkami prowadzącego – 3Vpp i częstotliwości 50Hz. Wykonano pomiar wszystkimi wskazanymi miernikami. Zapisano wartości. Zmieniono napięcie sygnału na kolejne wartości: 1Vpp, 2Vpp, 5Vpp, 10Vpp, 20Vpp. Zapisano i porównano wskazania poszczególnych mierników. Pomiary wykonano dla różnych zakresów mierników (3478A – 3V, 30V, 300V; V560 – 10V, 100V, 1000V).

Tab.1 Pomiar napięcia sinusoidalnego dla różnych wartości wejściowych i różnych zakresów mierników

| Częstotliwość [Hz]: 50 | | | | | | | |
|--|-----------------------------|----------------|------------|--------------|----------------|------------|--|
| Wartość międzyszczytowa Upp [V] = 2*Umax | Miernik HP 3478A (True RMS) | | | Miernik V560 | | | Wartość oczekiwana RMS [V] = Umax/√2 : |
| | napięcie [V] | niepewność [V] | zakres [V] | napięcie [V] | niepewność [V] | zakres [V] | |
| 3 | 1.06478 | 0.00760 | 3 | 1.067 | 0.015 | 10 | 1.06066 |
| | 1.0658 | 0.01290 | 30 | 1.07 | 0.119 | 100 | |
| | 1.079 | 0.06624 | 300 | 1.1 | 1.158 | 1000 | |
| 5 | 1.76883 | 0.01223 | 3 | 1.767 | 0.017 | 10 | 1.76777 |
| | 1.7705 | 0.01754 | 30 | 1.77 | 0.121 | 100 | |
| | 1.782 | 0.07103 | 300 | 1.8 | 1.160 | 1000 | |
| 1 | 0.35539 | 0.00293 | 3 | 0.348 | 0.013 | 10 | 0.35355 |
| | 0.3567 | 0.00824 | 30 | 0.35 | 0.116 | 100 | |
| | 0.378 | 0.06146 | 300 | 0.5 | 1.156 | 1000 | |
| 2 | 0.71255 | 0.00528 | 3 | 0.715 | 0.014 | 10 | 0.70711 |

| | | | | | | | |
|----|--------|---------|-----|-------|-------|------|------------|
| | 0.7138 | 0.01059 | 30 | 0.72 | 0.118 | 100 | |
| | 0.729 | 0.06386 | 300 | 0.7 | 1.157 | 1000 | |
| 10 | ovld | -- | 3 | 3.54 | 0.022 | 10 | 3.53553 |
| | 3.5492 | 0.02925 | 30 | 3.55 | 0.126 | 100 | |
| | 3.559 | 0.08314 | 300 | 3.6 | 1.165 | 1000 | |
| 20 | ovld | -- | 3 | 7.046 | 0.032 | 10 | 7.07106781 |
| | 7.058 | 0.05234 | 30 | 7.06 | 0.136 | 100 | |
| | 7.071 | 0.10706 | 300 | 7.1 | 1.175 | 1000 | |

| LEGENDA: | |
|---|--|
| ovld | Overload - wartość mierzona większa niż zakres pomiarowy |
| Niepewność nie jest poprawnie określona w specyfikacji dla wyników <10% zakresu (3478A) | |
| Niepewność tego samego rzędu wielkości co wynik (V560) | |
| Niepewność większa niż wynik (V560) | |

Przebieg drugiego pomiaru:

Ustawiono napięcie wskazane przez prowadzącego - 8 Vpp i wykonano pomiar dla kolejnych częstotliwości: 10Hz, 50Hz, 100Hz, 500Hz, 1000Hz, 5000Hz, 10k Hz, 50k Hz, 100k Hz, 500kHz. Po Pomiarach wykonano dla różnych zakresów mierników (3478A – 3V, 30V, 300V; V560 – 10V, 100V, 1000V).

Tab.2 Pomiar napięcia sinusoidalnego dla różnych częstotliwości i zakresów mierników

| Wartość szczytowa [Upp]: 8 V | | | | | | | |
|------------------------------|---------------|-----------------|------------|--------------|-----------------|------------|--|
| Częstotliwość [Hz]: | Miernik 3478A | | | Miernik V560 | | | Wartości oczekiwane RMS [V] = $U_{max}/\sqrt{2}$: |
| | Napięcie [V] | Niepewność [V]: | Zakres [V] | Napięcie [V] | Niepewność [V]: | Zakres [V] | |
| 10 | 2.62526 | ---- | 3 | 2.804 | #VALUE! | 10 | 2.83 |
| | 2.7461 | ---- | 30 | 2.43 | 0.12248486 | 100 | |
| | 2.803 | ---- | 300 | 1.1 | 1.157875965 | 1000 | |
| 50 | 2.84495 | 0.01931 | 3 | 2.841 | 0.019748266 | 10 | 2.83 |
| | 2.8461 | 0.02462 | 30 | 2.85 | 0.123697295 | 100 | |
| | 2.857 | 0.07835 | 300 | 2.9 | 1.163072117 | 1000 | |

| | | | | | | | |
|------|---------|---------|-----|-------|-------------|------|------|
| 100 | 2.84586 | 0.00815 | 3 | 2.841 | 0.019748266 | 10 | 2.83 |
| | 2.8464 | 0.01351 | 30 | 2.86 | 0.123726163 | 100 | |
| | 2.855 | 0.06705 | 300 | 3.1 | 1.163649468 | 1000 | |
| 500 | 2.84571 | 0.00815 | 3 | 2.841 | 0.019748266 | 10 | 2.83 |
| | 2.8466 | 0.01351 | 30 | 2.87 | 0.12375503 | 100 | |
| | 2.857 | 0.06714 | 300 | 3.1 | 1.163649468 | 1000 | |
| 1000 | 2.84597 | 0.00815 | 3 | 2.841 | 0.019748266 | 10 | 2.83 |
| | 2.8466 | 0.01351 | 30 | 2.86 | 0.123726163 | 100 | |
| | 2.857 | 0.06714 | 300 | 3.1 | 1.163649468 | 1000 | |
| 5000 | 2.84678 | 0.00816 | 3 | 2.839 | 0.019742492 | 10 | 2.83 |
| | 2.8473 | 0.01351 | 30 | 2.85 | 0.123697295 | 100 | |
| | 2.86 | 0.06714 | 300 | 3 | 1.163360792 | 1000 | |
| 10k | 2.84599 | 0.00815 | 3 | 2.835 | 0.019730945 | 10 | 2.83 |
| | 2.8462 | 0.01351 | 30 | 2.83 | 0.12363956 | 100 | |
| | 2.871 | 0.06714 | 300 | 2.9 | 1.163072117 | 1000 | |
| 50k | 2.84613 | 0.00508 | 3 | 2.818 | 0.019681871 | 10 | 2.83 |
| | 2.8507 | 0.01236 | 30 | 2.64 | 0.123091077 | 100 | |
| | 3.009 | 0.08813 | 300 | 1.8 | 1.159896691 | 1000 | |
| 100k | 2.84366 | 0.01236 | 3 | 2.822 | 0.019693418 | 10 | 2.83 |
| | 2.8754 | 0.08535 | 30 | 2.44 | 0.122513727 | 100 | |
| | 2.418 | 0.08669 | 300 | 0.9 | 1.157298615 | 1000 | |
| 500k | 2.04033 | ---- | 3 | 2.563 | 0.018945749 | 10 | 2.83 |
| | 2.5182 | ---- | 30 | 1.2 | 0.118934155 | 100 | |
| | 1.263 | ---- | 300 | 0.6 | 1.156432589 | 1000 | |

LEGENDA:

| | |
|---|--|
| ---- | Niepewność nie jest określona w specyfikacji dla tych zakresów (3478A) |
| Niepewność nie jest poprawnie określona w specyfikacji dla wyników <10% zakresu (3478A) | |
| Niepewność tego samego rzędu wielkości co wynik (V560) | |
| Niepewność większa niż wynik (V560) | |

Przebieg trzeciego pomiaru:

Dla wybranych przez prowadzącego częstotliwości (50Hz, 500Hz, 1000Hz, 5000Hz) dokonano pomiarów dla sygnału sinusoidalnego, prostokątnego (o wypełnieniu 50%) i trójkątnego symetrycznego o tej samej amplitudzie: 5V.

Wyniki zapisano w tabeli.

Tab.3 Pomiary napięcia dla różnych kształtów sygnału na różnych częstotliwościach

| Wartość międzyszczytowa [Upp]: 10V | | | | | | |
|------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| Typ przebiegu: | częstotliwość [Hz]: | HP3478A (zakres 30V) | | V560 (zakres 10V) | | Wartości oczekiwane RMS [V] |
| | | napięcie [V]: | niepewność [V]: | napięcie [V]: | niepewność [V]: | |
| sinusoidalny | 50 | 3.5473 | 0.0292 | 3.548 | 0.022 | 3.536 |
| | 500 | 3.5480 | 0.0081 | 3.543 | 0.022 | |
| | 1000 | 3.5486 | 0.0081 | 3.543 | 0.022 | |
| | 5000 | 5 | 0.0098 | 3.541 | 0.022 | |
| prostokątny | 50 | 4.9407 | ---- | 5.482 | ---- | 5.00 |
| | 500 | 4.9387 | ---- | 5.475 | ---- | |
| | 1000 | 4.9381 | ---- | 5.474 | ---- | |
| | 5000 | 4.9335 | ---- | 5.464 | ---- | |
| trójkątny | 50 | 2.9129 | ---- | 2.803 | ---- | 2.887 |
| | 500 | 2.9144 | ---- | 2.799 | ---- | |
| | 1000 | 2.9148 | ---- | 2.799 | ---- | |
| | 5000 | 2.9155 | ---- | 2.798 | ---- | |

| | |
|------|---|
| ---- | Niepewność nie jest określona w specyfikacji dla tych kształtów |
|------|---|

Poza tym - dopuszczalne jest przyłożenie, pomiędzy zaciski HI i LO bez ograniczeń czasowych, napięć stałych lub przemiennych sinusoidalnych 650 V RMS na podzakresach 10 V, 100 V, 1000 V pomiaru napięć stałych i przemiennych.

Składowa stała sygnału przy pomiarze napięć przemiennych nie powinna przekraczać 300 V.

Rys. 5 Fragment dokumentacji miernika V560

Measurement Accuracy:

\pm (% of reading + number of counts)
Auto-zero ON. 5½ digit display. Accuracy is specified for sine-wave inputs only, > 10% of full scale.
1 Year, Cal. Temp. $\pm 5^{\circ}\text{C}$

Rys. 6 Fragment dokumentacji miernika HP 3478A

Niepewność pomiarowa dla 1.3.4, 1.3.5:

Niepewność dla napięcia obliczono za pomocą wzoru odczytanego z dokumentacji multimetru V560 w zależności od ustawionego zakresu, wraz z którym zmieniła się rozdzielczość:

$$\Delta U = (0,0114 \cdot U_{pp} + 102 \cdot (0,00001 \cdot Z/3)) / \sqrt{3} = (0,0114 \cdot 1,06478 + 102 \cdot (0,00001 \cdot 3/3)) / \sqrt{3} = 0,00760 \text{ V}$$

Oraz analogicznie dla multimetru V560:

$$\Delta U = (U \cdot 0,5\% + \text{range} \cdot 0,2\%) / \sqrt{3}$$
$$(0,005 \cdot 1,07 + 0,002 \cdot 100) / \sqrt{3} \approx 0,0119 \text{ V}$$

Wartości oczekiwane dla 1.3.4, 1.3.5:

$$U_{rms} = U_{max} / \sqrt{2} = 1,5 / \sqrt{2} = 1,06066$$

Niepewność odczytu dla 1.4:

Niepewność dla napięcia obliczono podobnie jak w poprzednim ćwiczeniu za pomocą wzorów odczytanych z dokumentacji multimetrów, a więc dla 3478A:

$$\Delta U = (U \cdot 1,14\% + 102 \cdot 0,0001) / \sqrt{3}$$

$$\Delta U = (3,5473 \cdot 1,14\% + 102 \cdot 0,0001) / \sqrt{3} = 0,0292 \text{ V}$$

Oraz analogicznie dla multimetru V562:

$$\Delta U = (0,005 \cdot U + 0,002 \cdot 10) / \sqrt{3}$$

$$\Delta U = (0,005 \cdot 3,548 + 0,002 \cdot 10) / \sqrt{3} = 0,022$$

Wartości oczekiwane dla 1.4:

$$U_{rms} = U_{max} / \sqrt{2} = 5 / \sqrt{2} = 3,536$$

Wnioski

Miernik HP 3478A był na ogół bardziej dokładny niż miernik V560. Wyniki z obu mierników były zbliżone do wyników oczekiwanych.

Wartość napięcia wejściowego ani częstotliwość nie miały wpływu na dokładność pomiaru (z wyjątkiem 10Hz i 500kHz, które były mniej dokładne dla obu mierników, w szczególności dla HP 3487A, w którym nie ma takich zakresów pomiarowych).

Duży wpływ miał natomiast dobór zakresu pomiarowego - najdokładniejsze wyniki były na najmniejszych możliwych zakresach (ale większych niż wartość mierzona), przy większych zakresach niepewność też się bardzo zwiększała.

Kształt sygnału także nie miał wpływu na dokładność pomiarów, były one w miarę zgodne z wartością oczekiwaną wyliczoną ze wzorów dla danego kształtu.

ZADANIE 2 – PARAMETRY PRZEBIEGÓW Z MODULACJĄ PWM

Modulacja PWM (modulacja szerokości impulsów – Pulse Width Modulation) jest podstawą działania większości zasilaczy impulsowych oraz układów cyfrowej regulacji napięcia stałego. Układ taki wykorzystuje właściwość unipolarnego (czyli o jednej polaryzacji) przebiegu prostokątnego o zmiennym wypełnieniu. Wartość skuteczna takiego przebiegu jest wprost proporcjonalna do pierwiastka z wypełnienia przebiegu (czyli stosunku czasu trwania impulsu do okresu przebiegu), a wartość średnia – wprost do wypełnienia przebiegu.

Pomiar przebiegu PWM o zmiennym wypełnieniu.

Realizacja zadania:

Włączono generator PWM. Do wyjścia **WYJŚCIE GENERATORA PWM (gniazdo BNC)** podłączono oscyloskop i multimetry.

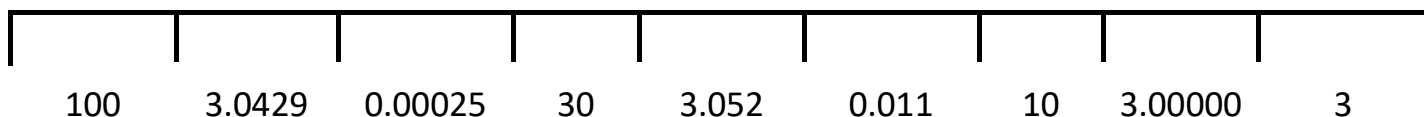
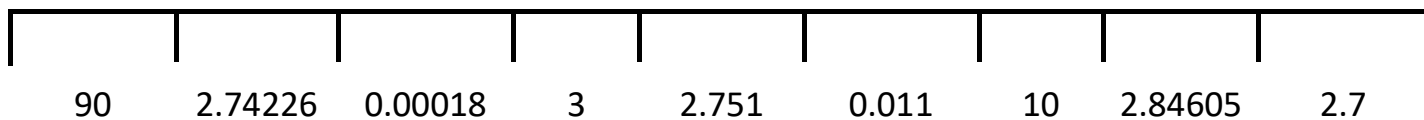
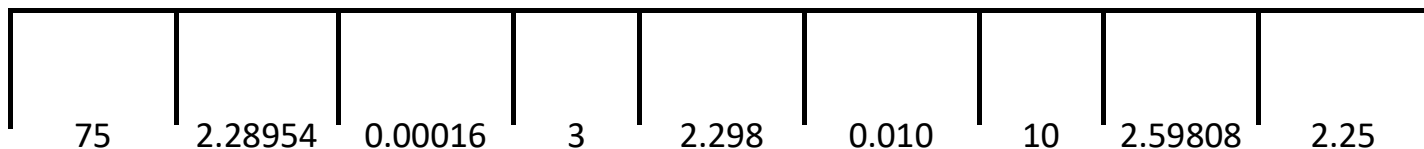
Przyciskami FREQ ustawiono częstotliwość zadaną przez prowadzącego: 500Hz.

Przyciskami DUTY ustawić wypełnienie na 50% - odczytano wartości napięć na Multimetrach.

Powtórzono pomiar dla 100% i dla kolejnych wypełnień: 10%, 30%, 60%, 75%, 90%.

Tab. 4 Pomiary napięcia średniego sygnału prostokątnego PWM o zmiennym wypełnieniu

| Wartość szczytowa [U _{max}]: 3V, f:500 Hz | | | | | | | | |
|---|---------------|-----------------|-------------|---------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------------|
| Wypełnienie [%]: | 3478A | | | V560 | | | Wartości oczekiwane | |
| | napięcie [V]: | niepewność [V]: | zakres [V]: | napięcie [V]: | niepewność [V]: | zakres [V]: | U _{RMS} [V] | U _{śr} [V] |
| 10 | 0.32844 | 0.00004 | 3 | 0.334 | 0.006 | 10 | 0.94868 | 0.3 |
| 30 | 0.93185 | 0.00008 | 3 | 0.938 | 0.007 | 10 | 1.64317 | 0.9 |
| 50 | 1.53525 | 0.00011 | 3 | 1.543 | 0.008 | 10 | 2.12132 | 1.5 |
| 60 | 1.83708 | 0.00013 | 3 | 1.845 | 0.009 | 10 | 2.32379 | 1.8 |



Niepewności pomiarowe:

Dla 3478A:

$$\Delta U = 0,00006 \cdot U + 0,00001 \cdot 2 = 0,00006 \cdot 0,32844 + 0,00001 \cdot 2 = 0,00004 \text{ V}$$

Dla V560:

$$\Delta U = 0,002 \cdot U + 0,0005 \cdot Z = 0,002 \cdot 0,334 + 0,0005 \cdot 10 = 0,006$$

Wartości oczekiwane:

$$U_{rms} = U_{max} \cdot \sqrt{(\text{wypełnienie} \times 0,01)} = 3 \cdot \sqrt{(10 \times 0,01)} = 0,94868 \text{ V}$$

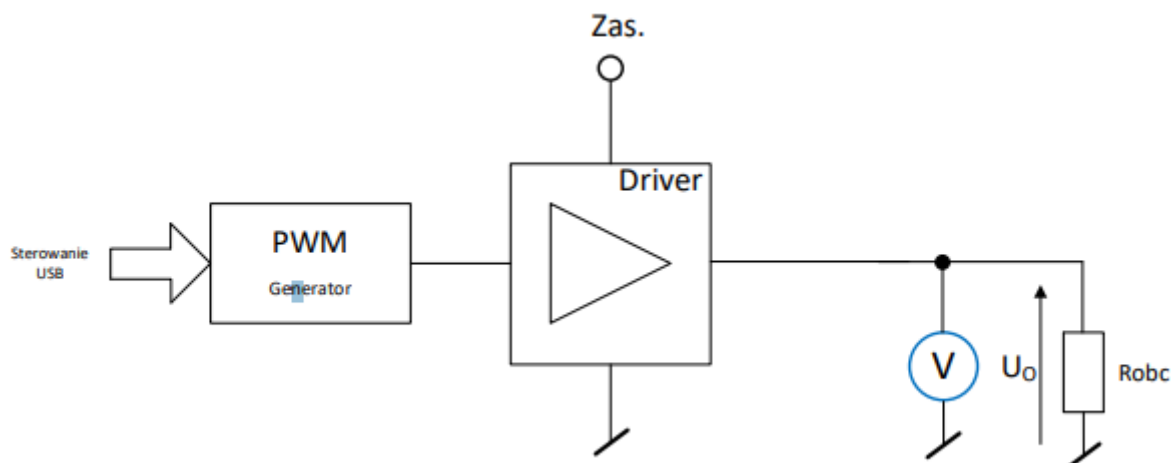
$$U_{sr} = U_{max} \cdot \text{wypełnienie} \cdot 0,01 = 0,3 \text{ V}$$

Symulacja pracy zasilacza regulowanego

Celem ćwiczenia jest praktyczne poznanie zasady pracy typowego zasilacza impulsowego PWM o napięciu wyjściowym regulowanym przez zmianę wypełnienia PWM.

W największym uproszczeniu zasilacz taki można potraktować jako układ PWM o stałej amplitudzie impulsów i zmiennym wypełnieniu. Wypełnienie zależy od oczekiwanego napięcia wyjściowego i jest sterowane albo ręcznie albo z układu sprzężenia zwrotnego porównującego napięcie na wyjściu zasilacza z napięciem zadany.

Pomiarom zostanie poddany układ z poniższego rysunku:



Rys. 7 Układ symulujący zasilacz regulowany

Układ reprezentuje rzeczywisty zasilacz – układ zbliżony do dowolnego zasilacza impulsowego – np. ładowarki do telefonu. Driver jest układem wykonawczym pozwalającym uzyskać oczekiwaną moc na wyjściu.

Robc to obciążenie zasilacza – w ćwiczeniu – żarówka.

Zmieniając wypełnienie przebiegu – DUTY – można na wyjściu układu uzyskać dowolne napięcie od 0 do napięcia zasilania drivera – w ten sposób uzyskuje się zasilacz regulowany

Uwaga: napięcie wyjściowe takiego zasilacza ma kształt przebiegu prostokątnego i dla uzyskania „czystego” napięcia stałego w rzeczywistych układach stosuje się na wyjściu filtr dolnoprzepustowy „wygładzający” napięcie.

Realizacja zadania:

Do wyjścia drivera na makiecie podłączono żarówkę oraz woltomierze – mierniki HP i V560 przełączono na pomiar napięcia stałego. Zmieniono wypełnienie PWM od 10 do 100% w zadanych krokach – obserwowano jasność świecenia żarówki oraz zapisano wyniki pomiaru wartości średniej i skutecznej napięcia.

Tab. 5 Pomiary układu zasilacza regulowanego z obciążeniem

| Napięcie wejściowe $U_{max} = 12V$ | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|------------------------|--|---------------------|---|
| Miernik: | 3478A | | V560 | | Obliczenia teoretyczne (wartości oczekiwane) | | |
| Wypełnienie [%]: | Napięcie średnie DC [V]: | Niepewność dla U [V]: | Natężenie [mA]: | Niepewność dla I [mA]: | U RMS [V] | U _{sr} [V] | Rezystancja obciążenia [Ω] (z pomiarów) |
| 100 | 12 | 0.0009 | 335.1 | 2.2 | 12.0000 | 12 | 35.81 |

| | | | | | | | |
|----|--------|--------|-------|-----|---------|-----|-------|
| 75 | 9.2266 | 0.0007 | 275.7 | 1.9 | 10.3923 | 9 | 33.47 |
| 50 | 6.2054 | 0.0005 | 206.6 | 1.5 | 8.4853 | 6 | 30.04 |
| 25 | 3.1952 | 0.0003 | 127.4 | 1.1 | 6.0000 | 3 | 25.08 |
| 10 | 1.3959 | 0.0001 | 71.5 | 0.9 | 3.7947 | 1.2 | 19.52 |

Niepewności pomiarowe:

$$U_{rms} = U_{max} \cdot \sqrt{(wypełnienie \cdot 0,01)} = 12 \cdot \sqrt{(100 \cdot 0,01)} = 12 \text{ V}$$

$$U_{\text{śr}} = U_{max} \cdot \text{wypełnienie} \cdot 0,01 = 12 \cdot 100 \cdot 0,01 = 12 \text{ V}$$

Rezystancja obciążenia [Ω] (z pomiarów):

$$R = U/I = 12 \text{ V} / (335,1 \text{ mA} / 1000) = 35,81 \Omega$$

Wnioski:

Pomiar przy wypełnieniu 100% był bardziej dokładny przy użyciu miernika HP 3478A. Wyniki z obu mierników były zbliżone do wartości oczekiwanych.

W trybie DC mierniki mierzyły wartość średnią sygnału pulsacyjnego.

Pomiary rezystancji obciążenia wydają się zmniejszać dokładność wraz ze zmniejszaniem wypełnienia sygnału.

W trakcie pomiarów można było zauważyć, że żarówka (obciążenie) zmieniała swoją jasność wraz ze zmianą wypełnienia sygnału - dzięki zmianie wypełnienia można było regulować napięcie na żarówce.