

JERZY SKORWIDER

Katedra Automatykacji Procesów Przemysłowych

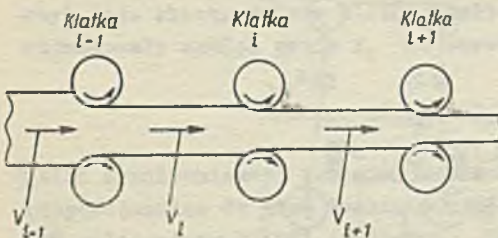
UKŁAD SYNCHRONIZACJI NAPĘDÓW WALCAREK
CIĄGŁEJ WALCOWNI KĘSÓW

Streszczenie. W artykule przedstawiono problemy ciągłego walcowania kęsów. Wskazano możliwość synchronizacji napędów, przy pomocy układu synchronizacji, który wykorzystuje zmianę wartości prądu twornika, wywołaną naciąganiem lub siłami ściskającymi pomiędzy kłatkami. Zaproponowano również rozwiązanie takiego układu synchronizacji na drodze cyfrowej.

Artykuł przedstawia główne tezy mojej pracy dyplomowej wykonanej w 1969 r. w Katedrze Automatyki Procesów Przemysłowych. Przedstawiona w artykule idea rozwiązania układu synchronizacji prędkości obrotowej walców 5-kłatkowej walcarki ciągłej była zadana w temacie pracy dyplomowej.

1. Problemy walcowania ciągłego

Jednym ze sposobów walcowania, spotykanym w hutnictwie, jest walcowanie ciągłe. Problemem zasadniczym występującym przy walcowaniu ciągłym jest problem synchronizacji prędkości obrotowych walców poszczególnych kłatek. Ponieważ istnieje pewien zgniot na każdej z kłatek, to prędkość liniowa



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie procesu walcowania ciągłego

wstęgi walcowniczej wzrasta, a co zatem idzie rosną prędkości obrotowe walców kłatek następujących w stosunku do poprzednich. Mogłoby się wydawać, że zakładając odpowiedni naciąg taśmy i zgniot, można obliczyć wymagane prędkości obrotowe poszczególnych walców. Jednakże istniejące w praktyce zakłócenia zmuszają do zastosowania takiego dodatkowego układu, który mógłby zapewnić możliwość doregulowania prędkości obrotowych walców poszczególnych kłatek do wartości optymalnych ze względu na zadany naciąg taśmy pomiędzy kłatkami. Do zakłóceń takich zaliczyć można: niedokładność nastawy odpowiedniego zgniotu, wahania napięcia sie-

ci energetycznej, różne grubości wstęgi wejściowej, różne własności materiałów wstęgi, itp. Na rys. 1 przedstawiono schematycznie proces walcowania ciągłego.

Między prędkościami liniowymi wstęgi walcowniczej zachodzi następująca relacja:

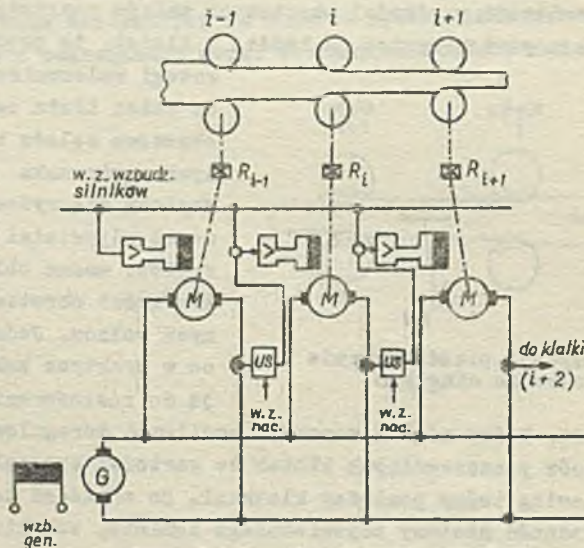
$$V_{i-1} < V_i < V_{i+1}$$

Technologia wymaga walcowania z odpowiednim naciąganiem. Właśnie projektowany układ synchronizacji ma zapewnić utrzymanie stałego naciągu.

Walcownie ciągłe posiadają z reguły 5 klatek walcowniczych, przeciętną prędkość walcowania 8-10 m/s oraz przeciętną odległość między klatkami wynoszącą 10 m. W przypadku omawianym w niniejszej pracy mają być walcowane kęsy o wymiarach przekroju poprzecznego 70 x 70 do 200 x 200 (mm). Względy ekonomiczne narzucają warunek - aby maksymalna odległość między kolejnymi walcowanymi kęsami nie była większa, niż odległość między dwoma sąsiednimi klatkami. Walcownie ciągłe pracują poprawnie bez układu synchronizacji napędów. Jednakże ze względu na niski koszt tego układu w stosunku do kosztu walcowni i wartości jej produkcji, nawet niewielka poprawa jakości i ilości produkcji całkowicie uzasadnia zastosowanie tego układu.

2. Napęd walcowni ciągłej

Konceptję synchronizacji napędów ilustruje rys. 2. Do napędu waloarki zastosowane zostały układy Leonarda zasilane ze wspólnego generatora.

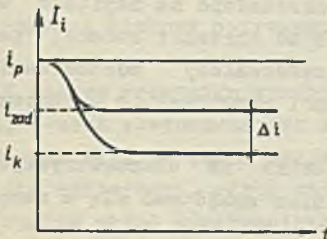


Rys. 2. Napęd walcowni ciągłej

Jednoczesną zmianę prędkości obrotowych wszystkich walców uzyskać można przez zmianę wzbudzenia generatora G lub zmianę wartości zadanych wzbudzenia silników. Przedstawione tu układy synchronizacji US mają za zadanie likwidację skutków działania uprzednio wspomnianych zakłóceń.

3. Koncepcja układu synchronizacji

Miarą naciągu lub sił ściskających pomiędzy klatkami i-tą a (i+1)-szą, jest zmiana prądu w obwodzie głównym układu Leonarda klatki i-tej, w chwili wejścia ozoła wstęgi walcowniczej między walce klatki (i+1)-szej. Zmiana ta wychwytywana jest przez układ synchronizacji, na który podaje się równocześnie wartość zadaną naciągu (vide rys. 2). Wartość zadaną naciągu (w.z.nac.) można zmieniać zależnie od wymagań technologii walcowania.



Rys. 3. Przebieg prądu twornika, w przypadku zbyt dużego naciągu

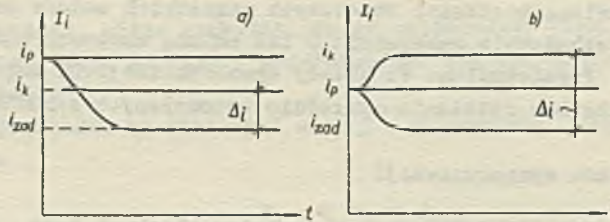
Wyjściem US jest sygnał napięciowy, który dodając się lub odejmując od wartości zadanej wzbudzenia silnika klatki (i+1)-szej, powoduje jego dowzbudzenie lub odwzbudzenie, a tym samym powoduje korekcję prędkości obrotowej silnika klatki (i+1)-szej, w celu utrzymania wartości zadanej naciągu pomiędzy klatkami i-tą a (i+1)-szą. Rozpatrzmy przykład przedstawiony na rysunku 3.

między klatkami i-tą a (i+1)-szą, to prąd $I_1 = i_p$. W momencie wejścia ozoła wstęgi między walce klatki (i+1)-szej, wartość prądu I_1 powinna znaleźć do wartości i_{zad} , ze względu na powstanie pewnego naciągu. Tymczasem zbyt duże obroty walców klatki (i+1)-szej, powodujące zbyt duży naciąg, spowodowały spadek prądu I_1 do wartości i_k .

$$i_{zad} - i_k = \Delta i > 0$$

Pokazany jest tu czasowy przebieg prądu twornika silnika klatki i-tej I_1 . Gdy ozoło wstęgi walcowniczej znajduje się między klatkami i-tą a (i+1)-szą, to prąd $I_1 = i_p$. W momencie wejścia ozoła wstęgi między walce klatki (i+1)-szej, wartość prądu I_1 powinna znaleźć do wartości i_{zad} , ze względu na powstanie pewnego naciągu. Tymczasem zbyt duże obroty walców klatki (i+1)-szej, powodujące zbyt duży naciąg, spowodowały spadek prądu I_1 do wartości i_k .

Układ synchronizacji powinien wypracować różnicę $\Delta i > 0$, zamienić ją na proporcjonalne do niej dodatnie napięcie, które z kolei dowzbudziłoby silnik walcowniczy klatki (i+1)-szej, powodując zmniejszenie jego obrotów, a tym samym zmniejszenie naciągu do wartości zadanej. Rys.4a ilustruje przypadek, gdy naciąg wstęgi walcowniczej jest zbyt mały, ale jeszcze dodatni, natomiast na rys. 4b przedstawiono przypadek występowania sił ściskających pomiędzy klatkami, czyli ujemnego naciągu.



Rys. 4. Przebieg prądu twornika w przypadku:
a) zbyt małego, dodatniego naciągu, b) ujemnego naciągu

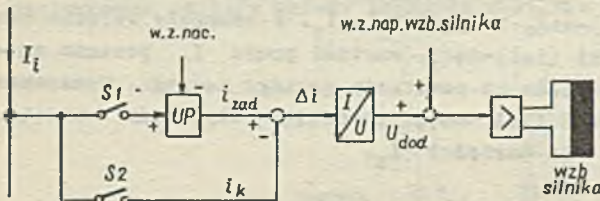
Oba te przypadki sprowadzają się do jednego, ponieważ:

$$\Delta i = i_{\text{zad}} - i_k < 0$$

Trzeba tutaj ujemną różnicę prądów $\Delta i < 0$, przekształcić na napięcie ujemne, którego wartość bezwzględna odejmując się od wartości zadanej napięcia wzbudzenia silnika klatki (i+l)-szej, spowodowałoby odwzbudzenie tego silnika, powodując zwiększenie jego prędkości obrotowej, co w konsekwencji zwiększyłoby naciąg do wartości zadanej.

Aby układ działał prawidłowo, punkt pracy silnika na charakterystyce magnesowania wzbudzenia $\phi = f(I_{\text{wzb}})$, nie powinien znajdować się w nasyceniu.

Z powyższych przykładów wynika koncepcja realizacji układu, który działałby zgodnie z przedstawionymi opisami. Koncepcję tą ilustruje rys. 5.



Rys. 5. Koncepcja układu synchronizacji

Gdy czoło wstęgi walcowo-wzniecznej znajduje się między klatkami i-tą a (i+l)-szą, styk S1 jest zamknięty, a styk S2 jest otwarty. W momencie wejścia czoła wstęgi między wałoe klatki (i+l)-szej, otwiera się styk S1, a zamyka się styk S2. Układ pamięciowy UP pamięta teraz i_{zad} , będące różnicą pomiędzy i_p , a wartością zadaną naciągu (w.z.nac.). W węzle sumacyjnym następuje porównanie wartości i_{zad} oraz i_k , a wynik tej operacji Δi może być dodatni, zerowy lub ujemny. Różnica Δi , przekształcona na rewersyjnym przekształtniku prądowo-napięciowym na napięcie dodatkowe U_{dod} do niej proporcjonalne, powoduje dowzbudzenie względnie odwzbudzenie silnika walcowo-wzniecznego klatki (i+l)-szej.

Gdy czoło wstęgi walco-wzniecznej znajduje się między klatkami i-tą a (i+l)-szą, styk S1 jest zamknięty, a styk S2 jest otwarty. W momencie wejścia czoła wstęgi między wałoe klatki (i+l)-szej, otwiera się styk S1, a zamyka się styk S2.

4. Uzasadnienie realizacji cyfrowej

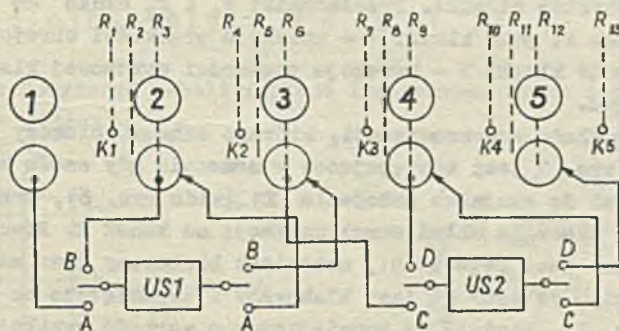
Układ synchronizacji może być realizowany w układzie analogowym lub cyfrowym. Trzeba podjąć więc decyzję, w jaki sposób go realizować. Ponieważ nie widać możliwości realizacji takiego analogowego układu pamięci, który zapewniłby dużą szybkość działania, zdecydowano się na realizację cyfrowego układu synchronizacji.

Na korzyść wersji cyfrowej przemawiają następujące fakty: duża szybkość działania oraz praktycznie dowolnie duża dokładność (zależnie od ilości pozycji cyfrowych). Właśnie układ szybko działający może zapewnić prawidłową regulację obrotów, ponieważ mamy do dyspozycji małe czasy na regulację.

5. Schemat blokowy cyfrowego układu synchronizacji

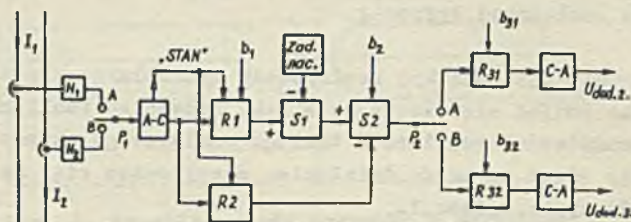
W naszym przypadku synchronizacji napędów pięcioklatkowej walcarki oia głej trzeba zastosować dwa układy synchronizacji US1 i US2, co przedstawiono na rys. 6. Jeden układ synchronizacji na 5 klatek walcowniczych mógłby nie wystarczyć, gdyby zaszła konieczność walcowania kęsów krótkich. Wtedy bowiem układ synchronizacji musiałby pracować jednocześnie na dwóch kanałach, a to jest nie możliwe.

Natomiast układ z rys. 6 zapewnia prawidłową synchronizację napędów zarówno w przypadku walcowania kęsów długich jak i krótkich.



Rys. 6. Schemat rozmieszczenia czujników położenia w pięcioklatkowej walcierce ciągłej, w której pracują dwa układy synchronizacji

Rys. 7 przedstawia schemat blokowy cyfrowego układu synchronizacji pracującego na dwóch kanałach. Działanie i budowa układu US1 oraz układu US2 są identyczne, ograniczymy się więc do rozpatrzenia jednego z nich, np. US1.



Rys. 7. Schemat blokowy cyfrowego układu synchronizacji

Prąd twornika układu Leonarda przekształcony jest na napięcie do niego proporcjonalne w przetworniku halotronowym H. Napięcie to podawane jest na wejście konwertera analogowo-cyfrowego (A-C), na wyjściu którego pojawia się sygnał cyfrowy w postaci równoległej. Wszystkie elementy układu cyfrowego realizowane są w postaci równoległej, gdyż ich szybkość działania jest większa od szybkości działania elementów szeregowych. Sygnał cyfrowy z konwertera A-C przechodzi na bramkowany rejestr R1 spełniający rolę pamięci cyfrowej oraz na rejestr R2 uzupełniający jedynkowo. Konwerter A-C ma dodatkowe wyjście "STAN", które bramkuje rejestry R1 i R2, otwierając je w momentach zakończenia przetwarzania napięcia wejściowego w konwerterze. Sumator S1 wykonuje operację odejmowania sygnału z zadajnika naciągu, od sygnału wyjściowego z rejestru R1, natomiast bramkowany sumator S2 wykonuje operację odejmowania sygnału wyjściowego z rejestru R2, od sygnału wyjściowego z sumatora S1. Następnie sygnał cyfrowy podawany jest na bramkowany rejestr R31, a potem na konwerter cyfrowo-analogowy (C-A), na którego wyjściu ukazuje się analogowy sygnał napięciowy wykorzystywany do korekcji obrotów silnika. Przełączniki P_1 i P_2 służą do przełączania układu z kanału A: prąd klatki 1 - korekcja prędkości obrotowej klatki 2, na kanał B: prąd klatki 2 - korekcja prędkości obrotowej klatki 3,1 w kierunku odwrotnym.

Działanie układu synchronizacji, którego schemat blokowy przedstawiony został na rys. 7 jest następujące: w momencie gdy ożło wstęgi walcowniczej dochodzi do czujnika położenia K1 (vide rys. 6), przełączniki kanałów P_1 i P_2 włączają układ synchronizacji na kanał A. Również w tym momencie włączony jest rejestr R1, natomiast blokowany jest sumator S2. W chwilę później rejestr R1 jest blokowany i zapamiętuje on w ten sposób wartość prądu I_1 . Wartość ta pomniejszona o wartość wynikającą z zadanego naciągu podawana jest na sumator S2. W chwilę później, tj. w momencie gdy ożło wstęgi walcowniczej wchodzi między walce klatki 2, odblokowywany jest sumator S2, a na jego wyjściu pojawia się błąd wynikający z różnicy między zadaną a rzeczywistą wartością naciągu. Błąd ten poprzez odblokowany rejestr R31 i konwerter cyfrowo-analogowy (C-A), odzwbudza lub

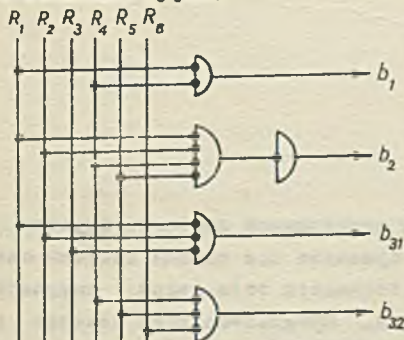
dowzbudza silnik klatki 2, powodując korekce jego prędkości obrotowej w kierunku osiągnięcia zadanej wartości naciągu.

W momencie gdy czoło wstęgi walcowniczej dochodzi do czujnika położenia K2, rejestr R31 jest blokowany pamiętając aktualną wartość błędu, natomiast przełączniki kanałów P₁ i P₂ przełączają układ synchronizacji na kanał B, czyli kanał; prąd klatki 2-korekca prędkości obrotowej klatki 3. Działanie układu synchronizacji na tym kanale jest identyczne jak i na kanale poprzednim.

Chcąc przeprowadzić syntezę sterowania układem synchronizacji, trzeba jego działanie ująć w sposób ścisły. Sygnałami informującymi nas o położeniu czoła wstęgi walcowniczej, są sygnały R₁ (vide rys. 6), wytworzone przez układ czujników położenia K1, K2, K3, K4 i K5 oraz odpowiednie układy licznikowe, których prędkość liczenia jest proporcjonalna do prędkości walcowania. Ponadto pojawieniu się sygnału R₂ towarzyszy równocześnie zanik sygnału R₁, pojawieniu się sygnału R₁ towarzyszy zanik R₁₋₁, itd. Sterowanie układem synchronizacji US1 ujmuje poniższa tabela funkcji logicznych.

R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	b ₁	b ₂	b ₃₁	b ₃₂
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1

Na podstawie powyższej tabeli funkcji logicznych, można napisać następujące równania wyjść:



$$b_1 = \overline{R_1 + R_4}$$

$$b_2 = \overline{R_1 + R_2 + R_4 + R_5}$$

$$b_{31} = \overline{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$b_{32} = \overline{R_4 + R_5 + R_6}$$

Rys. 8. Sterowanie układem synchronizacji, zrealizowane za pomocą elementów NOR

Realizację sterowania układem synchronizacji za pomocą elementów NOR przedstawia rys. 8.

6. Uwagi końcowe

Do konwersji analogowo-cyfrowej (A-C) wykorzystano konwerter typu AC-01 produkcji Zakładów ELWRO, natomiast do konwersji cyfrowo-analogowej (C-A) zastosowano konwerter typu AT/2 produkcji Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji - Warszawa. Do realizacji pozostałych podzespołów układu synchronizacji zastosowano głównie: elementy NOR, bramki dynamiczne oraz przerszutniki. Również na NOR-ach zbudowano przełącznik P_2 , natomiast przełącznik P_1 , zrealizowano na zestykach zwierznych ZZW1. Przełączników nie można było zrealizować na elementach stykowych, ponieważ charakteryzują się one dużymi czasami opóźnienia i nie mogą one zapewnić wymaganej dużej szybkości przełączania. Ogółem do synchronizacji napędów walcarki pięcioklatkowej potrzeba 800 elementów NOR.

LITERATURA

- [1] Manitius J. i inni - Hutnicze napędy elektryczne. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze, Katowice 1959 r.
- [2] Chu Y. - Maszyny Cyfrowe. PWN Warszawa 1967.
- [3] Małysiak H. i inni - Zbiór zadań z teorii automatów. Skrypt Pol. Śl. Gliwice 1968.
- [4] Traczyk W. - Projektowanie tranzystorowych układów przełączających. WNT Warszawa 1966.
- [5] Celjustkin A., Rozenman E. - Avtomaticheskoe upravlenie prokatnymi stannami. Metallurgizdat Moskva 1955.

Rękopis złożono w Redakcji w dniu 20.V.1969 r.

СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИВодОВ СТАНОВ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОКАТКИ КРУПНЫХ КУСКОВ

Резюме

В этой статье представлено проблемы непрерывной прокатки крупных кусков. Указано возможность синхронности приводов при помощи системы синхронизации, которая использует изменение стоимости тока якоря, вызванной натяжением или силой стижки между клетями. Предложено тоже решение такой системы синхронизации цифровым путём.

THE SYNCHRONISATION SYSTEM
OF CONTINUOUS HOT ROLLING MILLS

Summary

In the article the problems of continuous hot rolling have been presented. The possibility of drive synchronisation by the mean of synchronisation system, which uses the main current changes evoked by tension or compression forces between mill-cages has been indicated. The digital solution of that system has been presented.