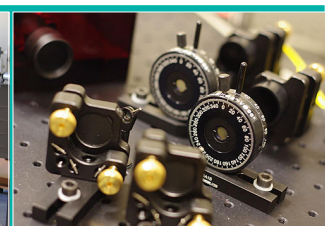
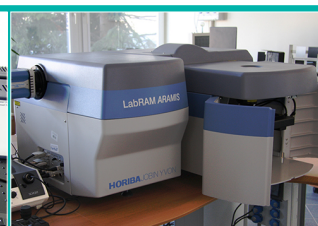


Ćwiczenie 9 A

Wyznaczanie mocy elektrycznej silnika Stirlinga

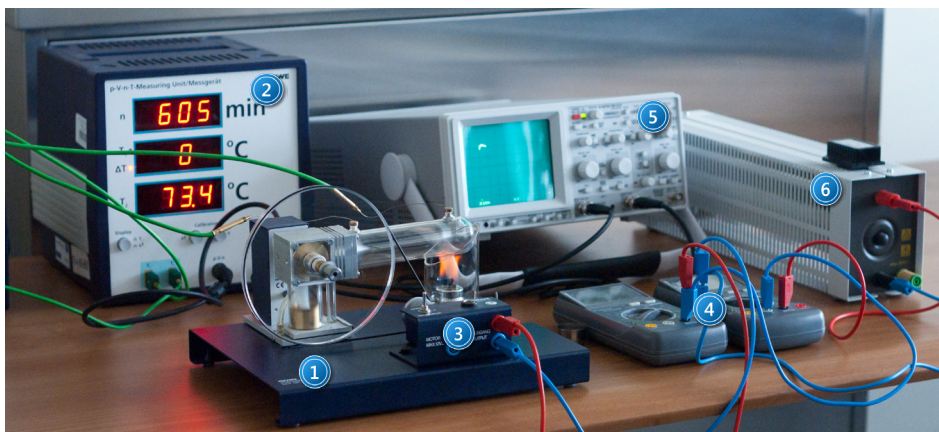


I. Zagadnienia do opracowania.

1. Ruch obrotowy jednostajny:
 - a) prędkość kątowna;
 - b) prędkość liniowa;
 - c) moment obrotowy;
 - d) moc w ruchu obrotowym;
 - e) moment bezwładności.
2. Pomiar temperatury i skale termometryczne.
3. Budowa i zastosowanie termopar.
4. Ciepło właściwe, parowania, spalania cieczy.
5. Przemiany stanu gazów:
 - a) równanie stanu gazu doskonałego;
 - b) przemiana izotermiczna;
 - c) przemiana izochoryczna;
 - d) przemiana izobaryczna.
6. Pierwsza i druga zasada termodynamiki.
7. Cykl Carnota:
 - a) równanie adiabaty;
 - b) równanie izotermy;
 - c) energia wewnętrzna ciała roboczego;
 - d) twierdzenie Carnota.
8. Silniki cieplne.
9. Silniki Stirlinga:
 - a) budowa i zasada działania;
 - b) wady i zalety silnika Stirlinga;
 - c) zastosowania silników Stirlinga.

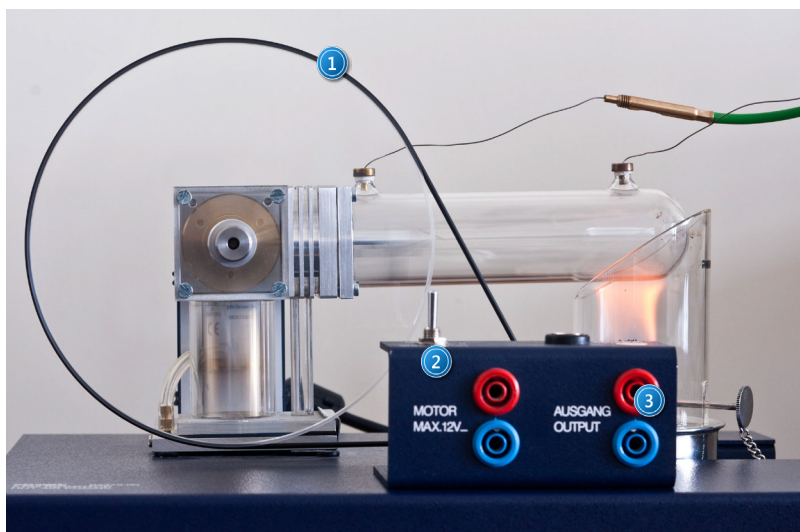
II. Zadania doświadczalne.

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.

- Przygotować układ do rozpoczęcia pomiarów zgodnie z instrukcją w Dodatku.



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

- Wyznaczyć moc palnika.

W tym celu zważyć palnik z metanolem przed rozpoczęciem pomiarów.

Zapalić palnik, założyć komin oraz rozpocząć pomiar czasu.

Po zakończeniu wszystkich pomiarów i zgaszeniu palnika, niezwłocznie zanotować wskazanie stopera i ponownie zważyć palnik.



UWAGA!

Zapalenie palnika może odbyć się tylko w obecności prowadzącego ćwiczenie.

- Uruchomić model silnika Stirlinga przez przełączenie miernika p-V-n-T w tryb różnic temperatur.
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.

- 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 3) w pozycję *GENERATOR*.



Zdjęcie 3. 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 [mW]	P_e [W]

- Wyznaczyć moc elektryczną silnika Stirlinga.
- Sporządzić wykres mocy elektrycznej silnika w zależności od częstotliwości jego obrotów.

III. Zestaw przyrządów.

- Model silnika Stirlinga.
- Dwie termopary.
- Moduł z generatorem.
- Dwa mierniki uniwersalne.
- Oscyloskop.
- Opornica suwakowa.
- Palnik z nakładanym kominem.

IV. 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. Żmudzki – „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. Dietłaf, 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.

Dodatek

Przygotowanie stanowiska pomiarowego do rozpoczęcia pomiarów

I. Przygotowanie układu do pomiarów obejmuje:

1. uzupełnienie zawartości paliwa w zbiorniku;
2. zamontowanie modułu z generatorem;
3. podłączenie opornicy suwakowej i mierników;
4. podłączenie przewodów w układzie;
5. uruchomienie i kalibrację miernika p-V-n-T.

II. Uzupelnienie zawartości paliwa w zbiorniku.

1. Wlać paliwo do pojemnika (2 na Zdjęciu 4).



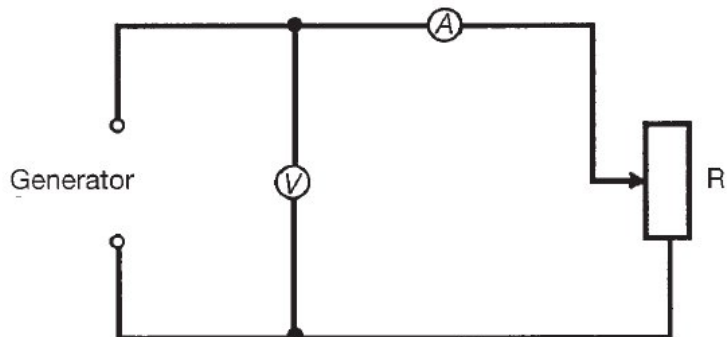
Zdjęcie 4. Palnik: 1 – nakrętka palnika; 2 – zbiornik palnika; 3 – komin palnika.

2. Założyć i dokładnie zakręcić nakrętkę.

III. Podłączenie opornicy suwakowej i mierników.

1. Połączyć elementy układu według schematu na Rysunku 5.
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.

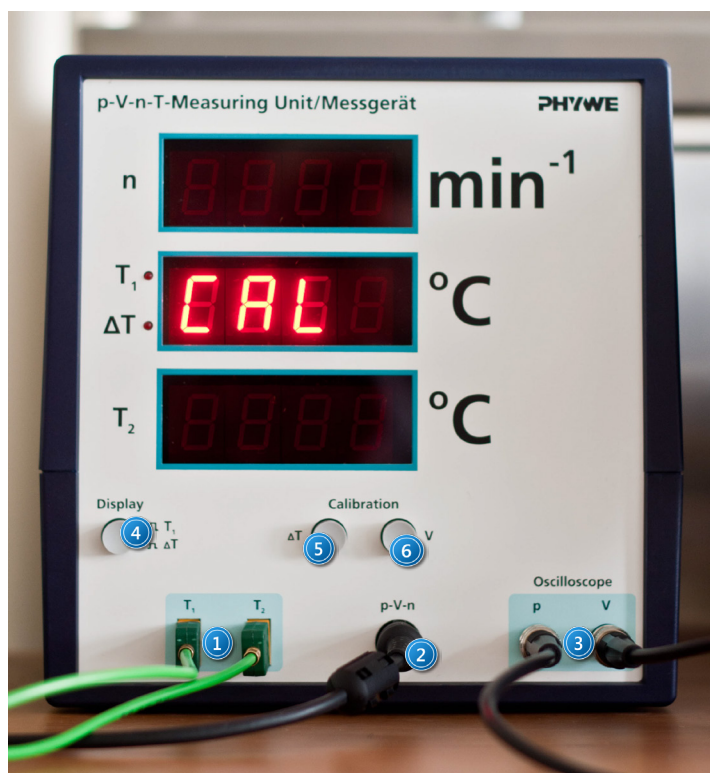


Rysunek 5. Schemat połączenia elementów układu pomiarowego.

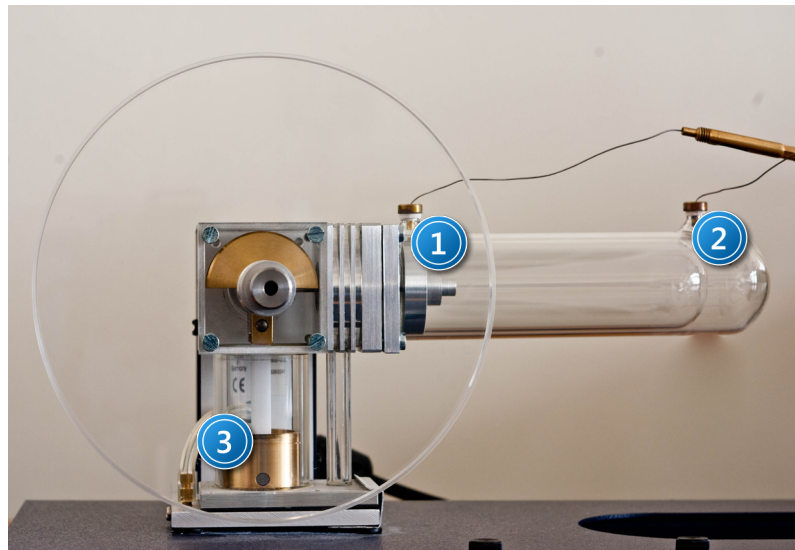
- Drugi miernik uniwersalny podłączyć równolegle między opornicą a generatorem jako woltomierz (jak na Rysunku 5) i ustawić na nim zakres 20 V.

IV. Podłączenie przewodów w układzie.

- Podłączyć do miernika p-V-n-T obie termopary T_1 i T_2 (1 na Zdjęciu 6) oraz przewód p-V-n (2 na Zdjęciu 6).



Zdjęcie 6. 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 7. Widok z boku silnika Stirlinga: 1 – wtyk termopary T_1 ; 2 – wtyk termopary T_2 ; 3 – pionowy tłok silnika w dolnej pozycji.

2. Delikatnie wetknąć końcówki termopar do metalowych wypustek na poziomym cylindrze silnika, zgodnie z kolejnością pokazaną na *Zdjęciu 7*.

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

1. Ustawić silnik tak, aby pionowy tłok (3 na *Zdjęciu 7*) znajdował się w dolnym położeniu.
2. Włączyć miernik p-V-n-T przyciskiem znajdującym się z tyłu obudowy.
3. Dokonać kalibracji temperatury poprzez kliknięcie przycisku ΔT na panelu miernika p-V-n-T, (5 na *Zdjęciu 6*) a następnie kalibracji objętości, klikając przycisk ΔV (6 na *Zdjęciu 6*).