

5. POMIAR SYGNAŁÓW PRZEMIENNYCH I **IMPULSOWYCH**

I. 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.

II. ZAGADNIENIA DO PRZYGOTOWANIA

- Podstawy pomiaru prądów i napięć przemiennych oraz zmiennych o równym kształcie.
- Parametry typowych przebiegów przemiennych (amplituda/wartość średnia, wartość skuteczna).
- Pojęcie współczynnika kształtu.
- Metody przetwarzania sygnałów przemiennych na napięcie stałe (przetworniki wartości średniej i TRMS).
- Sygnały PWM – unipolarny przebieg prostokątny o zmiennym wypełnieniu – właściwości.
- Zasady obsługi mierników napięcia i prądu – podstawowe parametry i źródła błędów pomiarowych.
- Szacowanie niepewności .

III. WYPOSAŻENIE POMIAROWE:

- Generator sygnałowy
- Mierniki prądu i napięcia – w zależności od konfiguracji stanowiska: VC8045, MT8045, VC8145, DT9205
- Oscyloskop (do podglądu mierzonych przebiegów)
- Generator PWM z driverem i obciążeniem regulowanym

Uwaga: Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy zweryfikować rodzaj sprzętu dostępnego na stanowisku.

IV. PROGRAM ĆWICZENIA

ZADANIE 1 – POMIAR NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO

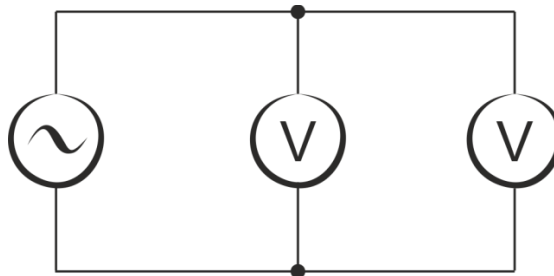
1.1. Zapoznanie się z narzędziami pomiarowymi.

1.1.1. Zapoznać się z obsługą multimetrów.

1.1.2. Określić graniczną niepewność pomiaru na podstawie dokumentacji mierników (uwzględnić zakresy pomiarowe oraz częstotliwości sygnałów).

1.2. 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.



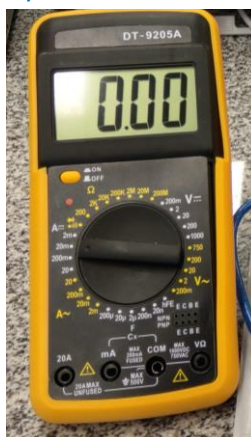
Rys. 2. Schemat pomiarowy

- Mierniki napięcia:

- Multimetr uniwersalny VC8045 – woltomierz wartości skutecznej - True RMS (poprawny pomiar TRMS odbywa się tylko w trybie – zakresy: napięcie zmienne AC+DC (przełącznik pod dolnym prawym rogiem wyświetlacza).



- Multimetr DT9205A – „marketowy”



- Oscyloskop cyfrowy – do kontroli amplitudy, kształtu i pomiaru parametrów sygnału



1.3. Pomiar napięcia sinusoidalnego

- 1.3.1. Na generatorze ustawić typ sygnału na **sygnał sinusoidalny** o napięciu zgodnym ze wskazówkami prowadzącego – np. **3Vpp** i częstotliwości **50Hz**.
- 1.3.2. Wykonać pomiar wszystkimi wskazanymi miernikami.
- 1.3.3. Zapisać wartości.
- 1.3.4. Zmieniać napięcie sygnału od wartości ok. 0,5 Vpp do 5 Vpp w rastrze np. 1; 2; 3; 5 – zapisać i porównać wskazania poszczególnych mierników.
Pomiary wykonać dla różnych zakresów miernika np. 2 V, 20 V i 200 V (przycisk range dla miernika VC8145, pokrętko dla miernika DT-9205A).
- 1.3.5. Ustawić napięcie wskazane przez prowadzącego – np. 4 Vpp i wykonać pomiary dla różnych częstotliwości z zakresu 10 Hz – 100 kHz (częstotliwości dobierać w rastrze 1;2;5 zagęszczając wyniki w zakresie częstotliwości, dla których mierniki zaczną pokazywać różne wartości odbiegające od wartości oczekiwanej). Uwaga: W rastrze to znaczy: 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz, 200Hz, 500Hz.... itd.
- 1.3.6. Pomiary powtórzyć na różnych zakresach miernika np. 2V, 20V, 200V.

Uwaga: jako wartość oczekiwaną (napięcie wzorcowe) przyjąć wskazania mierników dla częstotliwości **50 Hz**.

W sprawozdaniu zebrać wyniki pomiarów – porównać między miernikami i zakresami, oszacować niepewności. Określić, czy wyniki pomiarów, i w jakim zakresie, są zgodne z parametrami deklarowanymi w dokumentacji mierników. Przeanalizować wyniki – sformułować wnioski i własne zalecenia co doboru nastaw mierników do poszczególnych pomiarów.

Do każdej analizy przedstawić co najmniej jeden przykład pełnych obliczeń.

1.4. Pomiar różnych sygnałów

- 1.4.1. Dla wybranych przez prowadzącego częstotliwości z pasma 50Hz – 10kHz (np. **50Hz**, **500Hz**, **1kHz**, **5kHz**) dokonać pomiarów dla **sygnału sinusoidalnego**, **prostokątnego** (o wypełnieniu 50%) i **trójkątnego** symetrycznego o tych samych amplitudach np. 5V.

UWAGA: Wyświetlacz generatora pokazuje napięcie międzyszczytowe sygnału generatora. $U_{p-p} = 2U_A$.

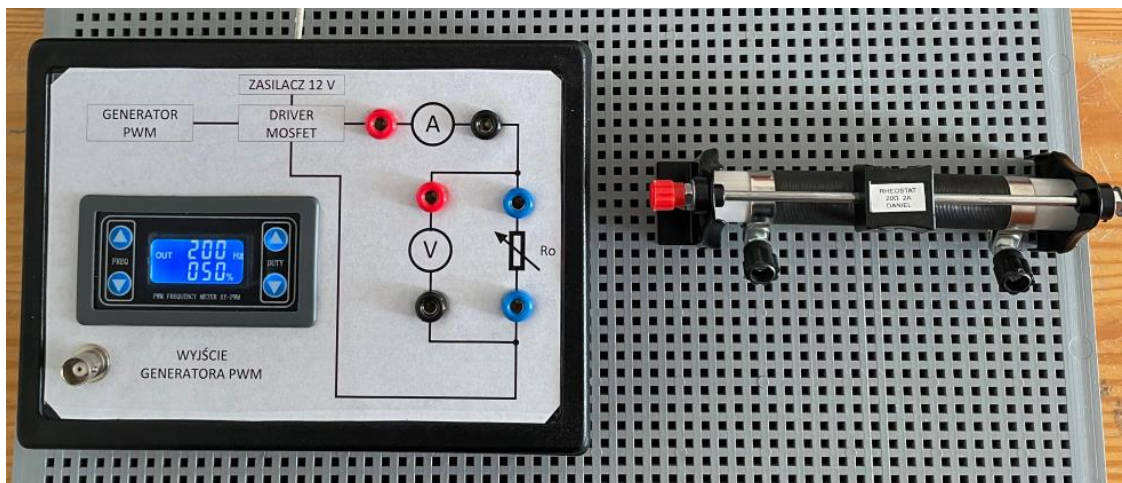
1.4.2. Zapisać wyniki.

W sprawozdaniu przeanalizować wyniki i odnieść do wyliczonych teoretycznie wartości skutecznych i średnich bezwzględnych mierzonych przebiegów. Sformułować wnioski.

Materiały pomocnicze znajdują się na końcu instrukcji.

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 – szczegóły zawarto w dodatku informacyjnym na końcu instrukcji.



Makieta – generator PWM z driverem i obciążeniem regulowanym

UWAGA: Multimetry poprawnie mierzą sygnał unipolarny tylko w trybie pomiaru napięcia „stałego” DC – przed rozpoczęciem tej części ćwiczenia proszę przełączyć mierniki w tryb DC.

2.1 Pomiar przebiegu PWM o zmiennym wypełnieniu

2.1.1 Włączyć generator PWM.

Do wyjścia WYJŚCIE GENERATORA PWM podłączyć oscyloskop i multimetry.

2.1.2 Przyciskami FREQ ustawić częstotliwość zadaną przez prowadzącego – np. 200 lub 500Hz.

2.1.3 Przyciskami DUTY ustawić wypełnienie na 50% - odczytać wartości napięć na multimetrach.

- 2.1.4 Powtórzyć pomiar dla 100% i co najmniej 5 innych wypełnień z zakresu 10-90%. (np. 10%,30%,60%,70%,90%)

W sprawozdaniu zebrać wyniki, oszacować niepewność i uzyskane wartości porównać z wartościami obliczonymi teoretycznie dla przebiegu o zadanym wypełnieniu.

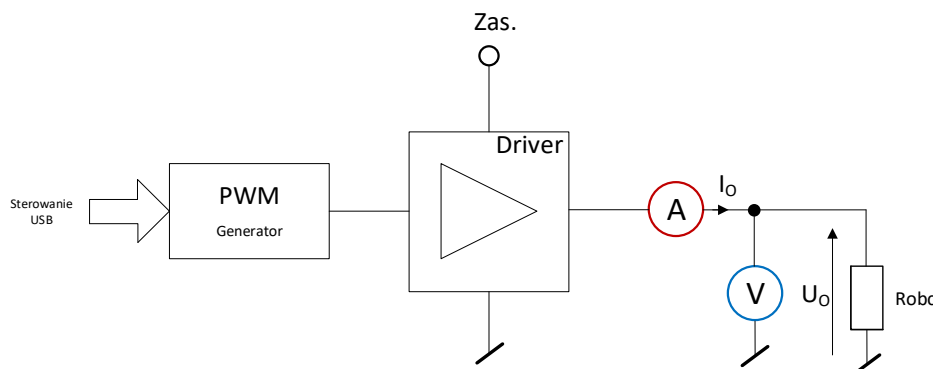
Jako wartość odniesienia do analiz – przyjąć odczyt z miernika VC 8045 dla wypełnienia 100%.

2.2 Symulacja pracy zasilacza impulsowego

Celem ćwiczenia jest praktyczne poznanie zasady pracy typowego zasilacza impulsowego PWM o stabilizowanym napięciu niezależnym od prądu obciążenia zasilacza.

W największym uproszczeniu zasilacz taki można potraktować jako układ PWM o stałej amplitudzie impulsów i zmiennym wypełnieniu. Wypełnienie zależy od chwilowego obciążenia zasilacza i jest sterowane z układu sprzężenia zwrotnego porównującego napięcie na wyjściu zasilacza z napięciem zadanym.

Pomiarom zostanie poddany układ z poniższego rysunku:



Układ reprezentuje rzeczywisty zasilacz o niezerowej impedancji wewnętrznej – układ zbliżony do dowolnego zasilacza impulsowego – np. ładowarki do telefonu.

R_{obc} to obciążenie zasilacza o zmiennej rezystancji – opornica suwakowa. Zmieniając obciążenie powoduje się zmianę prądu i napięcia w układzie. Ponieważ zadaniem zasilacza jest utrzymanie stałego napięcia na wyjściu – niezbędna jest zmiana wypełnienia impulsów PWM – zwiększenia wypełnienia przy wzroście obciążenia lub zmniejszenia wówczas, gdy obciążenie zmniejsza się i napięcie wyjściowe rośnie powyżej zadanego - w układzie zalicza realizuje się to automatycznie – w ćwiczeniu należy to robić ręcznie – zmieniając wypełnienie przebiegu – DUTY – aby niezależnie od obciążenia na wyjściu układu było napięcie jak najbardziej zbliżone do zadanego.

Napięcie zadane – z zakresu – (3-8)V podaje prowadzący – jest to napięcie wyjściowe naszego „zasilacza” - **X**

Realizacja zadania

- 2.2.1 Do makiety podłączyć amperomierz i woltomierz – mierniki przełączyć na pomiar DC (mierniki VC8145).
- 2.2.2 Odłączyć obciążenie R_o (wyjąć jeden wtyk z gniazda R_o na makiecie).
- 2.2.3 Zmieniając wypełnienie PWM uzyskać oczekiwane napięcie wyjściowe zasilacza **X**,
Uwaga: napięcie to należy odnotować gdyż w dalszej części zadania będzie stabilizowane w trakcie zmian obciążenia.

- 2.2.4 Po ustawieniu najbardziej zbliżonego do zadanego napięcia X – zapisać wskazanie woltomierza, amperomierza i % wypełnienia PWM.
- 2.2.5 Włączyć obciążenie na najmniejszą wartość (ustawić suwak opornicyw lewej skrajnej pozycji
- 2.2.6 Odczytać napięcie na wyjściu zasilacza.
- 2.2.7 Zwiększając % wypełnienia PWM doprowadzić do napięcia wyjściowego najbardziej zbliżonego do napięcia zadanego X .
- 2.2.8 Zapisać napięcie wyjściowe, prąd oraz % wypełnienia PWM.
- 2.2.9 Procedurę powtórzyć dla kolejnych poziomów obciążenia aż do osiągnięcia momentu – kiedy dla uzyskania napięcia X trzeba ustawić 100%. – Zapisać prąd i napięcie
- 2.2.10 Kontynuować zwiększanie obciążenia – zapisując prąd i napięcia aż do uzyskania maksymalnego obciążenia – suwak max w prawo.
- 2.2.11 Po uzyskaniu maksymalnego obciążenia – pomiary powtórzyć zmniejszając obciążenie aż do uzyskania obciążenia minimalnego.

W sprawozdaniu podać napięcia i prądy oraz % wypełnienia PWM dla każdej z nastaw „zasilacza” – wyliczyć moc oddawaną do obciążenia – w tym maksymalną moc przy zachowaniu napięcia X , oszacować niepewność pomiarów oraz wyznaczonej mocy.


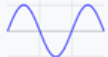
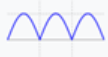


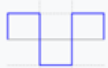

Sprawdzić, czy zmiany wypełnienia % PWM nastawione w czasie pomiarów są zgodne z zależnościami teoretycznymi – np. czy zmiany mocy na wyjściu o 50% wymagały zmian wypełnienia o tyle – ile wynika z teorii.

Uwaga: Dla uzyskania zadanego napięcia X przy obciążeniu „bez obciążenia” niezbędne było ustawienie pewnego początkowego wypełnienia % PWM. Dlatego do analiz zmian obciążenia należy uwzględniać % zmiany PWM względem ustawionego % wypełniania nastawionego na początku (tj. w celu osiągnięcia napięcia zadanego przez Prowadzącego). Przykładowo, jeżeli do uzyskania napięcia X przy obciążeniu „bez obciążenia” należało ustawić np. $W_0=54\%PWM$ a do obciążenia połową mocy $W_{50}=70\%PWM$ – to do analiz należy brać % względny tzn. $W_w=W_{50}-W_0 [\%] = 20\%$.

Szczegółowe informacje dotyczące analiz sygnałów PWM są zamieszczone w dodatku informacyjnym na końcu instrukcji.

DODATEK INFORMACYJNY – OPRACOWANIE DR INŻ. MAREK ŻARADNY

Uśr = 0 !!!

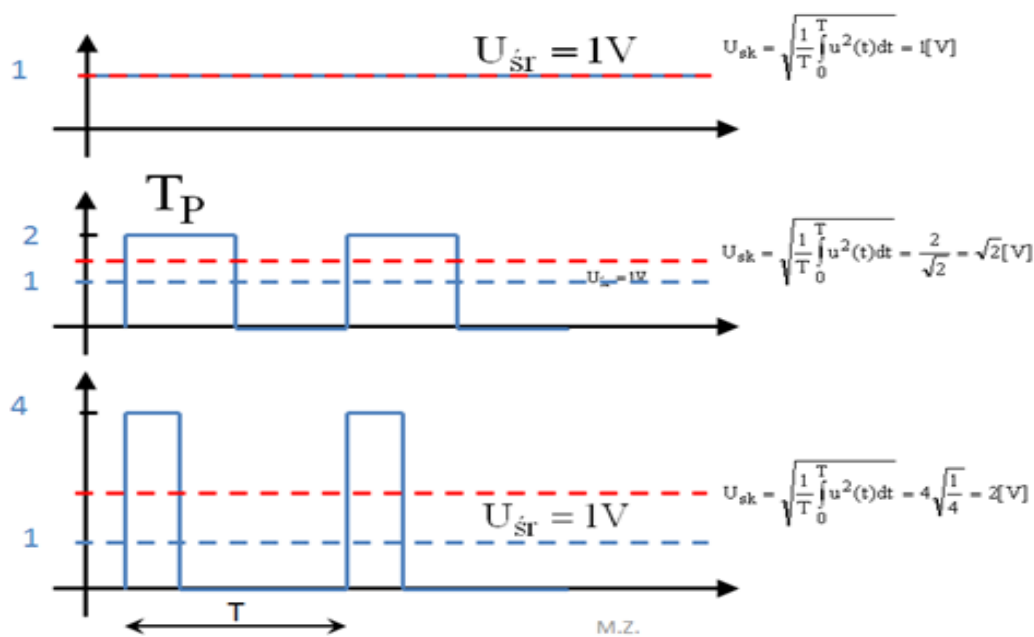
Rodzaj sygnału	Postać sygnału	Wartość średnia bezwzględna	Wartość skuteczna	Współczynnik kształtu	Współczynnik szczytu
Sygnał stały (DC)		1	1	1	1
Sinusoidalny		$\frac{2}{\pi} \approx 0,637$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11$	$\sqrt{2} \approx 1,414$
Sinusoidalny wyprostowany dwupółkowo		$\frac{2}{\pi} \approx 0,637$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11$	$\sqrt{2} \approx 1,414$
Sinusoidalny wyprostowany jednopółkowo		$\frac{1}{\pi} \approx 0,318$	$\frac{1}{2} = 0,5$	$\frac{\pi}{2} \approx 1,571$	2
Trójkątny symetryczny		$\frac{1}{2} = 0,5$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,577$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \approx 1,155$	$\sqrt{3} \approx 1,732$
Prostokątny symetryczny (współczynnik wypełnienia 50%)		1	1	1	1
Piłokształtny		$\frac{1}{2} = 0,5$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,577$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \approx 1,155$	$\sqrt{3} \approx 1,732$

https://pl.wikipedia.org/wiki/Sygnał_okresowy

Tab. 1. Zestawienie parametrów podstawowych sygnałów przemennych

Skuteczna / średnia wartość impulsów napięciowych zmiennych
o różnym wypełnieniu – $T_p/T=D$

$$u(t) := U_m$$



$$X_{RMS} := \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T_p} u^2(t) dt}$$

$$X_{RMS} \rightarrow \left(\frac{1}{T} \cdot T_p \cdot U_m^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$X_{AVR} := \frac{1}{T} \cdot \left(\int_0^{T_p} u(t) dt \right)$$

$$X_{AVR} \rightarrow \frac{1}{T} \cdot T_p \cdot U_m$$

W tabeli 2, zestawione są zależności teoretyczne na podstawie, których wyliczane są takie wielkości takie jak: wartość średnia, wartość średnia bezwzględna, wartość skuteczna i moc sygnału na obciążeniu jednostkowym, zarówno w dziedzinie czasu jak i częstotliwości dla sygnałów ciągłych i okresowych.

PARAMETR	Dziedzina	
	Czas	Częstotliwość
ŚREDNIA	$DC = \bar{x}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) dt$	$DC = A_o = F_o $
ŚREDNIA BEZWZGLĘDNA	$DC_{ABS} = \bar{x}(t)_{ABS} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) dt$	$DC = A_o = F_o , F_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-jn\omega_o t} dt$
SKUTECZNA	$TRMS = x(t)_{RMS,sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^2(t) dt}$	$TRMS = x(n)_{RMS,sk} = \sqrt{A_o^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n^2}{2}}$ $= \sqrt{F_o^2 + \sum_{n=1}^{\infty} 2 F_n ^2}$
Moc* *) NA OBŁĄCZENIU JEDNOSTKOWYM 1[Ω]	$P = x^2(t)_{RMS,sk} = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^2(t) dt$	$P = x^2(n)_{RMS,sk} = A_o^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n^2}{2}$ $= F_o^2 + \sum_{n=1}^{\infty} 2 F_n ^2$

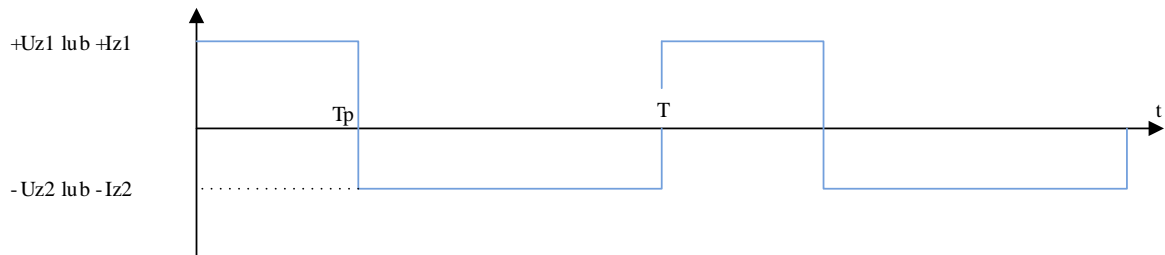
Tab. 2. Zestawienie zależności teoretycznych, dla sygnałów ciągłych i okresowych, umożliwiającących wyznaczenie podstawowych wielkości tych sygnałów.

Sygnał PWN

Celem tej części ćwiczenia jest zapoznanie się i zbadanie praktyczne w drodze podstawowych pomiarów sygnału PWM (*Pulse Width Modulation*) - unipolarnego, oraz praktyczne zastosowanie układu generującego sygnał PWM do przenoszenia napięć, mocy i stabilizacji impulsowej zasilania. Poznanie podstawowych parametrów woltomierzy i amperomierzy reagujących na wartości TRMS (AC+DC) i wartości średnie (DC). Umiejętność szacowania niepewności pomiarów.

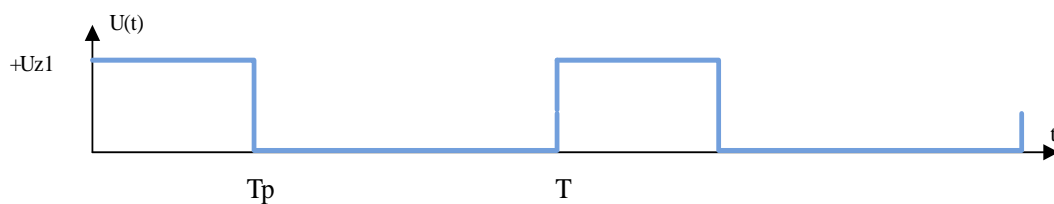
Wprowadzenie

Sygnał PWM, w ogólnej postaci, arbitralny bipolarny o asymetrii amplitudowej i czasowej będzie miał przebieg jak na rys. 1.



Rys. 1. Arbitralny sygnał PWM – bipolarny.

Jeśli założymy, że sygnał PWM na wyjściu będzie unipolarny, a więc zasilanie sterownika jest ze źródła napięcia unipolarnego $+U_{z1}$ (względem masy układu), to wówczas impulsy wyjściowe sygnału okresowego będą wyglądały, jak to pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Arbitralny sygnał PWM – unipolarny.

Wówczas, zależności opisujące, jego wartości : skuteczną (TRMS) i średnią (DC), wartość sygnału są dane następującymi wzorami – przy amplitudzie U_{z1} ..:

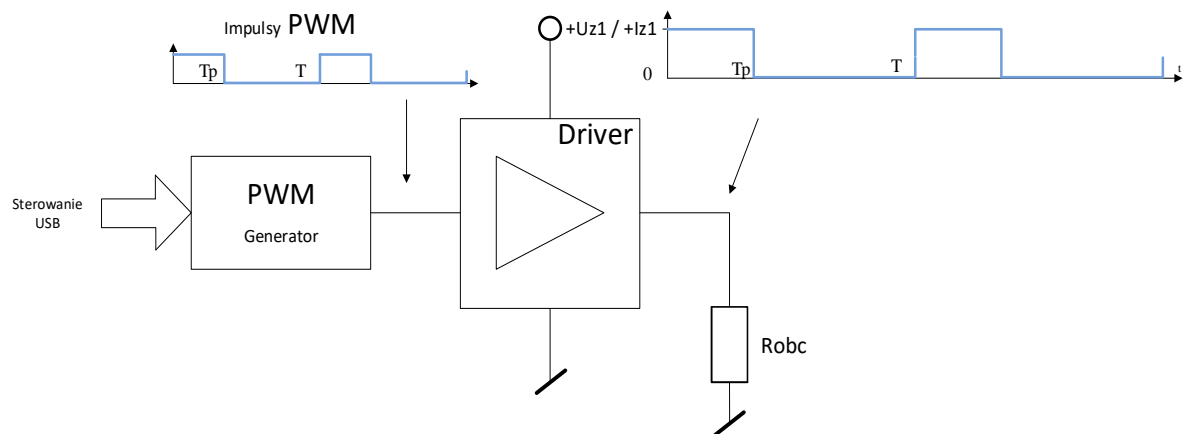
$$U_{AVG_OUT} = U_{O_DC} = U_{z1} \frac{T_p}{T} \quad (1) \quad \text{Wartość średnia sygnału (DC)}$$

$$U_{RMS_OUT} = U_{O_TRMS} = U_{z1} \sqrt{\frac{T_p}{T}} \quad (2) \quad \text{Wartość skuteczna sygnału (TRMS)}$$

gdzie, $\frac{T_p}{T} = D$ jest wypełnieniem, a liczonym w procentach jako: $D \cdot 100\% = D[\%]$

Zasada działania i teoria pomiarów z zastosowaniem modulatora sygnału PWM

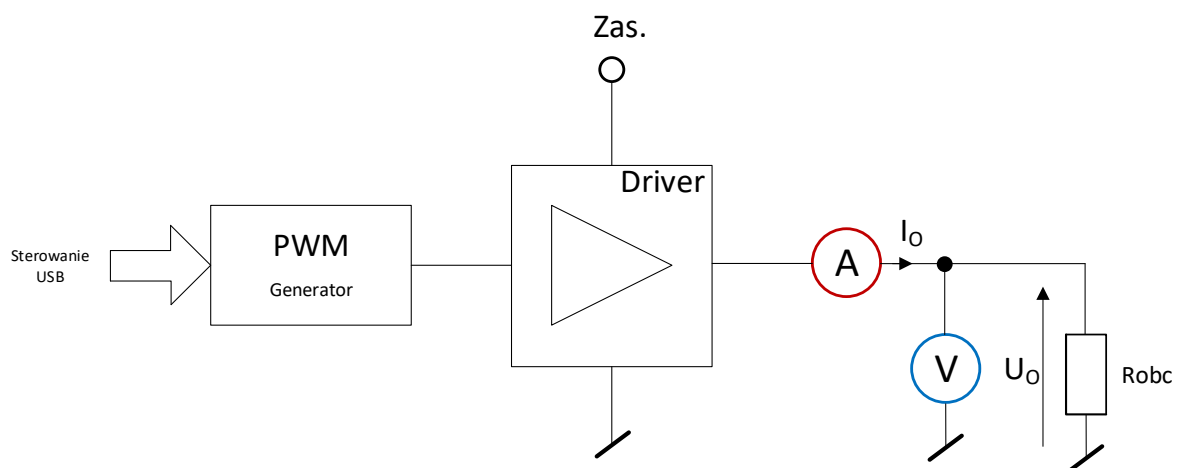
Jeśli na wejściu driver'a pojawiają się impulsy PWM, o zmiennym wypełnieniu D , ustawiane z generatora sterowanego komputerem, to na wyjściu driver'a unipolarnego, z rys. 3 na obciążeniu R_{obc} , pojawią się impulsy PWM napięciowe, zależne od U_{z1} i wypełnienia D , zgodnie z zależnościami.



Rys. 3. Sygnał na wyjściu cyfrowego generatora PWM – unipolarnego.

Rozważmy, teraz praktyczny układ pomiarowy, w którym dokonujemy pomiaru prądów i napięć sygnału PWM na obciążeniu rezystancyjnym R_{obc} – w funkcji wypełnienia D . Taki układ przedstawiono na rys. 4. Układ driver'a zbudowany jest w oparciu o tranzystor wyjściowy mocy EMOS z kanałem-N, którego rezystancja wewnętrzna tego kanału w trakcie przewodzenia nie przekracza 0.14Ω , a zatem możemy przyjąć, że $R_{obc} \gg R_{wMOS}$, gdzie R_{wMOS} – rezystancja wewnętrzna Driver'a (klucza tranzystorowego mocy).

W układzie tym będziemy dokonywali pomiaru – jednoczesnego – napięć i prądów na obciążeniu R_{obc} . W przypadku pomiaru napięć i prądów wartości średniej sygnału, będzie to pomiar dla **DC**. W przypadku pomiaru napięć i prądów wartości skutecznej, będzie to pomiar dla **TRMS (AC+DC)**. Tym samym możemy wyznaczyć moce sygnałów dla poszczególnych pomiarów z R_{obc} .



Rys. 4. Schemat pomiaru parametrów sygnału generatora PWM (napięć, prądów, mocy) - pośrednio, na obciążeniu o rezystancji R_{obc} .

Na przykład przy danym napięciu zasilania U_{z1} , z zasilacza $Zas.$, i PWM zmieniającym się od, $D = 5\%$ do 95% , lub wg. wskazań, możemy dokonać pomiaru:

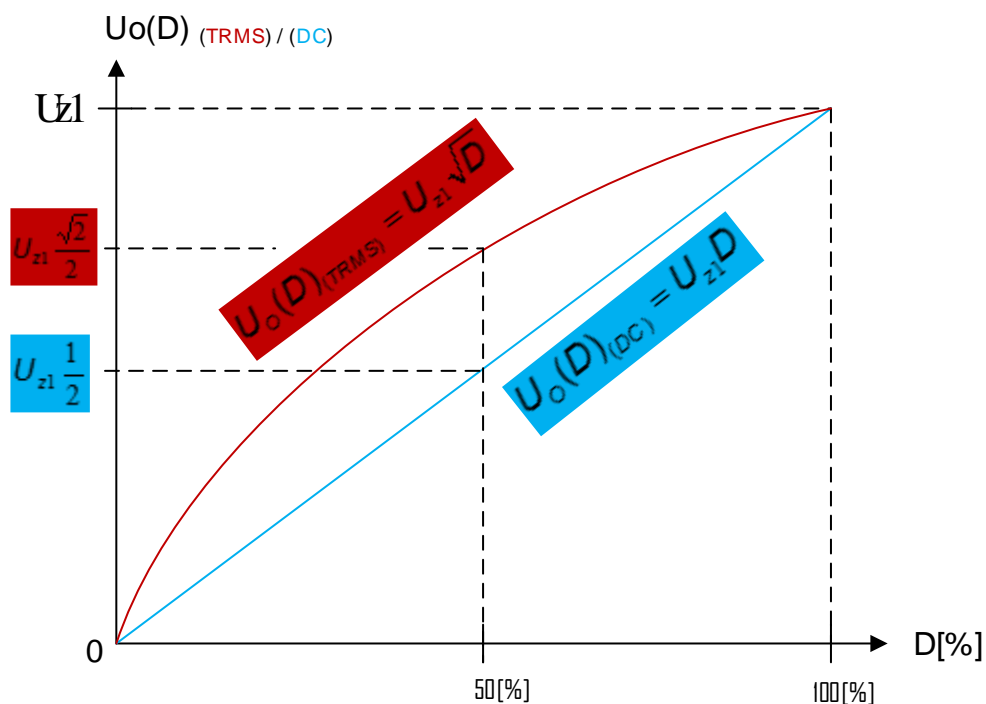
1. **Wartości średniej napięcia PWM** – czyli napięcia stałego U_o (pomiar - DC), w funkcji D , na danym R_{obc} . Jednocześnie pomiar prądu I_o (pomiar – DC). Jednoczesny pomiar napięcia U_o (pomiar – DC) i prądu I_o (pomiar – DC), umożliwia techniczny pomiar rezystancji obciążenia R_{obc} - jako $U_{o(DC)} / I_{o(DC)} = R_{obc}$, oraz mocy sygnału dla wartości średnich – napięcia i prądu (pomiar – DC) – jako $U_{o(DC)} \cdot I_{o(DC)} = P_o (DC)$

Teoretyczna wartość tego napięcia będzie opisana zależnością $U_{z1} \cdot D[\%] / 100\% = U_{o(DC)}$, a prądu $I_{o(DC)} = U_{o(DC)} / R_{obc}$. Moc „prądu stałego”, sygnału PWM będzie dana wzorem $(U_{z1} \cdot D[\%] / 100\%)^2 / R_{obc} = P_o (DC)$

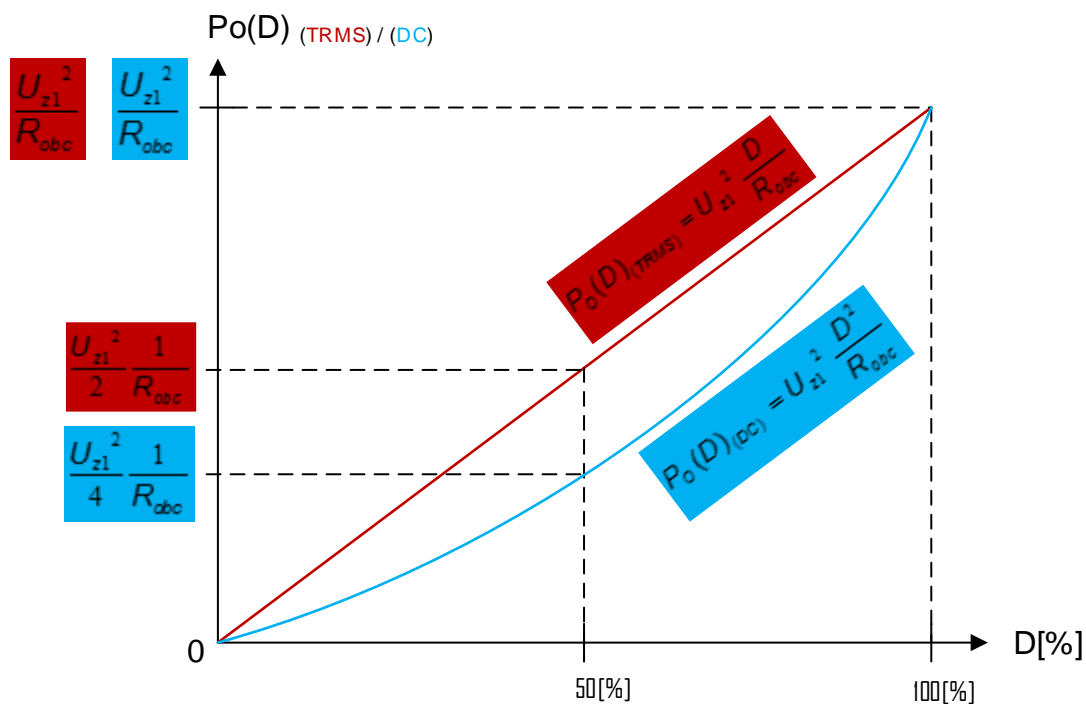
2. **Wartości skutecznej napięcia PWM** – czyli napięcia TRMS U_o (pomiar – TRMS), w funkcji D , na danym R_{obc} . Jednocześnie pomiar prądu TRMS I_o (pomiar – TRMS). Jednoczesny pomiar napięcia TRMS U_o i prądu TRMS I_o , umożliwia techniczny pomiar rezystancji obciążenia R_{obc} , przy sygnale zmiennym - jako $U_{o(TRMS)} / I_{o(TRMS)} = R_{obc}$, oraz mocy sygnału zmiennego – napięcia i prądu (pomiar – TRMS) – jako $U_{o(TRMS)} \cdot I_{o(TRMS)} = P_o (TRMS)$.

Teoretyczna wartość tego napięcia będzie opisana zależnością $U_{z1} \cdot \sqrt{D[\%]} / 100\% = U_{o(TRMS)}$, a prądu $I_{o(TRMS)} = U_{o(TRMS)} / R_{obc}$. Moc „prądu zmiennego” sygnału PWM będzie dana wzorem $(U_{z1} \cdot \sqrt{D[\%]} / 100\%)^2 / R_{obc} = (U_{z1}^2 \cdot D[\%] / 100\%) / R_{obc} = P_o (TRMS)$

W konsekwencji do powyższego, na podstawie pomiarów i związków teoretycznych, możemy sporządzić następujące wykresy teoretyczne – w ogólnej postaci – w zależności od $D[\%]$, na które należy nanieść wartości uzyskane w wyniku pomiarów, dla sygnału PWM – rys. 5. – przy konkretnych wartościach pomiarowych. *Pomiary mocy należałoby sporządzać, analogicznie, na osobnych wykresach, jak to pokazano na rys. 6 – teoria + eksperyment.*



Rys. 5. Wykresy teoretyczne **napięć** (TRMS – wartości skutecznej i DC – wartości średniej) sygnału unipolarnego PWM, w funkcji współczynnika wypełnienia „D”.



Rys. 6. Wykresy teoretyczne **mocy** (TRMS – dla wartości skutecznej i DC – wartości średniej) sygnału unipolarnego PWM, w funkcji współczynnika wypełnienia „D”. Układ pomiarowy z rys. 4.

Zasada działania i teoria dla pomiarów z zastosowaniem modulatora sygnału PWM do stabilizacji napięcia wyjściowego od zmian obciążenia

Zakładając, że w układzie zasilania PWM przy zmiennym obciążeniu R_L , a stałym wypełnieniu, występują zmiany napięcia, na wyjściu U_o wywołane stratami oporowymi wewnętrznych elementów takich jak uzwojenia indukcyjne, kondensator, dioda, i sam tranzystor (klucz PWM), to te wszystkie elementy można zastąpić jedną rezystancją – zastępczą R_w . Wówczas przy danym współczynniku wypełnienia D_1 sygnału PWM, w warunkach kiedy „zasilacz” nie jest obciążony, lub jest obciążony rezystancją $R_L \gg R_w$ np. 1000-razy, napięcie na wyjściu będzie w dużym przybliżeniu równe $D_1 \cdot U_z$. Natomiast kiedy podłączymy do zacisków obciążenia rezystancję R_L zaledwie kilkakrotnie większą od R_w np.: $R_L = 10 \cdot R_w$, to wówczas przy tym samym wypełnieniu D_1 zgodnie z **rys. 7**, napięcie wyjściowe średnie (DC) będzie równe:

$$U_{AVG(RL)} = U_z \cdot D_1 \cdot \frac{R_L}{R_L + R_w} \quad (3)$$

a więc zawsze mniejsze od $D_1 \cdot U_z$

Zatem w celu kompensacji zmian napięcia na wyjściu „zasilacza” nie zwiększając U_z , możemy dokonać przez zwiększenie współczynnika wypełnienia z D_1 na D_2 , zgodnie z **rys.7**, tak że napięcie na wyjściu, osiągnie tę samą wartość co napięcie wyjściowe $U_o = D_1 \cdot U_z$ w warunkach kiedy R_L jest bardzo duże lub nieskończone. Wówczas „nowa” kompensująca wartość tego napięcia, zależna od D_2 , będzie równa:

$$U_{AVG(RL)} = U_z \cdot D_2 \cdot \frac{R_L}{R_L + R_w} \quad (4)$$

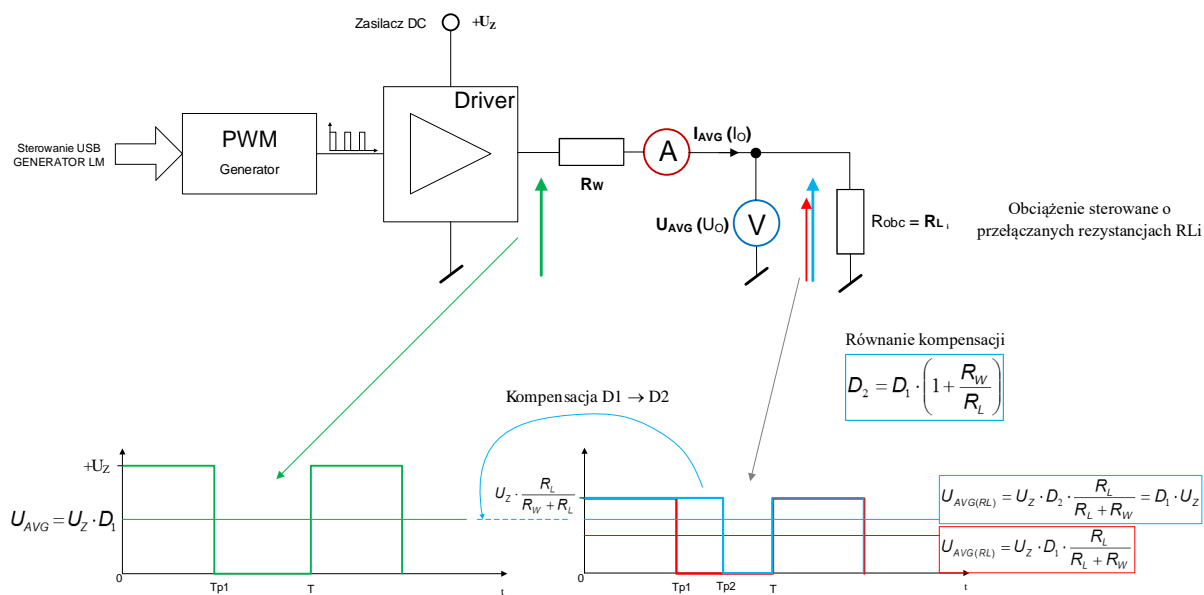
W związku z powyższym możemy zapisać równanie dla kompensacji w postaci

$$U_{AVG(RL)} = U_z \cdot D_2 \cdot \frac{R_L}{R_L + R_w} = D_1 \cdot U_z \quad (5)$$

Zatem, równanie kompensacji za pomocą „nowego” współczynnika wypełnienia ma postać

$$D_2 = D_1 \cdot \left(1 + \frac{R_w}{R_L} \right) \quad (6)$$

Rezystancję R_L możemy określić na podstawie pomiarów jako $R_L = U_o / I_o = U_{AVG(RL)} / I_{AVG(RL)}$, natomiast rezystancję R_w z dużą dokładnością, jako $R_w = (U_z \cdot D_1 - U_{AVG(RL)}) / I_{AVG(RL)}$.



Rys. 7. Schemat i zasada pracy z zastosowaniem modulatora sygnału PWM do stabilizacji napięcia wyjściowego od zmian obciążenia RL, w warunkach stratnego – rzeczywistego driver'a z rezystancją wewnętrzną R_W – symulującą straty.

Symulacja stabilizacji napięcia zasilacza impulsowego od zmian obciążenia.