ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 52 ELEKTRYKA z.12 1962

WIESŁAW GABRYŚ

Katedra Napędu Elektrycznego

UPROSZCZONA ANALIZA STANÓW NIEUSTALONYCH AMPLIDYNY

Streszczenie: W pracy podano prosty sposób określenia stopnia równania charakterystycznego dowolnego układu równań różniczkowych pierwszego rzędu na podstawie rozmieszczenia operatora p w macierzy. Zastosowanie tej metody do analizy stanów nieustalonych amplidyny prowadzi do wniosku, że przy pominięciu strumieni rozproszenia otrzymujemy zawsze równanie charakterystyczne stopnia drugiego niezależnie od liczby obwodów elektrycznych w obu osiach i ich wzajemnych sprzężeń. Podano przykłady obliczenia zastępczej stałej czasowej.

1. Wstęp

Analiza stanów nieustalonych amplidyny jest przedmiotem licznych publikacji, co tłumaczy się szerokim zastosowaniem tej maszyny jako wzmacniacza w nowoczesnych zautomatyzowanych układach napędowych. W większości prac analiza ta ogranicza się do rozwiązania i dyskusji układu dwóch liniowych równań różniczkowych pierwszego rzędu, odpowiadających, w przypadku maszyny nieobciążonej, dwóm obwodom elektrycznym na pierwszym i drugim stopniu wzmocnienia.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie uproszczonej analizy stanów nieustalonych amplidyny o nienasyconym obwodzie magnetycznym i nieobciążonej, jednak z uwzględnieniem większej liczby obwodów elektrycznych w obu osiach i wzajemnych sprzężeń pomiędzy nimi.

Analiza tego rodzaju pozwala na uzyskanie funkcji przejścia amplidyny w zależności od parametrów dowolnej liczby uzwojeń rzeczywistych, bądź też od innych czynników (np. prądy wirowe, wychylenie szczotek z osi obojętnej), których wpływ można zastąpić przez wprowadzenie do schematu odpowiednio dobranych umyślonych uzwojeń skupionych.

Analiza maszyny obciążonej stanowi zagadnienie odrębne, ponieważ dotyczy układu złożonego z dwóch członów: amplidyny i odbiornika. Niniejsza praca nie obejmuje analizy stanów nieustalonych amplidyny obciążonej, tym niemniej wyniki rozważań ogólnych mogą być przy takiej analizie również wykorzystane.

2. Schemat zastępczy i układ równań

Jako podstawę dla wyjściowego układu równań przyjmujemy elektromagnetyczny schemat zastępczy, uwidoczniony na rys.1. Oznaczenie zwojów i oporności poszczególnych uzwojeń na schemacie:

z_s, R_s - uzwojenie sterujące

z_{tw}, R_{tw} - uzwojenie twornika

z_q, R_{qq} - uzwojenie poprzeczne stojana

z_{qd}, R_{qd} - uzwojenie sprzęgające umieszczone w osi podłużnej i włączone szeregowo do obwodu poprzecznego

z_{dd}, R_{dd} - dodatkowe uzwojenie twornika ze zwartymi szczotkami podłużnymi

z_{wd}, z_{wq}, R_{wd}, R_{wq} - uzwojenia zwarte stojana umieszczone w osi podłużnej i poprzecznej

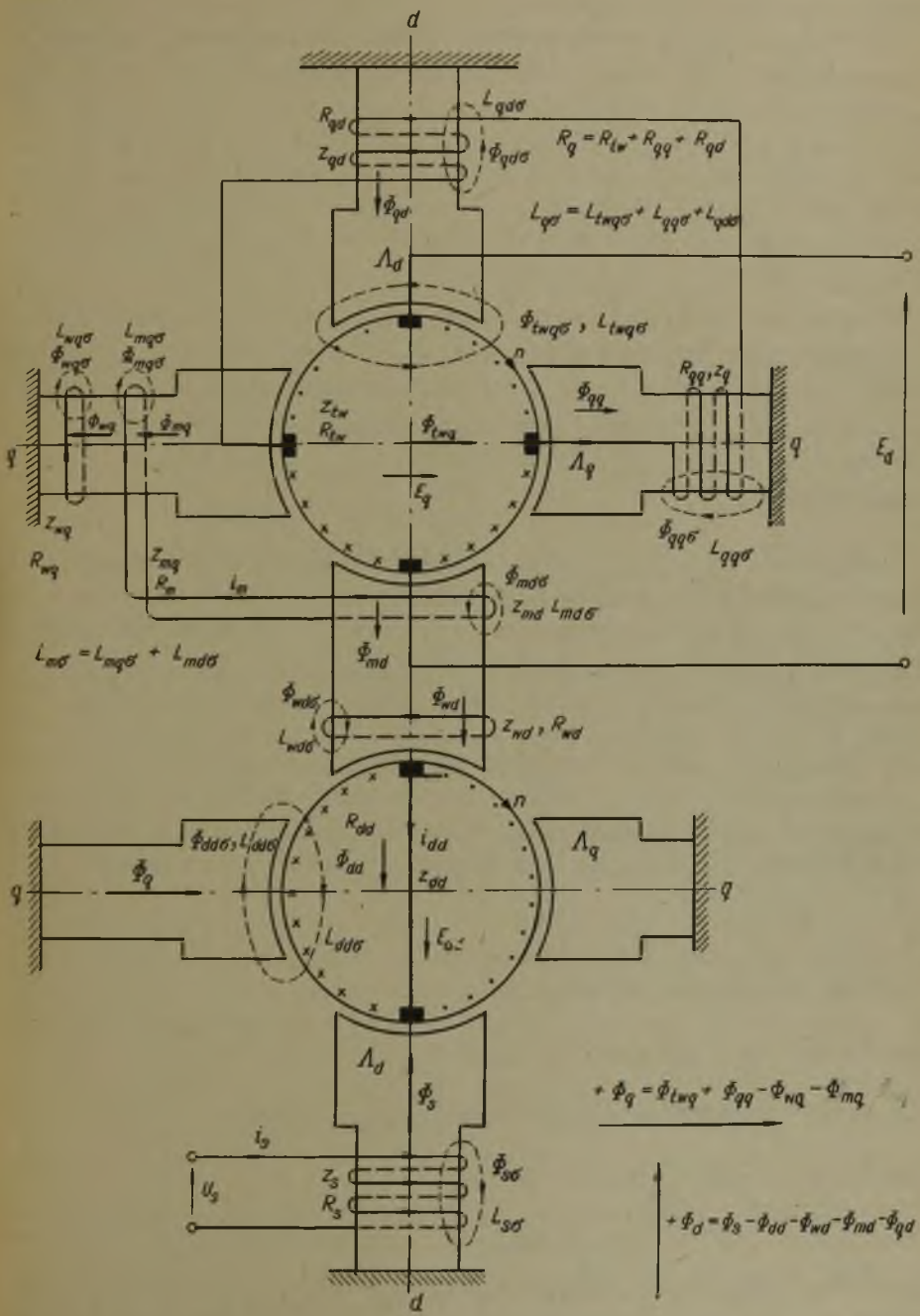
z_{md}, z_{mq}, R_m - dodatkowe uzwojenia zwarte stojana, połączone elektrycznie.

Dla przejrzystości rysunku uzwojenie z_{dd} narysowano na osobnym tworniku. Obwód magnetyczny w osi poprzecznej jest więc na schemacie powtórzony dwukrotnie.

Szkic obwodu magnetycznego na schemacie ma znaczenie czysto formalne (zaznaczenie przewodności $\Lambda_d = \frac{1}{R_{\mu d}}$ i $\Lambda_q = \frac{1}{R_{\mu q}}$). Obwodu tego nie należy utożsamiać z obwodem w maszynie rzeczywistej.

Strumienie i indukcyjności rozproszenia poszczególnych uzwojeń oznaczono na schemacie indeksem "σ",

Uzwojenia na schemacie zastępczym mogą być uzwojeniami rzeczywiście nawiniętymi, bądź też mogą być rozpatrywane, jako uzwojenia umyślone, zastępujące oddziaływania i sprzę-



Rys.1. Schemat zastępczy nieobciążonej maszyny z polem poprzecznym do ogólnych rozważań dynamicznych

żenia magnetyczne, spowodowane różnymi zjawiskami ubocznymi. Omówimy krótko najważniejsze.

Uzwojenie z_{qd} może reprezentować oddziaływanie zezwojów komutujących Θ_{zk} oraz oddziaływanie podłużne Θ_{α}, powstające przy wychyleniu szczotek poprzecznych z osi obojętnej. W rozważaniach przybliżonych można przyjąć, że oba te oddziaływania są proporcjonalne do prądu poprzecznego (przy komutacji opóźnionej i wychyleniu szczotek w kierunku wirowania oba oddziaływania są zgodne i liczbę zwojów z_{qd} wyznaczamy z zależności $z_{qd} \cdot I_q = \Theta_{zk} + \Theta_{\alpha}$).

Dodatkowym uzwojeniem twornika z_{dd} można się posłużyć do zastąpienia oddziaływania histerezowego i prądów wirowych żelaza twornika Θ_{Fe} (przy upraszczającym założeniu [3,4,7] proporcjonalności między tym oddziaływaniem i strumieniem poprzecznym dobieramy liczbę zwojów z_{dd} i oporność R_{dd} z warunków: $E_{dd} = C_{Ed} \cdot \Phi_q$, $\frac{z_{dd}}{R_{dd}} \cdot E_{dd} = \Theta_{Fe}$).

Uzwojenia z_{wd} i z_{wq} mogą zastąpić tłumiące działanie prądów wirowych stojana w osi poprzecznej i podłużnej, a połączone szeregowo uzwojenia z_{md} i z_{mq} - transformatorowe sprzężenie między poprzeczną i podłużną osią magnetyczną, występujące w maszynie rzeczywistej np. za pośrednictwem prądów wirowych stojana przy niesymetrii oporów magnetycznych liczonych wzdłuż osi połówek biegunów amplidyny [3]

Schematowi wg rys.1 odpowiada poniższy układ równań, wypisany w postaci operatorowej w założeniu zerowych warunków początkowych i skokowego przebiegu napięcia sterującego $U_s(t) = U_s \cdot 1(t)$:

$$\left.\begin{aligned}
& z_s\, p\, \Phi_d + L_{s\sigma}\, p i_s + R_s i_s = U_s \\
& -z_{qd}\, p\, \Phi_d + (z'_{tw}+z_q) p\, \Phi_q + L_{q\sigma}\, p \cdot i_q + R_q \cdot i_q = C_{Eq} \cdot \Phi_q \\
& -z'_{dd}\, p\, \Phi_d + L_{dd\sigma}\, p i_{dd} + R_{dd} \cdot i_{dd} = C_{Edd} \cdot \Phi_q \\
& -z_{wd}\, p\, \Phi_d + L_{wd\sigma}\, p \cdot i_{wd} + R_{wd} \cdot i_{wd} = 0 \\
& -z_{wq}\, p\, \Phi_q + L_{wq\sigma}\, p\, i_{wq} + R_{wq} \cdot i_{wq} = 0 \\
& -z_{md}\, p\, \Phi_d - z_{mq}\, p\, \Phi_q + L_{m\sigma}\, p i_m + R_m\, i_m = 0 \\
& \Phi_d = (z_s\, i_s - z_{dd}\, i_{dd} - z_{wd} \cdot i_{wd} - z_{md} \cdot i_m - z_{qd} \cdot i_q) \cdot \Lambda_d \\
& \Phi_q = \left[(z_{tw}+z_q) i_q - z_{wq} \cdot i_{wq} - z_{mq} \cdot i_m\right] \cdot \Lambda_q
\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Ponieważ przy stałej prędkości wirowania $E_d = C_{Ed} \cdot \Phi_q$, więc jako funkcję przejścia amplidyny możemy uważać przebieg czasowy strumienia poprzecznego Φ_q, otrzymany w wyniku rozwiązania układu (1).

Oznaczenie i znaki w układzie równań (1) odpowiadają oznaczeniom i strzałkom kierunkowym na schemacie (1) i nie wymagają objaśnień, natomiast na bliższe omówienie zasługują zastępcze liczby zwojów skupionych wprowadzone w miejsce rozłożonych uzwojeń twornika.

W układzie równań występują dwie różne wartości zastępczej liczby zwojów skupionych, a mianowicie:

z_{tw} - zastępcza "strumieniowa" liczba zwojów skupionych, obliczona z zależności $\Phi = \Lambda \cdot z_{tw} \cdot i_{tw}$, gdzie Φ jest strumieniem wzbudzonym przez przepływ uzwojenia rozłożonego, a Λ przewodnością obwodu magnetycznego, obliczoną dla uzwojenia skupionego,

z'_{tw} - zastępcza "indukcyjnościowa" liczba zwojów skupionych, odpowiadająca zależności $e = z'_{tw}\, p\, \Phi$, gdzie e jest to SEM transformacji indukowana w uzwojeniu rozłożonym przez zmiany strumienia Φ.

Współczynniki równania charakterystycznego układu równań (1) przybiorą zatem postać wyrażeń, zawierających obie wartości zastępczych liczb zwojów z_{tw} i z'_{tw} oraz przewodność Λ. To samo dotyczy dodatkowego uzwojenia twornika (z_{dd} i z'_{dd}).

Aby poprawnie zinterpretować fizykalny sens tych współczynników należy wprowadzić do wzorów na indukcyjności uzwojeń rozłożonych obie omówione powyżej liczby zwojów skupionych. Stosując taką formę zapisu znajdujemy np. następujące wyrażenie dla wypadkowej indukcyjności rozłożonego uzwojenia twornika i skupionego uzwojenia poprzecznego stojana połączonych szeregowo [3]:

$$L_q = (z'_{tw} \pm z_q)(z_{tw} \pm z_q) \cdot \Lambda_q \qquad (2)$$

przy czym

$$z_{tw} = \frac{N}{8ap}, \quad z'_{tw} = \frac{(1 + 0{,}33\, \alpha_i^2)\, z_{tw} \pm z_q}{z_{tw} \pm z_q} \qquad (3)$$

We wzorach (2) i (3) znak "+" dotyczy uzwojeń magnesujących zgodnie, a znak "-" uzwojeń magnesujących przeciwsobnie.

Oznaczenia w (2) i (3): N,a - liczba prętów i par gałęzi równoległych uzwojenia twornika, p - liczba par biegunów, α_τ - współczynnik łuku biegunowego.

W ogólnym przypadku równanie charakterystyczne układu (1) będzie zawierać operator p w potędze szóstej (w układzie mamy 6 równań rzędu pierwszego). Rozwiązanie takiego równania na liczbach ogólnych jest niewykonalne, Rozwiązanie niektórych zagadnień ze stanów nieustalonych, np. badanie stabilności maszyny metodami stosowanymi dla układów automatyki nie wymaga co prawda rozwiązywania równania charakterystycznego, jednak może być wykonane tylko po uprzednim podstawieniu szczegółowych wartości współczynników przy wszystkich potęgach operatora "p". Dla rozważań wstępnych wskazane jest w wielu wypadkach takie uproszczenie układu równań, by uzyskać możliwość dyskusji na liczbach ogólnych. W zasadzie jest to możliwe przy równaniu charakterystycznym stopnia drugiego lub co najwyżej trzeciego (pomijamy przypadki szczególne, np. równanie dwukwadratowe).

O możliwościach obniżenia stopnia równania charakterystycznego można wnioskować na podstawie rozmieszczenia parametru "p" w macierzy współczynników lewej strony układu równań.

3. Określenie największej potęgi parametru "p" w równaniu charakterystycznym układu liniowych równań różniczkowych

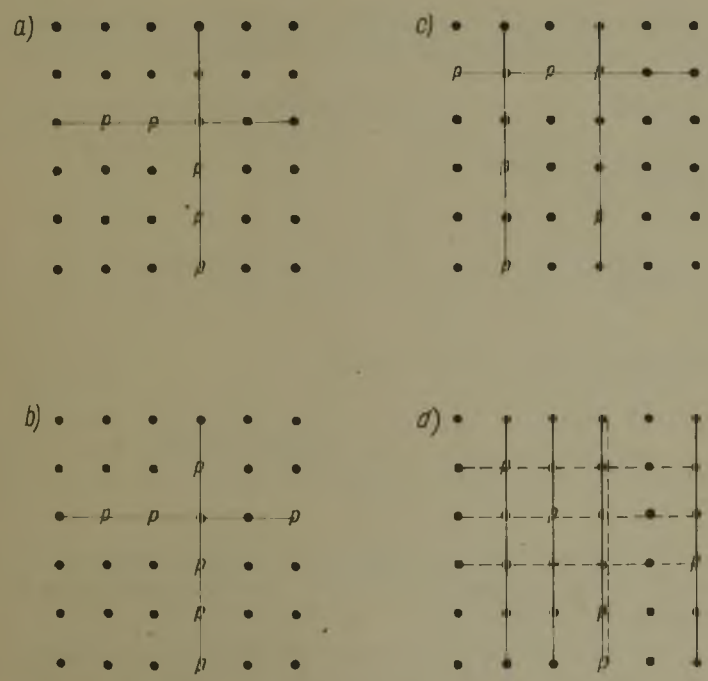
Rozważania przeprowadzimy dla układu równań różniczkowych liniowych rzędu pierwszego. Celem ułatwienia zwięzłego sformułowania twierdzenia i dowodu oraz uproszczenia objaśnień graficznych posłużymy się pojęciem "siatki macierzy" pod którym rozumiemy tablicę otrzymaną z rozważanej macierzy w ten sposób, że wszystkie elementy macierzy nie zawierające interesującego nas parametru "p" zastępujemy kropkami (lub innym umownym znakiem), a w miejscach elementów, zawierających ten parametr wpisujemy samą literę "p".

Można sformułować i udowodnić twierdzenie następującej treści: największa możliwa wartość wykładnika potęgowego parametru "p", występującego w wyznaczniku det $\boxed{A}$ jest równa najmniejszej liczbie linii równoległych do boków macierzy, przy pomocy których można całkowicie wykreślić parametr "p" z powierzchni macierzy $\boxed{A}$.

Dowód powyższego twierdzenia: rozwijamy wyznacznik det $\boxed{A}$ według kolumn i wierszy wzdłuż których wykreślono parametr "p" z macierzy $\boxed{A}$. Każde kolejne rozwinięcie usuwa jedną linię równoległą do boku macierzy $\boxed{A}$ i zawierającą "p" ze wszystkich minorów poprzedniego rozwinięcia. W wyniku kolejnych rozwinięć w ilości równej najmniejszej liczbie linii równoległych do boków i wykreślających "p" z macierzy, otrzymamy rozwinięcie det $\boxed{A}$ z minorami pozbawionymi parametru "p", który natomiast pojawi się we współczynnikach niektórych minorów w potędze równej co najwyżej liczbie wszystkich wykonanych rozwinięć.

Należy zwrócić uwagę, że twierdzenie dotyczy największej możliwej potęgi "p". W przypadkach szczególnych niektóre z minorów wyznacznika det $\boxed{A}$ mogą być równe zeru i wykładnik potęgowy parametru "p" może być mniejszy od najmniejszej liczby linii wykreślających "p" z "siatki macierzy".

Jako ilustrację do stosowania omówionego twierdzenia mogą służyć przykłady różnego rozmieszczenia parametru "p" na siatkach macierzy kwadratowych, uwidocznione na rys.2.



Rys.2. Przykłady wykreślania parametru "p" z siatek macierzy kwadratowych przy użyciu najmniejszej liczby linii równoległych do boków siatki

4. Zastosowanie twierdzenia o potedze parametru p do uproszczenia układu równań (1)

Macierz kwadratową (4) współczynników lewej strony układu równań (1) można wypisać w postaci pokazanej na rys.3.

Na rys.4 uwidoczniono rozmieszczenie parametru "p" na siatce macierzy (4), z którego wynika, że pominięcie wszystkich indukcyjności rozproszenia umożliwia analizę stanów nieustalonych przy pomocy równania kwadratowego. Wprowadzenie do układu równań (1) jakiegokolwiek współczynnika indukcyjności rozproszenia podnosi o jedność stopień równania charakterystycznego.

Ponieważ strumienie rozproszenia w amplidynie są małe w porównaniu do strumieni głównych, więc omówione uproszczenie obniży dokładność obliczeń szczegółowych w granicach dopuszczalnych. Jako przykład zastosowania analizy uproszczonej może posłużyć wyprowadzenie wzoru na zastępczą stałą czasową przy pominięciu strumieni rozproszenia

5. Określenie zastępczej stałej czasowej amplidyny jako funkcji stałych czasowych poszczególnych uzwojeń

Jeżeli ograniczymy się do przebiegów apariodycznych, to zastępczą stałą czasową funkcji czasowej f(t) możemy wyrazić znanym wzorem [3,4,7,10]:

$$T_z = \frac{1}{f(\infty) - f(-0)} \int_0^\infty [f(\infty) - f(t)]\, dt \qquad (5)$$

lub równowartym wzorem operatorowym

$$T_z = \frac{1}{F(0) - f(-0)} \lim_{p \to 0} \frac{F(0) - F(p)}{p} \qquad (6)$$

gdzie F(p) jest transformatą Laplace-Carsona funkcji f(t), $f(\infty)$ wartością ustaloną, a f(-0) lewostronną granicą tej funkcji w punkcie t = 0.

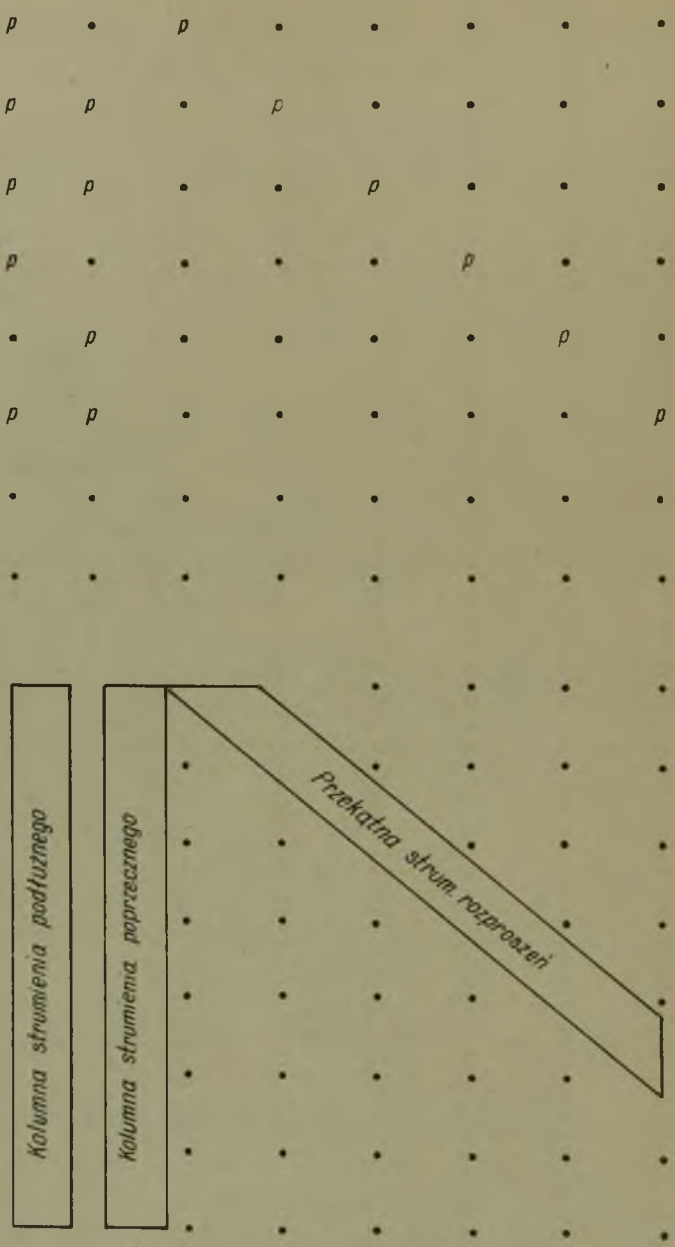
Jeżeli mianownikiem operatorowej funkcji przejścia jest trójmian kwadratowy, to dla przypadku

$$F(p) = \frac{dp + e}{ap^2 + bp + c} \qquad (7)$$

$+z_s p$	0	$+(L_{s\sigma}p+R_s)$	0	0	0	0	0
$-(z_{qd}p+C_{Eq})$	$+z'_q p$	0	$+(L_{q\sigma}p+R_q)$	0	0	0	0
$-z'_{dd}p$	$+(z_{dq}p-C_{Ed})$	0	0	$+(L_{d\sigma}p+R_{dd})$	0	0	0
$-z_{wd}p$	0	0	0	0	$+(L_{wd\sigma}p+R_{wd})$	0	0
0	$-z_{wq}p$	0	0	0	0	$+(L_{wq\sigma}p+R_{wq})$	0
$-z_{md}p$	$-z_{mq}p$	0	0	0	0	0	$+(L_{m\sigma}p+R_m)$
$+R_{\mu d}$	0	$-z_s$	$+z_{qd}$	$+z_{dd}$	$+z_{wd}$	0	$+z_{md}$
0	$+R_{\mu q}$	0	$-(z_{tw}+z_q)$	0	0	$+z_{wq}$	$+z_{mq}$

Rys.3. Macierz kwadratowa (4) układu równań (1)

Uwaga: przez z'_q oznaczono sumę $z'_{tw}+z_q$.



Rys.4. Rozmieszczenie parametru "p" w siatce macierzy (4): a) rozmieszczenie "p", b) oznaczenie linii zawierających "p"

otrzymujemy

$$T_z = \frac{b}{c} - \frac{d}{e} \tag{8}$$

a przy $d = 0$ będzie $T_z = \frac{b}{c}$.

Dla przykładu obliczymy zastępczą stałą czasową amplidyny przy pominięciu wpływu prądów wirowych stojana. Układ równań (1) pomniejszy się wtedy o trzy równania dotyczące zwartych zwojów stojana.

Zaniedbując indukcyjności rozproszenia i wprowadzając w miejsce strumieni głównych Φ_d i Φ_q zastępcze prądy magnesujące $i'_{\mu d}$ i $i'_{\mu q}$ możemy układ równań (1) zapisać w następującej postaci macierzowej

$$\begin{vmatrix} +1 & 0 & -1 & +1 & +1 \\ 0 & +1 & 0 & -k_q & 0 \\ +T_s p & 0 & +1 & 0 & 0 \\ -(k_q T_{qd} p + K'_{i1}) & +T_q p & 0 & +k_q & 0 \\ -T_{dd} p & -K'_{id} & 0 & 0 & +1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i'_{\mu d} \\ i'_{\mu q} \\ i_s \\ i'_q \\ i'_{dd} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ U_s/R_s \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \tag{9}$$

W układzie (9) oznaczają:

$i'_{\mu d} = \Phi_d / \Lambda_d \cdot z_s$, $i'_{\mu q} = \Phi_q / \Lambda_q \cdot z_s$ – zastępcze prądy magnesujące w osi podłużnej i poprzecznej

i_s, $i'_q = \frac{z_{qd}}{z_s} i_q$, $i'_{dd} = \frac{z_{dd}}{z_s} \cdot i_{dd}$ – prądy: uzwojenia sterującego, obwodu poprzecznego i dodatkowego uzwojenia twornika.

Wszystkie prądy zredukowano na liczbę zwojów uzwojenia sterującego z_s.

Stałe czasowe: $T_s = L_s/R_s$ - uzwojenia sterującego, $T_q = L_q/R_q$ - uzwojeń poprzecznych, $T_{qd} = L_{qd}/R_q$ - cewki sprzęgającej z_{qd}, $T_{dd} = L_{dd}/R_{dd}$ - dodatkowego uzwojenia twornika.

Stałe T_q i T_{qd} są odniesione do całkowitej oporności obwodu poprzecznego $R_q = R_{tw} + R_{qq} + R_{qd}$.

$k_q = (z_{tw} + z_q)/z_{qd}$ - współczynnik redukujący

$K'_{i1} = \frac{z_{qd}}{z_s} k_q . K_{i1}$ - zredukowany współczynnik wzmocnienia prądowego na pierwszym stopniu w amplidynie idealnej (bez sprzężeń między osiami).

$K'_{id} = i'_{dd}/i'_{\mu q}$ - "przechodni" zredukowany współczynnik wzmocnienia prądowego dodatkowego uzwojenia twornika na drugim stopniu wzmocnienia.

Rozwiązanie układu (9) względem prądu magnesującego $i'_{\mu q}$ (a więc i względem SEM wyjściowej) daje operatorową funkcję przejścia o postaci (7), przy czym poszczególne współczynniki wynoszą:

$$\left.\begin{aligned} a &= (T_s + T_{dd}).T_q \\ b &= T_s + T_q + T_{dd} + T_{qd}\,(1+k_q.K'_{id}) \\ c &= 1 + K'_{id}.K'_{i1} + \frac{1}{k_q} K'_{i1} \\ d &= k_q.T_{qd} \\ e &= K'_{i1} \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Stosując wzór (8) otrzymujemy:

$$T_s = \frac{T_s + T_q + T_{dd} + T_{qd}\,(1+k_q K'_{id})}{1+K'_{id}K'_{i1} + \frac{1}{k_q} K'_{i1}} - \frac{k_q T_{qd}}{K'_{i1}} \qquad (11)$$

Wyrażenie (11) ma sens fizykalny tylko w przypadku przebiegu aperiodycznego, czyli przy spełnieniu nierówności $b^2 > 4ac$.

Jeżeli uwzględnimy działanie tłumiące zwojów zwartych w obu osiach (sprzężenie transformatorowe pomijamy w dalszym ciągu, tzn. z układu równań (1) usuwamy równanie szóste), to wzór na zastępczą stałą czasową przybierze bardziej skomplikowaną postać, a mianowicie

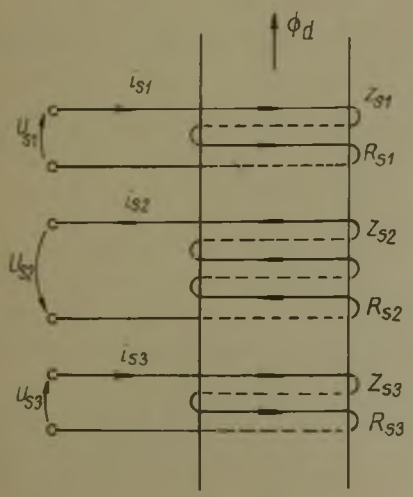
$$T_z = \frac{T_s + T_q + T_{dd} + T_{wd} + T_{qd}\left(1 + k_{qa}K'_{id}\right) + T_{wq}\left(1 + \frac{1}{k_q}K'_{i1}\right) - \frac{k_q T_{qd}}{K'_{i1}}}{1 + K'_{id}K'_{i1} + \frac{1}{k_q}K'_{i1}} \qquad (12)$$

Nowe oznaczenia we wzorze (12):

$T_{wd} = L_{wd}/R_{wd} = z^2_{wd}\Lambda_d/R_{wd}$ - stała czasowa uzwojenia zwartego w osi podłużnej

$T_{wq} = L_{wq}/R_{wq} = z^2_{wq}\Lambda_q/R_{wq}$ - stała czasowa uzwojenia zwartego w osi poprzecznej.

Pozostałe oznaczenia są identyczne, jak w (11).



Rys.5. Do obliczenia zastępczej stałej czasowej trzech uzwojeń sterujących

Jeżeli amplidyna posiada kilka czynnych uzwojeń sterujących, to we wzorach (11) i (12) należy w miejscu stałej czasowej T_s podstawić sumę stałych czasowych wszystkich uzwojeń sterujących. Dla przykładu rozpatrzymy część obwodu magnetycznego w osi podłużnej, sprzężonego z trzema uzwojeniami sterującymi (rys.5). Fragment układu równań, odnoszący się do obwodów tych uzwojeń można napisać w następującej postaci operatorowej:

$$z_{s1}\, p\phi_d + R_{s1} i_{s1} = U_{s1} \qquad (13)$$

$$z_{s2}\, p\Phi_d - R_{s2} i_{s2} = - U_{s2}$$
$$z_{s3}\, p\Phi_d + R_{s3} i_{s3} = U_{s3} \qquad (13)$$

Wprowadzając do powyższego układu zastępczy prąd magnesujący zredukowany na liczbę zwojów np. pierwszego uzwojenia sterującego, czyli $i'_{\mu d} = \Phi_d / \Lambda_d z_{s1}$ i sumując równania (13) stronami otrzymujemy (po prostych przekształceniach):

$$T_{zs}\, p i'_{\mu d} + i_{zs} = \sum \frac{U'_{si}}{R_{si}} \qquad (14)$$

gdzie oznaczają:

$T_{zs} = T_{s1} + T_{s2} + T_{s3}$ - zastępczą stałą czasową uzwojeń sterujących, stanowiącą sumę stałych czasowych obwodów poszczególnych uzwojeń

$i_{zs} = i_{s1} - \frac{z_2}{z_1} i_{s2} + \frac{z_3}{z_{s1}} i_{s3}$ - zastępczy prąd sterujący, będący sumą algebraiczną prądów sterujących, zredukowanych na liczbę zwojów z_{s1}

$\sum \frac{U'_{si}}{R_{si}} = \frac{U_{s1}}{R_{s1}} - \frac{z_{s2}}{z_{s1}} \frac{U_{s2}}{R_{s2}} + \frac{z_{s3}}{z_{s1}} \frac{U_{s3}}{R_{s3}}$ - sumę ilorazów zredukowanych napięć sterujących (zewnętrznych) przez oporności odpowiednich uzwojeń sterujących.

Zastąpienie trzeciego równania układu (9) równaniem (14) oraz wprowadzenie do układu (9) prądu i_{zs} w miejsce i_s nie zmieni ogólnej postaci wzoru (7) na funkcję przejścia amplidyny, ani wzoru (11) na zastępczą stałą czasową. We wzorach tych należy tylko podstawić zamiast stałej czasowej T_s, sumę stałych czasowych T_{zs} wszystkich trzech uzwojeń sterujących. Analogiczny wniosek jest oczywiście słuszny w odniesieniu do wzoru (12).

Zastępcza stała czasowa ułatwia porównawczą ocenę amplidyn, umożliwiając zastosowanie pojęcia wypadkowej dobroci wzmocnienia mocy, które definiujemy, jako iloraz współczynnika wzmocnienia mocy przez zastępczą stałą czasową. Umiejętność obliczania tej stałej jest więc istotną pomocą dla konstruktora, który chce oceniać porównawczo rozmaite warianty konstrukcyjne maszyny przed wykonaniem modelu.

LITERATURA

[1] A n d r z e j e w s k i F.: Dwustopniowy wzmacniacz maszynowy (amplidyna) ze stosunkiem biegunów 1:1 w obu stopniach wzmocnienia. Zesz.Nauk.Pol.Wrocławskiej 1954, Nr 4.

[2] E p s t e i n I.S.: Pierechodnyje processy w maplidynie Wiestn. Elektroprom. 1945, Nr 1-2.

[3] G a b r y ś W.: Wpływ niektórych danych uzwojeniowych na parametry maszyn prądu stałego z polem poprzecznym. Praca doktorska, światłokopie w Bibliotece Głównej Politechniki Śląskiej. Gliwice, czerwiec 1961.

[4] G o g o l e w s k i Z., Gabryś W.: Maszyny prądu stałego. Warszawa, PWT 1960.

[5] H a i e r U.: Die Dynamik der Querfeldverstärkermaschine. Arch. Elektrot. 1953, B.41, Nr 3.

[6] L o o c k e G.: Elektrische Maschinenverstärker. Berlin 1958.

[7] P a s z e k W.: Analiza stanów nieustalonych amplidyny. Zesz.Nauk.Pol.Śląskiej 1955, Elektryka Nr 4.

[8] R u d a k o w W.W.: Wlijanie zdwiga szczetok popiereczno j cepi na pierechodnyj process elektromaszinnowo usilitiela. Elektriczestwo 1952, Nr 11.

[9] S e q u e n z H.: Zur Theorie der Verstärkermaschine (Amplidyne). E.u.M. 1944, Nr 15/16

[10] S z a b l y a I.: The Dynamic Machine Constant of Rotating Amplifiers Acta Technica Ac.Scientiarum Hungaricae (Budapest), Vol.IX, 1954, str.365.

[11] W ę g r z y n S.: Rachunek operatorowy. Warszawa 1955.

УПРОЩЕННЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АМПЛИДИНЕ

Автор показал простой способ определения степени характеристического уравнения для состава дифференциальных уравнений первой степени. Способ основан на анализе распределения оператора „p" на матричной плоскости. Показано, что при условии пренебрежения потоками рассеяния, мы получаем всегда уравнение второй степени, независимо от числа электрических контуров и их сцеплений по двум осям. Даны примеры расчета постоянных времени.

ANALYSE SIMPLIFIÉE DES ÉTATS NON-ÉTABLIS DANS L'AMPLIDYNE

L'auteur donne un procédé très simple de déterminer le dégré de l'équation characteristique d'un système des équations différentielles de premier ordre. Le procédé est basé sur la disposition de l'opérateur „p" sur la matrice. L'application de cette méthode à l'analyse des états non-établis aboutit à la conclusion que à la condition d'élimer les flux de dispersion on reçoit toujours l'équation characteristique de deuxième ordre. Ce résultat est independant du nombre des circuits électriques dans les deux axes et de leurs couplages mutuels. L'auteur donne un exemple du calcul de la constante de temps résultante.