

Jerzy KUŹNIK

SPOSOBY REALIZACJI OGRANICZENIA SYGNAŁU WYJŚCIOWEGO W REGULATORACH PID

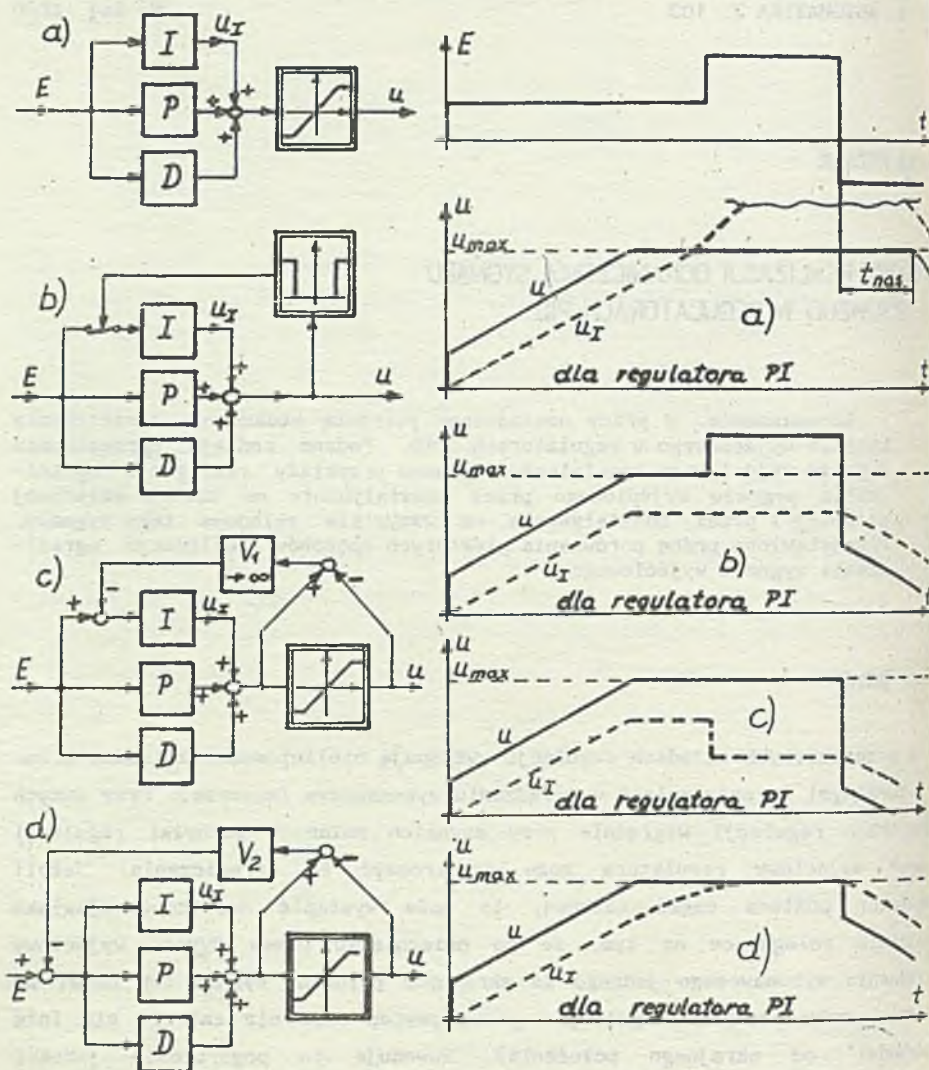
Streszczenie. W pracy uzasadniono potrzebę stosowania ograniczenia sygnału wyjściowego w regulatorach PID. Podano rodzaje ograniczenia sygnału wyjściowego regulatorów. Opisano przykłady realizacji ograniczenia sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowej i przez oddziaływanie na wszystkie składowe tego sygnału. Przedstawiono próbę porównania niektórych sposobów realizacji ograniczenia sygnału wyjściowego.

1. WSTĘP

W przemysłowych układach regulacji występują nieliniowości związane m.in. z naturalnymi ograniczeniami w urządzeniu wykonawczym (zaworze). Przy dużych odchyłkach regulacji względnie przy szybkich zmianach odchyłki regulacji sygnał wyjściowy regulatora może przekroczyć te ograniczenia. Jeżeli regulator posiada część całkową, to może wystąpić dodatkowo zjawisko nasycenia polegające na tym, że po osiągnięciu przez sygnał wyjściowy urządzenia wykonawczego jednego ze skrajnych położenia, sygnał ten nawet po zmianie znaku odchyłki regulacji przez pewien czas nie zmienia się (nie "odchodzi" od skrajnego położenia). Powoduje to pogorszenie jakości regulacji, a w niektórych przypadkach może doprowadzić do niestabilności układu regulacji. By temu zapobiec koryguje się działanie regulatora po przekroczeniu przez jego sygnał wyjściowy ograniczeń narzuconych przez urządzenie wykonawcze. Korekcję taką realizuje się przez zastosowanie różnych sposobów ograniczenia sygnału wyjściowego regulatora.

2. RODZAJE OGRANICZENIA SYGNAŁU WYJŚCIOWEGO REGULATORÓW PID

Można rozróżnić następujące sposoby ograniczenia sygnału wyjściowego regulatorów PID [1] [2] [3] [4]:



Rys. 1. Schematy blokowe i zmiany w czasie sygnału wyjściowego dla:
 a) ogranicznika sygnału wyjściowego, b) zatrzymanie całkowania, c) ograniczenia sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowej w tym sygnale, d) ograniczenia sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udziały wszystkich składowych tego sygnału

Fig. 1. Block diagrams and time changes of the output signal for:
 a) output signal limiter, b) integral stopping, c) output signal constraint by interfering on the integral part in this signal only, d) output signal constraints by interfering on all parts of this signal

1. Ogranicznik sygnału wyjściowego.
2. Zatrzymanie całkowania.
3. Ograniczenie sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowej w tym sygnale.
4. Ograniczenie sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udziały wszystkich składowych sygnału.

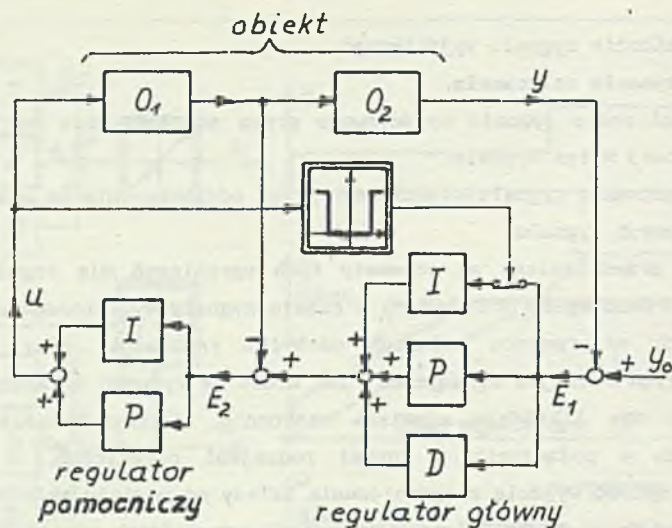
Na rys. 1 przedstawione są schematy tych ograniczeń dla regulatora PID o strukturze równoległej oraz zmiany w czasie sygnału wyjściowego regulatora PI po podanych na rysunku zmianach odchyłki regulacji, przy zastosowaniu poszczególnych rodzajów ograniczeń. Jak widać na rysunku ogranicznik sygnału wyjściowego nie likwiduje zjawiska nasycenia, dlatego stosuje się go w regulatorach w połączeniu z innymi rodzajami ograniczeń. W zatrzymaniu całkowania sposób wyjścia z ograniczenia zależy od udziału składowej całkowej w sygnale wyjściowym regulatora i w pewnych przypadkach udział tej składowej może być nawet większy od poziomu ograniczenia [3]. Główną zaletą tego rodzaju ograniczenia jest możliwość zatrzymania całkowania za pomocą innych (od sygnału wyjściowego regulatora) sygnałów charakterystycznych układu regulacji. Przykładowo w układzie regulacji kaskadowej zrealizowanym za pomocą regulatorów systemu INTELEKTRAN-S można zatrzymać całkowanie regulatora głównego po osiągnięciu przez sygnał wyjściowy regulatora podrzędnego ograniczenia narzuconego przez urządzenie wykonawcze (rys. 2).

Schematy ograniczeń z rys. 1 c,d mogą być przedstawione w inny sposób. Rys. 3 pokazuje schemat ograniczenia sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowej. Ogranicznik sygnału wyjściowego regulatora można pominąć, ponieważ taki sam ogranicznik znajduje się w urządzeniu wykonawczym. Ograniczenia z rys. 1 c i d realizowane są w różny sposób.

Niektóre z tych realizacji przedstawione są poniżej.

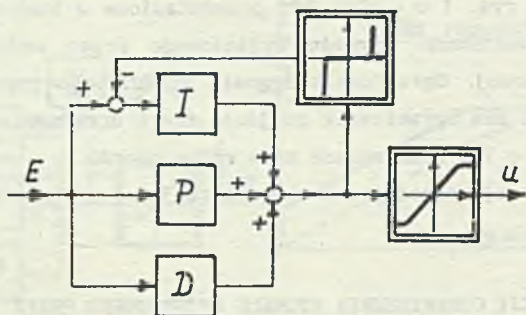
3. SPOSOBY REALIZACJI OGRANICZENIA SYGNAŁU WYJŚCIOWEGO PRZEZ ODDZIAŁYWANIE NA UDZIAŁ SKŁADOWEJ CAŁKOWEJ W TYM SYGNALE

Ograniczenie sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowej, realizowanego wg schematu z rys. 1c, przy dużych i szybkich zmianach odchyłki regulacji jest niekorzystne dla regulatorów posiadających działanie różniczkujące (a więc dla regulatorów PID) [3], [5].



Rys. 2. Schemat blokowy układu regulacji kaskadowej zrealizowanego za pomocą regulatorów systemu INTELEKTRAN-S z zaznaczeniem sposobu wykorzystania zatrzymania całkowania

Fig. 2. Block diagram of cascade regulation system realized by the INTELEKTRAN-S controllers with assignment of the way in which integral stopping has been applied



Rys. 3. Przekształcony schemat ograniczenia sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowej w tym sygnale

Fig. 3. Transformed scheme of the output signal limiter by interfering on the integral part in this signal

Dla przykładowego układu regulacji składającego się z obiektu o transmitancji

$$F_o(s) = \frac{1}{(1+s)^3} \quad (1)$$

a więc stałe czasowe obiektu $T_1 = T_2 = T_3 = 1$ [min], i regulatora o transmitancji

$$F_R(s) = K_R \left(1 + \frac{1}{sT_c} + \frac{sT_r}{1+s\frac{T_r}{n}} \right) \quad (2)$$

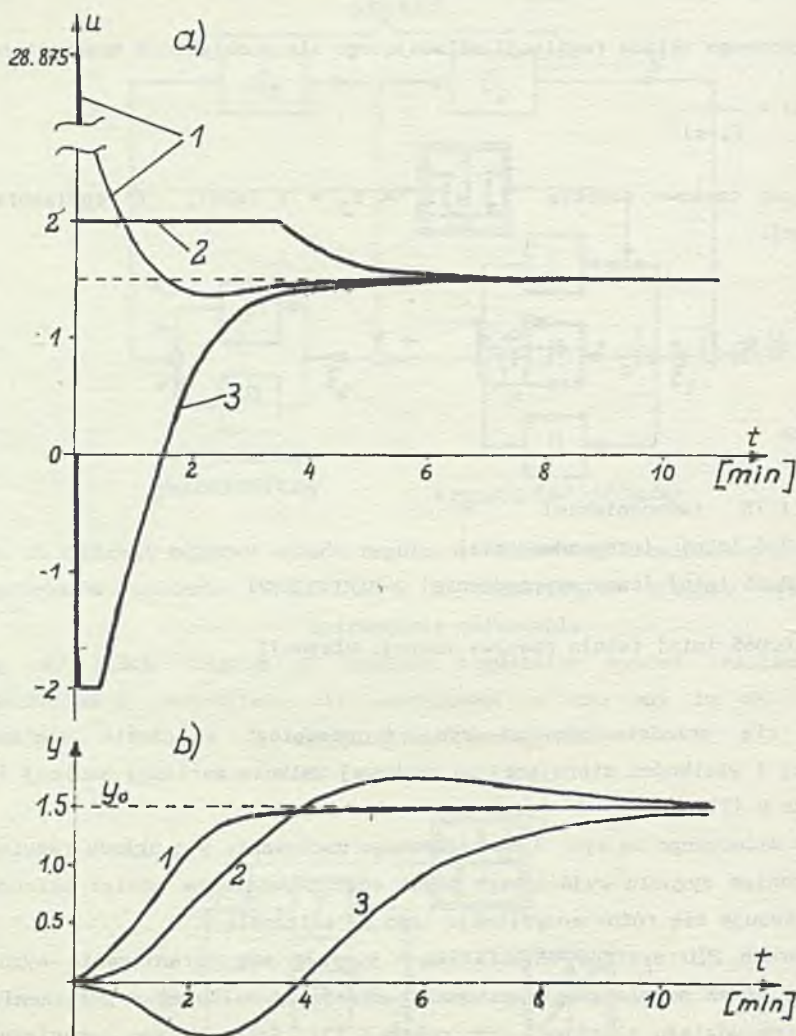
i nastawach

$$\begin{aligned} K_R &= 1.75 \quad (\text{wzmocnienie}) \\ T_c &= 2.6 \text{ [min]} \quad (\text{czas zdwojenia}) \\ T_r &= 0.65 \text{ [min]} \quad (\text{czas wyprzedzenia}) \\ \frac{T_r}{n} &= 0.065 \text{ [min]} \quad (\text{stała czasowa inercji własnej}) \end{aligned} \quad (3)$$

otrzymuje się przedstawione na rys. 4 przebiegi w czasie wielkości regulowanej i wielkości sterującej po skokowej zmianie wartości zadanej [5], uzasadnione w [7].

By uniknąć widocznego na rys. 4 niepożądanego zachowania się układu regulacji z ograniczeniem sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowitej stosuje się różne modyfikacje tego ograniczenia.

W regulatorach PID systemu INTELEKTRAN-S stosuje się ograniczenie sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowitej w połączeniu z ograniczeniem udziału składowej różniczkowej [3]. Schemat tego ograniczenia oraz otrzymany po jego zastosowaniu przebieg wielkości sterującej i regulowanej w układzie regulacji opisanym zależnościami (1) (2) (3), po skokowej zmianie wartości zadanej przedstawia rys. 5. Układ ograniczenia sygnału wyjściowego posiada dwa sygnały wyjściowe: sygnał ograniczenia całkowania O_c i sygnał ograniczenia różniczkowania O_r . Jeśli sygnał wyjściowy regulatora $u_1(t)$ jest w zakresie pracy liniowej, to oba te sygnały są równe zeru. Jeśli sygnał $u_1(t)$ wykracza poza zakres (C,D) lecz zawiera się w zakresie (A,B) wytwarzany jest tylko sygnał ograniczenia różniczkowania O_r . Jeżeli mimo maksymalnego ograniczenia udziału składowej różniczkowej sygnał wyjściowy regulatora przekroczy zakres (A,B), to wytwarzany jest dodatkowo sygnał ograniczenia całkowania O_c .

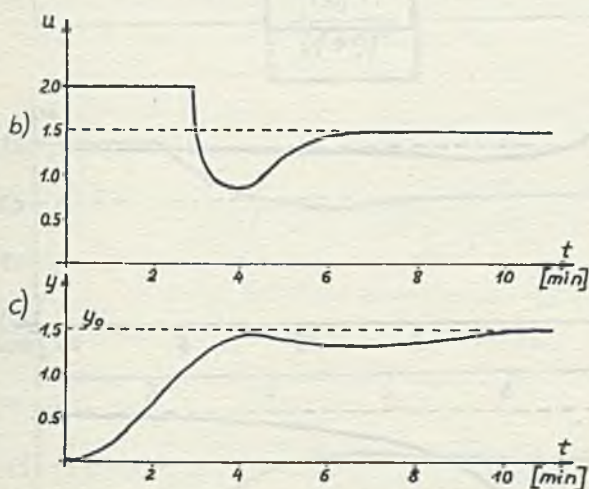
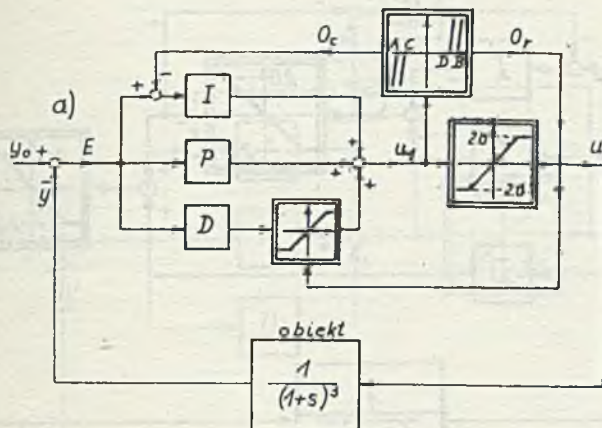


Rys. 4. Przebiegi w czasie wielkości sterującej (a) i wielkości regulowanej (b) w układzie regulacji z regulatorem PID po skokowej zmianie wartości zadanej od 0 do 1.5:

1 - bez żadnych ograniczeń, 2 - z ograniczeniem sygnału sterującego (-2.0, 2.0), 3 - z ograniczeniem sygnału sterującego i z ograniczeniem sygnału wyjściowego wg rys. 1c

Fig. 4. Time runs of the control (1) and the controlled (b) variables in the control system with PID controller after step changes of the reference signal from 0 to 1.5

1 - without constraints, 2 - with the control signal constraints (-2.0, 2.0), 3 - with the control and output signal constraints according to fig. 1c

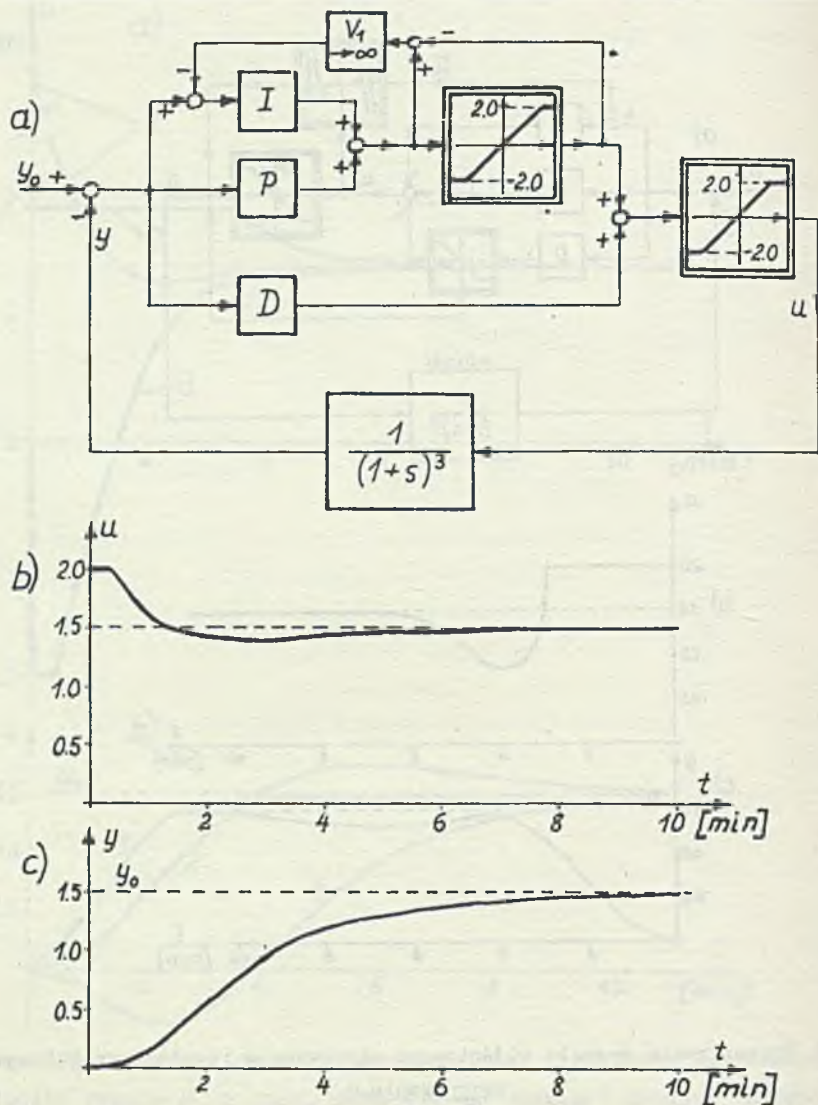


Rys. 5. Ograniczenie sygnału wyjściowego stosowane w regulatorze PID systemu INTELEKTRANS-S:

a) schemat blokowy z przykładowym obiektem regulacji, b) przebieg wielkości sterującej po skokowej zmianie wartości zadanej od 0 do 1.5, c) przebieg wielkości regulowanej po skokowej zmianie wartości zadanej jw.

Fig. 5. Bounds for the output signal applied in the PID controller of the INTELEKTRANS-S system:

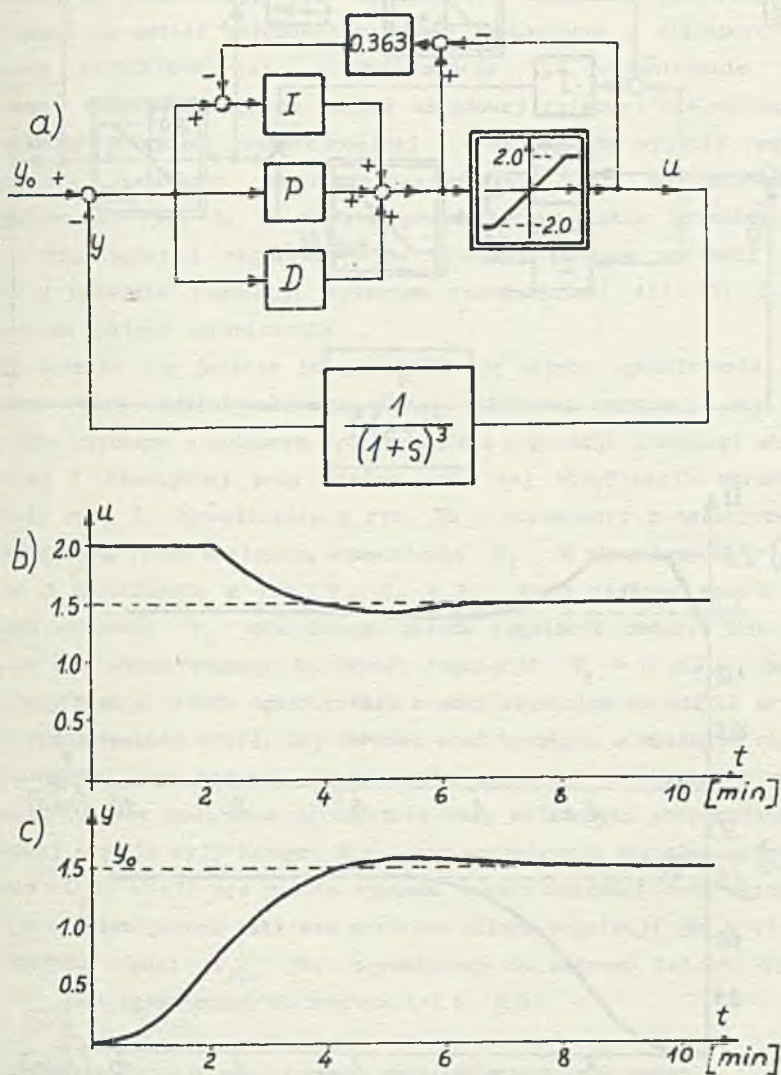
a) block diagram with the exemplary control plant, b) runs of the control variable after the step changes of the reference signal from 0 to 1.5, c) runs of the controlled variable after the step changes of the reference signal



Rys. 6. Ograniczenie sygnału wyjściowego stosowane w mikroprocesorowym regulatorze EFTRONIK-M:

a) schemat blokowy z przykładowym obiektem regulacji, b) przebieg wielkości sterującej po skokowej zmianie wartości zadanej od 0 do 1.5, c) przebieg wielkości regulowanej po skokowej zmianie wartości zadanej jw.

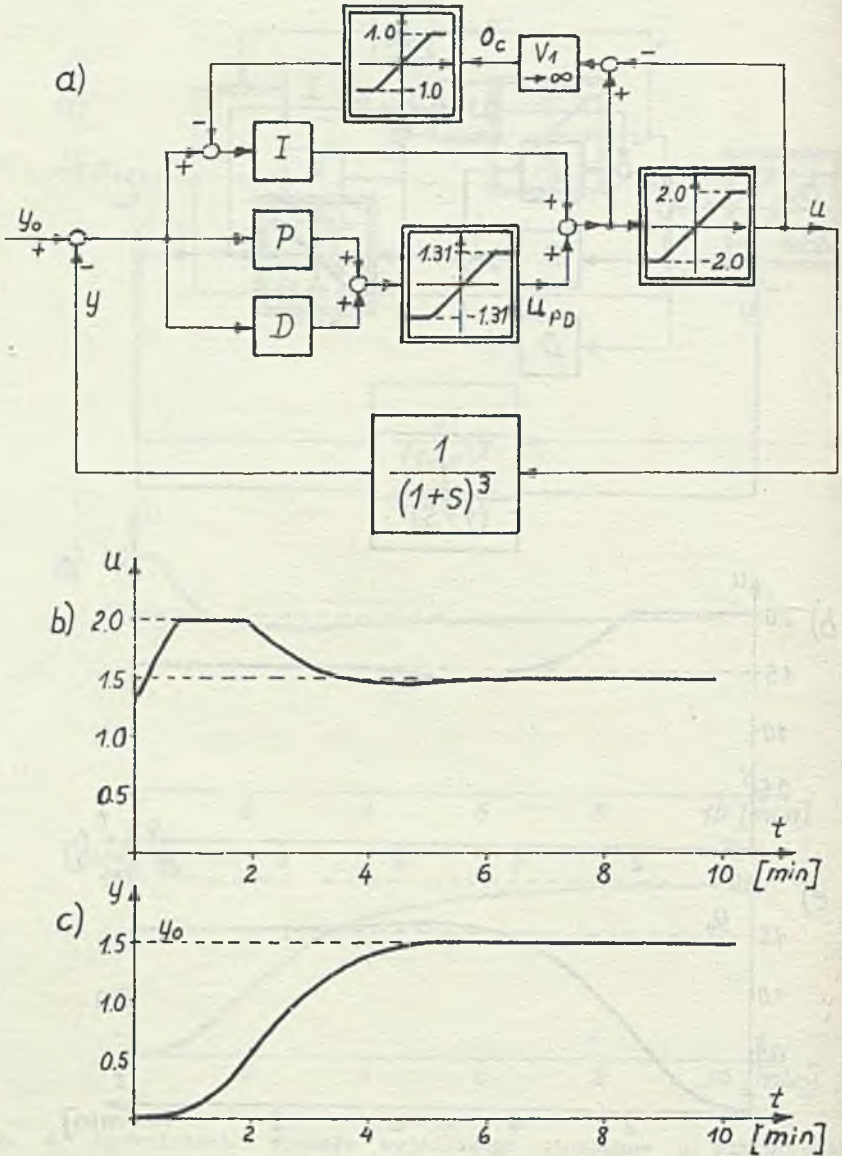
Fig. 6. Bounds for the output signal applied in the microprocessor based controller of the EFTRONIK-M system



Rys. 7. Ograniczenie sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowej wg [5]:

a) schemat blokowy z przykładowym obiektem regulacji, b) przebieg wielkości sterującej po skokowej zmianie wartości zadanej od 0 do 1.5, c) przebieg wielkości regulowanej po skokowej zmianie wartości zadanej jw.

Fig. 7. Bounds for the output signal by interfering on the integral part according to [5]



Rys. 8. Ograniczenie sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowej wg [7]:

a) schemat blokowy z przykładowym obiektem regulacji, b) przebieg wielkości sterującej po skokowej zmianie wartości zadanej od 0 do 1.5, c) przebieg wielkości regulowanej po skokowej zmianie wartości zadanej jw.

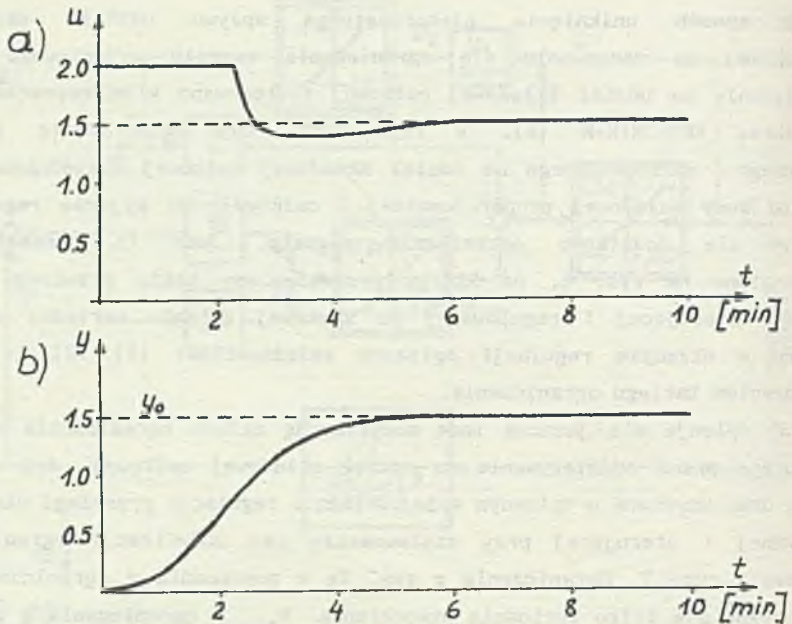
Fig. 8. Bounds for the output signal by interfering on the integral part according to [7]

Inny sposób uniknięcia niekorzystnego wpływu udziału składowej różniczkowej na zachowanie się ograniczenia sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowej zastosowano w mikroprocesorowym regulatorze EFTRONIK-M [6]. W regulatorze tym ograniczenie sygnału wyjściowego oddziałującego na udział składowej całkowej uzależnione jest tylko od sumy składowej proporcjonalnej i całkowej. Na wyjściu regulatora znajduje się dodatkowo ogranicznik sygnału. Jest to schematycznie przedstawione na rys. 6, na którym przedstawiono także przebiegi zmian wielkości sterującej i regulowanej po skokowej zmianie wartości zadanej uzyskane w układzie regulacji opisanym zależnościami (1) (2) i (3) z zastosowaniem takiego ograniczenia.

W [5] opisuje się jeszcze inną modyfikację układu ograniczenia sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udział składowej całkowej. Jej schemat blokowy oraz uzyskane w opisanym wyżej układzie regulacji przebiegi wielkości regulowanej i sterującej przy zastosowaniu tej modyfikacji ograniczenia przedstawia rys. 7. Ograniczenie z rys. 7a w porównaniu z ograniczeniem z rys. 1c różni się tylko wartością wzmocnienia V_1 . W ograniczeniu z rys. 1c $V_1 \rightarrow \infty$, a w układzie z rys. 7 $V_1 \approx 1$. Dość złożony sposób doboru optymalnej wartości V_1 dla danego układu regulacji podany jest w [5]. Konkretnie dla rozpatrywanego tu układu regulacji $V_1 = 0.363$. Inną dość złożoną modyfikację układu ograniczenia z oddziaływaniem na udział składowej całkowej przedstawiono w [7]. Jej schemat oraz uzyskane w układzie regulacji z zastosowaniem tego rodzaju ograniczenia przebiegi przedstawia rys. 8. Zastosowano tu więc dodatkowo ogranicznik sumy składowych proporcjonalnej i różniczkowej sygnału wyjściowego U_{PD} oraz ogranicznik sygnału ograniczenia całkowania O_c . W [7] nie podano sposobu doboru wartości tych ograniczeń. Rozpatruje się tam jednak taki sam przykład układu regulacji jak w [5] i dla tego przykładu sygnał U_{PD} jest ograniczony do zakresu $(-1.31, 1.31)$, a sygnał O_c jest ograniczany do zakresu $(-1.0, 1.0)$.

4. SPOSOBY REALIZACJI OGRANICZENIA SYGNAŁU WYJŚCIOWEGO PRZEZ ODDZIAŁYWANIE NA UDZIAŁY WSZYSTKICH SKŁADOWYCH TEGO SYGNAŁU

W układzie regulacji opisanym zależnościami (1) (2), (3) z zastosowaniem ograniczenia sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na wszystkie jego składowe (rys. 1d) po skokowej zmianie wartości zadanej otrzymuje się przebiegi sygnału sterującego i regulowanego przedstawione na rys. 9. Dobrano $V_2 = 10\ 000$. Należy zaznaczyć, że zmniejszenie wartości V_2 nawet do 1.0 nie zmienia w sposób istotny uzyskanych wyników.



Rys. 9. Przebieg w czasie a) wielkości sterującej, b) wielkości regulowanej w przykładowym układzie regulacji z zastosowaniem ograniczenia wg rys. 1d, p skokowej zmianie wartości zadanej od 0 do 1.5

Fig. 9. Runs of the control a) and controlled b) variables in the exemplar control system with constraints according to fig. 1d after the step change of the reference signal from 0 to 1.5

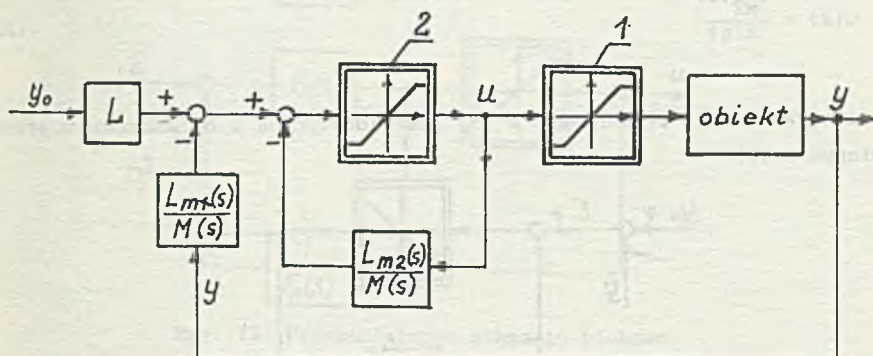
Niektóre spotykane w literaturze nowe rozwiązania ograniczenia sygnału wyjściowego są tylko innymi realizacjami ograniczenia sygnału wyjściowego przez oddziaływanie na udziały wszystkich składowych tego sygnału. W [8] przedstawia się układ regulacji modalnej z uwzględnieniem ograniczenia w urządzeniu wykonawczym i z ograniczeniem sygnału wyjściowego regulatora (rys. 10). Transmitancję regulatora PID przekształca się do postaci, którą można zapisać ogólnie jako

$$F_R(s) = \frac{L_R(s)}{M_R(s)} \quad (4)$$

Jeżeli regulator modalny ma odpowiadać w zakresie liniowym regulatorowi PID to musi zachodzić [8]:

$$L_{m1}(s) = L_R(s) = M(s) L \quad (5)$$

$$L_{m2}(s) = M_R(s) - M(s) \quad (6)$$



Rys. 10. Układ regulacji modalnej wg [8]:

1 - ogranicznik sygnału sterującego w urządzeniu wykonawczym, 2 - ogranicznik sygnału wyjściowego regulatora

Fig. 10. The system of model control according to [8]

1 - control signal limiter in the actuator, 2 - output signal limiter in the controller

Wstawiając (4) do (5) i (6) otrzymuje się dla $L = 1$

$$\frac{L_{m1}(s)}{M(s)} = 1 \quad (7)$$

$$\frac{L_{m2}(s)}{M(s)} = \frac{M_R(s) - M(s)}{M(s)} \quad (8)$$

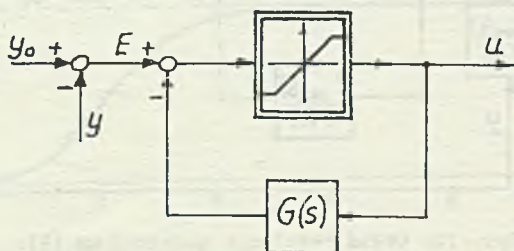
W [9] proponuje się nowe rozwiązanie ograniczenia sygnału wyjściowego regulatorów cyfrowych. Przy wyprowadzaniu odpowiednich zależności używa się tam transformacji Z. Tutaj dla łatwego porównania z rozwiązaniem poprzednim przyjmuje się regulator ciągły i transformację Laplace'a. Regulator wg [9] ma strukturę przedstawioną na rys. 11. Jeżeli w zakresie liniowym ma to być regulator PID o transmitancji (4) to musi zachodzić

$$G(s) = \frac{M_R(s) - L_R(s)}{L_R(s)} \quad (9)$$

Łatwo zauważyć, że

$$G(s) = \frac{L_{m2}(s)}{M(s)} \quad (10)$$

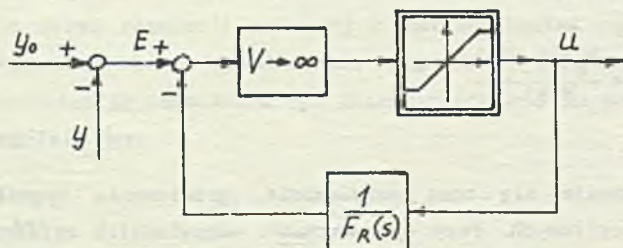
a więc ograniczenie proponowane w [9] jest identyczne z ograniczeniem przedstawionym w [8].



Rys. 11. Schemat ograniczenia sygnału wyjściowego regulatora PID wg [9]

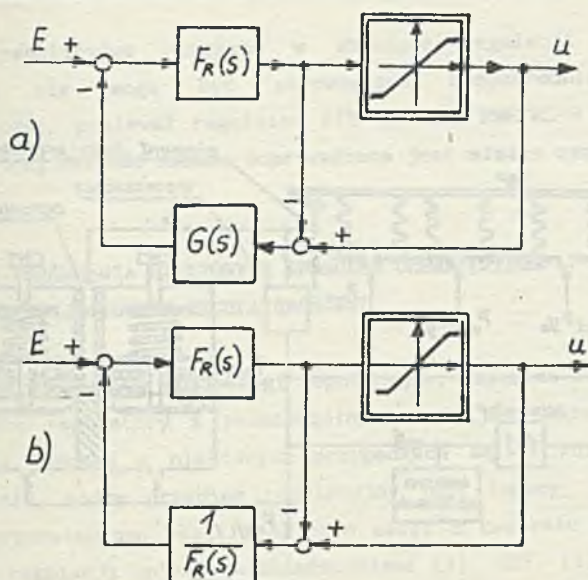
Fig. 11. The scheme of the output signal limiter in the PID controller according to [9]

W [10] opisuje się jeszcze inny sposób ograniczenia sygnału wyjściowego, który może być stosowany w regulatorach PID realizowanych jako wzmacniacze o bardzo dużym wzmocnieniu objęte ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Schemat tego ograniczenia przedstawiony jest na rys. 12.



Rys. 12. Schemat ograniczenia sygnału wyjściowego regulatora PID wg [10]

Fig. 12. The scheme of the output signal limiter in the PID controller according to [10]



Rys. 13. Przekształcone schematy blokowe:

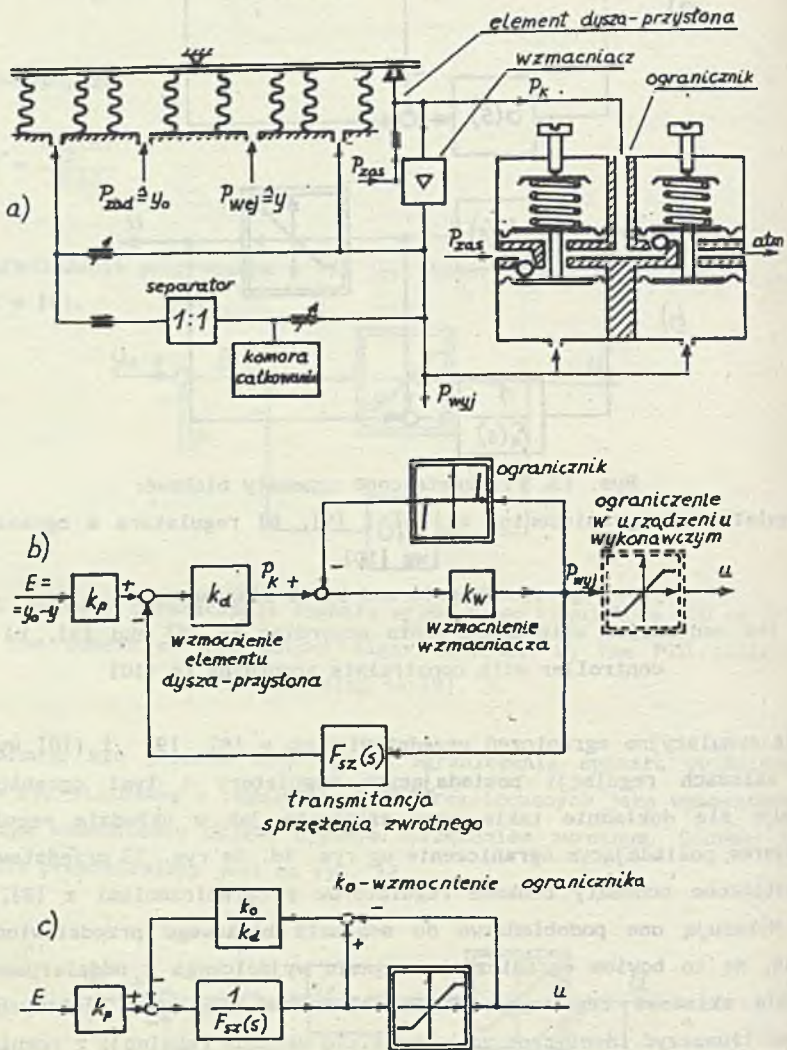
a) regulatora z ograniczeniem wg [8] i [9], b) regulatora z ograniczeniem wg [10]

Fig. 13. Transformed block diagrams:

a) of the controller with constraints according to [8] and [9], b) of the controller with constraints according to [10]

Badania symulacyjne ograniczeń przedstawionych w [8], [9] i [10] wykazały, że w układach regulacji posiadających regulatory z tymi ograniczeniami otrzymuje się dokładnie takie samo działanie jak w układzie regulacji z regulatorem posiadającym ograniczenie wg rys. 1d. Na rys. 13 przedstawione są przekształcone schematy blokowe regulatorów z ograniczeniami z [8], [9] i [10]. Wykazują one podobieństwo do schematu blokowego przedstawionego na rys. 1d, są to bowiem ograniczenia sygnału wyjściowego z oddziaływaniem na wszystkie składowe tego sygnału. Podobieństwem schematów blokowych można próbować tłumaczyć identyczne zachowanie się układów regulacji z regulatorami posiadającymi te ograniczenia.

Ograniczenie sygnału wyjściowego zastosowane w pneumatycznych regulatorach systemu PNEFAL-3 [1] jest także ograniczeniem z oddziaływaniem na wszystkie składowe tego sygnału. Schemat ideowy regulatora PI z ograniczeniem oraz schemat blokowy i przekształcony schemat blokowy przedstawiony jest na rys. 14. Przekształcony schemat blokowy odpowiada schematowi z rys. 1d.



Rys. 14. Ograniczenie sygnału wyjściowego stosowane w regulatorach pneumatycznych systemu PNEFAL-3

a) schemat ideowy, b) schemat blokowy, c) przekształcony schemat blokowy

Fig. 14. Constraints of the output signal used in the pneumatic control system PNEFAL-3

a) conceptual scheme, b) block scheme, c) transformed block scheme

Przebiegi regulacyjne uzyskane w układzie regulacji z tego rodzaju regulatorem nie mogą być porównywane bezpośrednio z poprzednio przedstawianymi, ponieważ regulator PID systemu PNEFAL-3 posiada strukturę PD-PI, w której wartość zadana doprowadzana jest między część PD i część PI.

5. PRÓBA PORÓWNIANIA NIEKTÓRYCH SPOSOBÓW OGRANICZENIA SYGNAŁU WYJŚCIOWEGO REGULATORÓW PID

Przedstawione powyżej przebiegi regulacyjne, uzyskane w układach regulacji posiadających regulatory z poszczególnymi rodzajami ograniczeń różnią się między sobą. Jednak w niektórych przypadkach są to różnice niewielkie i trudno ocenić, który przebieg regulacyjny jest lepszy, a który gorszy. W tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń całki z kwadratu odchyłki regulacji dla układu regulacji opisanego zależnościami (1), (2), (3) z regulatorem PID posiadającym omawiane rodzaje ograniczeń.

Tabela 1

Rodzaj ograniczenia	$\int E^2 dt$
bez żadnych ograniczeń (układ całkowicie liniowy)	2.28
wg [8], [9], [10] i wg rys. 1d	3.79
wg [5] (rys. 7)	3.79
zatrzymanie całkowania	3.87
jak w INTELEKTRANIE-S (rys. 5)	3.92
wg [7] (rys. 8)	4.04
jak w EFTRONIKU-M (rys. 6)	4.23
ograniczenie wg rys. 1c	14.68

Obliczenia przeprowadzono dla przedziału czasu (0, 15.0), po skokowej zmianie wartości zadanej w chwili 0. Należy tu jednak podkreślić, że na podstawie tabeli 1 nie można wyciągać żadnych jednoznacznych wniosków odnośnie do jakości poszczególnych rodzajów ograniczeń. Wyniki obliczeń przedstawionych w tabeli 1 mogą bowiem zmieniać się bardzo w zależności od:

- właściwości dynamicznych obiektu regulacji,
- nastaw regulatora,

- rodzaju zmiany wartości zadanej lub rodzaju i umiejscowienia zakłócenia działającego na obiekt,
- warunków początkowych w chwili zmiany wartości zadanej lub zmiany zakłócenia,
- kryterium dobroci regulacji.

Oprócz tego nawet tak bardzo niekorzystny rodzaj ograniczenia, tj. ograniczenie wg rys. 1c daje dużo lepsze rezultaty od przedstawionych na rys. 4, w przypadku regulatora posiadającego strukturę PD-PI z wartością zadaną doprowadzoną między część PD i część PI.

Ponadto im bardziej "łagodne" zmiany wartości zadanej lub zakłócenia, tym mniej różnią się między sobą przebiegi regulacyjne uzyskane przy zastosowaniu poszczególnych rodzajów ograniczenia. Ograniczenie wg [7] (rys.8) jest złożone i nie wiadomo jak dobrać poziomy ograniczeń w zastosowanych tak ogranicznikach. Również dość złożone jest ograniczenie stosowane w regulatorach systemu INTELEKTRAN-S. Natomiast proste schematowo ograniczenie wg [5] (rys.7) wymaga doboru wartości wzmocnienia V_1 w zależności o właściwości dynamicznych obiektu i nastaw regulatora. Ograniczenia zaproponowane w [8] i [9] można stosować praktycznie tylko w regulatorach cyfrowych, ze względu na stosowany w nich złożony sposób realizacji transmitancji regulatora. Z kolei ograniczenie przedstawione w [10] można łatwo zrealizować w regulatorach analogowych z wyjątkiem regulatorów posiadających strukturę równoległą. Ograniczenie wg rys. 1d można stosować zarówno dla regulatorów analogowych jak i regulatorów cyfrowych o różnych strukturach. Wybór określonego sposobu ograniczenia sygnału wyjściowego może być podyktowany jeszcze innymi względami. Jak widać w tabeli 1 ograniczenia użyte w mikroprocesorowym regulatorze EFTRONIK-M nie cechuje się najlepszymi właściwościami. Zastosowano je jednak w tym regulatorze, bowiem potrzebny dla tego ograniczenia fragment programu służący do zmian udziału składowej całkowitej w sygnale wyjściowym jest wykorzystywany także do realizacji bezuderzeniowych zmian rodzaju pracy i bezuderzeniowych zmian wzmocnienia regulatora. Należy jeszcze zwrócić uwagę na fakt, że przedstawione wyżej przebiegi regulacyjne w układach regulacji posiadających regulatory - poszczególnymi rodzajami ograniczeń, wyliczono dla przypadku idealnej realizacji tych regulatorów. W praktyce można więc otrzymać podobne przebiegi przy zastosowaniu regulatorów cyfrowych o odpowiednio szerokim zakresie przetwarzanych liczb i o okresie próbkowania bardzo małym, w porównaniu ze stałymi czasowymi obiektu. Natomiast w przypadku regulatorów analogowych, z powodu występujących w nich nasycień wzmacniaczy i dodatkowych inercji przebiegi regulacyjne mogą różnić się od powyżej przedstawionych. Należ

ponadto stwierdzić, że w artykule nie przedyskutowano dokładnie takich zagadnień jak struktury regulatora inne niż równoległa, czy zachowanie się obiektu i regulatora pod wpływem innych zakłóceń niż skokowa zmiana wartości zadanej.

LITERATURA

- [1] Holejko D., Lammel L., Niewczas W., Żelazny M.: Pneumatyczne urządzenia automatyki. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1980.
- [2] Holejko D., Niewczas W., Ograniczniki sygnału wyjściowego regulatorów pneumatycznych. Prace naukowe. Mechanika Nr 35. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1976.
- [3] Jabłoński P., Pietrusiński Z.: Układy nieliniowe w członach dynamicznych regulatorów elektrycznego systemu automatyki analogowej INTELEKTRAN. Prace VII Krajowej Konferencji Automatyki. Rzeszów 1977.
- [4] Kuźnik J.: O realizacji niektórych funkcji w mikroprocesorowym regulatorze EFTRONIK-M. Pomiar Automatyka Kontrola nr 3, 1989.
- [5] Noisser R.: Anti-Reset-Windup-Massnahmen bei Eingrößenregelungen. Automatisierungstechnik nr 1, 1987.
- [6] Czterokanałowy regulator mikroprocesorowy EFTRONIK-M. Algorytmy. DTR U484-03. MERA-PNEFAL, Warszawa 1987.
- [7] Glatfelder A.H., Schaufelberger W.: Zum Führungsverhalten von PID-ARW-Eingrößenkreisen. Automatisierungstechnik nr 11, 1987.
- [8] Wurmthaler Chr., Sauerwein R.: PID-Reglerstruktur zur Berücksichtigung von Stellsignalbegrenzungen. Automatisierungstechnik nr 9, 1986.
- [9] Noisser R.: Anti-Reset-Windup-Massnahmen für Eingrößenregelungen mit digitalen Reglern. Automatisierungstechnik nr 12, 1987.
- [10] Bühler H.: Anti-Reset-Windup-Massnahmen bei stetigen Reglern. Automatisierungstechnik nr 5, 1988.

Recenzet: Doc.dr hab.inż. Wiesław Niewczas

Wpłynęło do Redakcji 15.04.1989 r.

СПОСОБЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА В РЕГУЛЯТОРАХ ПИД

Р е з ю м е

В работе обоснована необходимость использования ограничения выходного сигнала в регуляторах ПИД. Представлены следующие виды выходного сигнала:

- ограничитель выходного сигнала,
- останов интегрирования,
- ограничение выходного сигнала воздействием на присутствие интегральной составляющей в этом сигнале,
- ограничение выходного сигнала воздействием на присутствие всех составляющих в этом сигнале.

Описаны примеры практической реализации этих способов ограничения. Для каждого из них даны вычисленные на цифровой вычислительной машине, служащие примером, процесса регуляции полученного в системе регуляции, содержащей регулятор с соответственным ограничением. Доказано, что некоторые встречаемые в литературе новые решения ограничения выходного сигнала надо причислить к четвёртому из представленных видов ограничений. Представлена попытка сравнения некоторых методов регуляции ограничения выходного сигнала.

SOME METHODS OF CONSTRAINING THE PID CONTROLLER OUTPUT

S u m m a r y

In the paper the need of applying the constraints of output signal in PID controllers is justified. The following various kinds of constraints of controller output signal are presented:

- output signal limiter,
- integral stopping,
- output signal constraints by interfering only on the integral part in this signal only,
- output signal constraints by interfering on all parts of this signal.

Some practical examples of the realization of the output signal constraints are described. For each realization, examples of time signal computed by computer and obtained in the closed-loop system using controller with a

appropriate constraint are given. It is proved, that certain new results given in the literature should be include into the fourth category listed above. A comparison between different techniques for controller output signal constraints is presented.