

LVI OLIMPIADA FIZYCZNA (2006/2007). Etap I część 2, zadanie doświadczalne – D1.

Źródło: Andrzej Wysmołek - plik

Autor: Andrzej Wysmołek, KG OF

Nazwa zadania: Silnik elektryczny

Działy:

Słowa kluczowe: silnik elektryczny, opór elektryczny

Zadanie doświadczalne – D1, zawody I stopnia części 2, LVI OF.

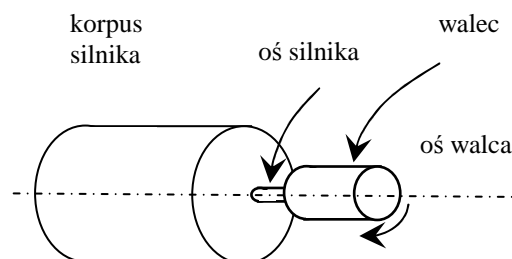
Masz do dyspozycji:

- silnik elektryczny prądu stałego,
- plastikowy, drewniany lub metalowy walec o średnicy $1 \div 2$ cm, z otworem umożliwiającym osadzenie walca na osi silnika (patrz uwagi),
- nitkę,
- niewielki ciężarek,
- kilka różnych oporników o oporze z zakresu $1 \div 10 \Omega$,
- przewody i zaciski umożliwiające połączenie elektryczne oporników z silniczkiem,
- taśmę mierniczą,
- komputer wyposażony w kartę dźwiękową z mikrofonem umożliwiającą rejestrowanie dźwięku,
- oprogramowanie umożliwiające wyznaczanie odstępów czasowych pomiędzy rejestrowanymi sygnałami dźwiękowymi.

Traktując wirnik silnika prądu stałego jako ramkę przewodzącą w polu magnesu stałego, wyznacz opór elektryczny (rezystancję) wirnika silnika wraz z oporem styków komutatora.

Uwagi

- 1) Do doświadczenia wybierz typowy silnik prądu stałego stosowany w zabawkach, silnik modelarski lub silnik napędzający magnetofon kasetowy. Silnik nie może być wyposażony w układy elektroniczne stabilizujące prędkość obrotową.
- 2) Walec (patrz rysunek) należy zamocować, w taki sposób, aby nie ślizgał się po osi silnika i nie wibrował podczas obrotów.
- 3) Jako oprogramowanie umożliwiające wyznaczenie odstępów czasowych możesz np. wykorzystać rejestrator dźwięku dostarczony z systemem operacyjnym komputera.



Rozwiązanie

Część teoretyczna

Zadanie można rozwiązać badając ruch ciężarka zawieszonoego na nitce nawiniętej na walec zamocowanym na osi silnika (rys.1). W obracającym się wirniku silnika prądu stałego, indukuje się siła elektromotoryczna E proporcjonalna do prędkości obrotowej wirnika ω :

$$E = \alpha\omega, \quad (1)$$

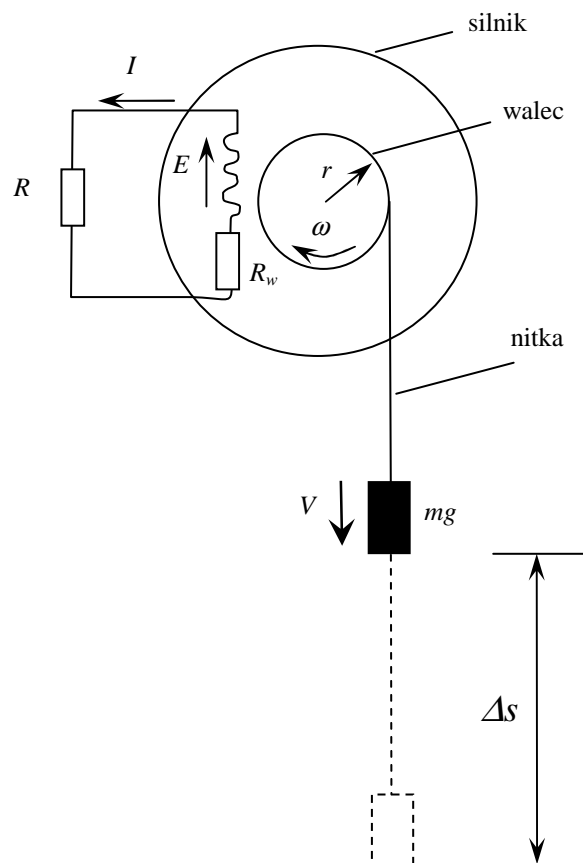
gdzie α - pewna stała.

Jeśli więc do zacisków silnika dołączyć zewnętrzny opór o wartości R , to w sytuacji gdy wirnik będzie się obracał, przez opór popłynie prąd o natężeniu $I = E/R$ i wydzieli się na nim ciepło.

Moc strat wyniesie:

$$P = \frac{E^2}{R + R_w}, \quad (2)$$

gdzie R_w – opór wewnętrzny silnika (suma oporu uzwojenia i styków komutatora).



Rys. 1

Zatem po dołączeniu do silnika opornika (czy też zwarcia jego styków) pojawi się dodatkowa siła hamująca, której wartość będzie wzrastać w miarę rozpędzania się ciężarka. W miarę jak

wrastać będzie prędkość liniowa V ciężarka, wzrastać będzie siła elektromotorycznej E wzbudzana w uzwojeniu silnika, a na ciężarek działać będzie coraz większa siła hamująca. Siła ta będzie rosła aż do momentu, kiedy zrówna z ciężarem obciążnika mg . Wtedy prędkość ciężarka ustali się osiągając graniczną wartość V_g określoną przez równość:

$$P_c = mgV_g, \quad (3)$$

gdzie P_c – całkowita moc strat obejmująca straty elektryczne i mechaniczne.

Jeśli warunki wykonywania doświadczenia dobierzemy tak, że opory mechaniczne silnika będą bardzo małe, w porównaniu z oporami wynikającymi ze strat elektrycznych, to wzór (3) przyjmie postać:

$$P \cong mgV_g \quad (4)$$

Korzystając ze wzorów (1) i (2) oraz biorąc pod uwagę, że prędkość obrotowa wirnika jest związana z prędkością liniową ciężarka zależnością $\omega = V/r$, gdzie r – promień walca, związek (4) można przekształcić do postaci:

$$V_g = \frac{r^2 mg}{\alpha^2} (R + R_w), \quad (5)$$

co można prościej zapisać jako:

$$V_g = \beta (R + R_w) \quad (6)$$

gdzie stała $\beta = \frac{r^2 mg}{\alpha^2}$.

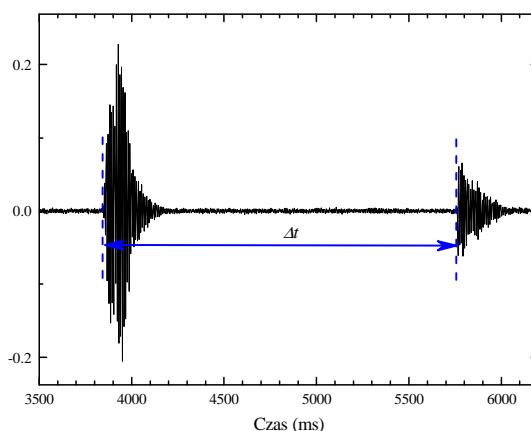
Z zależności (6) wynika, że prędkość graniczna przy, której siła ciężkości jest równoważona przez siły oporu jest liniową funkcją oporu zewnętrznego R podłączonego do silnika. W doświadczeniu należy więc wyznaczyć prędkość graniczną V_g dla kilku różnych wartości oporu R . Następnie sporządzić wykres zależności $V_g(R)$, dopasować prostą i znaleźć opór R_0 odpowiadający przecięciu dopasowanej prostej z osią R . Pozwala to wyznaczyć wartość oporu wewnętrznego silnika $R_w = -R_0$. Warto zauważyć, że dla wyznaczenia R_w nie jest konieczna znajomość bezwzględnej wartości prędkości ciężarka, ani jego masa, ani też współczynnika α opisującego zależność indukowanej siły elektromotorycznej od prędkości obrotowej wirnika.

Część doświadczalna

Na walec zamocowany na osi silnika nawijamy równomiernie nitkę. Na jej końcu umieszczamy ciężarek (rys. 1). Masę ciężarka dobieramy tak, aby przy zwartych zaciskach silnika, czas spadania ciężarka był kilka razy większy, niż czas spadku swobodnego z tej samej wysokości. Przed wykonaniem doświadczenia dobrze jest zaznaczyć np. na ścianie kilka punktów odniesienia, odpowiadających różnej wysokości nad podłogą, z których zamierzamy „spuszczać” ciężarek. Doświadczenie należy wykonać w takim miejscu, żeby spadający na podłogę ciężarek wywoływał dobrze słyszalny odgłos. Po przygotowaniu komputera z kartą dźwiękową i mikrofonem uruchamiamy program rejestrujący dźwięk. Unosimy silniczek na wcześniej wybraną wysokość. Następnie, trzymając silnik nieruchomo, odblokowujemy jego wirnik, jednocześnie wypowiadając np. słowo „RAZ”. Spadający ciężarek napędza silniczek i po pewnym czasie stuka o podłogę. Wykorzystując odpowiedni program komputerowy wyznaczamy czas trwania ruchu ciężarka. Porównując różnicę czasu Δt spadku ciężarka z wysokości różniących się o Δs , można wyznaczyć wartość średnią prędkości na poszczególnych etapach ruchu ciężarka $V = \Delta s / \Delta t$. Pomiary powtarzamy dla różnych wartości oporu obciążającego R .

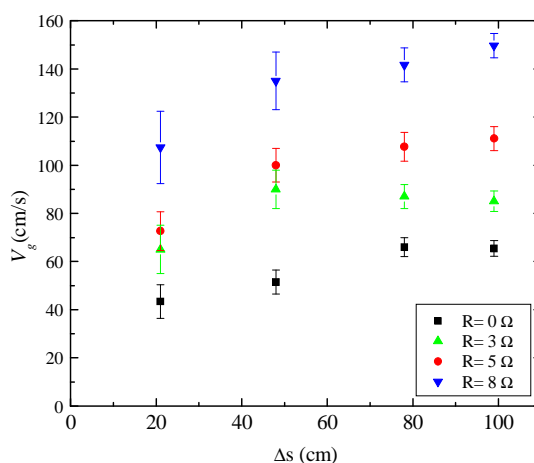
Na rys. 2 przedstawiono typowy przebieg zarejestrowany przy użyciu programu „Oscyloskop” dostępnego na płycie CD dołączonej do podręcznika J. Blinowski, W. Zielicz, „Fizyka z astro-

nomią. Kształcenie w zakresie rozszerzonym”, tom. I, WSiP, Warszawa 2002. Pierwszy wzrost amplitudy fali dźwiękowej odpowiada słowu „RAZ”, drugi uderzeniu ciężarka o podłogę. Różnica czasu pomiędzy tymi zdarzeniami, odpowiada czasowi Δt jaki upłynął pomiędzy startem ciężarka, a jego upadkiem na podłogę.



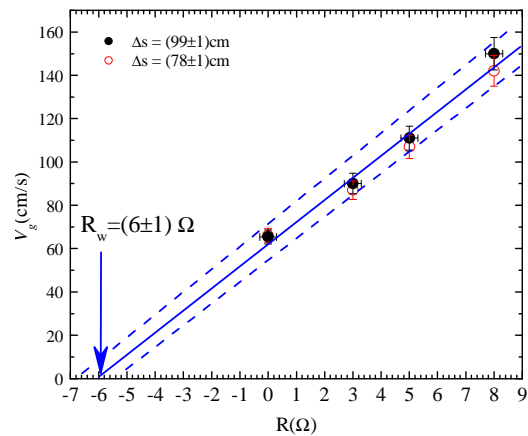
Rys. 2

Na rys. 3 przedstawiono zależność średniej prędkości ciężarka w zależności od odległości Δs pomiędzy punktami początkowymi ruchu, dla różnych wartości oporu podłączonego do silnika. Jak się należało spodziewać, w początkowej fazie ruchu, czyli w czasie pierwszych 40-50 cm ruchu ciężarek rozpędza się. Jednak po przebyciu odcinka około 80 cm, jego prędkość ustala się na pewnym poziomie, zależnym od wartości oporu dołączonego do silnika (0-8 Ω).



Rys. 3

Jak to wynika z rys. 3, prędkość graniczna jaką osiąga ciężarek, rzeczywiście rośnie ze wzrostem wartości oporu R . Wyraźniej widać to na rys. 4, gdzie przedstawiono zależność wartości prędkości granicznej V_g od oporu R . Symbole pełne odpowiadają pomiarom przeprowadzonym dla różnicy odległości $\Delta s = (99 \pm 1)$ cm, natomiast symbole otwarte odpowiadają $\Delta s = (78 \pm 1)$ cm.



Rys. 4

Dopasowując prostą do punktów doświadczalnych, dla użytego w doświadczeniu silnika, otrzymano wartość oporu wewnętrznego uzwojenia wirnika $R_w = (6 \pm 1) \Omega$. Wynik ten jest zgodny z wartością uzyskaną z bezpośredniego pomiaru oporu przy użyciu omomierza.

Proponowana punktacja

- | | |
|--|-----------|
| 1. Wyprowadzenie wzorów wiążących prędkość graniczną ciężarka oporem elektrycznym podłączonym do zacisków silnika. | do 6 pkt. |
| 2. Dobór masy ciężarka, aby spełniał on przyjęte założenia. | do 2 pkt. |
| 3. Wyznaczenie prędkości granicznej dla różnych wartości Δs , przy różnych R . | do 6 pkt. |
| 4. Doświadczalne sprawdzenie, że od pewnego momentu ciężarek porusza się ruchem jednostajnym. | do 2 pkt. |
| 5. Wykonanie wykresu zależności $V_g(R)$, dopasowanie prostej | do 2 pkt. |
| 6. Wyznaczenie oporu wewnętrznego wirnika R_w oraz jego niepewności pomiarowej | do 2 pkt. |