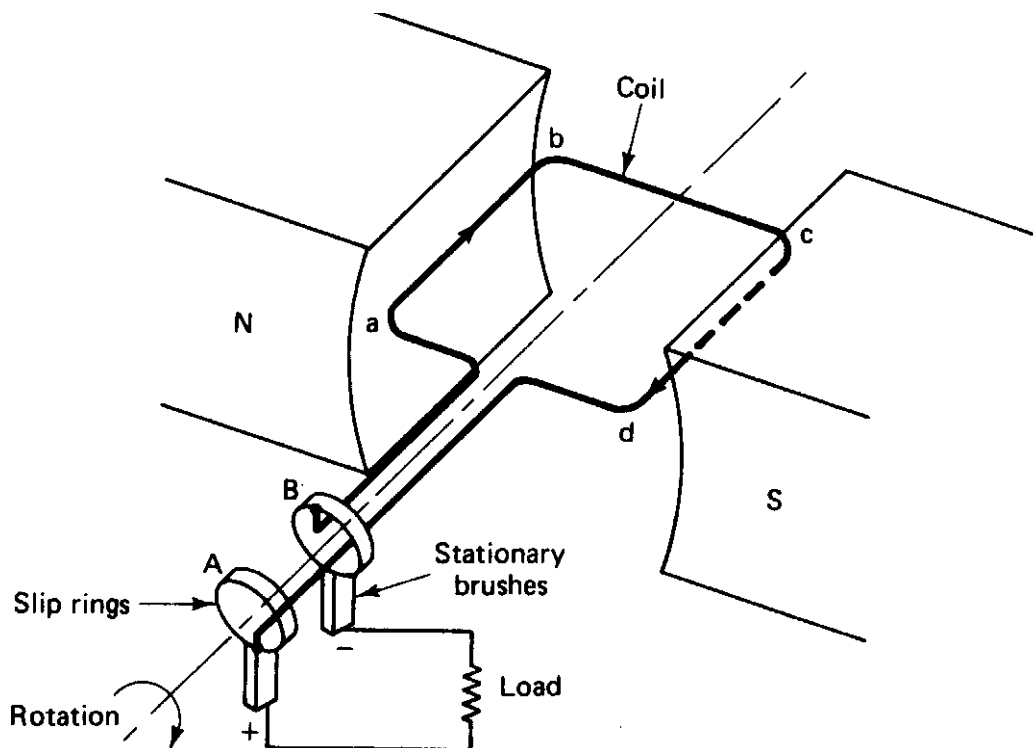
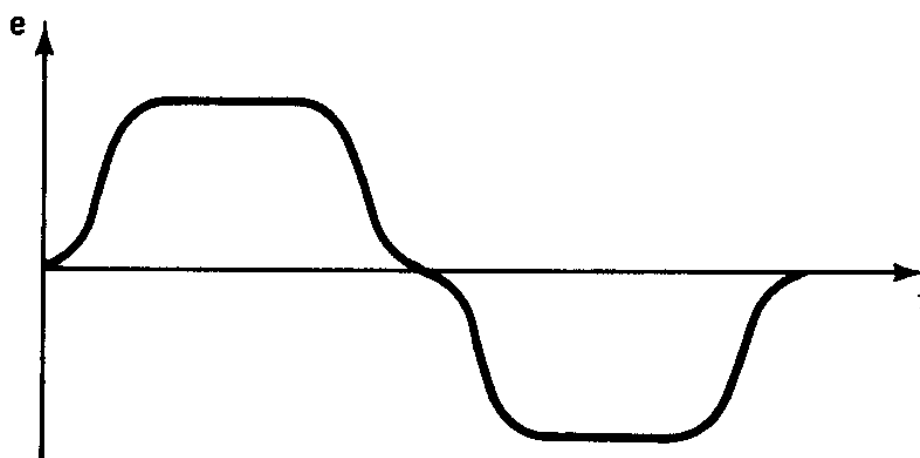


Maszyny prądu stałego - zasada działania

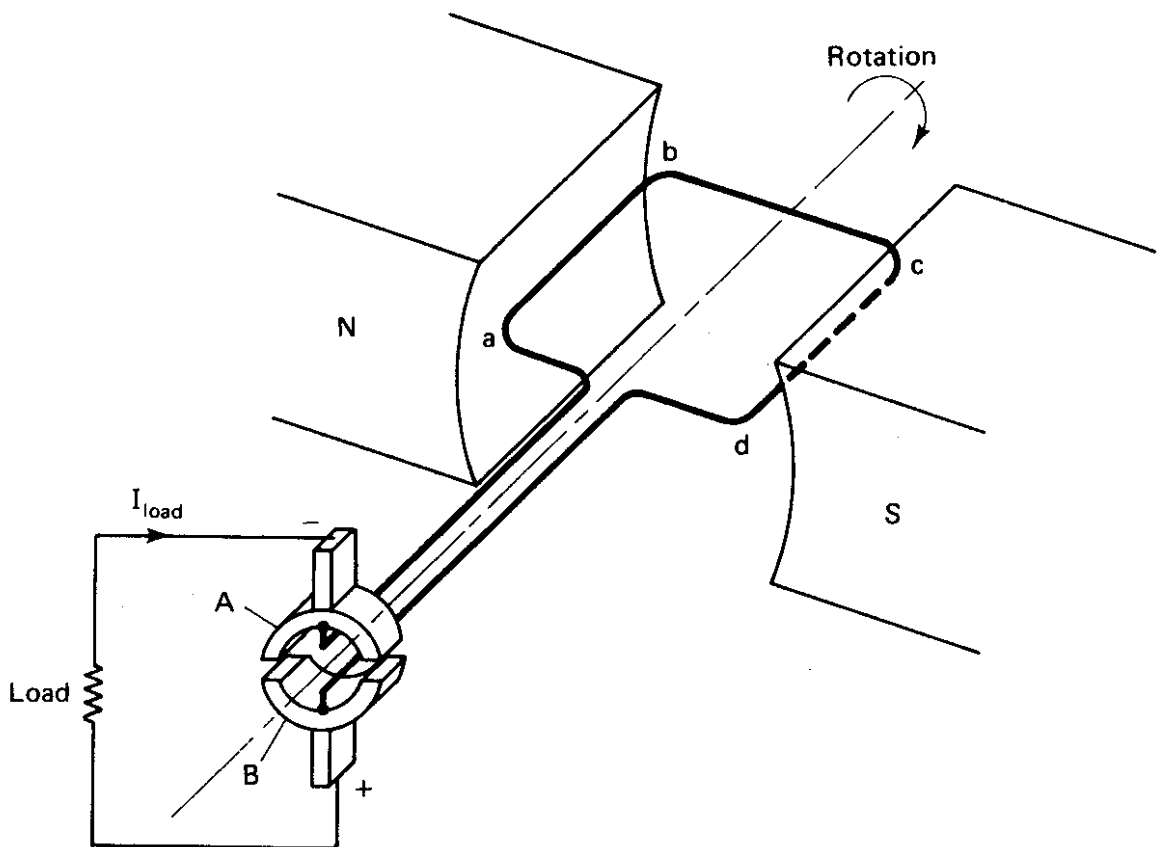
Ruch ramki w polu magnetycznym (Rys. 1) powoduje, że w ramce indukuje się napięcie. Jeśli końce ramki podłączymy do poruszających się razem z ramką pierścieni stykających się z nieruchomymi szczotkami, to napięcie na szczotkach będzie zmieniało się w sposób wynikający z rozkładu pola magnetycznego. Obrót ramki będzie powodował zatem powstanie wartości chwilowej napięcia pokazanego na Rys. 2. Uzyskujemy przemienne napięcie, które podłączone do zewnętrznego obwodu, będzie powodowało przepływ prądu przemiennego w czasie.



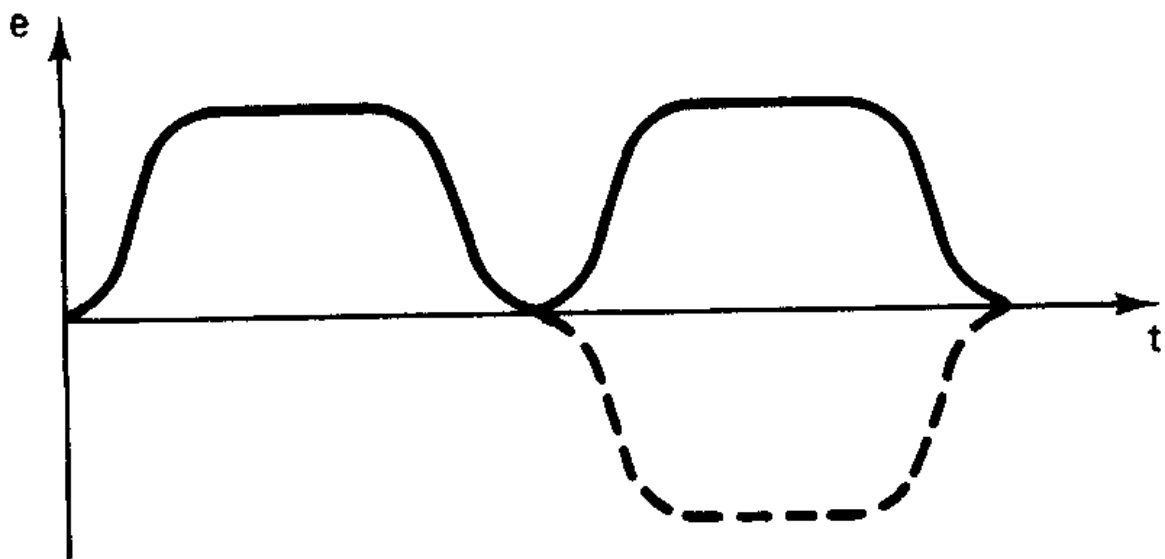
Rys. 1 Zasada działania generatora prądu przemiennego [2]



Rys. 2 Napięcie indukowane w generatorze prądu przemiennego [2].



Rys. 3 Istota działania komutatora [2].



Rys. 4 Napięcie pomiędzy szczotkami w maszynie prądu stałego [2]

W przypadku, gdy przetniemy pierścienie na dwie części i zrezygnujemy z podłączenia końcówek wirującej ramki do pierścieni na rzecz przyłączenia końcówek w sposób pokazany na Rys. 3, otrzymamy urządzenie mechaniczne, które obracając się z ramką będzie powodowało zachowanie stałego kierunku napięcia pomiędzy szczotkami. Urządzenie to nosi nazwę komutatora

i w przypadku pracy generatorowej spowoduje, że przebieg napięcia pomiędzy szczotkami będzie jednokierunkowy. Napięcie indukowane w pojedynczym pręcie ramki można przedstawić zależnością:

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

Gdzie l jest długością pręta umieszczonego w polu o indukcji B , a v wartością chwilową prędkości w ruchu liniowym, którego wartość jest zależna od prędkości kątowej ω oraz średnicy ramki D :

$$v = \omega r = \omega \frac{D}{2} \quad (2)$$

Wartość napięcia indukowanego w ramce jest wówczas równa:

$$e_t = 2Bl\omega \frac{D}{2} = BS\omega = \phi\omega \quad (3)$$

Jeśli przyjmiemy, że w rzeczywistej maszynie będziemy mieli k ramek połączonych szeregowo to przy założeniu, że każda ramka obraca się w polu magnetycznym o tej samej wartości indukcji B , wartość napięcia indukowanego w całym tworniku można wyrazić zależnością:

$$e_t = k\phi\omega \quad (4)$$

Podłączenie do szczotek obciążenia (rezystancji) spowoduje przepływ prądu elektrycznego o wartości i_t (prądu twornika). Wartość siły działająca na pojedynczy pręt ramki jest zależna od długości pręta l poruszającego się w polu i indukcji B i wartości prądu twornika:

$$F = Bi_t l \quad (5)$$

Moment elektromagnetyczny działający na ramkę jest równy:

$$M_e = FD \quad (6)$$

Otrzymamy zatem:

$$M_e = BDli_t = SBi_t = \phi i_t \quad (7)$$

W przypadku k ramek połączonych szeregowo, podobnie jak dla napięcia indukowanego, otrzymamy:

$$M_e = k\phi i_t \quad (8)$$

W rzeczywistej maszynie prądu stałego wartość indukcji w szczelinie powietrznej pomiędzy stojanem a wirnikiem nie jest wartością stałą. W praktyce występuje także znacznie większa ilość ramek, w których indukuje się napięcie. Przy pracy maszyny jako generator można porównać działanie komutatora do wielofazowego prostownika i napięcie na wyjściu jest praktycznie wartością stałą.

Przyłączenie zewnętrznego napięcia do szczotek wymusi przepływ prądu przez uzwojenie twornika. Komutator powoduje, że wartość prądu pod prętami umieszczonymi pod danym biegunem ma zawsze ten sam kierunek. Komutator pełni tu rolę falownika. W pojedynczym pręcie twornika płynie prąd o kierunku zależnym od pozycji pręta względem pola magnetycznego. Częstotliwość zmian prądu w pręcie twornika jest zatem zależna od prędkości obrotowej. Równanie obwodu twornika, zgodnie z prawami Kirchhoffa, przyjmuje w takim przypadku postać:

$$u_t = R_t i_t + e_t + L_t \frac{di_t}{dt} \quad (9)$$

Gdzie u_t jest napięciem zasilającym obwód twornika (napięcie na szczotkach), R_t jest rezystancją obwodu twornika, L_t jest indukcyjnością własną obwodu twornika a e_t jest napięciem indukowanym w uzwojeniach wirnika widzianym od strony stacjonarnej (od strony szczotek). Pole magnetyczne w maszynie może być wynikiem umieszczenia na obwodzie stojana magnesów trwałych i wówczas taką maszynę nazywamy magnetoelektryczną. Pole magnetyczne może być także wytworzone przez prąd stały płynący w elektromagnesach umieszczonych na obwodzie stojana. Taka maszyna nazywana jest maszyną o wzbudzeniu elektromagnetycznym. W takim przypadku równanie obwodu wzbudzenia można przedstawić zależnością:

$$u_w = R_w i_w + L_w \frac{di_w}{dt} \quad (10)$$

Gdzie u_w jest napięciem zasilającym obwód wzbudzenia, i_w wartością chwilową prądu, R_w jest rezystancją tego obwodu a L_w indukcyjnością własną. Równania maszyny prądu stałego należy uzupełnić o równanie dynamiki dla ruchu obrotowego:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_o = k\phi i_t - M_o \quad (11)$$

Analiza pracy maszyn prądu stałego w stanach ustalonych umożliwia uproszczenie wyprowadzonych wyżej równań, przyjmując że w stanie ustalonym prędkość nie zmienia się w czasie, wówczas:

$$J \frac{d\omega}{dt} = 0 \quad (12)$$

Moment wytworzony w maszynie (tzw. moment elektromagnetyczny M_e), jest wówczas równy momentowi obciążenia:

$$M_e = M_o = k\phi I_t \quad (13)$$

W przypadku pracy silnikowej wartość prądu płynącego w tworniku w stanie ustalonym jest wymuszona momentem obciążenia i wartością strumienia $k\phi$.

W stanie ustalonym prąd w obwodzie wzbudzenia jest wymuszony przez napięcie zasilające U_w oraz ograniczony wartością rezystancji R_w :

$$I_w = \frac{U_w}{R_w} \quad (14)$$

Napięcie indukowane w obwodzie twornika jest wynikiem różnicy napięcia zasilającego twornika oraz spadku napięcia na rezystancji w obwodzie twornika:

$$E_t = U_t - R_t I_t \quad (15)$$

Prędkość obrotową, przy pracy silnikowej, można wówczas obliczyć z zależności:

$$\omega = \frac{U_t - R_t I_t}{k\phi} \quad (16)$$

W przypadku pracy maszyny jako prądnicy prędkość obrotowa jest wymuszona przez turbinę, wówczas napięcie na zaciskach jest różnicą napięcia indukowanego w tworniku E_t oraz spadku napięcia na rezystancji w obwodzie twornika:

$$U_t = E_t - R_t I_t \quad (17)$$

$$U_t = k\Phi\omega - R_t I_t \quad (18)$$

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