

Politechnika Rzeszowska  
im. Ignacego Łukasiewicza



Instrukcja do laboratorium 3

*REGULACJA MOCY W OBWODACH PRĄDU STAŁEGO*

## ZAWARTOŚĆ

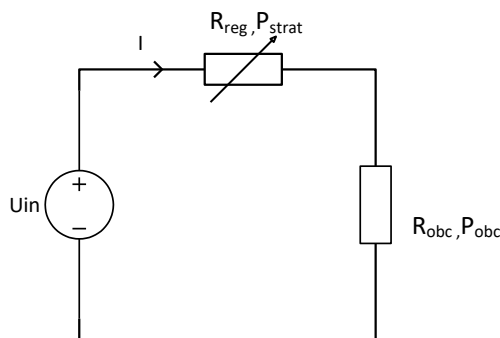
---

---

Wprowadzenie .....	3
Elementy składowe modułu .....	4
Przebieg ćwiczenia.....	5
Zadanie 1 .....	5
Zadanie 2 .....	6
Zadanie 3 .....	7
Opracowanie wyników pomiarowych.....	9

## WPROWADZENIE

W obwodach prądu stałego regulacji mocy pobieranej przez odbiornik dokonujemy najczęściej w celu regulacji nieelektrycznej wartości wyjściowej, np. natężenia oświetlenia, prędkości obrotowej silników prądu stałego czy temperatury. Regulacji mocy dokonuje się przez zmianę wartości napięcia zasilającego (regulatory o działaniu ciągłym) lub kluczkowanie napięcia wyjściowego (regulacja impulsowa).

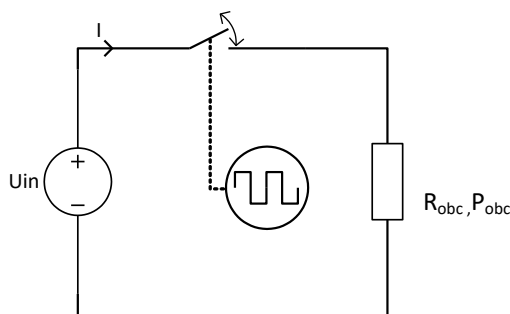


**RYSUNEK 1** PRZYKŁADOWY OBWÓD REGULACJI CIĄGŁEJ

$$P_{obc} = U_{in} \cdot \frac{U_{in}}{R_{obc} + R_{reg}} \cdot \frac{R_{obc}}{R_{obc} + R_{reg}} \quad (1)$$

W przypadku regulacji poprzez zmianę napięcia zasilania należy liczyć się z dużą nieliniowością zależności wielkości wyjściowej i napięcia zasilania. Dodatkowo możliwość regulacji istnieje tylko w pewnym przedziale napięć wejściowych. Do wad tego typu rozwiązanie należy także zaliczyć małą sprawność regulatorów, które najczęściej są realizowane jako elementy szeregowo o zmiennej rezystancji. W rozwiązaniach tych różnica między aktualną mocą a mocą znamionową odbiornika zamieniana jest w regulatorze na ciepło. Przykładowy obwód regulacji ciągłej oraz równanie mocy na odbiorniku zostały przedstawione na rys. 1.

Regulatory o działaniu impulsowym wykorzystują metodę regulacji sygnału prądowego lub napięciowego o stałej amplitudzie, polegającą na zmianie współczynnika wypełnienia sygnału sterującego kluczem – jest to tzw. modulacja PWM. Odbiorniki można zasilać bezpośrednio z wyjścia regulatora lub przez dodatkowy filtr dolnoprzepustowy, którego zadaniem jest wygładzanie zmian natężenia prądu elektrycznego i napięcia. Przykładowy regulator impulsowy został przedstawiony na rys. 2.



**RYSUNEK 2** PRZYKŁADOWY OBWÓD REGULACJI IMPULSOWEJ

$$P_{obc} = U_{in} \cdot I \cdot \frac{t_h}{t_h + t_l} \quad (2)$$

$$\text{Współczynnik wypełnienia } k\% = \frac{t_h}{t_h + t_l}$$

Modulacja szerokości impulsu najczęściej wykonywana jest poprzez przełączenie tranzystorów lub tyrystorów pomiędzy stanem przewodzenia a stanem zaporowym. W stanie zaporowym natężenie prądu jest pomijalnie małe, nie występują więc straty mocy. W stanie przewodzenia występuje niewielki spadek napięcia na układzie sterującym, jednak jest on pomijalnie mały w stosunku do mocy przekazywanej, co skutkuje największą sprawnością energetyczną układu regulacyjnego. Zasilanie metodą PWM charakteryzuje się łatwością sterowania oraz pozwala na uzyskanie dużej dokładności.

## ELEMENTY SKŁADOWE MODUŁU

W skład modułu do pomiarów napięcia, natężenia i mocy w obwodach prądu stałego *DC-PWM* (rys. 3) wchodzi:

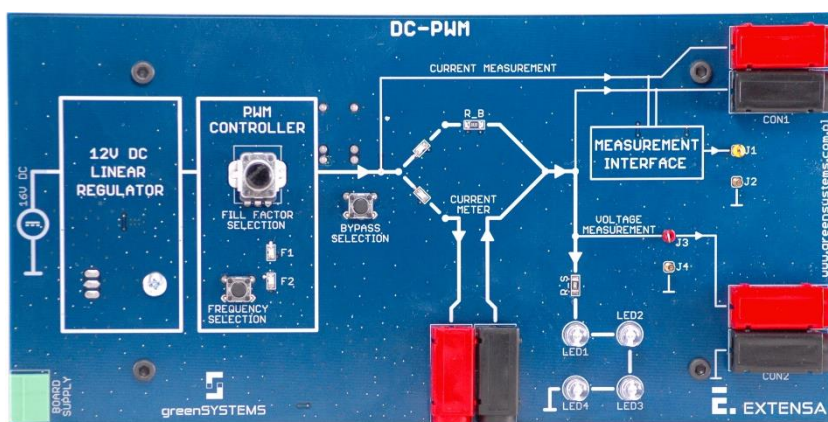
**Zasilacz stabilizowany** o napięciu wyjściowym równym 12V.

**Impulsowy regulator mocy** z modulacją PWM. Regulator może pracować na dwóch częstotliwościach:  $f_1$  i  $f_2$  (zmiana przełącznikiem *Frequency Selection*) i umożliwia płynną regulację mocy w zakresie od 10% do 90% mocy znamionowej odbiornika (realizowane potencjometrem *Fill Factor Selection*).

**Bocznik** do pomiaru prądu o rezystancji 1  $\Omega$ . Przełącznik *Bypass Selection* umożliwia przełączanie pomiędzy bocznikiem i konektorem do pomiaru prądu.

**Wzmocniacz pomiarowy** o wzmacnieniu 100 V/V, minimalnym napięciu wyjściowym równym 30 mV oraz maksymalnym napięciu wyjściowym wynoszącym 12 V.

**Obciążenie** złożone z połączenia szeregowego czterech diod LED oraz rezystora o wartości 10  $\Omega$ .



RYSUNEK 3 MODUŁ DC-PWM

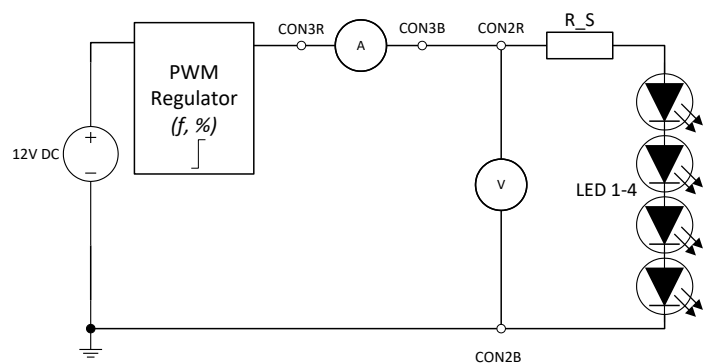
PRZEBIEG ĆWICZENIA

ZADANIE 1

Pomiar mocy przy pomocy amperomierza i woltomierza.

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 4. Dodatkowo do zacisków J1 i J2 podłączyć sondę oscyloskopu.

Określić częstotliwość  $f_1$  i  $f_2$  regulatora. Dokonać po 10 pomiarów prądu i napięcia na odbiorniku, dla każdej z częstotliwości regulatora w taki sposób, aby równomiernie pokryć cały zakres regulacji mocy (współczynnik wypełnienia  $k\%$  - skorzystać z funkcji DUTY – na oscyloskopie). Pomiary zanotować wzorując się na tabeli 1.



RYSUNEK 4 SCHEMAT DLA ĆWICZENIA 1

TABELA 1 WYNIKI POMIARÓW I OBLICZENIA.

L.p.	f [Hz]	k%	U [V]	$\Delta U$ [V]	I [A]	$\Delta I$ [A]	U(U) [V]	U(I) [A]	P [W]	U(P) [W]
1.	F1	10								
2.	F1	20								
3.	F1	30								
4.	F1	40								
5.	F1	50								
6.	F1	60								
7.	F1	70								
8.	F1	80								
9.	F1	90								
10.	F1	100								
1.	F2	10								
2.	F2	20								
3.	F2	30								
4.	F2	40								
5.	F2	50								
6.	F2	60								
7.	F2	70								

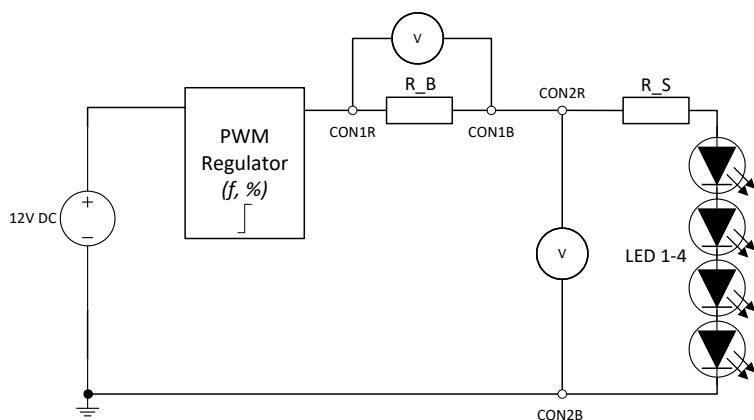
8.	F2	80								
9.	F2	90								
10.	F2	100								

$f$  – częstotliwość regulatora,  $k\%$  – współczynnik wypełnienia,  $U$  – napięcie na odbiorniku,  $\Delta U$  – rozdzielczość woltomierza,  $I$  – prąd płynący przez odbiornik,  $\Delta I$  – rozdzielczość amperomierza,  $U(U)$  – niepewność pomiaru napięcia,  $U(I)$  – niepewność pomiaru prądu,  $P$  – wyliczona moc pobierana przez odbiornik,  $U(P)$  – wyliczona niepewność pomiaru mocy.

## ZADANIE 2

### Pomiar mocy z użyciem dwóch woltomierzy.

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 5. Dokonać po 10 pomiarów dla każdej z częstotliwości regulatora w taki sposób, aby równomiernie pokryć cały zakres regulacji mocy (należy przeprowadzić pomiary dla tych samych wartości napięcia mierzonego na obciążeniu co w zadaniu 1). Pomiary zanotować w tabeli 2.



RYSUNEK 5 SCHEMAT DLA ĆWICZENIA 2

TABELA 2 WYNIKI POMIARÓW I OBLICZENIA.

L.p.	$f$ [Hz]	$k\%$	$U$ [V]	$\Delta U$ [V]	$U_B$ [V]	$\Delta U_B$ [V]	$I$ [A]	$U(U)$ [V]	$U(I)$ [A]	$P$ [W]	$U(P)$ [W]
1.	F1	10									
2.	F1	20									
3.	F1	30									
4.	F1	40									
5.	F1	50									
6.	F1	60									
7.	F1	70									
8.	F1	80									
9.	F1	90									
10.	F1	100									
1.	F2	10									
2.	F2	20									
3.	F2	30									

f – częstotliwość regulatora, k% – współczynnik wypełnienia, U – napięcie na odbiorniku,  $\Delta U$  – rozdzielczość woltomierza,  $U_B$  – napięcie na boczniku,  $\Delta U_B$  – rozdzielczość woltomierza, I – prąd płynący przez odbiornik, U(U) – niepewność pomiaru napięcia, U(I) – niepewność pomiaru prądu, P – wyliczona moc pobierana przez odbiornik, U(P) – wyliczona niepewność pomiaru mocy.

## Pomiar mocy z wykorzystaniem oscyloskopu.

Woltomierze służą do porównania odczytów – wskazują wartość skuteczną TRUE RMS. Z oscyloskopu należy odczytać wartości napięć w obwodzie (dwoma metodami – patrz Sposób pomiaru poniżej) oraz współczynnik wypełnienia tych przebiegów. Zanotować odpowiadające im wartości skuteczne wskazywane przez woltomierze. Wyniki zamieścić w tabeli 3. Przerysować przykładowe przebiegi napięcia i prądu. (można dokonać zrzutu ekranu na pen-drive lub zrobić zdjęcie smartfonem).

Katedra Fizyki i Inżynierii Medycznej PRz - 2025

**Sposób pomiaru:**

1. Oscyloskop skalibrować tak aby uzyskać stabilny obraz co najmniej dwóch okresów obserwowanych przebiegów.
2. Ustawić zadany współczynnik wypełnienia (DUTY).
3. Odczytać z oscyloskopu wartości napięcia  $U_o$  i prądu  $I_o$  (uwzględniając wzmocnienie toru pomiarowego i rezystancję bocznika pomiarowego), oszacować popełniane błędy odczytu. Zapisać wyniki w tabeli pomiarowej.
4. Uruchomić funkcję MEASUREMENT – odczytać wartości skuteczne napięcia  $U_m$  i prądu  $I_m$  (uwzględniając wzmocnienie toru pomiarowego i rezystancję bocznika pomiarowego), oszacować popełniane błędy odczytu. Zapisać wyniki w tabeli pomiarowej.
5. Odczytać wskazania woltomierzy, oszacować popełniany błąd pomiaru. Zapisać wyniki w tabeli pomiarowej.

**TABELA 3 WYNIKI POMIARÓW I OBLICZENIA.**

L.p.	f [Hz]	%	$U_o$ [V]	$I_o$ [A]	$P_o$ [W]	$U(P_o)$ [W]	$U_m$ [V]	$I_m$ [A]	$P_m$ [W]	$U(P_m)$ [W]	U [V]	I [A]	U(I) [A]	P [W]
1.	F1	10												
2.	F1	50												
3.	F1	90												
1.	F2	10												
2.	F2	50												
3.	F2	90												

$f$  – częstotliwość regulatora,  $k\%$  - współczynnik wypełnienia,  $U_o$  – napięcie na odbiorniku odczytane z ekranu oscyloskopu,  $I_o$  – prąd odbiornika obliczony z odczytu na ekranie oscyloskopu,  $U_m$  – napięcie na odbiorniku odczytane z oscyloskopu funkcją MEASURE,  $I_m$  – prąd odbiornika z oscyloskopu odczytany funkcją MEASURE,  $U$  - napięcie na odbiorniku odczytane z woltomierza,  $I$  – prąd odbiornika obliczony ze wskazań woltomierza podłączonego do bocznika  $R_B$ , dla każdego z odczytów:  $P$  – wyliczona moc pobierana przez odbiornik,  $U(P)$  – wyliczona niepewność pomiaru mocy.



## OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIAROWYCH

---

**Każda osoba z zespołu przygotowuje własne sprawozdanie zawierające:**

- stronę tytułową (według wzoru z zajęć wprowadzających),
- wstęp teoretyczny zawierających najistotniejsze według osoby przygotowującej sprawozdanie informacje i wzory wykorzystywane w obliczeniach,
- tabele pomiarowo/obliczeniowe,
- pod tabelami obowiązkowo przykładowe obliczenia wyznaczanych parametrów i ich niepewności,
- wnioski i uwagi.

Do teczki zespołu laboratoryjnego należy dołączyć 1 egz. podpisanych przez prowadzącego tabel pomiarowych.

**Szczegółowy zakres czynności:**

1. Na podstawie uzyskanych wyników wyliczyć moc wydzielaną na obciążeniu dla każdej z metod pomiarowych i porównać je ze sobą. Wyciągnąć wnioski z uzyskanych wyników. Wyniki obliczeń umieścić w tabelach (pola zaciemnione).
2. Przedstawić przykładowe obliczenia i wzory, z których korzystano.
3. Wyjaśnić zachowanie diod LED dla różnych wartości współczynnika wypełnienia i częstotliwości kluczowania.
4. Sporządzić wykresy mocy wydzielanej na odbiorniku w funkcji współczynnika wypełnienia (zadanie 1 i 2).
5. Zapisać wnioski.