ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1976
Seria: Górnictwo z. 72 Nr kol. 471

Jan Bynik
Sylwester Markusik

MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA SPRZĘGIEŁ INDUKCYJNYCH W NAPĘDACH PRZENOŚNIKÓW ZGRZEBŁOWYCH I ZESPOŁÓW STRUGOWYCH

Streszczenie. Dynamiczny rozwój maszyn górniczych o dużych wydajnościach wymaga nowych rozwiązań konstrukcyjnych napędów łańcuchowych tych maszyn. Ważnym zagadnieniem w tych napędach jest rozruch, na który decydujący wpływ posiada zastosowane w napędzie sprzęgło. Stosowane dotychczas w napędach przenośników zgrzebłowych i zespołów strugowych sprzęgła hydrokinetyczne nie spełniają swych zadań, a w wielu przypadkach uniemożliwiają właściwą eksploatację tych maszyn. Sprzęgła indukcyjne wykazują korzystniejsze zalety eksploatacyjne od sprzęgieł hydrokinetycznych. Sprzęgła te mogą zapewnić w prostych układach regulacyjnych poprawną pracę napędu oraz dobrą współpracę napędów w układach wielosilnikowych.

Wstęp

W ostatnich latach można zaobserwować w górnictwie dołowym gwałtowny rozwój napędów łańcuchowych (przenośniki zgrzebłowe, strugi itd.). Wzrost wydajności przenośników zgrzebłowych oraz strugów pociąga za sobą wzrost mocy napędów tych maszyn, co wywołuje powstanie nowych nieznanych dotąd zagadnień, które mają decydujący wpływ na rozruch i przebieg pracy ustalonej napędu. Najważniejszym zagadnieniem przy rozruchu napędu jest dobranie takiej charakterystyki momentu silnika, aby zapewnić pożądane przyspieszenie maszyny roboczej oraz optymalny czas rozruchu. Te wymagania podyktowane są prawidłową pracą samych silników, przekładni zębatych oraz wytrzymałością łańcucha. Wymagania te, stawiane nowoczesnemu napędowi, mogą być spełnione jedynie w przypadku doboru prawidłowego typu i wielkości sprzęgła rozruchowego.

Ogólna charakterystyka wad sprzęgieł hydrokinetycznych

W napędach łańcuchowych maszyn górniczych stosuje się obecnie jako sprzęgła poślizgowe - sprzęgła hydrokinetyczne. Sprzęgła te w napędzie powinny spełniać następujące zadania:

- ułatwienia rozruchu,

- złagodzenia nierównomiernego rozdziału obciążenia,
- zabezpieczenia przed przeciążeniem.

Funkcję sprzęgieł rozruchowych sprzęgła hydrokinetyczne spełniają w zasadzie w sposób zadowalający, przy właściwym doborze i prawidłowej ich eksploatacji. Ze względu na powszechne zastosowanie sprzęgieł hydrokinetycznych ze stałym napełnieniem, czas rozruchu maszyny roboczej, jak również obciążenie silnika napędowego zależą od charakterystyki oporu oraz cech eksploatacyjnych sprzęgła. Rozruch maszyny roboczej ma więc charakter niekorzystny i uzyskiwane czasy rozruchu są często przypadkowe. Warunki eksploatacyjne nowoczesnych napędów łańcuchowych (duża wydajność, wysokie wymagania co do trwałości i niezawodności, minimalizacja gabarytów itd.) skłaniają do ograniczenia wielkości jednostki napędowej. Dla uzyskania potrzebnej mocy napędu konieczne jest zastosowanie układów wielosilnikowych. W napędach wielosilnikowych stosujemy z reguły jednakowe silniki. Silniki te mogą jednak różnić się mechanicznymi charakterystykami naturalnymi (zgodnie z PN-55/E-06000 tolerancja produkcyjna silników może wynosić ± 25% wartości poślizgu znamionowego). W czasie pracy napędu może wystąpić różnica obciążeń silników, wyrażająca się różnicą pobranej mocy oraz momentu obrotowego silnika. Różnica ta może mieć przebieg aperiodyczny lub też periodyczny. W pierwszym przypadku mówimy o nierównomierności obciążenia a w drugim o pulsacji obciążenia.
Stosowane dotychczas w napędach łańcuchowych sprzęgła hydrokinetyczne nie zapewniają uzyskania pełnej równomierności rozkładu obciążenia w napędzie. Teoretycznie sprzęgła hydrokinetyczne posiadają identyczne poślizgi (w napędzie stosujemy sprzęgła o identycznej konstrukcji, napełnione tym samym olejem itd.). W praktyce występują niekontrolowane różnice poślizgów znamionowych w tych sprzęgłach spowodowane nieszczelnością ich obudowy, różnicami lepkości zastosowanych w nich olejów itd. Poślizgi znamionowe tych sprzęgieł mają charakter przypadkowy, najczęściej nieznany, tak że konstruktor napędu nie posiada wpływu na zmianę jego wielkości. Przypadkowość poślizgów sprzęgieł hydrokinetycznych może być nawet przyczyną zwiększenia nierównomierności obciążenia. Problematyczne wydaje się zabezpieczenie napędu przed nagłym i krótkotrwałym przeciążeniem za pomocą sprzęgła hydrokinetycznego. W przypadku nagłego przeciążenia obciążenia dynamiczne zostają przeniesione na silnik prawie w całości ze względu na dużą sztywność łącznika (oleju). Jedynie w przypadku wolno narastającego przeciążenia może sprzęgło hydrokinetyczne zabezpieczyć silnik poprzez pracę w poślizgu. Moment przeciążeniowy sprzęgła hydrokinetycznego zależy od stopnia napełnienia i rodzaju wypełniacza; jest więc również w praktyce niekontrolowany. Wady współpracy sprzęgła hydrokinetycznego z silnikiem napędowym i maszyną roboczą wynikają z braku możliwości regulacji oraz kontroli ich poślizgu [3]. Kontrolę i regulację poślizgu sprzęgieł w napędach łańcuchowych i zespołów strugowych umożliwiają jedynie sprzęgła indukcyjne. Właściwości eksploatacyjne sprzęgieł indukcyjnych są identyczne jak sprzęgieł hydrokinetycznych bądź śrutowych, jednak dodatkowo istnie-

je tu możliwość uzyskania ciągłej zmiany poślizgu, przez zmianę jednego tylko parametru, tj. prądu wzbudzenia. Budowa i zastosowanie sprzęgieł indukcyjnych, a zwłaszcza ich odmiany sprzęgieł indukcyjnych wiroprądowych jest znana z wcześniejszych publikacji [1], [2].

Sprzęgła indukcyjne posiadają szereg zalet konstrukcyjnych, które z punktu widzenia wymagań i potrzeb nowoczesnego napędu elektrycznego stwarzają nowe możliwości. Zaletami tymi są m.in.:

a) prostota konstrukcji, duża trwałość, wysoka niezawodność, łatwość obsługi,
b) mała moc sterowania (wzbudzenia) ograniczająca się do 1% mocy przenoszonej przy małych oraz 0,3% przy średnich i dużych sprzęgłach,
c) jeden parametr regulacji (prąd wzbudzenia),
d) duża stabilność charakterystyk, niezależna od warunków wewnętrznych,
e) możliwość uzyskania dowolnych charakterystyk M = f/n/,
f) możliwość głębokiej regulacji i zdolność do przenoszenia dużych przeciążeń.

Do wad tych sprzęgieł można zaliczyć:

a) niska sprawność energetyczna przy pracy z dużymi poślizgami,
b) utrudnione odprowadzenie ciepła zwłaszcza przy budowie ognioszczelnej.

Porównanie cech sprzęgieł hydrokinetycznych i indukcyjnych w napędach łańcuchowych

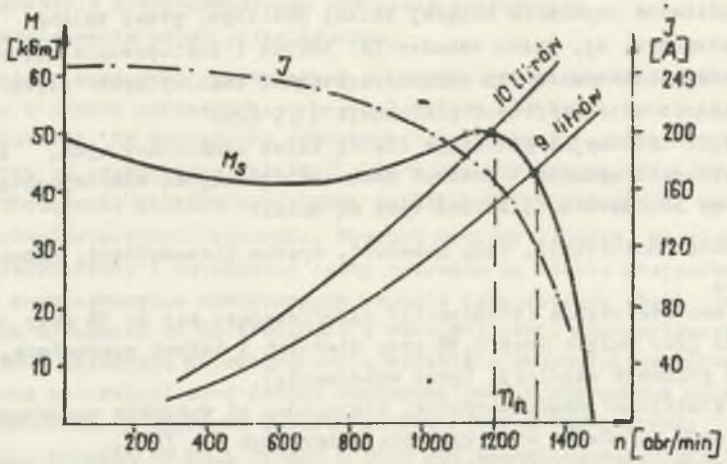
Porównując wady i zalety sprzęgieł hydrokinetycznych w napędach łańcuchowych z cechami sprzęgieł indukcyjnych nasuwają się następujące wnioski:

1) Charakterystyki sprzęgieł hydrokinetycznych są zależne od lepkości i stanu napełnienia. Występują zatem zmiany charakterystyk na skutek wycieków oleju przez nieszczelności sprzęgła i zmiany temperatury cieczy. Badania prowadzone przez Instytut Mechanizacji Górnictwa wykazały, że wycieki oleju mogą być przyczyną utrudniającą właściwy rozruch, a nawet mogą go uniemożliwić.

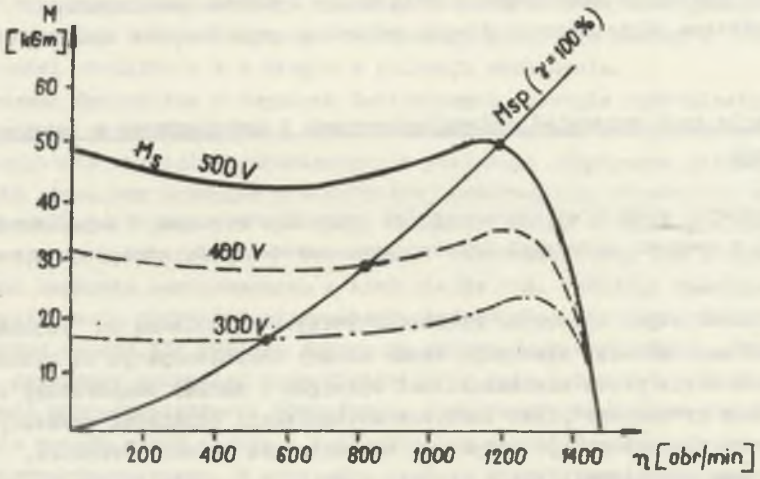
   Powyższe problemy w ogóle nie występują w sprzęgłach indukcyjnych.

2) W wielonapędowych przenośnikach zgrzebłowych, gdzie odległość napędu od stacji zasilającej bywa znaczna, dochodzi często do spadków napięcia zasilania. Prędkość obrotowa, a zatem i moment obrotowy sprzęgła hydrokinetycznego zmieniają się wyraźnie [3]. Dobierając silnik oraz sprzęgło hydrokinetyczne do warunków nominalnych pracy napędu, możemy w praktyce uzyskać różne warunki ich współpracy (sprzęgło jest za "twarde" lub za "miękkie".

   Sprzęgła indukcyjne w prostych układach regulacyjnych umożliwiają stworzenie napędu: M = const; N = const lub n = const. Jest to możliwe dzięki niezależnemu i lokalnemu zasilaniu sprzęgieł indukcyjnych.



Rys. 1. Współpraca silnika elektrycznego ze sprzęgłem hydrokinetycznym w zależności od jego napełnienia



Rys. 2. Współpraca silnika elektrycznego ze sprzęgłem hydrokinetycznym w zależności od spadku napięcia silnika, przy przełożeniu kinematycznym $i_k = 0$

3) Nowoczesne napędy przenośników zgrzebłowych i zespołów strugowych umożliwiają uzyskiwanie dwóch prędkości roboczych. Wymaga to zastosowania w tego rodzaju napędach silników wielobiegowych.

Zastosowanie w napędach ze sprzęgłem hydrokinetycznym silników elektrycznych wielobiegunowych jest niemożliwe, ponieważ moment sprzęgła hydrokinetycznego zmienia się z kwadratem prędkości obrotowej, tzn. dwukrotne zmniejszenie prędkości obrotowej silnika wywołuje czterokrotne

obniżenie momentu przenoszonego przez sprzęgło. Natomiast moment obrotowy sprzęgła indukcyjnego jest niezależny od przenoszonej prędkości obrotowej. Dobierać sprzęgło jednak należy na moment obrotowy (większy) przy niższej prędkości obrotowej silnika.

4) W napędach ze sprzęgłami hydrokinetycznymi utrudniona jest realizacja zdalnego sterowania. Konieczne są blokady, gwarantujące określoną kolejność łączeń poszczególnych silników. Sprzęgła indukcyjne umożliwiają natomiast łatwe zrealizowane zdalnego sterowania automatyzacji pracy napędu (np. regulacją poślizgu) przy pomocy prostych i pewnych układów.

5) Eksploatacja sprzęgieł hydrokinetycznych w warunkach dołowych nie jest pewna pod względem BHP. Wycieki oleju ze sprzęgła mogą spowodować przy zetknięciu z płomieniem lub iskrą pożar.

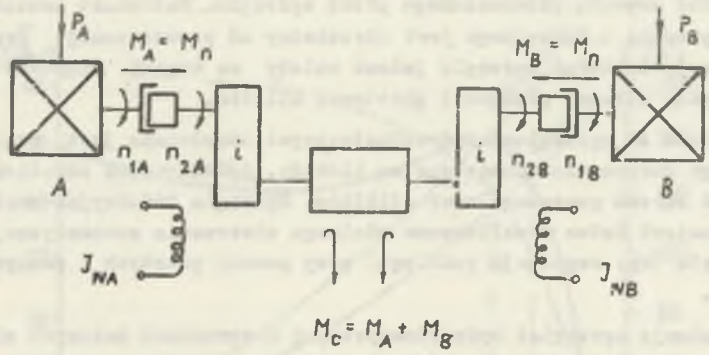
Sprzęgła indukcyjne możemy budować o dowolnej szczelności i zabezpieczeniu ognioszczelnym, analogicznie jak silniki elektryczne.

6) Napędy ze sprzęgłami hydrokinetycznymi zrealizowane są z silnika na łapach sprzęgła oraz przekładni zębatej. Natomiast napędy ze sprzęgłami indukcyjnymi możemy budować jako blokowe, tj. silnik kołnierzowy, sprzęgło indukcyjne razem z przekładnią zębatą kołnierzową. Napędy takie pod względem gabarytowym są znacznie korzystniejsze od napędów ze sprzęgłami hydrokinetycznymi.

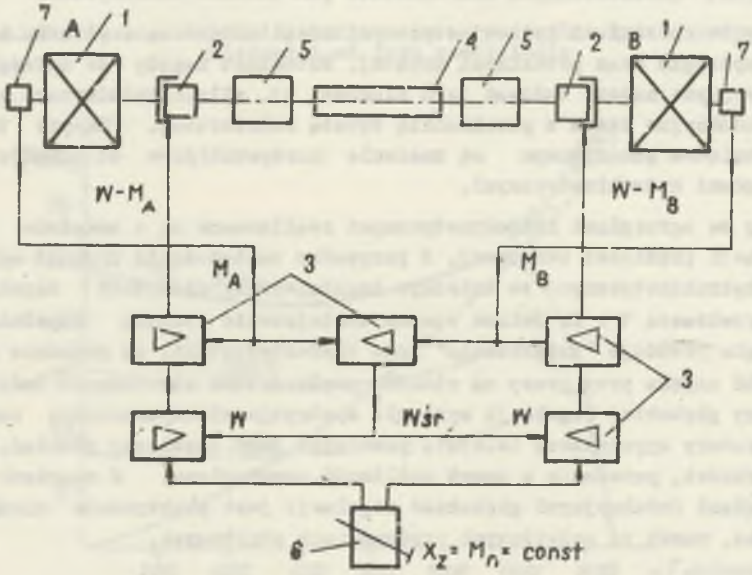
7) Napędy ze sprzęgłami hydrokinetycznymi realizowane są w zasadzie bez regulacji prędkości obrotowej. W przypadku zastosowania drogich sprzęgieł hydrokinetycznych ze zmiennym napełnieniem, głębokość regulacji nie przekracza 1 : 2. Dalsze bowiem zmniejszenie stopnia napełnienia sprzęgła powoduje "zmiękczenie" jego charakterystyki, co pogarsza stabilność napędu przy pracy na niskich prędkościach obrotowych. Dodatkowo przy głębokiej regulacji sprzęgła występuje niedopuszczalny wzrost temperatury wypełniacza (oleju), powodując jego chemiczny rozkład, zmianę lepkości, parowanie a nawet możliwość samozapłonu. W napędach ze sprzęgłami indukcyjnymi głębokość regulacji jest praktycznie nieograniczona, nawet na najniższych prędkościach obrotowych.

Regulacja napędów wielosilnikowych sprzęgłami indukcyjnymi

Schematy regulacji napędów wielosilnikowych zostały przedstawione w [1]. Dzięki prostemu układowi regulacyjnemu można uzyskać równomierny rozkład obciążenia w napędzie wielosilnikowym (rys. 3). W wypadku nierównomiernego obciążenia silników, względem średniego chwilowego obciążenia, jeden z silników wykaże nadwyżkę, a drugi niedobór momentu, co będzie impulsem do odpowiedniego regulowania wzbudzeniem sprzęgieł. Nastąpi więc natychmiastowe wyrównanie i jednoczesne dostosowanie się momentów do nowego stanu obciążenia. Wielkość wiodąca (W) musi być ograniczona do war-



Rys. 3. Schemat ideowy silników ze sprzęgłami indukcyjnymi, $I_{wA,B}$ – prądy wzbudzenia sprzęgieł silników A i B



Rys. 4. Schemat napędu dwusilnikowego w układzie automatycznej regulacji obciążenia:

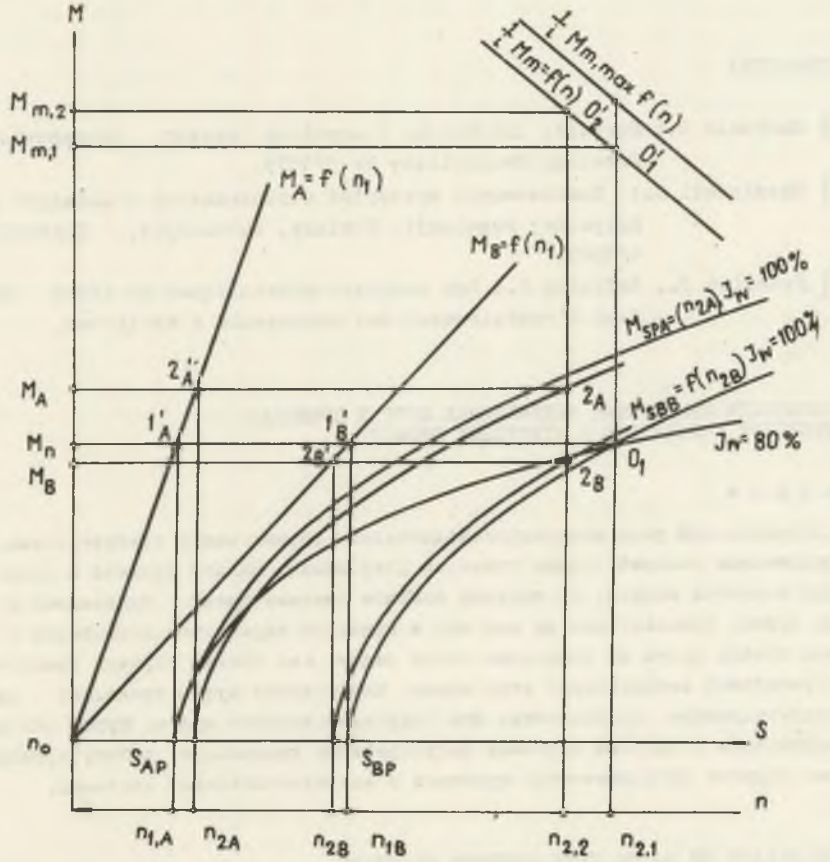
1 – silnik; 2 – sprzęgło indukcyjne; 3 – sumatory; 4 – bęben napędowy; 5 – przekładnia mechaniczna; 6 – element generujący wartość zadaną; 7 – układy watometryczne

tości momentu znamionowego dla ochrony przed przeciążeniem (rys. 4). Musi być więc stale konfrontowana z określoną wielkością pierwotnie zadaną, równą odpowiednio M_n; a więc musi być spełniony warunek:

$$W \leqslant X_z$$

$$W = \frac{1}{2} M_m = \frac{1}{2} /M_A + M_B/$$

Oczywiście także i X_z może być parametrem regulowanym ręcznie lub w układzie automatycznej regulacji według zadanego programu. Taki stan rzeczy ułatwia bowiem realizację pełnej automatyzacji pracy napędu. Charakterystyki mechaniczne napędu dwusilnikowego ze sprzęgłami indukcyjnymi w układzie wyrównującym ich obciążenia przedstawia rys. 5. Wspólny punkt pracy silników O_1 uzyskamy zmiękczając charakterystykę sprzęgła silnika bardziej obciążonego np. A. Sprzęgło silnika B będzie pracować nadal na swej charakterystyce naturalnej I_{wB} = 100%. Zmiękczanie charakterystyki sprzęgła uzyskujemy przez redukcję prądu wzbudzenia I_w.



Rys. 5. Charakterystyki mechaniczne dwóch silników ze sprzęgłami indukcyjnymi w układzie automatycznej regulacji obciążenia

Wnioski

Z przeprowadzonej analizy pracy sprzęgieł hydrokinetycznych oraz indukcyjnych wynika, że:

- zastosowanie sprzęgieł hydrokinetycznych w napędach łańcuchowych jest przyczyną ich szeregu niedomagań (nierównomierny rozdział mocy silników, zmiany charakterystyk napędów, itd.),
- sprzęgła indukcyjne (w zwłaszcza wiroprądowe) dają gwarancję poprawnej pracy napędu, niezależnie od warunków ich eksploatacji,
- w prostych konstrukcyjnie układach regulacyjnych sprzęgła indukcyjne zapewniają równomierny rozdział obciążenia silników, niezależnie od różnic charakterystyk i stopnia obciążenia tych silników.

LITERATURA

[1] Markusik S.: Sprzęgła indukcyjne w napędach maszyn transportowych. Przegląd Mechaniczny Nr 5/1975.

[2] Drozdowski Z.: Zastosowanie sprzęgieł wiroprądowych w układach automatycznej regulacji. Pomiary, Automatyka, Kontrola nr 4/1969.

[3] Pechalat F., Lefoulon C.: Les couplers hydrauliqnes et leurs effets dans l'entrainement des convoyeurs a raclettes.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКТИВНЫХ МУФТ В ПРИВОДАХ СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ И СТРУГОВЫХ БЛОКОВ

Р е з ю м е

Динамический рост высокопроизводительных горных машин требует новых конструкционных решений цепных приводов этих машин. Важной задачей в этих приводах является запуск, на который большое влияние имеет применимая в приводе муфта. Используемые до сих пор в приводах скребковых конвейеров и струговых блоков муфты не выполняют своих задач, аво многих случаях препятствуют правильной эксплуатации этих машин. Индуктивные муфты проявляют лучшие эксплуатационные достоинства, чем гидрокинетические муфты. Муфты эти могут обеспечивать в простых системах регулирования правильную работу привода, а также хорошее сотрудничество приводов в многодвигательных системах.

POSSIBILITY OF USING EDDY-CURRENT CLUTCHES IN THE PUSH-PLATE CONVEYORS AND HOSE-PROOF ASSEMBLIES

S u m m a r y

The dynamic development of mining machines with high rate of production, demands new construction solutions of these machines chain drives.

Starting on which the decisive influence exerts clutch - is an important problem in those drives.
Up till now used hydrokinetic clutches applied to the push-plate conveyors and hose-proof assemblies don't serve their turn and even sometimes make the proper exploitation of these machines impossible.
Eddy-current clutches are much better in exploitation than the hydrokinetic ones.
These clutches in simple control systems make sure the drive work and a good cooperation of drives in multi-engines systems.