

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:

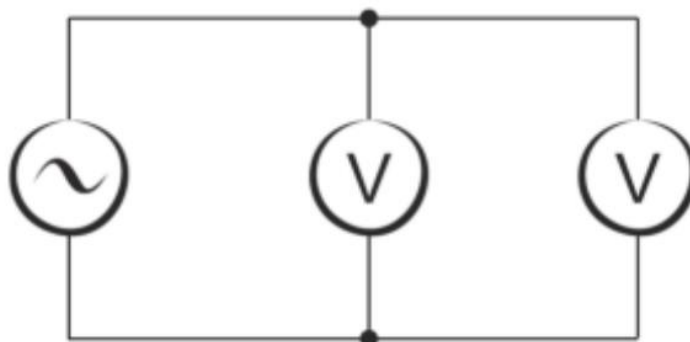
Range	Cal. Temp $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 24 Hours	Cal. Temp. $\pm 5^{\circ}\text{C}$	
		90 Day	1 Year
30mV	0.025 + 40	0.0275 + 40	0.035 + 40
300mV	0.004 + 4	0.005 + 5	0.007 + 5
3 V	0.003 + 2	0.004 + 2	0.006 + 2
30 V	0.004 + 3	0.005 + 4	0.007 + 4
300 V	0.004 + 2	0.005 + 2	0.007 + 2

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:

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

Oraz analogicznie dla multimetru V560:

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

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:

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

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

Oraz analogicznie dla multimetru V562:

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

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

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.

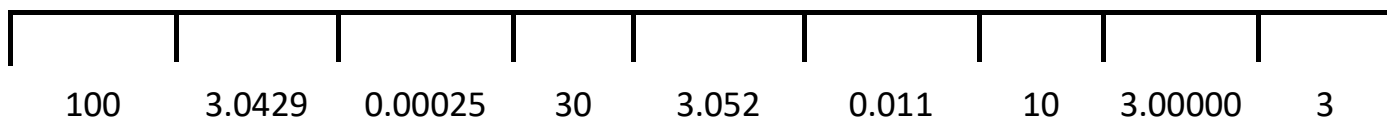
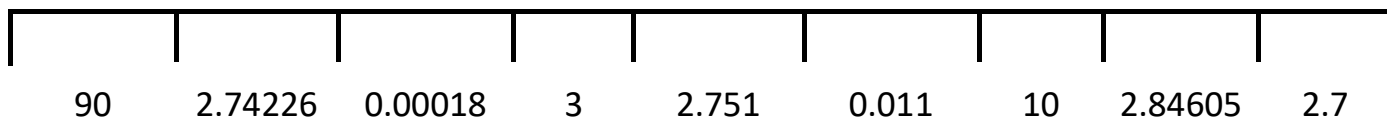
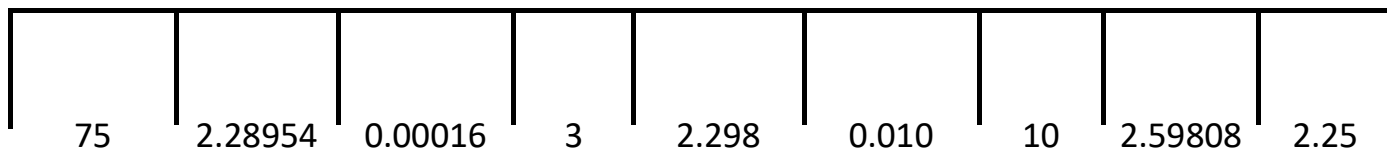
Przyciskami FREQ ustawiono częstotliwość zadaną przez prowadzącego: 500Hz.

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 _{sr} [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:

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

Dla V560:

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

Wartości oczekiwane:

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

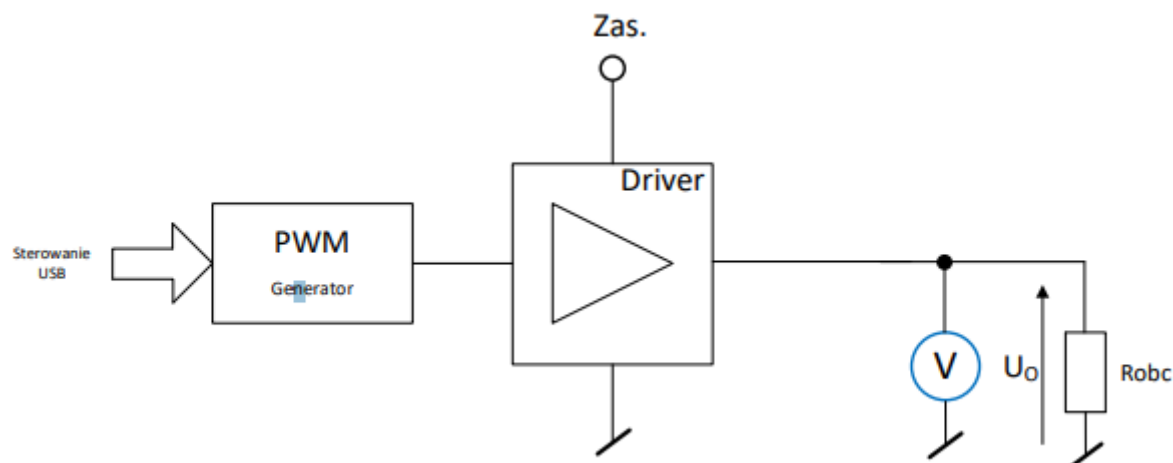
$$U_{sr} = U_{max} * wypełnienie * 0,01 = 0,3 \text{ V}$$

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.