ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1982
Seria: ELEKTRYKA z. 82 Nr kol. 723

Aleksander ŻYWIEC
Instytut Maszyn
i Urządzeń Elektrycznych
Politechniki Śląskiej

WPŁYW PRĄDÓW WIROWYCH NA PERMEANCJĘ OBWODU MAGNETYCZNEGO MASZYNY ELEKTRYCZNEJ

Streszczenie. Wprowadzono ogólną postać równania na permeancję operatorową obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej w warunkach nieustalonych przebiegów elektromagnetycznych, na którą wpływają prądy wirowe w rdzeniu litym o kształcie prostopadłościennym. Przedstawiono pięć wariantów aproksymacji tej permeancji. Obliczono i porównano charakterystyki częstotliwościowe permeancji obwodu magnetycznego dla różnych aproksymacji.

1. UWAGI WSTĘPNE

Obwód magnetyczny maszyn elektrycznych wzbudzanych ze źródeł prądu stałego zawiera szeregowe uwarstwienie rdzenia pakietowanego, szczelin powietrznych i rdzenia litego (bądź pakietowanego z nieizolowanych grubszych blach zwartych nitami mocującymi). Przy pracy takich maszyn w stanach zakłóceniowych występują zmiany czasowe pola magnetycznego we wszystkich warstwach ich obwodu magnetycznego. Wówczas w rdzeniu litym indukują się prądy wirowe, które wpływają na własności elektrodynamiczne maszyny. Oddziaływanie elektromagnetyczne prądów wirowych indukowanych w rdzeniu litym jest szczególnie widoczne w maszynach o największych mocach znamionowych, w których rdzeń lity ma znaczny udział w wypadkowej reluktancji obwodu magnetycznego. Dlatego koniecznością staje się opracowanie modelu matematycznego maszyn elektrycznych z litym rdzeniem, który możliwie dokładnie odwzorowywałby wpływ prądów wirowych indukowanych w litych elementach ich obwodu magnetycznego.

Badania zjawisk elektromagnetycznych zachodzących w rdzeniu litym maszyn elektrycznych są tematem szeregu prac prowadzonych w różnych ośrodkach naukowych (np. [1],...,[9] i inne). W badaniach tych można wyróżnić dwie najistotniejsze grupy zagadnień:

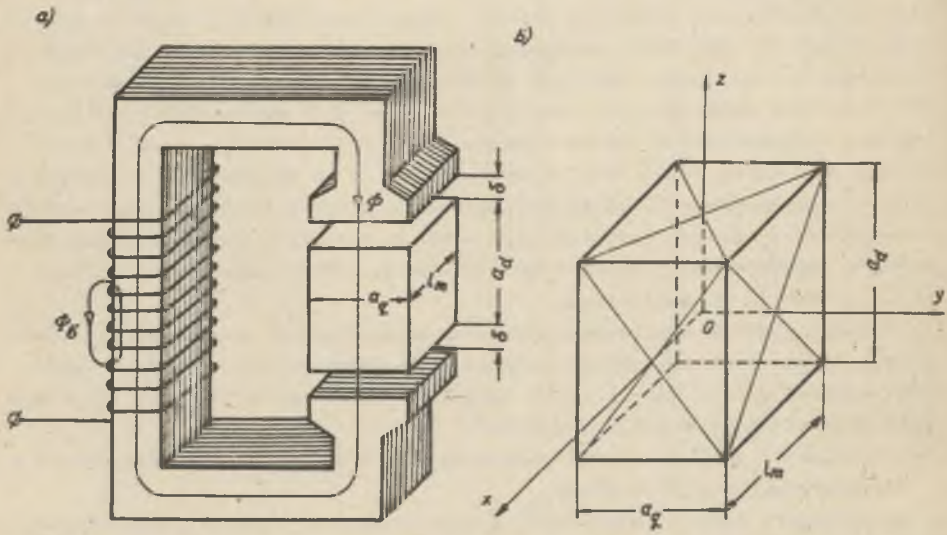
- poszukiwanie postaci równań opisujących rozkład pola magnetycznego w rdzeniu maszyny elektrycznej,
- poszukiwanie równań (dokładnych i przybliżonych) określających wypadkową reluktancję obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej z rdzeniem litym w nieustalonych warunkach pracy maszyny, w celu uwzględnienia wpływu litego rdzenia w modelu matematycznym maszyn elektrycznych.

Druga grupa zagadnień jest szczególnie istotna przy analizie przebiegów zakłóceniowych maszyn elektrycznych z rdzeniem litym. Zagadnienia te są dość skomplikowane, bowiem chcąc wyznaczyć wpływ rdzenia litego na przebiegi nieustalone maszyny, trzeba poszukiwać pełnego rozwiązania równań pola elektromagnetycznego w rdzeniu litym, przy uwzględnieniu warunków początkowych. Trudnym problemem staje się wyznaczenie funkcji określającej warunki początkowe (tzn. funkcji określającej początkowy rozkład pola elektromagnetycznego) w rdzeniu litym, w szczególności, jeśli rozpatruje się zakłócenie pracy maszyny rozpoczynające się w dowolnie wybranej chwili jeszcze trwającego stanu nieustalonego wywołanego zakłóceniem uprzednim.

W pracy niniejszej przedstawia się ogólną postać równań określających permeancje operatorowe obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej, wynikającą z pełnego rozwiązania równań pola elektromagnetycznego w rdzeniu litym. Ponadto przedstawiono porównanie różnych przybliżonych sposobów reprezentacji wpływu rdzenia litego w permeancji operatorowej maszyny.

2. OGÓLNA POSTAĆ RÓWNAŃ PERMEANCJI OBWODU MAGNETYCZNEGO MASZYNY ELEKTRYCZNEJ Z RDZENIEM LITYM PRZY UWZGLĘDNIENIU WARUNKÓW POCZĄTKOWYCH

Na rys. 1 przedstawiono uproszczony model maszyny elektrycznej, który przyjęto do analizy zjawisk elektromagnetycznych w rdzeniu litym, przy uwzględnieniu warunków początkowych. W modelu tym rdzeń lity w obwodzie ma-



Rys. 1. Model uproszczony maszyny elektrycznej z prostopadłościennym rdzeniem litym

a - szkic modelu maszyny, b - szkic wymiarowy rdzenia litego

gnetycznym maszyny jest reprezentowany za pomocą rdzenia o kształcie prostopadłościanu mającego wymiary $a_d \times a_q \times l_m$, który jest wykonany z materiału ferromagnetycznego jednorodnego o rezystywności ρ i przenikalności magnetycznej μ.

W przypadku dużej długości δ szczeliny powietrznej można przyjąć, że również w stanach nieustalonych występuje jednorodne pole magnetyczne w rdzeniu pakietowanym i w szczelinie powietrznej rozpatrywanego modelu maszyny (rys. 1). Dlatego reluktancję wypadkową szeregowego uwarstwienia rdzenia pakietowanego i szczelin powietrznych można zastąpić reluktancją $R_{m\delta z}$ zastępczej szczeliny powietrznej o długości $\delta_z > \delta$. Ponadto - przy przyjętym uproszczeniu - natężenie pola magnetycznego występujące w dowolnym punkcie płaszczyzn zewnętrznych rdzenia litego równoległych do osi z układu współrzędnych x-y-z (rys. 1) ma wartość chwilową $H_o(t)$ i jest uwarunkowane wartością siły magnetomotorycznej $\Theta(t)$ uzwojenia maszyny według relacji:

$$\Theta(t) = \Phi(t)R_{m\delta z} + a_d H_o(t), \tag{1}$$

w której $\Phi(t)$ jest wartością chwilową strumienia magnetycznego w szczelinie powietrznej.

Wewnątrz rdzenia litego maszyny pracującej w dowolnym stanie nieustalonym pole magnetyczne nie jest jednorodne, co jest konsekwencją indukowania się prądów wirowych. Rozkład przestrzenno-czasowy pola magnetycznego w rdzeniu litym rozpatrywanego modelu maszyny (rys. 1) jest opisywany następującym równaniem różniczkowym, wynikającym z równań Maxwella

$$\frac{\partial^2 H(x,y,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H(x,y,t)}{\partial y^2} = \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{\partial H(x,y,t)}{\partial t}, \tag{2}$$

w którym $H(x,y,t)$ jest wartością chwilową natężenia pola magnetycznego w dowolnym punkcie o współrzędnych x-y wewnątrz rdzenia litego.

Pełne rozwiązanie równania (2) wymaga uwzględnienia warunków brzegowych $H(x = \pm \frac{l_m}{2}, y, t) = H(x, y = \pm \frac{a_q}{2}, t) = H_o(t)$ oraz warunków początkowych $H_o(t = -0)$ na płaszczyznach zewnętrznych rdzenia litego równoległych do osi x układu współrzędnych x-y-z (rys. 1). Takie pełne rozwiązanie równania (2) przedstawiono w pracy [9] przy zastosowaniu metody operatorowej. Znając rozkład przestrzenno-czasowy (w postaci operatorowej) natężenia pola magnetycznego $H(x,y,p)$ można wyznaczyć strumień magnetyczny $\Phi(p)$ przenikający przez rdzeń lity. W efekcie otrzymuje się równanie operatorowe w postaci [9]

$$\Phi(p) = a_d H_o(p) \Lambda_{mF}(p) - a_d H_o(t=-0) \Delta \Lambda_{mF}(p), \tag{3}$$

w którym permeancje operatorowe rdzenia litego są określone następującymi szeregami:

- permeancja operatorowa $\Lambda_{mF}(p)$ rdzenia litego dla strumienia magnetycznego wywołanego zmianą przepływu uzwojenia maszyny

$$\Lambda_{mF}(p) = \mu \frac{16 a_q l_m}{a_d \pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin^2(k \frac{\pi}{2})}{k^2} \left[\frac{\mathrm{th}(\frac{l_m}{2}\sqrt{\xi_k})}{l_m \sqrt{\xi_k}} + \frac{\mathrm{th}(\frac{a_q}{2}\sqrt{\eta_k})}{a_q \sqrt{\eta_k}} \right], \tag{4a}$$

- permeancja operatorowa $\Delta\Lambda_{mF}(p)$ rdzenia litego dla strumienia magnetycznego wynikającego z niezerowych warunków początkowych

$$\Delta\Lambda_{mF}(p) = \mu \frac{p}{\varphi^2} \cdot \frac{16 a_q l_m}{a_d \pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin^2(k \frac{\pi}{2})}{k^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin^2(i \frac{\pi}{2})}{\pi} \left[\frac{C_{1ki}(t=-0)}{\xi_k + (i\frac{\pi}{l_m})^2} + \frac{C_{2ki}(t=-0)}{\eta_k + (i \frac{\pi}{a_q})^2} \right]. \tag{4b}$$

W zależnościach (4) współczynniki φ, ξ_k, η_k oblicza się z następujących wyrażeń

$$\varphi^2 = \frac{\rho}{\mu}; \quad \xi_k = \frac{p}{\varphi^2} + (k \frac{\pi}{a_q})^2; \quad \eta_k = \frac{p}{\varphi^2} + (k \frac{\pi}{l_m})^2, \tag{5a,b,c}$$

natomiast współczynniki stałe $C_{1ki}(t=-0)$ i $C_{2ki}(t=-0)$ mają wartość zależną od chwili wystąpienia zakłócenia w pracy maszyny (przyjętej jak w t=0). Wyznaczenie ogólnej postaci tych współczynników jest utrudnione, przy czym odpowiednie zasady ich obliczenia są przedstawione w pracy [9]. Jedynie w szczególnym przypadku, gdy bezpośrednio przed chwilą t=0 maszyna pracowała w stanie ustalonym, można wyznaczyć jednoznaczną wartość współczynników $C_{1ki}(t=-0)$ i $C_{2ki}(t=-0)$ i wówczas permeancja operatorowa $\Delta\Lambda_{mF}(p)$ wynika z zależności

$$\Delta\Lambda_{mF}(p) = \Lambda_{mF}(p=0) - \Lambda_{mF}(p). \tag{6}$$

Na podstawie równań (1) i (3) jest możliwe wyznaczenie permeancji operatorowych obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej z rdzeniem litym. W wyniku odpowiednich przekształceń można równanie (3) zapisać w postaci [9]

$$\Phi(p) = \Theta(p)\Lambda_m(p) + \Theta(t=-0)\,\Delta\Lambda_m(p), \tag{7}$$

przy czym poszczególne permeancje obwodu magnetycznego maszyny z rdzeniem litym są określone następującymi zależnościami:

- permeancja operatorowa dla zakłóceń wywołanych zmianą siły magnetomotorycznej uzwojenia maszyny

$$\Lambda_m(p) = \frac{1}{R_{m\delta z} + \frac{1}{\Lambda_{mF}(p)}}, \tag{8a}$$

- permeancja operatorowa dla niezerowych wartości początkowych siły magnetomotorycznej uzwojenia maszyny

$$\Delta\Lambda_m(p) = \frac{1}{R_{m\delta z} + \frac{1}{\Delta\Lambda_{mF}(p)}}. \tag{8b}$$

Uwzględniając wyrażenia (4) i (5) stwierdza się na podstawie zależności (8), że permeancje operatorowe $\Lambda_m(p)$ i $\Delta\Lambda_m(p)$ obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej z rdzeniem litym mają postać skomplikowanych szeregów nieskończonych funkcji hiperbolicznych o argumencie będącym funkcją pierwiastka operatora różniczkowania ($\sqrt{p}$). Wykonywanie obliczeń stanów nieustalonych maszyny elektrycznej z rdzeniem litym przy uwzględnieniu tak skomplikowanych równań określających permeancje obwodu magnetycznego jest wręcz niemożliwe. Dlatego uzasadnione jest poszukiwanie uproszczonych postaci równań określających te permeancje.

3. UPROSZCZONE RÓWNANIA PERMEANCJI OBWODU MAGNETYCZNEGO MASZYNY ELEKTRYCZNEJ Z RDZENIEM LITYM I ICH PORÓWNANIE

Znajomość permeancji obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej z rdzeniem litym pozwala na określenie indukcyjności operatorowych uzwojenia, które są podstawowymi parametrami zastępczymi modelu matematycznego maszyny. Uwzględnienie w równaniach stanu maszyny pełnej postaci równań określających indukcyjności operatorowe, które wynikają z uwzględnienia zależności (8) i (4), stanowi poważne utrudnienie obliczeń stanów nieustalonych maszyny. To utrudnienie wynika z faktu, że wówczas otrzymuje się operatorowe równania stanu maszyny, z których w zasadzie nie jest możliwe wyznaczenie przebiegów czasowych na podstawie odwrotnej transformacji operatorowej. Z tego powodu koniecznością staje się poszukiwanie uproszczonych postaci równań określających permeancje operatorowe obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej z rdzeniem litym.

Uproszczone równania permeancji operatorowej otrzymuje się z zależności (8) i (4) po wprowadzeniu założeń upraszczających, które wynikają z uwzględnienia:

- własności materiałów magnetycznych, z których wykonywany jest rdzeń lity rzeczywistej maszyny elektrycznej,
- dopuszczalnych przybliżeń stosowanych w matematyce przy upraszczaniu postaci równań.

W opracowaniach różnych autorów spotyka się następujące równania uproszczone permeancji operatorowej obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej z rdzeniem litym:

- uproszczenie I wynikające z założenia, że rdzeń lity jest wykonany z materiału ferromagnetycznego o dużej przenikalności magnetycznej μ i o małej rezystywności ϱ. Wówczas otrzymuje się [1], [2], [4], [9]:

$$\Lambda_m(p) \approx \frac{1}{R_m \delta z} \cdot \frac{1}{1 + \sqrt{pT_e}}, \tag{9}$$

przy czym syntetyczna stała czasowa rdzenia litego wynika z zależności

$$T_e = \frac{a_d^2}{4\mu\varrho(a_d + l_m)^2 R_m^2 \delta z}, \tag{10}$$

- uproszczenie II wynikające z aproksymacji funkcji czasowej odpowiadającej równaniu (9) za pomocą funkcji czterowykładniczej. Wówczas obowiązuje następująca zależność uproszczona [2], [4], [5], [9]:

$$\Lambda_m(p) \approx \frac{1}{R_m \delta z} \sum_{i=1}^{4} \frac{A_i}{1 + pB_i T_e}, \tag{11}$$

w której współczynniki stałe mają następujące wartości:

$$A_1 = 0{,}32; \quad A_2 = 0{,}4; \quad A_3 = 0{,}2; \quad A_4 = 0{,}08, \tag{12a}$$

$$B_1 = 0{,}05; \quad B_2 = 1{,}25; \quad B_3 = 17; \quad B_4 = 300, \tag{12b}$$

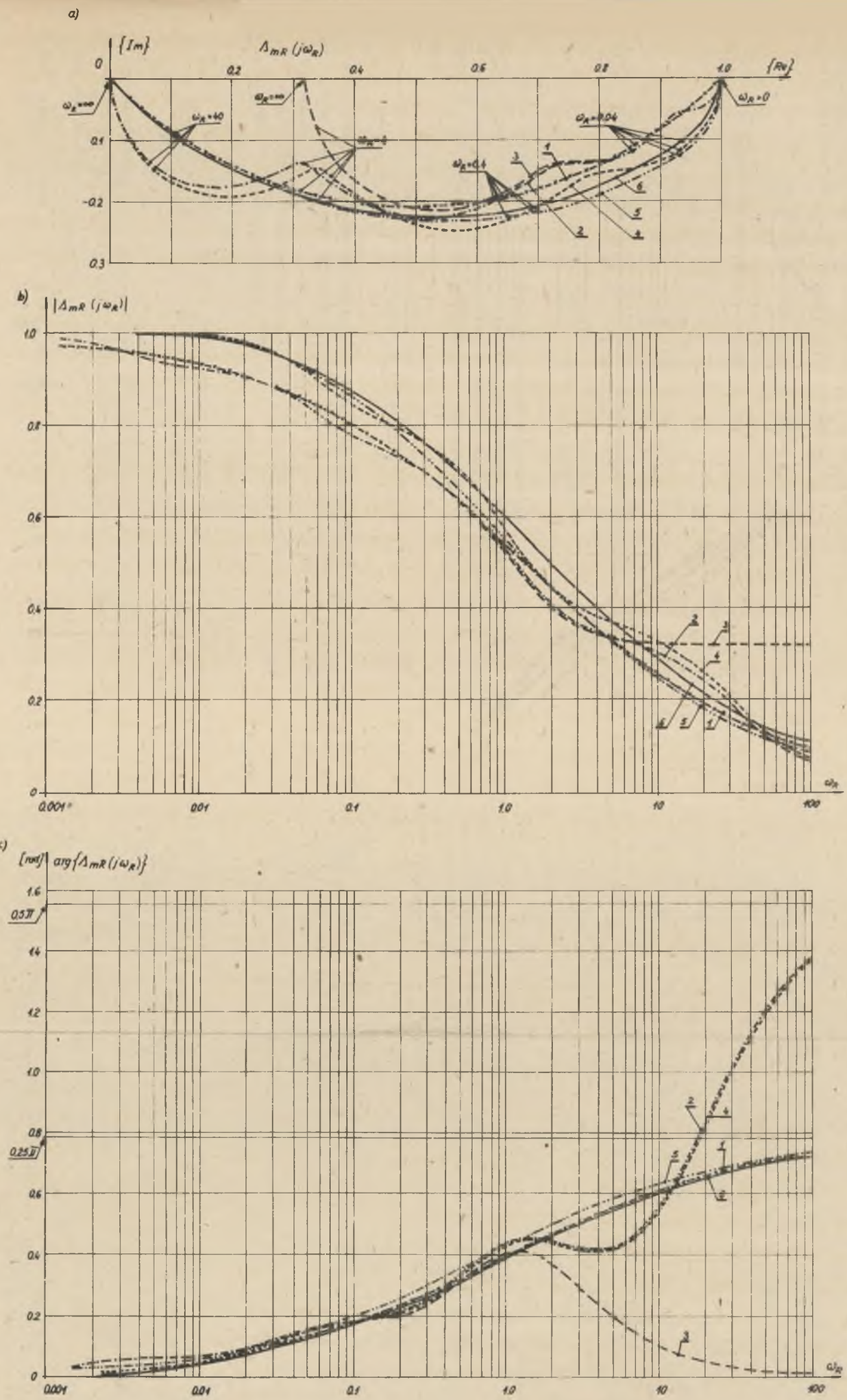
- uproszczenie III wynikające z przyjęcia, że w równaniu (11) współczynnik $B_1 = 0$ (czyli z przyjęcia, że pierwszy składnik w równaniu (11) jest bezinercyjny). Wówczas otrzymuje się [1]:

$$\Lambda_m(p) \approx \frac{1}{R_m \delta z} \left[A_1 + \sum_{i=2}^{4} \frac{A_i}{1 + pB_i T_e} \right], \tag{13}$$

przy czym współczynniki A_i i B_i wynikają z zależności (12).

Ponadto autor proponuje następujące uproszczone równania permeancji operatorowej obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej z rdzeniem litym:

- uproszczenie IV wynikające z przyjęcia w równaniu (11), że współczynnik $A_4 = 0$ (czyli z pominięcia w równaniu (11) składnika o największej stałej czasowej). Wówczas otrzymuje się:



Rys. 2. Charakterystyki częstotliwościowe permeancji obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej z rdzeniem litym: a - charakterystyki permeancji zespolonej, b - charakterystyki amplitudowe permeancji, c - charakterystyki fazowe permeancji

1 - dla uproszczenia I wg równania (9), 2 - dla uproszczenia II wg równania (11), 3 - dla uproszczenia III wg równania (13), 4 - dla uproszczenia IV wg równania (14), 5 - dla uproszczenia V wg równań (8a) i (15), 6 - wg równań (8a) i (4a) przy uwzględnieniu k = 1,2,...,21 początkowych wyrazów szeregu

$$\Lambda_m(p) \approx \frac{1}{R_m \delta_z} \sum_{i=1}^{3} \frac{A_i}{1 + pB_i T_e}, \tag{14}$$

przy czym współczynniki A_i oraz B_i wynikają z zależności (12).

- uproszczenie V wynikające z uwzględnienia w równaniach (8a) i (4a) jedynie pierwszego wyrazu szeregu oraz przyjęcia, że

$$\mathrm{th}\left(\frac{l_m}{2}\sqrt{\xi_k}\right) \approx \mathrm{th}\left(\frac{a_q}{2}\sqrt{\eta_k}\right) \approx 1 \text{ dla } k = 1.$$

Wówczas permeancja obwodu magnetycznego wynika z równania (8a), w którym

$$\Lambda_{mF}(p) \approx \mu \frac{16(a_q l_m)^2}{a_d \pi^3} \left[\frac{1}{l_m^2 \sqrt{1+pT_1}} + \frac{1}{a_q^2 \sqrt{1+pT_2}} \right], \tag{15}$$

przy czym stałe czasowe oblicza się z następujących zależności:

$$T_1 = \left(\frac{a_q}{\pi \sigma}\right)^2 \quad \text{oraz} \quad T_2 = \left(\frac{l_m}{\pi \sigma}\right)^2. \tag{16a,b}$$

W celu porównania przedstawionych równań uproszczonych, określających permeancję operatorową obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej z rdzeniem litym, wykonano obliczenia charakterystyk częstotliwościowych permeancji $\Lambda_m(j\omega)$, które wynikają z przyjęcia uproszczenia I, II,...,V, przy czym:

$$\Lambda_m(j\omega) = \Lambda_m(p = j\omega). \tag{17}$$

Ponadto wykonano podobne obliczenia na podstawie równań dokładnych (8a) i (4a), przy uwzględnieniu pierwszych k = 1,2,3,...,21 wyrazów szeregu nieskończonego.

Charakterystyki częstotliwościowe permeancji obliczono dla obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej mającej:

- rdzeń lity o wymiarach $a_d = a_q = l_m = 1$m wykonany z materiału ferromagnetycznego, dla którego $\sigma^2 = \frac{\rho}{\mu} = 1{,}25 \cdot 10^{-4}\ \frac{m^2}{s}$ oraz $\mu\rho \approx 490 \cdot 10^{-12}\ \Omega^2 s$,
- rdzeń pakietowany oraz szczeliny powietrzne o zastępczej reluktancji $R_m \delta_z = 4000\ \frac{1}{H}$.

Otrzymane charakterystyki, wyznaczone w jednostkach względnych $\Lambda_{mR}(j\omega_R)$, wykreślono na rys. 2, przy czym jako jednostki odniesienia przyjęto:

- dla permeancji: $\Lambda_{modn} = \Lambda_m(j\omega = 0)$, (18a)
- dla pulsacji: $\omega_{odn} = \frac{1}{T_e}$. (18b)

Dzięki przyjęciu takich jednostek odniesienia krzywe 1,2,3,4 (rys. 2) wynikające z równań obowiązujących dla uproszczenia I, II, III i IV, mają charakter uniwersalny, tzn. ich przebieg jest niezależny od wymiarów i od danych materiałowych obwodu magnetycznego maszyny. Niestety, taka uniwersalność nie jest spełniona dla charakterystyk 5 i 6 (rys. 2), wyznaczonych przy przyjęciu uproszczenia V oraz z równań (8a) i (4a) przy uwzględnieniu k = 1,2,...,21 wyrazów szeregu. Jeśli wymiary obwodu magnetycznego maszyny są niezmienne, to przy zmianie danych materiałowych rdzenia litego kształt charakterystyk 5 i 6 na rys. 2a nie ulega zmianie ale zmienia się skala pulsacji ω_R (i w związku z tym krzywe 5 i 6 na rys. 2b,c).

Z porównania charakterystyk częstotliwościowych permeancji operatorowej maszyny elektrycznej, wyznaczonych na podstawie przedstawionych równań uproszczonych (rys. 2), wynikają następujące wnioski zasadnicze:

- przy przyjęciu uproszczenia I (krzywa 1 na rys. 2) jest najdokładniej odwzorowywana permeancja obwodu magnetycznego rzeczywistej maszyny; świadczy o tym fakt, że na rys. 2a krzywa 6 (wynikająca z równań dokładnych (8a) i (4a) przy uwzględnieniu k = 1,2,3,...,21 wyrazów szeregu) jest lepiej zbieżna do krzywej 1 aniżeli krzywa 5 (wynikająca też z równań dokładnych, lecz przy uwzględnieniu jedynie pierwszego wyrazu szeregu),
- permeancja obwodu magnetycznego maszyny wyznaczona na podstawie równań wynikających z przyjęcia uproszczenia II, III i IV (krzywe 2,3 i 4 na rys. 2) dość znacznie różni się od permeancji rzeczywistej maszyny w szczególności w zakresie dużych wartości pulsacji ω_R,
- przyjmując uproszczenie II, III i IV popełnia się dość znaczne błędy, głównie w wartości argumentu permeancji zespolonej obwodu magnetycznego maszyny przy dużych wartościach pulsacji (krzywe 2,3, i 4 na rys. 2c); dla tych trzech uproszczeń błędy te są praktycznie tego samego rzędu.

4. UWAGI KOŃCOWE

Przy przyjęciu uproszczonej postaci równań permeancji operatorowej obwodu magnetycznego maszyny elektrycznej możliwe jest wykonywanie analizy stanów nieustalonych maszyny. Z obliczeń wykonanych przez autora wynika, że model matematyczny maszyny otrzymywany przy przyjęciu uproszczenia I według równania (9) jest przydatny jedynie do analizy stanów nieustalonych, przy zerowych warunkach początkowych, lub też przy warunkach początkowych wynikających z ustalonej pracy maszyny bezpośrednio przed chwilą wystąpienia rozpatrywanego zakłócenia. Natomiast wprowadzając równania (11) lub (13), lub (14) - odpowiadające przyjęciu uproszczenia II lub III, lub IV - otrzymuje się model matematyczny maszyny elektrycznej, umożliwiający analizę stanów nieustalonych przy uwzględnieniu dowolnych warunków początkowych.

LITERATURA

[1] Bühler H.: Einführung in die Theorie Geregelter Gleichstromantriebe. Birkhäuser Verlag Basel, Stuttgart, 1962.

[2] Glinka T.: Własności komutacyjne maszyn prądu stałego przy pulsującym bądź szybkozmieniającym się prądzie twornika. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka z. 44, 1974, s. 115.

[3] Paszek W.: Wpływ obwodów tłumiących na własności dynamiczne wzmacniacza elektromaszynowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka z. 9, 1961, ss. 63-87.

[4] Paszek W.: Beitrag zur analytischen Erfassung der Ausgleichsvorgänge von Turbogeneratoren mit massiven Läufer. Archiv fur.Elektrotechnik, Heft 61, 1979, ss. 309-325.

[5] Paszek W., Glinka T.: Wyznaczenie dynamicznej strefy beziskrowej komutacji maszyn prądu stałego na podstawie charakterystyki częstotliwości. Archiwum Elektrotechniki, t. XIX, Nr 1, 1970 ss.

[6] Paszek W., Janson Z., Rozewicz Z.: Transmitancje i funkcje przejścia turbogeneratora z litym wirnikiem. Archiwum Elektrotechniki, t. XXV, Nr 4, 1976, ss. 813-839.

[7] Żywiec A.: Identyfikacja własności elektromagnetycznych turbogeneratora przy uwzględnieniu wpływu bloku litego magneśnicy. Materiały III Międzynarodowej Konferencji Naukowej "Aktualne problemy automatyki w energetyce" t. III, Gliwice, czerwiec 1979, ss. 147-167.

[8] Żywiec A.: Wpływ bloku litego wirnika na przebiegi zakłóceniowe w maszynie synchronicznej o wzbudzeniu tyrystorowym. Przegląd Elektrotechniczny, Nr 8-9, 1980, ss. 359-364.

[9] Żywiec A.: Wpływ litego wirnika na własności elektrodynamiczne maszyny synchronicznej wzbudzanej ze źródła elektromaszynowego lub prostownikowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka z.74,1980, s. 136.

Recenzent: doc, dr. inż. Jerzy Hickiewicz

Wpłynęło do redakcji 5.IV.1982 r.

ВЛИЯНИЕ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ НА МАГНИТНУЮ ПРОВОДИМОСТЬ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ (КОНТУРА) ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Р е з ю м е

В работе дан вывод общей формы уравнения операторной магнитной проводимости магнитной цепи электрической машины в условиях электромагнитных переходных процессов, на которую влияют вихревые токи возбуждаемые во сплошном (массивном) сердечнике обладающим формой параллелепипеда. Предложено пять вариантов аппроксимации этой магнитной проводимости. Расчитаны и сравнены частотные характеристики магнитной проводимости цепи для разных аппроксимаций.

INFLUENCE OF EDDY CURRENT REACTION ON THE MAGNETIC PERMEANCE OF AN ELECTRICAL MACHINE

S u m m a r y

The general form of the operational permeance of the magnetic circuit in an electrical machine under consideration of the eddy current reaction in square shaped solid core was derived. Five approximations for the magnetic permeance were presented. The amplitude-phase frequency characteristics for different approximations were computed and compared.