

Wykłady z Fizyki 08



Zbigniew Osiak

**Elektro-
magnetyzm**

ORCID

Linki do moich publikacji naukowych i popularnonaukowych, e-booków oraz audycji telewizyjnych i radiowych są dostępne w bazie ORCID pod adresem internetowym:

<http://orcid.org/0000-0002-5007-306X>

OZNACZENIA

B – notka biograficzna

C – ciekawostka

D – propozycja wykonania doświadczenia

H – informacja dotycząca historii fizyki

I – adres strony internetowej

K – komentarz

P – przykład

U – uwaga

Zbigniew Osiak (Tekst)

WYKŁADY Z FIZYKI
Elektromagnetyzm

Małgorzata Osiak (Ilustracje)

© Copyright 2013 by
Zbigniew Osiak (text) and Małgorzata Osiak (illustrations)

Wszelkie prawa zastrzeżone.

Rozpowszechnianie i kopiowanie całości lub części publikacji
zabronione bez pisemnej zgody autora tekstu i autorki ilustracji.

Portret autora zamieszczony na okładkach przedniej i tylnej
Rafał Pudło

Wydawnictwo: Self Publishing

ISBN: 978-83-272-3910-5

e-mail: zbigniew.osiak@gmail.com

“*Wykłady z Fizyki – Elektromagnetyzm*” są ósmym z piętnastu tomów pomocniczych materiałów do jednorocznego kursu fizyki prowadzonego przeze mnie na różnych kierunkach inżynierskich. Zainteresowani studiowaniem fizyki znajdą tu podstawowe pojęcia, prawa, jednostki, wzory, wykresy i przykłady.

Uzupełnieniem ósmego tomu są eBooki:

Z. Osiak: *Encyklopedia Fizyki*. Self Publishing (2012).

Z. Osiak: *Szczególna Teoria Względności*. Self Publishing (2012).

Z. Osiak: *Zadania Problemowe z Fizyki*. Self Publishing (2011).

Z. Osiak: *Angielsko-polski i polsko-angielski słownik terminów fizycznych*. Self Publishing (2011).

Zapis wszystkich trzydziestu wykładów zgrupowanych w piętnastu tomach zostanie zamieszczony w internecie w postaci eBooków.

-
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Mechanika.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Akustyka.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Hydromechanika.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Grawitacja.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Termodynamika.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Elektryczność.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Magnetyzm.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Elektromagnetyzm.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Optyka.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Kwanty.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Ciało Stałe.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Jądra.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Cząstki Elementarne.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Teoria Względności.*
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Stałe Uniwersalne i Jednostki.*

Indukcja elektromagnetyczna

dr Zbigniew Osiak

Rysunki wykonała

Małgorzata Osiak

- Indukcja elektromagnetyczna 09
- Transformatory i prądnice 26

- Elektromagnetyzm 10
- Siła elektromotoryczna 11
- Strumień indukcji magnetycznej 13
- Indukcja elektromagnetyczna 15
- Prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya 16
- Prąd indukcyjny 19
- Prądy wirowe 20
- Reguła Lenza 21
- Samoindukcja 22
- Indukcyjność 24
- Indukcja wzajemna 25

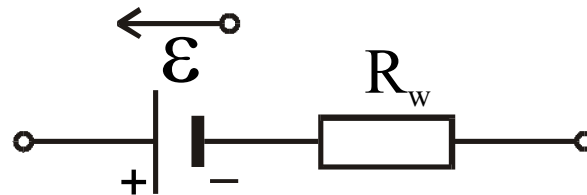
-
- Elektromagnetyzm \Leftrightarrow dział fizyki zajmujący się badaniem:
 - pól elektromagnetycznych i zachodzących w nich zjawisk opisywanych przez równania Maxwella i wynikające z nich prawa szczególne,
 - obwodów prądu zmiennego.

- Siła elektromotoryczna (\mathcal{E} , SEM) \Leftrightarrow wielkość skalarna mierzona w woltach (dżulach na kulomb) będąca całką krzywoliniową wzdłuż krzywej zamkniętej (znajdującej się w polu elektromagnetycznym) z natężenia pola elektrycznego (\mathbf{E}).

$$\text{SEM} = \oint_1^{\text{df}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

- Siła elektromotoryczna powstająca w realnym obwodzie zamkniętym powoduje w nim przepływ prądu elektrycznego.
- SEM jest równa liczbowo pracy wykonanej przez siły elektryczne podczas jednorazowego obiegu obwodu przez jednostkowy ładunek elektryczny.

- W przypadku jedno-oczkowego obwodu prądu stałego siła elektromotoryczna jest równa różnicy potencjałów elektrycznych (napięciu elektrycznemu) na biegunach nieobciążonego źródła.



- Symbol źródła stałej siły elektromotorycznej (\mathcal{E}) o oporze wewnętrznym (R_w); strzałka oznacza umowny kierunek siły elektromotorycznej.

- Strumień indukcji magnetycznej (Φ_B) \Leftrightarrow wielkość skalarna mierzona w weberach [Wb], której definicję podamy dla przypadku, gdy w każdym punkcie płaskiej powierzchni indukcja magnetyczna (\mathbf{B}) ma taką samą stałą wartość, ustalony kierunek i zwrot, inaczej mówiąc, gdy pole magnetyczne jest jednorodne, a powierzchnia jest fragmentem płaszczyzny.

$$\Phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S}$$

$$\Phi_B = B \cdot S \cdot \cos \angle(\mathbf{B}, \mathbf{S})$$

$$[\Phi_B] = \text{Wb}$$

- \mathbf{S} – wektor o wartości równej polu (S) płaskiej powierzchni, prostopadły do tej powierzchni, o zwrocie na zewnątrz obszaru ograniczonego przez rozważaną powierzchnię

- W przypadku gdy indukcja magnetyczna jest prostopadła do powierzchni

$$\Phi = B \cdot S$$

- Strumień indukcji magnetycznej nazywany jest też strumieniem magnetycznym.

• Indukcja elektromagnetyczna \Leftrightarrow zjawisko polegające na powstawaniu siły elektromotorycznej w obwodzie, w którym zmienia się w czasie strumień indukcji magnetycznej. Ilościowy opis tego zjawiska podaje prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya.

P Zjawisko to jest podstawą działania między innymi prądnic i transformatorów.

H Indukcję elektromagnetyczną odkrył Faraday w 1831.

B Michael Faraday (1791-1867), brytyjski fizyk i chemik.

- Prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya \Leftrightarrow prawo opisujące ilościowo zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Siła elektromotoryczna (\mathcal{E}), powstająca w obwodzie znajdującym się w polu magnetycznym dana jest poniższym równaniem.

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

- Φ_B – strumień indukcji magnetycznej przenikający przez powierzchnię ograniczoną obwodem

$$\begin{array}{l} \mathcal{E} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \Phi_B = \text{const} \\ \mathcal{E} > 0 \quad \Leftrightarrow \quad \Phi_B \downarrow \\ \mathcal{E} < 0 \quad \Leftrightarrow \quad \Phi_B \uparrow \end{array}$$

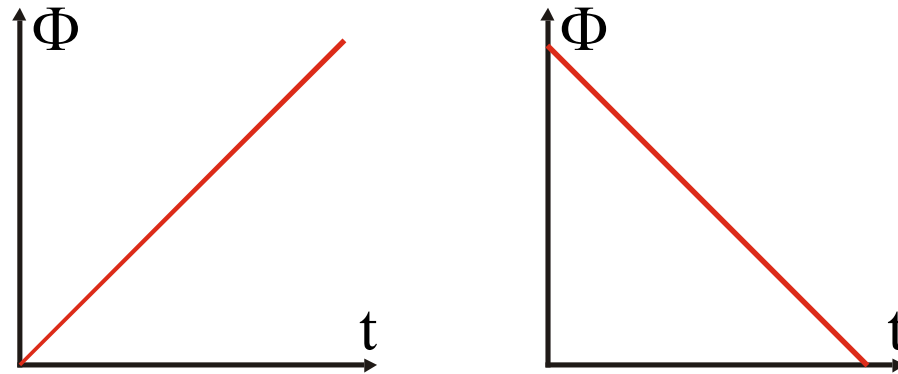
- W przypadku gdy strumień indukcji magnetycznej zmienia się liniowo w czasie

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

- Siła elektromotoryczna powstała w obwodzie zamkniętym powoduje przepływ prądu. Kierunek prądu indukcyjnego można wyznaczyć, posługując się regułą Lenza.

H Prawo indukcji elektromagnetycznej zostało odkryte przez Faradaya w 1831.

B Michael Faraday (1791-1867), brytyjski fizyk i chemik.



- Strumień indukcji magnetycznej (Φ) zwiększający się liniowo w czasie (t)

- Strumień indukcji magnetycznej (Φ) zmniejszający się liniowo w czasie (t)

-
- Prąd indukcyjny \Leftrightarrow prąd elektryczny, powstający w wyniku indukcji elektromagnetycznej.

• Prądy wirowe \Leftrightarrow prądy w postaci wirów otaczających linie sił pola magnetycznego powstające w przewodniku znajdującym się w zmiennym polu magnetycznym lub poruszającym się w stałym polu magnetycznym. Prądy wirowe nazywane są też prądami Foucaulta.

P Rdzenie transformatorów wykonywane są z wielu cienkich odizolowanych od siebie blaszek. Ogranicza to powstawanie prądów wirowych.

B Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868), francuski fizyk, astronom i wynalazca.

• Reguła Lenza \Leftrightarrow reguła umożliwiająca wyznaczenie kierunku prądu indukcyjnego. Głosi ona, że prąd indukcyjny wytwarza pole magnetyczne, które przeciwdziała zmianom strumienia indukcji magnetycznej będącym przyczyną powstania tego prądu.

H Reguła ta została sformułowana przez Lenza w 1833.

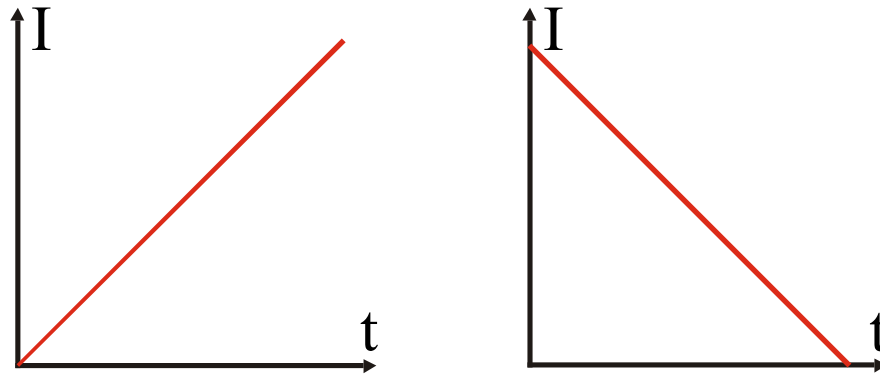
B Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865), rosyjski fizyk pochodzenia niemieckiego.

- Samoodukcja \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że prąd zmienny płynący przez cewkę indukuje w niej siłę elektromotoryczną (\mathcal{E}_{sam}), nazywaną siłą elektromotoryczną samoodukcji.

$$\mathcal{E}_{\text{sam}} = -L \frac{dI}{dt} - I \frac{dL}{dt}$$

- I – natężenie prądu elektrycznego
- L – indukcyjność
- W przypadku gdy natężenie prądu zmienia się liniowo w czasie, a indukcyjność cewki jest stała, siła elektromotoryczna samoodukcji dana jest prostszym równaniem.

$$\mathcal{E}_{\text{sam}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$



- Natężenie prądu (I) zwiększające się liniowo w czasie (t)

- Natężenie prądu (I) zmniejszające się liniowo w czasie (t)

- Indukcyjność \Leftrightarrow wielkość skalarna charakteryzująca cewkę o długości (l) utworzoną z (n) zwojów, każdy o polu powierzchni przekroju poprzecznego (S).

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{n^2 S}{l}, \quad [L] = H$$

- μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni
- μ_r – względna przenikalność magnetyczna rdzenia
- Jednostką indukcyjności jest henr [H].

H Pojęcie indukcyjności wprowadził Heaviside w 1886.

B Oliver Heaviside (1850-1925), brytyjski fizyk i matematyk.

- Indukcja wzajemna \Leftrightarrow zjawisko polegające na powstawaniu siły elektromotorycznej (\mathcal{E}_1) w danym obwodzie wskutek zmian natężenia (I_2) prądu elektrycznego płynącego w obwodzie sąsiednim.

$$\mathcal{E}_1 = -M_{12} \frac{dI_2}{dt}$$

- M_{12} – indukcyjność wzajemna pierwszego i drugiego obwodu

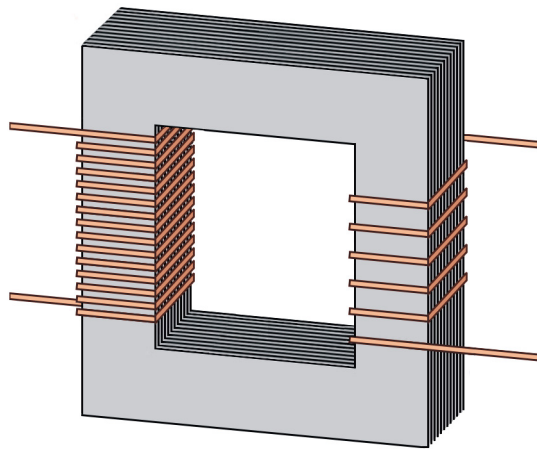
- Transformator 27
- Transformator nieobciążony 29
- Transformator obciążony 30
- Autotransformator 31
- Cewka indukcyjna Ruhmkorffa 32
- Cewka Tesli 34
- Prądnica 35
- Dynamo 37

- Transformator \Leftrightarrow urządzenie służące do zmiany napięcia sinusoidalnie zmiennego z wysokiego na niskie lub odwrotnie. Zbudowany jest z ferromagnetycznego rdzenia, na którym nawinięte są dwa uzwojenia. Uzwojenie zasilane ze źródła napięcia sinusoidalnie zmiennego nazywane jest uzwojeniem pierwotnym. Uzwojenie, do którego podłączany jest odbiornik, nazywane jest uzwojeniem wtórnym. Stosunek liczby zwojów (n_1) w uzwojeniu pierwotnym do liczby zwojów (n_2) w uzwojeniu wtórnym jest równy stosunkowi napięcia (U_1) na uzwojeniu pierwotnym do napięcia (U_2) na obciążonym uzwojeniu wtórnym.

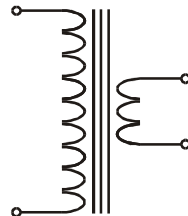
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

- n_1/n_2 – przekładnia transformatora

- Zasada działania transformatora oparta jest na indukcji elektromagnetycznej. Prąd zmienny płynący w uzwojeniu pierwotnym jest źródłem zmiennego pola magnetycznego. W uzwojeniu wtórnym, znajdującym się w tym polu, zmiany strumienia indukcji magnetycznej powodują powstanie sinusoidalnie zmiennej siły elektromotorycznej.



• Transformator



• Symbol transformatora

-
- Transformator nieobciążony \Leftrightarrow transformator, w którego uzwojeniu wtórnym nie płynie prąd.

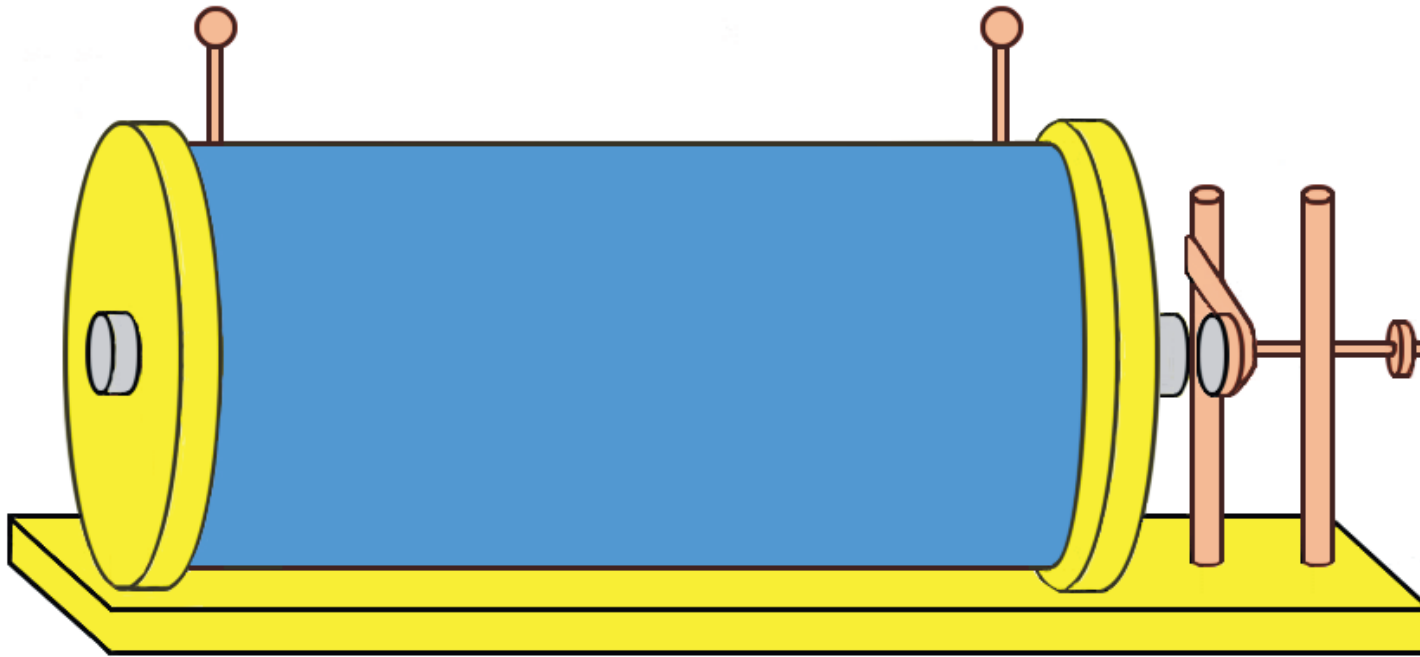
-
- Transformator obciążony \Leftrightarrow transformator, w którego uzwojeniu wtórnym płynie prąd.

-
- Autotransformator \Leftrightarrow transformator, w którym zwoje są nawinięte na toroidalnym rdzeniu. Przy czym uzwojenie pierwotne oraz wtórne mają wspólną część.

- Cewka indukcyjna Ruhmkorffa \Leftrightarrow transformator, w którym na uzwojeniu pierwotnym o małej liczbie zwojów nawinięte jest uzwojenie wtórne o znacznie większej liczbie zwojów. Oba uzwojenia znajdują się na walcowatym rdzeniu żelaznym. Źródło stałego napięcia, połączone szeregowo z mechanicznym przerywaczem, powoduje w uzwojeniu pierwotnym przepływ jednokierunkowego prądu o zmieniającym się okresowo natężeniu. W uzwojeniu wtórnym można uzyskać napięcia do trzystu tysięcy woltów.
- Cewka indukcyjna Ruhmkorffa nazywana jest też induktorem Ruhmkorffa.

H Urządzenie to skonstruował Ruhmkorff w 1850.

B Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877), niemiecki konstruktor.



- Cewka indukcyjna Ruhmkorffa

-
- Cewka Tesli \Leftrightarrow transformator o rdzeniu powietrznym, w którego uzwojeniu wtórnym można uzyskać napięcie kilku milionów woltów.
 - Cewka Tesli nazywana jest też transformatorem Tesli.

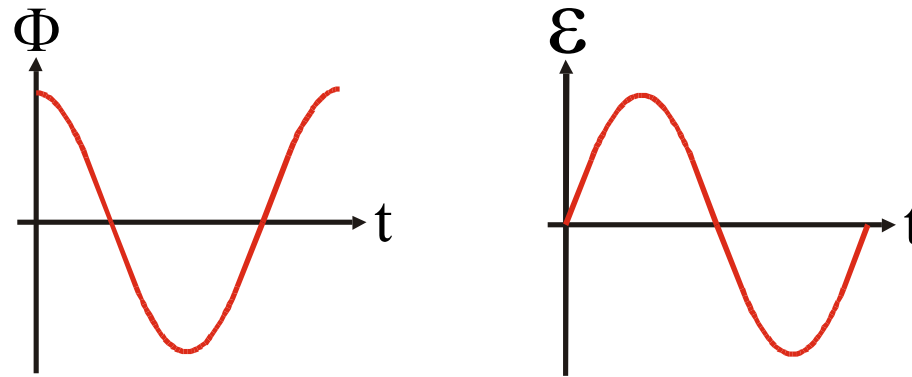
B Nikola Tesla (1856-1943), chorwacko-amerykański fizyk i wynalazca.

- Prądnic \Leftrightarrow urządzenie służące do wytwarzania prądu sinusoidalnie zmiennego. Stanowi go prostokątna ramka wirująca ze stałą prędkością kątową (ω) w jednorodnym polu magnetycznym. Wskutek czego strumień indukcji magnetycznej (Φ) zmienia się okresowo.

$$\Phi = \Phi_0 \cos \omega t$$

- Φ_0 – maksymalna wartość strumienia indukcji magnetycznej
- $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$ • $f = 1/T$
- T – okres obrotu ramki • f – częstotliwość obrotu ramki
- Zgodnie z prawem indukcji elektromagnetycznej Faradaya w ramce powstaje okresowo zmienna siła elektromotoryczna (\mathcal{E}).

$$\mathcal{E} = \Phi_0 \omega \sin \omega t$$



- Wykres zależności strumienia indukcji magnetycznej (Φ), powstającego w prądnicą, od czasu (t)

- Wykres zależności siły elektromotorycznej (ϵ), powstającej w prądnicą, od czasu (t)

-
- Dynamo \Leftrightarrow prądnicą rowerową, w której ruch obrotowy wirnika jest sprzężony poprzez oponę z ruchem obrotowym koła.

Prąd zmienny

dr Zbigniew Osiak

Rysunki wykonała

Małgorzata Osiak

-
- Prąd sinusoidalnie zmienny 40
 - Obwód szeregowy RLC 68

- Prąd sinusoidalnie zmienny 42
- Natężenie chwilowe prądu zmiennego 44
- Natężenie maksymalne prądu zmiennego 45
- Natężenie skuteczne prądu zmiennego 46
- Napięcie chwilowe prądu zmiennego 47
- Napięcie maksymalne prądu zmiennego 48
- Napięcie skuteczne prądu zmiennego 49
- Parametry prądu zmiennego 50
- Przesunięcie fazowe 51
- Moc skuteczna prądu zmiennego 53
- Moc bierna prądu zmiennego 54
- Moc pozorna prądu zmiennego 55
- Warometr 56
- Watomierz 57

- Przewód fazowy 58
- Przewód neutralny 59
- Przewód ochronny 60
- Przewód ochronno-neutralny 61
- Bezpiecznik topikowy 62
- Żarówka 63
- Bimetal 64
- Żelazko elektryczne 65
- Prostownik Graetza 66

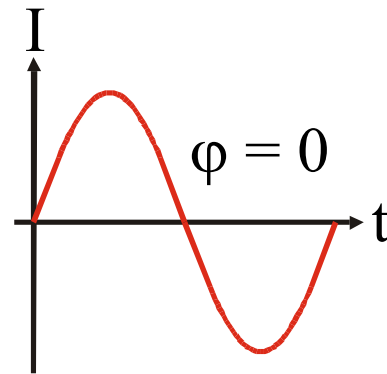
- Prąd sinusoidalnie zmienny \Leftrightarrow prąd elektryczny, którego źródłem jest okresowo zmienna w czasie siła elektromotoryczna (\mathcal{E}).

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \quad f = \frac{1}{T}$$

- \mathcal{E}_0 – maksymalna bezwzględna wartość siły elektromotorycznej
- ω – częstotliwość kątowna • f – częstotliwość • T – okres
- Natężenie chwilowe (I) tego prądu również zmienia się okresowo w czasie.

$$I = I_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

- I_0 – maksymalna bezwzględna wartość natężenia prądu
- φ – przesunięcie fazowe

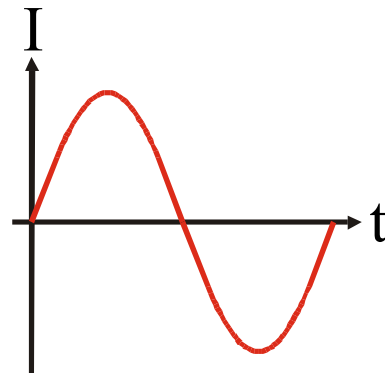


- Wykres zależności chwilowego natężenia prądu (I), którego źródłem jest sinusoidalnie zmienna siła elektromotoryczna, od czasu (t)



- Symbol źródła prądu sinusoidalnie zmiennego

- Natężenie chwilowe prądu zmiennego (I) \Leftrightarrow wartość natężenia prądu pobieranego w danej chwili ze źródła prądu sinusoidalnie zmiennego.



- Wykres zależności chwilowego natężenia (I), prądu pobieranego ze źródła prądu sinusoidalnie zmiennego, od czasu (t)

- Natężenie maksymalne prądu zmiennego (I_0) \Leftrightarrow największa bezwzględna wartość chwilowego natężenia prądu pobieranego ze źródła prądu sinusoidalnie zmiennego.

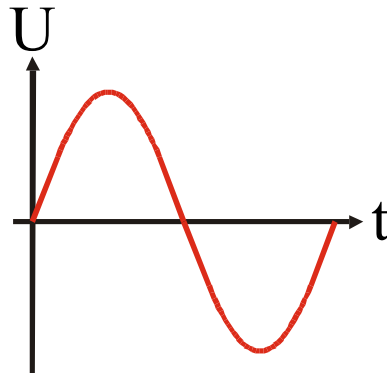
- Natężenie skuteczne prądu zmiennego (I_{sk}) \Leftrightarrow średnia kwadratowa wartość natężenia prądu pobieranego ze źródła prądu sinusoidalnie zmiennego w ciągu okresu (T).

$$I_{sk} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

- I_0 – natężenie maksymalne prądu zmiennego

C W oporniku obciążającym źródło napięcia sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości $f = 1/T$ wydziela się w czasie (T) taka sama ilość energii w postaci ciepła, co w tym samym oporniku obciążającym źródło napięcia stałego i pobierającym prąd o natężeniu o wartości (I_{sk}) również w czasie (T).

- Napięcie chwilowe prądu zmiennego (U) \Leftrightarrow wartość napięcia elektrycznego panująca w danej chwili na zaciskach źródła prądu sinusoidalnie zmiennego.



- Wykres zależności chwilowego napięcia (U), panującego na zaciskach źródła prądu sinusoidalnie zmiennego, od czasu (t)

- Napięcie maksymalne prądu zmiennego (U_0) \Leftrightarrow największa bezwzględna wartość napięcia elektrycznego na zaciskach źródła prądu sinusoidalnie zmiennego.

- Napięcie skuteczne prądu zmiennego (U_{sk}) \Leftrightarrow średnia kwadratowa wartość napięcia elektrycznego na zaciskach źródła prądu sinusoidalnie zmiennego w ciągu okresu (T).

$$U_{sk} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

- U_0 – napięcie maksymalne prądu zmiennego

C W oporniku obciążającym źródło napięcia sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości $f = 1/T$ wydziela się w czasie (T) taka sama ilość energii w postaci ciepła, co w tym samym oporniku obciążającym źródło napięcia stałego o wartości (U_{sk}) również w czasie (T).

- Parametry prądu zmiennego \Leftrightarrow podstawowe wielkości charakteryzujące prąd sinusoidalnie zmienny doprowadzony do naszych domów.

$$U_0 = 230 \cdot \sqrt{2} \text{ V}$$

$$U_{\text{sk}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} = 230 \text{ V}$$

$$T = 0,02 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = 50 \text{ Hz}$$

$$\omega = 2\pi f \approx 314 \text{ s}^{-1}$$

- U_0 – napięcie maksymalne
- U_{sk} – napięcie skuteczne
- T – okres
- f – częstotliwość
- ω – częstotliwość kątowna

- Przesunięcie fazowe (φ) \Leftrightarrow kąt, mierzony w radianach, o jaki przesunięte są względem siebie przebiegi czasowe chwilowych wartości natężenia i napięcia w obwodzie zasilanym ze źródła napięcia sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości (f).

P Szeregowy obwód RLC.

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}{R}$$

- L – indukcyjność cewki
- C – pojemność kondensatora
- R – opór omowy opornika

P Obwód zawierający idealną cewkę ($R = 0, C = 0$) o indukcyjności (L).

$$\varphi = \frac{\pi}{2}$$

P Obwód zawierający idealny kondensator ($R = 0, L = 0$) o pojemności (C).

$$\varphi = -\frac{\pi}{2}$$

P Obwód zawierający idealny opornik ($L = 0, C = 0$) o oporze omowym (R).

$$\varphi = 0$$

- Moc skuteczna prądu zmiennego (P_{sk}) \Leftrightarrow średnia kwadratowa wartość mocy energii wydzielonej w ciągu okresu w postaci ciepła w odbiorniku o rezystancji (R) lub/i przetworzonej na pracę.

$$P_{sk} = I_{sk} U_{sk} \cos\varphi, \quad [P_{sk}] = W$$

- I_{sk} – natężenie skuteczne prądu zmiennego
- U_{sk} – napięcie skuteczne prądu zmiennego
- φ – przesunięcie fazowe
- Moc skuteczna nazywana jest też mocą czynną.

- Moc bierna prądu zmiennego (P_b) \Leftrightarrow średnia kwadratowa wartość mocy energii wymienianej ze źródłem w ciągu okresu, ale niewykorzystanej na ciepło lub pracę. Energia ta jest magazynowana w cewkach i kondensatorach, a następnie zwracana do źródła.

$$P_b = I_{sk} U_{sk} \sin\varphi, \quad [P_b] = \text{var} = \text{W}$$

- I_{sk} – natężenie skuteczne prądu zmiennego
- U_{sk} – napięcie skuteczne prądu zmiennego
- φ – przesunięcie fazowe

- Moc pozorna prądu zmiennego (P_p) \Leftrightarrow średnia kwadratowa z mocy skutecznej i biernej.

$$P_p = I_{sk} U_{sk}, \quad [P_p] = V \cdot A = W$$

- I_{sk} – natężenie skuteczne prądu zmiennego
- U_{sk} – napięcie skuteczne prądu zmiennego

-
- Warometr \Leftrightarrow przyrząd służący do pomiaru mocy biernej prądu sinusoidalnie zmiennego.

-
- Watomierz \Leftrightarrow przyrząd służący do pomiaru mocy skutecznej prądu sinusoidalnie zmiennego.

- Przewód fazowy \Leftrightarrow przewód mający względem ziemi potencjał 230 V. Przewód fazowy dostarcza prąd do odbiornika. Prąd powraca do źródła zasilania przez przewód zerowy.

-
- Przewód neutralny \Leftrightarrow przewód nieposiadający względem ziemi potencjału. Przewodem neutralnym prąd powraca do źródła zasilania. Przewód neutralny nazywany jest też przewodem zerowym.

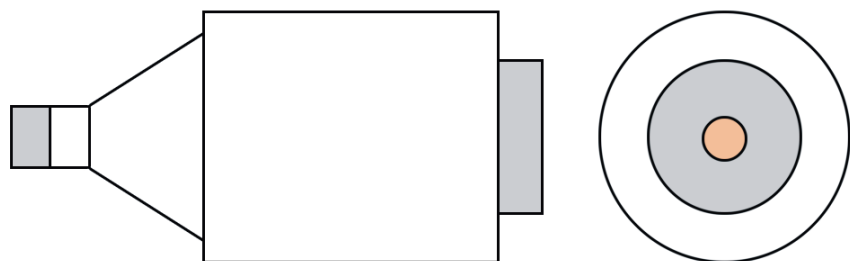
- Przewód ochronny \Leftrightarrow przewód w normalnych warunkach nie posiadający względem ziemi potencjału i nieprzewodzący prądu. Przewód ochronny nazywany jest też przewodem uziemienia lub uziemieniem. Metalowe obudowy urządzeń elektrycznych powinny być połączone z przewodem ochronnym. W razie przebicia uziemienie umożliwia bezpieczne odprowadzenie prądu do ziemi.

- Przewód ochronno-neutralny \Leftrightarrow przewód spełniający jednocześnie rolę przewodu neutralnego i ochronnego. Metalowe obudowy urządzeń elektrycznych powinny być połączone z przewodem ochronno-neutralnym. W razie przebicia prąd jest odprowadzany tym przewodem do ziemi.

- Bezpiecznik topikowy \Leftrightarrow automatyczny wyłącznik, który przerywa obwód, gdy natężenie prądu przekroczy dopuszczalną wartość. Stanowi go cienki drucik znajdujący się w odpowiedniej obudowie szklanej lub porcelanowej z dwoma metalowymi końcówkami. Jeżeli natężenie prądu przepływającego przez bezpiecznik jest większe od natężenia znamionowego, to drucik ten topi się. Bezpieczniki stosowane w domowej instalacji elektrycznej popularnie nazywane są “korkami”.

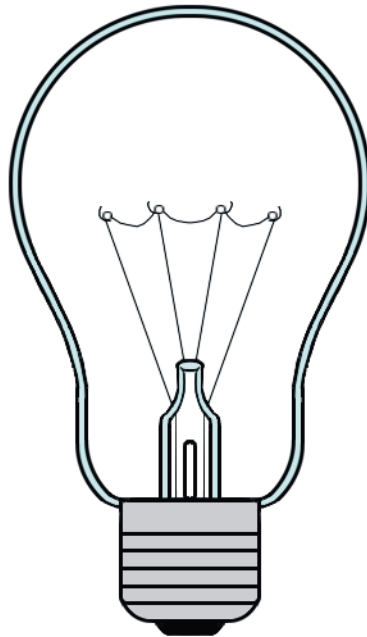
H Pierwszy bezpiecznik topikowy skonstruował Edison w 1875.

B Thomas Alva Edison (1847-1931), amerykański wynalazca.



- Bezpiecznik topikowy stosowany w domowej instalacji elektrycznej

- Żarówka \Leftrightarrow źródło światła widzialnego. Stanowi ją żarzony prądem drucik wolframowy znajdujący się wewnątrz bańki szklanej wypełnionej mieszaniną gazów szlachetnych.



• Żarówka



• Symbol żarówki

-
- Bimetal \Leftrightarrow zespolone ze sobą dwie blaszki z metali o różnych współczynnikach rozszerzalności liniowej. Bimetal wykorzystywany jest w termoregulatorach.

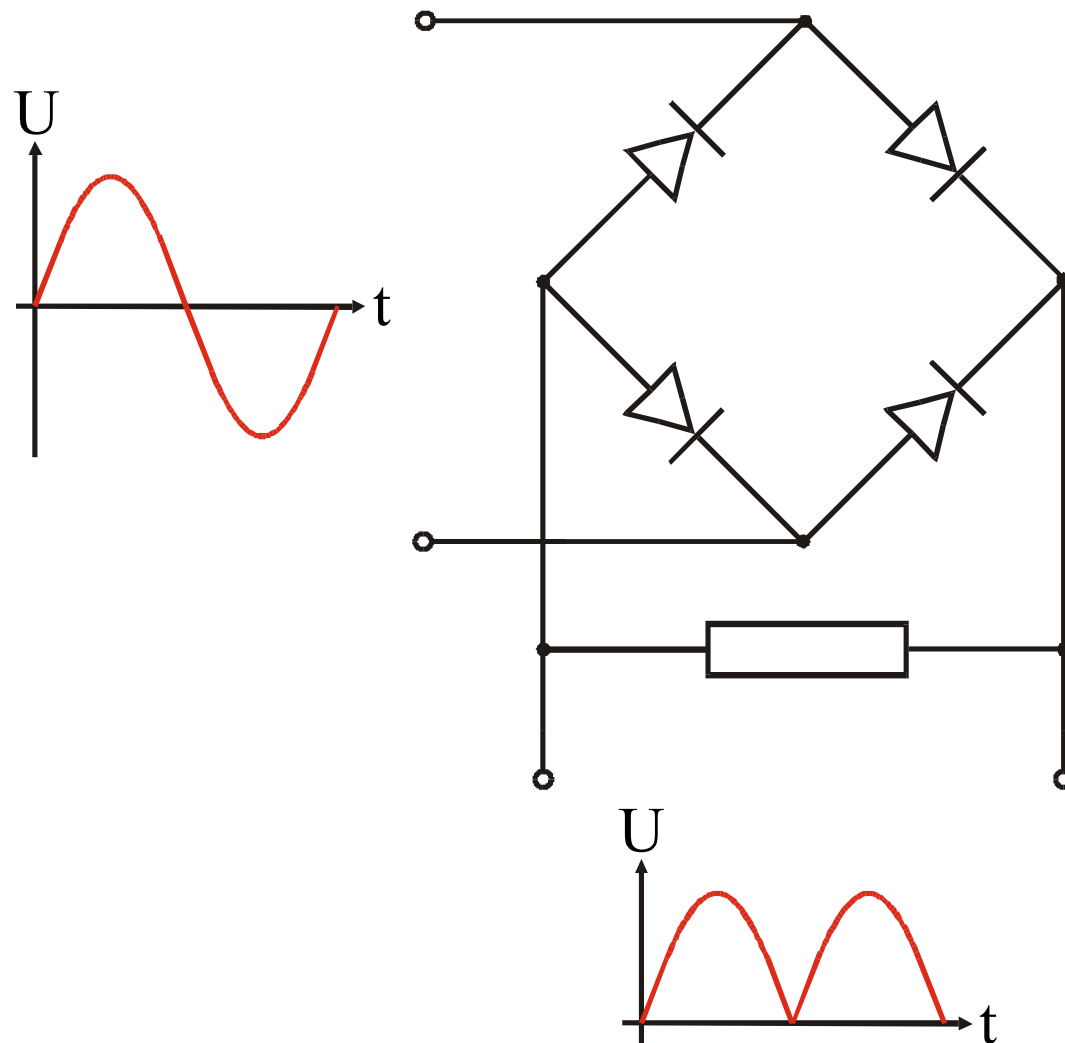
- Żelazko elektryczne ⇔ urządzenie elektryczne służące do prasowania tkanin. Stanowi go metalowa płyta o charakterystycznym kształcie, wewnątrz której znajduje się spirala grzejna w ceramicznej osłonie izolacyjnej. Do płyty przymocowany jest odpowiednio wyprofilowany uchwyt. Temperaturę płyty można regulować za pomocą termostatu.



• Żelazko elektryczne

- Prostownik Graetza \Leftrightarrow układ czterech diod lampowych lub półprzewodnikowych służący do zamiany napięcia sinusoidalnie zmiennego na pulsujące napięcie stałego znaku.

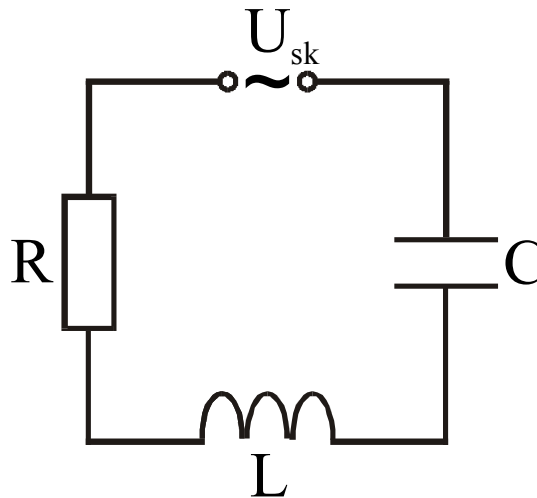
B Leo Graetz (1856-1941), niemiecki fizyk.



• Prostownik Graetza

- Obwód szeregowy RLC 69
- Opór omowy 70
- Reaktancja 71
- Opór indukcyjny 72
- Opór pojemnościowy 74
- Zawada 76
- Dławik 78
- Rezonans napięć w szeregowym obwodzie RLC 79
- Związek między napięciami w szeregowym obwodzie RLC 80
- Prawo Joule'a-Lenza 82

- Obwód szeregowy RLC \Leftrightarrow jednooczkowy obwód elektryczny zawierający połączone względem siebie szeregowo źródło sinusoidalnie zmiennej siły elektromotorycznej, opornik o oporze omowym (R), cewkę o indukcyjności (L) oraz kondensator o pojemności (C).



- Obwód szeregowy RLC

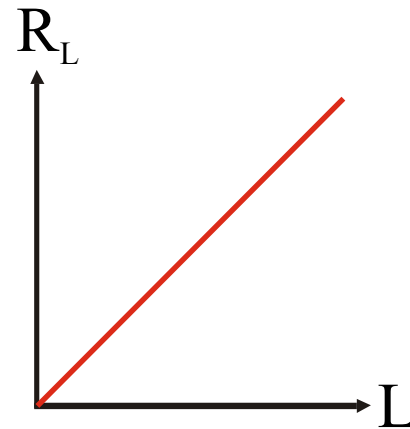
-
- Opór omowy (R) \Leftrightarrow opór elektryczny związany z przepływem prądu zmiennego przez opornik.
 - Opór omowy nazywany jest też oporem czynnym lub rezystancją.

-
- Reaktancja \Leftrightarrow wielkość skalarna mierzona w omach $[\Omega]$, charakteryzująca cewkę lub kondensator w obwodzie prądu sinusoidalnie zmiennego.
 - Reaktancja nazywana jest też oporem biernym.

- Opór indukcyjny (R_L) \Leftrightarrow wielkość skalarna mierzona w omach [Ω], charakteryzująca cewkę o indukcyjności (L) w obwodzie prądu sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości (f).

$$R_L = \omega L, \quad [R_L] = \Omega$$

- $\omega = 2\pi f$ – częstotliwość kątowna prądu sinusoidalnie zmiennego
- Opór indukcyjny nazywany jest też reaktancją cewki lub induktancją.

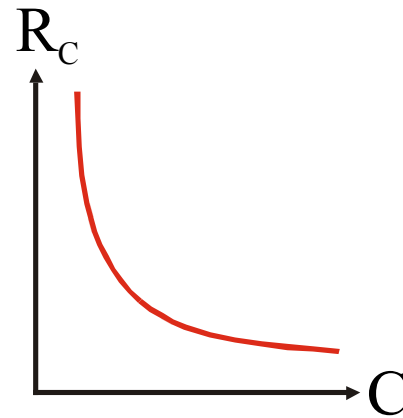


- Wykres zależności oporu indukcyjnego cewki (R_L) od indukcyjności cewki (L)

- Opór pojemnościowy \Leftrightarrow wielkość skalarna mierzona w omach $[\Omega]$, charakteryzująca kondensator o pojemności (C) w obwodzie prądu sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości (f).

$$R_c = \frac{1}{\omega C}, \quad [R_c] = \Omega$$

- $\omega = 2\pi f$ – częstotliwość kątowna prądu sinusoidalnie zmiennego
- Opór pojemnościowy nazywany jest też reaktancją kondensatora lub kapacytancją.



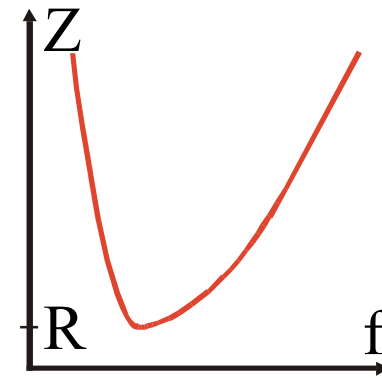
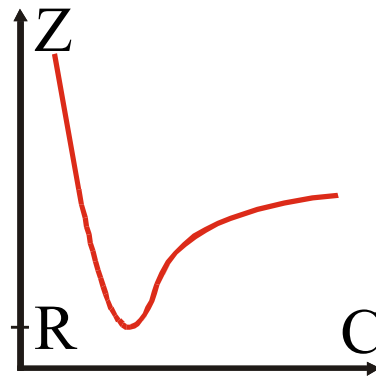
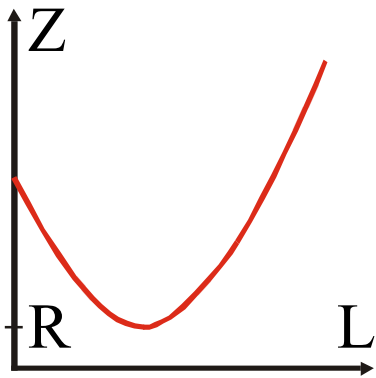
- Wykres zależności oporu pojemnościowego kondensatora (R_C) od pojemności kondensatora (C)

- Zawada (Z) \Leftrightarrow wypadkowa wartość oporów czynnych i biernych w danym obwodzie prądu zmiennego.

P Zawada szeregowego obwodu RLC, składającego się z opornika o oporze omowym (R), cewki o indukcyjności (L) oraz kondensatora o pojemności (C), zasilanego ze źródła napięcia sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości (f), dana jest wzorem

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}, \quad \omega = 2\pi f$$

- ω – częstotliwość kątowna



- Wykres zależności zawady (Z) obwodu RLC od indukcyjności cewki (L)

- Wykres zależności zawady (Z) obwodu RLC od pojemności kondensatora (C)

- Wykres zależności zawady (Z) obwodu RLC od częstotliwości (f) prądu sinusoidalnie zmiennego

- Dławik \Leftrightarrow cewka o dużej indukcyjności (L) i małym oporze omowym (R). Zawada (Z) dławika, przez który płynie prąd sinusoidalnie zmienny o częstotliwości (f), wynosi

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}, \quad \omega = 2\pi f$$

- Rezonans napięć w szeregowym obwodzie RLC \Leftrightarrow stan obwodu RLC, w którym opór indukcyjny (R_L) jest równy oporowi pojemnościowemu (R_C).

$$R_L = R_C$$

- W rezonansie spełnione są między innymi następujące relacje:

$$Z = \min = R$$

$$I_{sk} = \max = \frac{U_{sk}}{R}$$

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

- Z – zawada • R – opór omowy
- I_{sk} – natężenie skuteczne • U_{sk} – napięcie skuteczne
- $T = 1/f$ – okres prądu • f – częstotliwość prądu
- L – indukcyjność cewki • C – pojemność kondensatora

- Związek między napięciami w szeregowym obwodzie RLC \Leftrightarrow równanie podające zależność między napięciami skutecznymi na źródle (U_{sk}), oporniku (U_R), cewce (U_L) oraz kondensatorze (U_C).

$$U_{sk} = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

$$U_R = I_{sk} R$$

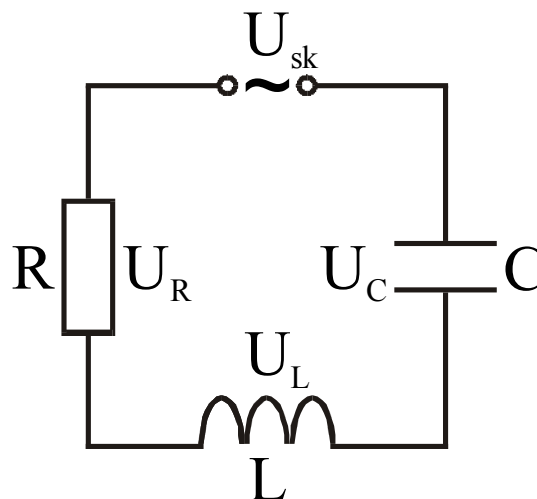
- R – opór omowy
- I_{sk} – natężenie skuteczne

$$U_L = I_{sk} R_L$$

- R_L – opór indukcyjny

$$U_C = I_{sk} R_C$$

- R_C – opór pojemnościowy



- Napięcia na elementach szeregowego obwodu RLC

- Prawo Joule'a-Lenza \Leftrightarrow prawo głoszące, że moc skuteczna (P_{sk}) prądu sinusoidalnie zmiennego w szeregowym obwodzie RLC dana jest poniższym wyrażeniem.

$$P_{sk} = I_{sk}^2 R$$

- I_{sk} – natężenie skuteczne
- R – opór omowy

B James Prescott Joule (1818-1889), brytyjski fizyk.

B Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865), rosyjski fizyk pochodzenia niemieckiego.

- Prawo Joule'a-Lenza w oryginalnym sformułowaniu dotyczyło ciepła (Q) wydzielonego podczas przepływu stałego prądu elektrycznego o natężeniu (I) przez przewodnik o oporze (R).

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

- t – czas przepływu prądu przez opornik

Fale elektromagnetyczne (pole elektromagnetyczne)

dr Zbigniew Osiak

Rysunki wykonała

Małgorzata Osiak

-
- Pole elektromagnetyczne 86
 - Emisja fal elektromagnetycznych 105
 - Elektrostrykcja i magnetostrykcja 118
 - Lampy elektronowe 121
 - Sprzęt audio i video 130

- Pole elektromagnetyczne 87
- Oddziaływania elektromagnetyczne 88
- Wirowe pole elektryczne 89
- Wirowe pole magnetyczne 90
- Prąd przesunięcia 91
- Równania Maxwella 92
- Równania materiałowe 94
- Fale elektromagnetyczne 95
- Przegląd widma fal elektromagnetycznych 98
- Zjawiska związane z falami elektromagnetycznymi 99
- Gęstość energii pola elektromagnetycznego 100
- Gęstość pędu pola elektromagnetycznego 101
- Wektor Poyntinga 102
- Ciśnienie promieniowania 104

• Pole elektromagnetyczne \Leftrightarrow przestrzeń, w której w każdym punkcie określone są wektory natężenia pola elektrycznego (**E**), indukcji elektrycznej (**D**), natężenia pola magnetycznego (**H**) oraz indukcji magnetycznej (**B**).

H Pojęcie pola elektromagnetycznego wprowadził Maxwell w 1864.

B James Clerk Maxwell (1831-1879), szkocki fizyk teoretyk.

- Oddziaływania elektromagnetyczne \Leftrightarrow oddziaływania opisywane równaniami Maxwella i wynikającymi z nich prawami szczegółowymi. Oddziaływania elektromagnetyczne są jednym z czterech znanych oddziaływań fundamentalnych. Pozostałe trzy to oddziaływania grawitacyjne, słabe i silne.

-
- Wirowe pole elektryczne \Leftrightarrow pole elektryczne, którego linie sił są krzywymi zamkniętymi. Źródłem wirowego pola elektrycznego jest zmieniające się w czasie pole magnetyczne.

- Wirowe pole magnetyczne \Leftrightarrow pole magnetyczne, którego linie sił są krzywymi zamkniętymi. Źródłem wirowego pola magnetycznego są poruszające się ładunki elektryczne, prądy elektryczne oraz zmieniające się w czasie pole elektryczne.

• Prąd przesunięcia \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że zmiany w czasie wektora indukcji elektrycznej powodują takie same efekty jak przepływ prądu elektrycznego. W próżni powstaje wirowe pole magnetyczne, a w ośrodkach dielektrycznych dodatkowo wydzielają się ciepło Joule'a-Lenza. Natężenie prądu przesunięcia, mierzone w amperach, jest równe szybkości zmian w czasie strumienia indukcji elektrycznej. Gęstość prądu przesunięcia, mierzona w amperach na metr kwadratowy, jest równa szybkości zmian w czasie wektora indukcji elektrycznej.

U Prąd przesunięcia w próżni nie ma nic wspólnego z ruchem swobodnych ładunków elektrycznych, a w dielektrykach polega na przemieszczaniu się ładunków związanych w obrębie atomów lub cząsteczek, co wywołuje efekty cieplne.

H Pojęcie prądu przesunięcia wprowadził Maxwell w 1861.

B James Clerk Maxwell (1831-1879), szkocki fizyk teoretyk.

- Równania Maxwella \Leftrightarrow równania opisujące pole elektromagnetyczne. Są to relacje między indukcją elektryczną (\mathbf{D}), natężeniem pola elektrycznego (\mathbf{E}), indukcją magnetyczną (\mathbf{B}), natężeniem pola magnetycznego (\mathbf{H}), gęstością prądu (\mathbf{j}) oraz gęstością objętościową ładunku (ρ).

$$\begin{aligned}\operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \mathbf{B} &= 0 \\ \operatorname{rot} \mathbf{B} &= \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \mathbf{D} &= \rho\end{aligned}$$

K Uzupełnieniem równań Maxwella są równania materiałowe.

H Równania opisujące pole elektromagnetyczne przedstawił Maxwell w 1865.

H Współczesną postać równaniom Maxwella nadał Hertz w 1890.

B James Clerk Maxwell (1831-1879), szkocki fizyk teoretyk.

B Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), niemiecki fizyk.

- Równania materiałowe \Leftrightarrow relacje empiryczne między wektorami indukcji elektrycznej (\mathbf{D}), natężenia pola elektrycznego (\mathbf{E}), indukcji magnetycznej (\mathbf{B}), natężenia pola magnetycznego (\mathbf{H}) oraz gęstości prądu (\mathbf{j}).

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$$

$$\mathbf{j} = \gamma \mathbf{E}$$

- ε_0 – przenikalność elektryczna próżni
- ε_r – względna przenikalność elektryczna
- μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni
- μ_r – względna przenikalność magnetyczna
- γ – przewodnictwo elektryczne właściwe

K Równania materiałowe stanowią uzupełnienie równań Maxwella.

- Fale elektromagnetyczne \Leftrightarrow rozchodzące się w przestrzeni zaburzenia pola elektromagnetycznego w postaci drgań wektorów natężenia pola elektrycznego (**E**) i indukcji magnetycznej (**B**). Oba te wektory są prostopadłe względem siebie oraz prostopadłe do kierunku propagacji. W próżni szybkość fal wynosi w przybliżeniu $3 \cdot 10^8$ m/s, w innych ośrodkach jest mniejsza. Fale elektromagnetyczne są falami poprzecznymi.
- Fale elektromagnetyczne nazywane są też promieniowaniem elektromagnetycznym.

H Istnienie fal elektromagnetycznych, przewidzianych przez Maxwella w 1865, potwierdził doświadczalnie Hertz w 1888.

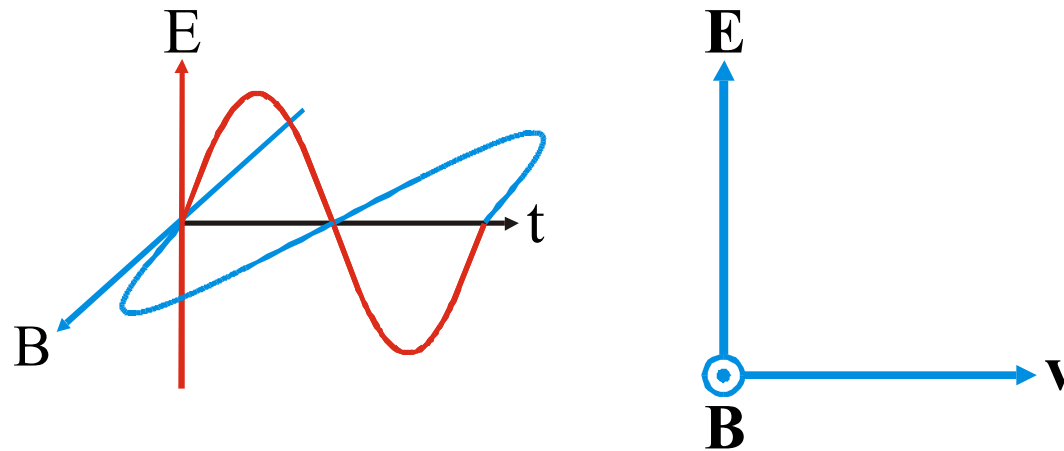
B James Clerk Maxwell (1831-1879), szkocki fizyk teoretyk.

B Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), niemiecki fizyk.

- Z równań Maxwella otrzymuje się równania opisujące propagację fal elektromagnetycznych w próżni z prędkością o wartości (c) równej wartości prędkości światła.

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$
$$\frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2}$$
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

- ϵ_0 – przenikalność elektryczna próżni
- μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni



- Zależność współrzędnych natężenia pola elektrycznego (E) i indukcji magnetycznej (B) w fali elektromagnetycznej w danym punkcie przestrzeni od czasu (t)

- Wzajemne położenie wektorów natężenia pola elektrycznego (E), indukcji magnetycznej (B) i prędkości (v) rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w danej chwili w danym punkcie przestrzeni

Fale radiowe : $f = 3 \cdot 10^3 \text{ Hz} \div 3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$

Mikrofale : $f = 10^9 \text{ Hz} \div 3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$

Podczerwień : $f = 3 \cdot 10^{11} \text{ Hz} \div 3,85 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Światło widzialne : $f = 3,85 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \div 7,89 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Ultrafiolet : $f = 7,89 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \div 3 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$

Promieniowanie rentgenowskie : $f = 3 \cdot 10^{16} \text{ Hz} \div 3 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$

Promieniowanie gamma : $f > 3 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$

- Zjawiska związane z falami elektromagnetycznymi \Leftrightarrow zjawiskami tymi są między innymi: odbicie, załamanie, całkowite wewnętrzne odbicie, dyfrakcja, interferencja oraz polaryzacja.

- Gęstość energii pola elektromagnetycznego (w) \Leftrightarrow wielkość skalarna będąca pochodną energii (W), zawartej w polu elektromagnetycznym, względem objętości (V).

$$w \stackrel{\text{df}}{=} \frac{dW}{dV}, \quad [w] = \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

$$w = \frac{1}{2} (\mathbf{E} \cdot \mathbf{D} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{H})$$

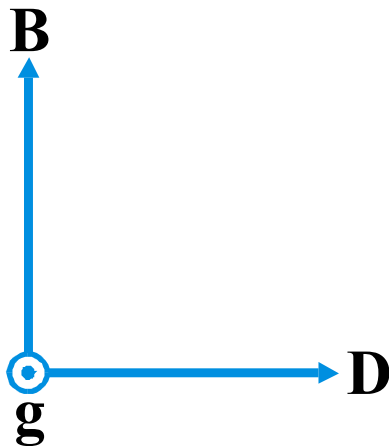
- \mathbf{E} – natężenie pola elektrycznego
- \mathbf{D} – indukcja elektryczna
- \mathbf{B} – indukcja magnetyczna
- \mathbf{H} – natężenie pola magnetycznego

- Gęstość prądu pola elektromagnetycznego (\mathbf{g}) \Leftrightarrow wielkość wektorowa charakteryzująca pole elektromagnetyczne, będąca iloczynem wektorowym indukcji elektrycznej (\mathbf{D}) oraz indukcji magnetycznej (\mathbf{B}).

$$\mathbf{g} = \mathbf{D} \times \mathbf{B}$$

$$g = DB \sin \angle(\mathbf{D}, \mathbf{B})$$

$$[\mathbf{g}] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$



- Wzajemna orientacja wektorów \mathbf{g} , \mathbf{D} i \mathbf{B}

- Wektor Poyntinga (\mathbf{P}) \Leftrightarrow wielkość wektorowa, mierzona w watach na metr kwadratowy, będąca iloczynem wektorowym natężenia pola elektrycznego (\mathbf{E}) i natężenia pola magnetycznego (\mathbf{H}).

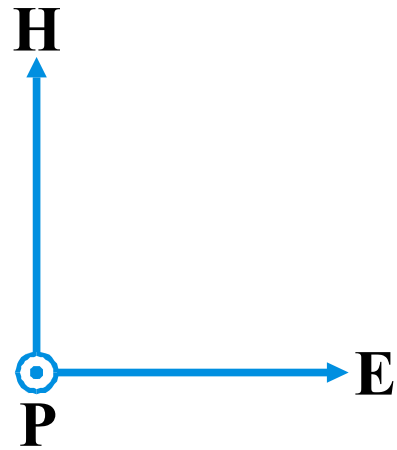
$$\mathbf{P} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

$$P = EH \sin \angle(\mathbf{E}, \mathbf{H})$$

$$[P] = \frac{W}{m^2}$$

- Wartość wektora Poyntinga jest równa gęstości (powierzchniowej) mocy energii pola elektromagnetycznego.

B John Henry Poynting (1852-1914), angielski fizyk.



- Wzajemne położenie wektorów \mathbf{E} , \mathbf{H} i \mathbf{P}

- Ciśnienie promieniowania \Leftrightarrow ciśnienie wywierane przez fale elektromagnetyczne na powierzchnię ciała stałego.

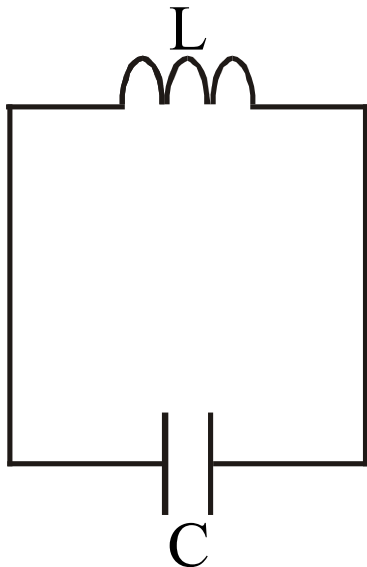
H Istnienie ciśnienia wywieranego przez światło potwierdził doświadczalnie Lebediew w 1900.

B Piotr Nikołajewicz Lebediew (1866-1912), rosyjski fizyk.

- Obwód drgający LC 106
- Antena 108
- Kabel koncentryczny 109
- Fala nośna 110
- Fale radiowe 111
- Mikrofałe 112
- Radar 113
- Wzór Larmora 114
- Promieniowanie synchrotronowe 115
- Promieniowanie dipolowe 116
- Promieniowanie Czerenkowa 117

- Obwód drgający LC \Leftrightarrow obwód utworzony z cewki o indukcyjności (L) i kondensatora o pojemności (C). Po naładowaniu kondensatora w obwodzie LC następuje przemiana energii pola elektrycznego zgromadzonej w kondensatorze w energię pola magnetycznego gromadzoną w cewce i vice versa. Po czasie (T), nazywanym okresem drgań obwodu LC, układ wraca do stanu wyjściowego.

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$



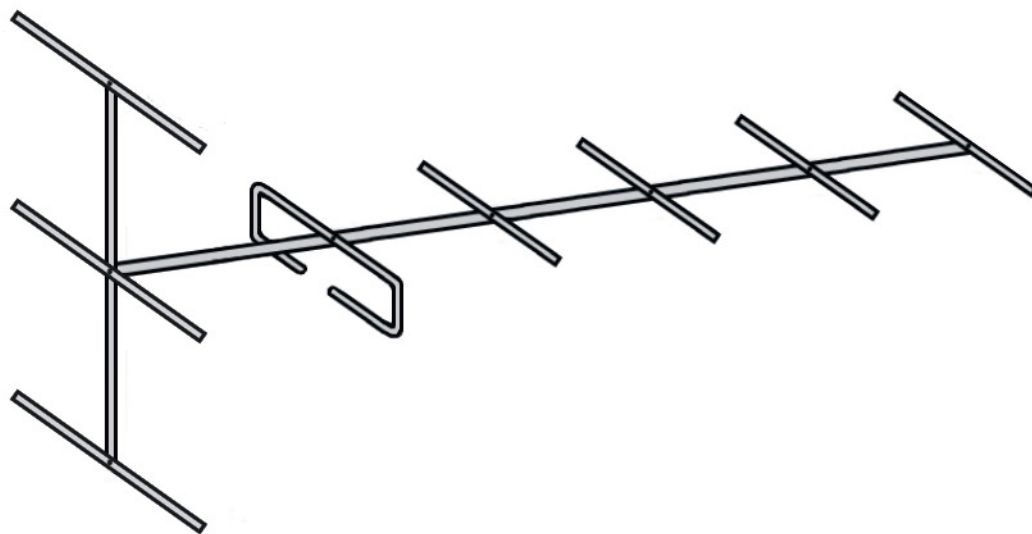
- Obwód drgający LC

- Losy energii w obwodzie LC w czasie okresu drgań przedstawione zostały poniżej.
- $t = 0$, energia znajduje się w kondensatorze,
- $t = T/8$, energie znajdujące się w kondensatorze i cewce są jednakowe,
- $t = T/4$, energia znajduje się w cewce,
- $t = T/2$, energia znajduje się w kondensatorze, przy czym zmieniła się polaryzacja ładunku elektrycznego na okładkach kondensatora,
- $t = 3T/4$, energia znajduje się w cewce,
- $t = T$, energia znajduje się w kondensatorze, polaryzacja ładunku elektrycznego na okładkach kondensatora jest taka sama jak w chwili $t = 0$.

- Antena \Leftrightarrow urządzenie służące do emisji lub odbioru fal elektromagnetycznych.

H Pierwszą antenę nadawczo-odbiorczą skonstruował Popow w 1895. Stanowił ją kondensator, którego jedną okładką był metalowy pręt, a drugą – ziemia.

B Aleksandr Stiepanowicz Popow (1859-1906), rosyjski fizyk i inżynier elektryk.

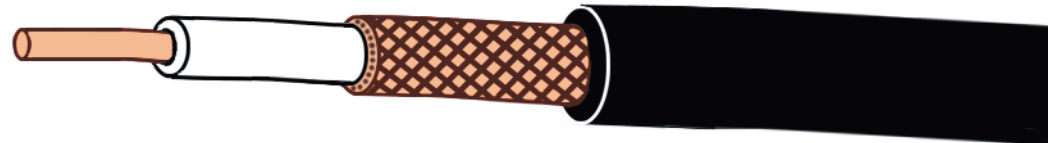


• Antena



• Symbol anteny

- Kabel koncentryczny \Leftrightarrow kabel elektryczny składający się z centralnego przewodu miedzianego w osłonie izolacyjnej, oplecionej cienką siatką miedzianą. Siatka ta stanowi drugi przewód i jednocześnie spełnia rolę ekranu. Całość otoczona jest kolejną osłoną izolacyjną. Kabel koncentryczny służy do przesyłania sygnałów elektrycznych o dużej częstotliwości.



- Kabel koncentryczny

- Fala nośna \Leftrightarrow fala elektromagnetyczna o stałej częstotliwości, emitowana przez nadajnik radiowy lub telewizyjny.

-
- Fale radiowe \Leftrightarrow fale elektromagnetyczne o częstotliwościach zawartych w przedziale $3 \cdot 10^3 \text{ Hz} \div 3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$ i o długościach w powietrzu z przedziału $10^5 \text{ m} \div 10^{-3} \text{ m}$. Odpowiadają im fotony o energiach od $1,24 \cdot 10^{-11} \text{ eV}$ do $1,24 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$.

- Mikrofale \Leftrightarrow fale elektromagnetyczne o częstotliwościach zawartych w przedziale $10^9 \text{ Hz} \div 3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$ i o długościach w powietrzu z przedziału $30 \text{ cm} \div 1 \text{ mm}$. Odpowiadają im fotony o energiach od $4,14 \cdot 10^{-6} \text{ eV}$ do $1,24 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$.

P Mikrofale o częstotliwości $2,45 \text{ GHz}$ są wykorzystywane w kuchenkach mikrofalowych.

- Radar \Leftrightarrow urządzenie elektroniczne służące do wykrywania za pomocą mikrofal przedmiotów znajdujących się w powietrzu. Radar umożliwia też pomiary odległości przedmiotu od obserwatora oraz szybkości, z jaką przedmiot zbliża się lub oddala względem obserwatora.

C Nazwa radar jest skrótem utworzonym z angielskich słów **radio detection and ranging**.

- Wzór Larmora \Leftrightarrow wzór na moc (P) promieniowania elektromagnetycznego wysyłanego przez ładunek elektryczny (q) poruszający się z przyspieszeniem o wartości (a).

$$P = \frac{2kq^2a^2}{3c^3}$$

- k – stała Coulomba
- c – wartość prędkości światła w próżni

U Wzór Larmora jest poprawny w przypadku, gdy wartość prędkości ładunku elektrycznego jest dużo mniejsza od wartości prędkości światła w próżni.

B Joseph Larmor (1857-1942), irlandzki fizyk teoretyk i matematyk.

H Wzór Larmora został opublikowany w 1897.

-
- Promieniowanie synchrotronowe \Leftrightarrow fale elektromagnetyczne emitowane przez ładunek poruszający się ruchem jednostajnym po okręgu w jednorodnym polu magnetycznym.

-
- Promieniowanie dipolowe \Leftrightarrow fale elektromagnetyczne emitowane przez układ ładunków elektrycznych o zmieniającym się w czasie momencie dipolowym.

• Promieniowanie Czerenkowa \Leftrightarrow promieniowanie emitowane przez elektrony poruszające się w danym ośrodku z prędkością o wartości większej od wartości fazowej prędkości światła.

H Promieniowanie to odkrył Czerenkow w 1934.

H Teorię promieniowania Czerenkowa sformułowali wspólnie Tamm i Frank w 1937.

B Wigor Jewgieniewicz Tamm (1895-1971), radziecki fizyk teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1958.

B Paweł Aleksiejewicz Czerenkow (1904-1990), radziecki fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1958.

B Ilja Michajłowicz Frank (1908-1990), radziecki fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1958.

- Elektrostrykcja 119
- Magnetostrykcja 120

- Elektrostrykcja \Leftrightarrow zjawisko polegające na zmianie długości i objętości dielektryków pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego. Przy czym, odkształcenia te nie zależą od zwrotu natężenia pola elektrycznego, a ich amplituda zależy od kwadratu wartości natężenia pola. W polu elektrycznym zmieniającym się z częstotliwością (f) periodyczne zmiany liniowych wymiarów dielektryka odbywają się z częstotliwością ($2f$).

• Magnetostrykcja \Leftrightarrow zjawisko polegające na zmianie długości i objętości ferromagnetyków i ferrimagnetyków pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Przy czym odkształcenia te nie zależą od zwrotu natężenia pola magnetycznego, a ich amplituda zależy od kwadratu wartości natężenia pola. W polu magnetycznym zmieniającym się z częstotliwością (f) periodyczne zmiany liniowych wymiarów ferromagnetyków i ferrimagnetyków odbywają się z częstotliwością ($2f$).

P Prąd zmienny o częstotliwości 50 Hz płynący w uzwojeniach transformatora wytwarza zmienne pole magnetyczne. Wskutek magnetostrykcji ferromagnetyczny rdzeń transformatora wykonuje drgania o częstotliwości 100 Hz, stanowiąc źródło charakterystycznego dźwięku (buczenia).

H Magnetostrykcję liniową odkrył Joule w 1842.

B James Prescott Joule (1818-1889), brytyjski (angielski) fizyk.

- Lampy elektronowe 122
- Dioda 123
- Dioda lampowa 124
- Trioda 125
- Układ podstawy czasu 126
- Działo elektronowe 127
- Lampa oscyloskopowa 128
- Oscyloskop 129

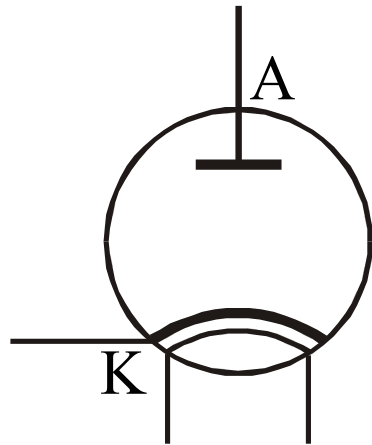
- Lampy elektronowe \Leftrightarrow próżniowe bańki szklane z dwoma lub więcej elektrodami. Pomiedzy elektrodami poruszają się elektrony, które są emitowane przez katodę wskutek termoemisji, autoemisji lub zjawiska fotoelektrycznego.

- Dioda \Leftrightarrow dwuelektrodowy element elektroniczny przewodzący prąd elektryczny głównie w jednym kierunku.

- Dioda lampowa \Leftrightarrow elektronowa lampa dwuelektrodowa. Żarzona katoda emituje elektrony, które są przyciągane lub odpychane przez anodę w zależności od znaku jej potencjału. Dioda przewodzi prąd elektryczny tylko w jednym kierunku.

H Pierwszą diodę lampową skonstruował Fleming w 1904.

B Sir John Ambrose Fleming (1849-1945), brytyjski (angielski) fizyk i inżynier elektryk.

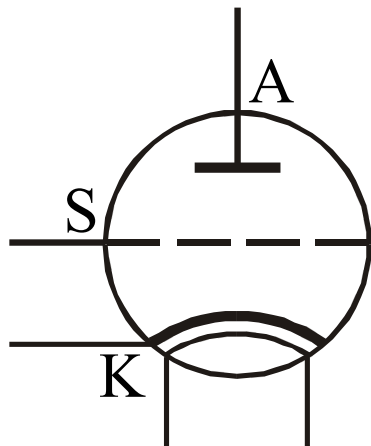


- Symbol diody lampowej z pośrednio żarzoną katodą

• Trioda \Leftrightarrow elektronowa lampa trójelektrodowa składająca się z katody, anody i znajdującej się między nimi siatki. Żarzona katoda emituje elektrony. Ilość elektronów przelatujących przez oczka siatki w kierunku anody zależy od ustalonej wartości napięcia między katodą i anodą oraz od wartości i polaryzacji napięcia między katodą i siatką. Trioda jest podstawowym elementem lampowych wzmacniaczy sygnałów elektrycznych.

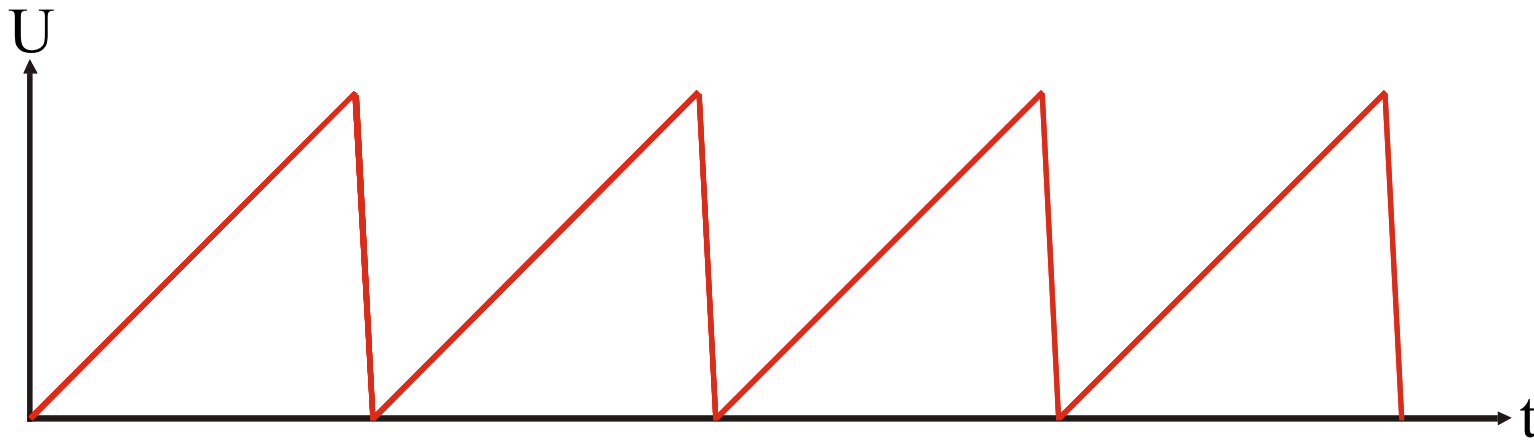
H Pierwszą triodę skonstruował De Forest w 1907.

B Lee De Forest (1873-1961), amerykański fizyk i wynalazca.



• Symbol triody z pośrednio żarzoną katodą

- Układ podstawy czasu \Leftrightarrow układ elektroniczny generujący napięcie o przebiegu piłokształtnym.



- Napięcie (U) o przebiegu piłokształtnym

• Działo elektronowe \Leftrightarrow urządzenie wytwarzające i przyspieszające elektrony oraz formujące z nich wiązkę o odpowiednim kształcie. Źródłem elektronów jest żarzona katoda. Napięcie między katodą i anodą przyspiesza elektrony. Trzecia elektroda, zwana cylindrem Wehnelta, steruje natężeniem wiązki. Elektroda ogniskująca nadaje wiązce żądany kształt.

B Arthur Rudolph Berthold Wehnelt (1871-1944), niemiecki fizyk.

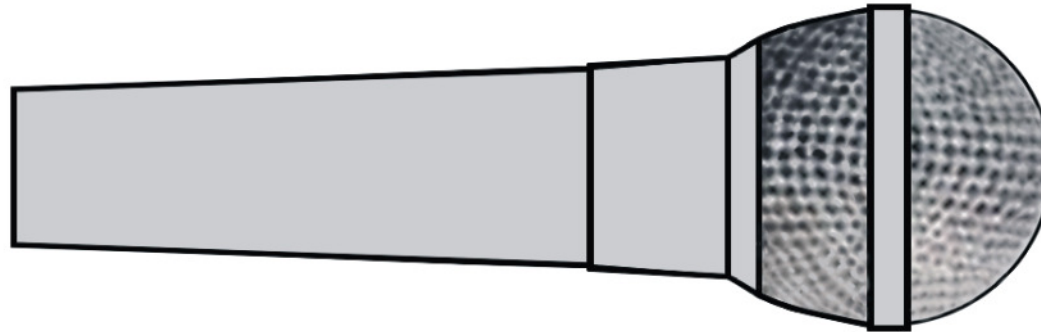
- Lampa oscyloskopowa \Leftrightarrow lampa elektronowa wynaleziona przez Brauna w 1897. Elektrony, wysłane z działa elektronowego, przelatują pomiędzy płytkami odchylającymi je w pionie i w poziomie. Po zderzeniu z luminoforem, pokrywającym od wewnątrz ekran lampy, powodują lokalnie jego fluorescencję.

B Karl Ferdinand Braun (1850-1918), niemiecki fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1909.

- Oscyloskop \Leftrightarrow przyrząd elektroniczny, którego podstawowymi elementami są lampa oscyloskopowa i układ podstawy czasu. Oscyloskop służy między innymi do obserwacji przebiegów czasowych napięć elektrycznych przyłożonych do płytek odchylenia pionowego. W tym celu należy do płytek odchylenia poziomego przyłożyć napięcie o przebiegu piłokształtnym generowane przez układ podstawy czasu.

- Mikrofon 131
- Głośnik 132
- Magnetofon 133
- Magnetowid 134

- Mikrofon \Leftrightarrow urządzenie służące do przetwarzania dźwięków na odpowiadające im zmienne napięcie elektryczne.



• Mikrofon



• Symbol mikrofonu

- Głośnik \Leftrightarrow urządzenie służące do przetwarzania zmiennego napięcia elektrycznego w odpowiadające mu fale akustyczne.



- Symbol głośnika

-
- Magnetofon \Leftrightarrow urządzenie służące do zapisywania dźwięków na taśmie magnetycznej oraz późniejszego ich odtwarzania.

-
- Magnetowid \Leftrightarrow urządzenie służące do zapisywania obrazów i dźwięków na taśmie magnetycznej oraz późniejszego ich odtwarzania.

Wykłady z Fizyki 08



Zbigniew Osiak

**Elektro-
magnetyzm**