ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 38 ELEKTRYKA 11 1961

ANDRZEJ GRZYWAK

Zakład Elektryfikacji i Automatyzacji ZKMPW

URZĄDZENIE ROZRUCHOWE PRZENOŚNIKÓW GÓRNICZYCH

Streszczenie: Analiza rozruchu przenośników o mocy poniżej ok. 40 kW. Rozruch z zastosowaniem rozrusznika termistorowego. Porównanie z rozruchem bezpośrednim i z rozruchem przy pomocy sprzęgła hydraulicznego.

1. Uwagi wstępne

Ogólnie stosowanym napędem dołowych przenośników górniczych jest w chwili obecnej silnik asynchroniczny z wirnikiem zwartym. W stosowanych układach napędowych silnik ten sprzęgany jest w sposób bezpośredni z przekładnią przenośnika.

Ze względu na ciągłe zwiększanie długości oraz wydajności stosowanych w podziemiach kopalń przenośników zaostrzają się wymagania odnośnie ich układów napędowych.

Silniki do napędu przenośników dobierane są także pod kątem widzenia momentu rozruchowego. Z wielu względów okres rozruchu jest ważnym okresem pracy przenośników. Przy rozpatrywaniu rozruchu przenośnika należy brać pod uwagę następujące czynniki.

Z punktu widzenia przenośnika:

a. Przyśpieszenie taśmy lub łańcucha w czasie rozruchu nie powinno przekraczać pewnych wartości dopuszczalnych ze względu na siły dynamiczne.

b. Przy rozruchu winien być wykorzystany maksymalny moment silnika (o ile obciążenie przenośnika tego wymaga).

Z punktu widzenia sieci elektrycznej i silnika:

a. Wartość prądu rozruchowego powinna być możliwie mała.

b. Czas trwania dużego prądu rozruchowego powinien być jak najkrótszy.

Przy zastosowaniu dotychczasowego sposobu napędu przenośnika, przy pomocy silnika asynchronicznego bezpośrednio sprzęgniętego z przekładnią, jest szczególnie trudno zrealizować warunek ograniczenia naprężeń dynamicznych w taśmach lub łańcuchach.

Przy zwiększaniu długości i wydajności przenośników, a tym samym przy podnoszeniu mocy ich napędów, ważne znaczenie odgrywa również warunek obniżenia prądów rozruchowych silników.

Warunek ten jest szczególnie istotny dla napędów o mocach większych [do około 40 kW] i wiąże się on z tak zwanym faktycznym momentem rozruchowym silnika, który jest funkcją parametrów silnika i sieci zasilającej.

Z podanych powyżej powodów przeanalizowano możliwość zastosowania przy napędach przenośników:

- rozruszników termistorowych,
- sprzęgieł hydraulicznych.

2. Rozruch przenośnika napędzanego przez silnik asynchroniczny zwarty bezpośrednio sprzęgnięty z przekładnią

Rozruch przenośnika napędzanego silnikiem asynchronicznym zwartym bezpośrednio sprzęgniętym z przekładnią jest - z punktu widzenia teoretycznego - najprostszym możliwym do zrealizowania przypadkiem napędowym.

Dla tego typu napędu możliwe jest przeprowadzenie uproszczonej analizy matematycznej zjawiska rozruchu, która pozwala na obliczenie naprężeń dynamicznych w taśmach lub łańcuchach przenośników.

Opracowanie rozruchu przenośnika sprowadza się do rozwiązania stanu nieustalonego silnika asynchronicznego obciążonego momentem mechanicznym wynikającym z warunków pracy przenośnika.

Analiza matematyczna rozruchu jest niemożliwa do przeprowadzenia bez daleko idących założeń upraszczających. Założenia upraszczające sprowadzają się do:

- przyjęcia stałości momentu obciążenia przenośnika,
- założenia niezmienności zastępczego momentu bezwładności układu ruchomego przenośnika w czasie rozruchu,
- przyjęcie, że w czasie rozruchu charakterystyka mechaniczna silnika określona jest wzorem Klossa.

Na podstawie podanych założeń można obliczyć zależność pomiędzy czasem a poślizgiem (względnie obrotami silnika) w okresie rozruchu przenośnika.
Zależność ta określona jest równaniem

$$t = J \frac{2\pi n_s}{60 M_m} \left[s - 1 + \frac{\alpha^2 + \alpha\sqrt{\lambda}}{\sqrt{\lambda}} \ln \left| \frac{s - \alpha - \sqrt{\lambda}}{1 - \alpha - \sqrt{\lambda}} \right| + \right.$$

$$\left. + \frac{-\alpha^2 + \alpha\sqrt{\lambda}}{\sqrt{\lambda}} \ln \left| \frac{s - \alpha + \sqrt{\lambda}}{1 - \alpha + \sqrt{\lambda}} \right| \right]$$

gdzie:

M_m - moment mechaniczny obciążenia,

J - moment bezwładności silnika i całego układu ruchomego przenośnika

n_s - obroty synchroniczne silnika

$\alpha = \frac{M_k s_k}{M_m}$ (M_k moment maksymalny silnika występujący przy poślizgu s_k)

$$\sqrt{\lambda} = \sqrt{\frac{M_k^2 \cdot s_k^2}{M_m^2} - s_k^2}$$

Na podstawie wyprowadzonych wzorów wykreślono dla przenośnika taśmowego krzywe przedstawiające obroty silnika asynchronicznego w funkcji czasu (rys.1).

Krzywa pierwsza a jest krzywą idealnego biegu luzem przenośnika. Przyjęto, że oporów ruchu nie ma (Mm = 0).

Krzywa druga b jest krzywą rzeczywistego biegu luzem (moment mechaniczny Mm = 2,39 kGm wynika z oporów ruchu przenośnika przy biegu luzem).

Krzywa trzecia c przedstawia rozruch przenośnika przy nominalnym obciążeniu. Moment bezwładności jest tu większy, ponieważ należy uwzględnić bezwładność węgla leżącego na taśmie.

Różniczkując krzywe n = f(t) otrzymamy krzywe pośpieszeń $\frac{dn}{dt}$ = f (t). Krzywe te przedstawione są na rys.2.

Z rysunku 2 widzimy, że przez zwiększenie obciążenia przenośnika prześpieszenia w czasie rozruchu maleją.

Przyśpieszenie kątowe wyrażone w obrotach na sek^2 jest proporcjonalne do przyśpieszenia liniowego taśmy. Przy przenośniku obciążonym w pełni Mm = 5,5 kGm maksymalne przyśpieszenie występuje po upływie czasu około 5,35 sek i wynosi 1,25 m/sek^2. Znając ciężar węgla leżącego na taśmie 4,730 t oraz ciężar 100 m taśmy gumowej 1500 kG, można obliczyć siłę dynamiczną występującą w czasie rozruchu. F_{mx} = 792 kG.

Siła ta występuje w taśmie po upływie czasu 5,35 sek od chwili uruchomienia silnika.

Przyjęte dla rozważań teoretycznych założenia upraszczające są powodem znacznych błędów.

Dla zilustrowania powyższego na rys.3 przedstawiono krzywą przyśpieszenia taśmy przenośnika w funkcji czasu otrzymaną na podstawie pomiaru.

Otrzymane na podstawie pomiaru wartości przyśpieszenia są większe co z kolei wiąże się z wystąpieniem większych sił dynamicznych (Fmx = 1390 kG).

3. Rozruch przenośnika taśmowego napędzanego przez silnik pierścieniowy z rozrusznikiem termistorowym

Rozrusznik termistorowy to typ rozrusznika samoczynnego przy którym wykorzystano ujemny współczynnik zmiany oporu z temperaturą półprzewodników. Podstawową cechą półprzewodników jest silne zmniejszanie się ich oporności elektrycznej przy wzroście temperatury. Ujemny współczynnik półprzewodników jest bardzo duży i przy niektórych materiałach możliwe jest uzyskanie kilkudziesięcio-

krotnego zmniejszenia oporności elektrycznych przy wzroście temperatury o 100°.

Aby rozrusznik termistorowy mógł spełnić swoje zadanie, materiał oporowy użyty do jego konstrukcji powinien posiadać

- czysto elektronowe przewodnictwo, (nawet częściowy udział jonów w przewodnictwie elektrycznym, powoduje zmiany chemiczne w materiale i niestałość charakterystyki),
- duża wartość ujemnego współczynnika cieplnego oporności,
- małą wartość oporności właściwej, co jest konieczne ze względu na wymaganie dużej obciążalności materiału.

Po licznych badaniach, jako materiału do produkcji elementów rozrusznika termistorowego użyto mieszaniny oznaczonej symbolem C 5. Mieszanina ta o składzie 5% tlenku miedzi, 68% tlenku manganu i 27% tlenku niklu posiada następujące właściwości:

a) stosunek oporności przy temperaturze 50 i 150°C dla próbki o grubości 3 mm łącznie z opornością przejścia do elektrod 8,5

b) jak wyżej przy temperaturze 50°C i 200°C .. 13,6

c) jak wyżej przy temperaturze 30°C i 200°C .. 25,8

d) oporność właściwa dla próbki o grubości 3 mm w temperaturze 25°C ..... ~250 Ωcm

e) dopuszczalna gęstość prądu $1 A/cm^2$

f) dopuszczalna temperatura pracy 250°C

g) duża wytrzymałość mechaniczna.

Dla ułatwienia montażu rozrusznika termistorowego poszczególne płytki pakietowano w elementy oporowe. Element oporowy składa się z dwóch symetrycznie umieszczonych, równolegle pracujących paczek, złożonych z szeregowo połączonych płytek. Przy zastosowaniu materiału C5 znamionowe obciążenie każdej paczki wynosi 5 A, przy czym chwilowe obciążenie do 10 A, mogące powstać na sku-

tek nierównomiernego rozpływu prądu nie jest szkodliwe. Opór ograniczający każdej paczki posiada oporność 1Ω.

Rysunek 4 podaje schemat połączeń rozrusznika i stycznika zwierającego rozrusznik termistorowy po dokonanym rozruchu. Stycznik ten zaopatrzony w cewkę na napięcie 380 V, która w czasie trwania rozruchu jest połączona szeregowo z elementami termistorowymi, spełniającymi rolę elementu opóźniającego zwarcie pierścieni silnika. Opóźnienie to regulowano przy pomocy dodatkowego opornika R_r.

Z materiału C5 wykonano rozrusznik termistorowy dla silnika pierścieniowego o mocy 28 kW. Silnik ten napędzał przenośnik taśmowy o długości 200 m pracujący po wzniosie 5°. Zależność przyśpieszenia taśmy od czasu dla rozruchu przenośnika z rozrusznikiem termistorowym pokazano na rys.5. Maksymalne przyśpieszenie występujące przy zwarciu pierścieni ma wartość 1,33 m/sek^2.

Należy zwrócić uwagę, że w czasie rozruchu prąd nie przekracza 150% prądu znamionowego silnika.

4. Rozruch przenośnika napędzanego poprzez sprzęgło hydrauliczne

Do napędu przenośników używane są dwa typy sprzęgieł hydraulicznych

- ze stałym napełnieniem,
- z opóźnionym napełnieniem.

W trakcie przeprowadzonych prób zastosowano do napędu przenośników sprzęgła produkcji krajowej o stałym napełnieniu. Pomiary przyśpieszeń taśmy w czasie rozruchu przeprowadzono na przenośniku o długości 150 m. Zależność prześpieszenia taśmy w funkcji czasu przedstawiono na rys.6.

Maksymalne przyśpieszenie przy rozruchu wynosi 0,94 m/sek^2 i występuje po czasie 2,4 (sek) od czasu włączenia silnika. Z krzywej rys. 6 widzimy, że po czasie około 0,5 sek występuje w czasie rozruchu opóźnienie. Maksymalna wartość opóźnienia przy rozruchu wynosi 0,2 m/sek^2.

Zastosowanie do napędu przenośników sprzęgła hydraulicznego jest niekorzystne z tego powodu, że ze względu na jego duży moment bezwładności przedłuża się znacznie czas rozruchu silnika.

5. Wnioski końcowe

Opierając się na wynikach przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

- przy napędzie przenośników przez silnik asynchroniczny zwarty, sprzęgnięty bez możności poślizgu z przekładnią, występują w czasie rozruchu znaczne siły dynamiczne. Prąd rozruchu jest tu znaczny, lecz czas jego trwania, o ile moment rozruchowy jest wystarczający, jest stosunkowo krótki (około 1 sek.),
- najkorzystniejszym rozwiązaniem pod względem elektrycznym, jest zastosowanie do napędu przenośników silnika pierścieniowego z rozrusznikiem termistorowym, Prąd rozruchu w tym wypadku nie przekracza na ogół dwukrotnej wartości prądu nominalnego,
- zastosowanie sprzęgła hydraulicznego obniża wartość prześpieszenia taśmy przenośnika. Ze względu jednak na znaczne powiększenie momentu zamachowego układu napędowego, czas rozruchu silnika znacznie się przedłuża.

Na podstawie podanych powyżej sformułowań można określić następujące praktyczne wytyczne doboru rodzaju napędu. Do napędów przenośników bardzo długich pracujących po upadzie korzystnie jest stosować silniki pierścieniowe z rozrusznikami termistorowymi.

Średnie i krótkie przenośniki pracujące pod górę (taśmowe, zgrzebłowe, stalowo-członowe), w których moment zmienia się w szerokich granicach i z tego względu silnik musi mieć nadmiar mocy, należałoby wyposażać w sprzęgła hydrauliczne. Dla przenośników o średniej długości i obciążaniu zmiennym w węższych granicach, najwłaściwszym rozwiązaniem wydaje się silnik zwarty bezpośrednio napędzający przenośnik.

LITERATURA

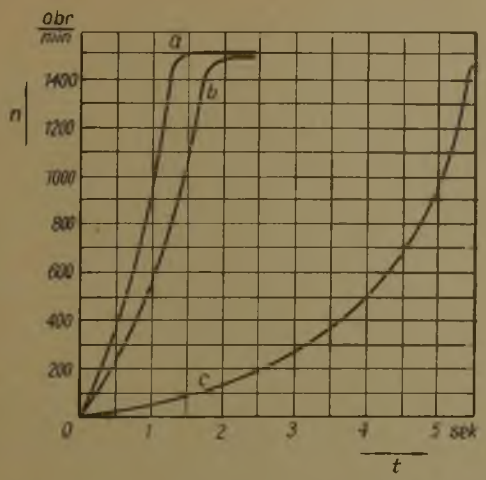
1. Jabłoński A. - Rozruszniki termistorowe. Prace Instytutu Elektrotechniki Nr 1 Rok III.
2. Maksimow A.E. - Gidroelektropriwod radnicznych podjomnych maszin. Ugletiechizdut 1951.
3. Grzywak A., Szyja St. - Badanie urządzeń rozruchowych przenośników górniczych. Komunikat IMG Nr 13 WGH 1955.
4. Grzywak A., Szyja St. - Urządzenia rozruchowe przenośników kopalnianych. Przegląd górniczy Nr 2 - 1956r.
5. Grzywak A., Szyja St. - Metoda Analizy naprężeń dynamicznych w taśmach i łańcuchach przenośników górniczych. Przegląd górniczy Nr 9 1955 r.

Запуск горных транспортеров

Анализ пуска транспортеров мощности пониже 40 кв. Пуск в ход с применением термисторового пускового устройства. Сравнение непосредственного запуска и устройства с гидравлической муфтой.

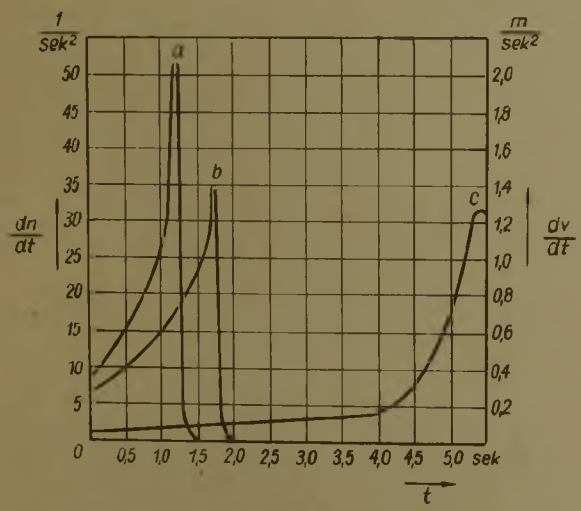
Dispositif de démarrage des transporteurs pour mines

Analyse du démarrage des transporteurs d'une puissance au-dessous de 40 kW. Le demarrage avec un demarreur a thermistors. Comparaison avec un démarrage direct et un embrayage hydraulique.

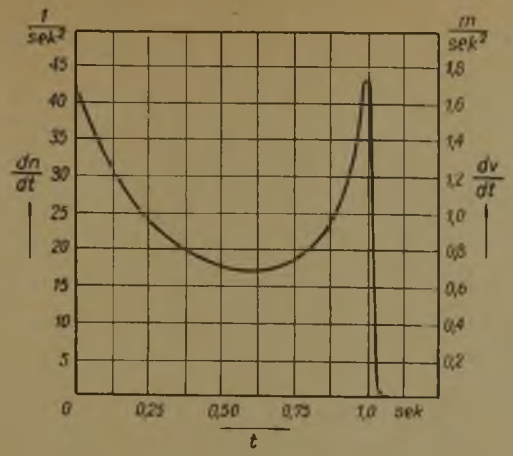


Rys.1. Zależność obrotów silnika asynchronicznego napędzającego przenośnik taśmowy od czasu (krzywa teoretyczna)

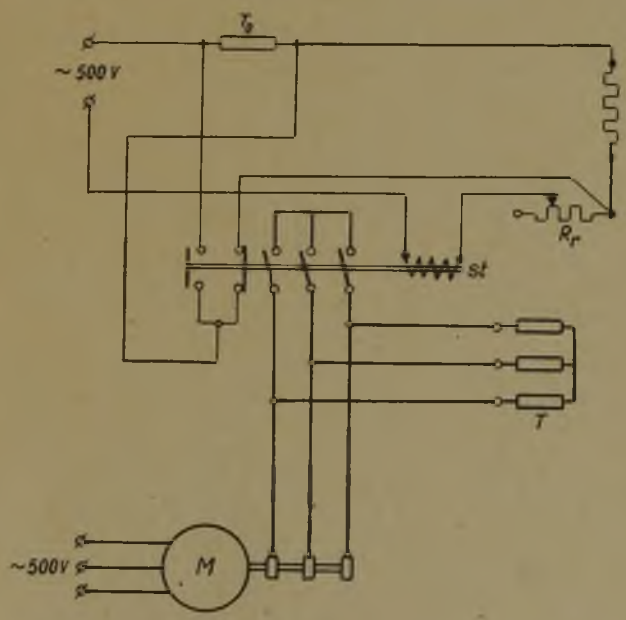
a - Krzywa idealnego biegu luzem (M_m = o), b - Krzywa rzeczywistego biegu luzem (M_m = 2,39 kGm), c - Krzywa rozruchu przenośnika przy nominalnym obciążeniu



Rys.2. Zależność prześpieszenia taśmy przenośnika od czasu (krzywa teoretyczna)

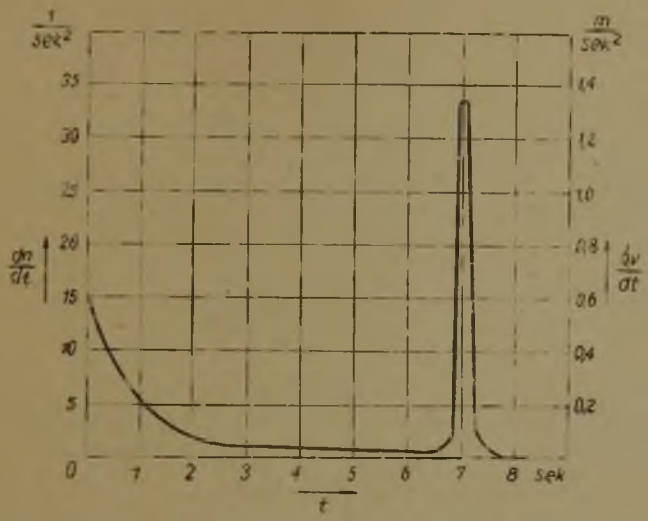


Rys.3. Zależność przyśpieszenia taśmy przenośnika od czasu (krzywa otrzymana na podstawie pomiaru)

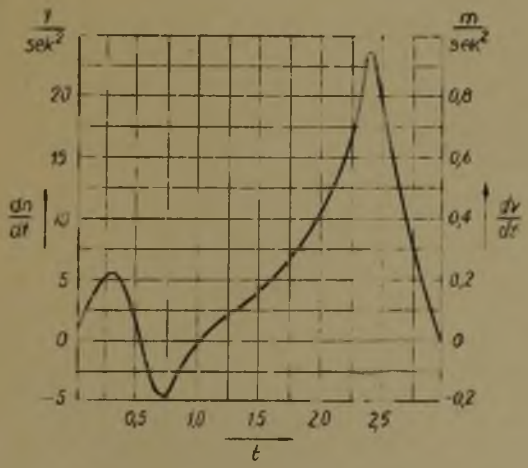


Rys.4. Schemat połączenia rozrusznika termistorowego ze stycznikiem

M silnik, T rozrusznik, termistorowy, To element termistorowy opóźniający, St stycznik zwierający pierścienie



Rys.5. Zależność prześpieszenia taśmy od czasu przy napędzaniu przenośnika silnikiem pierścieniowym z rozrusznikiem termistorowym



Rys.6. Zależność prześpieszenia taśmy od czasu przy napędzaniu przenośnika poprzez sprzęgło hydrauliczne