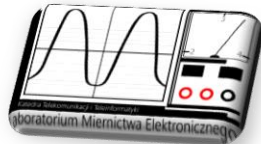


Termin zajęć DZIEŃ – TYDZIEŃ – GODZ. PON-P-17:05		Miernictwo II 	
<ul style="list-style-type: none"> Osoby wykonujące ćwiczenie: Miłosz Halicki (272874) Dawid Jabłoński (272970) 		<ul style="list-style-type: none"> Grupa nr: 4 	
<ul style="list-style-type: none"> Tytuł ćwiczenia: Pomiar sygnałów przemiennych i impulsowych 		<ul style="list-style-type: none"> Ćwiczenie nr: 5 	
<ul style="list-style-type: none"> Data wykonania ćwiczenia 	<ul style="list-style-type: none"> 03.04.2023 r. 	<ul style="list-style-type: none"> Ocena: 	
<ul style="list-style-type: none"> Data oddania sprawozdania 	<ul style="list-style-type: none"> 17.04.2023 r. 		

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

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





Spis treści

1. Cel ćwiczenia	2
2. Spis przyrządów pomiarowych.....	2
3. Wykorzystane wzory i stałe.....	3
4. Zadanie 1, część A	4
a. Opis zadania	4
b. Wyniki cz.1 – Stała Częstotliwość / Zmienne Napięcie	5
c. Wyniki cz.2 – Zmienne Częstotliwość / Stała Napięcie	6
d. Przykładowe obliczenia	7
e. Wnioski.....	7
5. Zadanie 1, część B	7
a. Opis zadania	8
b. Wyniki.....	9
c. Przykładowe obliczenia	9
d. Wnioski.....	9
6. Zadanie 2, część A	9
a. Opis zadania	9
b. Wyniki.....	10
c. Przykładowe obliczenia	11
d. Wnioski.....	11
7. Zadanie 2, część B	12
a. Opis zadania	12
b. Wyniki i wykresy.....	13-14
c. Przykładowe obliczenia	15
d. Wnioski.....	16

1) Cel ćwiczenia

a) Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi parametrami woltomierzy i amperomierzy AC oraz z różnymi typami przetworników, a także rozpoznawanie i prawidłowe stosowanie pojęć takich jak amplituda, napięcie międzyszczytowe, wartość średnia, średnia z modułu oraz wartość skuteczna. W tym ćwiczeniu będziemy analizować parametry typowych sygnałów sinus, prostokąt i trójkąt, poznamy także właściwości i zastosowanie przebiegów o modulowanej szerokości impulsów (PWM).

b) Zagadnienia wykorzystane podczas ćwiczenia

- Podstawy pomiarów prądu i napięć przemiennych oraz zmiennych o równym kształcie
- Parametry typowych przebiegów przemiennych
- Metody przetwarzania sygnałów przemiennych na napięcie stałe (przetworniki wartości średniej i TRMS)
- Właściwości sygnałów PWM – unipolarny przebieg prostokątny o zmiennym wypełnieniu
- Zasady obsługi mierników napięcia i prądu
- Szacowanie niepewności

2) Spis przyrządów pomiarowych użytych w zadaniu

- Generator sygnałowy
- Mierniki prądu i napięcia VC8045 i V650
- Oscyloskop (do podglądu mierzonych przebiegów)
- Generator PWM z driverem i obciążeniem regulowanym

3) Wykorzystane stałe i wzory fizyczne

- Niepewność graniczna bezwzględna – w zależności od miernika
- Niepewność graniczna względna

$$\delta I = \frac{\Delta I}{I_x} \cdot 100\%$$

- Niepewność standardowe typu B

$$u_B(x) = \sqrt{\frac{(\Delta_{px})^2}{3} + \frac{(\Delta_{ex})^2}{3} + \dots}$$

- Niepewność rozszerzona

$$U(x) = k \cdot u(x)$$

- Rezystancja

$$R_{obc} = \frac{U_o}{I_o}$$

- Napięcie średnie PWM

$$U_o = U_z \frac{D[\%]}{100\%}$$

- Napięcie skuteczne PWM

$$U_o = U_z \sqrt{\frac{D[\%]}{100\%}}$$

- Moc PWM

$$P_o = \frac{U_o^2}{R_{obc}}$$

- Napięcia teoretyczne (P - parametr podstawowy sygnałów przemiennych)

$$U_t = \frac{U_{p-p}}{2} * P$$

4) Zadanie 1, część A

a) Opis zadania

W tej części zadania wykonaliśmy pomiary napięcia sinusoidalnego, na generatorze ustawiliśmy typ sygnału na sygnał sinusoidalny, następnie wykonaliśmy pomiary dla napięć od 1-5 Vpp zapisaliśmy je, sprawdziliśmy również jak różnią się wskazania dla różnych zakresów pomiarowych mierników. Następnie ustawiliśmy napięcie 4 Vpp, po czym zmierzaliśmy napięcie dla różnych częstotliwości z zakresu od 20 Hz do 500 Hz. Podczas tych pomiarów również sprawdzaliśmy jak zakres mierników ma się do wyników pomiarów oraz ich zgodność z teoretycznymi wartościami napięć. Za wartość oczekiwaną, czyli nasze napięcie wzorcowe przyjęliśmy wartość napięcia, którą wskazały mierniki przy częstotliwości 50 Hz.

b) Wyniki cz.1 – Stała Częstotliwość / Zmienne Napięcie

Co jest mierzone	Częstotliwość [Hz]	Napięcie [V _{pp}]	Wyniki pomiaru Multimetrem VC8045 [V]	Wyniki pomiaru Multimetrem V650 [V]	Zakres miernika VC8045 [V]	Zakres miernika V650 [V]	Niepewność graniczna miernika VC8045 [V]	Niepewność graniczna miernika V650 [V]	Napięcie średnie teoretyczne [V]	Napięcie skuteczne teoretyczne [V]	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym
Sinusoidalny	50	1	0,67	0,66	2	10	0,02	0,02	0,43	0,48	×	×	×	×
Sinusoidalny	50	1	0,67	0,67	20	100	0,09	0,06	0,43	0,48	×	×	×	×
Sinusoidalny	50	1	0,69	0,70	200	1000	0,81	0,51	0,43	0,48	✓	✓	✓	✓
Sinusoidalny	50	2	1,06	1,05	2	10	0,02	0,02	0,68	0,75	×	×	×	×
Sinusoidalny	50	2	1,07	1,05	20	100	0,09	0,06	0,68	0,75	×	×	×	×
Sinusoidalny	50	2	1,12	1,10	200	1000	0,81	0,51	0,68	0,75	✓	✓	✓	✓
Sinusoidalny	50	3	1,33	1,33	2	10	0,02	0,02	0,85	0,95	×	×	×	×
Sinusoidalny	50	3	1,34	1,33	20	100	0,09	0,06	0,85	0,95	×	×	×	×
Sinusoidalny	50	3	1,35	1,30	200	1000	0,81	0,51	0,85	0,95	✓	✓	✓	✓
Sinusoidalny	50	4	1,64	1,64	2	10	0,02	0,02	1,05	1,16	×	×	×	×
Sinusoidalny	50	4	1,65	1,64	20	100	0,09	0,07	1,05	1,16	×	×	×	×
Sinusoidalny	50	4	1,64	1,70	200	1000	0,81	0,52	1,05	1,16	✓	×	✓	×
Sinusoidalny	50	5	1,99	1,98	2	10	0,02	0,02	1,27	1,41	×	×	×	×
Sinusoidalny	50	5	2,01	1,99	20	100	0,10	0,07	1,27	1,41	×	×	×	×
Sinusoidalny	50	5	2,03	2	200	1000	0,82	0,52	1,27	1,41	✓	×	✓	×

c) Wyniki cz.2 – Zmienne Częstotliwość / Stałe Napięcie

Co jest mierzone	Częstotliwość [Hz]	Napięcie [Vpp]	Wyniki pomiaru Multimetrem VC8045 [V]	Wyniki pomiaru Multimetrem V650 [V]	Zakres miernika VC8045 [V]	Zakres miernika V650 [V]	Niepewność graniczna miernika VC8045 [V]	Niepewność graniczna miernika V650 [V]	Napięcie średnie teoretyczne [V]	Napięcie skuteczne teoretyczne [V]	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym
Sinusoidalny	20	4	1,64	1,62	2	10	0,02	0,02	1,05	1,16	×	×	×	×
Sinusoidalny	20	4	1,65	1,52	20	100	0,09	0,07	1,05	1,16	×	×	×	×
Sinusoidalny	20	4	1,65	0,90	200	1000	0,81	0,51	1,05	1,16	✓	✓	✓	✓
Sinusoidalny	100	4	1,63	1,62	2	10	0,02	0,02	1,05	1,16	×	×	×	×
Sinusoidalny	100	4	1,64	1,63	20	100	0,09	0,07	1,05	1,16	×	×	×	×
Sinusoidalny	100	4	1,66	1,80	200	1000	0,81	0,52	1,05	1,16	✓	×	✓	×
Sinusoidalny	200	4	1,64	1,63	2	10	0,02	0,02	1,05	1,16	×	×	×	×
Sinusoidalny	200	4	1,65	1,66	20	100	0,09	0,07	1,05	1,16	×	×	×	×
Sinusoidalny	200	4	1,65	1,90	200	1000	0,81	0,52	1,05	1,16	✓	×	✓	×
Sinusoidalny	500	4	1,64	1,63	2	10	0,02	0,02	1,05	1,16	×	×	×	×
Sinusoidalny	500	4	1,65	1,66	20	100	0,09	0,07	1,05	1,16	×	×	×	×
Sinusoidalny	500	4	1,66	1,90	200	1000	0,81	0,52	1,05	1,16	✓	×	✓	×

Błąd gruby

d) Przykładowe obliczenia

Dla 1. Pomiaru z Wyniki cz.1 – Stała Częstotliwość / Zmienne Napięcie

$$f = 50\text{Hz}$$

$$V_{VC8045} = 0,67\text{V na zakresie } 2\text{V}$$

$$V_{V650} = 0,66\text{V na zakresie } 10\text{V}$$

- Niepewności graniczne

$$\delta_{VC8045} = V_{VC8045} * 0,8\% + 80 * 0,1\text{mV} = 0,67\text{V} * 0,008 + 80 * 0,0001\text{V} = 0,02\text{V}$$

$$\delta_{V650} = V_{V650} * 1\% + 5 * 1\text{mV} = 0,66\text{V} * 0,01 + 5 * 0,001\text{V} = 0,02\text{V}$$

- Napięcia teoretyczne

$$U_{sr} = \frac{U_{p-p}}{2} * \frac{2}{\pi} = 0,67 * \frac{2}{\pi} = 0,43\text{V}$$

$$U_{trms} = \frac{U_{p-p}}{2} * \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,67 * \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,48\text{V}$$

Za $\frac{U_{p-p}}{2}$ podstawiamy zmierzone wartości V_{VC8045} dla $f = 50\text{Hz}$ jako te wzorcowe, względem których porównujemy inne wyniki. W tym przypadku $V_{VC8045} = 0,67\text{V}$

e) Wnioski

W oparciu o wyniki naszych pomiarów możemy wywnioskować, że w części pierwszej naszego ćwiczenia, tam gdzie opisane są wyniki pomiarów dla zakresu napięcia 200 V na mierniku VC8045 i 1000 V na mierniku V650, mierzyły wartości dobrze i były one mierzone w granicach błędu pomiarowego. Te wyniki były zgodne tylko dla napięć mniejszych lub równych 3 Vpp. Powyżej wcześniejszego zakresu napięcia, tylko jedno z testowanych urządzeń – miernik VC8045 uzyskał poprawne wyniki, może być to spowodowane wiekiem urządzenia V650. W drugiej części zadania – tam gdzie zmienialiśmy częstotliwość – potwierdzają się nasze wnioski z części pierwszej. Dodatkowo możemy stwierdzić, że dla 4 Vpp mamy zgodność z wartościami teoretycznymi, co różni się od naszych wyników w części pierwszej, lecz w tym przypadku częstotliwość (20 Hz) była poniżej zalecanej mierzalnej niż ta podana w dokumentacji.

5) Zadanie 1, część B

a) Opis zadania

W tym zadaniu należało wykonać pomiary dla sygnałów sinusoidalnego i prostokątnego o wypełnieniu 50% oraz trójkątnego symetrycznego, dla wybranych przez nas częstotliwości z pasma 50 Hz – 5 kHz. Zapisaliśmy wyniki dla wybranych częstotliwości i wpisaliśmy je do tabelki.

b) Wyniki

Co jest mierzone	Częstotliwość [Hz]	Napięcie [Vpp]	Wyniki pomiaru Multimetrem VC8045 [V]	Wyniki pomiaru Multimetrem V650 [V]	Zakres miernika VC8045 [V]	Zakres miernika V650 [V]	Niepewność graniczna miernika VC8045 [V]	Niepewność graniczna miernika V650 [V]	Napięcie średnie teoretyczne [V]	Napięcie skuteczne teoretyczne [V]	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym	Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym
Sinusoidalny	50	5	1,95	1,94	2	10	0,03	0,03	1,24	1,38	×	×	×	×
Sinusoidalny	500	5	1,96	1,95	2	10	0,03	0,03	1,24	1,38	×	×	×	×
Sinusoidalny	1000	5	1,95	1,94	2	10	0,03	0,03	1,24	1,38	×	×	×	×
Sinusoidalny	5000	5	1,95	1,94	2	10	0,02	0,02	1,24	1,38	×	×	×	×
Prostokątny	50	5	2,79	3,07	20	10	0,10	0,04	1,95	1,95	×	×	×	×
Prostokątny	500	5	2,78	3,07	20	10	0,10	0,04	1,95	1,95	×	×	×	×
Prostokątny	1000	5	2,79	3,07	20	10	0,10	0,04	1,95	1,95	×	×	×	×
Prostokątny	5000	5	2,76	3,06	20	10	0,10	0,04	1,95	1,95	×	×	×	×
Trójkątny	50	5	1,51	1,45	2	10	0,02	0,02	0,75	0,87	×	×	×	×
Trójkątny	500	5	1,51	1,45	2	10	0,02	0,02	0,75	0,87	×	×	×	×
Trójkątny	1000	5	1,50	1,45	2	10	0,02	0,02	0,75	0,87	×	×	×	×
Trójkątny	5000	5	1,51	1,45	2	10	0,02	0,02	0,75	0,87	×	×	×	×

c) Przykładowe obliczenia

Dla 1. Pomiaru

$$f = 50\text{Hz}$$

$$V_{VC8045} = 1,95V \text{ na zakresie } 2V$$

$$V_{V650} = 1,94V \text{ na zakresie } 10V$$

- Niepewności graniczne

$$\delta_{VC8045} = V_{VC8045} * 0,8\% + 80 * 0,1mV = 1,95V * 0,008 + 80 * 0,0001V = 0,03V$$

$$\delta_{V650} = V_{V650} * 1\% + 5 * 1mV = 1,94V * 0,01 + 5 * 0,001V = 0,03V$$

- Napięcia teoretyczne

$$U_{sr} = \frac{U_{p-p}}{2} * \frac{2}{\pi} = 1,95 * \frac{2}{\pi} = 1,24V$$

$$U_{trms} = \frac{U_{p-p}}{2} * \frac{1}{\sqrt{2}} = 1,95 * \frac{1}{\sqrt{2}} = 1,38V$$

Za $\frac{U_{p-p}}{2}$ podstawiamy zmierzone wartości V_{VC8045} dla $f = 50\text{Hz}$ jako te wzorcowe, względem których porównujemy inne wyniki. W tym przypadku $V_{VC8045} = 1,95V$

d) Wnioski

Na podstawie wykonanych przez nas pomiarów i obliczeń, możemy jasno stwierdzić, że żaden pomiar nie był zgodny z teoretycznymi wartościami napięcia przedstawionymi w dokumentacji. Niezależnie jaką częstotliwość ustawiliśmy do pomiarów, wyniki wciąż za bardzo odbiegały od wyników teoretycznych.

6) Zadanie 2, część A

a) Opis zadania

W tej części zadania należało dokonać pomiaru przebiegu PWM (Pulse-Width Modulation) o zmiennym wypełnieniu. Żeby wykonać to zadanie musieliśmy włączyć generator PWM oraz podłączyć oscyloskop i multimetry do wyjścia generatora. Następnie ustawiliśmy częstotliwość przy użyciu przycisków FREQ, w naszym przypadku było to 200 Hz. Kolejnym krokiem było ustawienie wypełnienia na 50% przy użyciu przycisków DUTY na makiecie i odczytanie wartości napięć na multimetrach. Później powtórzyliśmy pomiar dla 100% wypełnienia oraz 5 innych wypełnień z zakresu 10-90%, zrobiliśmy to dla wypełnień 10%, 20%, 40%, 60% i 80%. Jako wartość odniesienia do analiz, przyjęliśmy odczyt z miernika VC 8045 dla wypełnienia 100%.

Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym		X	X	X	X
Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym		X	X	X	X
Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym		X	X	X	X
Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym		X	X	X	X
Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym		X	X	X	X
Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym		X	X	X	X
Zgodność pomiaru miernika VC8045 z Napięciem średnim teoretycznym		X	X	X	X
Napięcie skuteczne teoretyczne [V]	0,96	0,30	0,60	1,21	1,92
Napięcie średnie teoretyczne [V]	0,30	0,60	1,21	1,51	2,14
Niepełność graniczna miernika V650 [mV]	2,62	4,13	7,14	8,65	10,16
Niepełność graniczna miernika VC8045 [mV]	0,26	0,41	0,71	0,86	1,01
Zakres miernika V650	10	10	10	10	10
Zakres miernika VC8045	2	2	2	2	20
Multimetr V650 [V]	0,32	0,63	1,23	1,53	3,04
Multimetr VC8045 [V]	0,32	0,62	1,22	1,52	3,03
Wypełnienie [%]	10	20	40	50	80
Częstotliwość [Hz]	200	200	200	200	200

c) Przykładowe obliczenia

Dla pomiaru z wypełnieniem 80%

$$f = 200\text{Hz}$$

$$D = 80\%$$

$$V_{VC8045} = 2,43V \text{ na zakresie } 20V$$

$$V_{V650} = 2,44V \text{ na zakresie } 10V$$

- Niepewności graniczne

$$\delta_{VC8045} = V_{VC8045} * 0,05\% + 1 * 1mV = 2,43V * 0,0005 + 1 * 0,001V = 0,002215V \\ = 2,22mV$$

$$\delta_{V650} = V_{V650} * 0,5\% + 1 * 1mV = 2,44V * 0,005 + 1 * 0,001V = 0,0132V \\ = 13,20mV$$

- Napięcia teoretyczne

$$U_{sr} = U_z * \frac{D[\%]}{100\%} = 3,028V * \frac{80\%}{100\%} = 2,42V$$

$$U_{rms} = U_z * \sqrt{\frac{D[\%]}{100\%}} = 3,028V * \sqrt{\frac{80\%}{100\%}} = 2,71V$$

Za U_z podstawiamy zmierzone wartości V_{VC8045} dla $D = 100\%$ jako te wzorcowe, względem których porównujemy inne wyniki. W tym przypadku $V_{VC8045} = 3,028V$

d) Wnioski

Na podstawie naszych pomiarów napięcia dla różnych wypełnień sygnału, możemy stwierdzić, że tylko w przypadku pełnego wypełnienia sygnału (100%) wszystkie nasze pomiary są zgodne z obliczeniami. W pozostałych przypadkach tylko poza jednym wynikiem dla urządzenia VC8045 przy wypełnieniu 80% pomiary nie zgadzały się z obliczeniami. Możemy jednak zauważyć, że liczba pomiarów jest zbyt mała abyśmy mogli jednoznacznie stwierdzić, czy miernik VC8045 mierzy poprawnie powyżej pewnego wypełnienia sygnału. W związku z tym możemy powiedzieć, że mierniki mierzą napięcie dobrze tylko dla sygnału o pełnym wypełnieniu.

7) Zadanie 2, część B

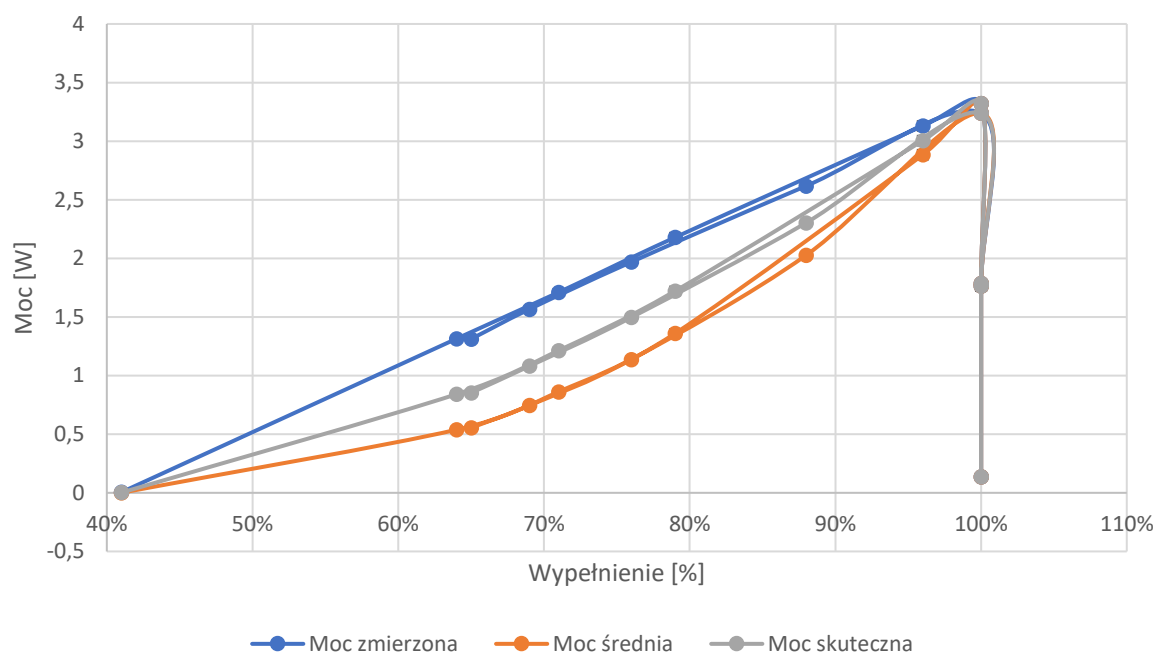
a) Opis zadania

W tej części zadania musieliśmy przeprowadzić pomiary napięcia i prądu w obwodzie zasilacza przy zmianach obciążenia i wypełnienia sygnału PWM. W pierwszym kroku musieliśmy podłączyć mierniki (amperomierz i woltomierz) do makiety i ustawić je na pomiar DC – prądu stałego. Następnie musieliśmy odłączyć obciążenie przez wyjęcie jednego wtyku z gniazda na makiecie. Następnie zmienialiśmy wypełnienie sygnału PWM, tak aby uzyskać oczekiwane napięcie wyjściowe zasilacza, w naszym przypadku jako napięcie wyjściowe zostało przyjęte 5 V. Wartości zmierzone dla 5 V wpisaliśmy do tabeli, ponieważ w dalszej części zadania będą one stabilizowane w trakcie zmian obciążenia. Po tym jak uzyskaliśmy najbardziej zbliżoną wartość napięcia X do zadanej zapisaliśmy wskazania woltomierza, amperomierza i % wypełnienia PWM. Po tej procedurze należało podłączyć obciążenie do makiety, i ustawić suwak opornicy najbardziej w lewo. Odczytaliśmy ponownie napięcie na wyjściu zasilacza. Zwiększając % wypełnienia PWM, musieliśmy doprowadzić do sytuacji, w której napięcie mierzone było najbardziej zbliżone do napięcia wyjściowego – 5V, tu ponownie należało zapisać napięcie wyjściowe, prąd oraz % wypełnienia. Procedurę kontynuowaliśmy dla kolejnych poziomów obciążenia, aż do momentu gdy dla uzyskania napięcia 5 V trzeba było ustawić 100% wypełnienia. Następnie zwiększaliśmy obciążenie aż do momentu, gdy suwak znalazł się po prawej stronie opornicy, po uzyskaniu takiej sytuacji wszystkie pomiary powtórzyliśmy „w drugą stronę” – zmniejszając obciążenie.

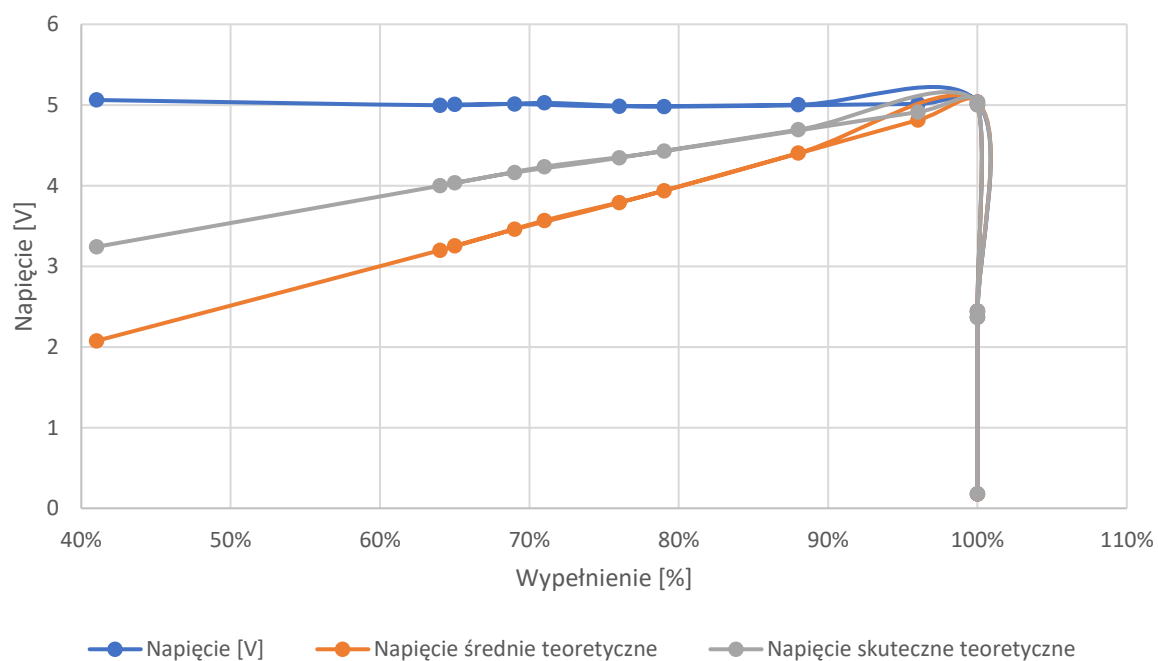
b) Wyniki

Napięcie [V]	Natężenie [A]	Wypełnienie [%]	Błąd woltomierza [mV]	Błąd amperomierza [mA]	Moc zmierzona [W]	Moc średnia teoretyczna [W]	Moc skuteczna teoretyczna [W]	Niepewność rozszerzona mocy zmierzonej dla $k=2$ [mW]	Niepewność rozszerzona mocy średniej teoretycznej dla $k=2$ [mW]	Niepewność rozszerzona mocy skutecznej teoretycznej dla $k=2$ [mW]
5,06	0,00	41%	3,53	0,51	0,01	0,00	0,00	2,98	0,50	1,22
5,00	0,26	64%	3,50	3,13	1,31	0,54	0,84	18,10	7,44	11,60
5,02	0,34	71%	3,51	3,90	1,71	0,86	1,21	22,69	11,48	16,14
4,98	0,44	79%	3,49	4,88	2,18	1,36	1,72	28,10	17,61	22,24
5,01	0,62	96%	3,51	6,74	3,13	2,88	3,01	39,12	36,20	37,63
5,00	0,66	100%	3,50	7,10	3,30	3,30	3,30	42,24	42,90	42,90
2,44	0,73	100%	2,22	7,81	1,79	1,79	1,79	22,11	22,27	22,19
0,18	0,78	100%	1,09	8,28	0,14	0,78	0,78	1,95	2,39	2,178
2,37	0,75	100%	2,18	7,95	1,76	0,75	0,75	21,81	21,97	21,89
5,03	0,64	100%	3,52	6,93	3,24	0,64	0,64	40,38	40,55	40,47
5,00	0,52	88%	3,50	5,73	2,62	0,46	0,49	33,19	25,81	29,26
4,98	0,39	76%	3,49	4,45	1,97	0,30	0,34	25,67	14,88	19,54
5,01	0,31	69%	3,51	3,63	1,57	0,22	0,26	21,02	10,04	14,53
5,00	0,26	65%	3,50	3,12	1,31	0,17	0,21	18,07	7,66	11,77

Moc zależna od wypełnienia sygnału PWM



Napięcia zależne od wypełnienia sygnału PWM



c) Przykładowe obliczenia

Dla 6. pomiaru

$$\begin{aligned}V_z &= 5V \\I_z &= 0,66A \\D &= 100\%\end{aligned}$$

- Błędy graniczne mierników:

$$\begin{aligned}\delta V_z &= V_z * 0,05\% + 1 * 1mV = 5V * 0,0005 + 1 * 0,001V = 0,0035V = 3,50mV \\ \delta I_z &= I_z * 1\% + 5 * 0,1mA = 0,66A * 0,01 + 5 * 0,0001V = 0,0071A = 7,10mA\end{aligned}$$

- Moce

$$\begin{aligned}P_z &= U_z * I_z = 5V * 0,66A = 3,30W \\ R_{obc} &= \frac{U_z}{I_z} = \frac{5V}{0,66A} = 7,57\Omega \\ U_{sr} &= V_z * \frac{D[\%]}{100\%} = 5V * \frac{100\%}{100\%} = 5V \\ U_{rms} &= V_z * \sqrt{\frac{D[\%]}{100\%}} = 5V * \sqrt{\frac{100\%}{100\%}} = 5V \\ P_{sr} &= \frac{U_{sr}^2}{R_{obc}} = \frac{(5V)^2}{7,57\Omega} = 3,30W \\ P_{rms} &= \frac{U_{rms}^2}{R_{obc}} = \frac{(5V)^2}{7,57\Omega} = 3,30W\end{aligned}$$

- Błędy graniczne mocy

$$\begin{aligned}U_U &= \frac{\delta U_z}{\sqrt{3}} = \frac{3,50mV}{\sqrt{3}} = 2,03mV \\ U_I &= \frac{\delta I_z}{\sqrt{3}} = \frac{7,10mA}{\sqrt{3}} = 4,10mA \\ U_{rU} &= \frac{U_U}{U_z} * 100\% = \frac{0,00203V}{5V} * 100\% = 0,04\% \\ U_{rI} &= \frac{U_I}{I_z} * 100\% = \frac{0,00410A}{0,66A} * 100\% = 0,63\% \\ U_{rR} &= U_{rP_z} = \sqrt{U_{rU}^2 + U_{rI}^2} = \sqrt{0,63\%^2 + 0,04\%^2} = 0,64\% \\ \delta_{P_z} &= U_{rP_z} * P_z = 0,0064 * 3,3W = 0,02112W = 21,12mW \\ U_{P_z} &= k * \delta_{P_z} = 2 * 21,12mW = 42,24mW \text{ dla } k = 2\end{aligned}$$

$$U_{rP_{Sr}} = \sqrt{U_{rU}^2 + U_{rU}^2 + U_{rR}^2} = \sqrt{0,04\%^2 + 0,04\%^2 + 0,64\%^2} = 0,65\%$$

$$\delta_{P_{Sr}} = U_{rP_{Sr}} * P_{Sr} = 0,0065 * 3,3W = 0,02145W = 21,45mW$$

$$U_{P_{Sr}} = k * \delta_{P_{Sr}} = 2 * 21,45mW = 42,90mW \text{ dla } k = 2$$

$$U_{rP_{rms}} = \sqrt{U_{rU}^2 + U_{rR}^2} = \sqrt{0,04\%^2 + 0,64\%^2} = 0,65\%$$

$$\delta_{P_{rms}} = U_{rP_{rms}} * P_{rms} = 0,0065 * 3,3W = 0,02145W = 21,45mW$$

$$U_{P_{rms}} = k * \delta_{P_{rms}} = 2 * 21,45mW = 42,90mW \text{ dla } k = 2$$

d) Wnioski

Wyniki pomiarów mocy są zgodne z przewidywaniami teoretycznymi tylko w przypadku sygnału o wypełnieniu 100%. Poza tym, pomiary są wyższe niż wartości skuteczne i średnie. Różnice między teoretycznymi obliczeniami a zmierzonymi napięciami zmniejszają się wraz ze wzrostem wypełnienia sygnału, a różnice między teoretycznie obliczonymi mocami zmniejszały się dla wypełnienia mniejszego niż 50% i większego niż 80%.