

BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA MASZYN ASYNCHRONICZNYCH

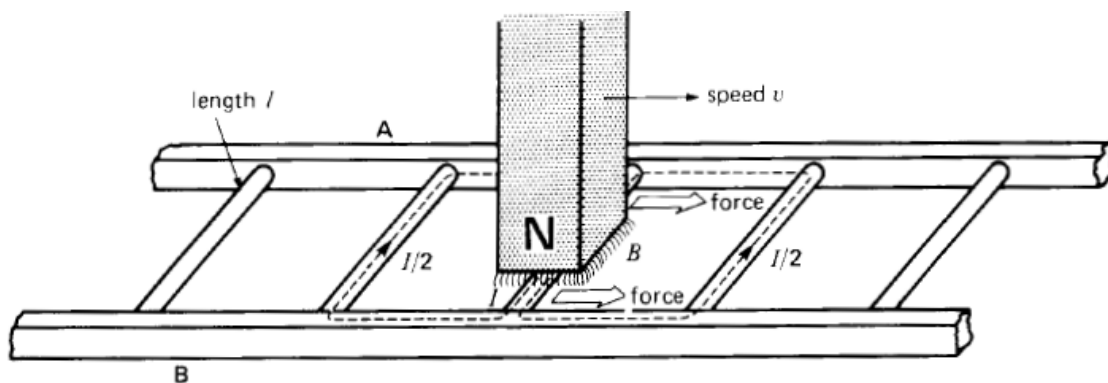
Zasada działania maszyny indukcyjnej (asynchronicznej) opiera się na zjawiskach, które występują w przypadku, gdy pole magnetyczne porusza się względem przewodnika pokazanego na Rys. 1. Jeśli wymusimy ruch pola magnetycznego z prędkością v , w przewodniku (pręcie o długości l pod wpływem indukcji magnetycznej B) pojawi się napięcie indukowane:

$$e = Blv \quad (1)$$

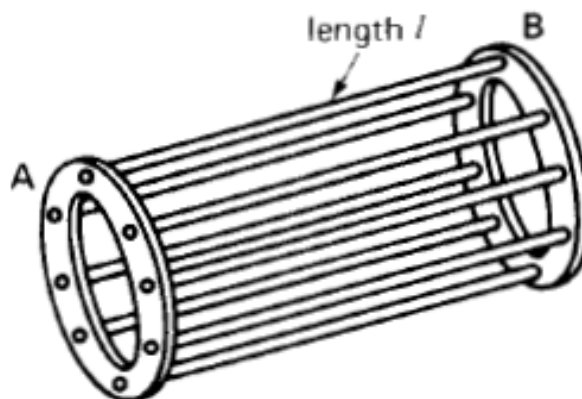
Wobec faktu, że obwód elektryczny na tym rysunku jest zamknięty, przez pręt przepływie prąd o wartości i . Prąd ten, współdziałając z polem magnetycznym spowoduje powstanie siły mechanicznej o wartości:

$$F = Bil \quad (2)$$

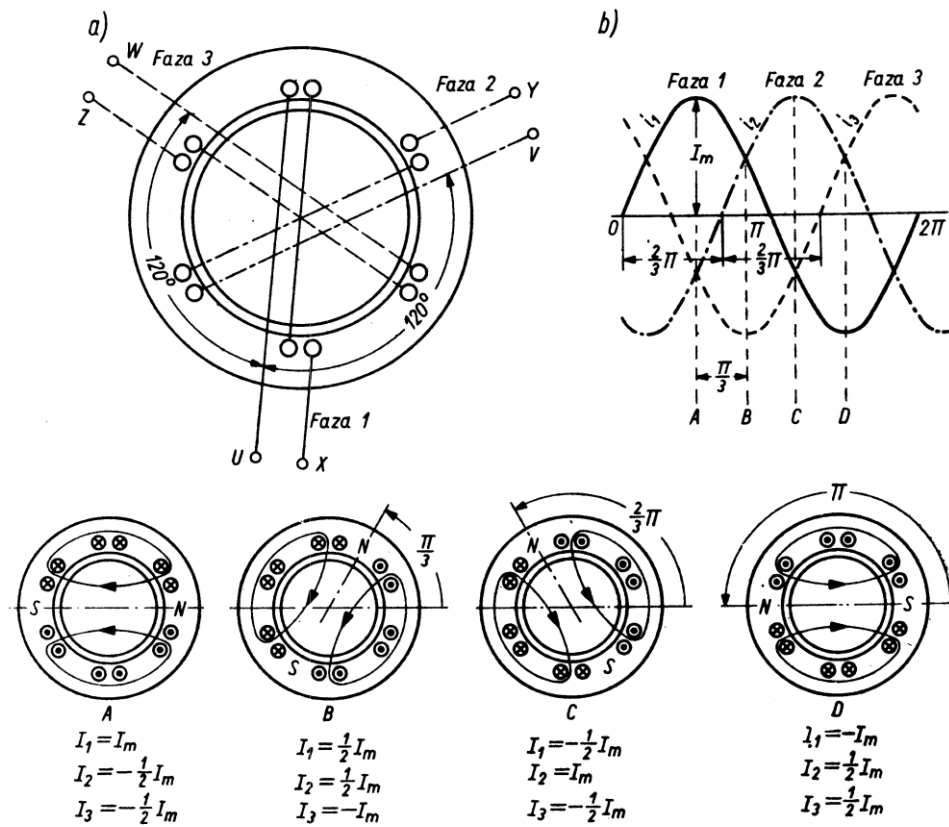
Praktycznym rozwiązaniem wykorzystującym taką ideę pracy jest wytworzenie pola poruszającego się ze stałą prędkością (Rys. 3) wobec przewodnika (klatki) pokazanego na Rys. 2.



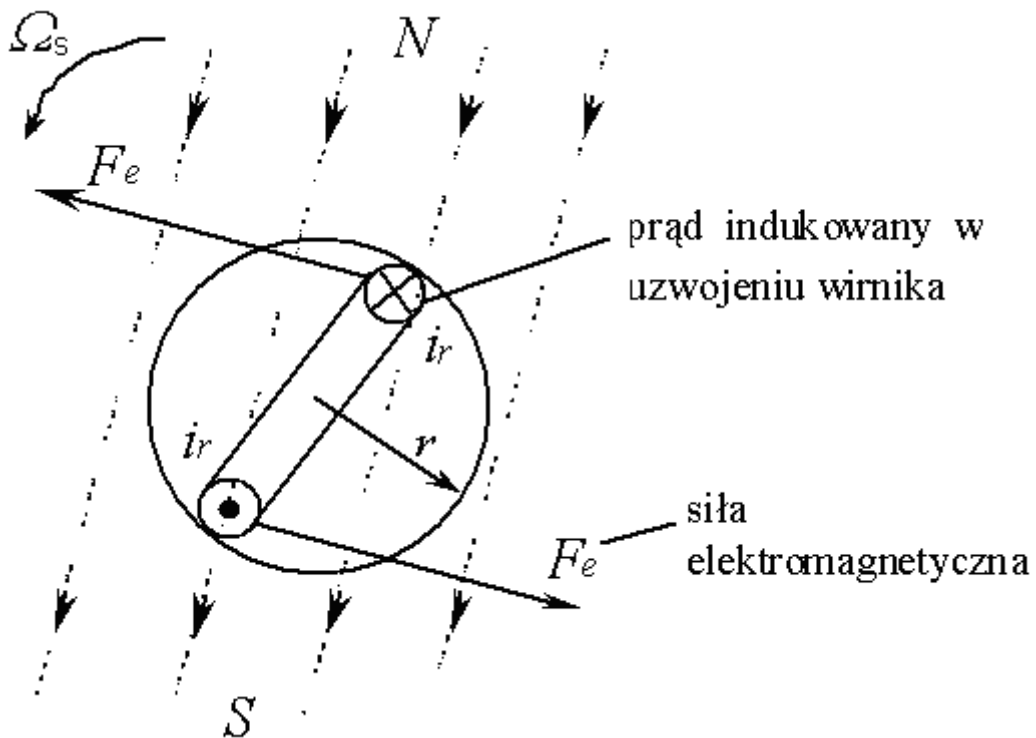
Rys. 1 Przesuwanie pola magnetycznego nad przewodnikiem [11]



Rys. 2 Klatka wirnika maszyny indukcyjnej [11]



Rys. 3 Zasada wytworzenia wirującego pola magnetycznego z wykorzystaniem uzwojenia trójfazowego rozłożonego w żłobkach stojana maszyny indukcyjnej.



Rys. 4 Zasada działania maszyny indukcyjnej.

Wirujące pole magnetyczne można wytworzyć poprzez umieszczenie w żłobkach stojana (*Rys. 3 a*) trójfazowego uzwojenia zasilanego trzema prądami przesuniętymi w dziedzinie czasu o kąt 120° (*Rys. 3 b*). Na *Rys. 3* pokazano rozkład pola magnetycznego wytworzonego na skutek prądów płynących w 3-fazowym uzwojeniu stojana w czterech chwilach czasu A, B, C i D. Widoczna jest tu zmiana rozkładu pola magnetycznego w szczelinie powietrznej pomiędzy stojanem a wirnikiem. W takim przypadku pole magnetyczne porusza się wobec prętów klatki (*Rys. 4*) ze stałą prędkością kątową (nazywaną prędkością synchroniczną) wynikającą z częstotliwości napięcia zasilającego, w prętach wirnika zaindukuje się napięcie, które wobec zamkniętego obwodu wirnika wymusi przepływ prądu. Prąd współdziałając z polem magnetycznym spowoduje powstanie momentu elektromagnetycznego. Moment obrotowy, zgodnie z zależnością (3), będzie powodował wzrost prędkości obrotowej.

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_d \quad (3)$$

J jest momentem bezwładności podanym w kgm^2 , ω jest prędkością kątową w rad/s , M_d jest momentem dynamicznym. Moment M_d jest wynikiem różnicy momentu wytwarzanego w maszynie M_e oraz momentu oporowego M_o :

$$M_d = M_e - M_o \quad (4)$$

W przypadku, gdy pominiemy moment oporowy (hamujący), prędkość wirowania wirnika będzie zwiększać się aż do momentu, gdy wartość momentu wytwarzanego w maszynie spadnie do zera. Stan taki wystąpi tylko w przypadku, gdy prąd płynący przez pręty wirnika spadnie do zera. Taki stan ma miejsce w sytuacji gdy wirnik porusza się z prędkością równą prędkości przemieszczania się pola magnetycznego (pręty i pole magnetyczne są wówczas nieruchome względem siebie).

Pola magnetyczne wirujące wewnątrz maszyny może zmieniać się na obwodzie wirnika (w szczelinie powietrznej pomiędzy stojanem a wirnikiem) może mieć różną liczbę biegunów (*Rys. 5*). W przypadku (A) (liczba par biegunów $p=1$), gdy do wytworzenia pola wirującego magnetycznego wykorzystamy uzwojenia zasilone napięciem o częstotliwości f identyczny rozkład pola magnetycznego w przestrzeni będzie powtarzał się zgodnie z częstotliwością zmian prądu, kąt przemieszczenia pola równy 2π . Prędkość wirowania tak wytworzonego pola jest równa pulsacji napięcia zasilającego:

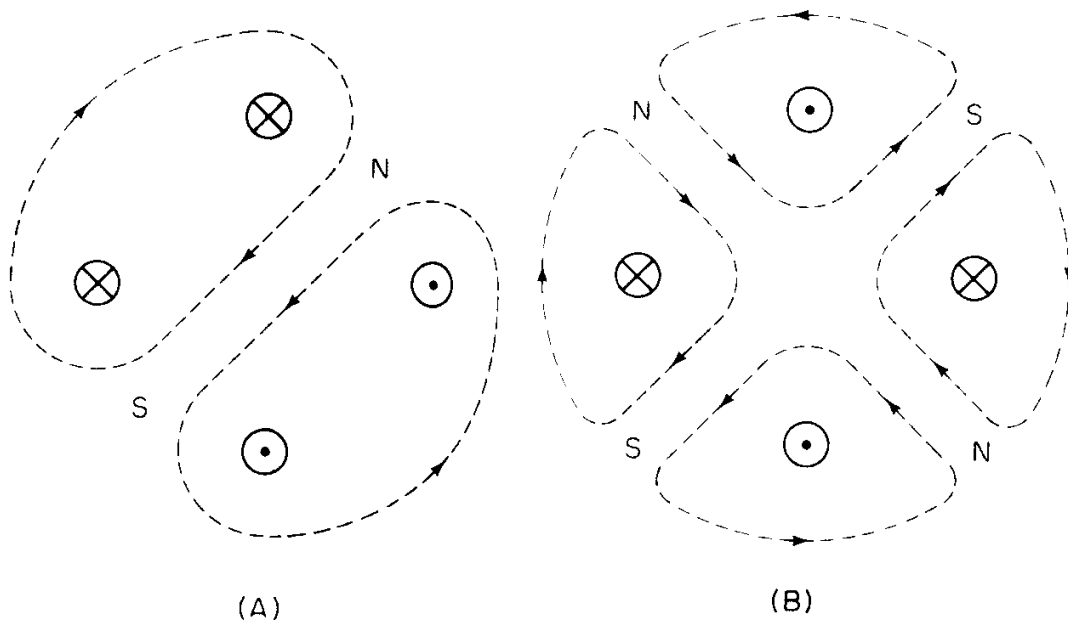
$$\omega_s = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = \omega_1 \quad (5)$$

W przypadku dwóch par biegunów na obwodzie (B) $p=2$, a po jednym okresie czasu T pole magnetyczne przemieści się o kąt mechaniczny równy π . W takiej sytuacji prędkość wirowania pola magnetycznego będzie równa:

$$\omega_s = \frac{\pi}{T} = \frac{2\pi}{2T} = \frac{2\pi f}{2} = \frac{\omega_1}{2} \quad (6)$$

W ogólnym przypadku, gdy liczba par biegunów jest równa p , otrzymamy wzór na prędkość kątową synchroniczną:

$$\omega_s = \frac{2\pi f}{p} = \frac{\omega_1}{p} \quad (7)$$



Rys. 5 Liczba par biegunów w maszynie indukcyjnej (asynchronicznej) (A) $p=1$, (B) $p=2$;

W praktyce używa się prędkości obrotowej w jednostkach obr/min, jako że jeden obrót to 2π rad, a w minucie mamy 60 s, to prędkość synchroniczną wyrażoną w obr/min możemy przedstawić wg. zależności:

$$n_s = \frac{60 f}{p} \quad (8)$$

W literaturze angielskojęzycznej ([1], [2], [6], [9], [10], [11]) używa się pojęcia liczby biegunów $p'=2p$, wówczas:

$$n_s = \frac{120 f}{p'} \quad (9)$$

$$\omega_s [\text{rad} / \text{sec}] = \frac{2\pi}{60} n_s [\text{obr} / \text{min}] \quad (10)$$

$$n_s [\text{obr} / \text{min}] = 9.55 \omega_s [\text{rad} / \text{sec}] \quad (11)$$

W przypadku, gdy do poza momentem wytworzonym w maszynie będzie występował moment hamujący to w stanie ustalonym prędkość obrotowa wału wirnika n musi różnić się od synchronicznej – tylko w takim przypadku maszyna może wytworzyć moment o wartości równej momentowi obciążenia. Pojawi się w takiej sytuacji różnica pomiędzy tymi prędkościami, a jej wartość w odniesieniu do prędkości synchronicznej nazywamy poślizgiem:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (12)$$

Zwróćmy uwagę na fakt, że w przypadku nieruchomego ($n=0$) wirnika $s=1$, a w wirniku indukuje się napięcie o wartości U_{r0} i częstotliwości równej częstotliwości napięcia zasilającego uzwojenia stojana. W miarę wzrostu prędkości obrotowej maleje poślizg, maleje także napięcie indukowane w uzwojeniach wirnika jak i jego częstotliwość:

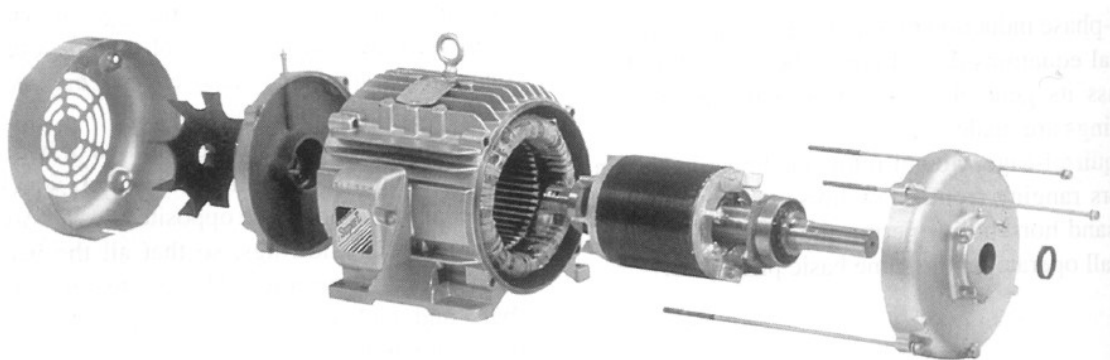
$$f_2 = |s| f \quad (13)$$

$$U_2 = |s| U_{r0} \quad (14)$$

Maszyna asynchroniczna (indukcyjna) zbudowana jest zatem z nieruchomego stojana oraz ruchomego wirnika. Wirnika mocowany jest do części nieruchomej poprzez umieszczenie na jego wale łożysk, montowanych w gniadach tarcz łożyskowych dokręcanych do obu stron stojana. Zwykle na wale maszyny asynchronicznej umieszczony jest wentylator, którego celem jest wymuszenie ruchu powietrza wewnątrz maszyny odbierając w ten sposób energię ciepłą wytwarzaną w uzwojeniach i rdzeniach stojana i wirnika (wymuszone chłodzenie).

Zamiast wirnika klatkowego możemy na żłobkach wirnika umieścić uzwojenie trójfazowe (podobne jak w stojanie). Uzwojenie jest zwykle połączone w gwiazdę a końce jego połączone są z trzema pierścieniami (Rys. 7). Do pierścieni dosunięte są szczotki umieszczone w szczotkotrzymaczach i dalej są podłączone do zacisków na tabliczce zaciskowej maszyny.

Rozwiązanie takie umożliwia dołączenie do obwodu wirnika dodatkowych elementów (np. rezystancji). Maszyna o takiej budowie może także być wykorzystana jako przesównik fazowy, regulator indukcyjny czy też elektromaszynowa przetwornica częstotliwości.



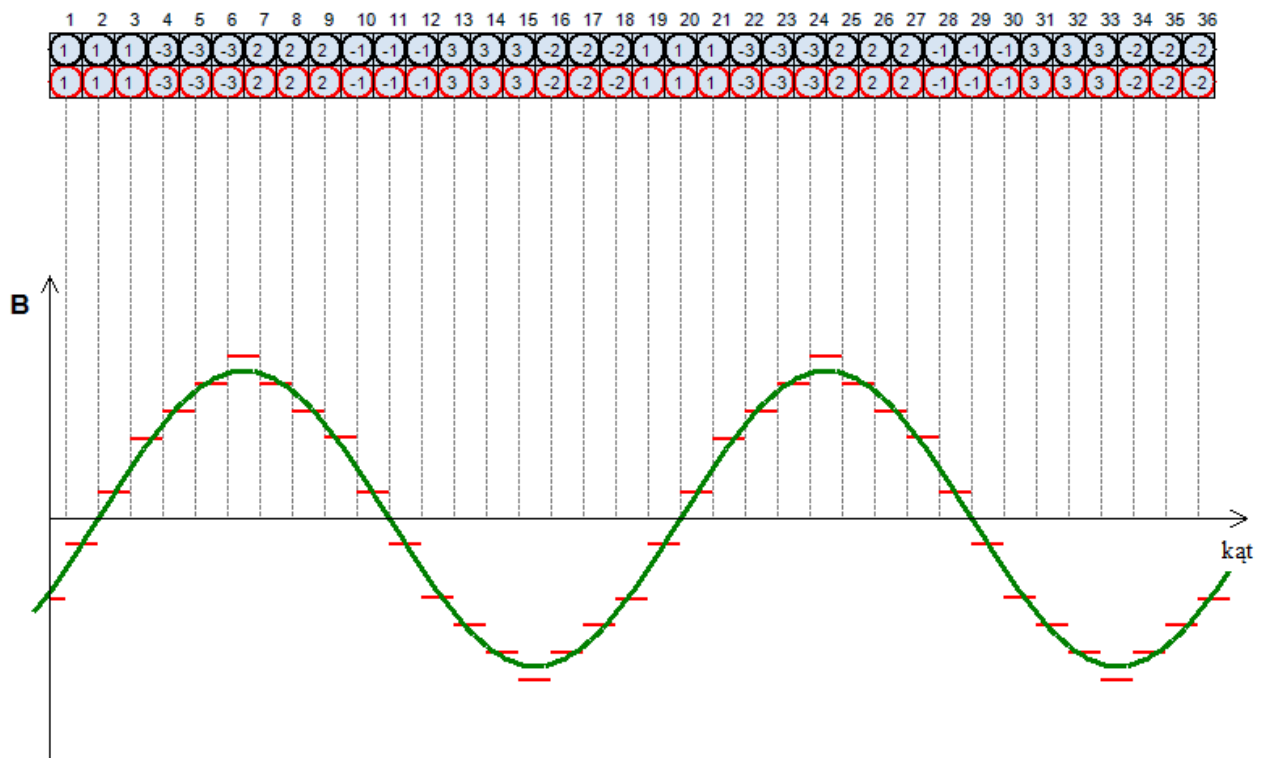
Rys. 6 Przykład budowy maszyny indukcyjnej klatkowej [11]



Rys. 7 Przykład budowy maszyny indukcyjnej pierścieniowej [11]

Uzwojenie stojana (także wirnika) powinno wytwarzać wirujące pole kołowe. Rozkład pola magnetycznego na obwodzie maszyny powinien być jak najbliższy funkcji sinusoidalnej. Taki kształt pola powoduje, że przy stałej prędkości wirowania wirnika, napięcie indukowane (oraz prąd) ma także przebieg sinusoidalnie zmienny w czasie o częstotliwości podanej wzorem (13).

Wirującym polem kołowym możemy zatem nazwać pole magnetyczne o sinusoidalnym rozkładzie w szczelinie powietrznej maszyny, przy czym wartość maksymalna (amplituda) jest niezależna od czasu, a jego położenie względem stojana zmienia się w czasie ze stałą prędkością nazywaną prędkością synchroniczną. Rozkład pola o takich cechach uzyskuje się poprzez odpowiednie rozłożenie uzwojeń trzech faz na obwodzie stojana, co pokazano na Rys. 8. Zielona linia reprezentuje sobą rozkład idealny, który stanowi 1-harmoniczną rzeczywistego rozkładu pola (linia czerwona). Rysunek pokazuje rozkład pola wyznaczony dla dwuwarstwowego uzwojenia stojana umieszczonego w 36 żłobkach dla liczby par biegunów $p=2$, przy założeniu, że szczelina powietrzna jest równomierna (brak żłobkowania).



Rys. 8 Rozkład pola magnetycznego w szczelinie powietrznej maszyny asynchronicznej

Spis literatury:

- [1] Chapman Stephen J.: Electrical Machinery Fundamentals. McGraw Hill, New York 2005
- [2] Fitzgerald A. E., Kingsley Ch., Unmans S. D.: Electric Machinery. McGraw Hill Higher Education 2003
- [3] Fleszar J., Śliwińska D., Zadania z maszyn elektrycznych, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2003
- [4] Hebenstreit J., Gientkowski Z., Maszyny elektryczne w zadaniach, Wydawnictwo Akademii Rolniczo-Technicznej, Bydgoszcz 2003
- [5] Mitew E., Maszyny Elektryczne, T1, T2, Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 2005
- [6] Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk, Scott D. Sudhoff: Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. John Wiley & Sons Inc. IEEE Press Piscataway, New York 2002
- [7] Plamitzer A.: Maszyny elektryczne. WNT, Warszawa 1982
- [8] Przyborowski W., Kamiński G.: Maszyny elektryczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
- [9] Rene Le Doeuff, Mohamed El Hodi Zaim: Rotating Electrical Machines. John Wiley & Sons Inc., Hoboken 2010
- [10] Sen P. G., Principles of electric machines and Power electronics, John Wiley & Sons, Ontario 1997
- [11] Wildi Theodore: Electrical Machines, Drives and Power Systems. Pearson Education, New Jersey 2006
- [12] <http://www.noratel.com/fileadmin/content/downloads/school/3phTransformer.pdf>