

[Hip – łączka](#) => [do Spisu treści](#)

## Elektrodynamika

To dział fizyki mający największe zastosowanie praktyczne we współczesnej technice, dlatego, że to tutaj są podstawy działania nie tylko wszelkiego rodzaju silników dużej mocy prądu przemiennego lecz także zasada wytwarzania i przesyłu energii elektrycznej oraz „podręcznych” dynamicznych źródeł energii elektrycznej w pojazdach ( prądnic i alternatorów ) uzupełniających energię traconą ze statycznych źródeł odtwarzalnych (akumulatorów).

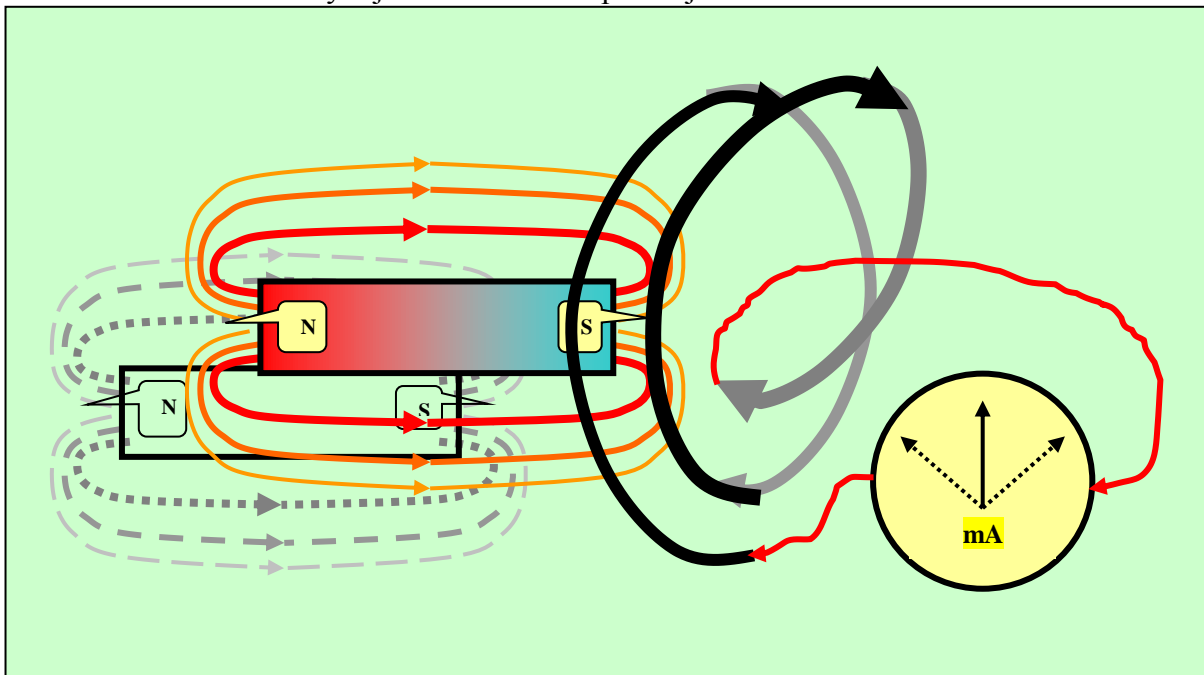
### 1. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej.

Podstawy doświadczalne pod zastosowanie w/w urządzeń technicznych położył Michał Faraday (1791 – 1867) sprawdzając empirycznie wykonanymi przez siebie przyrządami całość dzisiejszej elektrodynamiki klasycznej. Wnioski z tych doświadczeń James Clerk Maxwell (1831 – 1879) „opakował” w 4 podstawowe równania elektrodynamiczne.

=> [do Spisu treści](#)

#### 1.1. Opis indukcji elektromagnetycznej

Zjawisko zwane indukcją elektromagnetyczną w warunkach szkolnych można sprawdzić w układzie doświadczalnym jak na schemacie poniżej.



Jest to dowolna zwojnica (z rdzeniem lub bez) połączona z miernikiem prądu lub napięcia. Przy zwarciu amperomierzem należy zwrócić uwagę aby indukowany prąd nie zniszczył miernika. Jeżeli w pobliżu tej zwojnicy wykonujemy ruch magnesem trwałym to stwierdzamy, że w obwodzie zwojnicy indukuje się napięcie elektryczne  $U_{ind}$  i może płynąć prąd zwany indukcyjnym  $I_{ind}$ . Dokładniejsza analiza pozwala stwierdzić następujące prawidłowości dotyczące kierunku, zwrotu i wartości indukowanego prądu.

Kierunek prądu indukowanego zmienia się na przeciwny gdy na przeciwny zmienia się:

- ➔ kierunek ruchu magnesu
- ➔ kierunek pola magnetycznego
- ➔ kierunek przyłączenia zwojnicy

Wartość prądu indukowanego rośnie gdy rośnie:

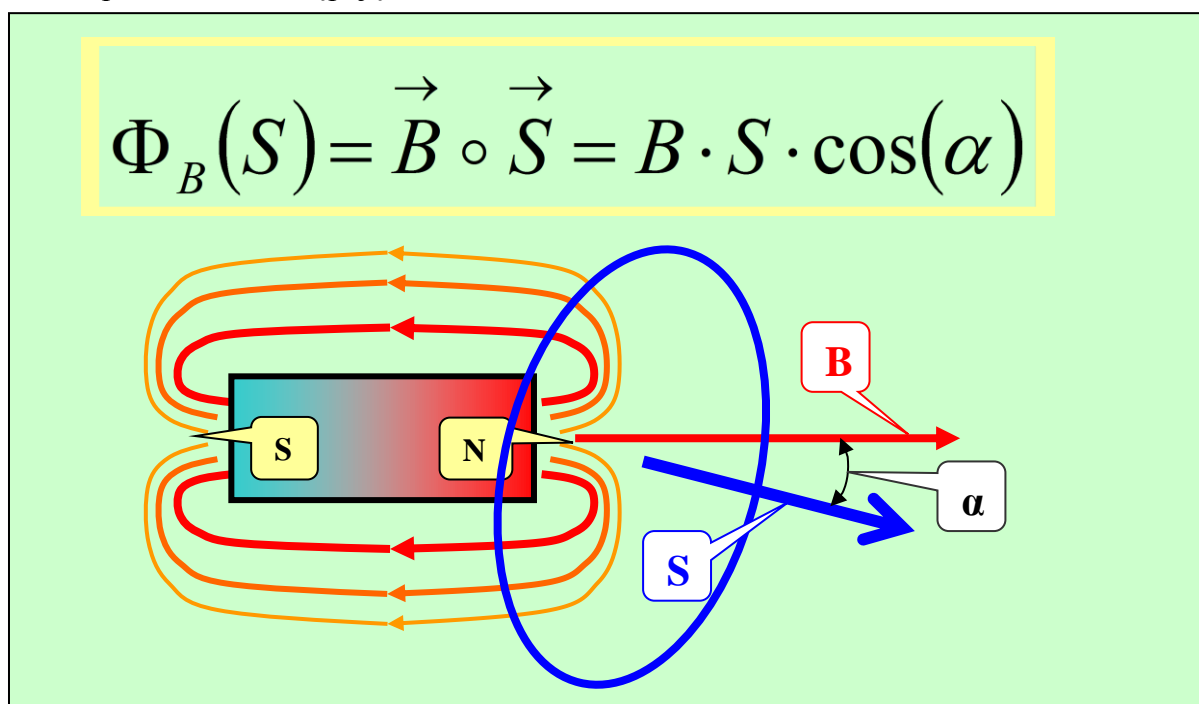
- ➔ szybkość ruchu magnesu
- ➔ indukcja pola magnetycznego
- ➔ ilość zwojów zwojnicy

Całość obserwacji doświadczalnych matematycznie opisuje zmiana strumienia magnetycznego  $\Delta\Phi$  obejmowanego przez obwód elektryczny.

=> [do Spisu treści](#)

### 1.2. Strumień wektora indukcji.

Strumień wektora indukcji to trafiona analogiczna do klasycznego widzialnego strumienia cieczy nazwa niewidocznego strumienia pola magnetycznego, którego ilustrację graficzną można przedstawić następująco:



Jest to wielkość skalarna o wymiarze  $[T \cdot m^2]$  będąca iloczynem skalarnym dwóch wektorów powierzchniowego  $S$  i indukcji pola  $B$  zorientowanej umownie od N do S.

Wektor powierzchniowy o wymiarze identycznym z powierzchnią czyli  $[m^2]$  wprowadzany sztucznie określa się następująco:

- ➔ kierunek prostopadły do powierzchni w danym punkcie
- ➔ zwrot do zewnątrz jeżeli możliwe jest określenie wnętrza powierzchni, gdy nie jest to możliwe to zwrot dowolny ale na kierunku prostopadłym
- ➔ wartość po prostu równa polu powierzchni

Sam strumień jak każdy iloczyn skalarny jest także funkcją cosinusa kąta pomiędzy tymi wektorami.

=> [do Spisu treści](#)

### 1.3. Prawo Faraday'a.

Wzajemną relację obserwowanych wcześniej faktów doświadczalnych i zdefiniowanego poprzednio strumienia oraz indukowanej siły elektromotorycznej  $E_{ind}$  opisuje doświadczalne prawo zw. dzisiaj prawem Faraday'a.

$$E_{ind} = \frac{\Delta \Phi_S(\vec{B})}{\Delta t} = \frac{\Delta(B \cdot S \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t} .$$

Występująca w liczniku zmiana strumienia wektora

indukcji  $\Delta\Phi$  może być powodowana:

- a) zmianą samej indukcji  $\Delta\Phi = \Delta B \cdot S \cdot \cos(\alpha)$  lub  
 b) zmianą powierzchni obejmowanej przez obwód  $\Delta\Phi = B \cdot \Delta S \cdot \cos(\alpha)$  lub  
 c) zmianą kąta wektora indukcji i powierzchniowego  $\Delta\Phi = B \cdot S \cdot \Delta(\cos(\alpha))$ .

Może także zachodzić zmiana dwóch lub wszystkich trzech parametrów opisujących strumień.

Jeżeli obwód lub najczęściej zwojnicę w której indukuje się siła elektromotoryczna  $E_{ind}$  indukcji (dawne oznaczenie SEM indukcji) obciążymy zewnętrznym oporem  $R$  powodującym pobór prądu o wartości  $I_0$  to zgodnie z II prawem Kirchhoffa dla zamkniętego oczka prądowego otrzymamy napięcie  $U$  na przyłączach zwojnicy  $U = E_{ind} - I_0 \cdot R$ .

=> [do Spisu treści](#)

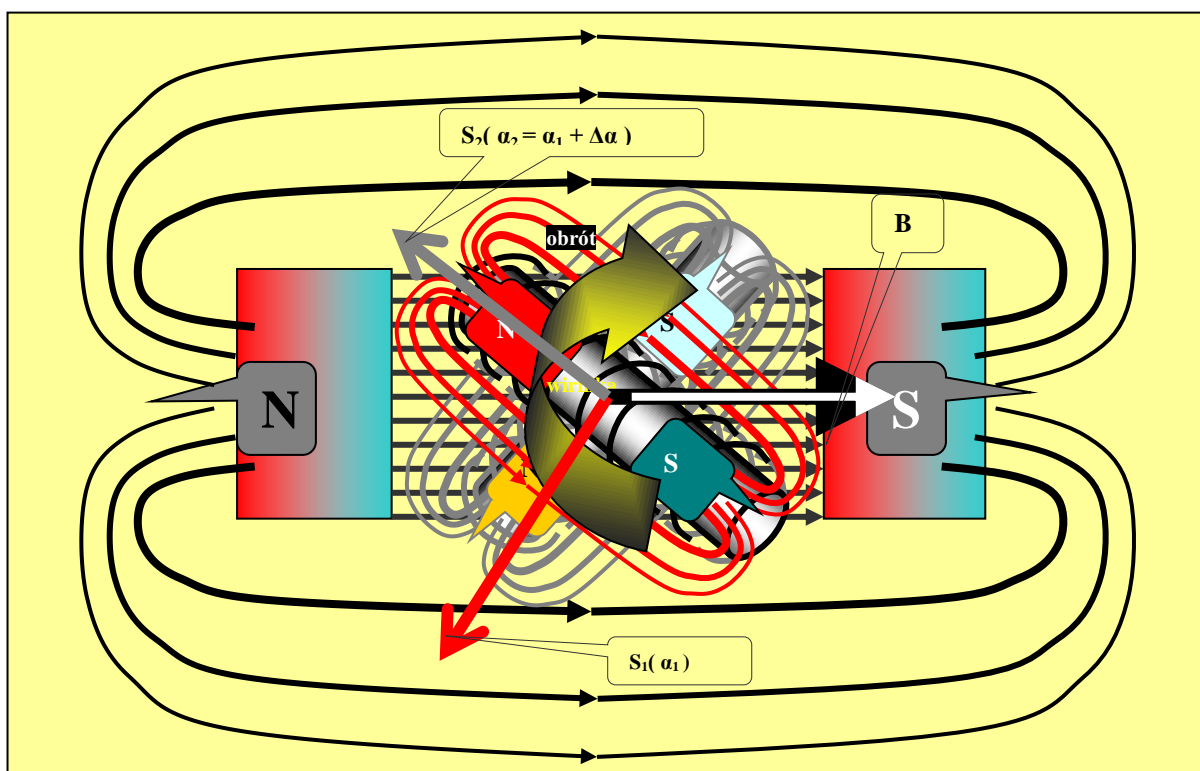
## 2. Prąd przemienny.

Prąd zwany przemiennym (mylna nazwa zmienny) wytwarzany jest na skalę przemysłową jako 3 – fazowy prąd sinusoidalnie zmienny o częstości  $\nu = 50$  [Hz] w europejskiej sieci energetycznej i  $\nu = 60$  [Hz] w amerykańskiej, gdzie tzw. wartości skuteczne (nie maksymalne) wynoszą odpowiednio 230 [V] dla Europy i 115 [V] dla Ameryki. Wytwarzane są w elektrowniach i elektrociepłowniach w generatorach zwanych prądnicami 3 – fazowymi o mocach zależnych od mocy napędzających je turbin wodnych lub parowych.

=> [do Spisu treści](#)

### 2.1. Zasada działania prądnicy i alternatora.

Prądnicą prądu przemiennego jako podstawę działania wykorzystuje I prawo Faraday'a, lecz zmiana strumienia magnetycznego dokonuje się poprzez zmianę kąta pomiędzy indukcją pola powierzchni uzwojeń prądnicy.



Wartość wektora powierzchniowego jest równa  $S = n \cdot \pi d^2 / 4$ , gdzie  $n$  to ilość zwojów pojedynczego rdzenia wirnika nawiniętych na przekroju kołowym o średnicy  $d$ . Zmienia się tylko jego ustawienie względem stałego pola magnetycznego stojana  $B = \text{const}$  np. na rysunku  $\alpha_1$  i  $\alpha_2 = \alpha_1 + \Delta\alpha$  po mniej więcej  $1/4$  obrotu. Dla wyprowadzenia relacji indukowanej siły elektromotorycznej od fizycznych i geometrycznych parametrów zwojownicy należy przyjąć tak mały przedział czasu  $\Delta t$  aby zmiana kąta  $\Delta\alpha < 5^\circ$  kątowych.

$$\Phi_1(\vec{B}) = B \cdot S \cdot \cos(\alpha_1) = B \cdot n \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \cos(\alpha_1) \quad \text{dla chwili } t_1 \text{ i strumień dla chwili } t_2$$

$$\Phi_2(\vec{B}) = B \cdot S \cdot \cos(\alpha_2) = B \cdot n \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \cos(\alpha_2) = B \cdot n \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \cos(\alpha_1 + \Delta\alpha)$$

$\Delta\Phi_s(\vec{B}) = \Phi_2 - \Phi_1 = B \cdot n \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot [\cos(\alpha_1 + \Delta\alpha) - \cos(\alpha_1)]$  . Wykorzystując tożsamość trygonometryczną  $\cos(\alpha - \beta) = \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta)$  do pierwszego składnika różnicy w nawiasie mamy:  $\cos(\alpha_1 - \Delta\alpha) = \cos(\alpha_1) \cdot \cos(\Delta\alpha) - \sin(\alpha_1) \cdot \sin(\Delta\alpha)$  . Dla  $\Delta\alpha < 5^\circ$  możemy zapisać 2 uproszczenia:

a)  $\cos(\Delta\alpha) \approx 1$

b)  $\sin(\Delta\alpha) \approx \text{tg}(\Delta\alpha) \approx (\Delta\alpha)$  w mierze łukowej kąta czyli radianach np. dla  $5^\circ$  mamy odpowiednio:  $\sin(5^\circ) = 0,0872 \approx \text{tg}(5^\circ) = 0,0875$  i  $5^\circ = 0,0873$  [rd] czyli różnica na 4 miejscu po przecinku i dlatego  $\cos(\alpha_1 - \Delta\alpha) = \cos(\alpha_1) \cdot \cos(\Delta\alpha) - \sin(\alpha_1) \cdot \sin(\Delta\alpha)$  można w dobrym przybliżeniu zapisać:  $\cos(\alpha_1 - \Delta\alpha) \approx \cos(\alpha_1) \cdot 1 - \sin(\alpha_1) \cdot \Delta\alpha[\text{rd}]$  . Z kolei wykorzystując

definicję prędkości kątowej  $\omega \stackrel{\text{df}}{=} \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$  mamy  $\Delta\alpha = \omega \cdot \Delta t$  przy słusznym założeniu stałości prędkości kątowej  $\omega$ . Wówczas zmiana strumienia wyrazi się zależnością:

$$\Delta\Phi_s(\vec{B}) = \Phi_2 - \Phi_1 = B \cdot n \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot [\cos(\alpha_1) \cdot 1 - \sin(\alpha_1) \cdot \Delta\alpha[\text{rd}] - \cos(\alpha_1)] \quad \text{z czego}$$

pierwszy i ostatni składnik nawiasu kwadratowego wzajemnie się redukują i zmiana strumienia przyjmuje postać:

$$\Delta\Phi_s(\vec{B}) = B \cdot n \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot (-\sin(\alpha_1)) \cdot \omega \cdot \Delta t = -B \cdot n \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \omega \cdot \Delta t \cdot \sin(\alpha_1) .$$
 Wstawiając

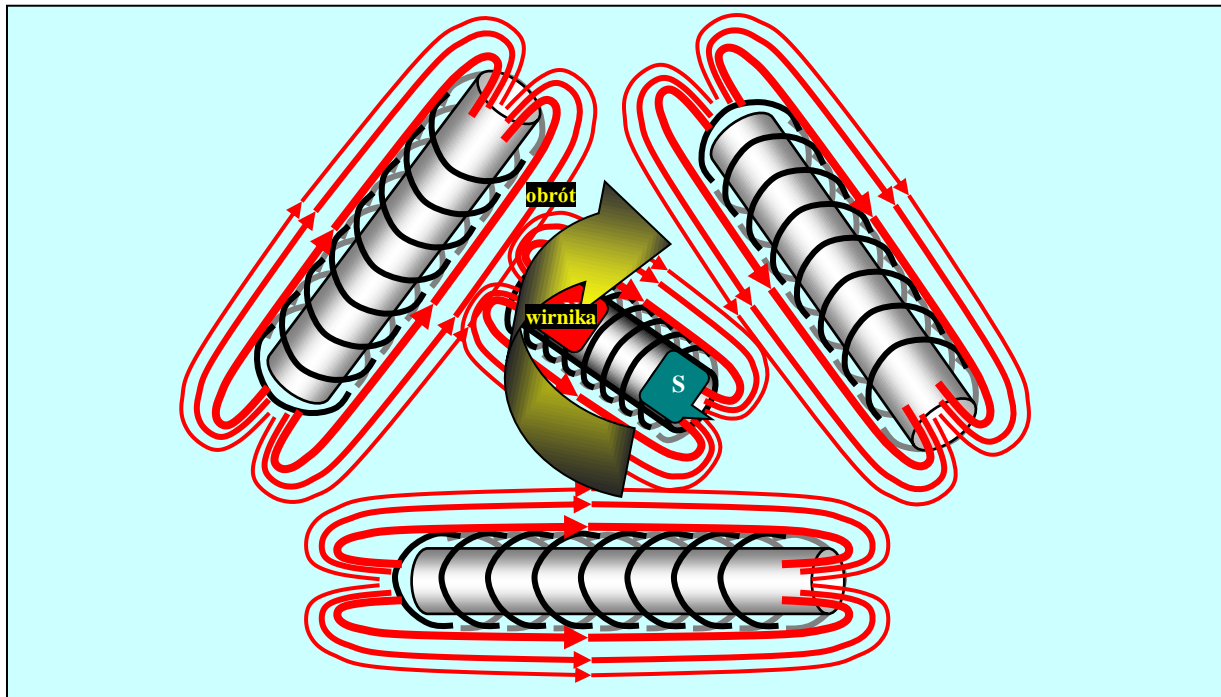
tę ostatnią zależność do prawa Faraday'a otrzymamy wartość indukowanej SEM i jej sinusoidalną zmienność:

$$E_{ind} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{-B \cdot n \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \omega \cdot \Delta t \cdot \sin(\alpha_1)}{\Delta t} = -\omega \cdot B \cdot n \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \sin(\alpha_1)$$

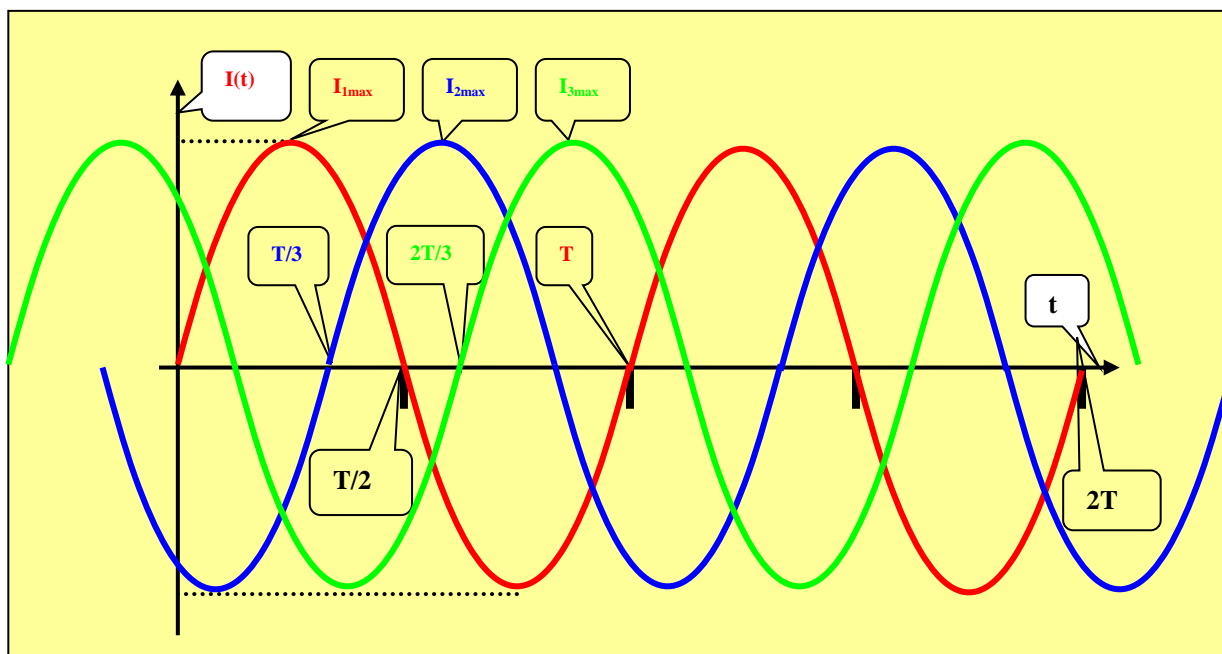
Za wyjątkiem ostatniego czynnika wszystkie pozostałe są stałe zależne od konstrukcji prądnicy a sprawdzając ich wymiar fizyczny uzyskamy jednostkę napięcia [v], dlatego uwzględniając zmienność funkcji sinus można je interpretować jako maksymalną  $E_m$  indukowaną SEM, zaś całość wyrażenia przyjmie postać:  $E_{ind}(t) = -E_m \cdot \sin(\alpha_1)$  . W podobny sposób zmienia się napięcie na zaciskach prądnicy przy stałym obciążeniu zewnętrznym:  $U_{ind}(t) = -U_m \cdot \sin(\alpha_1)$  . Znak „-” jest konsekwencją faktu, że indukowane SEM przyjmuje taką orientację, której skutek mechaniczny przeciwdziała przyczynie, która go wywołała. Zjawisko to opisane jest tzw. regułą Lenza (Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804 - 1865) ) brzmiącą mniej więcej jak poprzednie zdanie.

## 2.2. Wartości skuteczne prądów dowolnie zmiennych.

Napięcie wytwarzane na skalę światowej energetyki różni się tylko od wyprowadzonego poprzednio sinusoidalnie zmiennego tym, że są to 3 identyczne zmienności przesunięte względem siebie o  $1/3$  obrotu wirnika prądnicy czyli o  $120^{\circ}$ . Taką zmienność 3 – ch prądów lub napięć nazywa się prądem lub napięciem trójfazowym. W technice motoryzacyjnej prądnicę trójfazową nazwa się alternatorem.



Zależności napięciowe 3 – fazowe można zilustrować następująco:



Te 3 fazy nazywane bywają różnie w zależności od aktualnych trendów w elektrotechnice np. RST, XYZ, UVW a ostatnio L<sub>1</sub> L<sub>2</sub> L<sub>3</sub>. Wartości maksymalne U<sub>m</sub> napięć tych faz wynoszą:

$U_m = \sqrt{2} \cdot U_{sk} \approx 1,41 \cdot 230 [V] = 325,3 [V]$  względem neutralnego punktu wspólnego

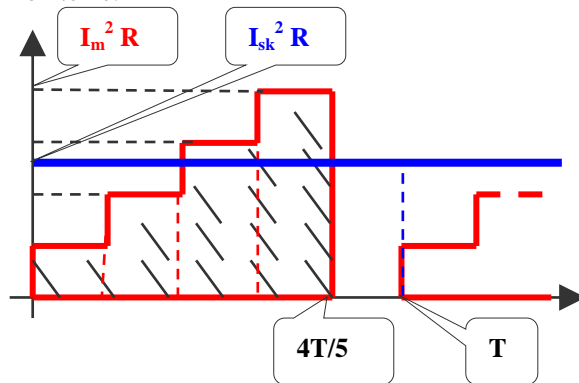
przyłączenia będącego w przybliżeniu na potencjale Ziemi czyli 0 [V], choć nie konieczne są to identyczne potencjały.

Ponieważ wartość prądu przemiennego 1 lub 3 fazowego ulega ciągłym sinusoidalnym zmianom wartości i dwukrotnym w ciągu okresu zmianom kierunku t dowolne urządzenie zasilane bezpośrednio tym prądem pracuje z podobnie zmienną mocą. Dla porównania prądów stałych i dowolnie zmiennych wprowadzono pojęcie wartości skutecznych dla prądów zmiennych. Wartości skuteczne wyznacza się empirycznie przez porównanie dwóch identycznych obwodów ze wspólnym elementem wykonawczym zamieniającym energię elektryczną bezużyteczną samej w sobie w użyteczną np. mechaniczną w silniku, ciepłą w grzałce, świetlną w żarówce. Jeden obwód zasilany jest badanym prądem dowolnie zmiennym a drugi regulowanym prądem stałym. Wartość tego prądu dobieramy tak aby mierzalne skutki (mechaniczne, ciepłe czy świetlne) obydwu urządzeń były identyczne. Właśnie tę wartość prądu stałego nazywamy wartością skuteczną prądu zmiennego. Doświadczalnie stwierdzono, że dla sinusoidalnej zmienności o maksymalnej wartości  $U_m$

wartość skuteczna  $U_{sk}$  wynosi:  $U_{sk} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ .

Dla innych zmienności można wyznaczyć wartość skuteczną metodą półempiryczną tzn. oscylogramem (lub bezpośrednio mierząc zmienność) (widokiem z oscyloskopu) napięciowego przebiegu w czasie. Później można wykonać wykres  $U^2/R$  lub  $I^2R$  od czasu w przedziale co najmniej od 0 do Okresu prądu zmiennego. Pole pomiędzy wykresem a osią poziomą czasu ma wymiar pracy elektrycznej. Pole to porównujemy z polem prostokąta prądu stałego i na tej podstawie wyliczamy maksymalne wartości prądu zmiennego i ich relację do stałej wartości prądu stałego. Dla przykładu obliczenie dwóch wartości prądów zmiennych.

1) Generator równo – 4 – schodkowy np. sterowanie rejestrem 4 – bitowym lub skokiem pionowym plamki elektronowej w klasycznym monitorze.



Pole „schodka” suma 4 – ch pól prostokątów:

$$P_m = \frac{1}{4} \cdot I_m^2 \cdot R \cdot \frac{1}{5} \cdot T + \frac{2}{4} \cdot I_m^2 \cdot R \cdot \frac{1}{5} \cdot T + \frac{3}{4} \cdot I_m^2 \cdot R \cdot \frac{1}{5} \cdot T + \frac{4}{4} \cdot I_m^2 \cdot R \cdot \frac{1}{5} \cdot T =$$

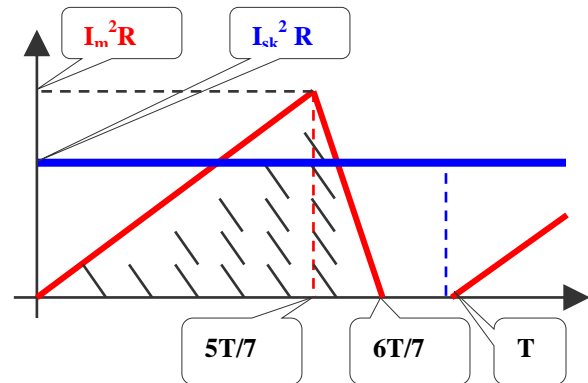
$$= I_m^2 \cdot R \cdot T \cdot \left( \frac{1}{20} + \frac{2}{20} + \frac{3}{20} + \frac{4}{20} \right) =$$

$$= \frac{10}{20} \cdot I_m^2 \cdot R \cdot T$$

$$I_{sk}^2 = \frac{10}{20} \cdot I_m^2 \quad \text{stąd:} \quad I_{sk} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot I_m$$

czyli przypadkowo tyle co prądu sinusoidalnie zmiennego

2) Generator piłokształtny np. do sterowania plamką elektronową w poziomie w monitorze lub z regulacją skoku w oscyloskopie pomiarowym.



Pole trójkąta prądu zmiennego:

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot a \cdot h = \frac{1}{2} \cdot I_m^2 \cdot R \cdot \frac{6}{7} \cdot T = \frac{6}{14} \cdot I_m^2 \cdot R \cdot T$$

Pola te porównujemy z polem prostokąta prądu stałego w całym zakresie zmienności prądu zmiennego (tam gdzie prąd płynie lecz także i tam gdzie nie płynie):

$$P_s = I_{sk}^2 \cdot R \cdot T \quad \text{i} \quad P_s = P_m$$

$$I_{sk}^2 = \frac{6}{14} \cdot I_m^2 \quad \text{stąd:} \quad I_{sk} = \sqrt{\frac{6}{14}} \cdot I_m \approx 0,655 \cdot I_m$$

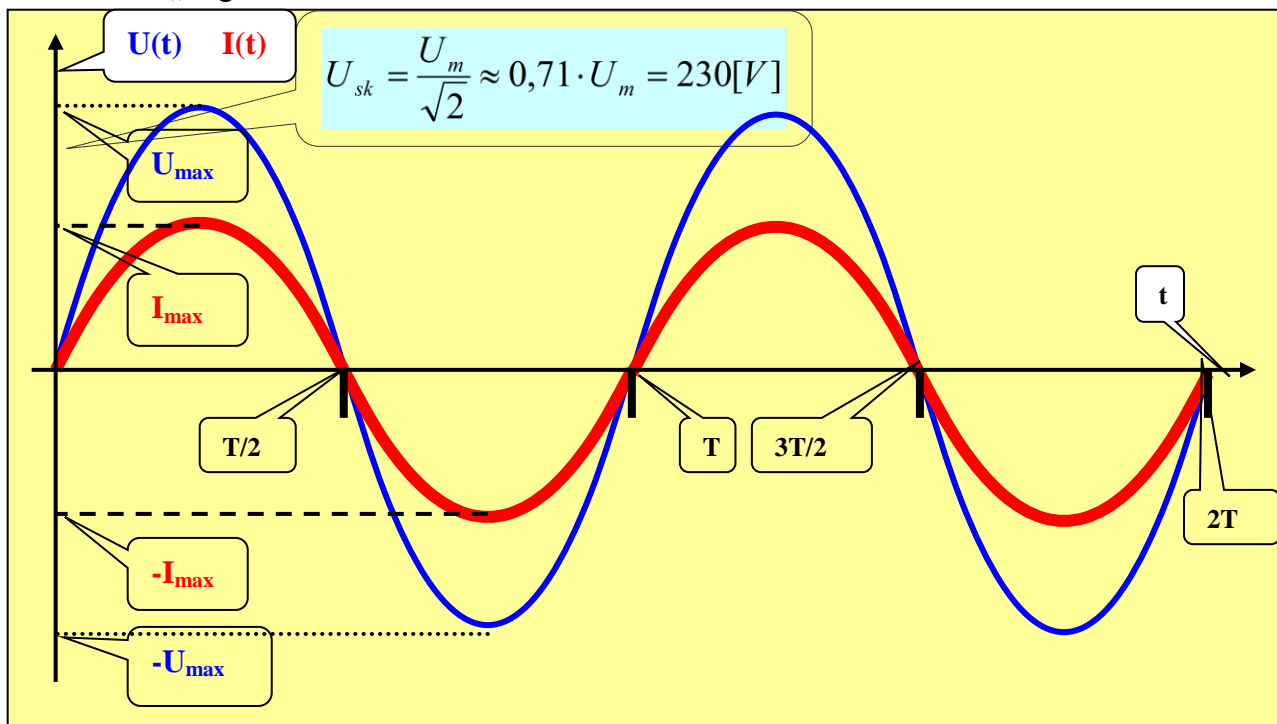
=> [do Spisu treści](#)

### 2.3. Praca i moc prądu przemiennego.

Jeżeli w obwodzie zasilanym prądem dowolnie zmiennym w tym także sinusoidalnie zmiennym znajduje się tylko jako obciążenie zewnętrzne tylko opór klasyczny (omowy)  $R$  to napięcie i natężenie prądu są także sinusoidalnie zmienne i moc eksponowaną na tym odbiorniku można wyrazić stosunkowo prosto:

$$P(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot I_m \cdot \sin(\omega \cdot t) = P_m \cdot \sin^2(\omega \cdot t)$$

Jeżeli natomiast odbiornik posiada indukcyjność  $L$  i pojemność elektryczną  $C$ , które to wielkości zależą od częstości prądu  $\omega$  to problemy ekspozycji mocy na takim odbiorniku znacznie się komplikują. Następuje przesunięcie fazowe pomiędzy prądem a napięciem co w pewnych szczególnych przypadkach może powodować tzw. prąd bezwarty, gdzie przesunięcie to wynosi  $90^\circ$  i na odbiorniku występuje albo samo natężenie albo samo napięcie. Jest to bardzo obszerny dział elektrotechniki, zaś jego elementy będą omówione w dziale „Drgania i fale”.

=> [do Spisu treści](#)

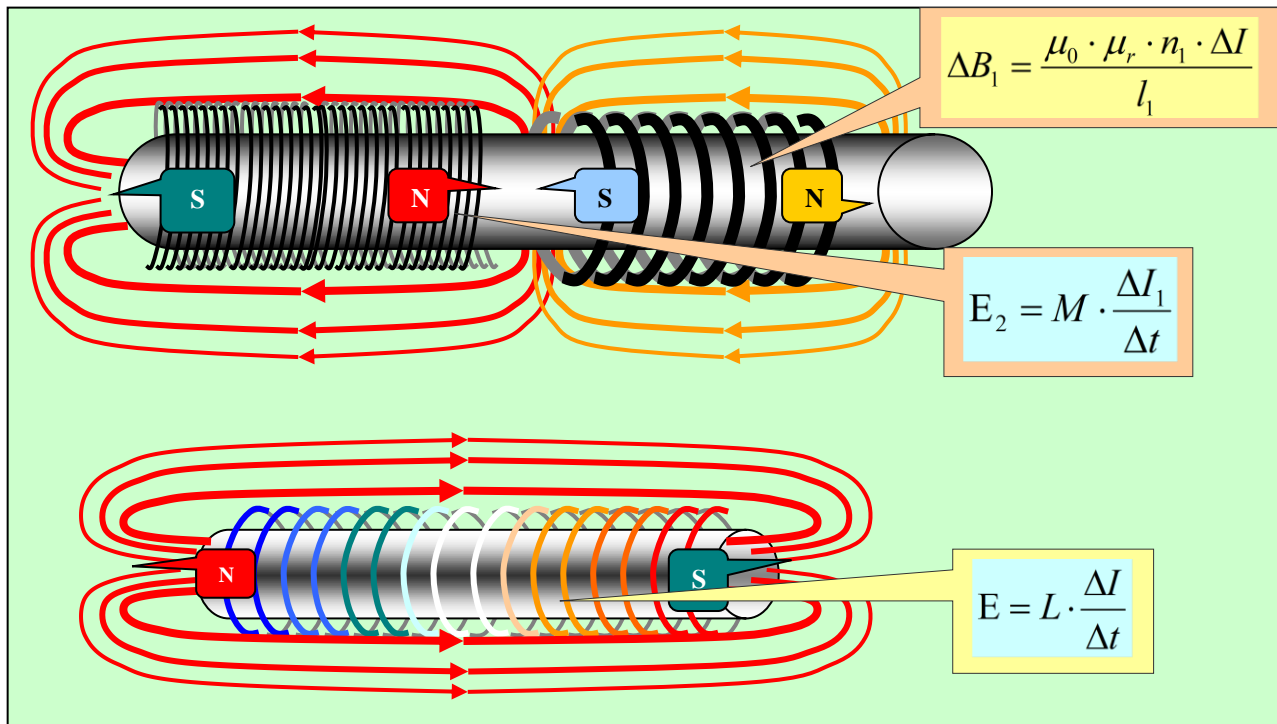
### 3. Transformator.

Tak jak prądnicą 3 – fazową bez względu na sposób jej zasilania jest głównym wytwórcą prądu na skalę przemysłową, tak transformator jest bez wątpienia najważniejszym urządzeniem wykorzystywanym do transportu energii elektrycznej z elektrowni do odbiorcy, gdyż wymagana jest tu podwójna transformacja wytworzonej energii: raz podwyższenie napięcia do przesyłu a później jego obniżenie do żądanej wartości dla odbiorcy. Aby zrozumieć ideę działania transformatora należy wcześniej przeanalizować problem indukcji wzajemnej i samoindukcji.

=> [do Spisu treści](#)

### 3.1. Indukcja wzajemna i samoindukcja.

Jeżeli mamy dwa obwody magnetyczne sprzężone pomiędzy sobą to jeden z nich oddziałuje na drugi i odwrotnie ten drugi oddziałuje na pierwszy. To sprzężenie magnetyczne najmocniej zachodzi jeżeli rozdzielone elektrycznie obwody np dwie zwojnice znajdują się na wspólnym rdzeniu z ferromagnetyka, ale może być także sprzężenie powietrzne, choć znacznie gorsze.



=> [do Spisu treści](#)

Jeżeli w górnym obwodzie dwóch zwojnic (prawej o mniejszej ilości zwojów i lewej o większej) rozdzielonych elektrycznie ale sprzężonych magnetycznie na wspólnym rdzeniu ferromagnetycznym w jednej ze zwojnic np. tej o mniejszej ilości zwojów zmienimy prąd o  $\Delta I$  to spowoduje to zmianę natężenia pola magnetycznego w jej wnętrzu oraz

w ferromagnetycznym rdzeniu zgodnie z zależnością:  $\Delta B_1 = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n_1 \cdot \Delta I_1}{l_1}$  gdzie  $\Delta I_1$

to zmiana wartości prądu,  $n_1$  i  $l_1$  to odpowiednio ilość zwojów i długość zwojnicy w której ta zmiana nastąpiła, zaś  $\mu_r$  to względna przenikalność materiału rdzenia. Z kolei ta zmiana indukcji w rdzeniu spowoduje indukowanie SEM w drugim zgodnie z prawem Faraday'a:

$E_2 = \frac{\Delta \Phi_1(\vec{B})}{\Delta t} = \frac{\Delta B_1 \cdot S}{\Delta t}$  gdzie  $S$  to przekrój rdzenia a  $\Delta t$  to czas zmiany tego prądu. Łącząc

te dwie zależności i wprowadzając współczynnik sprzężenia magnetycznego oznaczany zwyczajowo przez  $M$  możemy zapisać:  $E_2 = M \cdot \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ . Ten efekt wzbudzenia SEM indukcji

w jednym obwodzie poprzez zmiany prądu w drugim nazywamy indukacją wzajemną.

Omówiony poprzednio efekt zachodzi także dla pojedynczej zwojnicy z konieczności sprzężonej magnetycznie ale i elektrycznie sama z sobą np. jedna połowa zwojnicy z drugą. Dla pojedynczej zwojnicy analogiczny efekt można zapisać formalnie:



$E = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$  gdzie  $L$  to współczynnik samoindukcji zwany indukcyjnością zwojniczy (cewki czy solenoidu). Obliczając jego wartość uzyskamy:  $L = \frac{E \cdot \Delta t}{\Delta I}$ . Pozwala to ustalić jego wymiar jako:  $1H = \frac{1V \cdot 1s}{1A}$ , gdzie **1H to 1henr** czyli jednostka indukcyjności. Jast to duża jednostka, w praktyce stosowane zwojnice mają indukcyjności na poziomie mH lub mniejsze zwojnice w  $\mu H$ . Indukcyjność zależy od konstrukcji geometrycznej zwojniczy a przede wszystkim jej ilości zwojów, gęstości ich upakowania i rodzaju rdzenia wypełniającego jej wnętrze. W większości przypadków indukcyjność jest zjawiskiem szkodliwym ale podobnie jak tarcie nieuniknionym.

=> [do Spisu treści](#)

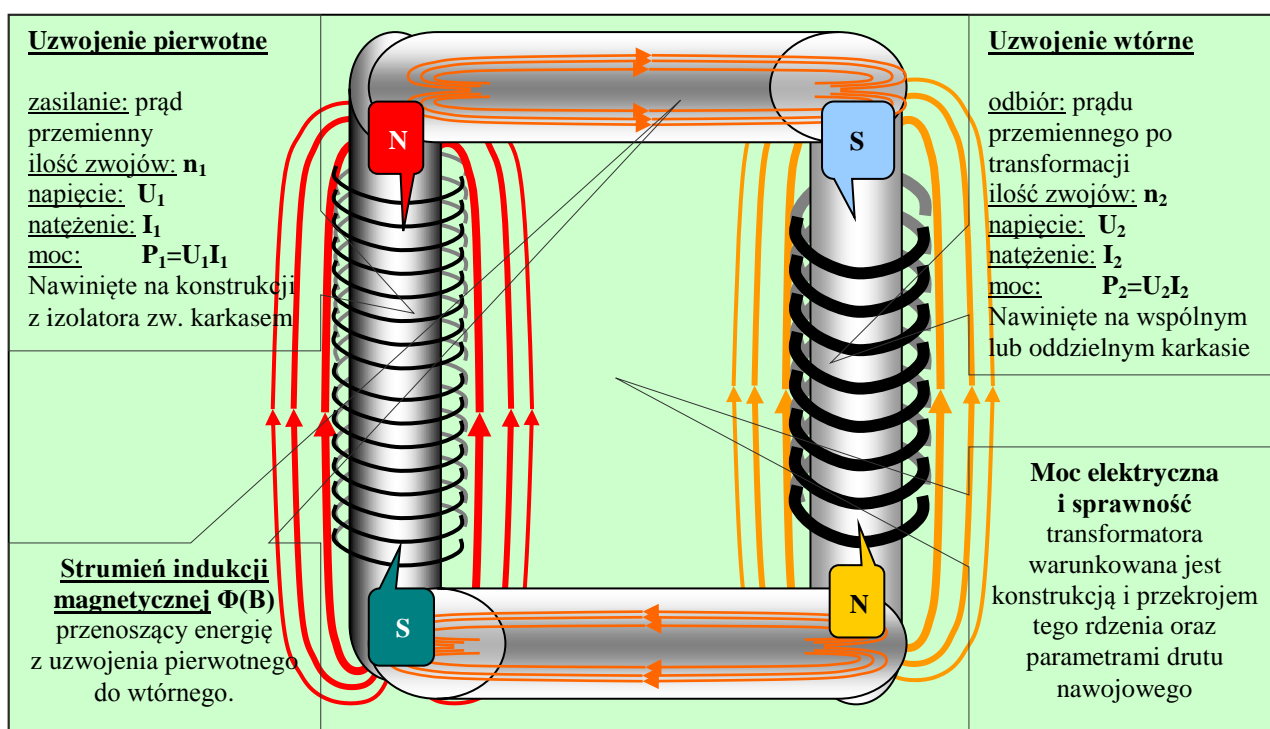
### 3.2. Zasada działania transformatora i induktora.

Transformator i induktor w swojej zasadzie działania różnią się niewiele pomiędzy sobą, gdyż obydwa opierają się o omówiony wcześniej efekt indukcji wzajemnej. Każdy z nich składa się co najmniej z dwóch uzwojeń:

- ➡ pierwotnego o  $n_1$  zwojach podłączonego do źródła napięcia, które chcemy transformować
- ➡ wtórnego o  $n_2$  zwojach na którym uzyskujemy napięcie po transformacji (podwyższone lub obniżone)

Poza tym każde z nich zaopatrzone jest w rdzeń ferromagnetyczny (z tzw. stali krzemowej o niskiej pozostałości namagnesowania i łatwej do przemagnesowania). Kształt rdzenia bywa różny, dla transformatorów o bardzo dużej sprawności to rdzeń toroidalny.

Schemat z ideą działania transformatora można przedstawić następująco:



Wytworzone przez moc elektryczną uzwojenia pierwotnego pole magnetyczne jako strumień magnetyczny za pośrednictwem rdzenia przenosi tę moc do uzwojenia wtórnego, gdzie w wyniku indukcji elektromagnetycznej w uzwojeniu wtórnym indukowana jest moc wtórna.

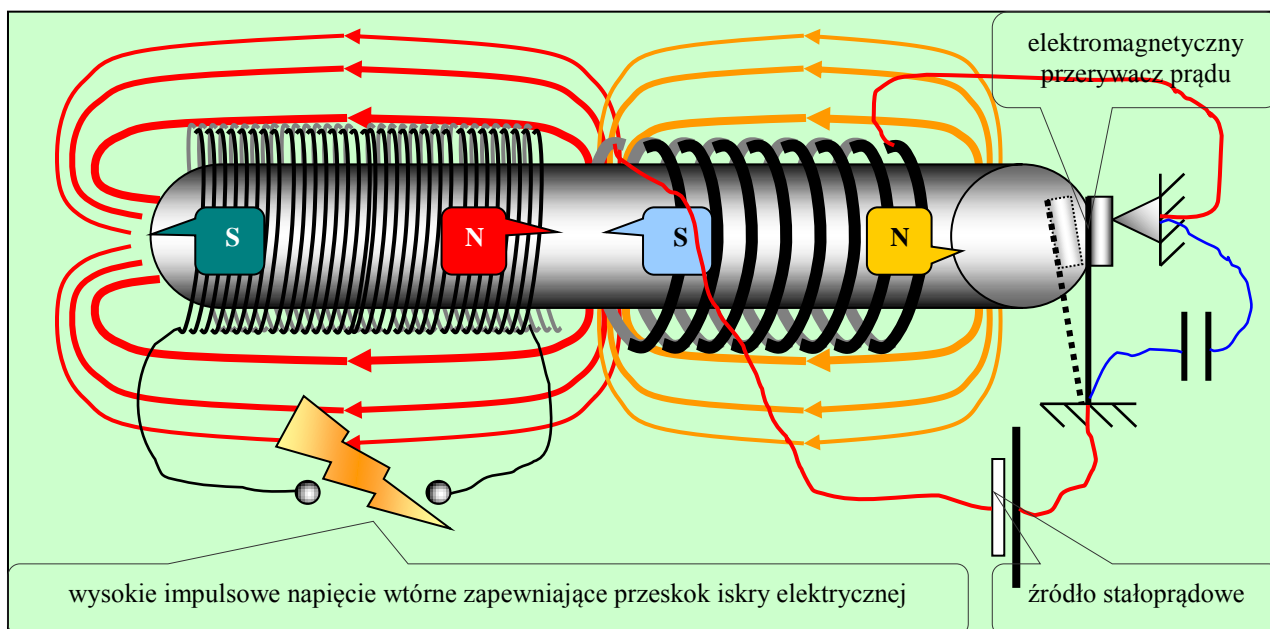
Procent tego przekazu energii określa się jako sprawność transformatora  $\eta$ :  $\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$ .

Najbardziej istotnym parametrem transformatora jest jego przekładnia napięciowa i prądowa, która jest w prosty sposób weryfikowana doświadczalnie przez bezpośredni pomiar napięć pierwotnego i wtórnego na tzw. „jałowym biegu transformatora” tzn. bez obciążenia zewnętrznym oporem  $R$ . Z pomiarów uzyskujemy relację:  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}$ . Wykorzystując tę relację

do definicji sprawności uzyskamy:  $\eta \cdot P_1 = P_2$  i wyrażając moc elektryczną poprzez parametry elektryczne  $\eta \cdot U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$ , stąd  $\eta \cdot \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$ . Jest to odwrotnie proporcjonalny

związek przekładni napięciowej z prądową. Wykorzystuje się go do konstrukcji urządzeń typu lutownica, zgrzewarka, spawarka czy piec indukcyjny. Pierwsze trzy z nich służą do trwałych i nierozłącznych połączeń metali, natomiast ostatni do topnienia złomu stalowego w hutnictwie i metalurgii.

Podobnym w działaniu, choć różnym w zastosowaniu urządzeniem jest induktor, który jest odmianą „transformatora prądu stałego” czyli nieistniejącego urządzenia podobnie jak laser światła białego. Jakakolwiek transformacja prądowa czy napięciowa wiąże się ze zmianą strumienia indukcji co wyklucza transformację stałych wartości. Można to urządzenie przedstawić schematycznie jak poniżej:



Aby umożliwić transformację przy zasilaniu prądem stałym stosuje się jego naprzemienne włączanie i wyłączanie co powoduje zmiany strumienia magnetycznego w uzwojeniu pierwotnym a indukcję we wtórnym. Włączanie i wyłączanie może się dokonywać samoczynnie gdy głównym celem zastosowania induktora jest uzyskanie wysokiego (rzędu kV) napięcia do dalszego przetwarzania lub może być sterowane z zewnątrz jak np w cewkach zapłonowych silników benzynowych lub gazowych gdzie steruje nim mechanizm krzywkowy napędzany z wałka rozrządu sterującego także otwarciem i zamknięciem zaworów w głowicy silnika. W momencie rozwarcia przerywacza następuje szybki spadek prądu i indukcji w obwodzie pierwotnym. W skutek dużej dysproporcji ilości zwojów wtórnego do pierwotnego we wtórnym indukuje się bardzo wysokie impulsowe napięcie.

Ciekawym przypadkiem induktora jest tzw. transformator Tesli przetwarzający impulsowy prąd o bardzo dużej częstotliwości (rzędu co najmniej MHz) wytwarzany w obwodzie pierwotnym impulsowym generatorem wysokiej częstotliwości (w. cz.). Uzyskane w ten sposób wysokie napięcie w. cz. daje w organizmie żywym tzw efekt prądów naskórkowych nie wnikających do wnętrza organizmu lecz płynących tylko po powierzchni naskórka co

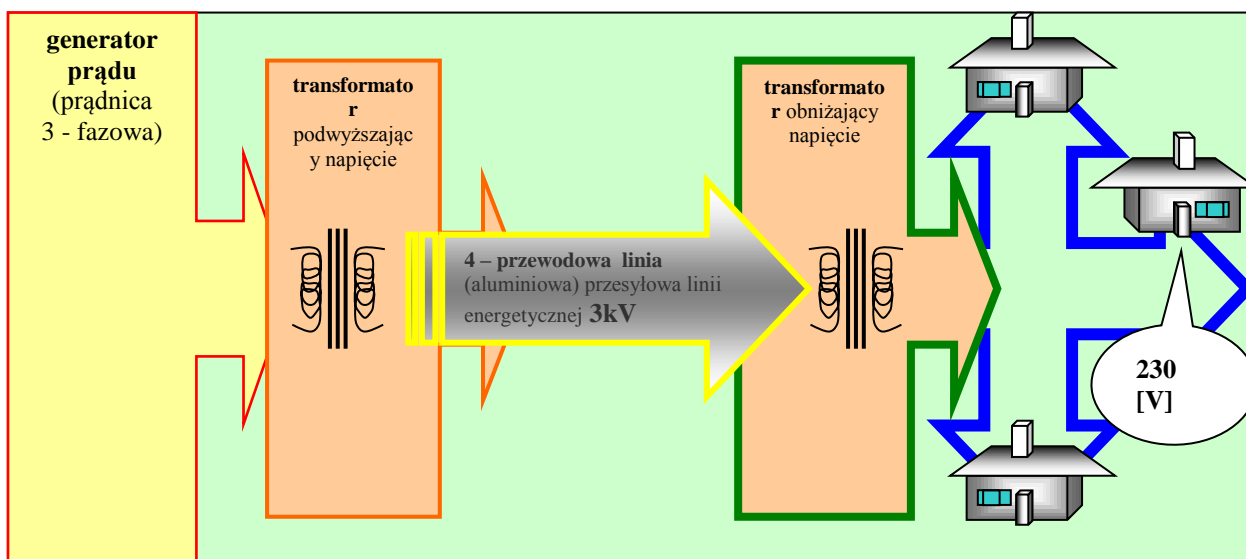
pozwała np. zapalić trzymaną w jednej ręce świetlówkę a drugą łączymy z transformatorem Tesli. Oczywiście tuż pod powierzchnią naskórka znajdują się zakończenia włókien nerwowych co może być odbierane jako nieszkodliwe choć nieprzyjemne szczypanie czy mrowienie na skórze.

=> [do Spisu treści](#)

### 3.3. Przesył energii elektrycznej.

Przy przesyłaniu energii elektrycznej należy zmienić parametry elektryczne, gdyż w ten sposób zmniejsza się straty ciepłe powstałe w wyniku zderzeń elektronów tworzących prąd elektryczny z siecią krystaliczną przewodnika czyli po prostu oporu elektrycznego. Najczęściej przewodnikami tymi są linki aluminiowe o przekroju zależnym od przesyłanej mocy elektrycznej. Opór właściwy aluminium jest blisko dwukrotnie większy niż miedzi jednak ze względu na to koszt uzyskania miedzi jest dużo wyższy stosuje się aluminium. Doświadczalnie wykazano, że mniejsze straty powoduje przesył pod dużym napięciem (duża energia pojedynczych elektronów) niż przy dużym natężeniu (duża ilość elektronów swobodnych). Obydwa warunki można przedstawić wykorzystując definicję mocy prądu i prawo Ohma:  $P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$ . Przy przesyłach wysokonapięciowych nieunikniony opór elektryczny jest dzielnikiem w mocy a przy wysokoprądowym mnożnikiem, zaś iloczyn mocy i czasu jej ekspozycji (przesyłu) to energia przesyłana a co za tym idzie także częściowo tracona.

Schemat zasady przesyłu zilustrowano poniżej:



Prądnica w elektrowni wytwarza prąd 3 – fazowy przemienny o dużej mocy (rzędu MW) i napięciu skutecznym 230 [V]. Prądnice wysokonapięciowa byłyby bardzo niebezpieczne nie tylko dla obsługi ale i dla otoczenia ze względu na możliwość łatwiejszego porażenia prądem elektrycznym. Następnie jest on podwyższany do wysokości zależnej od odległości przesyłu (nawet 750 [kV]). Wiąże się to jednak z budową kosztownych słupów zapewniających duży rozstaw przewodów pomiędzy sobą dla zabezpieczenia przed przepięciem (przeskokiem iskry) pomiędzy przewodami. Następnie w rozdzielniach prądu jest ono zmniejszane i rozsyłane pod napięciem około 3 [kV] w różne kierunki do bezpośrednich odbiorców. Dalej w stacjach transformatorowych na napięcie użytkowe 230 [V]. Wielkość tego transformatora zależna jest od ilości odbiorców przy średnim przydziale 2 [kW] na odbiorcę. Są to wyskosp specjalistyczne transformatory zanurzone w specjalnym elektrostatycznym oleju transformatorowym odprowadzającym ciepło od transformatora do atmosfery poprzez

radiatory (kaloryfery) chłodzące. Dalej już tylko zaplombowany licznik energii elektrycznej i energooszczędne oświetlenie „zmniejszające nacisk na kieszeń” użytkownika, który płaci za całość wytwarzania i przesyłu energii (tzw. opłata stała). Dodatkowo odbiorcy na południu Polski płacą za transfer od elektrowni skumulowanych głównie na południu do centralnego rozdzielnika jak sama nazwa wskazuje w centrum kraju i powtórny transfer części tej mocy w swoje rejony. Użytkownicy w centralnej Polsce płacą tylko za transfer od centralnej rozdzielni do siebie. Reasumując użytkownicy na południu Polski sponsorują neony reklamowe w jej centrum. „A to Polska właśnie ...” tyle, że jest to polska paranoja.

=> [do Spisu treści](#)

### **Spis treści rozdziału:**

- 1. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej.**
  - 1.1. Opis indukcji elektromagnetycznej.
  - 1.2. Strumień wektora indukcji.
  - 1.3. Prawo Faraday’a.
- 2. Prąd przemienny.**
  - 2.1. Zasada działania prądnicy i alternatora.
  - 2.2. Wartości skuteczne prądów dowolnie zmiennych.
  - 2.3. Praca i moc prądu przemiennego.
- 3. Transformator.**
  - 3.1. Indukcja wzajemna i samoindukcja.
  - 3.2. Zasada działania transformatora i induktora.
  - 3.3. Przesył energii elektrycznej.