



Wrocław
University
of Science
and Technology

Fizyka

semestr letni

2020/2021

Grupa B: Piątek, 15:00 - 16:30

Grupa A: Piątek, 16:40 - 18:10

sala wirtualna

– zajęcia online

Sylwia Majchrowska

sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl

<https://majsylw.netlify.app/teaching/>

pokój 213, budynek L-1



Obwody prądu zmiennego

Prąd elektryczny dostarczany jest do naszych domów jako prąd zmienny (ang. alternating current, AC) liniami przesyłowymi wysokiego napięcia. Jak zostało to opisane w podrozdziale Transformatory zmieniają amplitudę zmiennego napięcia na taką, której możemy używać na co dzień. Taka transformacja prądu pozwala na przesył energii pod bardzo wysokim napięciem, jednocześnie minimalizując straty wynikające z rezystancji linii przesyłowych, a następnie na dostarczenie jej do domów, już pod niższym i bezpieczniejszym napięciem. Ponieważ transformatory nie wywierają żadnego wpływu na stałe napięcia, takie możliwości są znacznie ograniczone przy zastosowaniu prądu stałego.





Indukcja elektromagnetyczna

Zjawisko indukcji magnetycznej - zjawisko polegające na wytworzeniu siły elektromotorycznej i wzbudzeniu przepływu prądu elektrycznego w zamkniętym obwodzie, który znajduje się w zmiennym polu magnetycznym.

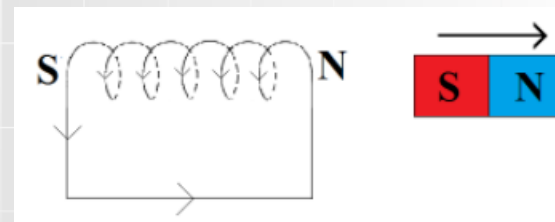
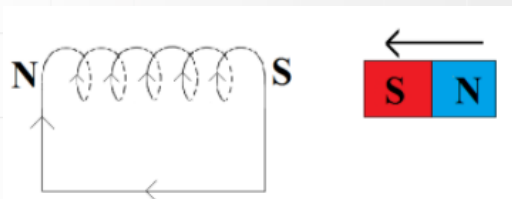
Jest to zatem zjawisko odwrotne do powstawania pola magnetycznego spowodowanego przepływem prądu.

Siła elektromotoryczna indukcji - SEM indukcji - wytworzona jest na skutek zmiany pola magnetycznego objętego przewodnikiem, nie jest siłą w sensie fizycznym.

$$[SEM] = 1V$$

Reguła Lenza

Kierunek siły elektromotorycznej i prądu indukcyjnego jest taki, aby pole magnetyczne przez niego wytworzone przeciwstawiało się zmianom pola magnetycznego, które go wywołało.



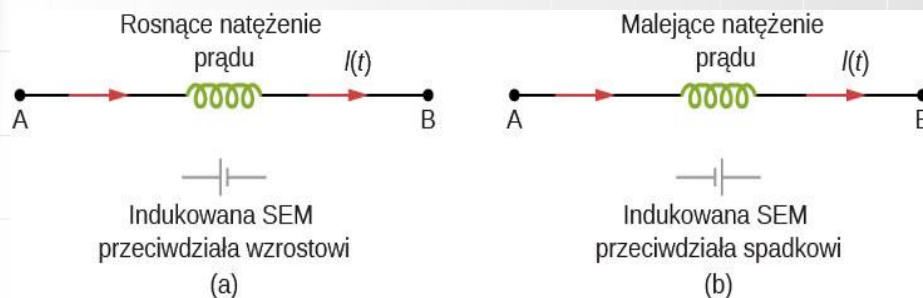
Zbliżając magnes do zwojnicy, kierunek siły elektromotorycznej i prądu indukcyjnego wytworzonego w zwojnicy jest taki, aby przeciwdziałać zbliżaniu się magnesu. Od strony zbliżającego się magnesu mamy biegun S i magnes jest odpychany przez zwojnicę. Natomiast oddalając magnes, siła elektromotoryczna i prąd indukcyjny przybierają taki kierunek, aby magnes był przyciągany przez zwojnicę i od strony magnesu mamy biegun N.



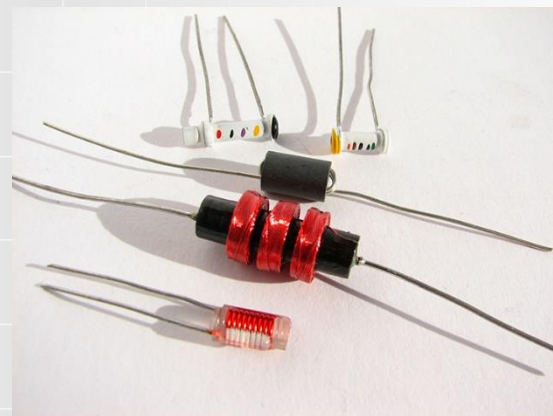
Cewki indukcyjne

Cewka składa się z pewnej liczby zwojów przewodnika nawiniętych np. na powierzchni walca (cewka cylindryczna), na powierzchni pierścienia (cewka toroidalna) lub na płaszczyźnie (cewka spiralna lub płaska). Wewnątrz lub na zewnątrz zwojów może znajdować się rdzeń z materiału magnetycznego diamagnetycznego lub ferromagnetycznego.

Wewnątrz cewki na skutek zmian prądu przepływającego przez cewkę indukowana jest siła elektromotoryczna samoindukcji. Wielkością charakteryzującą każdą cewkę jest jej indukcyjność L , którą wyraża wzór $L = \frac{\mu n^2 S}{l}$, gdzie n to liczba zwojów, S – przekrój poprzeczny cewki, a l jej długość. Indukcyjność cewki wyrażamy w Henrach (H).



SEM indukowana w cewce indukcyjnej zawsze przeciwdziała zmianom natężenia prądu. Można to sobie wyobrazić jako wymagowaną baterię wpiętą w obwód tak by raz zmniejszała, raz zwiększała płynący prąd.



Samoindukcja jest szczególnym przypadkiem indukcji elektromagnetycznej. Siła elektromotoryczna jest wytwarzana w tym samym przewodniku, przez który płynie zmienny prąd powodujący indukcję.

$$\epsilon_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$\Delta I / \Delta t$ - szybkość zmiany natężenia prądu



Przykład 1.1

Indukcyjność własna cewki

Na ciasno nawiniętej cewce o 50 zwojach zmierzono zaindukowaną SEM o wartości 2V, podczas gdy natężenie prądu zmieniało się jednostajnie od 0A do 5A w czasie 0,1s. Ile wynosi indukcyjność własna cewki?

$$L = \frac{\epsilon}{\Delta I / \Delta t} = \frac{2V}{5A / 0.1s} = 4 * 10^{-2} H$$

Jeśli natężenie prądu nie zmienia się w czasie, nie zmienia się także strumień oraz nie indukuje się SEM.

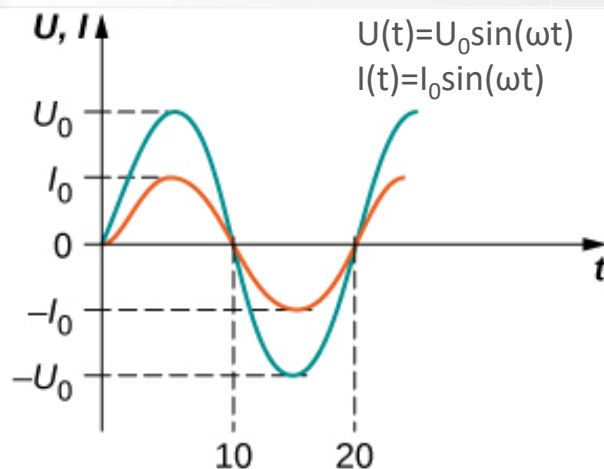
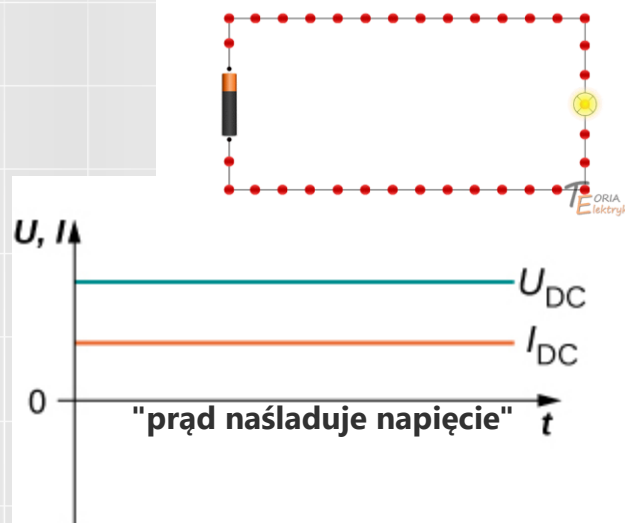


Źródła prądu zmiennego

Symbol używany dla źródła napięcia zmiennego w schemacie elektrycznym.



Przykładów przytaczane do tej pory to w szczególności te z użyciem baterii, zawierające źródła stałonapięciowe. Oznacza to, że po pojawieniu się przepływu prądu jego natężenie pozostaje stałe. Prąd stały (ang. direct current, DC) to przepływ ładunku elektrycznego w jednym tylko kierunku i o stałym niezmiennym natężeniu. Jest to proces stacjonarny (proces ten ustala się w krótkim czasie w układzie i jest to proces równowagi dynamicznej). Wówczas mamy ustalenie się rozkładu potencjału i rozkładu natężenia prądu elektrycznego w układzie.



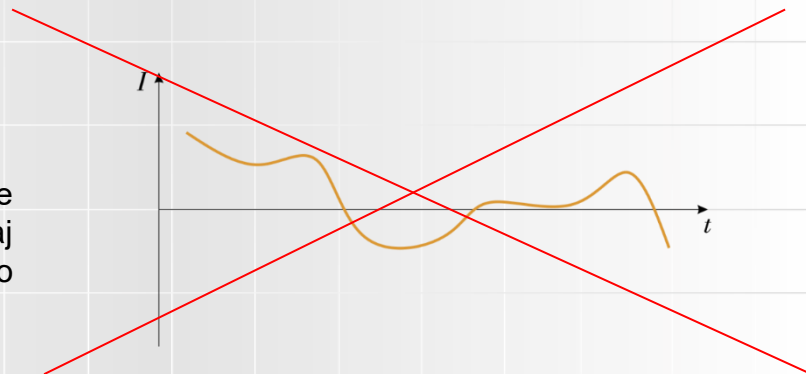
Jednak najbardziej powszechne zastosowania prądu elektrycznego wykorzystują źródła napięcia zmiennego w czasie. Prąd zmienny (ang. alternating current, AC) to przepływ ładunku elektrycznego, którego natężenie i kierunek są periodycznie zmiennie w czasie. Prąd zmienny wytwarzany jest jako konsekwencja działania zmiennej w czasie siły elektromotorycznej (zazwyczaj sinusoidalnie zmiennej), która z kolei wytwarzana jest w elektrowniach, jak opisano to w podrozdziale zatytułowanym Indukowane pola elektryczne. Jeśli w danym obwodzie istnieje źródło prądu zmiennego, którego siła elektromotoryczna oscyluje periodycznie, w szczególności sinusoidalnie, obwód taki nazywamy obwodem prądu zmiennego.



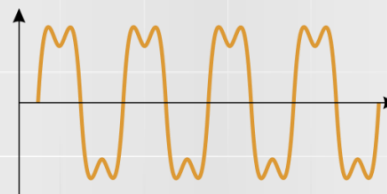
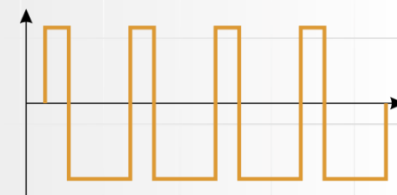
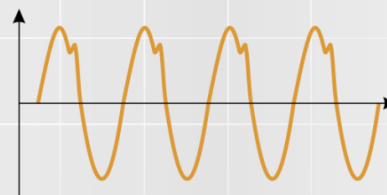
Kiedy prąd jest przemienny?

<https://www.youtube.com/watch?v=cDfjCTMWNnM>

Standardowe przebiegi elektryczne zasilające urządzenia to sygnały uporządkowane. Zazwyczaj posiadają one ładne, foremne kształty, a królem tego typu sygnałów jest przebieg sinusoidalny.

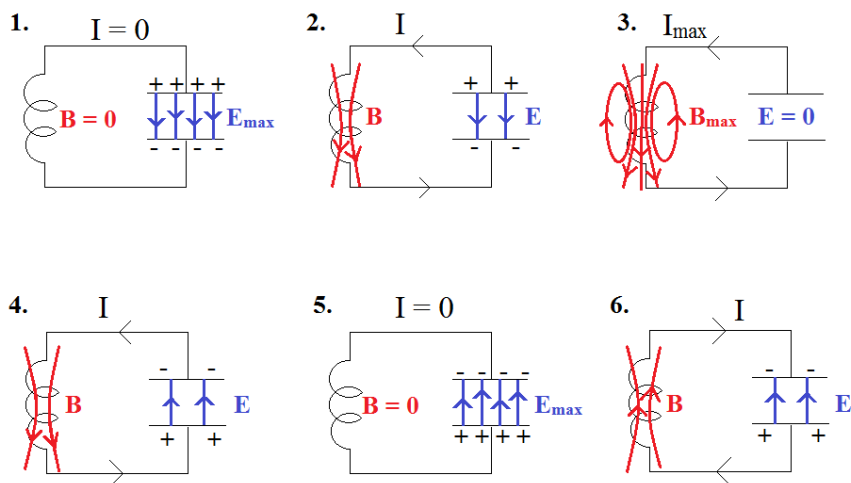


Zauważ, że sygnał ten najpierw wybrzusza się ku górze, później opada na samo dno, po czym cykl ten powtarza się w kółko. Owa cykliczność to bardzo istotna cecha wielu sygnałów, a fizycy wymyślili nawet dla niej własną nazwę – okresowość. Wszystkie sygnały, w których da się zauważyć pewien wzór, czy też powtarzalność, nazywa się sygnałami okresowo zmiennymi lub po prostu okresowymi. Poniżej kilka przykładów takich sygnałów dla utrwalenia zagadnienia:





Obwód rezonansowy LC

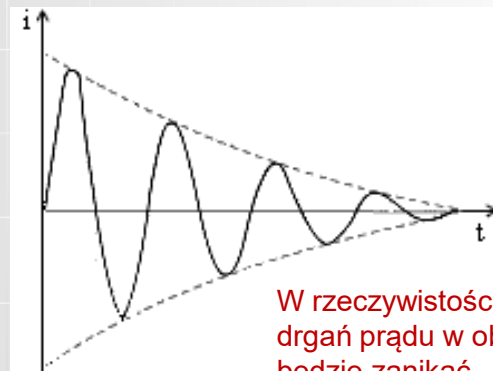


1. W obwodzie mamy cewkę oraz naładowany kondensator.
2. Kondensator zaczyna się rozładowywać, co powoduje przepływ prądu, który z kolei tworzy pole magnetyczne wokół cewki.
3. Kondensator ulega całkowitemu rozładowaniu, a pole magnetyczne cewki w tej sytuacji jest najsilniejsze.
4. Prąd dalej płynie dzięki SEM samoindukcji cewki i kondensator zaczyna się ładować, ale w przeciwnym kierunku.
5. Pole magnetyczne całkowicie zanika, a kondensator jest naładowany.
6. Kondensator zaczyna się rozładowywać, ale jako że został naładowany w przeciwnym kierunku, prąd zaczyna płynąć w przeciwnym kierunku niż dotychczas.

$$U_L = L\omega I \text{ oraz } U_C = \frac{1}{\omega C} I$$

$$L\omega = \frac{1}{\omega C} \text{ dla rezonansu i } \omega_{rez} = 2\pi f_{rez}$$

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



W rzeczywistości amplituda drgań prądu w obwodzie RLC będzie zanikać.



Moc w obwodzie prądu zmiennego

Moc prądu elektrycznego jest równa iloczynowi napięcia i natężenia. W przypadku prądu zmiennego jego chwilowa moc jest iloczynem wartości chwilowych ww. wielkości, więc $P=IU$.

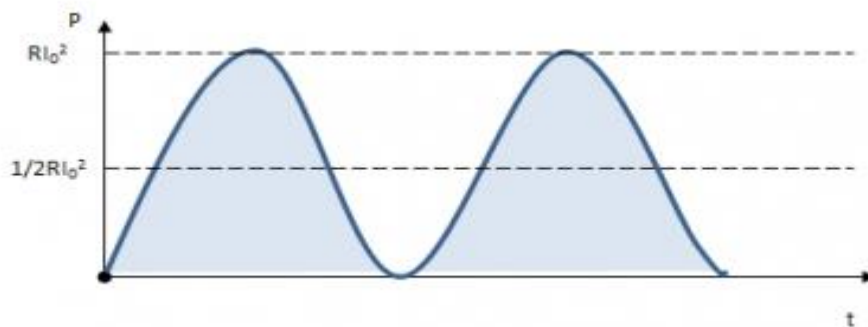
Zgodnie z prawem Ohma napięcie jest równe $U=IR$, zatem moc prądu można zapisać w postaci $P=RI^2$.

Natężenie prądu sinusoidalnie zmiennego jest równe

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

gdzie: I_0 – amplituda natężenia prądu, ω – częstość, t – czas.

Zatem moc chwilowa musi być równa $P=RI_0^2 \sin^2(\omega t)$. Jak wynika z ostatniej zależności moc chwilowa przyjmuje tylko wartości dodatnie i zmienia się jak funkcja sinus kwadrat z amplitudą równą RI_0^2 .



Na przedstawionym wykresie zależności mocy chwilowej prądu zmiennego od czasu widać, że średnia moc prądu w czasie jednego okresu (T) jest równa połowie wartości maksymalnej $P_{sr}=RI_0^2/2$.

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

Wyróżniamy również moc skuteczną (UWAGA – prawda dla prądu sinusoidalnego).

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

, zatem ich iloczyn daje:

$$P_{sk} = U_{sk} \cdot I_{sk} = \frac{U_0 I_0}{2}$$

Po uwzględnieniu **prawa Ohma** ($U_0 = I_0 R$) otrzymamy:

$$P_{sk} = \frac{RI_0^2}{2} = P_{sr}$$

Praca wykonana przez **prąd** jest równa wartości pola powierzchni figury ograniczonej wykresem zależności **mocy** od **czasu** i osią czasu. Pole to jest równe iloczynowi **mocy skutecznej** i **czasu**, więc $W = P_{sr} \cdot t = RI_0^2 \cdot t / 2$.



Przykład 1.2

Wartość skuteczna napięcia prądu zmiennego

Mierniki prądu zmiennego takie jak amperomierze i woltomierze odczytują właśnie wartości skuteczne. Wartość napięcia 220V w naszej sieci domowej to wartość skuteczna. Jaka jest wartość maksymalną tego napięcia?

$$U_{sk} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \rightarrow U_0 = U_{sk} * \sqrt{2} = 311V$$

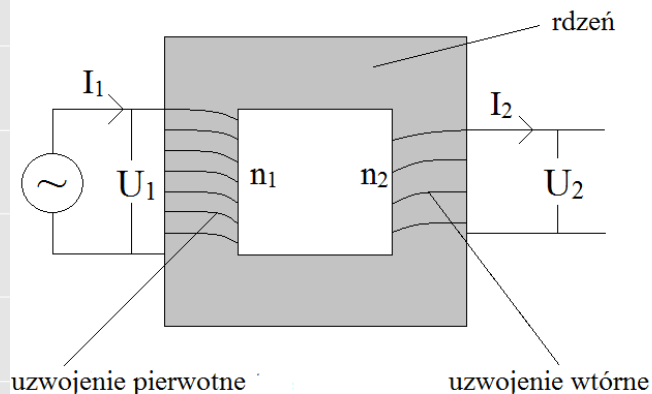
Tę wielkość nazywamy wartością skuteczną napięcia prądu zmiennego.



Transformatory

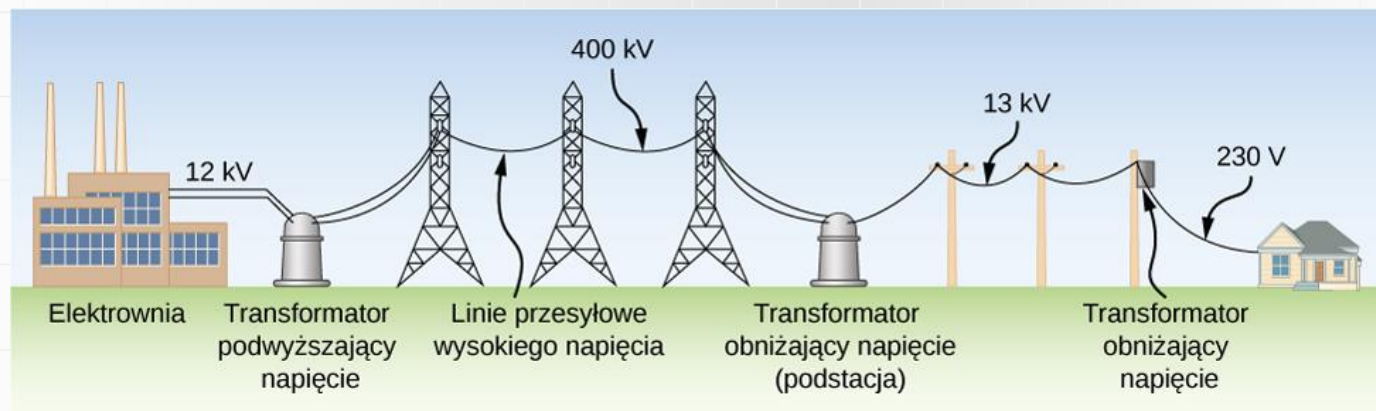
Transformator - urządzenie przetwarzające prąd zmienny o określonym napięciu maksymalnym na prąd zmienny o większym lub mniejszym napięciu maksymalnym.

W uzwojeniu pierwotnym płynie prąd zmienny, który wytwarza w rdzeniu zmienne pole magnetyczne, a ono z kolei powoduje wytworzenie prądu indukcyjnego w uzwojeniu wtórnym. Jeśli zwojów wtórnych jest mniej niż zwojów pierwotnych to napięcie wyjściowe będzie odpowiednio mniejsze.



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

U_1 - maksymalna wartość napięcia na uzwojeniu pierwotnym
 U_2 - maksymalna wartość napięcia na uzwojeniu wtórnym
 I_1 - maksymalna wartość natężenia prądu na uzwojeniu pierwotnym
 I_2 - maksymalna wartość natężenia prądu na uzwojeniu wtórnym
 n_1 - ilość zwojów pierwotnych
 n_2 - ilość zwojów wtórnych





James Clerk Maxwell

James Clerk Maxwell – XIX-wieczny fizyk, który opracował teorię wyjaśniającą powiązania pomiędzy elektrycznością i magnetyzmem, a także prawidłowo przewidział, że światło widzialne jest rodzajem fal elektromagnetycznych.



James Clerk Maxwell (1831–1879) był jednym z największych fizyków XIX wieku. Pomimo swojej przedwczesnej śmierci znacząco przyczynił się do rozwoju kinetycznej teorii gazów, zrozumienia zjawiska widzenia kolorów czy natury pierścieni Saturna. Jednak jest on najbardziej znany ze względu na skonsolidowanie całej ówczesnej wiedzy o zjawiskach elektrycznych i magnetycznych. Dodając do niej również swoje pomysły i obserwacje, sformułował pełną i skończoną teorię zjawisk elektromagnetycznych, przedstawianą skrótowo w postaci równań Maxwella.

1. „Współzależność zmian pola magnetycznego i elektrycznego w ujęciu jakościowym”:

Zmienne pole elektryczne wytwarza wokół siebie wirowe pole magnetyczne.

2. „Co to znaczy, że pole elektryczne bądź magnetyczne jest wirowe”: **Zmienne pole magnetyczne wytwarza wokół siebie wirowe pole elektryczne.**

3. „Prawo Gaussa dla pola elektrycznego”:
pole elektryczne jest polem źródłowym.

4. „Prawo Gaussa dla pola magnetycznego”:
pole magnetyczne jest bezźródłowe.

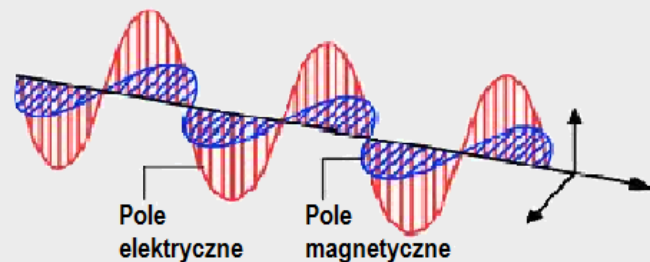
RÓWNANIA MAXWELLA

Lp.	Postać różniczkowa	Postać całkowa	Nazwa	Zjawisko fizyczne opisywane przez równanie
1.	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$	prawo Faradaya	Zmienne w czasie pole magnetyczne wytwarza pole elektryczne.
2.	$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = I + \frac{d\Phi_D}{dt}$	prawo Ampère'a rozszerzone przez Maxwella	Przepływający prąd oraz zmienne pole elektryczne wytwarzają wirowe pole magnetyczne.
3.	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = \int_V \rho \cdot dv$	prawo Gaussa dla elektryczności	Źródłem pola elektrycznego są ładunki.
4.	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$	prawo Gaussa dla magnetyzmu	Pole magnetyczne jest bezźródłowe, linie pola magnetycznego są zamknięte.

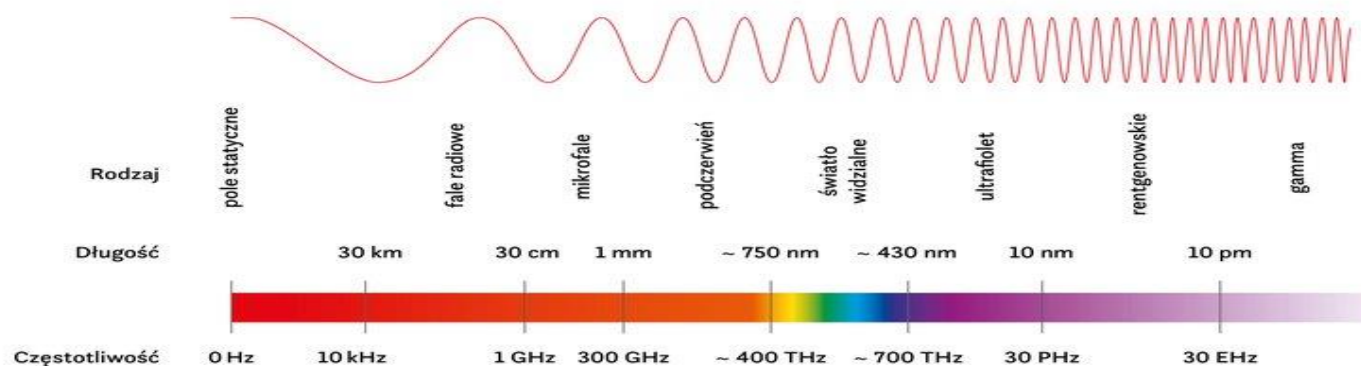


Fale elektromagnetyczne

Fala elektromagnetyczna to rozchodzące się w przestrzeni zaburzenie pola elektromagnetycznego. Zaburzenie to ma charakter fali poprzecznej, w której składowa elektryczna i magnetyczna są prostopadłe do siebie, a obie są prostopadłe do kierunku rozchodzenia się promieniowania. Oba pola indukują się wzajemnie – zmieniające się pole elektryczne wytwarza zmienne pole magnetyczne, a zmieniające się pole magnetyczne wytwarza zmienne pole elektryczne.



Model fali elektromagnetycznej





Słowniczek

częstotliwość rezonansowa (ang. resonant frequency)

– częstotliwość, przy której amplituda natężenia prądu osiąga wartość maksymalną, a obwód oscylowałby po odłączeniu od źródła napięcia przez pewien charakterystyczny czas

dobroć (ang. quality factor)

– bezwymiarowa wielkość opisująca stromość pik rezonansowego i szerokość pasma; duża dobroć definiuje stromy pik i małą szerokość pasma, co w praktyce oznacza zdolność obwodu RLC do przechowywania energii pola

induktancja (ang. inductance)

– opór cewki przez zmianami natężenia prądu

moc średnia (ang. average power)

– uśredniona po czasie moc wydzielana w trakcie pojedynczego cyklu AC

natężenie prądu zmiennego (ang. AC current)

– natężenie prądu, które oscyluje sinusoidalnie w czasie ze stałą częstotliwością

napięcie prądu zmiennego (ang. AC voltage)

napięcie prądu, które oscyluje sinusoidalnie w czasie ze stałą częstotliwością

prąd zmienny (AC) (ang. alternating current)

– przepływ ładunku elektrycznego zmienny w czasie, który periodycznie zmienia swój kierunek i swoje natężenie

prąd stały (DC) (ang. direct current)

– przepływ ładunku elektrycznego w tylko jednym kierunku i niezmienny w czasie



Słowniczek

fale radiowe (ang. radio waves)

– fale elektromagnetyczne o długościach od 1mm do 100km; wytwarzane są przez prądy płynące w obwodach elektrycznych i przez zjawiska astronomiczne

mikrofale (ang. microwaves)

– fale elektromagnetyczne o długościach fal od 1mm do 1m; mogą być wytwarzane przez prądy płynące w makroskopowych obwodach

promieniowanie gamma (ang. gamma ray)

– promieniowanie elektromagnetyczne o bardzo wysokich częstotliwościach, które emitowane jest z jąder atomowych, albo wskutek naturalnych rozpadów radioaktywnych, albo w reaktorach i wybuchach jądrowych; niższe częstotliwości zakresu gamma pokrywają się z zakresem promieni X, ale promienie γ mogą osiągać największe częstotliwości ze wszystkich fal elektromagnetycznych

promieniowanie podczerwone (ang. infrared radiation)

– zakres spektrum fal elektromagnetycznych, rozciągający się od zakresu poniżej koloru czerwonego aż do zakresu mikrofal, czyli od $0,74\mu\text{m}$ do $300\mu\text{m}$

promieniowanie ultrafioletowe (ang. ultraviolet radiation)

promieniowanie elektromagnetyczne o zakresie od fioletu do promieniowania X, o długościach fal od 400nm do około 10nm

promieniowanie X (ang. X-ray)

– niewidzialna i przenikliwa forma promieniowania elektromagnetycznego; zakres ten nachodzi zarówno na zakres ultrafioletu, jak i promieniowania gamma

równania Maxwella (ang. Maxwell's equations)

– zbiór 4 równań, które składają się na spójną teorię elektromagnetyzmu, łączącą wszystkie aspekty oddziaływań elektromagnetycznych

światło widzialne (ang. visible light)

– wąski fragment widma fal elektromagnetycznych, które ludzkie oko umie wykrywać, o długościach fal od około 400nm do 750nm



Słowniczek

równanie transformatora (ang. transformer equation)

– równanie pokazujące, że stosunek liczby zwojów na uzwojeniu wtórnym do liczby zwojów na uzwojeniu pierwotnym równy jest stosunkowi napięcia wtórnego do napięcia pierwotnego

szerokość pasma (ang. bandwidth)

– zakres częstości kołowych, dla których średnia moc jest większa niż połowa maksymalnej wartości

transformator obniżający napięcie (ang. step-down transformer)

– transformator, który zmniejsza napięcie i zwiększa natężenie prądu

transformator podwyższający napięcie (ang. step-up transformer)

– transformator, który zwiększa napięcie i zmniejsza natężenie prądu

transformator (ang. transformer)

– urządzenie, które przekształca zmienny w czasie prąd elektryczny (AC) o danym napięciu w zmienny w czasie prąd (AC) o innym napięciu przy użyciu indukcji elektromagnetycznej

wartość skuteczna natężenia prądu (ang. rms current)

– wartość średniej kwadratowej dla natężenia chwilowego prądu

wartość skuteczna napięcia prądu (ang. rms voltage)

– wartość średniej kwadratowej dla napięcia chwilowego prądu

współczynnik mocy (ang. power factor)

– wielkość mówiąca, ile razy dostarczana do układu moc jest mniejsza od maksymalnej możliwej mocy, w związku z różnicą faz pomiędzy napięciem i natężeniem prądu



Praca domowa

- wytyczne

1. Format: plik pdf lub skan/zdjęcie (upewnij się, że Twoje pismo jest czytelne!)
2. Czytaj uważnie polecenia i wykonuj zawarte w nich zadania.
3. Pamiętaj aby **podpisać** swoją pracę.
4. Do rozwiązania dołącz:
 1. Rysunek – szkic sytuacji przedstawionej w zadaniu lub wykres wraz z danymi z zadania.
 2. Obliczenia – razem z przekształceniami wzorów, jeśli jest to konieczne.
 3. Wnioski sformułowane na podstawie dokonanej analizy.
5. Pamiętaj aby przesłać rozwiązania w terminie na swoją przestrzeń na dysku gogle (lub na adres email prowadzącej).



Wrocław
University
of Science
and Technology

Terminy

	LUTY	MARZEC					KWIECIEŃ					MAJ					CZERWIEC				LIPIEC	
PN	22	1	8	15	22	29	5	12 Pn N	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5		
WT	23	2	9	16	23	30 Pt P	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6		
ŚR	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2 Cz P	9	16	23	30	7		
CZ	25	4	11	18 H1	25 H2	1	8 H3	15 H4	22 H5	29 H6	6 H7	13 H8	20 H9	27 H10	3	10	17	24	1	8		
PT	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9		
SO	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10		
N	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11		
P - PARZYSTY N - NIEPARZYSTY	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P		

H5: 23.04.21 godz. 12:00

Email: sylvia.majchrowska@pwr.edu.pl