

## Maszyny synchroniczne - budowa

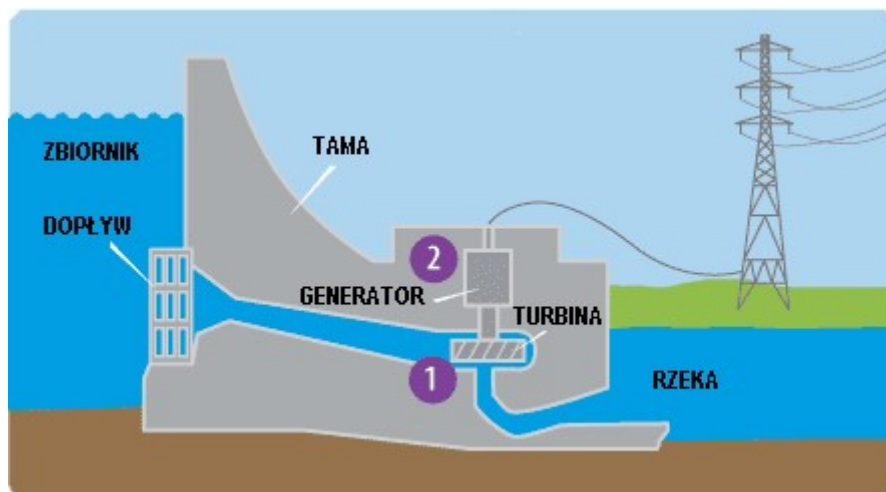
Maszyny synchroniczne używane są przede wszystkim do zamiany energii ruchu obrotowego na energię elektryczną. Pracują zatem jako generatory. W elektrowniach ciepłych używa się generatorów z wirnikiem cylindrycznym (turbogeneratorów) (Rys. 4, Rys. 5), w elektrowniach wodnych wykorzystywane są maszyny jawnobiegunowe (hydrogeneratory) (Rys. 1, Rys. 2).



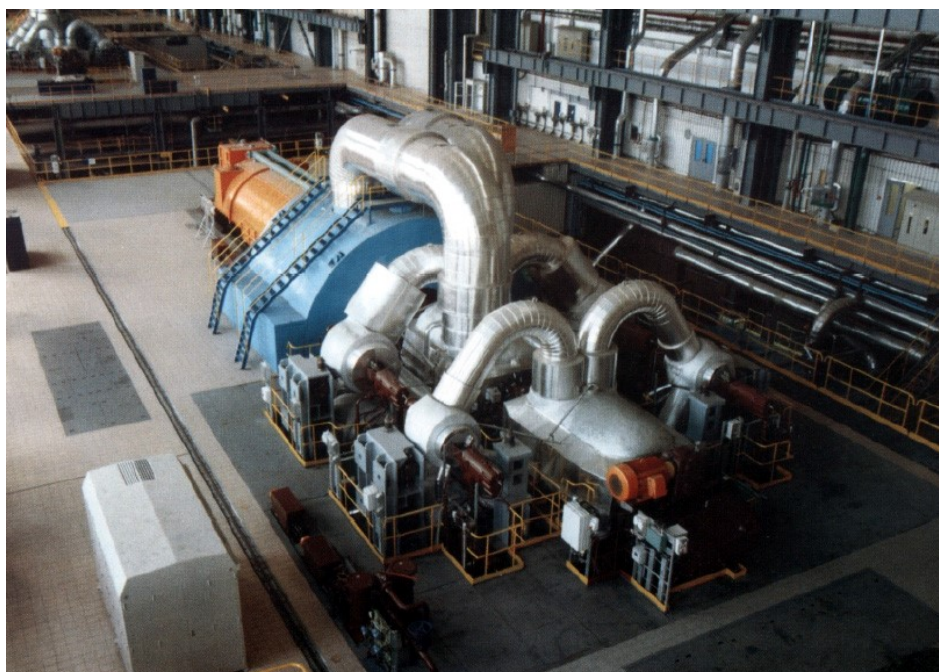
*Rys. 1 Zapora elektrowni wodnej [12]*



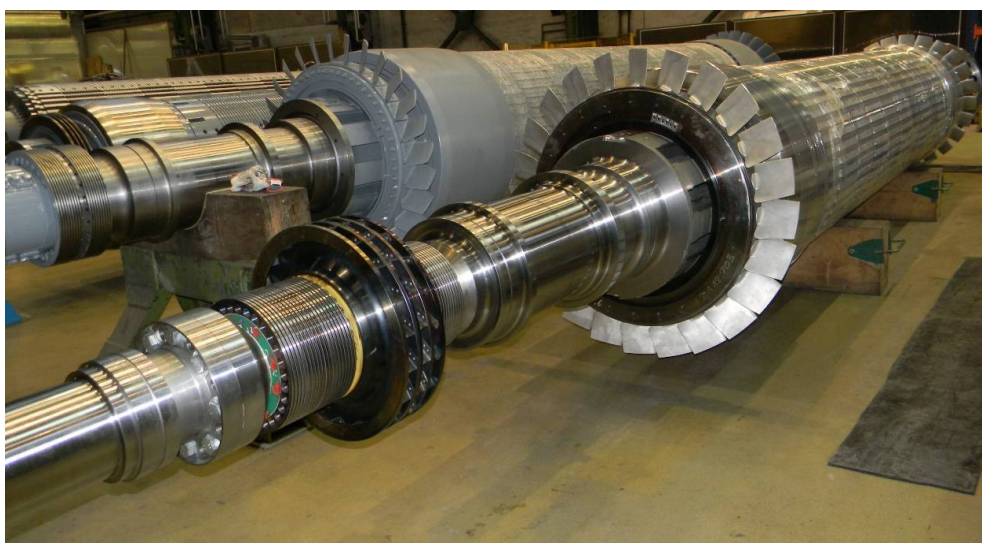
*Rys. 2 Przykład wirnik hydrogeneratora [13].*



*Rys. 3 Schemat ideowy elektrowni wodnej [12]*



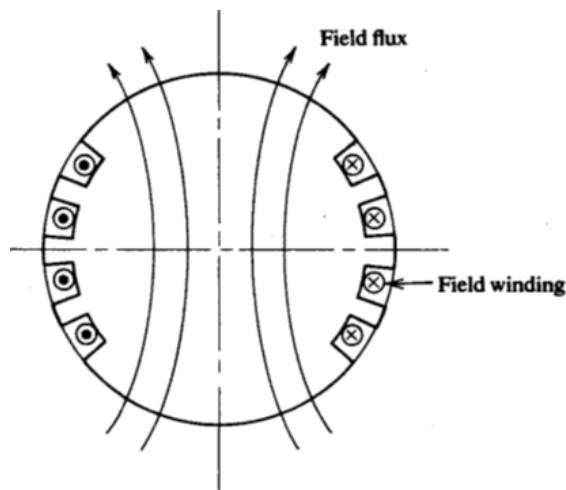
*Rys. 4 Turbina parowa i turbogenerator [14].*



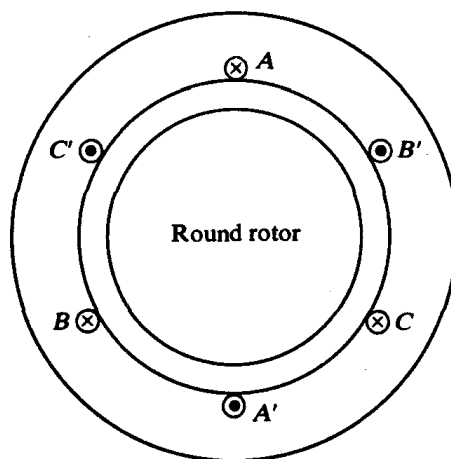
*Rys. 5 Przykład wirnik turbogenerators [12].*



Na Rys. 6 pokazano przekrój wirnika maszyny synchronicznej cylindrycznej (turbogenerators). Maszyny te pracuje z większą prędkością obrotową, wynikającą z szybkości ruchu praw wodnej wykorzystywanej do napędu turbin parowych. Zwykle maszyny takie mają dwa lub cztery bieguny (liczba par biegunów jest równa 1 lub 2). W żłobkach, umieszczonych w cylindrycznym ferromagnetycznym wirniku, ułożone jest uzwojenie wzbudzenia, którego celem jest wytworzenie stałego, względem wirującego wirnika, pola magnetycznego. Uzwojenie powinno wytworzyć pole magnetyczne o sinusoidalnym rozkładzie indukcji na obwodzie maszyny. Wirnik jest obracany ze stałą prędkością obrotową, nazywaną prędkością synchroniczną  $n_s$ .



Rys. 6 Przekrój wirnika turbogenerators [7].



Rys. 7 Trójfazowy generator cylindryczny [7].

Na skutek obrotu wirnika w trójfazowym uzwojeniu (Rys. 7) stojana indukują się napięcia, których wartość chwilowa (przy założeniu symetrii uzwojeń oraz sinusoidalnego rozkładu pola magnetycznego na obwodzie maszyny) w każdej fazie ( $u_A$ ,  $u_B$ ,  $u_C$ ) można opisać zależnościami:

$$u_A = U_m \sin(\omega t) \quad (1)$$

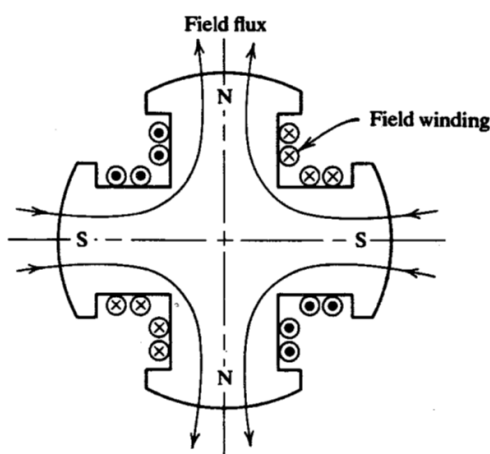
$$u_B = U_m \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (2)$$

$$u_C = U_m \sin(\omega t + 120^\circ) \quad (3)$$

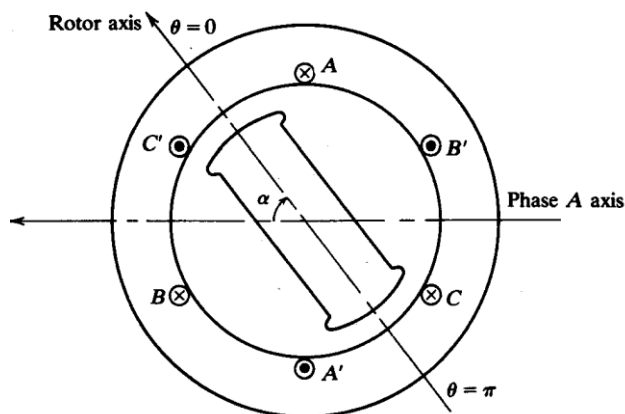
Wartość maksymalna  $U_m$  napięcia jest proporcjonalna do wartości maksymalnej indukcji, prędkości wirowania wirnika oraz liczby zwojów w poszczególnych fazach i sposobu rozłożenia uzwojeń w żłobkach stojana. Budowa stojana maszyny synchronicznej jest zatem identyczna jak w maszynie indukcyjnej. Częstotliwość napięć indukowanych zależy od prędkości wirowania wału wirnika oraz liczby par biegunów:

$$f = \frac{n_s p}{60} \quad (4)$$

W maszynie jawnobiegunowej rozkład wartości indukcji na obwodzie kształtowany jest poprzez zmianę grubości szczeliny powietrznej pomiędzy nabiegunnikami biegunów w rdzeniu stojana. Uzwojenie wzbudzenia jest wykonane w sposób zbliżony do budowy stojana maszyny prądu stałego (Rys. 8). Wirujący wirnik wytworzy zatem sinusoidalne przebiegi napięć indukowanych o wartościach chwilowych podanych równaniami (1-3). Istotną różnicą w budowie maszyny jest fakt nierównomiernej szczeliny powietrznej pomiędzy stojanem a wirnikiem hydrogeneratora. Fakt ten w znacznym stopniu utrudnia analizę pracy takich maszyn.



Rys. 8 Przekrój wirnika hydrogeneratora [7].



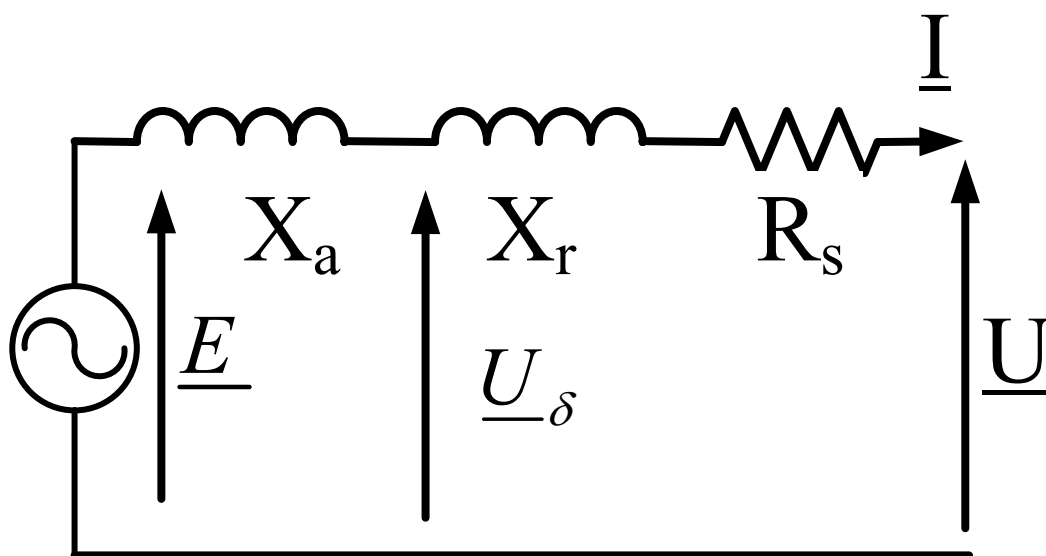
Rys. 9 Trójfazowy generator jawnobiegunowy [7].

### Schemat zastępczy maszyny cylindrycznej (turbogeneratora)

W maszynie cylindrycznej możemy przyjąć, że grubość szczeliny powietrznej pomiędzy stojanem a wirnikiem jest stała. W wyniku wirowania wirnika pojawia się napięcie w uzwojeniach stojana. Jeśli do zacisków stojana dołączymy symetryczne obciążenie w uzwojeniach stojana popłynie prąd. Prąd w trójfazowym uzwojeniu, zgodnie z prawem przepływu oraz warunkami wytworzenia wirującego pola kołowego, wytworzy pole magnetyczne, którego prędkość jest zależna (identycznie jak w maszynie indukcyjnej) od częstotliwości oraz liczby par biegunów, czyli prędkości synchronicznej:

$$n_s = \frac{60f}{p} \quad (5)$$

Ten składnik pola magnetycznego nazywany jest reakcją twornika, a wielkością używaną w modelach matematycznych jest odpowiednia wartość indukcyjności reakcji twornika  $L_a$ . W stanie ustalonym, przy znanej wartości częstotliwości używamy w opisie schematu zastępczego pojęcia reaktancji reakcji twornika  $X_a$ . Wielkość ta jest wyznaczona przez wartość napięcia indukowanego od tego składnika pola magnetycznego. Napięcie na zaciskach generatora będzie zatem skutkiem wypadkowego pola magnetycznego oraz zależy także od wartości rezystancji uzwojenia stojana oraz części pola magnetycznego, które jest wytwarzane przez prądy stojana a obejmuje swoim zasięgiem tylko uzwojenia w stojanie. Taka część strumienia skojarzonego z uzwojeniem, stojana nazywana jest odpowiednio indukcyjnością  $L_r$  oraz reaktancją  $X_r$  rozproszenia. Schemat zastępczy turbogeneratora możemy przedstawić na Rys. 10.

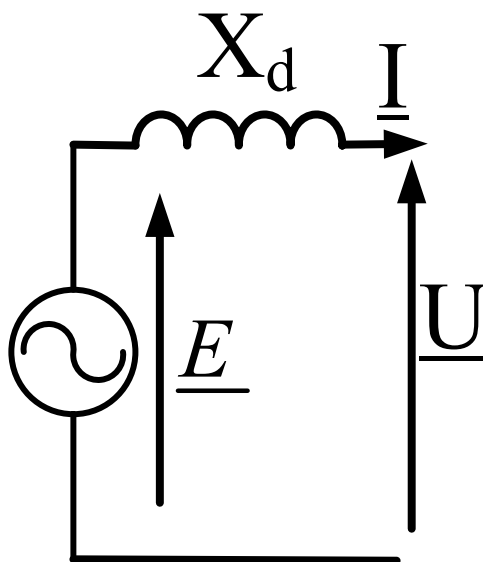


Rys. 10 Schemat zastępczy turbogeneratora.

W schemacie występują dwie reakcje połączone ze sobą szeregowo. Ich sumę nazywamy reaktancją synchroniczną  $X_d$ . Wartość tej reaktancji jest znacznie większa od wartości rezystancji uzwojenia stojana:

$$X_d = X_a + X_r \gg R_s \quad (6)$$

W związku z tym często w schemacie zastępczym pomija się wartość rezystancji uzwojenia stojana. Tak uproszczony schemat zastępczy pokazana na Rys. 11.



Rys. 11 Uproszczony schemat zastępczy turbogenerators.

#### Literatura:

- [1] Rene Le Doeuff, Mohamed El Hodi Zaim: Rotating Electrical Machines. John Wiley & Sons Inc., Hoboken 2010
- [2] Wildi Theodore: Electrical Machines, Drives and Power Systems. Pearson Education, New Jersey 2006
- [3] Chapman Stephen J.: Electrical Machinery Fundamentals. McGraw Hill, New York 2005
- [4] Fitzgerald A. E., Kingsley Ch., Unmans S. D.: Electric Machinery. McGraw Hill Higher Education 2003
- [5] 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
- [6] Sen P. C.: Principles of electric machines and power electronics. Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, John Wiley & Sons, 1998.
- [7] Syed Nasar: Electric machines and electromechanics, Schaum's outline series, McGraw Hill, New York, 1998.

- [8] Przyborowski W., Kamiński G.: Maszyny elektryczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
- [9] Mitew E., Maszyny Elektryczne, T1, T2, Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 2005
- [10] Matulewicz W., Maszyny elektryczne w elektroenergetyce, PWN, Warszawa 2005
- [11] Plamitzer A.: Maszyny elektryczne. WNT, Warszawa 1982
- [12] [http://ekologia.wojaszowka.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3&Itemid=103](http://ekologia.wojaszowka.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=103)
- [13] <http://docplayer.pl/2173613-Maszyny-elektryczne-maszyny-synchroniczne-1-prof-dr-hab-inz-tadeusz-skoczkowski.html>
- [14] [http://zsptwardogora.pl/witamy/images/stories/maszyny\\_kl2/23.Turbiny\\_parowe.pdf](http://zsptwardogora.pl/witamy/images/stories/maszyny_kl2/23.Turbiny_parowe.pdf)