

M104. Badanie spadku swobodnego i zsuwania się bryły po równi

Ze względu na sposób pomiaru prędkości, na wstępie kilka informacji o zjawisku indukcji elektromagnetycznej.

Wprowadzenie



Zjawisko indukcji elektromagnetycznej było przełomowym wydarzeniem w dziedzinie nauki o elektryczności i magnetyzmie na początku XIX w. Po odkryciach związanych z elektrycznością (Galvani, Volta) i powszechnie znanych obserwacjach własności magnesów trwałych udało się wykazać związek elektryczności z magnetyzmem na przykładzie elektromagnesu (Ampere). Wyzwaniem stało się uzyskanie efektu odwrotnego - uzyskanie źródła napięcia elektrycznego z magnesu trwałego. Wyzwania tego podjął się najzdolniejszy eksperymentator ówczesnych czasów, Michael Faraday. Dziś trudno uwierzyć, że badania te zajęły kilka lat życia tego genialnego uczonego-samouka. Początkowo efekt przyniosły próby z elektromagnesem, podczas których zaobserwował, że napięcie w obwodzie "wtórnym" pojawia się

tylko podczas włączania i wyłączenia obwodu elektromagnesu. Dalsze obserwacje już ponownie z użyciem magnesów stałych doprowadziły go do dobrze dziś znanych wniosków, że indukowane napięcie zależy od szybkości zmian pola magnetycznego obejmowanego przez obwód elektryczny (1831 r.).

Ukoronowaniem prac związanych z elektrycznością i magnetyzmem było stworzenie teorii tych zjawisk przez szkockiego uczonego, Jamesa Maxwella w 1865 r.

Cele ćwiczenia

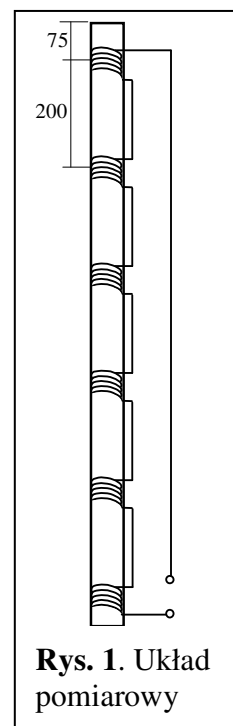
- obserwacja zjawiska indukowania siły elektromotorycznej w cewkach przez spadający swobodnie magnes,
- pomiar prędkości ruchu magnesu przy spadku swobodnym i zsuwaniu się pod określonym kątem,
- zbadanie charakteru ruchu, wyznaczenie momentu początkowego ruchu, obliczenie przyspieszenia ruchu.
- Wyznaczenie siły i mechanizmu (zależności od prędkości) tarcia magnesu o ścianki rury przechylonej pod określonym kątem.

Przyrządy

układ cewek na rurce, magnes stały.

Aparatura

Zestaw ćwiczeniowy składa się z plastikowej rurki o długości 1,15 m oraz nawiniętych na nią 6 cewek o pomiarowych połączonych szeregowo. Rurka ustawiona jest pionowo. W odległości 7,5 cm od górnego jej końca znajduje się pierwsza cewka pomiarowa. Następne cewki nawinięte są co 20 cm. Każda cewka ma ok. 1 cm długości, średnicę wewnętrzną 1,5 cm a zewnętrzną 1,6 cm. Cewki są jednakowe i składają się z 17 zwojów drutu miedzianego o średnicy 0,5 mm. Końce drutu podłączone są do gniazd, które przewodami łączy się z interfejsem pomiarowym.



Wstęp teoretyczny

Zjawisko indukcji elektromagnetycznej polega na tym, że w obwodzie elektrycznym powstaje siła elektromotoryczna E wtedy gdy zmienia się w czasie strumień indukcji magnetycznej obejmowany przez ten obwód. Siła ta jest proporcjonalna do szybkości zmian strumienia magnetycznego Φ :

$$E = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (1)$$

Znak "-" wyraża regułę Lenza ustalającą kierunek indukowanego prądu tak, by efekty jego działania przeciwstawiały się przyczynie jego powstania.

W przypadku magnesu przechodzącego przez cewkę o N zwojach całkowita wartość E wyniesie w przybliżeniu

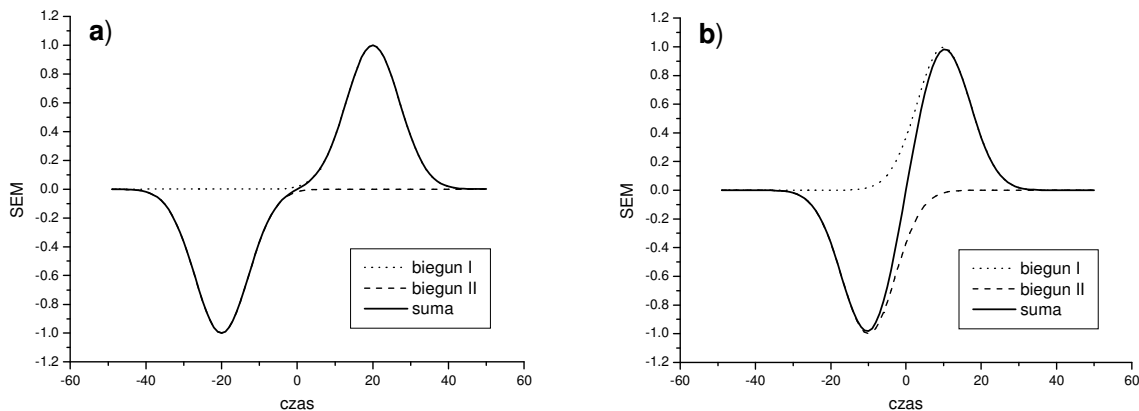
$$E = -N \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2)$$

Pomiar E w funkcji czasu daje możliwość obliczenia pewnych wielkości związanych z polem magnetycznym spadającego magnesu.

Rozważania te łatwiej jest prowadzić na modelu magnesu przedstawiającego go jako dipol magnetyczny, czyli - na zasadzie analogii z dipolem elektrycznym - dwa bieguny magnetyczne pozostające od siebie w stałej odległości d . Łatwo teraz intuicyjnie przewidzieć wartość i kierunek siły elektromotorycznej rozpatrując efekty wywoływane przez każdy z biegunów z osobna. Dla ułatwienia założmy, że magnes porusza się ruchem jednostajnym.

S	
<p>Zbliżający się do cewki pierwszy biegun początkowo wywołuje niewielkie zmiany strumienia magnetycznego obejmowanego przez cewkę. Stopniowo jednak efekt ten rośnie ponieważ linie sił pola zagęszczają się, a także silnie zmienia się udział składowej indukcji pola skierowanej wzdłuż kierunku ruchu magnesu. Kierunek prądu jest taki, by opóźnić ruch magnesu, czyli nad cewką wytwarza się biegun identyczny z nadlatującym.</p>	
<p>Maksimum szybkości zmian pola następuje w momencie przejścia bieguna przez cewkę. Po drugiej stronie cewki reguła Lenza, wymagająca by powstrzymać ruch magnesu, pozostawia bez zmian kierunek przepływu prądu, a szybkość zmian strumienia maleje symetrycznie do sytuacji z drugiej strony cewki.</p>	
<p>Zbliżający się drugi biegun powoduje powstanie efektów identycznych z tą tylko różnicą, że kierunek indukowanego prądu jest przeciwny.</p>	

Niewielka zazwyczaj odległość pomiędzy biegunami powoduje, że wpływy pochodzące od nich sumują się w momencie gdy magnes znajduje się w pobliżu cewki. Ilustruje to Rys. 2.



Rys. 2. Przybliżony przebieg sygnału siły elektromotorycznej indukcji przy przejściu magnesu przez cewkę dla a) dużej i b) małej odległości między biegunami.

Symulacje na rys. 2 sporządzono przybliżając rzeczywistą zależność za pomocą krzywej Gaussa. Umownie przyjęto za początek osi czasu moment przejścia środka magnesu przez cewkę. Analiza jakościowa rys. 2 prowadzi do następujących wniosków:

1. Skończona odległość pomiędzy biegunami umownymi powoduje deformację wewnętrznych zbczy krzywych dzwonowych będących efektem oddziaływania poszczególnych biegunów z cewką.
2. Deformacja ta może prowadzić do błędnej oceny położenia ekstremum krzywej dzwonowej.
3. Obliczanie całkowitego strumienia poszczególnych biegunów obejmowanych przez cewkę bezpośrednio z krzywej pomiarowej (linia ciągła) należy skorygować w taki sposób, by uzyskać takie krzywe symetryczne, których suma pokryje się z krzywą pomiarową.

Alternatywnie, kształt krzywej w okolicy środka można interpretować jako skutek skupienia linii sił pola wewnątrz magnesu oraz w niewielkiej od niego odległości. Linie te w całości mieszczą się w obrębie cewki, nie wnosząc tym samym przyczynku do powstania siły elektromotorycznej. Wtedy do obliczenia strumienia pola magnetycznego bierzemy bezpośrednio krzywą pomiarową. Obie interpretacje są w zasadzie poprawne, a jedyną konsekwencją ich stosowania jest wybór stałej całkowania przy obliczaniu całkowitego strumienia pola magnetycznego magnesu obejmowanego przez cewkę.

Niech R oznacza promień cewki, a kierunek ruchu magnesu pokrywa się z osią z układu współrzędnych. Jeśli magnes spada środkiem rurki, to dla konkretnej odległości l bieguna od cewki możemy obliczyć strumień indukcji magnetycznej obejmowany przez cewkę:

$$\Phi(l) = \int_0^R B_z(l) 2\pi r dr \quad (3)$$

Ponieważ

$$\frac{dB_z}{dt} = \frac{dB_z}{dz} \frac{dz}{dt}, \quad (4)$$

więc

$$E(l) = -Nv(l) \int_0^R \frac{dB_z}{dz}(l) 2\pi r dr, \quad (5)$$

gdzie $v(l)$ jest chwilową prędkością spadku magnesu. Warto zauważyć, że całość w równaniu (5) zależy jedynie od odległości l , czyli np. ma wartość identyczną dla sytuacji, w których magnes dociera do miejsc tak samo oddalonych od poszczególnych cewek. Wobec tego wartości siły elektromotorycznej E mierzone w poszczególnych cewkach w chwilach gdy magnes oddalony jest od nich o l są proporcjonalne do jego prędkości w tych momentach. Stwierdzenie to dotyczy w szczególności sytuacji przejścia obu biegunów przez cewki, odpowiadających w przybliżeniu położeniom ekstremów sygnału $E(t)$. Można obliczyć stąd odległość d pomiędzy biegunami umownymi magnesu. Zakładając dla uproszczenia, że prędkości przejścia obu biegunów przez cewkę są identyczne, odległość d można obliczyć jako

$$d = v\Delta t, \quad (6)$$

gdzie Δt jest odstępem czasu pomiędzy maksimum i minimum sygnału $E(t)$, a v jest prędkością magnesu w chwili przechodzenia przez daną cewkę. Prędkość tę można obliczyć albo ze wzoru

$$v = \sqrt{2gz}, \quad (7)$$

gdzie z jest drogą spadku, albo przy braku precyzyjnej kontroli miejsca początku spadku magnesu, można ekstrapolować do zerowej wartości zależność maksimum i minimum sygnału $E(t)$ aby otrzymać moment początkowy spadku i wtedy można skorzystać ze wzoru

$$v = gt. \quad (8)$$

Przebieg ćwiczenia.

A. Badanie zjawiska indukcji elektromagnetycznej

1. Uruchom program „Spadek.vi”, wypróbuj sposoby puszczenia magnesu tak by uzyskać możliwie powtarzalne wyniki i ustaw optymalny poziom kompensacji stałego tła.
2. Zarejestruj reprezentatywny przebieg napięciowy uzyskany podczas spadku swobodnego magnesu.
3. Zmierz wartości pola powierzchni pod poszczególnymi pikami, ich wysokości i szerokości w połowie maksimum. Sprawdź czy iloczyny szerokości i wysokości pików oraz wartości pól są stałe.
4. Sprawdź czy zależność amplitudy pików od czasu jest prostoliniowa. Jest to warunek stosowania tej wielkości jako miary prędkości magnesu. Do zbadania korelacji możesz użyć programu Regresja.vi znajdującego się w tym samym folderze.

B. Badanie spadku swobodnego

1. Uruchom program „Spadek.vi” i zarejestruj reprezentatywny przebieg. Naciśnij przycisk „Zakończ pomiar i przejdź do analizy”.
2. W zakładce „Analiza” znajdziesz wyniki analizy zmierzonego przebiegu: moment rozpoczęcia ruchu i przyspieszenie wyznaczone z zależności drogi od czasu dla minimum i maksimum. Dodatkowo w tabelkach dostępne są położenia i wartości minimum i maksimum. Na dysku pojawiają się pliki z wpisanymi tymi wartościami.
3. Zwiń kartkę papieru w tulejkę o średnicy pozwalającej wsunąć ją w rurę. Powtórz doświadczenie wysuwając tulejkę na różną wysokość ponad rurę.

C. Badanie tarcia w ruchu ślizgowym.

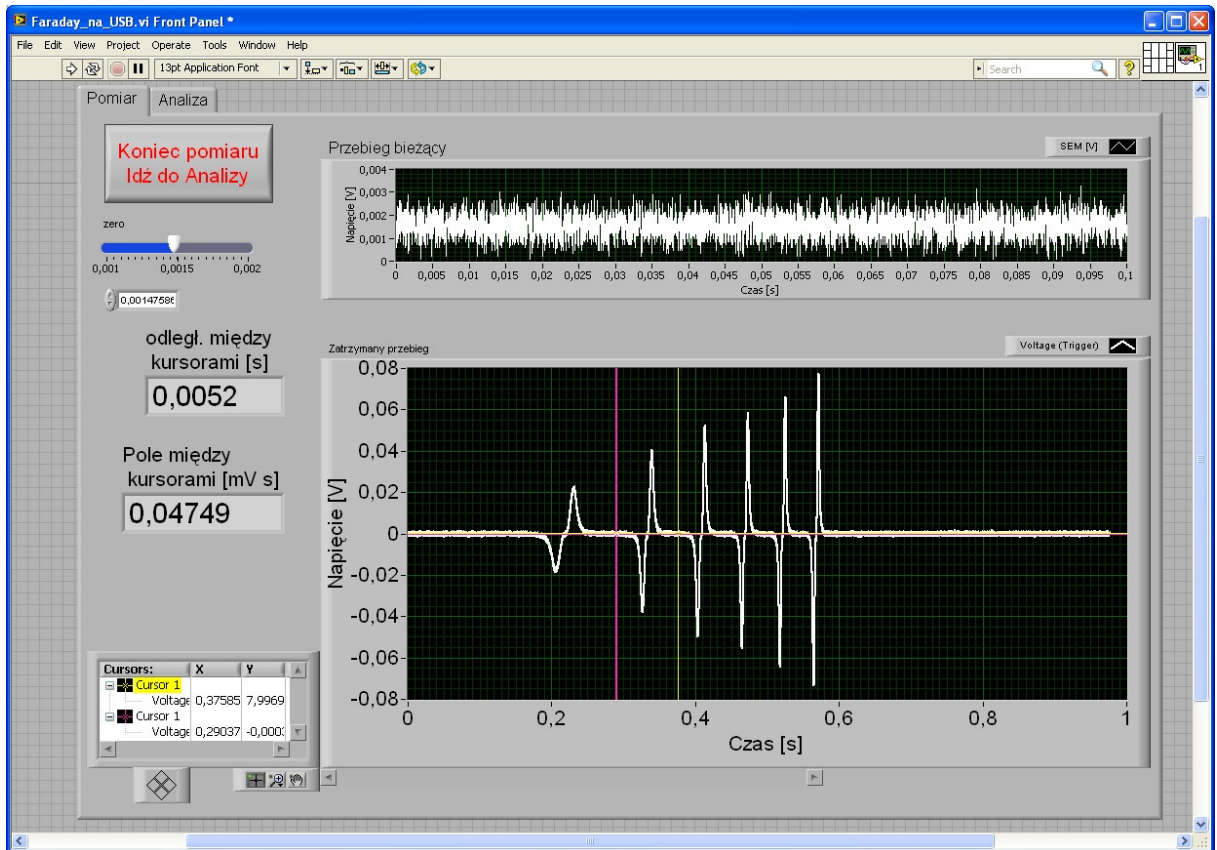
1. Korzystając z dostarczonego kątomierza, ustaw rurę pod kątem ok. 45° . Zarejestruj reprezentatywny przebieg. Pamiętaj o przedłużeniu czasu pomiaru.
2. Sprawdź liniowość zależności prędkości od czasu. O czym świadczy wynik pozytywny, a o czym negatywny.

3. Wyznacz przyspieszenie jak w p. B i z odpowiednich równań oblicz wartość siły i współczynnika tarcia oraz wartość przyspieszenia, jakie magnes uzyskałby bez tarcia.
4. Wykonaj pomiary dla różnych kątów przechylenia rury. Sprawdź zależność współczynnika tarcia od kąta nachylenia. Znajdź kąt nachylenia, dla którego ruch jest (prawie) jednostajny.

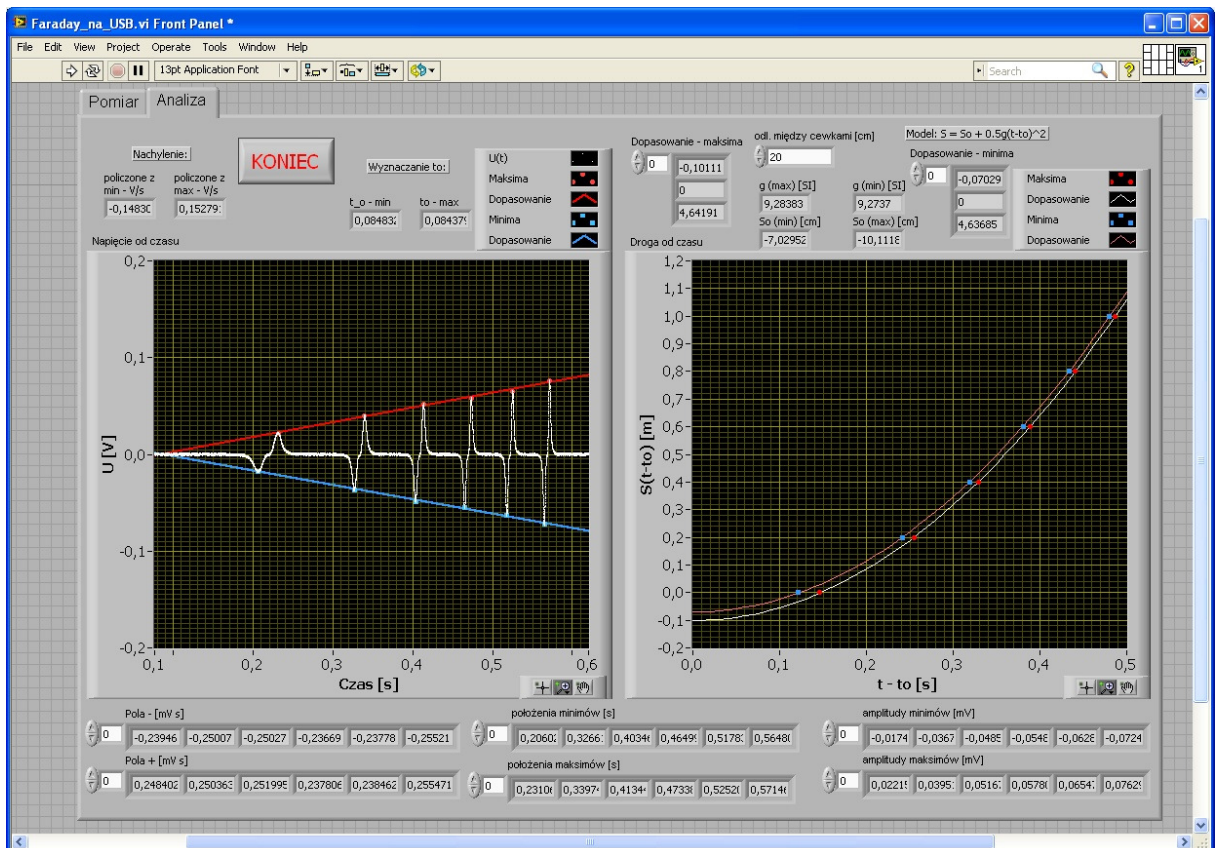
D. Wszystkie wyniki zapisane w plikach umieść w jednym folderze na pulpicie i jego nazwę podaj w raporcie.

Zasady przygotowania raportu

1. Opisz krótko badane zjawisko, problem, podając niezbędne równania.
2. Podaj cele ćwiczenia.
3. W punktach pokaż realizację poszczególnych elementów ćwiczenia. W przypadku programu pokaż jego panel frontowy i diagram blokowy (lub chociaż najważniejszą jego część) oraz omów krótko najistotniejsze punkty programu wraz z ewentualnymi trudnościami napotkanymi w ich realizacji.
4. Wyniki pomiarów przedstawiaj w sposób umożliwiający ich łatwą ocenę:
 - a. pojedyncze wyniki w postaci wyróżnionych liczb (pogrubienie, większy rozmiar czcionki itp),
 - b. serie kilku(nastu) wyników przedstawiaj w postaci tabel lub list. Tam gdzie to wskazane, pokaż je też na wykresie.
 - c. Długie serie pomiarowe obejmujące więcej punktów zawsze prezentuj na wykresach. Osie wykresów opisane, z jednostkami. W przypadku zamieszczania kilku przebiegów na jednym wykresie konieczna jest legenda lub opis pod wykresem.
5. Jeśli to konieczne, przedyskutuj poszczególne wyniki.
6. Napisz krótkie Podsumowanie/Wnioski zawierające streszczenie swoich dokonań (najlepiej w punktach) i ewentualne uwagi na temat ćwiczenia.
7. Struktura raportu
 - a. Raport musi zawierać numer i tytuł ćwiczenia, datę wykonania, datę sporządzenia raportu, nazwisko studenta (pary studentów), nazwisko prowadzącego. Najlepiej w nagłówku. Tabelka nie jest obowiązkowa, choć ułatwia życie. W przypadku programów, elementem raportu są kody programów i pliki z wynikami. W raporcie powinna znaleźć się informacja o nazwie folderu zawierającego te dane.
 - b. poszczególne części raportu powinny być wyraźnie wydzielone. Tytuły części piszemy pismem pogrubionym, części mogą (nie muszą) być ponumerowane.
 - c. Wszystkie wzory powinny być ponumerowane (z prawej strony).
 - d. Wszystkie tabelki powinny mieć swój numer i podpis. Dla tabel podpis zawsze NAD TABELĄ.
 - e. Wszystkie rysunki powinny mieć swój numer i podpis. Dla rysunków numer i podpis zawsze POD RYSUNKIEM. Przez rysunki rozumiemy wszystkie obiekty graficzne (zrzuty ekranów, zdjęcia, wykresy, schematy, itp).
 - f. do równań, tabel, rysunków odwołujemy się poprzez podanie numeru (unikamy takich sformułowań jak „powyższy”, „poniższy”, „na poprzedniej stronie”, „pierwszy”, „ostatni” itp.).



Wygląd interfejsu programu pomiarowego - pomiar



Wygląd interfejsu programu pomiarowego - analiza