

ALEKSANDER LESZCZYŃSKI

Zakłady Konstrukcyjno-Mechaniczne
Przemysłu Węglowego Gliwice

WŁADYSŁAW PASZEK

Instytut Metrologii
i Maszyn Elektrycznych

SYSTEMY CYFROWE STEROWANIA MASZYN WYCIĄGOWYCH

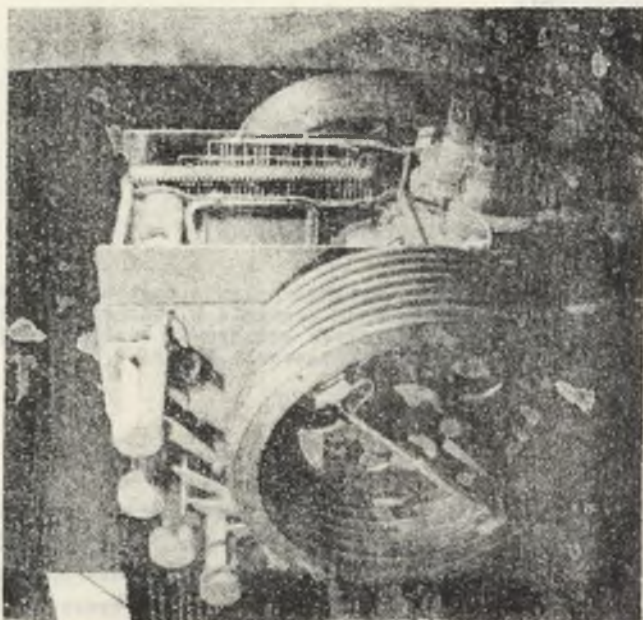
Streszczenie. Artykuł opisuje zastosowanie znaków magnetycznych na linach do kontroli i sterowania maszyn wyciągowych. Opisano cyfrowe urządzenie kontroli dojazdu CZD-1 oraz urządzenie programowania jazdy.

1. Wstęp

Zagadnienie pomiaru drogi jazdy maszyn wyciągowych jest nierozłącznie związane ze sterowaniem. Zadawanie prędkości jazdy odbywa się w funkcji drogi. Informacje o ruchu klatek w szybie są przesyłane do układu sterującego. Dotychczas do tych celów jest stosowany elektryczno-mechaniczny regulator jazdy, wyposażony w taraze krzywkowe, które sterują potencjometrami zadając napięcie do układu regulacji, proporcjonalne do prędkości w funkcji drogi oraz w łączniki podające rozkazy do sterowania napędem. Przy przekroczeniu drogi jazdy wyłączniki krańcowe wyzwalają hamulce bezpieczeństwa. Poza tym aparat krzywkowy, który ma zabudowany korektor poślizgu liny napędza dwa sejsyny wskaźnika głębokości. Tego typu zespół dotychczas stosowany do programowania i kontroli cyklu jazdy maszyn wyciągowych wystarcza do głębokości 1000 m.

Dokładność aparatu maleje wraz z głębokością, co jest jego wadą. Urządzenie programujące ze wskaźnikiem głębokości jest napędzane od koła napędowego lub od bębna. Wprowadza to błąd wynikający z pomiaru pośredniego: klatka-maszyna-przekładnia-regulator jazdy. Na kole pędnym występuje zjawisko pełzania oraz poślizgu liny. Regulator jazdy wyposaża się w korektory poślizgu liny, zadaniem których jest odzworowanie rzeczywistego położenia naczyń na wskaźniku głębokości. Korekta jest możliwa, gdy klatki znajdują się na poziomach krańcowych w czasie zatrzymania maszyny. W czasie ruchu maszyny poślizg może być przyczyną zgubienia kontroli jazdy maszyny. Przy sterowaniu automatycznym poślizg liny jest zjawiskiem niepożądanym, które może prowadzić do awarii.

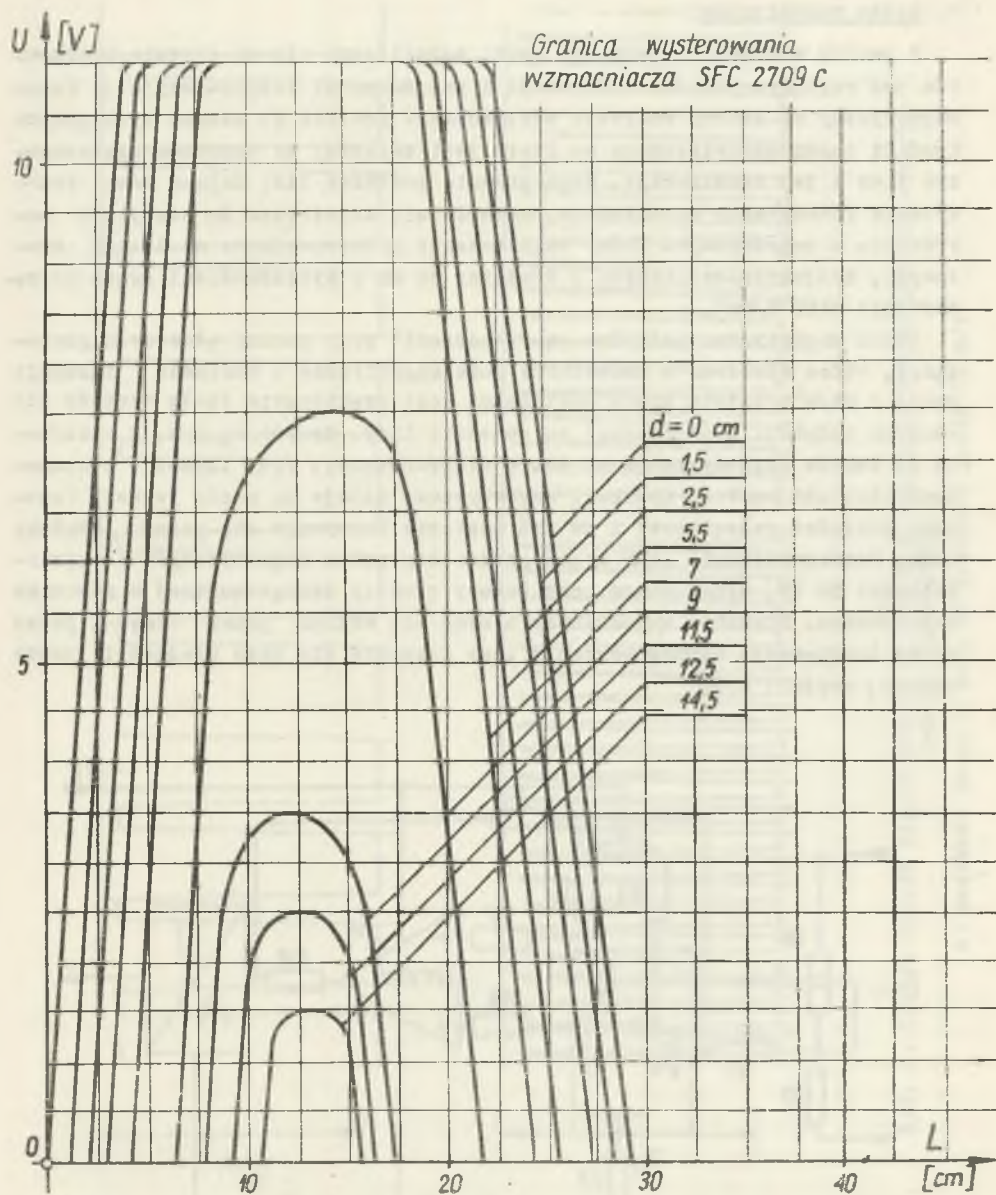
Przy sterowaniu ręcznym bierze się pod uwagę umiejętności maszynisty, które mogą te następstwa złagodzić. Koło pędne nie jest idealnie okrągłe, wykładziny się zużywają nierównomiernie. Wprowadza to błąd pomiaru drogi, który zmienia się w czasie eksploatacji.



Rys. 1. Elektromechaniczny regulator jazdy SK-2

Przebieg działania elektromechanicznego regulatora jazdy jest obarczona błędem przełożenia, wynikającym z technologii wykonania. Wpływ tych czynników na programowanie jazdy i bezpieczeństwo ruchu jest częściowo wyeliminowany przez korektor poślizgu liny i dojazd ostatnich paru metrów jazdy z prędkością wleczną rzędu 0,5 m/s.

W związku z tym, w wielu krajach prowadzi się prace nad budową regulatorów cyfrowych i wykorzystania znaków magnetycznych na linach wyciągowych do sterowania. Znane są prace prowadzone przez Doniecki Instytut Górniczej Mechaniki, firmy Siemens i Jeumont. Od kilku lat prowadzi się prace w ZKMPW przy współpracy z Instytutem Metrologii i Maszyn Elektrycznych Politechniki Śląskiej i innymi zakładami nad sposobem zapisu i odczytu znaków magnetycznych na linach wyciągowych oraz ich wykorzystania w systemie sterowania. W niniejszym artykule opisano urządzenia cyfrowe, będące przedmiotem badań eksploatacyjnych. Obejmują one urządzenia kontroli jazdy maszyn wyciągowych sterowanych od znaków magnetycznych na linie oraz regulator jazdy cyfrowy, którego dokładność nie zależy od przebytej



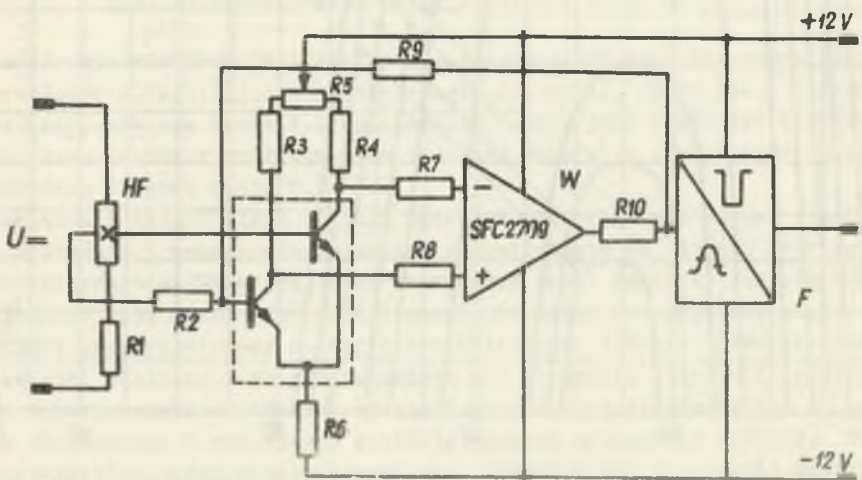
Rys. 2. Odczyt znaku magnetycznego podłużnego, głowica 3C-1, lina \varnothing 50 mm $1600/\text{mm}^2$, d - odległość głowicy od liny, L - rozkład znaku na długości liny, U - napięcie na wyjściu głowicy odczytu

drogi i może być w łatwy sposób zwiększana. Możliwość zabudowy regulatora w rozdzielni ułatwi regulację i przeglądy.

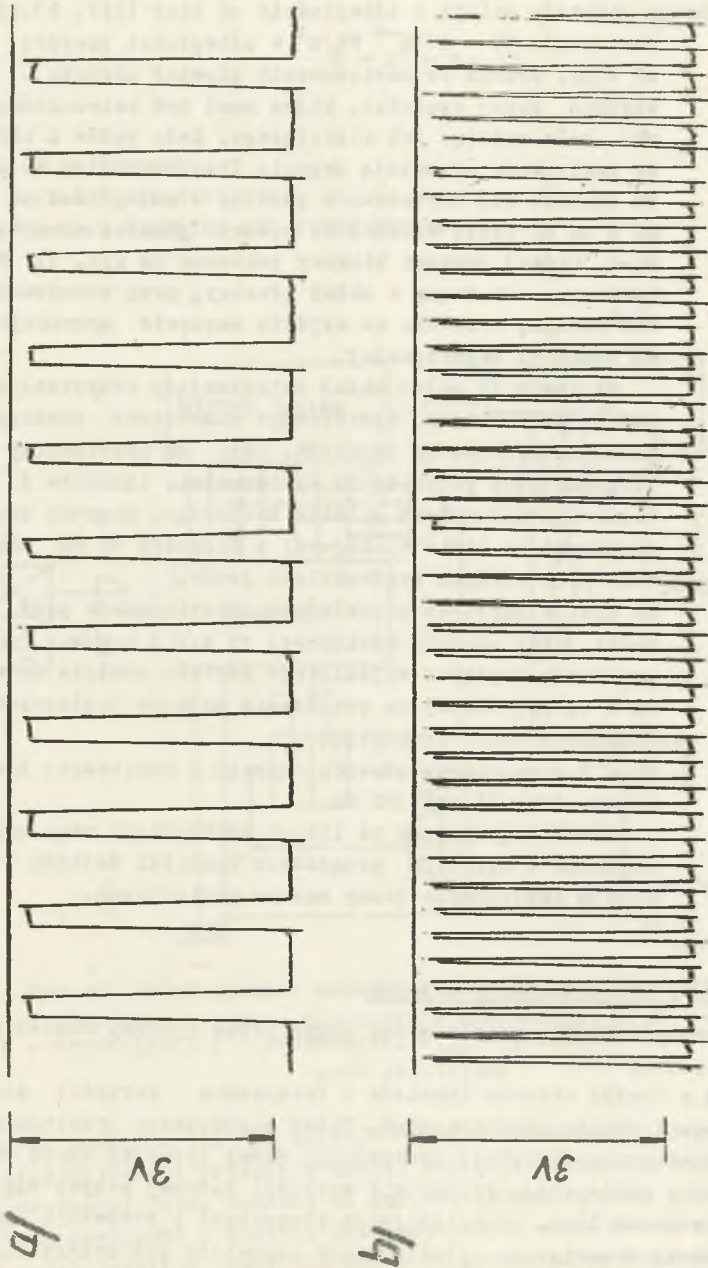
2. Zapis magnetyczny

Z punktu widzenia informacji zapis magnetyczny nie ma obecnie konkurentów pod względem jakości informacji i przydatności eksploatacyjnej. Zapis magnetyczny na linach znajduje zastosowanie również do maszyn wyciągowych. Kształt znaku magnetycznego na linie jest związany ze sposobem magnesowania liny i jej konstrukcją. Magnesowanie podłużne lin, dające znak praktycznie równomierny na obwodzie, okazało się łatwiejsze do odczytu w porównaniu z poprzecznym. Próby magnesowania przeprowadzono na linach stalowych, trójkątno-splotowych o średnicy 50 mm i wytrzymałości drutu na rozciąganie 1600 N/mm^2 .

Znaki magnetyczne podłużne są "nanoszone" przy pomocy głowicy magnesującej, która wytwarza w szczelinie pole magnetyczne o wartości indukcji około 2 Wb/m^2 . Zaletą znaku podłużnego jest praktycznie stała wartość dla odczytu indukcji magnetycznej na obwodzie liny. Krzywe wg rys. 2 odczytano ze znaków magnetycznych na linie niepracującej. Przy linach obciążonych kłatkami wartość indukcji magnetycznej maleje do około jednej trzeciej wartości początkowej i na tym poziomie utrzymuje się przez dłuższy czas. Rozmagnesowanie liny przeprowadza się polem magnetycznym o częstotliwości 50 Hz, wytwarzanym przy pomocy głowicy demagnesującej z rdzeniem lamelowanym. Strumień magnetyczny zamyka się wzdłuż przez linę i przez rdzeń lamelowany. Rozmagnesowanie liny dokonuje się przy prędkości jazdy maszyny rzędu 1 m/s.



Rys. 3. Schemat głowicy odczytu znaków magnetycznych
 HF - czujnik Halla, W - wzmacniacz sygnału, F - układ kształtujący impuls

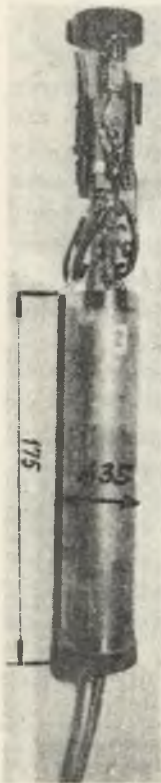


Rys. 4. Odczyt znaków magnetyzowanych z liny $\varnothing 50$ mm, przy pomocy głowicy odczytu podanej na rysunku 3

a) prędkość jazdy 4 m/s, b) prędkość jazdy 15 m/s

3. Odczyt znaków magnetycznych

Znak magnetyczny umieszczony na linie wytwarza w przestrzeni pola magnetyczne, którego indukcja maleje z odległością od liny (rys. 2). Pole to jest rzędu $(4 - 8) \cdot 10^{-4}$ Wb/m² w odległości powyżej 5 cm od liny. Wymaga to zastosowania głowicy odczytu o odpowiednio dużej czułości, która musi być umieszczona blisko koła pędnego lub kierującego. Koło pędne i kierujące skutecznie wygaszają drgania lin. Optymalne do odczytu okazało się usytuowanie głowicy w odległości od 5 cm do 8 cm od liny. Warunki te spełnia głowica odczytu typu GC-1, której schemat blokowy pokazano na rys. 3. Ferrohaltron, wchodzący w skład głowicy, przy wzbudzeniu prądem stałym, wytwarza na wyjściu napięcie proporcjonalne do indukcji magnetycznej.



Rys. 5. Głowica odczytu widok ogólny

Napięcie to przez układ zwiększający rezystancję wejściową wzmacniacza, wysterowuje wzmacniacz operacyjny i układ kształtowania impulsów. Daje on prostokątny przebieg napięcia potrzeby do wysterowania licznika i elektronowego komutatora silnika krokowego. Nagrane znaki magnetyczne na linie wyciągowej o średnicy 50 mm odczytywano przy różnych prędkościach jazdy.

Na rys. 4 pokazano przykładowo odczyt znaków przy prędkości jazdy maszyny wyciągowej 15 m/s i 4 m/s. Amplituda napięcia wyjściowego została obciążona do wartości 3 V, potrzebnej do pobudzenia układów logicznych sterowania silnika krokowego.

Rys. 5 przedstawia głowicę odczytu o wymiarach: średnica 33 mm, długość ok. 170 mm.

Znaki magnetyczne na linach wyciągowych mogą być wykorzystane w cyfrowym urządzeniu kontroli dojazdu i w cyfrowym regulatorze jazdy maszyn wyciągowych.

4. Układ cyfrowy zabezpieczenia dojazdu

Zabezpieczenie dojazdu, zrealizowane przez układ cyfrowy CZD-1 przedstawiono na rys. 6.

Składa się on z części odczytu impulsów i formowania wartości zadanej, tachogeneratora i układu porównawczego. Układ porównawczy zrealizowany na wzmacniaczu scalonym wysterowuje przekaźnik, który przerywa obwód bezpieczeństwa maszyny wyciągowej. Formowanie wartości zadanej odbywa się następująco: na odcinkach liny, odpowiadającym rozruchowi i hamowaniu maszyny nagrywa się znaki magnetyczne. Ilość znaków odpowiada pojemności licznika

układu zabezpieczenia. Licznik składa się z czterech przerzutników bistabilnych. Stan licznika

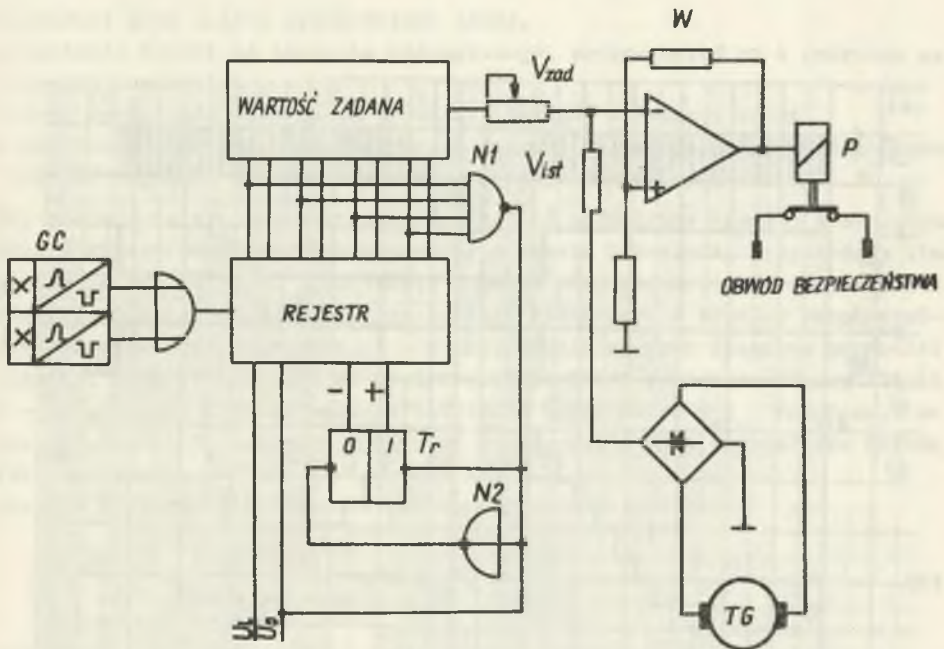
$$N = 2^n - 1, \quad (1)$$

gdzie

N - stan licznika

n - ilość przerzutników.

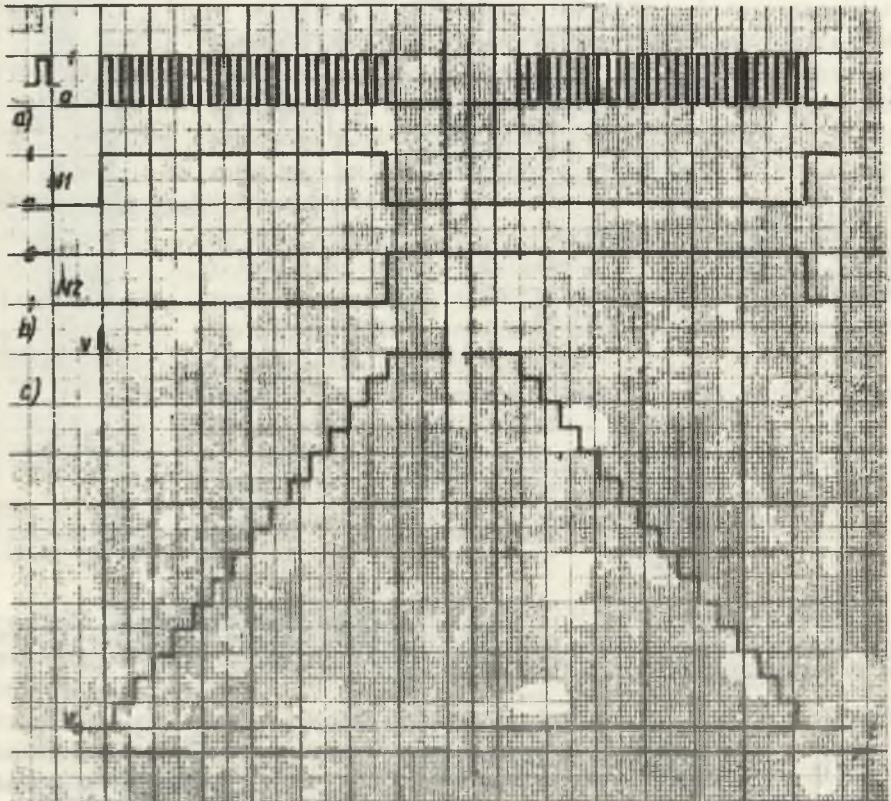
Pełny stan licznika odpowiada 15 impulsom.



Rys. 6. Układ cyfrowy zabezpieczenia dojazdu (schemat ideowy)

GC - głowice odczytu, Tr - przerzutnik bistabilny, N1,2 - elementy logiczne, W - wzmacniacz, P - przekaźnik, V_{zad} - prędkość zadana, V_{ist} - prędkość istniejąca

W czasie rozruchu licznik pracuje w cyklu dodawania i jego stan rośnie proporcjonalnie do przebytej drogi. Napięcie w funkcji drogi, odpowiadające prędkości jazdy zadanej ma kształt paraboli, przy prostoliniowym narastaniu prędkości w czasie. Wartości zadane ustawia się za pomocą czterech potencjometrów, usytuowanych w bloku wartości zadanej. Po osiągnięciu pełnego stanu, który odpowiada prędkości ustalonej, licznik przestawia się samoczynnie przez układ logiczny na cykl odejmowania. Przy jeź-



Rys. 7. Wykres działania wartości zadanej wg schematu podanego na rys. 6
 a) - impulsy odczytu przez głowicę GC, b) - przełączenie licznika, działanie elementów logicznych, c) - stan licznika, V - prędkość jazdy

dzie ustalonej licznik utrzymuje stan stały. Kolejne impulsy w czasie hamowania zmniejszają stan licznika do wartości odpowiadającej prędkości wleczonej, określonej przepisami górniczymi do 2 m/s. Przebieg impulsów części cyfrowej zabezpieczenia ilustruje rys. 7. Prędkość maszyny jest mierzona prądnicą tachometryczną i porównywana z prędkością zadaną w układzie porównawczym, zbudowanym ze wzmacniacza scalonego. Jeśli prędkość maszyny przekracza wartość zadaną o nastawioną odchyłkę, następuje wyzwole nie obwodu bezpieczeństwa maszyny wyciągowej przekaźnikiem pobudzonym tą odchyłką. System kontroli dojazdu CZD-1 jest zrealizowany na zasadzie porównania prędkości maszyny z prędkością mierzoną. Urządzenie CZD-1 kontroluje cały diagram prędkości. Wymagania stawiane układem dojazdu są następujące:

- czułość przy małych prędkościach jazdy,
- kontrola wprost od naczynia wydobywczego, przynajmniej na 4 punktach na drodze hamowania,
- duża dokładność ustawiania prędkości zadanej w funkcji drogi,
- działanie zabezpieczenia łącznie z hamowaniem bezpieczeństwa winno ograniczać prędkość przejazdu przez poziomy krańcowe poniżej 2 m/s.

Aby spełnić te wymagania, trzeba uwzględnić opóźnienie hamulca bezpieczeństwa i właściwości dynamiczne maszyny w czasie hamowania. Przykładem ilustruje to rys. 8. Przy opuszczaniu nadwagi mamy najbardziej niekorzystne warunki. Silnik napędowy maszyny zostaje wyłączony, a hamulec bezpieczeństwa ma opóźnione działanie. A - B przedstawia wycinek diagramu prędkości zadanej. Przy zadziałaniu zabezpieczenia prędkość powiększa się wg linii C - D, ponieważ hamulec zaczyna działać z opóźnieniem T_0 . Założono, że przy prędkości V_z odchyłka prędkości przekroczyła próg zadziałania układu zabezpieczenia.

Dla C - D obowiązuje równanie ruchu

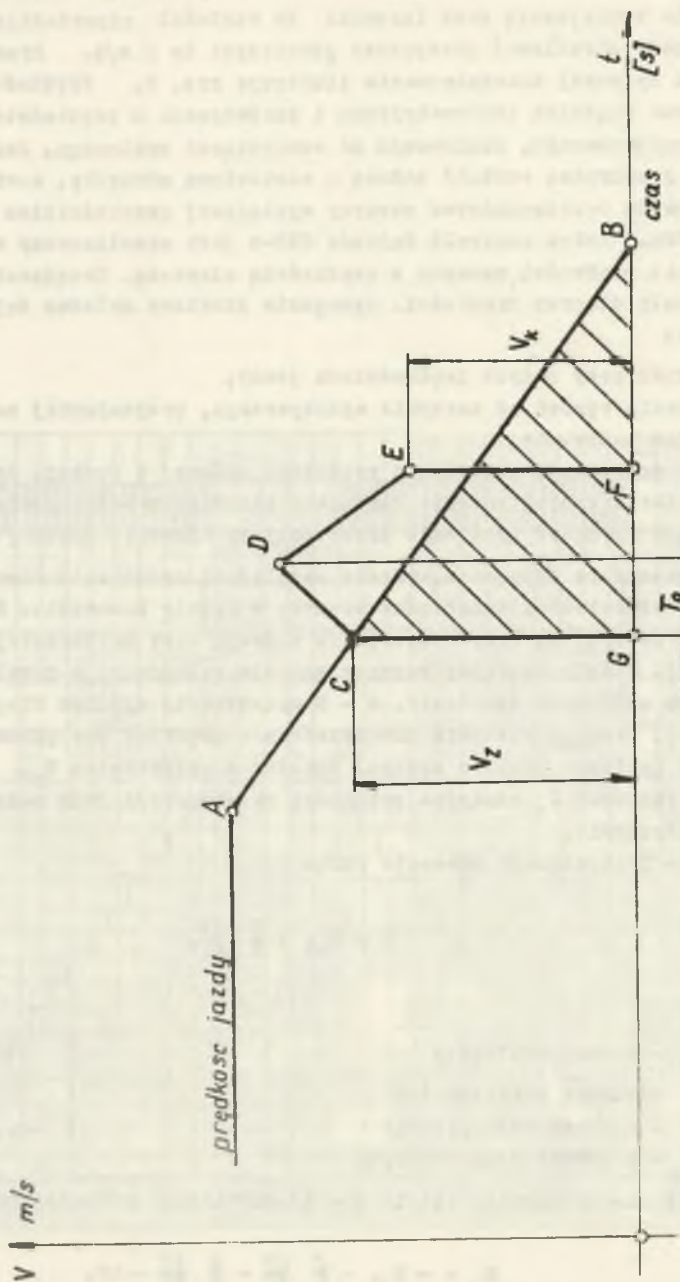
$$0 = M_{st} + \frac{J}{R} \frac{dV}{dt}, \quad (2)$$

gdzie

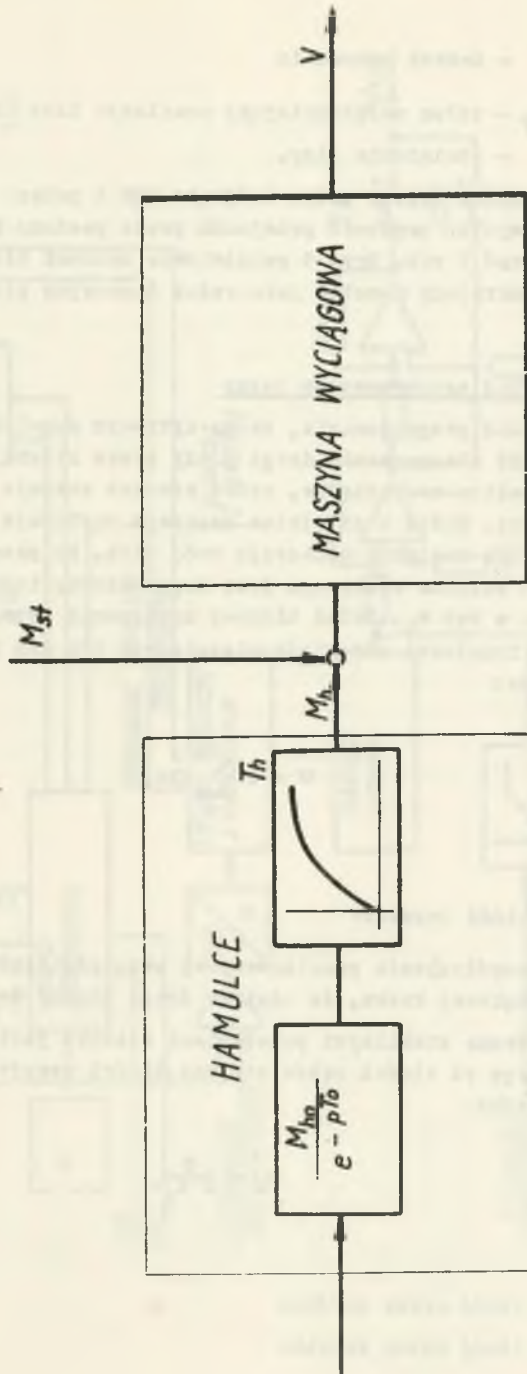
- M_{st} - moment statyczny
- J - moment bezwładności
- R - promień koła pędnego
- V - prędkość jazdy maszyny

Przy działaniu hamulca (linia D - E) obowiązuje równanie ruchu:

$$M_h = -M_{st} - \frac{J}{R} \frac{dV}{dt} - \frac{Q}{g} \frac{dV}{dt} - hV, \quad (3)$$



Rys. 8. Wykres działania kontroli dojazdu w czasie hamowania



Rys. 9. Schemat blokowy układu przy hamowaniu

M_{h0} - stała funkcji przejścia hamulca, M_h - moment hamowania, T_h - stała czasowa hamulca manewrowego, T_0 - opóźnienie hamulca, M_{st} - moment statyczny obciążenia, V - prędkość hamowania

gdzie

$$M_h \quad - \text{moment hamowania}$$

$$\frac{Q}{g} \frac{dV}{dt} + h_V \quad - \text{człon uwzględniający oscylacje liny [2]}$$

$$Q \quad - \text{obciążenie liny.}$$

Z warunku równości między polem trójkąta CGB i polem ograniczonym linią zamaną GCDEF wynika prędkość przejazdu przez poziomy krańcowe V_k , która może przewyższać 2 m/s. Rys. 9 przedstawia schemat blokowy maszyny przy hamowaniu, traktujący hamulce jako człon inercyjny pierwszego rzędu z opóźnieniem.

5. Cyfrowy układ programowania jazdy

Cyfrowy układ programowania, zwany cyfrowym regulatorem jazdy wykorzystuje możliwość odwzorowania drogi jazdy przez silnik krokowy. Napędza on urządzenie elektro-mechaniczne, które również steruje cyfrowy układ zadawania prędkości. Układ z silnikiem krokowym zastępuje liczniki drogi jazdy i przy zaniku napięcia zachowuje swój stan. Po przebyciu odcinka drogi Δh do uzwojeń silnika krokowego jest doprowadzony impuls, który powoduje obrót wirnika o kąt θ_k . Układ blokowy urządzenia przedstawiono na rys.10. Pojedynczemu impulsowi odpowiada niezmiennie ten sam przyrost kąta α silnika krokowego:

$$\alpha = k \sum_0^n \Delta h, \quad (4)$$

gdzie

$$n \quad - \text{ilość impulsów}$$

$$k = \frac{\theta_k}{\Delta h} \quad - \text{współczynnik przeliczeniowy uwzględniający stosunek wartości kątowej kroku, do odcinka drogi między dwoma znakami na linie}$$

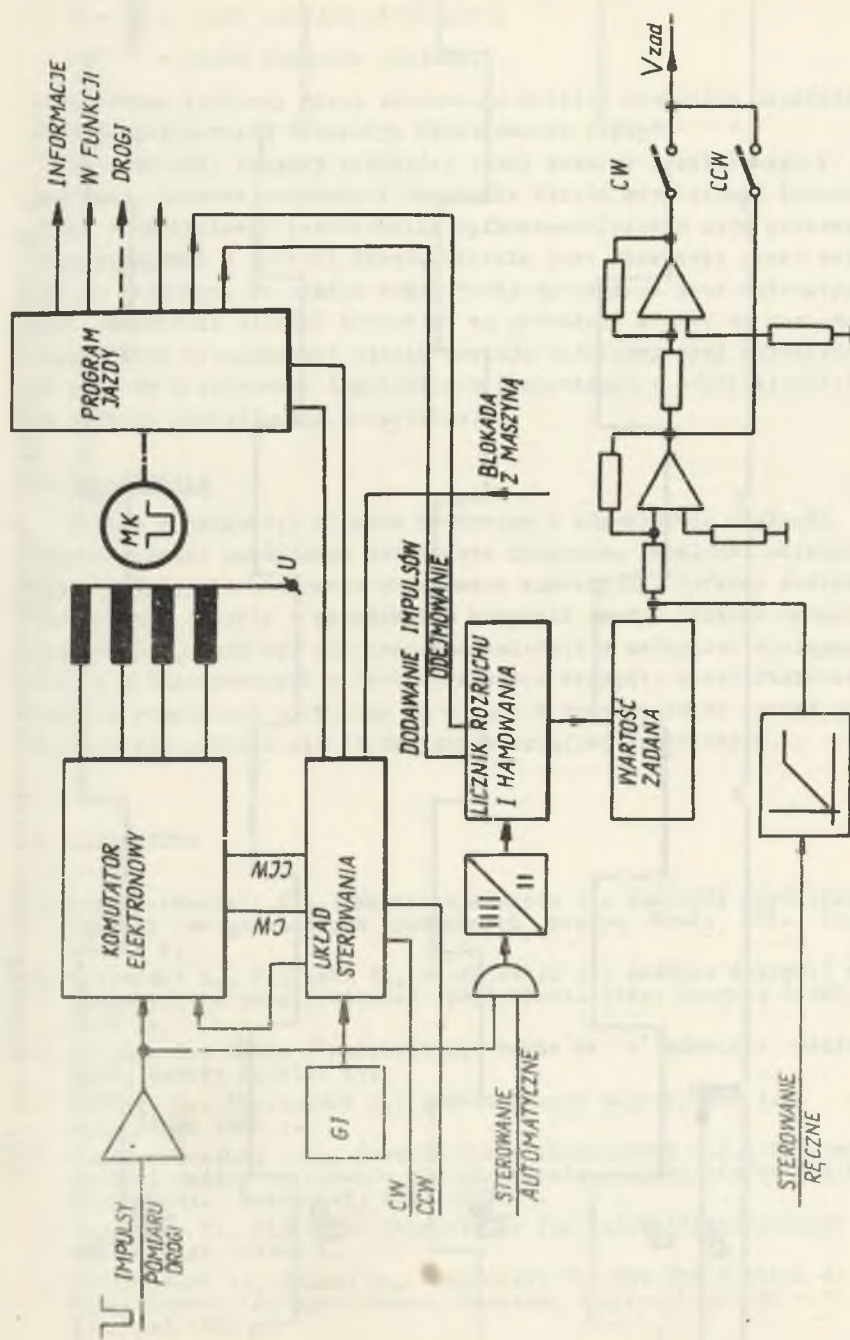
Krok między dwoma stabilnymi położeniami wirnika jest zależny dla silnika reluktancyjnego od ilości zębów stojana, ilości uzwojeń sterujących i ilości zębów wirnika:

$$\theta_k = \frac{2\pi}{m Z_2}, \quad (5)$$

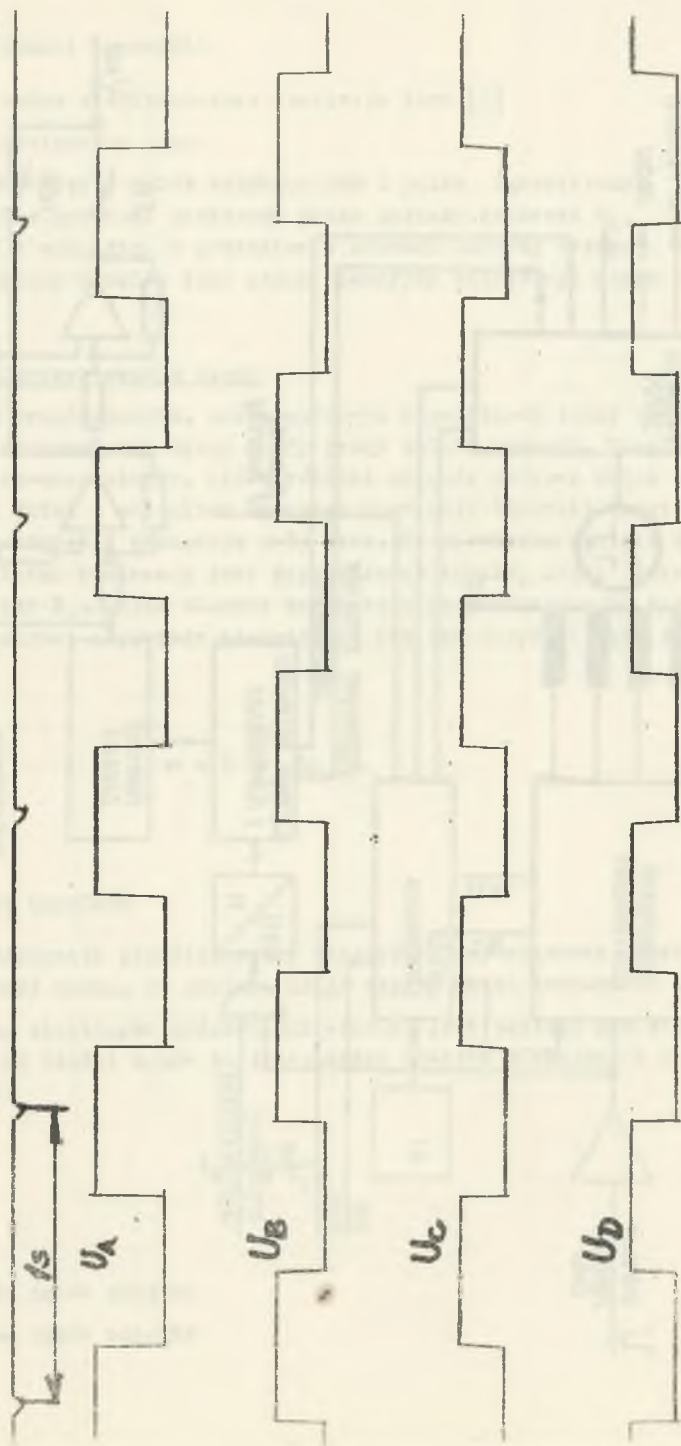
gdzie

$$Z_1 \quad - \text{ilość zębów stojana}$$

$$Z_2 \quad - \text{ilość zębów wirnika}$$



Rys. 10. Schemat ideowy cyfrowego regulatora jazdy z silnikiem krokowym
 CW - ruch zgodny ze wskazówką zegara; CCW - przeciwny, MK - silnik krokowy, GI - impulsator, V_{zad} - prędkość zadana



Rys. 11. Przebieg napięć silnika krokowego SK80/50, amplituda napięcia 12 V

$m = \frac{Z_1}{2q}$ - ilość uzwojeń sterujących

$2q$ - ilość biegunów stojana.

Zastosowano 4-fazowy układ sterowania silnika krokowego zapewniający odpowiednio przesuniętą sekwencję impulsowania napięć.

Tor wartości zadanej prędkości jazdy maszyny zrealizowano w technice cyfrowej. Licznik rozruchu i hamowania zlicza odpowiednio impulsy drogi, które w nieliniowym przetworniku cyfrowo-analogowym dają potrzebny przebieg prędkości w funkcji drogi. Licznik jest sterowany przez członek z silnikiem krokowym. Po każdym cyklu jazdy sprawdzona jest automatycznie zgodność ustawienia silnika krokowego wg położenia klatek na poziomach. Przy zaistnieniu niezgodności silnik zostaje załączony przy odpowiednim kierunku obrotów i sterowany impulsatorem pomocniczym o częstotliwości 50 Hz aż do zajęcia prawidłowego ustawienia.

6. Zakończenie

Prosta konstrukcja silnika krokowego i odpowiednia szybkość działania dają możliwość dokładnego ustawienia programu. Impulsowe sterowanie eliminuje tradycyjnie stosowane urządzenia korekcyjne. Cyfrowy system regulacji pracuje łącznie z urządzeniem kontroli jazdy. Cyfrowe urządzenie do jazdy CZD-1, może być stosowane niezależnie w maszynach wyciągowych nowych i modernizowanych i jest wykonywane seryjnie przez ZKMPW-ZEG - Tychy. Badania regulatora cyfrowego są w toku i dotychczasowe wyniki roczą możliwość zastąpienia nim tradycyjnych urządzeń krzywkowych.

7. LITERATURA

1. Biełocerkowski A.A.: Magnitnaja zapis dla aparatów upravljenja i zasozity mnogokanatnyh podjemnyh maszyn Mech. Awt. Proizvodstva 5/1968 r.
2. Szklarski L., Wojnioki R., Stankiewicz A.: Badania dynamiki maszyn wyciągowych z uwzględnieniem sprężystości liny. Kongres ICAMC, Kraków 1969 r.
3. Pischot G.; Gâble d'extraktion, Revue de l'Industrie Minérale Mars 1959, Numero Spécial K1.
4. Kawecki Z., Stachurski I.: Defektoskopia magnetyczna lin stalowych. Wyd. Śląsk 1969 r.
5. Biełocerkowski A.A., Naretin A.D., Prochorenko W.A.: Ispolzowanie magnitnoj zapisy na kanatje dla upravljenja mnogokanatnymi podjemnymi ustanowkami. Mech. Awt. Proj. 6/1971.
6. Ungnadner F., Digitaler Fahrtregler für Schachtförderanlagen Siemens - Zeitschrift 1/1968 r.
7. Leszczyński A., Halama B., Jakubowski A.: Systéme digital de protection constre les survitesses. Machines d'extraktion. ARS - 72. Ostrawa, kwiecień 1972 r.

ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Резюме

В статье рассмотрены применения магнитных меток на канате для контроля и управления подъемных установок. Описаны цифровые устройства для контроля дотяжки СЗД-1 и программное устройство хода.

DIGITAL CONTROL OF THE WINDING MACHINES

Summary

The paper deals with the magnetic marks made on winding ropes, applied for controlling the winding machines. The digital unit type CZD-1 controlling the rope velocity and arrangement for programming the demanded value of velocity, are also described.