

# Energooszczędne układy napędowe dwubiegowe

Tadeusz Glinka

## Wstęp

Silniki elektryczne dwubiegowe są zwykle stosowane do napędu urządzeń mechanicznych, których program pracy wymaga dwóch różnych prędkości obrotowych. Do urządzeń tych należą: wirówki, wentylatory, pompy, dźwigi osobowe i inne.

Drugim powodem stosowania napędów wielobiegowych jest energooszczędność.

Energooszczędność napędu jest kryterium ekonomicznym i ekologicznym. Praca napędu z niższą prędkością obrotową zmniejsza także zużywanie napędzanych urządzeń mechanicznych i obniża generowany przez nie hałas, czego przykładem są przenośniki taśmowe.

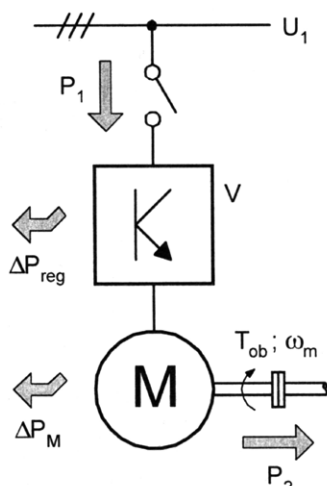
W napędach urządzeń mechanicznych stosowanych w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego zastosowanie wielobiegowych układów napędowych jest dyktowane przede wszystkim względami energooszczędności.

## Definicja napędu energooszczędnego

Napęd energooszczędny jest to taki napęd, który pobiera z sieci elektroenergetycznej minimum energii potrzebnej do realizacji procesu technologicznego [5] – rys. 1.

Energia potrzebna do realizacji procesu technologicznego w określonym czasie  $\tau$ , np. dzień, miesiąc, rok, wynosi:

$$W_2 = \int_0^{\tau} P_2 dt = \int_0^{\tau} T_{ob} \omega_m dt \quad (1)$$



Rys. 1. Układ napędowy o regulowanej prędkości obrotowej [5]

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono definicję napędu elektrycznego energooszczędnego. Wykazano, że napędy dwubiegowe są napędami energooszczędnymi. Napędy dwubiegowe realizuje się przy pomocy:

- dwubiegowych silników indukcyjnych klatkowych;
- elektromaszynowej kaskady asynchronicznej, którą zrealizowano dwoma silnikami indukcyjnymi pierścieniowymi.

Przedstawiono warianty rozwiązania napędów dwubiegowych. Nie wymagają one stosowania przekształtników energoelektronicznych, co upraszcza konstrukcję układu napędowego, obniża koszty inwestycyjne i zwiększa niezawodność pracy. Układy dwubiegowe można budować o mocy znamionowej od kilowatów do megawatów.

Słowa kluczowe: napędy energooszczędne, silniki indukcyjne dwubiegowe, kaskada asynchroniczna

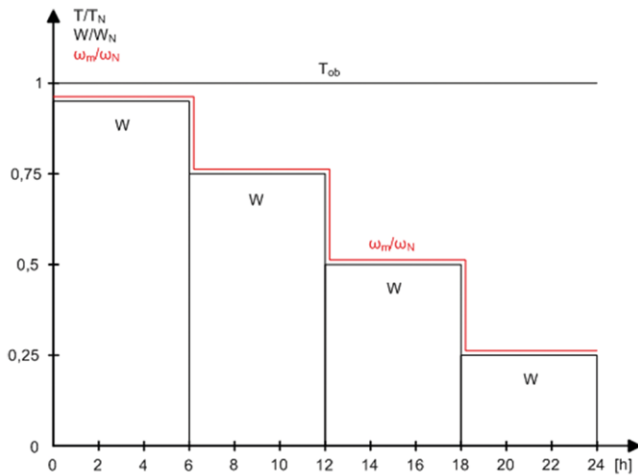
## 🇬🇧 ENERGY-SAVING TWO-SPEED DRIVE SYSTEMS

**Abstract:** The article presents a definition of an energy-efficient electric drive. It has been shown that two-speed drives are energy-efficient. Two-speed drives are being made by use of:

- two-speed Squirrel-cage induction motors;
- electromechanical asynchronous cascade, which was completed with the use of two induction wound rotor motors.

The presented variants of two-speed drive systems, they do not require the use of power-electronics converters, which simplifies the design of the drive system, reduces investment costs and increases reliability. Two-speed systems can be built with a power rating from kilowatts to megawatts. Keywords: Energy-saving drives, two-speed induction motors, asynchronous cascade

Napędzane urządzenie mechaniczne narzuca silnikowi moment obciążenia  $T_{ob}$  i prędkość kątową  $\omega_m$ . Jak wynika z zależności (1), minimalne zużycie energii  $W_{2min}$  uzyskuje się wówczas, gdy napęd pracuje z minimalną, lecz dopuszczalną prędkością kątową ( $\omega_{mmin}$ ). Wówczas i moment obciążenia  $T_{ob}$  jest zwykle najmniejszy. Przykładem są wentylatory, pompy, a także przenośniki taśmowe. Realizacja algorytmu pracy napędu z minimalną prędkością kątową  $\omega_{mmin}$  daje największe



Rys. 2. Hipotetyczna praca przenośnika taśmowego przedstawiona na zredukowanym wykresie: wydajności -  $W_{wyjd}$ , momentu obciążenia -  $T_{ob} = \text{const.}$  i prędkości kątowej -  $\omega_m$ , w czasie 24 godzin

oszczędności energii. Taki algorytm pracy we współczesnych napędach elektrycznych może być realizowany np. przy pomocy silnika indukcyjnego klatkowego zasilanego z przemiennika energoelektronicznego (falownika).

Na przykładzie przenośnika taśmowego zrobimy bilans energetyczny układu napędowego.

Minimalne zużycie energii przez układ napędowy przenośnika taśmowego realizującego swoje zadanie będzie wówczas, gdy przenośnik będzie pracował przy pełnym załadunku taśmy, co wiąże się z dopasowywaniem prędkości liniowej taśmy do szybkości ładowania masy materiału na taśmę w kg/s.

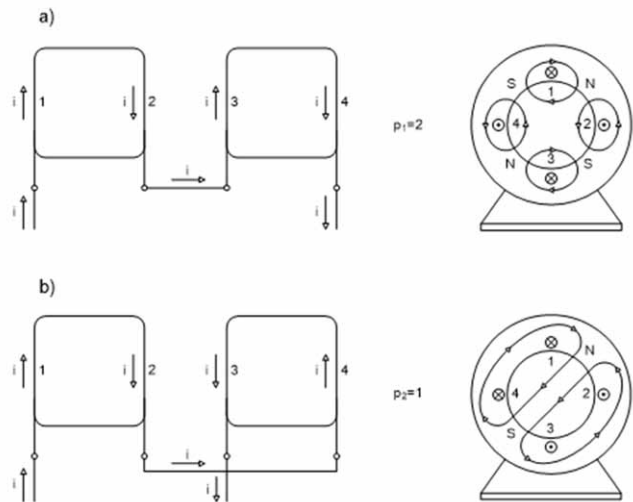
Minimalne zużycie energii będzie określone przy założeniach:

- taśma transportowa jest napędzana układem napędowym o ciągłej regulacji prędkości obrotowej, jak na rys. 1;
- przenośnik taśmowy pracuje ze zmienną wydajnością  $0 \leq W_{wyjd} \leq W_{wyjd\ max}$  przy czym moment obciążenia na wale silnika zmienia się w znacznie mniejszym zakresie, gdyż determinuje go taśma i samotoki, założymy zatem  $T_{ob} = \text{const.} = T_N$ ;
- prędkość obrotowa silnika zmienia się w przedziale  $0 \leq \omega_m \leq \omega_N$  tak, aby załadunek taśmy było pełne (znamionowe).

Hipotetyczne warunki pracy przenośnika taśmowego (maszyny roboczej) przedstawiono na zredukowanych wykresach: wydajności -  $W_{wyjd}$ , momentu obciążenia -  $T_{ob}$  i prędkości kątowej -  $\omega_m$  (rys. 2). Założymy, że taśmociąg pracuje po 6 godzin: z pełną wydajnością  $W_{wyjdN}$ , z wydajnością  $0,75 W_{wyjdN}$ , wydajnością  $0,5 W_{wyjdN}$  i wydajnością  $0,25 W_{wyjdN}$ . W tak założonych warunkach pracy zużyta energia elektryczna w czasie  $\tau = 24$  [h], wynosi:

$$W_{2\ min} = 15T_{ob} \omega_N 10^{-3} \text{ kWh} \quad (2)$$

Energia  $W_2$  min będzie bazą do porównania z energią zużytą przez przenośnik taśmowy napędzany silnikiem indukcyjnym: jednobiegowym, dwubiegowym bądź skompensowaną



Rys. 3. Jedno uzwojenie o przełączalnej liczbie par biegunów [5]

kaskadą asynchroniczną, złożoną z dwóch silników indukcyjnych pierścieniowych.

Układ napędowy jednobiegowy, realizując ten sam algorytm pracy, zużyje energię  $W_{24} = 24T_{ob}\omega_N 10^{-3}$  kWh, czyli o 60% większą w stosunku do układu z ciągłą regulacją prędkości obrotowej. Jeśli do realizacji tej pracy zastosować dwubiegowy układ napędowy, to układ ten przez 12 godzin będzie pracował z prędkością obrotową  $\omega_N$ , a przez drugie 12 godzin będzie pracował z prędkością obrotową  $0,5\omega_N$ . W sumie maszyna robocza zużyje energię równą  $W_{12} = 18T_{ob}\omega_N 10^{-3}$  kWh, czyli o 20% większą w stosunku do układu z ciągłą regulacją prędkości obrotowej. Oszczędność energii w stosunku do układu jednobiegowego wynosi 33%. Korzyści energetyczne ze stosowania układów dwubiegowych są więc ewidentne.

### Dwubiegowe silniki indukcyjne klatkowe

Fundamentalną zasadą działania każdej maszyny elektrycznej jest równość biegunów siły magnetomotorycznej uzwojenia stojana i wirnika, gdyż tylko wówczas maszyna generuje moment elektromagnetyczny różny od zera. Właściwością silników indukcyjnych klatkowych jest, że liczba biegunów uzwojenia wirnika dopasowuje się do liczby biegunów uzwojenia stojana. Właściwość ta jest wykorzystywana w konstrukcji silników wielobiegowych. Silniki dwubiegowe konstruuje się z:

- jednym uzwojeniem stojana o przełączalnej liczbie biegunów, gdy stosunek biegunów  $p_1/p_2 = 2$ ;
- o dwóch uzwojeniach, gdy  $p_1/p_2 \neq 2$ .

Sposób uzyskania, przy pomocy tego samego uzwojenia, dwóch różnych biegunowości zilustrowano na rys. 3. Jak widać z rys. 3, zamiana końcówek uzwojenia (3 i 4) zmienia liczbę biegunów uzwojenia z  $2p_1 = 4$  na  $2p_2 = 2$ . Podobnie można zrealizować uzwojenia o innej liczbie biegunów ( $2p_1 = 4, 6, \dots$ ), zachowując stosunek par biegunów  $p_1/p_2 = 2$ . Teoretycznie można wykonać także uzwojenie o przełączalnej liczbie biegunów przy stosunku  $p_1/p_2 = 3$  i 4. Uzwojenia takiego w praktyce

Tabela 1[1]

Parametr/silnik	Jednobiegowy		Dwubiegowy	
	2	4	2	4
Liczba biegunów 2p	2	4	2	4
Wielkość mechaniczna [mm]	280	280	280	
Moc znamionowa [kW]	90	75	90	75
Napięcie znamionowe [V]	500	500	400	400
Prąd znamionowy [A]	121	102	148	126
Prędkość znamionowa [obr./min]	2970	1485	2963	1485
Moment znamionowy [N · m]	290	482	290	483
Sprawność znamionowa [%]	94,7	94,2	92,5	94,2
cos φ <sub>N</sub>	0,91	0,90	0,95	0,91
Moment rozruchu/moment znam.	2	2,5	1,3	1,8
Prąd rozruchu/prąd znam.	7	7,3	6,3	6,8
Moment maks./moment znam.	3,2	2,5	1,9	1,9
Połączenie uzwojeń	Y	Y	YY	D
Masa silnika [kg]	605	575	630	

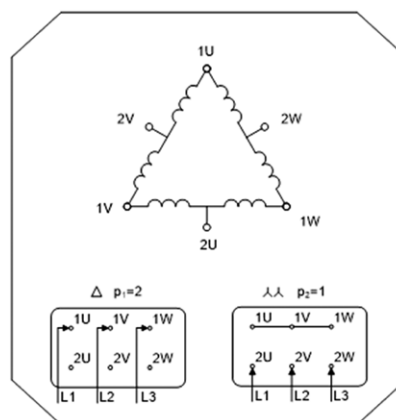
nie wykonuje się, gdyż nie można uzyskać dla obydwóch przypadków ( $p_1, p_2$ ) zbliżonych wartości indukcji magnetycznej w szczelinie silnika. Moment elektromagnetyczny silnika zależy od kwadratu indukcji. Dla jednej z tych biegunowości ( $p_1$  lub  $p_2$ ) moment ten byłby mały i silnik nie wypełniałby swojej funkcji. Z tego względu silniki o stosunku par biegunów  $p_1/p_2 \neq 2$  wykonuje się z dwoma niezależnymi uzwojeniami. Jedno uzwojenie ma liczbę par biegunów  $p_1$ , a drugie  $p_2$ . Wykonanie silnika z dwoma uzwojeniami stojana wymaga powiększenia żłobków, co powiększa objętość i masę silnika o objętość jednego uzwojenia.

Wykonanie silnika z dwoma uzwojeniami stojana daje jednak dodatkowe możliwości, gdyż jedno z tych uzwojeń można wykonać o przełączalnej liczbie biegunów; uzyskuje się wówczas silnik trójbiegunowy. Można także obydwie uzwojenia wykonać o przełączalnej liczbie biegunów, co daje silnik czterobiegowy. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono schematy uzwojeń i opis skrzynek przyłączeniowych silników dwubiegowych [1].

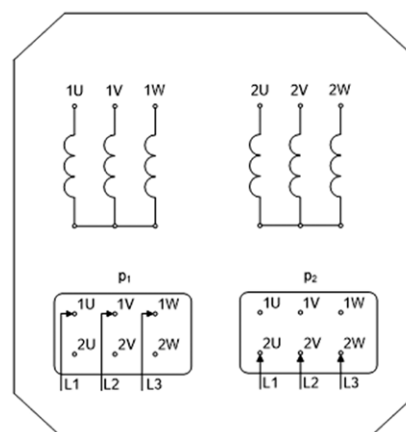
W tabeli 1 zestawiono, w formie przykładu, parametry silników wielkości mechanicznej 280 mm jednobiegowych o liczbie par biegunów  $p_1 = 2$  i  $p_2 = 1$  oraz dwubiegowego z jednym uzwojeniem twornika o przełączalnej liczbie par biegunów  $p_1/p_2 = 2/1$ , jak na rys. 4.

Jak widać z tego zestawienia, różnice dotyczące: sprawności, cos φ, prądu rozruchowego są niewielkie. Większe różnice dotyczą momentu rozruchowego i momentu maksymalnego. Silnik dwubiegowy ma także większą masę – od silnika 2-biegowego o niecałe 5%, a od silnika 4-biegowego o około 10%.

W tabeli 2 zestawiono, w formie przykładu, parametry silników wielkości mechanicznej 160: dwubiegowego z dwoma uzwojeniami twornika o liczbie par biegunów  $p_1/p_2 = 3/2$  i jednobiegowych o liczbie par biegunów  $p_1 = 3$  i  $p_2 = 2$ , z uzwojeniami jak na rys. 5. Moc silników nie jest identyczna. Brak jest w katalogu [1] silników jednobiegowych o identycznych



Rys. 4. Schemat uzwojenia twornika i opis skrzynki przyłączeniowej silnika dwubiegowego z jednym uzwojeniem przełączalnym [1]



Rys. 5. Schematy uzwojeń i opis skrzynki przyłączeniowej silnika dwubiegowego z dwoma uzwojeniami twornika [1]

Tabela 2[1]

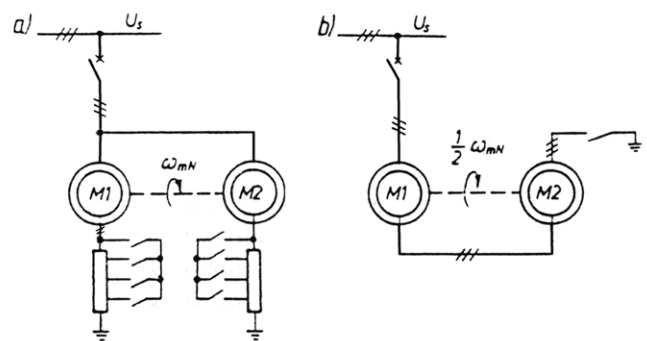
Parametr/silnik	Jednobiegowy		Dwubiegowy	
Liczba biegunów 2p	6	4	6	4
Wielkość mechaniczna [mm]	160	160	160	
Moc znamionowa [kW]	4	11	4,4	12
Napięcie znamionowe [V]	400	400	400	400
Prąd znamionowy [A]	8,3	21,8	9,9	24,5
Prędkość znamionowa [obr./min]	960	1470	965	1425
Moment znamionowy [N · m]	40,0	71,5	43,54	80,42
Sprawność znamionowa	85,8	89,8	78,0	80
$\cos \varphi_N$	0,81	0,81	0,83	0,79
Moment rozruchu/moment znam.	2,2	2,0	1,6	1,05
Prąd rozruchu/prąd znam.	6,6	7,1	6,1	4,6
Moment maks./moment znam.	3,0	2,8	1,9	1,9
Połączenie uzwojeń	Y	Y	Y	Y
Masa silnika [kg]	100	106	125	

mocach jak moce silnika dwubiegowego. Porównanie parametrów silników zestawione w tabeli 2 dotyczy zatem silników o mocach zbliżonych.

Z danych podanych w tabeli 2 widać, że masa silnika dwubiegowego jest większa o około 25% od masy silnika jednobiegowego 6-biegowego i około 20% od masy silnika 4-biegowego. Cena silnika jest zależna od jego masy.

### Elektromaszynowa kaskada asynchroniczna

Napędy przenośników taśmowych długich i o dużej wydajności, które są stosowane między innymi w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego, składają się z dwóch, czasem czterech silników indukcyjnych pierścieniowych. Silniki indukcyjne klatkowe w tego typu napędach nie spełniają swojej funkcji. Prąd rozruchowy silników indukcyjnych klatkowych jest 6 do 7 razy większy od prądu znamionowego, a moment rozruchowy 2,5 do 3 razy większy od momentu znamionowego. Te właściwości dyskredytują stosowanie silników indukcyjnych klatkowych w tego typu napędach. Duży moment rozruchowy silników indukcyjnych klatkowych skraca żywotność taśmy transportowej, a nawet powoduje jej zrywanie, a rozruch taśmociągu zasypanego przy dużych spadkach napięcia, na długich kablach zasilających, często nie jest możliwy. Silniki indukcyjne pierścieniowe, z rozrusznikami rezystorowymi, w napędach tych spełniają swoją funkcję. Rezystory rozruchowe włączane w obwód wirnika zmniejszają zarówno prąd rozruchowy, jak i zwiększają moment rozruchowy do pożądanej wartości, gwarantują więc pracę taśmociągu w każdych warunkach. Układ napędowy dwoma silnikami indukcyjnymi ma jeszcze jedną zaletę: można go przełączać w kaskadę asynchroniczną, która wiruje z prędkością obrotową o połowę mniejszą od prędkości obrotowej silnika. Przełączenie silników w układ kaskadowy jest możliwe tylko wówczas, gdy taśmociąg lub maszyna robocza pracuje z wydajnością mniejszą od 50% swojej wydajności



Rys. 6. Praca indywidualna (a) i w układzie elektromaszynowej kaskady asynchronicznych (b), silników indukcyjnych pierścieniowych M1 i M2

znamionowej. Praca przy mniejszej prędkości obrotowej pozwala znacznie zmniejszyć zużycie energii elektrycznej przez układ napędowy.

Układ napędowy z dwoma silnikami indukcyjnymi pierścieniowymi, napędzającymi jeden wał mechaniczny, można przełączyć w układ elektromaszynowej kaskady asynchronicznej [2]. Układ kaskadowy otrzymuje się, gdy silnik M1 (rys. 6) jest zasilany z sieci, uzwojenia wirnika silników M1 i M2 są połączone w szereg, a uzwojenie stojana silnika M2 jest zwarte.

Sekwencja faz wirnika silnika M2 musi być taka, aby momenty elektromagnetyczne silników M1 i M2 w zakresie prędkości kątowych  $0 \leq \omega_m \leq 0,5\omega_{mN}$  współdziałały ze sobą.

W układzie kaskadowym prędkość obrotowa wału jest dwukrotnie mniejsza od prędkości znamionowej silników. Tak więc układ ten można wykorzystać do skokowej zmiany prędkości obrotowej napędu. Nie jest on jednak w praktyce powszechnie stosowany z uwagi na to, że przeciążalność momentem układu kaskadowego jest znacznie mniejsza od przeciążalności

momentem jednego silnika, a prąd biegu jałowego jest o około 50% większy od prądu biegu jałowego jednego silnika. Do zwiększenia przeciążalności momentem i obniżenia prądu biegu jałowego można doprowadzić, kompensując moc bierną silnika  $M2$  za pomocą baterii kondensatorów  $C$ , włączonej równolegle w obwód wirników [3]. Tego typu skompensowana kaskada asynchroniczna (rys. 7) ma korzystny przebieg charakterystyk elektromechanicznych i jest stosowana w kopalniach węgla brunatnego, eksploatujących przenośniki taśmowe. Zastąpienie w przenośnikach dotychczasowego napędu kaskadą nie wymaga dużych inwestycji, gdyż każdy przenośnik o dużej wydajności jest napędzany dwoma lub czterema silnikami indukcyjnymi pierścieniowymi, które posiadają komplet rezystorów rozruchowych. Należy tylko dobrać i wyposażyć układ w baterię kondensatorów.

Pojemność baterii kondensatorów powinna być dobrana możliwie optymalnie. Gdy pojemność jest za mała, uzyskuje się mniejszą przeciążalność momentem układu kaskadowego, natomiast gdy jest zbyt duża, to prądy w obwodach wirników  $M1$  i  $M2$ , przy obciążeniu kaskady momentem równym podwójnemu momentowi znamionowemu jednego silnika ( $T_{ob} = 2T_N$ ), przekraczają wartość znamionową, co stwarza zagrożenie przeciążenia termicznego uzwojeń wirników.

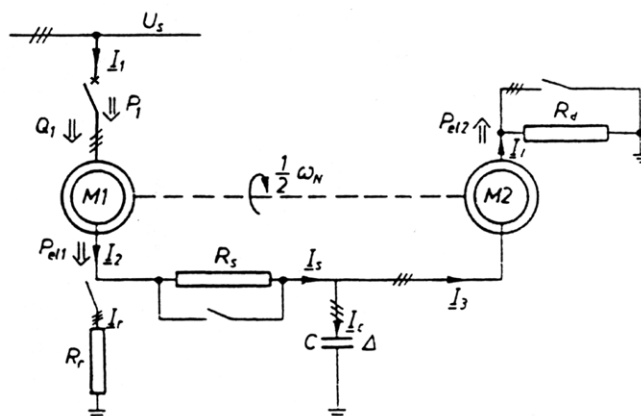
Optymalną wartość pojemności baterii kondensatorów określają prądy wirników silnika  $M1$  i  $M2$  przy ich znamionowym momencie obciążenia. Pojemność baterii kondensatorów, przy której uzyskuje się:  $(I_2)_{M1} = I_{2N}$  i  $(I_2)_{M2} \leq I_{2N}$  lub  $(I_2)_{M2} = I_{2N}$  i  $(I_2)_{M1} \leq I_{2N}$ , jest pojemnością optymalną.

Na rysunku 8 podano przykładowe charakterystyki mechaniczne  $T = f(n)$ :

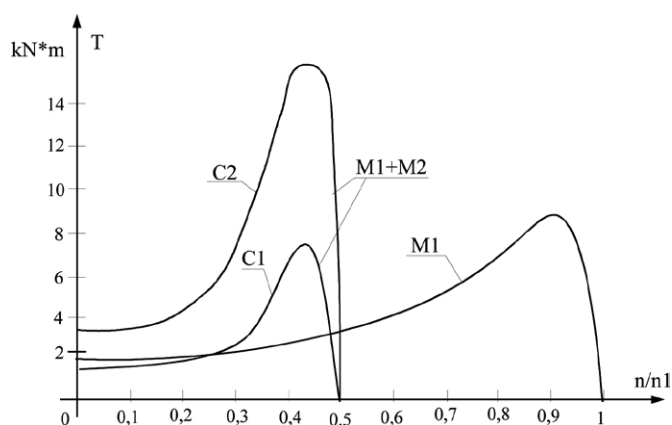
- silnika  $M1$ : typ SZUr – 126 t, 400 kW, 6000 V, 47 A, 980 obr./min, parametry wirnika 675 V, 370 A;
- układu kaskadowego złożonego z silników  $M+M2$  o tych samych danych, podanych wyżej.

Zbudowanie układu uniwersalnego, umożliwiającego przełączanie silników w czasie ruchu z układu indywidualnego w układ kaskadowy, wymaga stosowania wielu wyłączników, ponadto wyłączniki należy bocznikować układami tłumiącymi przepięcia.

Względy ruchowe i eksploatacyjne przenośników taśmowych najczęściej nie wymagają szybkich przełączeń silników z zasilania indywidualnego w układ kaskadowy. Przełączenia takie można realizować zwykle w czasie postoju przenośnika za pomocą połączeń stałych. Układ taki minimalizuje liczbę wyłączników oraz nie generuje dodatkowych przepięć łączeniowych. W tym przypadku rozruch przenośnika taśmowego musi być prowadzony w układzie kaskadowym. Dostosowanie napędu przenośnika pracującego w układzie skompensowanej kaskady asynchronicznej do rozruchu polega na wprowadzeniu do kaskady odpowiednio dobranych elementów  $R$  i  $C$ . Formują one charakterystyki mechaniczne kaskady  $T = f(n)$  tak, by moment rozruchowy był wyraźnie większy od momentu rozruchowego, wynikającego z przebiegu charakterystyki naturalnej kaskady i był zbliżony do wartości, którą uzyskuje się przy indywidualnym zasilaniu silników  $M1$  i  $M2$  z włączonymi rezystorami rozruchowymi. Istnieje możliwość włączenia w obwód



**Rys. 7.** Układ elektromaszynowej skompensowanej kaskady asynchronicznej z rezystorami rozruchowymi



**Rys. 8.** Charakterystyki mechaniczne silnika ( $M1$ ) oraz układu kaskadowego ( $M1+M2$ ) przy  $C_1 = 0$ ;  $C_2 = 10000 \mu F$

elektromaszynowej kaskady asynchronicznej trzech rezystorów rozruchowych  $R_r$ ,  $R_s$  i  $R_d$  – rys. 7.

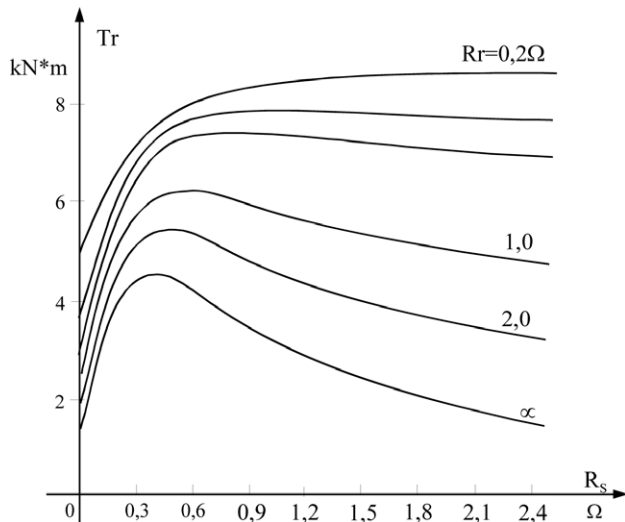
Jak wykazały badania eksperymentalne, można ograniczyć się do dwóch rezystorów  $R_r$  i  $R_s$ , przyjmując  $R_d = 0$ , co w przypadku napędów przenośników taśmowych umożliwia wykorzystanie istniejących rezystorów rozruchowych. Na rys. 9 przedstawiono charakterystyki momentu rozruchowego (silnika SZUr – 126 t) przy  $n = 0$  w zależności od rezystorów  $R_s$  i  $R_r$ .

Badania przeprowadzone na przenośniku taśmowym w kopalni węgla brunatnego [2], napędzanym dwoma silnikami 320 kW, pracującym przy 50% wydajności, wykazały, że moc pobierana wynosiła:

- przy znamionowej prędkości taśmy 388 kW;
- przy prędkości taśmy o połowę mniejszej 164 kW.

Zmniejszono pobór mocy o 58%. Taśmociągi przy mniejszej prędkości taśmy pracują ciszej, a taśma i wszystkie elementy wirujące wolniej się zużywają, zaś ich trwałość jest większa.

Podobne badania przeprowadzono na innym taśmociągu w jednej z hut [3]. Były to badania porównawcze, to znaczący



Rys. 9. Moment rozruchowy układu kaskadowego złożonego z silników SZU<sub>r</sub> - 126 t, w zależności od rezystorów  $R_s$  i  $R_r$ , przy  $R_d = 0$ ;  $C = 890 \mu\text{F}$

przy tej samej przetransportowanej masie towarowej, w tym samym czasie, przy:

- 50% załadunku taśmy i 100% prędkości taśmy;
- 100% załadunku taśmy i 50% prędkości taśmy.

Wykonano pomiar energii zużytej przez układ napędowy, w obydwóch wariantach, w czasie jednego tygodnia. Badania te wykazały, że przy mniejszej prędkości taśmy do przetransportowania tej samej masy w tym samym czasie pobrana energia była 33% mniejsza.

### Podsumowanie

Największe oszczędności energii pobieranej przez układ napędowy uzyskuje się poprzez obniżenie prędkości obrotowej do wartości dopuszczalnej z punktu widzenia realizowanego zadania technologicznego. Prostym rozwiązaniem energooszczędnego napędu urządzeń elektromechanicznych jest napęd dwustopniowy. Dwa stopnie prędkości obrotowej można uzyskać przy pomocy: dwubiegowego silnika indukcyjnego

klatkowego bądź elektromaszynowej kaskady złożonej z dwóch silników indukcyjnych pierścieniowych. Badania eksperymentalne prowadzone w kopalniach węgla brunatnego [2] wykazały, że przenośniki taśmowe pracują tam ze średnią dobową wydajnością mniejszą od 30%, a czasem bliską zeru, np. zimą, aby nie zamarzły. Wydajność maksymalna nie przekracza 70% wydajności znamionowej. Przenośniki długie i o dużej wydajności są napędzane parami silników indukcyjnych pierścieniowych. Przy wydajności przenośnika taśmowego mniejszej od 50% można obniżyć prędkość taśmy do połowy, przełączając silniki indukcyjne pierścieniowe w układ kaskadowy. Zmniejszenie prędkości taśmy znacznie obniża dobór energii elektrycznej zużywanej przez układ napędowy. Badania przeprowadzone na taśmociągach w jednej z hut wykazały, że przy zmniejszonej do 50% prędkości taśmy do przetransportowania tej samej masy w tym samym czasie pobrana energia była o 33% mniejsza.

### Literatura

- [1] Katalog silników elektrycznych firmy Cantoni Motor.
- [2] GLINKA T., LISOWSKI J.: *Zużycie energii przez przenośniki taśmowe i możliwości jego zmniejszenia*. „Przegląd Elektrotechniczny” 1989, z. 1, s. 5–8.
- [3] GLINKA T., KULESZ B., LECHOWICZ K., LISOWSKI J.: *Skompensowana kaskada asynchroniczna i jej zastosowanie w napędach przenośników taśmowych*. „Przegląd Elektrotechniczny” 1992, z. 8, s. 175–179.
- [4] GLINKA T.: *Maszyny elektryczne i transformatory. Podstawy teoretyczne, eksploatacja, diagnostyka*. Wydawnictwo Instytutu Komel, 2015.
- [5] GLINKA T.: *Silniki wielobiegowe jako napędy energooszczędne*. *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe*, 1/2016, s. 11–17.

prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka - Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej, Zakład Maszyn Elektrycznych i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie

artykuł recenzowany