



Ćwiczenie G3

Wyznaczanie mocy elektrycznej silnika Stirlinga

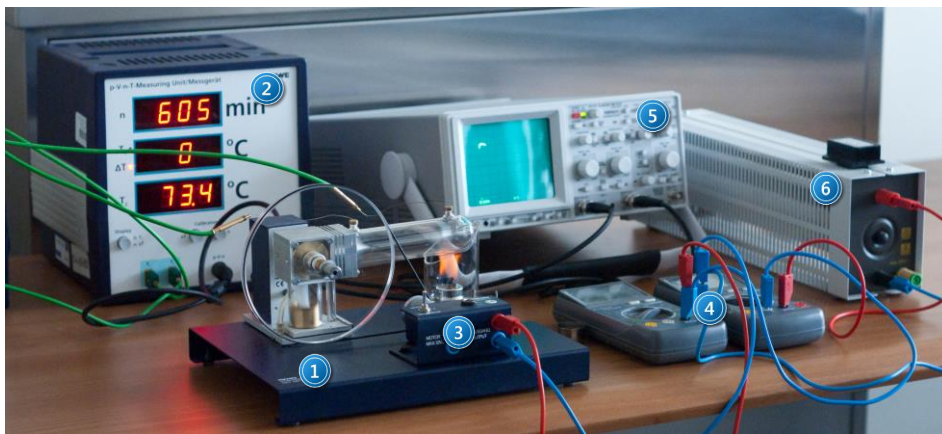


I. Zagadnienia do opracowania.

1. Budowa i zasada działania silnika Stirlinga typu alfa
2. Zasada zachowania energii
3. Pomiar temperatury i skale termometryczne
4. Równanie stanu gazu doskonałego
5. Przemiany gazowe: izotermiczna, izobaryczna, izochoryczna, adiabatyczna
6. Natężenie oraz napięcie prądu elektrycznego. Praca, moc prądu elektrycznego.
7. Cykl Carnota

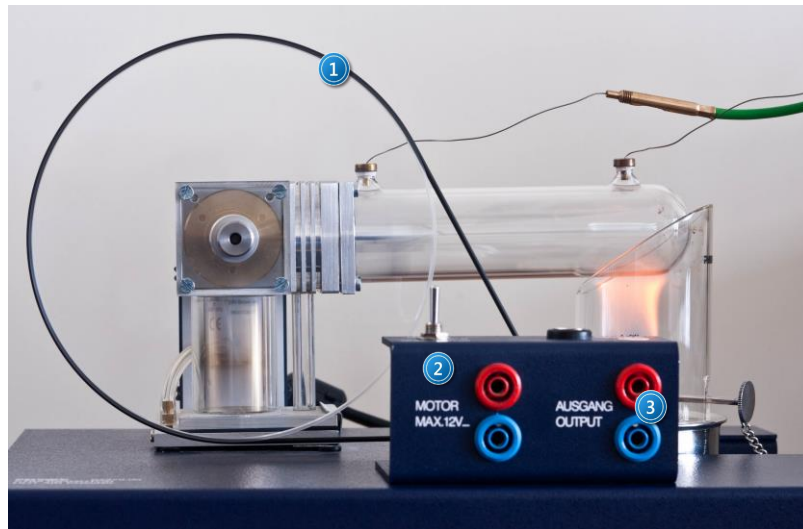
II. Przygotowanie stanowiska doświadczalnego

1. Zapoznać się z układem pomiarowym przedstawionym na *Zdjęciu 1*.



Zdjęcie 1. Układ pomiarowy z silnikiem Stirlinga: 1 – model silnika Stirlinga; 2 – miernik p-V-n-T; 3 – moduł z generatorem; 4 – mierniki uniwersalne; 5 – oscyloskop; 6 – opornica suwakowa.

2. Przygotowanie układu do pomiarów obejmuje:
 - a) uzupełnienie zawartości paliwa w zbiorniku;
 - b) zamontowanie modułu z generatorem;
 - c) podłączenie opornicy suwakowej i mierników;
 - d) podłączenie przewodów w układzie;
 - e) uruchomienie i kalibrację miernika p-V-n-T.
 - f) uruchomienie i konfigurację oscyloskopu



Zdjęcie 2. Działający silnik Stirlinga z modułem generatora: 1 – pasek klinowy na kole silnika; 2 – przełącznik generatora; 3 – wyjścia generatora.

III. Uzupelnienie zawartości paliwa w zbiorniku.

1. Wlać paliwo do pojemnika (2 na Zdjęciu 3).



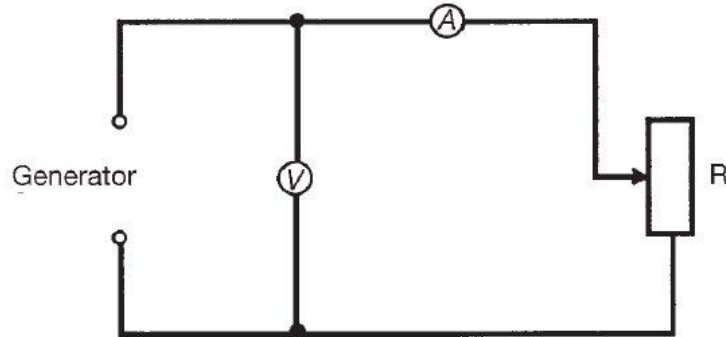
Zdjęcie 3. Palnik: 1 – nakrętka palnika; 2 – zbiornik palnika; 3 – komin palnika.

2. Założyć i dokładnie zakręcić nakrętkę.

IV. Podłączenie opornicy suwakowej i mierników.

1. Połączyć elementy układu według schematu na Rysunku 4.
Końcówki obwodu podłączyć do wtyków OUTPUT modułu generatora (3 na Zdjęciu 2).

- Miernik uniwersalny podłączyć szeregowo pomiędzy opornicą a generatorem jako amperomierz i ustawić na nim zakres 200 mA.

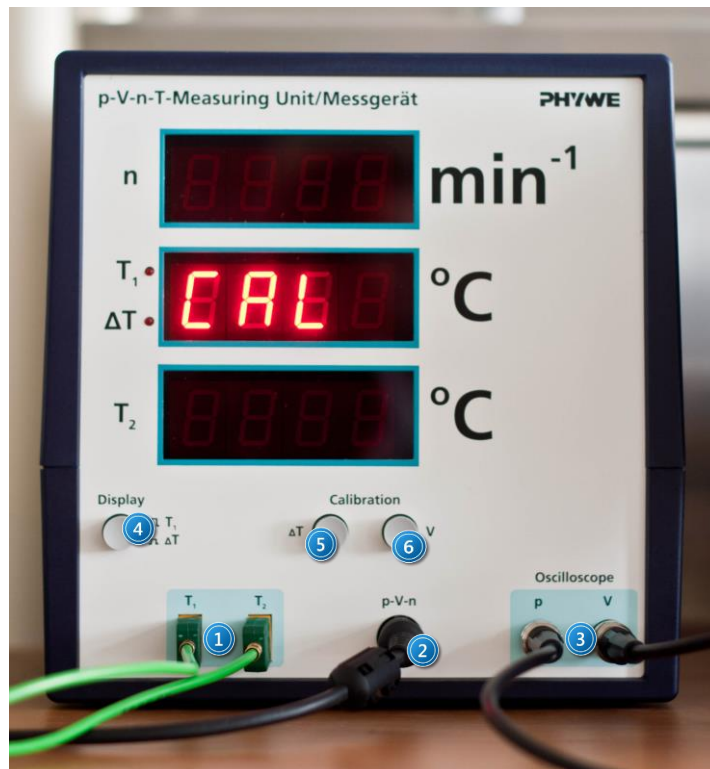


Rysunek 4. Schemat połączenia elementów układu pomiarowego.

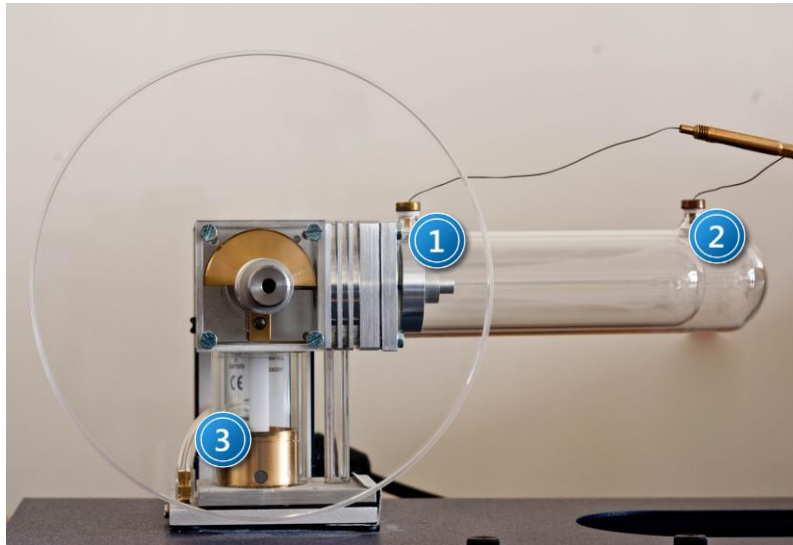
- Drugi miernik uniwersalny podłączyć równolegle między opornicą a generatorem jako woltomierz (jak na Rysunku 4) i ustawić na nim zakres 20 V.

V. Podłączenie przewodów w układzie.

- Podłączyć do miernika p-V-n-T obie termopary T_1 i T_2 (1 na Zdjęciu 5) oraz przewód p-V-n (2 na Zdjęciu 5).



Zdjęcie 5. Miernik p-V-n-T: 1 – wejścia termopar T_1 , T_2 ; 2 – wejście przewodu do miernika p-V-n; 3 – wyjścia oscyloskopowe p i V; 4 – przełącznik zmiany trybu wyświetlania temperatury; 5, 6 – przyciski do kalibracji temperatury i objętości.



Zdjęcie 6. Widok z boku silnika Stirlinga: 1 – wtyk termopary T_1 ; 2 – wtyk termopary T_2 ; 3 – pionowy tłok silnika w dolnej pozycji.

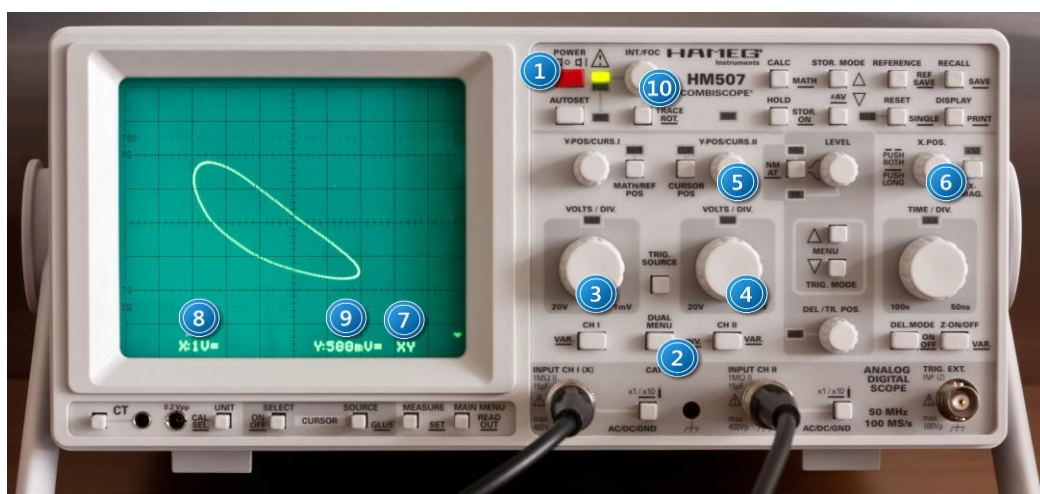
- Delikatnie wetknąć końcówki termopar do metalowych wypustek na poziomym cylindrze silnika, zgodnie z kolejnością pokazaną na Zdjęciu 6.

VI. Uruchomienie i kalibracja miernika p-V-n-T.

- Ustawić silnik tak, aby pionowy tłok (3 na Zdjęciu 6) znajdował się w dolnym położeniu.
- Włączyć miernik p-V-n-T przyciskiem znajdującym się z tyłu obudowy.
- Dokonać kalibracji temperatury poprzez kliknięcie przycisku ΔT na panelu miernika p-V-n-T, (5 na Zdjęciu 4) a następnie kalibracji objętości, klikając przycisk ΔV (6 na Zdjęciu 4).

VII. Uruchomienie i konfiguracja oscyloskopu.

- Włączyć oscyloskop czerwonym przyciskiem **POWER** (1 na Zdjęciu 7).

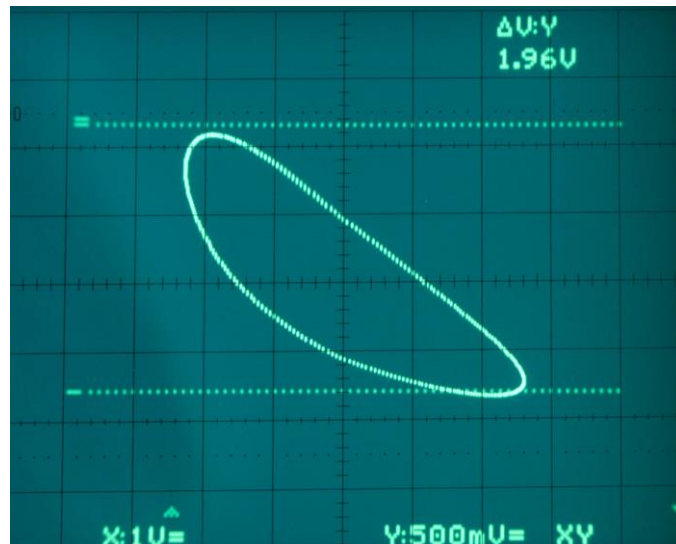


Zdjęcie 7. Widok przedniego panelu oscyloskopu: 1 – włącznik; 2 – przycisk zmiany trybu pracy; 3, 4 – pokręta zmiany wzmocnienia kanałów; 5, 6 – pokręta zmiany pozycji oscylografu; 7 – aktualny tryb pracy; 8, 9 – aktualne wzmocnienia kanałów; 10 – pokręto zmiany intensywności oscylografu.

- Pokrętlami zmiany wzmocnienia (3, 4 na *Zdjęciu 7*) ustawić wzmocnienie kanału 1 na 500 mV a wzmocnienie kanału 2 na 1 V.
Aktualne wzmocnienie jest wyświetlane na ekranie oscyloskopu (8 i 9 na *Zdjęciu 7*).
- Przestawić oscyloskop w tryb XY, kilkukrotnie klikając przycisk *DUAL MODE* (2 na *Zdjęciu 7*), aż do pojawienia się na ekranie oscyloskopu podświetlonego napisu *XY* (7 na *Zdjęciu 7*).
- Pokrętlami zmiany pozycji (5 i 6 na *Zdjęciu 7*) ustawić plamkę oscyloskopu na środku ekranu.

VIII. Wykonanie pomiarów

- Przełączenie miernika p-V-n-T w tryb różnic temperatur.
- Uruchomienie modelu silnika Stirlinga
Zapalić palnik spirytusowy, założyć osłonę i przysunąć pod szklany tłok
Odczekać, aż ΔT wyniesie $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, po czym zainicjować ruch silnika, lekko popychając ręką koło silnika w prawą stronę.
Odczekać około 5 minut na stabilizację układu.
- Wyznaczyć pracę W_{pV} wykonywaną przez silnik w jednym cyklu pracy.
Wejścia oscyloskopu połączone są z czujnikami ciśnienia i położenia tłoka, dzięki czemu oscyloskop wyświetla diagram pV termodynamicznego cyklu pracy silnika Stirlinga
W celu obliczenia W_{pV} wykonaj zdjęcie aparatem fotograficznym obrazu wykresu pV pracy silnika na oscyloskopie
Oszacuj pole obszaru ograniczonego przez krzywą na wykresie pV widocznym na ekranie oscyloskopu.



Zdjęcie 8. Oscylograf.

Prostym i wygodnym sposobem na oszacowanie pola pod wykresem pV jest policzenie, ile kratek podziałki ekranu oscyloskopu znajduje się w środku wykresu.

Pole jednej kratki wynosi $\Delta V_x \times \Delta V_y$, a przeliczniki pomiędzy napięciem a objętością i ciśnieniem wynoszą:

- przelicznik ciśnienia: $1 \text{ V} = 329 \text{ hPa}$;
- przelicznik objętości: $1 \text{ V} = 2,4 \text{ cm}^3$.

Całkowite pole jest równe iloczynowi pola jednej kratki i ilości oszacowanych kratek.

- Wykonać pomiary niezbędne do wyznaczenia mocy elektrycznej silnika w funkcji częstotliwości obrotów silnika. W tym celu założyć pasek klinowy na koło silnika i generatora, ustawić opornicę suwakową na najmniejszy opór oraz przestawić przełącznik generatora (1 na Zdjęciu 9) w pozycję *GENERATOR*.



Zdjęcie 9. Moduł generatora: 1 – przełącznik trybu pracy; 2 – koła pasowe na generatorze.

- Stopniowo zwiększać opór na opornicy suwakowej i notować wartości napięcia, natężenia, częstotliwości obrotów silnika oraz temperatury T_1 i T_2 . Pomiary wykonać dla dużego i małego kółka pasowego na generatorze. Wyniki ująć w tabeli.

Tabela 1. Przykładowa tabela do wykonania obliczeń w ćwiczeniu.

I_p	f [min^{-1}]	f [s^{-1}]	T_1 [$^{\circ}\text{C}$]	T_2 [$^{\circ}\text{C}$]	ΔT [K]	U [V]	I [mA]	P_e [W]	P_m [W]

- Obliczyć moc elektryczną silnika Stirlinga dla poszczególnych położeń opornicy suwakowej.
- Sporządzić wykres mocy elektrycznej silnika w zależności od częstotliwości jego obrotów.
- Porównać obliczone wartości moc elektryczną P_e z szacunkową mocą mechaniczną silnika obliczoną według wzoru:

$$P_m = W_{pv} \cdot f$$

gdzie W_{pv} to praca wykonana w czasie jednego cyklu silnika, f to częstość obrotów silnika [s^{-1}]

- Przedyskutować źródła niepewności przeprowadzonych pomiarów i oszacować wielkość błędów pomiarowych

10. Jakie wnioski można wyciągnąć z analizy wykresu P_e w funkcji częstotliwości?
11. Jakie wnioski można wyciągnąć porównując wartości P_m i P_e ?

IX. Zestaw przyrządów.

1. Model silnika Stirlinga.
2. Dwie termopary.
3. Moduł z generatorem.
4. Dwa mierniki uniwersalne.
5. Oscyloskop.
6. Opornica suwakowa.
7. Palnik z nakładanym kominem.

X. Literatura.

1. I. W. Sawieliew – „Kurs fizyki”, T.1 „Mechanika. Fizyka cząsteczkowa”, PWN, Warszawa 2000.
2. R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands – „Feynmana wykłady z fizyki”, T.1., 2., PWN, 2004.
3. A. K. Wróblewski, J. A. Zakrzewski – „Wstęp do fizyki”. T. 2, Cz. 2, PWN, Warszawa 1990.
4. S. Żmudzi – „Silniki Stirlinga” – WNT, Warszawa 1993.
5. F. Wolańczyk – „Termodynamika”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2007.
6. Cz. Bobrowski – „Fizyka – krótki kurs”, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1998.
7. J. Kociński – „Wstęp do fizyki współczesnej”, T.1., PWN Warszawa 1977.
8. J. Orear – „Fizyka”, T.1, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1998.
9. B. Jaworski, A. Dietlaf, I. Miłkowska, G. Siergiejew – „Kurs fizyki”, T.1., PWN, Warszawa 1974.
10. A.N. Matwiejew – „Fizyka cząsteczkowa”, PWN, Warszawa 1989.
11. L.N. Cooper – „Istota i struktura fizyki”, PWN, Warszawa 1975.
12. PHYWE Handbook “Laboratory Experiments Physics”, P2360415 „Stirling Engine”.
13. R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands – “The Feynman Lectures on Physics”, Vol. 1., Part 2., Wesley 2005.
14. J. Orear – “Physics”, Macmillan Publishing Co., Inc., 1979.
15. L.N. Cooper – “An Introduction to the Meaning and Structure of Physics”, Harper & Row, 1968.