

Edward Długosz
Karol Mosler

4.4. AUTOMATYCZNA REGULACJA GRUBOŚCI TAŚMY Z METALI NIEŻELAZNYCH NA WALCARCE QUARTO

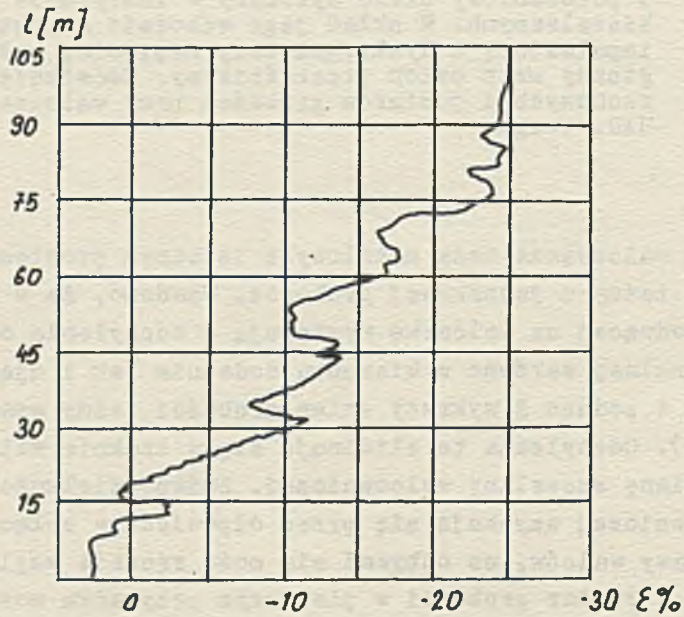
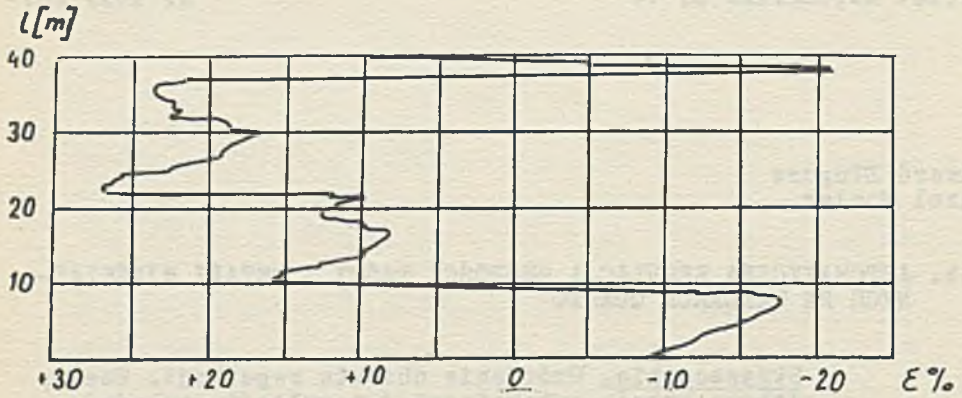
Streszczenie. Omówienie obiektu regulacji. Zasady doboru układu automatycznej regulacji grubości. Członem pomiarowym jest izotopowy miernik grubości ZP-3 produkcji BUTI - Warszawa. Regulatorem jest 5 położeniowy układ wykonany w Instytucie Metali Nieżelaznych. W skład jego wchodzi: wzmacniacz, impulsator, 4 dyskryminatory napięcia, układ logiczny oraz człon przekaźnikowy. Omówienie prób ruchowych i pomiarów grubości przy walcowaniu z UAR. Uwagi.

1. Wstęp

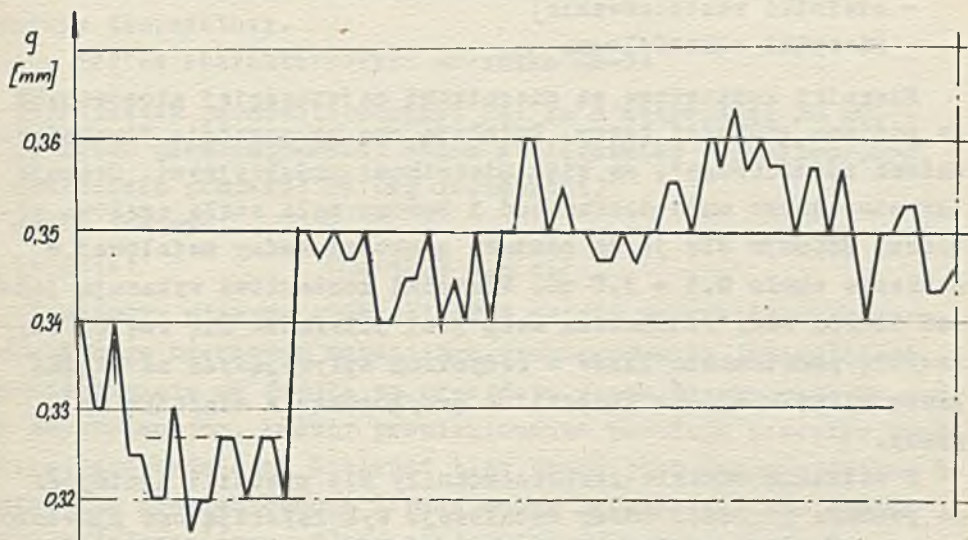
W procesie walcowania taśm metalowych istotnym problemem jest otrzymanie taśmy o jednakowej grubości. Wiadomo, że w każdej taśmie wchodzącej na walcarkę występują odchylenia od wartości nominalnej zarówno w kierunku dodatnim jak i ujemnym.

Na rys. 1 podano 2 wykresy zmian grubości taśmy wsadowej (wg poz. 4). Odchylenia te eliminuje się w trakcie walcowania poprzez zmianę szczeliny walcowniczej. Zmianę wielkości szczeliny walcowniczej uzyskuje się przez odpowiednie załączenie silników nastawy walców, co odbywać się może ręcznie względnie automatycznie. Pomiar grubości w pierwszym przypadku może być pomiarem ręcznym lub automatycznym w drugim tylko automatycznym. Na niekorzyść ręcznego sterowania nastawą przemawiają takie jego aspekty jak zmniejszona prędkość działania, zmniejszona dokładność dotrzymywania tolerancji wymiarowej (rys. 2) oraz niebezpieczeństwo wynikające z manipulowania przy ruchomej taśmie.

Przy pomiarze automatycznym grubość stanowi zazwyczaj wielkość regulacyjną. Układy automatycznej regulacji podzielić można na układy o regulacji ciągłej i układy z regulacją impulsową.



Rys. 1. Wykresy zmian grubości taśmy wsadowej



Rys. 2. Wykres zmian grubości w taśmie gotowej

2. Waloarka, układ mechaniczny i reżim pracy

Układ regulacji grubości taśm został opracowany dla waloarki mającej walce robocze o średnicy 130 mm i długości 400 mm. Waloarka napędzana jest silnikiem prądu stałego w układzie Leonarda. Waloarka posiada dwie zwijarki napędzane niezależnymi silnikami. Sterowanie odbywa się z pulpitu sterowniczego umieszczonego przy waloarce. Stamtąd przyciskami sterowane są dwa silniki asynchroniczne krótkozwarte (po 1,6 kW i 690 obr/min) obracające poprzez przekładnie (1 = 945) śruby regulujące wielkość szczeliny walcowniczej. Prędkość nastawiania szczeliny wynosi 5,1 mm/min.

3. Pomiar grubości

Do pomiaru grubości taśmy stosuje się mierniki różnych typów. Nie wszystkie typy jednak spełniają zadawalająco swoje zadanie. Miernikami, które w większym stopniu zdobyły uznanie przy pomiarze grubości taśmy metalowej są:

- mierniki kontaktowe

- mierniki izotopowe
 - mierniki rentgenowskie
 - mierniki mikrofalowe.
- } - mierniki radiacyjne

Mierniki kontaktowe są miernikami najwcześniej stosowanymi do pomiaru grubości taśmy. Działają one na zasadzie "transformatora różnicowego", są więc miernikami indukcyjnymi. Cechuje ich stosunkowo duża dokładność i bardzo mała stała czasowa pomiaru. Stosuje się je do pomiaru grubości taśmy metalowej w zakresie około $0,5 \div 3,0$ mm. Mierniki kontaktowe wykazują jednak szereg wad. Podstawową wadą jest ścieranie się części stykowych, powstawanie luzów w łożyskach wpływających na błędną pracę mierników oraz kłopotliwe przygotowanie miernika do pracy.

W ostatnim okresie rozpowszechniły się mierniki izotopowe do pomiaru grubości taśmy metalowej. Wykorzystują one zjawisko pochłaniania promieniowania jonizującego względnie jego odbicia. W miernikach opartych na pochłanianiu promieniowania, tzw. miernikach absorbojących stosuje się w praktyce źródła β i γ . O tym, które z promieniowań (β czy γ) może być zastosowane decyduje rodzaj i zakres pomiaru oraz żądana dokładność. Do pomiaru grubości papieru, kartonu i cienkich blach metalowych wystarczy promieniowanie β , w przypadku grubszych blach potrzebne jest promieniowanie γ . Jako pierwiastka promieniotwórczego używa się ^{90}Sr lub ^{241}Am .

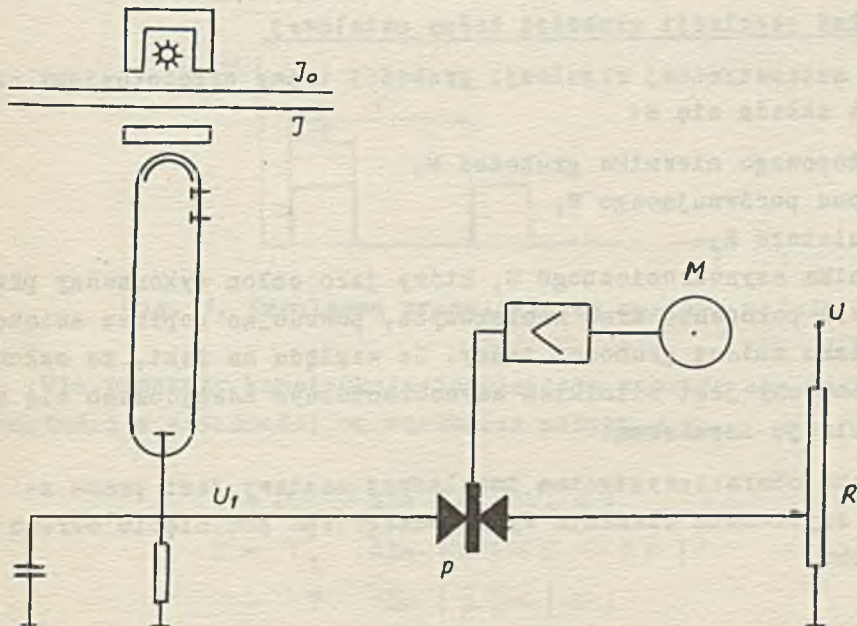
Mierniki izotopowe wykonuje się dla różnych zakresów grubości, i tak np. stosowany w omawianym UAR grubości miernik ZP-3 ze źródłem ^{241}Am posiada zakres pomiarowy $0,15 \div 2,0$ mm dla blach miedzianych. Mierniki izotopowe charakteryzują się stosunkowo dużą stałą czasową pomiaru rzędu 1 sekundy. Ze względu na zasadę pomiaru mierniki te wykazują szereg wad, zwłaszcza w przemyśle metali nieżelaznych, gdzie wymagania są wysokie i dość specyficzne. Wystarczy bowiem wspomnieć, że na tej samej walcierce walcuje się takie materiały jak aluminium, miedź, nowe srebro itd., a miernik izotopowy jest szczególnie wrażliwy na skład chemiczny blachy. Innym ważnym

mankamentem jest duża niestabilność miernika i wrażliwość na wahania temperatury.

A oto krótka charakterystyka miernika ZP-3:

- pierwiastek promieniotwórczy: ^{241}Am o aktywności 30 mC,
- detektor promieniowania: sonda z licznikiem scyntylicyjnym,
- dokładność pomiaru: 2% (wg instrukcji)
- stała czasowa:
- wyjście: $0 \div 12\text{V}; 4,8 \text{ k}\Omega$

Izotopowy miernik grubości ZP-3 działa na zasadzie pomiaru osłabionego mierzonym materiałem promieniowania jonizującego. Promieniowanie ze źródła po przejściu przez blachę pada na sondę scyntylicyjną. Kwanty promieniowania powodują przepływ prądu przez fotopowielacz. Wielkość tego prądu jest proporcjonalna do natężenia promieniowania I padającego na kryształ. Na oporze fotopowielacza (rys. 3) powstaje więc spadek napięcia $U_1 = K_1 I$, który jest miarą grubości mierzonego materiału. K_1 jest wzmocnieniem detektora. Napięcie U_1 jest porównywane ze



Rys. 3. Zasada budowy izotopowego miernika grubości taśmy metalowej

stałym napięciem U_2 suwaka potencjometru R wskaźnika. Różnica tych napięć przetworzone jest na napięcie zmienne (wibrator P) i wzmoconia steruje silnik M napędzający suwak potencjometru R aż do zrównania napięć U_1 i U_2 .

Na podobnej zasadzie działają mierniki rentgenowskie. Tworzą one z miernikami izotopowymi właściwie jedną wspólną grupę mierników radiacyjnych. Mierniki rentgenowskie stosuje się do pomiaru blach bardzo grubych, rzędu 10 mm.

W ostatnim okresie duże uznanie zyskują mierniki działające na zasadzie mikrofalowej. Wykazują one szereg zalet w porównaniu z poprzednio opisanymi miernikami. Zwłaszcza dokładność, szybkość pomiaru, niewrażliwość na skład chemiczny mierzonego materiału powodują, że mierniki te są stosowane w coraz szerszym zakresie. Dane prospektowe i literaturowe potwierdzają wysoką dokładność miernika mikrofalowego rzędu $2 \mu\text{m}$ w całym zakresie pomiarowym, przy czym zakres pomiaru rozciąga się od blach b. cienkich do 5 mm.

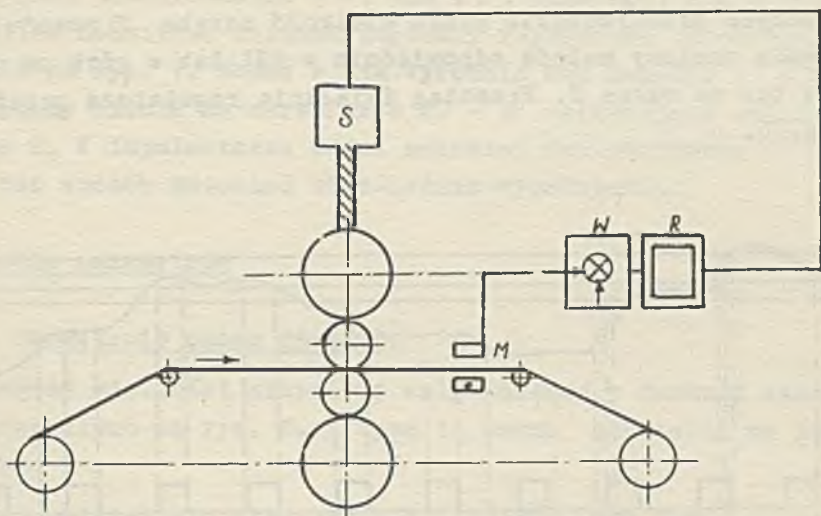
4. Układ regulacji grubości taśmy metalowej

Układ automatycznej regulacji grubości taśmy przedstawiony na rys. 4 składa się z:

- izotopowego miernika grubości M,
- członu porównującego W,
- regulatora R,
- silnika asynchronicznego S, który jako członu wykonawczy przedstawia położenie śrub naciskowych, powodując poprzez zmianę nacisku zmianę grubości taśmy. Ze względu na fakt, że członu wykonawczy jest silnikiem asynchronicznym zdecydowano się na regulację impulsową.

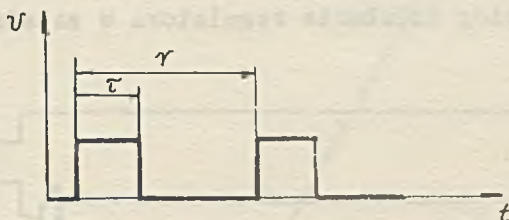
Cechą charakterystyczną impulsowej nastawy jest praca ze stałą szybkością elementu wykonawczego (po pominięciu okresu rozruchu)

$$v_w = \text{const.}$$



Rys. 4. Schemat UAR grubości taśmy metalowej

Jest to więc regulacja impulsowa ze stałą wysokością impulsu o modelowanym wypełnieniu (rys. 5).



Rys. 5. Impulsowa praca silnika nastawy walców

Dla prostoty konstrukcji impulsatora stosuje się tylko trzy wartości w zależności od wielkości uchybu ε :

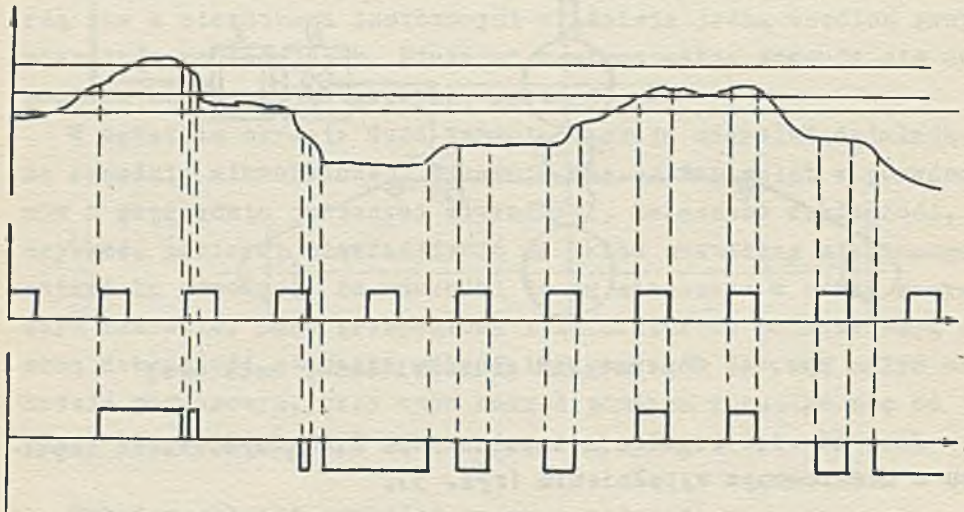
$$\tau = 0 \quad \text{dla } |\varepsilon| < |\alpha|$$

$$\tau = \tau_1 \quad \text{dla } |\alpha| \leq \varepsilon \leq |\beta|$$

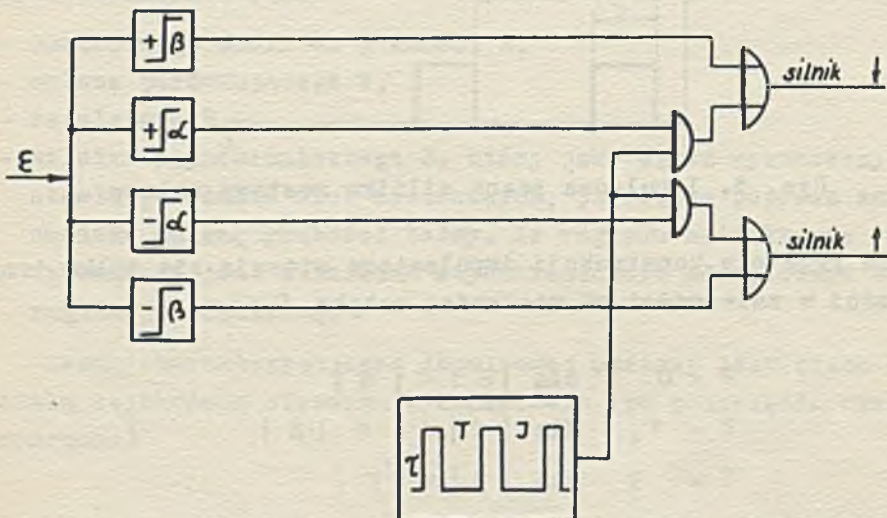
$$\tau = T \quad \text{dla } |\beta| \leq |\varepsilon|$$

przy czym $|\alpha| < |\beta|$

Do dyspozycji są cztery wartości odniesienia $+\alpha$, $-\alpha$, $+\beta$, $-\beta$, których przekroczenie przez wielkość uchybu ε powoduje załączenie nastawy wałców odpowiednio w dół lub w górę na okres τ_1 lub też na okres T . Przebieg działania regulatora przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Przebieg działania regulatora w zależności od ε



Rys. 7. Schemat logiczny regulatora

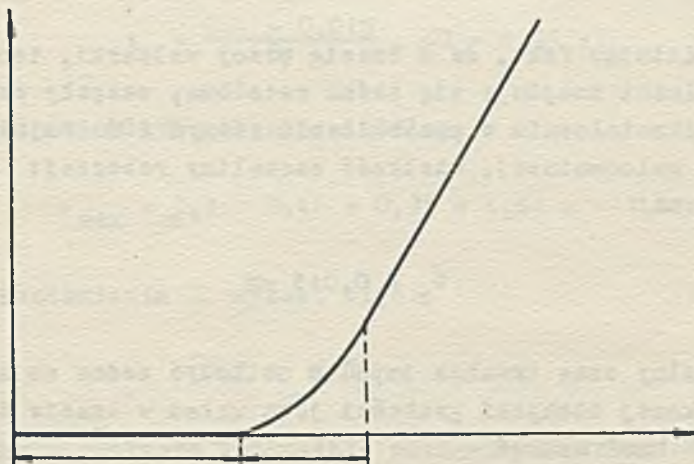
Sygnał przekroczenia (α) lub (β) otrzymuje się z 4 przełączników Schmitta. Schemat logiczny regulatora przedstawiony został na rys. 7. Można w nim wyróżnić dwa kanały: 1) $\pm \alpha$ załączający silnik na okres T oraz 2) $\pm \beta$ załączający silnik na okres T . W impulsatorze można zmieniać dwa parametry τ i T i w ten sposób zmieniać odpowiednie wypełnienie.

4. Dobór parametrów

4.1. Określenie czasu rozruchu

Zależność wielkości szczeliny wałowniczej w funkcji czasu przedstawiono na rys. 8. Krzywą tę można podzielić na trzy części:

- czas zadziałania styczników $t_{st} = 150 - 200 \text{ m s}$
- czas rozruchu t_r
- praca silnika na obrotach minimalnych.



Rys. 8. Zależność wielkości szczeliny wałowniczej w funkcji czasu

Czas rozruchu t_r obliczyć można w przybliżeniu opierając się na zależności:

$$t_r = \frac{G D^2}{375} \cdot \frac{n}{M}$$

Dla silnika $P = 1,5$ kW i $n = 690$ obr/min wynika:

$$t_r = 0,456 \text{ [s]}$$

4.2. Czas trwania impulsu

Czas trwania impulsu powinien spełniać zależność:

$$\tau_{\min} \geq t_{st} + t_r$$

W powyższym przypadku

$$\tau_{\min} \geq 0,7 \text{ s}$$

W oiągu tego okresu nastąpi zmiana szczeliny walcowniczej nieobciążonej walcarki

$$\delta_r = 0,019 \text{ mm}$$

Uwzględniając fakt, że w czasie pracy walcarki, tzn. gdy między walcami znajduje się taśma metalowa, zespoły walcarki ulegają odkształceniu w przybliżeniu równym 20% nominalnej szczeliny walcowniczej, wielkość szczeliny roboczej będzie równa:

$$\delta_x = 0,015 \text{ mm}$$

Maksymalny czas trwania impulsu obliczyć można ze znajomości największej odchyłki grubości jaką układ w czasie działania kanału $\pm \alpha$ musi usunąć

$$\tau_{\max} \leq t_{st} + t_x + t_p$$

t_{st} - czas styconików,

t_x - czas rozruchu silników,

t_p - czas pracy silników.

Czas t_p obliczyć można z liniowej części charakterystyki $\delta = \delta(t)$ określonej zależnością:

$$t_p = \frac{(\delta_p - \frac{k_0}{60} \cdot \frac{t_x}{2}) \cdot 60}{k_0}$$

δ_p oznacza wielkość o jaką należy zmienić szczelinę waloowni-
czą by wyrównać maksymalny uchyb ε_{\max} jaki może wystąpić przy
działaniu kanału $\pm \alpha$. Dla obranego

$$\varepsilon_{\max} = 0,08 \text{ mm}$$

$$\delta_p = 0,1 \text{ mm}$$

uwzględniając około 20% odkształcenia waloarki. Po podstawieniu

$$t_p = \frac{0,1 - 0,019}{51} \cdot 60 = 0,95 \text{ s,}$$

stąd maksymalny czas trwania impulsu:

$$\tau_{\max} = 0,2 + 0,46 + 0,95 = 1,61 \text{ s} = 1,6 \text{ s}$$

Zakres nastawienia τ wynosi więc:

$$0,7 \text{ s} \leq \tau \leq 1,6 \text{ s,}$$

przy czym w praktyce konkretnie nastawiana wartość τ zależy
od charakteru zmian grubości taśmy i błędu ε_{\max} aktualnie
obranego, jako próg zadziałania kanału $\pm \alpha$.

4.3. Okres impulsowania T

Okres impulsowania T związany jest z występującymi w UAR sta-
łymi czasowymi a zwłaszcza z czasem martwym wynikającym z
transportu blachy spod walców do miernika.

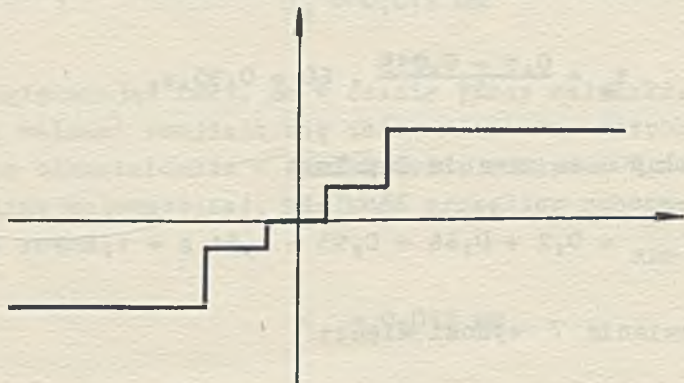
Analiza układu pozwoliła na stwierdzenie, że okres impulsowania T wynosi:

$$T = 3 \div 5 \text{ sek}$$

Wybór odpowiedniej wartości zależy od szybkości waloowania. I tak przy szybkościach małych okres $T \cong 5$ sek, przy dużych zaś jest zbliżony do 3 sekund. Próby ruchowe potwierdziły w pełni słuszność tych założeń.

5. Układ regulacji grubości taśmy z impulsowym regulatorem proporcjonalnym

Opisany w p. 3 układ regulacji posiada regulator nieliniowy. Jest to w zasadzie 4-punktowy regulator ze strefą martwą. Charakterystykę statywną tego regulatora podaje rys. 9.



Rys. 9. Charakterystyka regulatora

Układ taki aczkolwiek prosty w budowie posiada stosunkowo złe własności dynamiczne. Aby własności te polepszyć zaprojektowano impulsowy regulator proporcjonalny. Jako wartość zmienną przyjęto długość trwania impulsu przy stałym okresie T .

Właściwie lepsze własności dynamiczne przedstawiałyby układ ze stałą szerokością impulsu, a modulowaną częstotliwością.

Obrane rozwiązanie motywuje się rzadszą pracą przekaźników występujących w układzie sterowania silnikiem nastawy walców.

W opisywanym przypadku zaprojektowano regulator z nastawialnym okresem T od 3 - 10 s. Maksymalny czas trwania impulsu podczas największego uchybu można nastawić od 30 - 70% okresu. Znaoczy to, że wzmocnienie regulatora można zmieniać. Zastosowanie takiego regulatora wybitnie polepsza własności UAR grubości taśmy metalowej.

Z rysunku 4 można wywnioskować, że czas martwy T_t równy czasowi transportu blachy od szczeliny walcowniczej pod miernik, jest zmienny i zależy od szybkości walcowania. W związku z tym własności UAR będą w dużej mierze zależne od prędkości. Aby wyeliminować wpływ tego szkodliwego parametru wprowadzono sprzężenie od prędkości walcowania do regulatora. Parametrem zmiennym w zależności od prędkości walcowania jest okres impulsowania T .

6. Inne układy automatycznej regulacji grubości taśmy metalowej

Przy walcowaniu metali nieżelaznych stosuje się również inne bardziej złożone UAR grubości.

Chcąc zwiększyć dokładność regulacji należy zmniejszyć strefę nieczułości regulatora. Zmniejszenie strefy nieczułości pociąga za sobą zwiększenie wzmocnienia regulatora, skutkiem czego występują przeregulowania tzn. stabilizacja UAR zmienia się na niekorzyść.

Dlatego w praktyce chcąc zwiększyć dokładność buduje się regularoty złożone. Strefa nieczułości regulatora proporcjonalnego nie zmniejsza się, natomiast równoległe do niego włącza się człon całkujący z dyskryminatorem błędu. Człon ten charakteryzuje duża czułość.

Po "nacałkowaniu" błędu do pewnej wartości wytwarza się sygnał, który powoduje przestawienie się śrub nastawczych o pewną wartość. Człon ten realizuje funkcję

$$\int \varepsilon dt$$

Jak widać wartość oalki jest niezależna od długości przewalcowanej taśmy, lecz tylko od ozasu i ε . Oznacza to, że wartość oalki jest niezależna od prędkości walcowania. Aby wyeliminować ten mankament uwzględnia się prędkość walcowania w następujący sposób:

$$\int \varepsilon dt = \int \varepsilon d\left(\frac{l}{v}\right) = \frac{1}{v} \int \varepsilon dl$$

W ten sposób uzależniając wielkość współczynnika występującego przed oalką do prędkości "oalkuje" się błąd grubości na "długość taśmy" a nie w ozasie. Należy zaznaczyć, że oalkowanie następuje tylko w wypadku występowania małego błędu o wartości:

$$-\alpha \leq \varepsilon \leq +\alpha.$$

7. Efekty ekonomiczne i tendencje rozwojowe

Stosowanie układów automatycznej regulacji grubości taśmy metalowej wybitnie polepszyło jakość produktu. Ważnym aspektem jest możliwość zwiększenia szybkości walcowania w niektórych wypadkach z 0,5 m/s do 3 - 5 m/s. Wskaźnik ten wybitnie rzutuje na efekty ekonomiczne. Nie są one jednak jeszcze zupełnie zadawalające. Dlatego prowadzi się badania w tej dziedzinie w dalszym ciągu. Elementem, który nie jest jeszcze dostatecznie dopracowany jest miernik grubości. Prowadzi się również prace nad wykorzystaniem drugiego miernika na wejściu, budując układy regulacji z występowaniem wielkości zakłócającej. Nowym kierunkiem w konstrukcji waloarek, są waloarki z hydrauliczną nastawą szczeliny waloowniczej. Literaturowe dane techniczne tych układów są pozytywne. U nas w kraju nie pracują jeszcze waloarki tego typu. Pracuje się natomiast nad waloarkami z tradycyjnie zmienianą szczeliną waloowniczą za pomocą śrub nastawczych.

LITERATURA

- [1] Mosler K. - Automatyzacja sterowania nastawy walców nawrotnej waloarki taśmy przy pomocy izotopowego miernika grubości. Sprawozdanie IMN.
- [2] BUTI - Instrukcja obsługi izotopowego miernika grubości ZP-3.
- [3] Fiejgin W.I. - Awtomatizacja prokratnych stanów owietnoji metalurgii. Moskwa 1963.
- [4] Niederstein H. - Eine neue Mohrrollen - Kaltwatzmaschine für dünne Bänder.