ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 59 ELEKTRYKA 13 1962

ANTONI NIEDERLIŃSKI

Katedra Napędu Elektrycznego

UKŁAD REGULACJI SILNIKA ASYNCHRONICZNEGO PRZY POMOCY WZMACNIACZY MAGNETYCZNYCH

(właściwości i perspektywy zastosowań)

Streszczenie: Omówiono zasadę działania, właściwości statyczne, dynamiczne i energetyczne układu regulacji silnika asynchronicznego przy pomocy wzmaniaczy magnetycznych. Przedstawiono możliwości zastosowania tego układu w przemyśle i podano przykłady jego wykorzystania.

1. Wstęp

Silniki asynchroniczne są w chwili obecnej najbardziej rozpowszechnionym typem silników. Zawdzięczają to swojej taniości, prostocie konstrukcji i pewności ruchowej. Poważną ich zaletą jest również, to że można je zasilać bezpośrednio z sieci prądu zmiennego. Ważnym wymaganiem stawianym obecnie szeregu układom napędowym jest automatyczna regulacja prędkości obrotowej (stabilizacja prędkości, regulacja programowa). Realizacja układów tego typu w oparciu o silnik asynchroniczny związana jest z dosyć dużymi trudnościami wynikającymi z właściwości tego silnika. Moc P_1 pobierana przez silnik asynchroniczny z sieci zależy (przy pominięciu strat w stojanie) od momentu M silnik i prędkości kątowej ω_0 pola wirującego,

$$P_1 = M\,\omega_0$$

natomiast moc na wale silnika P_2 przy pominięciu strat w żelazie jest równa

$$P_2 = M\,\omega_1 = M\,\omega_0\,(1 - s)$$

gdzie ω_1 jest prędkością kątową wirnika. Stąd sprawność silnika

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\omega_1}{\omega_0} = 1 - s$$

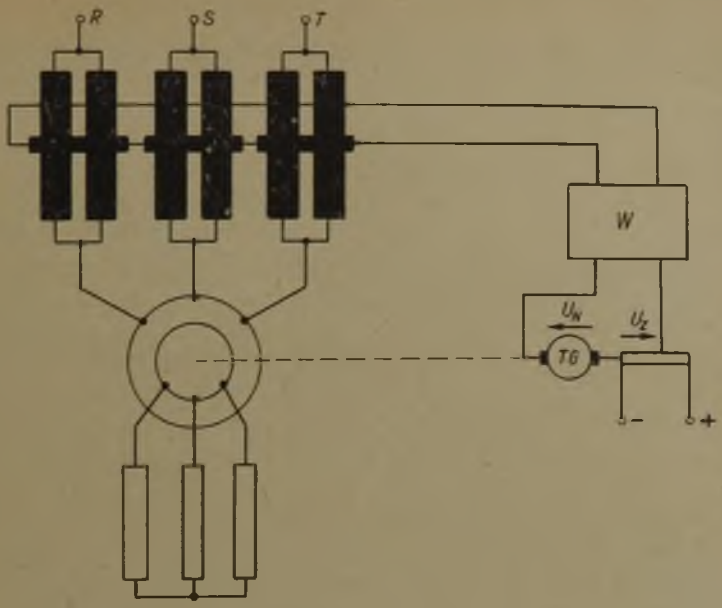
maleje ze wzrostem poślizgu silnika. Z zależności tej wynika że regulacja prędkości obrotowej silnika asynchronicznego uzyskana na drodze zmiany jego poślizgu jest związana z dużymi stratami energii, tym większymi im większy jest zakres tej regulacji. Mimo to układy regulacji silników asychronicznych tego typu zastosowano w ostatnich latach za granicą w szeregu urządzeniach przemysłowych. Należy tu przede wszystkim wymienić układy regulacji silników asynchronicznych przy pomocy wzmacniaczy magnetycznych (URAWM).

2. Zasada działania URAWM

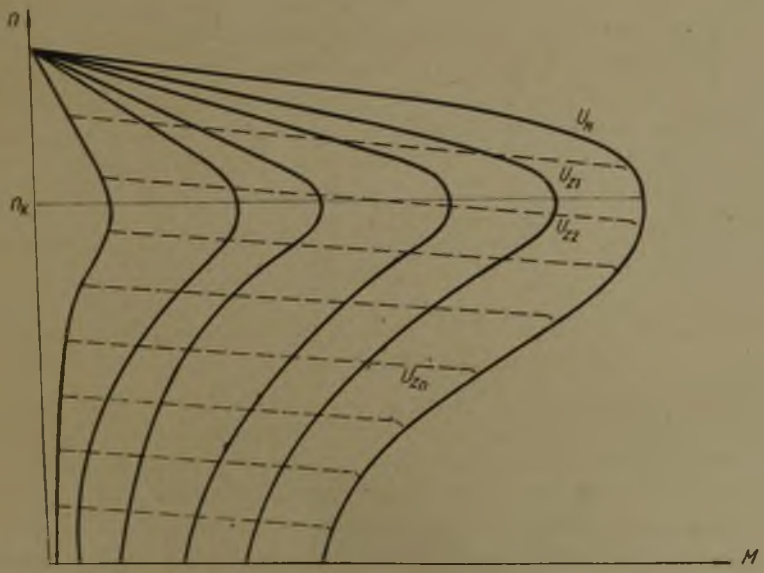
Schemat URAWM przedstawiono na rys.1. W obwód stojana silnika asynchronicznego włączono uzwojenia robocze trzech wzmacniaczy magnetycznych (przy mniejszych mocach często stosowane są amplistaty), które są wprost lub poprzez wzmacniacz wstępny W sterowane różnicą napięcia zadającego U_z i napięcia tachogeneratora U_N. W układach mniejszej mocy sygnał sprzężenia zwrotnego jest brany nie z napięcia tachogeneratora, lecz z napięcia stojana silnika. Zależnie od wielkości różnicy napięć $U_z - U_N$ zmienia się prąd sterujący wzmacniaczy, a więc oporność indukcyjna ich uzwojeń roboczych, co z kolei powoduje zmianę napięcia stojana silnika.

3. Właściwości statyczne, dynamiczne, energetyczne i ruchowe URAWM

Na rys.2. pokazano rodzinę charakterystyk mechanicznych silnika asynchronicznego $n = f(M)$ przy obniżonym napięciu stojana. Ponieważ moment silnika jest proporcjonalny do kwadratu napięcia stojana, zmniejszenie tego napięcia powoduje gwałtowne malenie przeciążalności silnika. Poza tym zmiana prędkości obrotowej jest możliwa tylko do prędkości krytycznej n_k zależnej od wielkości oporu dodatkowego wirnika. Dla prędkości mniejszych od n_k charakterystyki mechaniczne silnika asynchronicznego mają bowiem takie nachy-



Rys.1. Schemat nierewersyjnego URAWM ze sprzężeniem tachogeneratorowym



Rys.2. Charakterystyki mechaniczne silnika asynchronicznego przy obniżonym napięciu twornika (linie ciągłe) i charakterystyki mechaniczne URAWM z rys.1 (linie przerywane).

lenie, że przy najczęściej spotykanych rodzajach momentów obciążenia stabilna praca jest na nich niemożliwa. W przypadku zautomatyzowanego napędu przedstawionego na rys.1 zagadnienie to wygląda jednak inaczej. W układzie tym do stojana silnika nie zostaje przyłożone napięcie o stałej wartości lecz napięcie zmieniające się w wyniku działania układu regulacji tak, by moment silnika był zawsze równy momentowi obciążenia. Stabilna praca, która w przypadku prostego silnika asynchronicznego wymaga ujemnego nachylenia jego charakterystyki mechanicznej $n = f(M)$ zostaje w przypadku układu z rys.1 uzyskana w całym przedziale prędkości od $n = n_n$ do $n = 0$ niezależnie od wielkości oporu wtrąconego w obwód wirnika i charakteru momentu obciążenia. Można to uzasadnić następująco: każdy silnik - a więc również silnik asynchroniczny - jest z fizykalnego punktu widzenia elektromechanicznym astatycznym układem regulacji momentu. Moment silnika w pewnym sensie "nadąża" za zmianami momentu obciążenia. Niestabilna współpraca silnika asynchronicznego z mechanizmem napędzającym na części charakterystyki mechanicznej o dodatnim nachyleniu odpowiada niestabilności bardziej złożonego układu zamkniętego złożonego z silnika asynchronicznego i mechanizmu napędzanego. Wprowadzenie do układu silnik asynchroniczny - mechanizm napędzany sprzężenia zwrotnego od prędkości obrotowej silnika stabilizuje ten układ niezależnie od nachylenia chrakterystyki mechanicznej silnika. Charakterystyki mechaniczne URAWM przedstawiono dla różnych wartości U_z na rys.2 liniami przerywanymi. Z charakterystyk tych widać, że URAWM umożliwia ciągłą regulację prędkości obrotowej w przedziale od $n = n_n$ do $n = 0$. Regulacja ta nie jest jednak możliwa przy bardzo małych wartościach momentów obciążenia, gdyż indukcyjność uzwojeń roboczych wzmacniaczy magnetycznego nawet przy zerowych amperozwojach sterujących nie jest nieskończenie duża i stąd napięcie twornika silnika nie jest nigdy równe zeru. Bardzo często jednak z powodu dużego momentu tarcia "strefy nieczułości" regulacji jest praktycznie niezauważalna.

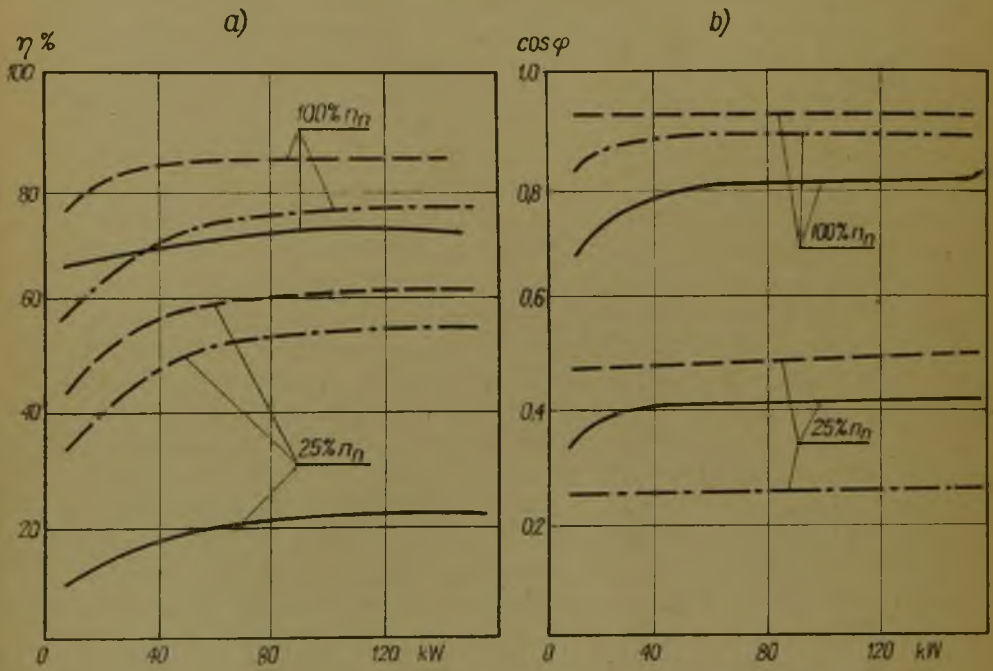
Wielkość strat w wirniku silnika asynchronicznego jest równa iloczynowi różnicy prędkości pola wirującego i prędkości silnika przez moment silnika. Wielkość prądu wirnika a zarazem prądu stojana odpowiadająca tym stratom zależy od oporności wirnika. Jeżeli przy małej oporności dodatkowej wirnika pierścieniowego chcemy otrzymać małą prędkość obrotową, to musimy bardzo znacznie zmniejszyć napięcie stojana. Strumień w szczelinie silnika jest wówczas mały i przy okre-

ślonym momencie silnik pobiera z sieci duży prąd. Jeżeli zwiększymy oporność wirnika to przy tej samej niskiej prędkości obrotowej napięcie stojana a więc strumień będzie większy, stąd prąd stojana i wirnika będzie mniejszy. Wzrost oporności wirnika zmniejsza więc prąd stojana i wirnika przy małych prędkościach obrotowych a więc zmniejsza straty w stojanie i dławikach. Równocześnie jednak zmniejsza się maksymalna prędkość silnika przy momencie znamionowym i sprawność przy obciążeniu znamionowym. Wybór wielkości oporności dodatkowej w obwodzie wirnika silnika asynchronicznego pierścieniowego pracującego w URAWM zależy od charakteru pracy tego silnika. W przypadku dłuższej pracy na małej prędkości i przy dużym momencie obciążenia należy wybrać oporność zwiększającą dosyć znacznie poślizg krytyczny silnika. W URAWM stosowane są również silniki asynchroniczne klatkowe o specjalnym wykonaniu wirników (wirniki dwuklatkowe, lite wirniki Szenfera). Oporność tych wirników wzrasta ze wzrostem poślizgu. Np. oporność wirnika Szenfera jest proporcjonalna do $\sqrt{s}$. W ZSRR prowadzi się w tej chwili prace badawcze nad specjalnymi typami nieliniowych wirników o oporności zmieniającej się jeszcze szybciej, przeznaczonych do pracy w URAWM. Ze względu na to, że w URAWM z wirnikami klatkowymi są znacznie gorsze warunki odprowadzenia ciepła strat w wirniku niż w URAWM z wirnikami pierścieniowymi i oporami dodatkowymi, układy te wymagają zwykle większego przedymensionowania mocy silnika.

W celu porównania właściwości energetycznych URAWM z innymi znanymi układami (układ Leonarda, silnik prądu stałego sterowany prostownikami rtęciowymi) przedstawiono na rys.3 wykres zależności współczynnika mocy i sprawności w funkcji mocy na wale dla tych trzech napędów przy różnych prędkościach obrotowych. Na wykresach tych widać gwałtowne pogorszenie wskaźników energetycznych URAWM przy niskich prędkościach.

Zaletą URAWM, która zadecydowała o szeregu zastosowaniach tego układu są jego właściwości ruchowo-eksploatacyjne i regulacyjne. Układ ten jest zbudowany z elementów statycznych bezstykowych (silnik klatkowy) lub o minimalnej ilości styków (silnik pierścieniowy). Stąd układy te odznaczają się bardzo dużą pewnością ruchową, wymagają minimalnej konserwacji i mogą pracować w bardzo trudnych warunkach przemysłowych uniemożliwiających stosowanie napędu prądu stałego. Układ ten umożliwia szybkie i dokładne nastawienie żądanej prędkości, jej stabilizację ew. regulację programową. Z powodu małych momentów zamachowych silników asynchronicznych

i ich dużego momentu rozruchowego w układzie tym uzyskuje się bardzo niewielkie czasy rozruchu wahające się w granicach od 0,1 do 0,3 sek (przy mocach ok. 150 kW). Dzięki temu właściwości dynamiczne tego układu są w zasadzie lepsze niż właściwości dynamiczne układu Leonarda.



Rys.3. a) zależność współczynnika sprawności od mocy na wale dla URAWM, układu Leonarda i silnika prądu stałego sterowanego prostownikami rtęciowymi, b) zależność współczynnika mocy od mocy na wale dla URAWM, układu Leonarda i silnika prądu stałego sterowanego prostownikami rtęciowymi

——— URAWM

— — — Układ Leonarda

—·—· Silnik prądu stałego sterowany prostownikami rtęciowymi.

4. Zastosowanie URAWM

Z właściwości energetycznych URAWM wynika, że jego zastosowanie jest uzasadnione w dwóch przypadkach:

a) dla napędów o momencie obciążenia malejącym z maleniem prędkości obrotowej,

b) dla napędów o momencie obciążenia stałym lecz pracujących w sposób przerywany lub dla napędów o krótkim czasie pracy na obniżonych prędkościach.

Do pierwszej grupy napędów należy zaliczyć napędy wentylatorów, pomp, wirówek. Pompy odśrodkowe pracują bardzo często w układach automatycznej regulacji poziomu cieczy, koncentracji roztworu itp. Najbardziej ekonomiczny sposób regulacji ich wydajności polega na zmianie prędkości obrotowej ich silników napędowych. Ponieważ regulowane pompy odsrodkowe z przyczyn natury technologicznej wymagają regulacji prędkości w małym przedziale, istnieje możliwość realizacji całkowicie bezstykowych układów regulacji tych pomp w oparciu o URAWM przy zastosowaniu silników klatkowych. W ZSRR dla pomp odśrodkowych średniej mocy (do 50 kW) uważa się URAWM za napęd typowy. W układach tych istnieje sprzężenie od napięcia stojana i prądu stojana.

Do drugiej grupy napędów należą napędy wyciągów, wind, mostów, mechanizmów podnoszenia dźwigów. URAWM stosuje się w nowszych rozwiązaniach tych napędów w ZSRR, Anglii i USA nawet przy stosunkowo dużych mocach dochodzących do 60 kW. Do grupy tej można również zaliczyć napędy śledzące i napędy wykonawcze układów automatycznej regulacji. Z danych opublikowanych w ZSRR i krajach zachodnich wynika, że w przedziale mocy 0,2 - 20 kW URAWM staje się napędem typowym. Przykładem układu w którym stosuje się w tej chwili już wyłącznie URAWM może być układ regulacji położenia elektrod w piecu łukowym. Z danych f-y Siemens wynika, że układy takie o mocy 3 do 12 kW zainstalowane w r. 1953 pracowały nieprzerwanie przez okres 4 lat.

URAWM jest jednak stosowany również w pewnych układach napędowych w których posiada bardzo niekorzystne wskaźniki energetyczne. Są to napędy o stałym w przybliżeniu momencie obciążenia wymagające głębokiej regulacji prędkości obrotowej i długotrwałej pracy na obniżonych prędkościach. Wymaga to oczywiście przedymensjonowania mocy silników. O zastosowaniu tego układu zadecydowała w tym przypadku jego duża pewność ruchowa i łatwość eksploatacji. Przykładem może być na-

pęd główny maszyny rotacyjnej mocy 75 kW wymagający długotrwałej regulacji prędkości obrotowej w przedziale 1:50. Napęd taki zaprojektowano i uruchomiono w ZSRR. Również w nowoczesnych rozwiązaniach maszyn włókienniczych wymagających precyzyjnej regulacji prędkości obrotowej URAWM wypiera napęd prądu stałego i napęd przy pomocy silników komutatorowych prądu zmiennego.

LITERATURA

1. F. Alger, Y. Ku - Speed Control of Induction Motor using Saturable Reactors, Elektrical Engng, Vol. 76/1957.
2. W. Kafka, W. Doell - Der durch Magnetverstärker gesteuerte Asynchronmotor. ETZ-A, Bd.78, H.24,11,12, 1957.
3. M.N. Usokin - Energeticzeskije pokazatieli kranowowo asinchronnowo elektropriwoda z drosielami nasyszczenija. Elektriczestwo, 12/1959.
4. M. Sokołow, W.M. Tieriechow - Asinchronnyj elektropriwod centrobieżnych nasosow z drosielami nasyszczenija. Elektriczestwo, 9/1957.
5. M. Sokołow, D. Kapuncow - Regulirujemyj asinchronnyj elektropriwod kranowych mechanizmow z drosielami nasyszczenija. Elektriczestwo, 11/1959.

РЕГУЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСРЕДСТВОМ МАГНИТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ (ОСОБЕННОСТИ И ПРИМЕНЕНИЕ)

Содержание

В работе даны основы действия и статические, динамические и энергетические свойства схемы регулирования асинхронного двигателя посредством магнитных усилителей. Представлены возможности применения схемы в промышленности и даны примеры его использования.

DISPOSITION DE CONTROLE DU MOTEUR ASYNCHRONE AVEC LES TRANSDUCTEURS (PROPRIÉTÉS ET POSSIBILITÉ D'APPLICATION)

Resumé

Le rapport donne le principe de fonctionnement et les caracteristiques statiques, dynamiques et energetiques de contrôle du moteur asynchrone avec les transducteurs. Il discute les possibilités de l'application du dispositif dans l'industrie et donne des exemples.