ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: ELEKTRYKA z.139 Nr kol.1247

Tadeusz RODACKI

Andrzej KANDYBA

TYRYSTOROWE STEROWANIE NAPĘDU PRZESUWU ELEKTROD W PIECACH ŁUKOWYCH

Streszczenie. W artykule omówiono możliwości zastosowania układów tyrystorowych do napędu przesuwu elektrod w piecach lukowych. Opisano układ tyrystorowy zastosowany w piecu 140 t oraz przedstawiono sposób analizy takiego układu opierając się na schemacie blokowym.

THYRISTOR CONTROL OF THE ELECTRODE FEED DRIVE IN THE ARC FURNACE

Summary. The possibilities of application of the electrode feed thyristor drive in the arc furnaces are presented in the paper. The thyristor system applied in the 140 t furnace has been described. The analysis of this system has been done using block circuits.

ТИРИСТОРНЫЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДОМ И ПЕПЕДВИГОМ ЭЛЕКТРОД В ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Резюме. В работе представлена возможность использования тиристорных схем для привода и передвига электрод. Представляемая тиристорная схема работает в дуговой печемкостью в 140 т. Представлен способ анализа такой схемы на основе структурной схемы.

1.WSTĘP

W krajowym przemyśle do zasilania pieców łukowych stosowane są powszechnie klasyczne układy z przełączalnymi zaczepami transformatora piecowego, a do napędu i regulacji przesuwu elektrod głównie układy elektromaszynowe lub układy elektrohydrauliczne. Sterowanie mocy łuku w głównym torze zasilania może odbywać się więc jedynie skokowo i w ograniczonym zakresie. Płynne doregulowanie mocy łuku do żądanych wymagań osiąga się przez zmianę położenia elektrod (zmianę długości łuku). Układy napędu i regulacji przesuwu elektrod, nazywane potocznie automatyką łuku, spełniają trzy istotne dla pracy pieca zadania:

- zapewniają pewny zapłon przez opuszczenie elektrod aż do zetknięcia z wsadem, a następnie ich szybkie podniesienie,
- zapewniają utrzymanie stałej długości łuku w czasie roztapiania wsadu,
- pozwalają na płynną zmianę mocy łuku w zależności od wymagań procesu technologicznego. Wynika stąd oczywisty wniosek, że wady tych powszechnie stosowanych układów, takie jak: długie czasy regulacji i przeregulowania w stanach przejściowych, strefa nieczułości, problemy eksploatacyjne itp. bardzo niekorzystnie wpływają na pracę urządzenia i proces technologiczny. Zastosowanie do tego celu napędów tyrystorowych może znacznie poprawić warunki pracy pieca łukowego.

2. ZASADA DZIAŁANIA UKŁADU NAPĘDU I REGULACJI PRZESUWU ELEKTROD

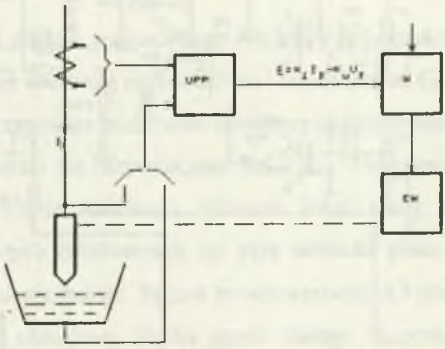
Najczęściej stosowane są w tych napędach układy regulacji, w których wielkością regulowaną jest stosunek napięcia do prądu łuku, nazywane też często też automatyką prądowo-napięciową. Zasadę działania takich układów pokazano na rys.1.

W układzie porównawczym dokonywana jest analiza sygnałów pochodzących od prądu i napięcia łuku, w wyniku której na wyjściu pojawia się sygnał odpowiadający uchybowi regulacji e. Jeśli przeważa czynnik pochodzący od prądu, to elektroda jest podnoszona tak, aby zmniejszyć prąd, jeśli natomiast przeważa czynnik napięciowy, elektroda jest opuszczana powodując zmniejszenie napięcia, to znaczy, że gdy zachodzi nierówność:

$K_i I_l - K_u U = e \neq 0$ gdzie K_i, K_l - stałe układu,

element wykonawczy spowoduje ruch elektrody taki, aby uzyskać e=0. A więc utrzymywana będzie stała wartość stosunku:

$$\frac{U_l}{I_l} = \frac{K_i}{K_u} = \text{const}$$



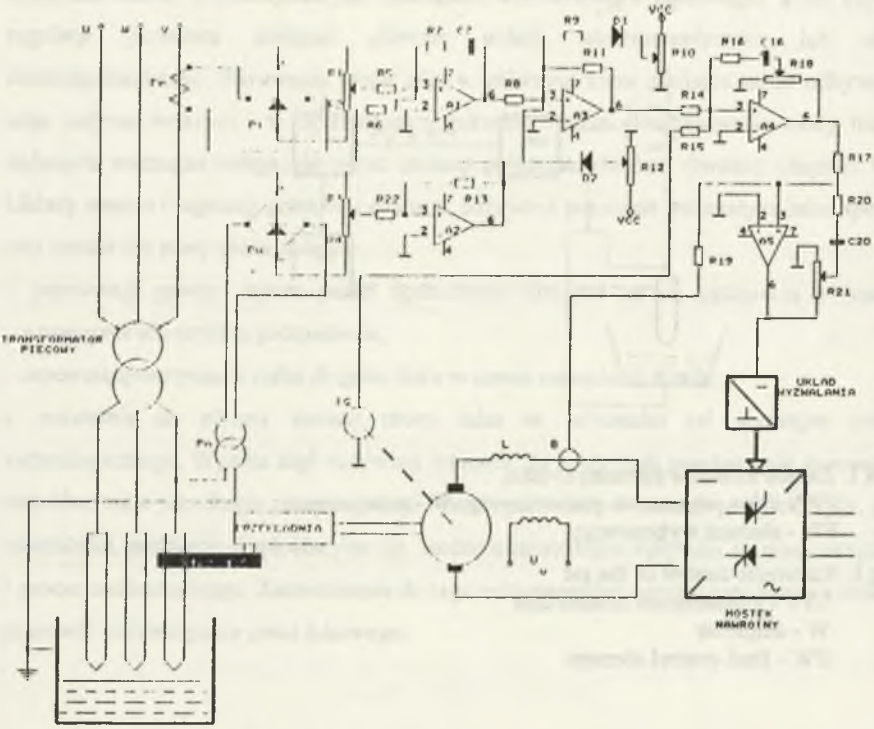
Rys.1. Zasada działania automatyki łuku.
UPP- człon pomiarowo-porównawczy, W - wzmacniacz,
EW - element wykonawczy

Fig.1. Automatic control of the arc
UPP - measurement control unit
W - amplifier
EW - final control element

3. TYRYSTOROWY UKŁAD NAPĘDU I REGULACJI PRZESUWU ELEKTROD

Opisaną w poprzednim punkcie zasadę działania automatyki łuku można zrealizować stosując napędy tyrystorowe wyposażone w elektroniczne układy regulacji. Uproszczony schemat ideowy takiego rozwiązania dla pieca 140 t przedstawia rys.2. Piec łukowy wyposażony jest w trzy elektrody o średnicy 610 mm, do których torami wielkoprądowymi doprowadzone jest napięcie z transformatora piecowego. Ruch każdej elektrody realizowany jest osobno poprzez nawijanie lub odwijanie liny ze zwijaka bębnowego napędzanego przez przekładnie silnikiem obcowzbudnym prądu stałego (całkowite przełożenie k_r=1,5 obr/min).

Silnik prądu stałego o danych P=38 kW, U=220 V, n=1500 obr/min zasilany jest z nawrotnego mostka tyrystorowego bez prądów wyrównawczych włączonego do sieci poprzez transformator trójfazowy o danych S_N =63 kVA, U=380/220 V, U_z =11% .



Rys.2. Uproszczony schemat ideowy tyrystorowego układu napędu i regulacji przesuwu elektrod

Fig.2. Simplified chematic diagram of the thyristor drive and control system of the electrode feed

Nawrotny prostownik tyrystorowy jest rozwiązaniem standardowym i posiada następujące zabezpieczenia: Układy RC po stronie prądu stałego, zmiennego oraz w gałęziach tyrystorów, bezpieczniki po stronie prądu zmiennego oraz wyłącznik szybki po stronie prądu stałego i termistory chroniące tyrystory przed przekroczeniem dopuszczalnej temperatury pracy. Sygnał proporcjonalny do do prądu łuku otrzymywany jest z toru wielkoprądowego za pomocą przekładnika prądowego P_p i prostowany w prostowniku P_i obciążonym rezystancjami R_1 i R_1. Sygnał proporcjonalny do napięcia łuku z transformatora jest prostowany w prostowniku Pu obciążonym rezystancjami R_3 i R_4. Rezystancje obciążenia

prostowników pomiarowych P_i i P_u pozwalają odpowiednio dobrać wartości sygnałów proporcjonalnych do prądu i napięcia. Wzmacniacz A2 pracuje jako inwerter, którego wzmocnienie określa stosunek rezystancji R_{13} do R_{22}. Porównanie sygnałów według zależności:

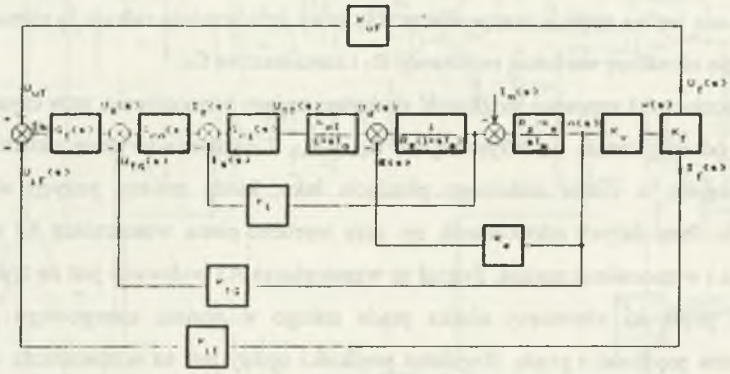
$$k_iI - k_uU_l$$

dokonywane jest na wejściu wzmacniacza A1, który jednocześnie całkuje tę różnicę ze stałą całkowania określoną wartością rezystancji R_7 i kondensatora C_7.

Wzmacniacz A3 zapewnia możliwość skokowej zmiany wzmocnienia, przy czym wielkość napięcia odcięcia ustala się rezystancjami R_{10} i R_{12}. Umożliwia to pracę układu z dużym wzmocnieniem w czasie stabilnego płonięcia łuku, kiedy zmiany pozycji elektrod są niewielkie. Przy dużych zakłóceniach, np. przy rozruchu pieca, wzmacniacz A3 wchodzi w nasycenie i wzmocnienie maleje. Sygnał ze wzmacniacza A3 podawany jest na typowy układ regulacji prędkości obrotowej silnika prądu stałego w postaci szeregowego połączenia regulatorów prędkości i prądu. Regulator prędkości oparty jest na wzmacniaczu A4 i może posiadać strukturę PI lub P po zwarciu kondensatora C_{16}. Wzmocnienie regulatora może być zmieniane płynnie potencjometrem R_{18}, istnieje też możliwość skokowej zmiany stałej całkowania. Regulator prądu zawsze ma strukturę typu PI, gdzie stała czasowa całkowania określona jest przez rezystancję R_{20} i kondensator C_{20}, a wzmocnienie można zmieniać potencjometrem R_{21}. Rzeczywista prędkość mierzona jest przez tachoprądnicę TG, a rzeczywisty prąd za pomocą bocznika (R_b = 0,5 W). Sygnał z regulatora prądu podawany jest do układu sterowania tyrystorów, który kształtuje impulsy wyzwalające tyrystory tak, aby zapewnić odpowiedni znak i wartość średnią napięcia zasilającego silnik prądu stałego. Na rys. 2 zilustrowano tylko zasadę działania takiego napędu. Układ rzeczywisty musi dodatkowo zapewniać możliwość sterowania ręcznego i automatycznego oraz być wyposażony w obwody zabezpieczeń, kontroli obecności sprzężeń zwrotnych oraz w systemy blokad i ograniczeń zapewniających poprawne działanie w każdych stanach pracy.

4. ANALIZA PRACY UKŁADU

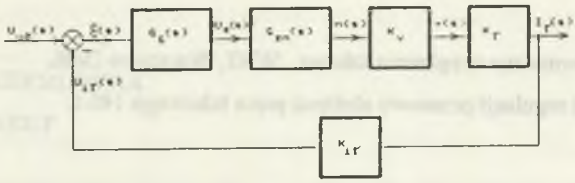
Analiza właściwości dynamicznych oraz optymalizacja nastaw regulatorów takiego układu może być oparta na jego schemacie blokowym przedstawionym na rys.3.



Rys.3. Schemat blokowy układu napędu i regulacji przesuwu elektrod

Fig.3. Block diagram of the drive and control system of the electrode feed

Na rys.3 oznaczono $G_e(s)$ - transmitancja układu porównawczego i wzmacniacza błędu, $G_m(s)$ - transmitancja regulatora prędkości, $G_n(s)$ - transmitancja regulatora prądu, K_v - przekładnia ruchu obrotowego na ruch posuwisty, K_l - współczynnik proporcjonalności prądu i długości łuku, K_{il} - współczynnik sprzężenia prądu łuku. Pozostałe oznaczenia są typowe dla techniki napędowej. Optymalny dobór nastaw regulatorów prądu i prędkości obrotowej silnika można przeprowadzić opierając się na kryterium Kesslera. Dla regulatora prądu najlepiej zastosować kryterium optimum modułu, a dla regulatora prędkości kryterium optimum symetrii. Po obliczeniu optymalnych nastaw regulatora prądu i prędkości można wyznaczyć transmitancję całego zamkniętego już zoptymalizowanego układu regulacji prędkości silnika $G_{zm}(s)$ według schematu blokowego z rys.3. Pozwoli to narysować uproszczony schemat blokowy układu (rys 4) przydatny do analizy wpływu wzmocnienia i stałej czasowej całkowania wzmacniacza błędu $G_e(s)$ oraz do badania dynamiki układu przy różnych zakłóceniach. Badanie można przeprowadzić traktując sygnał napięciowy jako sygnał wejściowy, tak jak na rys 4, wtedy sygnał odpowiadający prądowi łuku będzie wielkością regulowaną w nadrzędnej pętli regulacji.



Rys.4. Uproszczony schemat blokowy układu

Fig.4. Simplified block diagram of the system

Przedstawiona powyżej metoda analizy jest stosunkowo prosta, ale wymaga przyjęcia wielu założeń upraszczających i dlatego obliczone w ten sposób optymalne nastawy regulatorów mogą wymagać korekty w układach rzeczywistych.

5. UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

Piece łukowe pracujące w przemyśle w przeważającej większości wyposażone są w przestarzałe układy napędu i regulacji przesuwu elektrod: elektromechaniczne z amplidyną lub elektrohydrauliczne. Pociąga to za sobą szereg problemów związanych z optymalizacją pracy pieców i kłopoty eksploatacyjne. W chwili obecnej układy tyrystorowe mogłyby być do tego celu powszechnie stosowane. Nie ma tutaj żadnych przeszkód technicznych. Analiza porównawcza wykazała ich zdecydowaną przewagę nad układami tradycyjnymi szczególnie pod względem własności dynamicznych. Czas regulacji w układzie tyrystorowym jest kilka razy krótszy niż w układzie elektrohydraulicznym i kilkanaście razy krótszy niż w układzie amplidynowym.

Przeregulowania przy odpowiedzi na skokowy przyrost sygnału zadającego są dla układu tyrystorowego ponad dwa razy mniejsze niż w układzie elektrohydraulicznym i około półtora razy mniejsze niż w układzie amplidynowym. Również inne parametry, takie jak: sprawność, gabaryty, ciężar, koszty eksploatacji są zdecydowanie korzystniejsze dla układów tyrystorowych. Jedyną wadą opisywanego układu jest obecność silnika prądu stałego pracującego w trudnych warunkach (wysoka temperatura otoczenia, duże zapylenie). Dlatego też należałoby rozważyć możliwość zastosowania w tych napędach silników asynchronicznych klatkowych zasilanych z tranzystorowych falowników napięcia.

LITERATURA

1. Kurbiel A.: Elektrotermiczne urządzenia łukowe. WNT, Warszawa 1988.
2. DTR Układ napędu i regulacji przesuwu elektrod pieca łukowego 140 t.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Czesław Sajdak

Wpłynęło do Redakcji 10 listopada 1993

Abstract

In the Polish industry there supply systems with tap - changed furnace transformers are applied. Drive and control of the electrode feed are realized with electric machines and hydraulic systems usually. Therefore power control is limited and can be performed gradually, only.

Automatic control of the arc is based on control of the voltage to current ratio in the main supplying line. This method can be applied in thyristor drives and electronic control system of the electrode feed. Schematic diagram of such system there is presented on fig.2. Presented system has been applied in 140 t furnace. Fig.3 presents a block diagram of the electrode feed drive and of the control system. Dynamic properties of the thyristor systems are better then the properties of the hydraulic systems and systems with electric machines only. Setting time is several times shorter in thyristor systems than in the hydraulic systems. Other parameters as: efficiency, dimensions, opereting costs are better in thyristor systems, too. There are no technical obstacles to apply thyristor systems widely, now.