



Co się dzieje podczas działania prądnicy?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

Co się dzieje podczas działania prądnicy?

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Czy to nie ciekawe?

Na pytanie postawione w tytule można odpowiedzieć na dwa sposoby.

W prądnicy:

1. zachodzą zmiany strumienia indukcji pola magnetycznego i powstaje siła elektromotoryczna indukcji,
2. powstaje energia elektryczna kosztem wykonywanej pracy.

Te dwa aspekty działania prądnicy rozważymy w tym e-materiale.

Rys. a. Model prądnicy.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Twoje cele

W tym e-materiale:

Zrozumiesz działanie prądnicy jako urządzenia będącego źródłem siły elektromotorycznej (napięcia), w którym praktycznie wykorzystuje się zjawisko indukcji

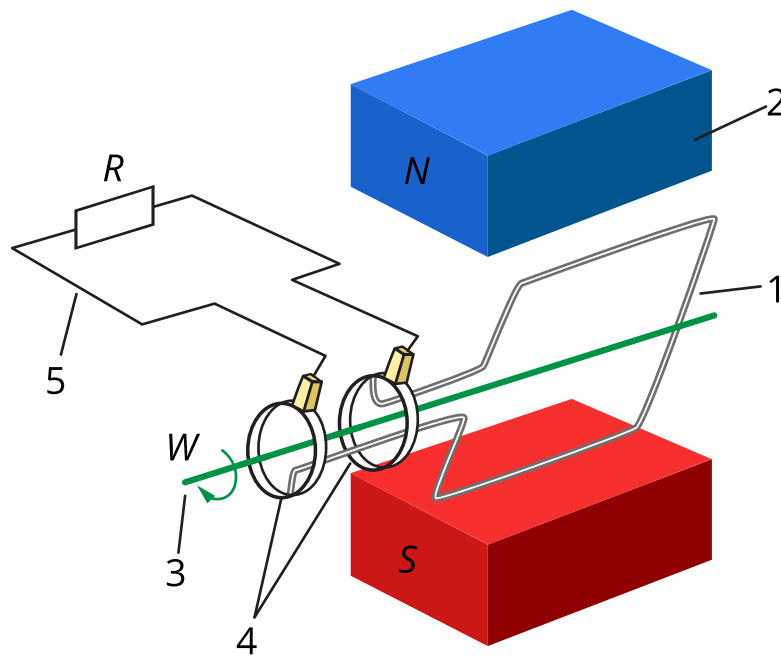
elektromagnetycznej. W szczególności:

- dowiesz się, dlaczego prądnica daje napięcie przemienne i od czego zależy maksymalna wartość tego napięcia,
- zrozumiesz potrzebę wykonywania pracy podczas obracania ramki,
- zrozumiesz, dlaczego moment siły zewnętrznej obracając ramkę wykonuje dodatnią pracę,
- będziesz umiał posługiwać się szkolną prądnicą.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Opiszemy tutaj prądnicę szkolną, gdzie wykorzystuje się ruch obrotowy ramki umieszczonej w polu magnetycznym tak, że oś obrotu ramki jest prostopadła do linii pola magnetycznego. Podczas obrotu ramki zmieniać się będzie **strumień indukcji magnetycznej** przenikający powierzchnię ramki. Będzie się zatem indukowała **siła elektromotoryczna** indukcji (napięcie na wyjściu ramki). Rys. 1. zamieszczony poniżej przedstawia model takiej prądnicy.



Rys. 1. Schemat prądnicy

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

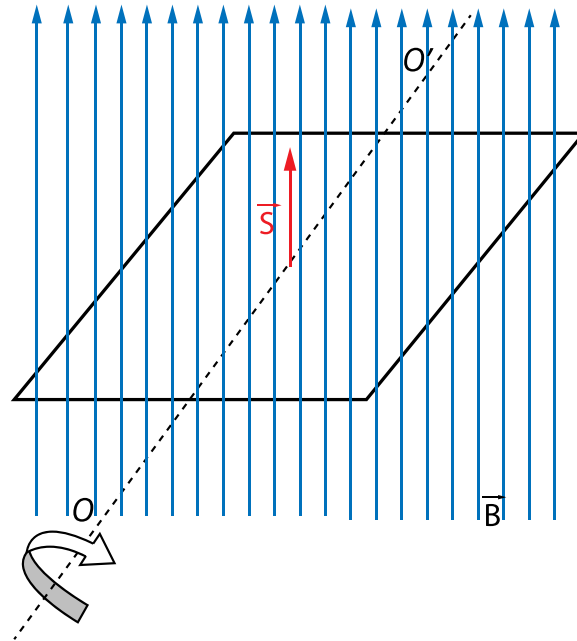
Gdzie:

- 1 – przewodząca ramka,
- 2 – biegun północny N magnesu,
- 3 – oś obrotu ramki,
- 4 – pierścienie połączone na sztywno z ramką,
- 5 – obwód zewnętrzny zasilany prądnicą, kontaktujący się z ramką za pomocą szczotek, ślizgających się po pierścieniach.

Napięcie uzyskiwane podczas obrotu ramki za sprawą indukcji elektromagnetycznej ma charakter okresowy, tak jak charakter okresowy ma ułożenie ramki w stosunku do linii pola

magnetycznego. Kierunek ruchu przewodnika w polu magnetycznym pozwala określić [reguła prawej dłoni](#).

Będziemy rozważać jednostajny ruch obrotowy ramki wokół osi OO' . Na Rys. 2. pokazano położenie ramki w chwili $t = 0$. Strumień indukcji magnetycznej przez powierzchnię ramki jest wtedy maksymalny i wynosi BS .



Rys. 2. Położenie ramki w chwili $t = 0$

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Przypomnijmy, że strumień indukcji magnetycznej Φ_B przez powierzchnię S jest zdefiniowany jako iloczyn skalarny wektora indukcji magnetycznej $\vec{B}$ i wektora powierzchni $\vec{S}$:

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \alpha,$$

gdzie $\alpha = \angle(\vec{B}, \vec{S})$. Na początku kąt między wektorami $\vec{B}$ i $\vec{S}$ jest równy 0, następnie w miarę obracania ramki będzie rósł jednostajnie w czasie: $\alpha = \omega \cdot t$. Wobec tego zmiany strumienia w czasie możemy zapisać jako:

$$\Phi_B = BS \cos(\omega t).$$

Przypomnijmy prawo Faradaya dotyczące [zjawiska indukcji elektromagnetycznej](#),

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \text{ przy } \Delta t \rightarrow 0.$$

Można to zapisać krócej jako $\frac{d\Phi}{dt}$. Zapis: $\frac{d\Phi}{dt}$ oznacza pochodną funkcji Φ względem czasu. Sensem fizycznym pochodnej jest tu szybkość zmiany strumienia w czasie.

Co oznacza, że siła elektromotoryczna indukcji powstająca w ramce równa jest szybkości zmian strumienia pola magnetycznego przenikającego tę ramkę, wziętej z minusem?

Zgodnie z [regułą Lenza](#), prąd indukcyjny wzbudzony w przewodniku pod wpływem zmiennego pola magnetycznego, ma zawsze taki kierunek, że wytworzone wtórne pole magnetyczne przeciwdziała przyczynie, która go wywołała.

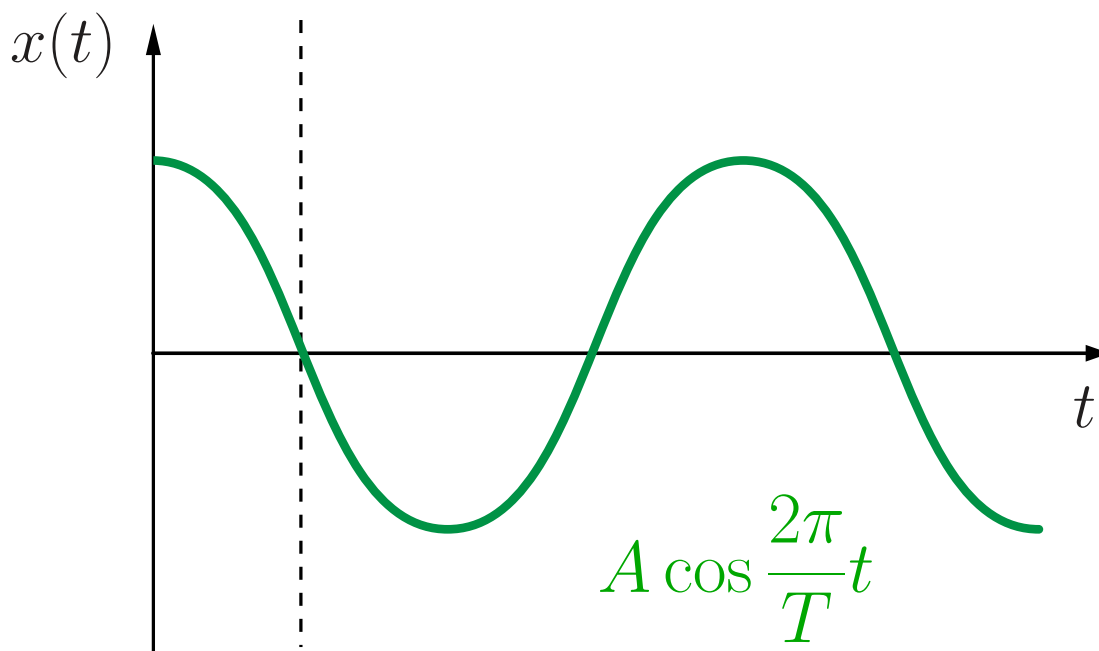
Spróbujmy teraz zastosować analogię z ruchem harmonicznym. Wyobraź sobie ciało zawieszone na sprężynie, wychylone z położenia równowagi i pozostawione samemu sobie. Ciało będzie wykonywało drgania harmoniczne opisane funkcją

$$x(t) = A \cos(\omega t),$$

gdzie ω jest częstością kątową drgań $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$, A - amplitudą.

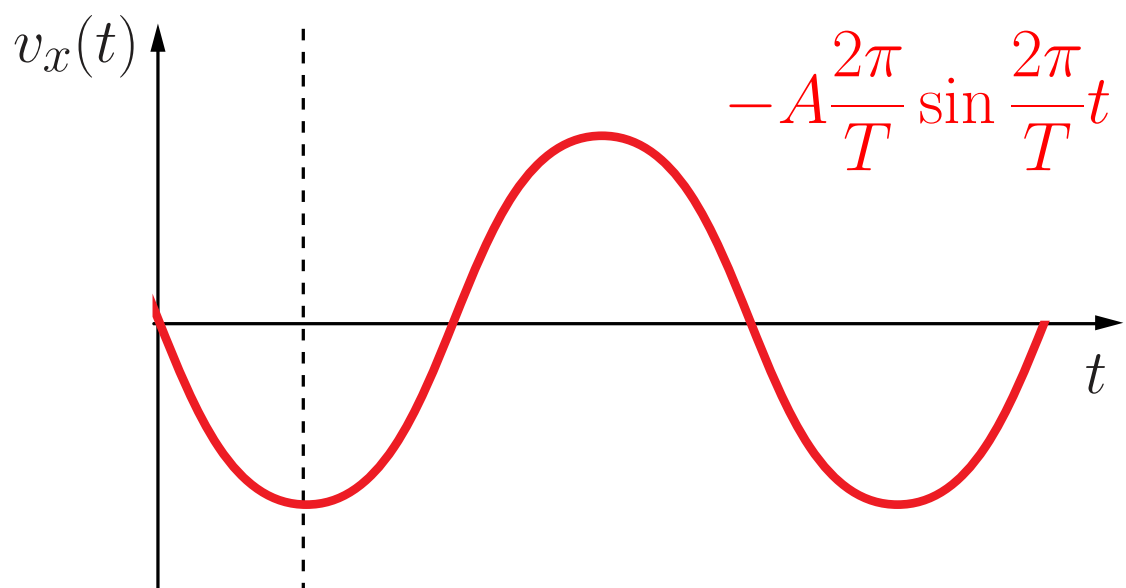
Widzimy tu identyczną zależność funkcyjną dla $x(t)$ i $\Phi_B(t)$.

Wiemy, że dla oscylatora harmonicznego prędkość, a więc szybkość zmiany położenia x jest opisana funkcją trygonometryczną przesuniętą w fazie o $\frac{\pi}{2}$ w stosunku do położenia. Najlepiej przedstawić to na wykresach. Przerywaną linią pionową oznaczyliśmy $\frac{1}{4}$ okresu drgań (Rys. 3a. i 3b.)

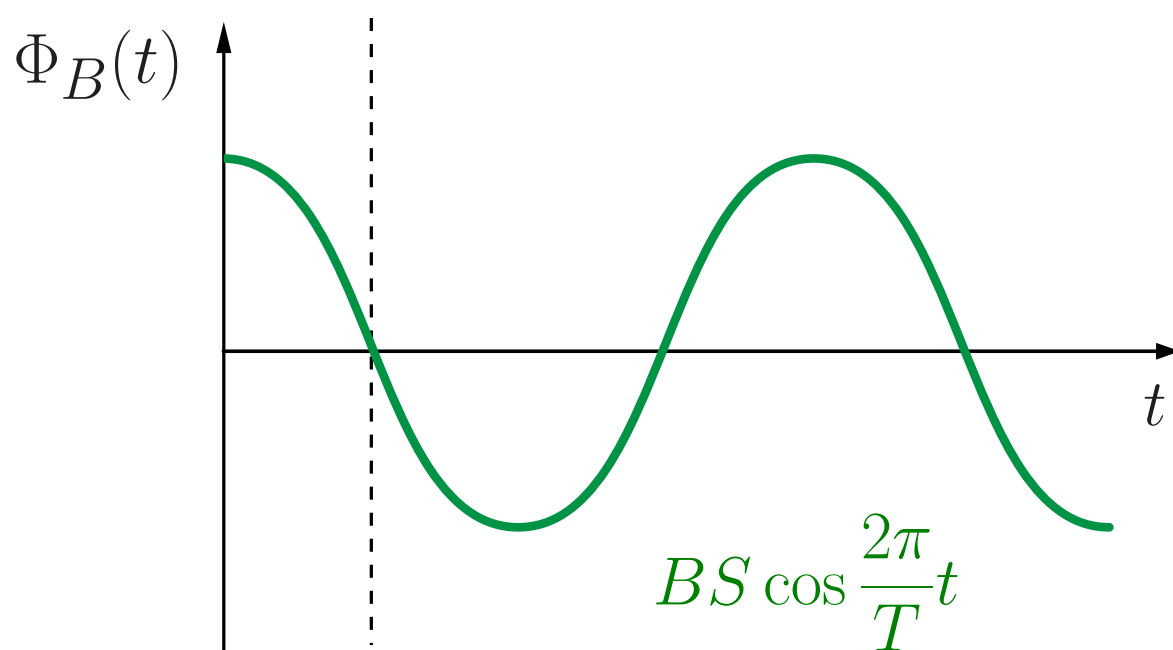


Rys. 3a. Zależność położenia od czasu w ruchu harmonicznym o okresie T i amplitudzie A

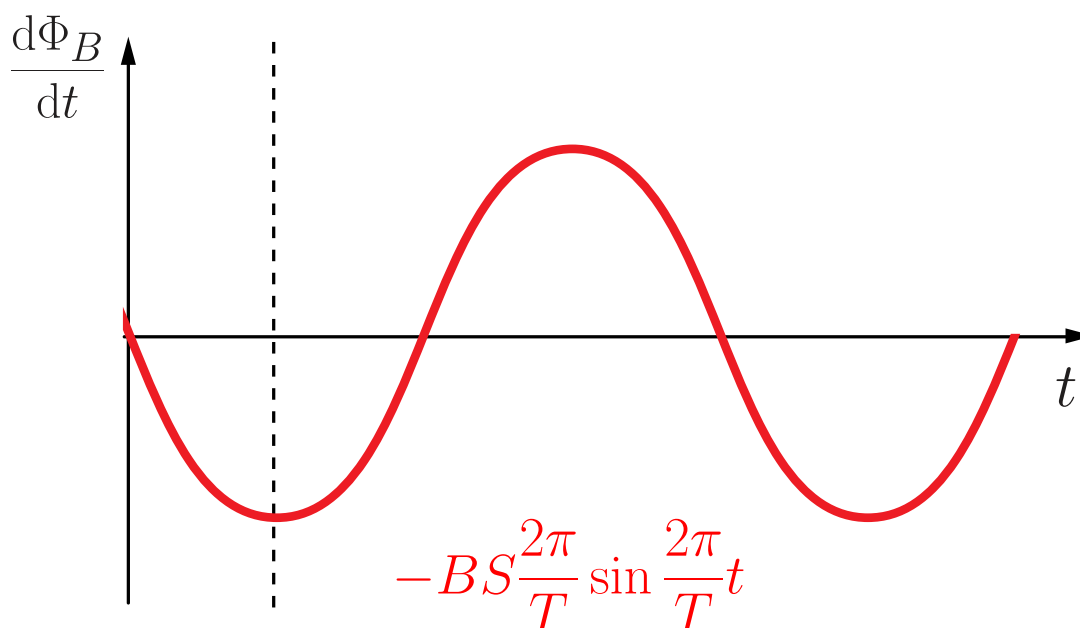
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.



Rys. 3b. Zależność współrzędnej prędkości w ruchu harmonicznym o okresie T i amplitudzie A
 Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.



Rys. 3c. Zależność strumienia indukcji magnetycznej od czasu
 Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.



Rys. 3d. Zależność od czasu *tempa zmian* strumienia indukcji magnetycznej

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Jeśli ruch drgający rozpoczyna się w położeniu maksymalnego dodatniego wychylenia i prędkość początkowa wynosi zero, to wykresy opisujące ten ruch opisane są krzywymi przedstawionymi na Rys. 3a. i 3b. Ta druga sytuacja interesuje nas w tym przypadku ze względu na matematyczną analogię między funkcjami $x(t)$ i $\Phi_B(t)$ (Rys. 3c. i 3d.). Wiemy, że dla oscylatora harmonicznego prędkość, czyli szybkość zmiany położenia opisana jest zależnością $v_x(t) = -A\omega \sin(\omega t)$. Analogicznie będzie opisywana zmiana strumienia:

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = -BS\omega \sin(\omega t).$$

Zauważ, że iloczyn BS jest maksymalną wartością strumienia, podobnie jak A jest maksymalną wartością położenia x .

Tak więc z prawa Faradaya wynika, że siła elektromotoryczna indukcji wytwarzana w prądniczy równa jest:

$$\epsilon_{ind} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -[-BS\omega \sin(\omega t)] = BS\omega \sin(\omega t)$$

Jeśli w prądniczy zastosujemy n ramek zamiast jednej, to SEM indukcji będzie n razy większa,

$$\epsilon_{ind} = nBS\omega \sin(\omega t),$$

gdzie wyrażenie $nBS\omega$ będzie oznaczało maksymalną wartość SEM indukcji.

Przyjęło się, że wytwarzaną przez prądnicę SEM indukcji nazywamy napięciem, którym możemy zasiląć jakiś obwód zewnętrzny.

Zgodnie z **zasadą zachowania energii**, w układzie izolowanym suma wszystkich rodzajów energii układu jest stała w czasie. Oznacza to, że energia w układzie izolowanym nie może być ani utworzona, ani zniszczona, mogą jedynie zachodzić przemiany jednych form energii w inne.

Słowniczek

zjawisko indukcji elektromagnetycznej

(*ang. electromagnetic induction*) - wytwarzanie prądu indukcyjnego (SEM indukcji) w obwodzie zamkniętym, podczas zmiany strumienia pola magnetycznego przechodzącego przez ten obwód.

strumień indukcji magnetycznej

(*ang. magnetix flux*) - strumieniem indukcji magnetycznej przez płaską powierzchnię S nazywamy iloczyn skalarny wektorów $\vec{B}$ i $\vec{S}$, drugi z nich jest z definicji prostopadły do powierzchni, a jego długość równa jest jej polu,

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \alpha,$$

gdzie $\alpha = \angle(\vec{B}, \vec{S})$.

Jednostką strumienia jest weber,

$$[1Wb] = [1T \cdot m^2].$$

zasada zachowania energii

(*ang. energy conservation principle*) - w układzie zamkniętym całkowita energia (suma wszystkich rodzajów energii) pozostaje stała. Energia nie powstaje z niczego i nie może też zniknąć. Może jedynie następować zamiana jednego rodzaju energii w inny.

reguła Lenza

(*ang. Lenz' law*) - reguła ułatwiająca szybkie wyznaczenie kierunku prądu indukcyjnego.

Formuluje się ją najczęściej w następujący sposób:

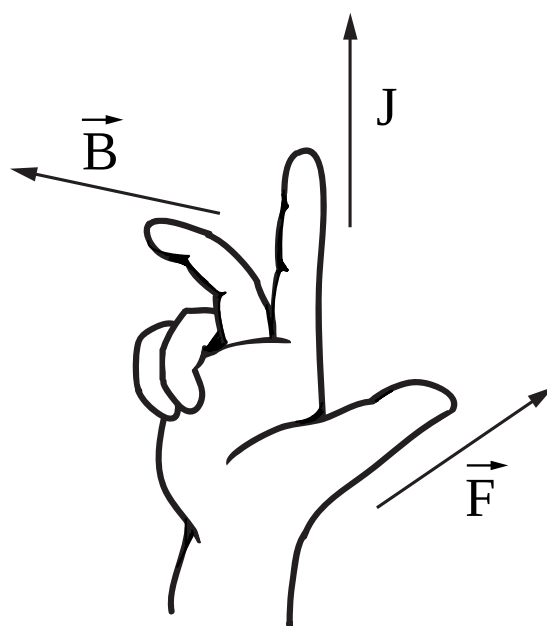
Kierunek prądu indukcyjnego jest taki, że przeciwdziała przyczynie, która go wywołała. Przeciwdziałanie przyczynie polega tu na tym, że gdy strumień rośnie, to pole magnetyczne wytworzone przez prąd indukcyjny jest tak skierowane, żeby zmniejszyć ten strumień. I odwrotnie: gdy strumień maleje, to wyidukowane pole magnetyczne jest tak skierowane, żeby strumień wzmocnić.

siła elektromotoryczna

(ang. *electromotive force*) czynnik powodujący przepływ prądu w obwodzie elektrycznym równy energii elektrycznej uzyskanej przez jednostkowy ładunek przemieszczany w urządzeniu (źródle) prądu elektrycznego w stronę przeciwną do siły pola elektrycznego działającego na ten ładunek.

reguła trzech palców prawej dłoni

(reg. Fleminga), (ang. *Fleming's right hand rule for generators*) – mnemotechniczna reguła pozwalająca łatwo zapamiętać wzajemne ustawienie: wektora siły elektrodynamicznej, wektora indukcji magnetycznej i kierunku prądu. Obrazuje ją następujący Rys. 4.:



Rys. 4. Reguła Fleminga

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Animacja

Co się dzieje podczas działania prądnicy?

W animacji przedstawiony jest ruch obrotowy ramki prądnicy i związany z nim kierunek płynącego w ramce prądu indukcyjnego. Aby płynął prąd musimy w jakiś sposób dostarczać energii do obwodu. Tu kręcimy korbką wykonując pracę. Jak to się dzieje, że wykonujemy dodatnią pracę? Co sprawia, że czujemy „opór” w kręceniu korbką? I to nawet wtedy, gdy nie występują opory mechaniczne.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DLVLvT87b>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Opis alternatywny animacji 3D.

Animacja 3D Na ciemnym polu pojawia się wiele trójwymiarowych szarych i półprzezroczystych sześciątów, w których widoczne są dwa kolejne nieco jaśniejsze, przy czym najbardziej środkowe są prawie białe. Zbiegają się one i po chwili tworzą jeden biały mały, jasny sześciąt na czarnym tle, po prawej stronie ekranu w połowie jego wysokości. Obok, po prawej stronie, pojawia się biały napis Co się dzieje podczas działania prądnicy? . Napis i sześciąt zbliżają się do widza i w końcu znikają. Na ekranie widoczne są na czarnym tle niebieskie pionowe linie symbolizujące pole magnetyczne i prostokątną ramkę narysowaną przy pomocy białych linii. Płaszczyzna ramki jest prostopadła względem linii przedstawiających pole magnetyczne. Linie i umieszczona w nich ramka narysowane są w centralnej części ekranu. Po lewej stronie, w górnej części ekranu pojawia się biały napis strumień indukcji magnetycznej a poniżej wzór, który tę wielkość opisuje. Strumień indukcji magnetycznej wielka grecka litera Φ z indeksem dolnym wielka litera B jest równy iloczynowi wektora indukcji magnetycznej wielka litera B ze strzałką u góry symbolizującą wektor oraz wektorowi powierzchni skierowanej wielka litera S ze strzałką u góry symbolizującą wektor. Jest to równe iloczynowi wartości wektora indukcji magnetycznej wielka litera B i powierzchni przez którą przepływa wielka litera S pomnożonych przez kosinus kąta pomiędzy powierzchnią w tym przypadku raki i kierunkiem pola magnetycznego. Kąt ten nazwany został małą grecką literą α . Pole magnetyczne skierowane jest pionowo w dół co symbolizują groty na końcach niebieskich strzałek

a kierunek wektora powierzchni początkowo również skierowany jest w dół, co symbolizuje czerwona strzałka przyłożona do środka białego kwadratu symbolizującego ramkę. Obok ramki pojawia się łamana krzywa symbolizująca korbkę, dzięki której może być ona obracana w polu magnetycznym wokół osi przechodzącej przez środek ramki i narysowanej w postaci białej przerywanej linii. Ramka obracana jest siłą oznaczoną jako wielka litera F ze strzałką u góry symbolizującą wektor. Siła przyłożona jest do korbki i zaznaczona zieloną strzałką z grotem początkowo skierowanym pionowo w dół. Po chwili ramka obraca się o dziewięćdziesiąt stopni zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara. Zwrot wektora powierzchni narysowanego czerwoną strzałką wskazuje teraz lewą stronę. Następnie ramka obraca się dalej i wraca do położenia początkowego, gdy wektor powierzchni ma zwrot pionowo w dół. Po chwili ramka wykonuje kolejny obrót a na jej bokach widoczne są zaznaczone pomarańczowymi strzałkami kierunki prądów płynących w niej. Na prawej krawędzi ramki płynie prąd skierowany od osoby obserwującej animację. Na lewej krawędzi prąd skierowany jest przeciwnie, czyli do osoby obserwującej animację. Po chwili na rysunku pojawiają się oznaczenia boków ramki. Bok po lewej stronie oznaczona małą literą a , bok widoczny z tyłu ramki małą literą b , bok po prawej małą literą c i bok widoczny z przodu małą literą d . Po prawej stronie animacji pojawia się biały napis Napięcie wytworzone w ramce i wzór, który je opisuje. Napięcie w funkcji czasu wielka litera U i w nawiasie mała litera t jest równe napięciu maksymalnemu wielka litera U z indeksem dolnym $\max$ pomnożonemu przez sinus z iloczynu prędkości kątowej mała grecka litera ω i czasu t . prędkość kątowa obrotu ramki określa zmianę kąta o jaki obróciła się ramka do czasu, w którym obrót ten nastąpił. Poniżej pojawia się kolejny biały napis Natężenie prądu w ramce i wzór, który je opisuje. Natężenie prądu w funkcji czasu wielka litera I i w nawiasie mała litera t , jest równe iloczynowi natężenia maksymalnego wielka litera I z indeksem dolnym $\max$ pomnożonemu przez sinus z iloczynu prędkości kątowej mała grecka litera ω i czasu t . Po prawej stronie ekranu na dole pojawia się prostokątny układ współrzędnych narysowany białymi strzałkami, w którym oś natężenia prądu oznaczona jako wielka litera I i w nawiasie mała litera t jest skierowana pionowa w górę. Oś czasu oznaczona małą literą t skierowana jest w prawo. W tym układzie narysowana jest niebieską linią funkcja sinus. Po chwili wszystkie napisy oraz wykres znikają. Widoczne są tylko niebieskie linie strzałki skierowane w dół symbolizujące pole magnetyczne i ramka umieszczona w tym polu. Ramka zaczyna obracać się zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara. Ramka obraca się bez żadnych oporów. Po wykonaniu pełnego obrotu, przy korbce pojawia się narysowana zieloną strzałką siła

wielka litera F ze strzałką oznaczającą wektor, która jest skierowana pionowo w dół. Siła ta pokonuje pewien opór jaki pole magnetyczne stawia obracającej się ramce. Praca tej siły jest przyczyną powstania w obwodzie ramki prądu elektrycznego. Po chwili ramka obraca się jeszcze raz a na jej boku prawy i lewym widoczne są pomarańczowe strzałki symbolizujące kierunek prądu elektrycznego. Na lewym boku strzałka skierowana jest od osoby oglądającej animację a na prawym do tej osoby. Momenty sił działających na te boki są równe zero. Po chwili z prawej strony ramki pojawiają się wektory sił elektrodynamicznych działających na boki ramki w trakcie ruchu. Narysowane są one białymi strzałkami skierowanymi zawsze przeciwnie do chwilowego zwrotu wektora siły wielka litera F. Oznaczono je wielką literą F z indeksem dolnym el i ze strzałką oznaczającą wielkość wektorową. Wektor siły wielka litera F obracającej ramkę obraca się w trakcie ruchu zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Siła elektrodynamiczna stanowi opór dla obrotu ramki i sprawia, że jej wartość jest zawsze dodatnia. Po chwili ekran staje się czarny a następnie pojawia się białe tło. Na białym tle widoczny jest niebieski i umieszczony centralnie napis Fizyka dziewięćset pięćdziesiąt kapsulek. Poniżej widoczne są trzy loga. W lewym dolnym rogu ekranu logo wydziału fizyki politechniki warszawskiej zawierające czarny kontur falistego kształtu otoczony czarnym prostokątem oraz czarny napis Wydział Fizyki Politechnika Warszawska. Na środku ekranu na dole znajduje się logo zawierające niebieski trapez o pionowych podstawach na tle którego widać trzy gwiazdki: białą, żółtą i czerwoną. Obok znajduje się czarny napis Fundusze Europejskie Wiedza Edukacja Rozwój. W prawym dolnym rogu znajduje się czarny napis Unia Europejska po której prawej stronie widoczna jest flaga Unii Europejskiej.

Polecenie 1

Skorzystaj z dostępnych źródeł informacji i zastanów się, jakie zastosowania w życiu codziennym znajdują „prądnice”? Swoje rozważania skoreluj z odpowiedzią zaproponowaną poniżej.

Polecenie 2

Wytwarzanie energii elektrycznej odbywa się w prądnicach dzięki zjawisku indukcji elektromagnetycznej. Dzieje się to dzięki względnemu ruchowi przewodnika i zewnętrznego pola magnetycznego. Ze względu na rodzaj wytwarzanego napięcia prądnice dzieli się na prądnice: prądu przemiennego i prądu stałego. W jaki sposób klasyfikuje się prądnice ze względu na budowę i zasadę działania?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Która część prądnicy powoduje, że - mimo obracania ramki - kable odprowadzające napięcie nie skręcają się?

Odpowiedź:

przewodząca ramka

magnesy

pierścienie i szczotki

Ćwiczenie 2



Połącz prawą i lewą część, tworząc dwa prawdziwe zdania.

Gdy strumień Φ_B przenikający ramkę prądnicy jest maksymalny, to

Gdy strumień Φ_B przenikający ramkę prądnicy jest równy zeru, to

ε_{ind} ma minimalną wartość

$\varepsilon_{ind} = 0$

ε_{ind} ma maksymalną wartość

Ćwiczenie 3



Zaznacz prawidłowe uzupełnienie zdania.

W samochodzie poruszającym się ze stałą prędkością w pewnej chwili zerwał się pasek klinowy alternatora (prądnicy). W ten sposób alternator przestał działać. Od tej chwili silnik samochodowy zużywa mniej / więcej / tylko samo paliwa, co poprzednio. Prędkość samochodu nie zmieniła się.

Ćwiczenie 4



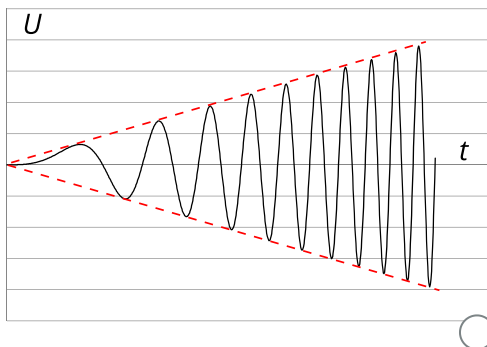
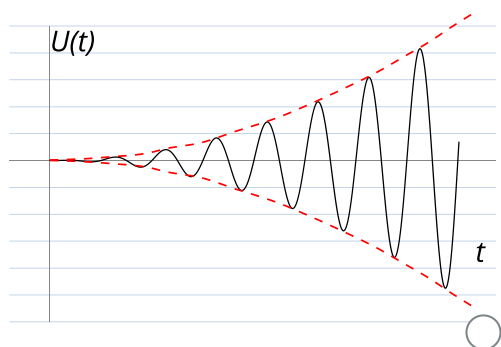
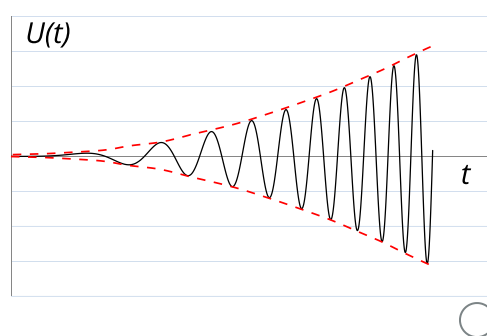
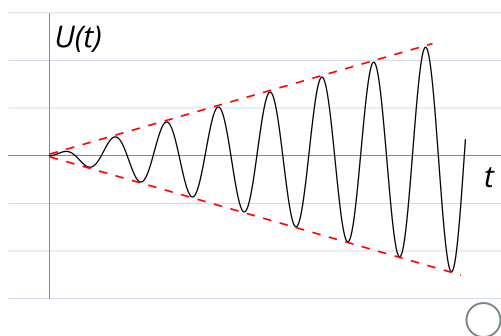
Oblicz liczbę zwojów n w uzwojeniu prądnicy, dzięki której będzie można uzyskać napięcie o maksymalnej wartości równej 5 V. Indukcja pola magnetycznego zastosowanego w prądnicy ma wartość 30 mT, a powierzchnia S pojedynczego zwoju wynosi 50 cm^2 . Uzwojenie może być obracane z maksymalną częstotliwością $f = 100 \text{ Hz}$. Odpowiedź zaokrąglij do dwóch cyfr znaczących i wpisz w okienko poniżej.

Odpowiedź: $n =$

Ćwiczenie 5

Obracamy ramkę w prądnicy ruchem jednostajnie przyspieszonym od prędkości kątowej początkowo równej zero. Wybierz wykres, z podanych niżej, odpowiadający zmianom napięcia w funkcji czasu.

Przerywane, czerwone linie pokazują jakościowo, jak zmienia się amplituda napięcia.



Ćwiczenie 6



Założmy, że w układzie z ćw. 5. obwód jest zamknięty i - po nadaniu uzwojeniu pewnej niezerowej prędkości kątowej - przestajemy obracać korbą prądnicy. Nawet gdyby w układzie nie było żadnego tarcia ani oporu powietrza, prądnica po pewnym czasie zatrzymałaby się. Dlaczego? Sformułuj odpowiedź na kartce. Następnie porównaj swoją odpowiedź z wyjaśnieniem.

Ćwiczenie 7



Zależność napięcia uzyskanego w prądnicy od czasu opisana jest następująco:

$$U(t) = nBS\omega \cdot \sin(\omega t).$$

W tym wzorze występuje wyrażenie pozwalające obliczyć wartość maksymalnego strumienia przenikającego uzwojenie prądnicy. Jest to:

☐ nBS

☐ $BS\omega$

☐ $nBS\omega$

☐ BS

Ćwiczenie 8



Oblicz częstotliwość, z jaką należy obracać uzwojenie prądnicy, aby wartość maksymalnego uzyskiwanego napięcia wyniosła 10 V. Prądnica ma uzwojenie o $n = 100$ zwojach, a pole powierzchni ramki w uzwojeniu wynosi $S = 30 \text{ cm}^2$. W prądnicy zastosowano magnes wytwarzający indukcję magnetyczną o wartości 0,05 T. Odpowiedź zaokrąglaj do trzech cyfr znaczących i wpisz w okienko.

Odpowiedź: $f =$ Hz

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Nina Tomaszewska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Co się dzieje podczas działania prądnicy?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia - wymagania ogólne I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. Zakres rozszerzony Treści nauczania - wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu; IX. Magnetyzm. Uczeń: 9) opisuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej; stosuje regułę Lenza; opisuje przemiany energii podczas działania prądnicy.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. wyjaśnia, dlaczego prądnica daje napięcie przemienne i od czego zależy maksymalna wartość tego napięcia; 2. uzasadnia potrzebę wykonywania pracy podczas obracania ramki; 3. wyjaśnia, dlaczego moment siły zewnętrznej obracającej ramkę wykonuje pracę.
Strategie nauczania:	blended-learning
Metody nauczania:	wykład informacyjny wspomagany pokazem multimedialnym
Formy zajęć:	praca w zespole klasowym
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia.
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel zaciekawia uczniów stawiając problem: działanie prądnicy jako urządzenia będącego źródłem siły elektromotorycznej (napięcia), w którym praktycznie wykorzystuje się zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Nauczyciel przedstawia rysunek ze schematem prądnicy i prosi uczniów o przedstawienie zasady działania prądnicy. Następnie stawia pytanie o źródło energii wydzielanej w obwodzie zasilanym prądnicą.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel wyprowadza wzór opisujący napięcie przemienne uzyskiwane za pomocą prądnicy. Może zrobić to przez analogię do ruchu drgającego (jak w tekście), może przeprowadzić rachunek matematyczny obliczając granicę funkcji będącej ilorazem różnicowym. Uczniowie przechodzą do samodzielnego zapoznawania się z animacją. W trakcie tego działania proszeni są o aktywność i udzielanie odpowiedzi na stawiane przez lektora pytania: o kierunek prądu, o kierunek siły elektrodynamicznej działającej na poszczególne boki ramki. W końcu wnioskuje o dodatniej pracy momentu siły obracającej prądnicę, która to praca odnajduje się w energii wydzielonej w obwodzie na skutek przepływu prądu.	
Faza podsumowująca:	

Uczniowie z pomocą nauczyciela rozwiązują zadania: 2, 3, 5 i 6 z zestawu ćwiczeń. Są najistotniejsze.

Praca domowa:

Zadania: 1, 4, 7, 8 w celu utrwalenia wiadomości zdobytych na lekcji.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium:**

Użyta w tym e-materiale animacja mogłaby być zastosowana w realizacji innych tematów np. związanych z regułą Lenza.