

Franciszek Duda

NOWOCZESNE SYSTEMY STEROWANIA WYCIĄGÓW Z NAPĘDEM ASYNCHRONICZNYM Z ZASTOSOWANIEM UKŁADÓW TYRYSTOROWYCH

Streszczenie. Jednym z ważnych wymagań stawianych napędom wyciągów jest zdolność precyzyjnego dojazdu naczynia wydobywczego do określonego poziomu rozładowczego, a zatem zdolność jazdy z małą stabilną prędkością niezależną od obciążenia.

Warunki te są trudne do spełnienia przy napędzie asynchronicznym, gdyż naturalne charakterystyki mechaniczne silnika pierścieniowego nie pozwalają uzyskać małych stabilnych prędkości w warunkach zmiennego obciążenia.

Referat poświęcono krajowym opracowaniom układów napędowych opartych o szybko działające sterowane prostowniki tyrystorowe oraz o statyczne tyrystorowe konwertory prądu o bardzo niskiej częstotliwości, którym w okresie dojazdu zasilany jest silnik wyciągowy.

1. Wstęp

Napęd elektryczny wyciągów powinien umożliwiać precyzyjne odtwarzanie zadanego diagramu prędkości naczynia wydobywczego, a więc musi charakteryzować się dobrą sterownością i dobrymi własnościami regulacyjnymi.

Jednym z ważnych wymagań stawianych napędom wyciągów jest zdolność precyzyjnego dojazdu naczynia wydobywczego do zadanego poziomu, a zatem możliwość ruchu naczynia z małą stabilną prędkością o wartości niezależnej od obciążenia.

Warunki te są trudne do spełnienia przy napędzie asynchronicznym, gdyż naturalne charakterystyki mechaniczne silnika pierścieniowego nie pozwalają na stabilną jazdę z małą prędkością w warunkach zmiennych oporów szybu.

Jednakowoż technika sterowania napędem asynchronicznym wzbogaciła się w ostatnich czasach o szereg technicznych zdobyczy, które poprawiły w znacznej mierze sterowność napędu asynchronicznego. Do takich nowości można zaliczyć stosowane od dość dawna hamowanie dynamiczne elektropneumatyczne i elektrohydrauliczne sterowanie hamulców, napęd dwusilnikowy z możliwością pracy jednego silnika w układzie hamowania oraz zasilanie silnika wyciągowego prądem o obniżonej częstotliwości. Przedstawione systemy sterowania ułatwiają w znacznym stopniu automatyzację urządzeń wyciągowych z napędem asynchronicznym, przy czym dotyczy to konstrukcji nowych i istniejących, aktualnie eksploatowanych.

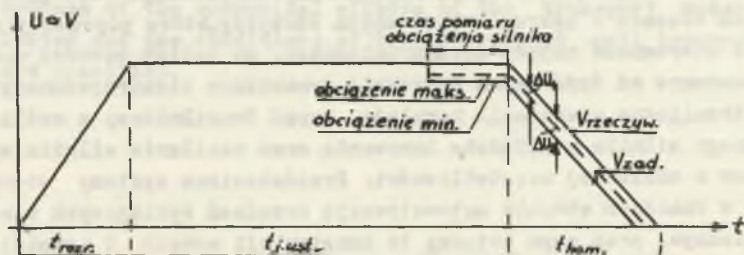
Powszechne zastosowanie hamowania dynamicznego oraz zasilania prądem o obniżonej częstotliwości do 2,5-5 Hz stało się realne z chwilą wdrożenia tyrystorów. Tyrystory umożliwiły budowę szybkodziałających sterowanych pro-

stowników dużej mocy oraz statycznych przemienników częstotliwości prądu, szczególnie przydatnych do pracy w układach zautomatyzowanych, z uwagi na bardzo małą moc konieczną do ich pełnego wystereowania.

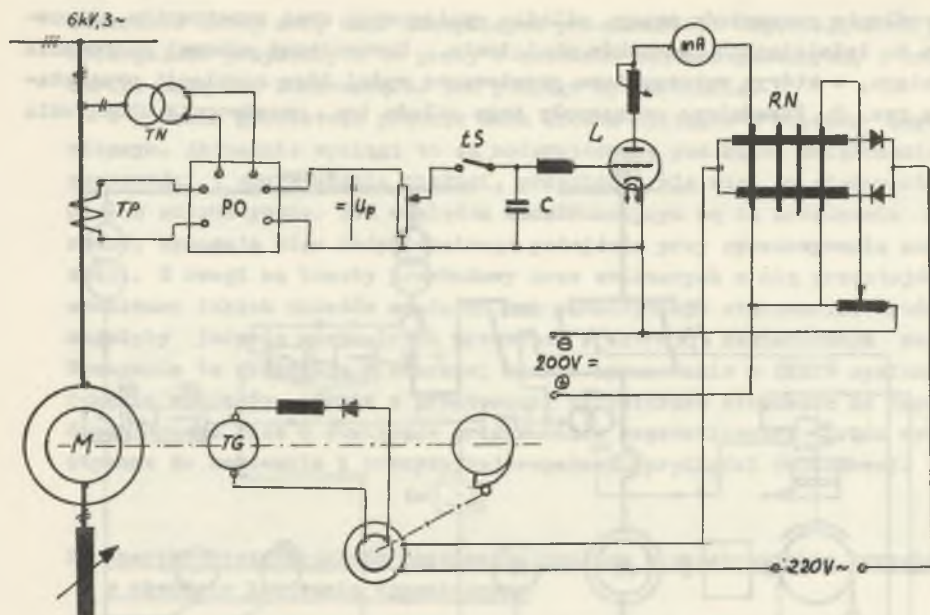
W polskim górnictwie pracuje duża liczba wyciągów z napędem asynchronicznym. Aktualnie wyciągi te są modernizowane pod kątem zwiększenia przepustowości i zmniejszenia obsługi, przechodzi się więc na sterowanie zdalne lub automatyczne. Pod względem konstrukcyjnym są to urządzenia różnorodne, wymagają więc indywidualnego podejścia przy opracowywaniu automatyzacji. Z uwagi na koszty przebudowy oraz związanych z nią przestoju, poszukiwano takich układów zdalnego lub samoczynnego sterowania, które wymagałyby jedynie minimalnych przeróbek w ustroju mechanicznym maszyny. Wymagania te spełniają w znacznej mierze opracowanie w ZKMPW systemy sterowania wyciągów, oparte o prostowniki tyrystorowe stosowane do hamowania dynamicznego oraz o statyczne przetwornice częstotliwości prądu wykorzystywane do hamowania i precyzyjnej regulacji prędkości dojazdowej.

2. Charakterystyka układu napędowego wyciągu z prostownikiem tyrystorowym w obwodzie hamowania dynamicznego

Tyrystorowy prostownik sterowany umożliwia szybką zmianę prądu stałego zasilającego asynchroniczny silnik wyciągowy, przy czym zmiany te mogą być dokonywane w funkcji prędkości i obciążenia silnika. Optymalne wykorzystanie własności prostownika osiągnięto dzięki zastosowaniu pomiaru obciążenia silnika wyciągowego w każdym cyklu jazdy i wprowadzeniu napięcia proporcjonalnego do tego obciążenia do diagramu napięcia przedstawiającego prędkość zadaną (rys. 1). Z porównania zmodyfikowanego w ten sposób diagramu napięcia proporcjonalnego do prędkości zadanej z rzeczywistością otrzymuje się różnicową wartość napięcia ΔU , która jest funkcją prędkości i obciążenia. Tak otrzymane wartości napięcia ΔU pozwalają na samoczynne



Rys. 1. Diagram napięć proporcjonalnych do prędkości rzeczywistej i zadanej, skorygowanej w funkcji obciążenia



Rys. 3. Ideowy układ połączeń bloku pomiaru i przetwarzania na napięcie, obciążenia silnika wyciągowego

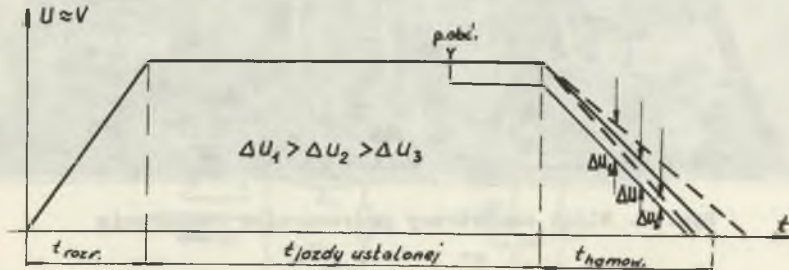
Przetwornik obciążenia PO zamienia moc czynną pobieraną przez silnik na proporcjonalne do tej mocy napięcie U_p , które poprzez łącznik ŁS ładuje kondensator C. Łącznik ŁS jest sterowany od naczynia wydobywczego lub od szybskazu i otwierany w momencie rozpoczęcia hamowania.

Napięcie na kondensatorze C, ustala prąd anodowy lampy L o wartości odwrotnie proporcjonalnej do obciążenia silnika wyciągowego. Prąd anodowy lampy L jest jednocześnie prądem sterującym wzmacniacza magnetycznego WM, który płynnie reguluje napięcie wyjściowe selsynowego dzielnika napięcia DN.

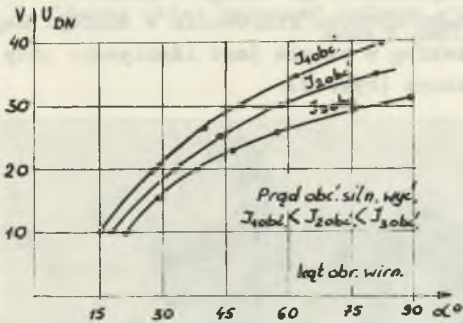
W chwili rozpoczęcia hamowania następuje otwarcie łącznika ŁS, jednak napięcie na kondensatorze naładowanym w czasie jazdy ustalonej utrzymuje się nadal przez cały okres dojazdu, dzięki czemu w uzwojeniu sterującym wzmacniacza prąd nie ulega zmianie. Różnica napięć selsynowego dzielnika napięcia i tachogeneratorsa TG przy zgodności prędkości rzeczywistej i zadanej, jest odwrotnie proporcjonalna do obciążenia (rys. 1), natomiast przy rozbieżnościach między prędkością rzeczywistą i zadaną przy danym obciążeniu, zależy od znaku przyrostu prędkości w stosunku do nominalnej (rys. 4). W funkcji różnicy prędkości zadanej i rzeczywistej zmienia się znacząco prąd wyjściowy tyrystorowego prostownika sterowanego, który jest prądem wzbudzającym stojan silnika przy hamowaniu dynamicznym. Dzię-

ki płynnej zmianie prądu hamowania dynamicznego w cyklu dojazdu zmienia się, stosownie do warunków chwilowego obciążenia, moment obrotowy silnika.

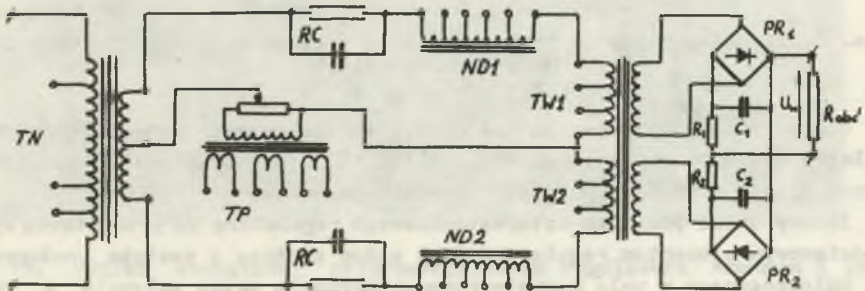
Charakterystyki zewnętrzne $U = f(\alpha)$ sełsynowego dzielnika napięcia przy różnych wartościach mocy czynnej pobieranej przez silnik wyciągowy, przedstawia rys. 5. Układ połączeń przetwornika obciążenia przedstawia rys. 6, a widok zewnętrzny rys. 7.



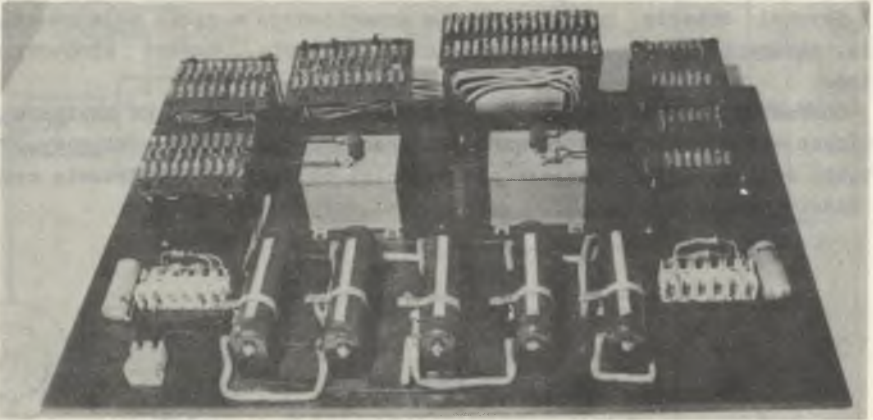
Rys. 4. Zmienność napięcia ΔU przy niezgodności prędkości rzeczywistej i zadanej



Rys. 5. Charakterystyki zewnętrzne $U = f(\alpha)$ sełsynowego dzielnika napięcia DN przy różnych obciążeniach silnika wyciągowego



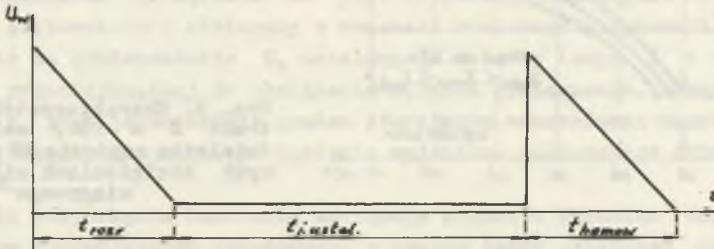
Rys. 6. Ideowy układ połączeń przetwornika obciążenia



Rys. 7. Widok zewnętrzny przetwornika obciążenia

2.2. Regulator poślizgu i momentu

Regulator poślizgu i momentu obrotowego silnika działa w okresie rozruchu i hamowania. Możliwość wykorzystania tego samego regulatora do rozruchu i hamowania wynika z przyjętego sposobu sterowania w funkcji napięcia w wirniku silnika, którego przebieg w czasie jest identyczny przy rozruchu jak i przy hamowaniu dynamicznym (rys. 8).

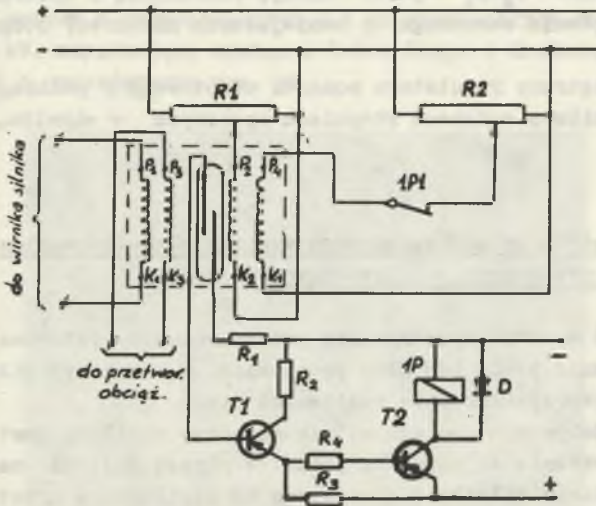


Rys. 8. Przebieg napięcia wirnika silnika wyciągowego przy rozruchu i hamowaniu dynamicznym

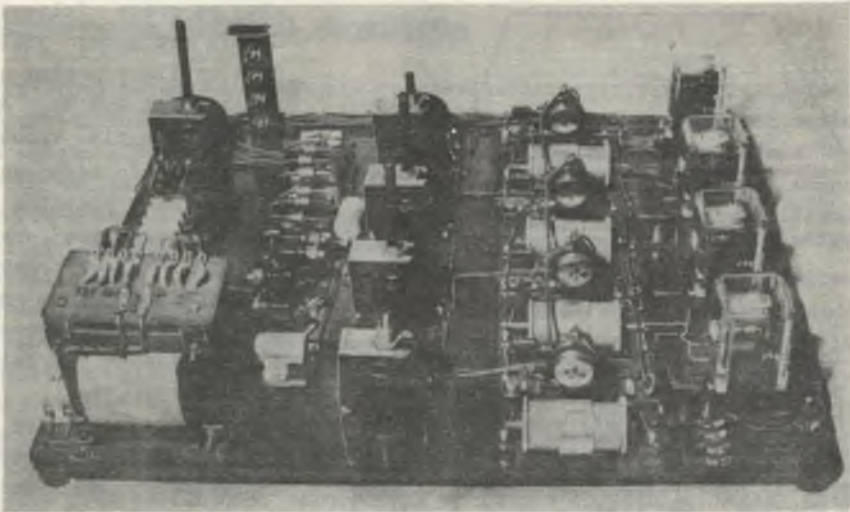
Odpowiednia budowa regulatora umożliwia korygowanie momentu obrotowego silnika wyciągowego przy hamowaniu dynamicznym w zależności od obciążenia, przez zmianę wartości opornika rozruchowego.

Ideowy układ połączeń czterostopniowego regulatora MS przedstawia rys. 9. Podstawowym elementem regulatora jest człkon złożony z zestyku wodorowego W umieszczonego w polu magnetycznym wytworzonym przez solenoid o czterech współśrodkowo nawiniętych uzwojeniach: $P_1 K_1$; $P_2 K_2$; $P_3 K_3$; $P_4 K_4$.

Zestyk wodorowy W za pośrednictwem wzmacniacza tranzystorowego, uruchamia przekaźnik wykonawczy załączający odpowiedni stycznik w obwodzie wirnika silnika wyciągowego.



Rys. 9. Ideowy układ połączeń jednego stopnia regulatora momentu obrotowego i poślizgu



Rys. 10. Wygląd zewnętrzny czterostopniowego regulatora momentu i poślizgu

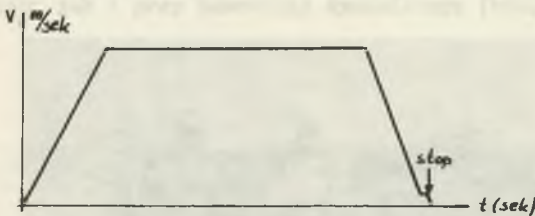
Poszczególne uzwojenia współśrodkowe solenoidu zasilane są z różnych źródeł: uzwojenia $P_2 K_2$ - stabilizowanym napięciem o wartości wynikającej z zadanego progu zadziałania, który jest różny dla poszczególnych stopni; uzwojenie $P_3 K_3$ - napięciem proporcjonalnym do obciążenia silnika wyciągowego; uzwojenie $P_4 K_4$ - pełni funkcję pomocniczą i wykorzystane jest w układzie sprzężenia zwrotnego do zmniejszenia histerezy stopnia: zestyk - przekaźnik.

Wygląd zewnętrzny regulatora momentu obrotowego i poślizgu, przystosowanego do silnika o czterech stopniach oporowych w wirniku, przedstawia rys. 10.

3. Charakterystyka układu napędowego wyciągu z zastosowaniem statycznej przetwornicy częstotliwości

Zależnie od sposobu wysterowania przetwornica tyrystorowa może pracować jako falownik prądu lub jako prostownik. W omawianym układzie napędowym wyciągu wykorzystano obie możliwości pracy.

W cyklu wydobywczym wyciągu silnik napędowy zasilany jest z przetwornicy tylko w okresie dojazdu. Na początku okresu dojazdu następuje przełączenie zasilania silnika z sieciowego na zasilanie z przetwornicy, która początkowo pracuje jako prostownik sterowany w układzie hamowania dynamicznego, a z chwilą, gdy prędkość wyciągu zmaleje do ok. $\frac{1}{20}$ prędkości nominalnej, następuje samoczynne przesterowanie przetwornicy na pracę falownikową.



Rys. 11. Diagram jazdy wyciągu z napędem asynchronicznym zasilanym w okresie dojazdu z falownika

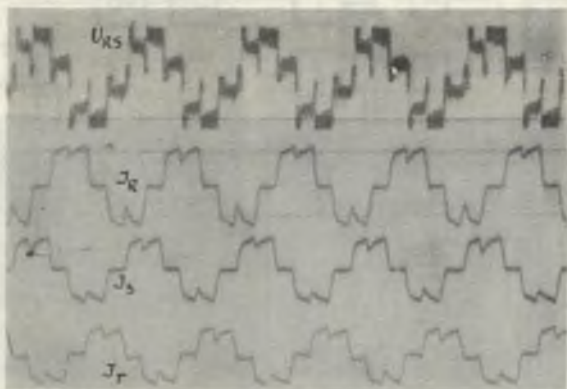
nie przesterowanie przetwornicy na pracę falownikową. Silnik wyciągowy jest wówczas zasilany prądem o częstotliwości 2,5 Hz, dzięki czemu naczynie wydobywcze zbliża się do zadanego poziomu z małą stabilną prędkością "pełzającą", przy której możliwe jest precyzyjne zatrzymanie wyciągu za pomocą hamulca manewrowego.

Diagram jazdy wyciągu z napędem asynchronicznym zasilanym z przetwornicy pracującej jako prostownik i falownik, przedstawia rys. 11.

Zasadniczy układ sterowania wyciągu z zastosowaniem przetwornicy jest w znacznym stopniu zbliżony do przedstawionego na rys. 2. Istotna różnica występuje w obwodzie porównawczym złożonym z tachoprądnicy TG i dzielników napięcia DN, który zawiera dodatkowy człon zestawiony z diody Zehnera oraz przekaźnika przełączającego przetwornicę z pracy tyrystorowej na falownikową.

Tyrystorowa przetwornica pracująca jako falownik prądu, ułatwia przeprowadzanie okresowych rewizji liny i szybu dzięki temu, że naczynie wydobywcze może poruszać się z małą stabilną prędkością.

Oscylogram prądów o częstotliwości 2,5 Hz zasilających silnik wyciągowy o mocy 500 kW, napędzający wyciąg z kołem Koepe o średnicy Φ 4 m obciążony nadwagą 4 t, przedstawia rys. 12.

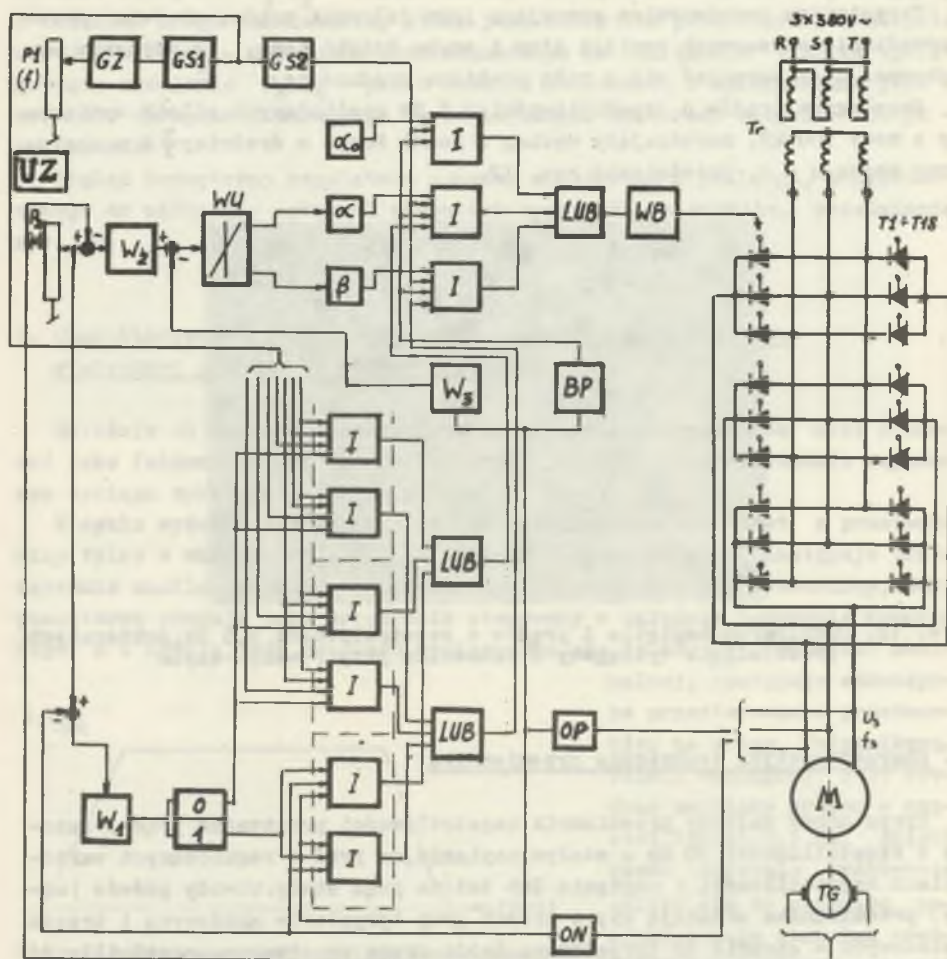


Rys. 12. Oscylogram napięcia i prądów o częstotliwości 2,5 Hz, pobieranych przez silnik wyciągowy z falownika przy rewizji szybu

4. Charakterystyka techniczna przemiennika

Tyrystorowy zależny przemiennik częstotliwości przetwarza prąd 3-fazowy o częstotliwości 50 Hz o stałym napięciu, na prąd o regulowanych wartościach częstotliwości i napięcia lub też na prąd stały. Obwody główne (mocy) przemiennika składają się z trzech grup tyrystorów anodowych i trzech katodowych - łącznie 18 tyrystorów. Każda grupa przetwarza częstotliwość i amplitudę odpowiednich półokresów prądu przemiennego.

Schemat blokowy układu sterowania i regulacji tyrystorowego przenienika częstotliwości przedstawia rys. 13. Zawiera on urządzenie zadające U_Z , które służy do jednoczesnego nastawienia częstotliwości $P_1(f)$ i amplitudy napięcia wyjściowego $P_2(N)$ przemiennika. Urządzenie zadające steruje wzmacniaczem W_1 i generatorem zadającym GZ. Przy napędzie automatycznym wzmacniacz W_1 jest sterowany jednocześnie napięciem z tachogeneratora TG. Do różnicy sygnałów na wyjściu W_1 dodawana jest wartość przedstawiająca prąd obciążenia, uformowana uprzednio logicznie przez układ diodowy OP i wzmacniacz W_2 . Różnica sygnałów ze wzmacniacza W_1 i W_2 , steruje wzmacniaczem uchybu WU. Sygnał ze wzmacniacza WU steruje 12-toma (z ogólnej liczby 18-tu) regulatorami kąta zapłonu.



Rys. 13. Blokowy układ połączeń przemiennika częstotliwości

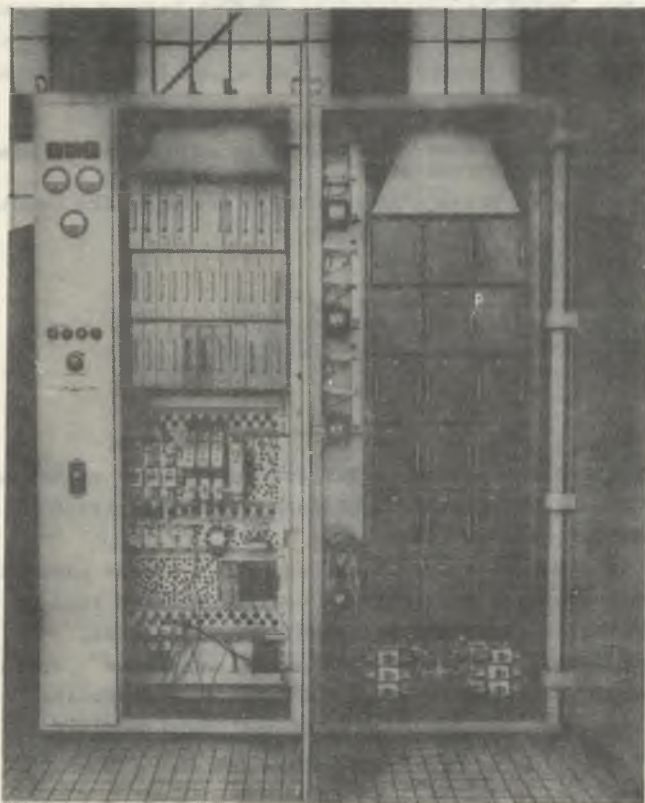
Sześć regulatorów kąta zapłonu α_0 charakteryzuje się stałą wartością kąta zapłonu, nastawioną na falownikowy zakres pracy przemiennika. Dzięki temu uzyskuje się ciągłość pracy przemiennika przy przejściu z pracy prostownikowej na falownikową.

Wielkości wyjściowe I, do którego doprowadzany jest również sygnał z generatora sterującego GS2 oraz z układu odzworowującego prąd i napięcie: OP i ON. Generator GS2, przetwarza sygnały generatora GS1, przyłączonego na wyjście generatora zadającego. Formowanie sygnałów prądu i napięcia pobieranych z układów OP i ON, realizowane jest poprzez wzmacniacz W_3 , przerzutnik S oraz układy logiczne I, sterowane również z generatora GS1.

Zadanie jakie spełnia układ logiczny I polega na ustaleniu takiego stanu pracy poszczególnych tyrystorów przemiennika, przy którym nie występują prądy wyrównawcze w momencie przechodzenia z funkcji prostowniczej na przemiennikową i odwrotnie.

Sygnaly wyjściowe z układu logicznego I - LUB, po wzmocnieniu we wzmacniaczu mocy WM, sterują bramkami tyrystorów T1 - T18 w przemienniku.

Widok zewnętrzny przemiennika przedstawia rys. 14.



Rys. 14. Widok zewnętrzny przemiennika

Efekty ekonomiczne

Dodatnią cechą przedstawionych układów automatycznych maszyn wyciągowych z napędem asynchronicznym są stosunkowo niskie koszty.

Przy jednostkowej produkcji i zastosowaniu importowanych tyrystorów i układów scalonych, koszty przemiennika wynoszą ok. 400 000 zł. Koszt prostownika tyrystorowego jest około pięciokrotnie niższy. Koszty dodatkowej aparatury są tylko o kilka procent wyższe niż w przypadku urządzenia o klasycznym układzie sterowania.

Efekty ekonomiczne eksploatacyjne to zwiększenie przepustowości wyciągu oraz możliwość wyeliminowania części obsługi.

LITERATURA

- [1] Opracowanie ZKMPW - Gliwice "Dokumentacje automatyzacji maszyn wyciągowych z napędem asynchronicznym".
- [2] Opracowanie IEL - Warszawa "Dokumentacja przemiennika częstotliwości"

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЕМНЫМИ МАШИНАМИ С АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТИРИСТОРОВ

Резюме

В докладе представлены системы асинхронного привода подъемных машин, построенные по принципу тиристорных управляемых выпрямителей и статический преобразователей частоты тока.

Применяемые тиристорные выпрямители работают в режиме динамического торможения, а преобразователи представляют собой источники тока с частотой 2,5 гц, которые питают двигатель во время дотяжки подъема.

Разработанные методы управления асинхронным подъемным приводом дают возможность точного притормаживания и своевременной остановки подъемной машины.

THE MODERN CONTROL SYSTEM OF MINING HOISTS WITH THREE-PHASE
INDUKTION MOTOR DRIVE BY USING OF THYRISTOR SETS

S u m m a r y

One of particularly important demands presented on mining winders is to ensure the suitable course of reaching the predetermined discharging level by the hoist conveyance and thus travel ability with low stable speed denoted "creeping speed" independent upon the load applied.

These conditions are difficult to fulfil with three-phase induction motor drive, as the natural mechanic characteristics of the ring motor do not permit to achieve low stable speeds.

This paper is devoted to home elaborations of drive sets based on the fast working controlled thyristor rectifiers and static low frequency current thyristors converters, supplying the winder motor driving the final cycle.