ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 90 Automatyka z.4 1963

ADAM BUKOWY

Katedra Teorii Regulacji

OPTYMALIZACJA PROGRAMÓW MASZYN CYFROWYCH STERUJĄCYCH PRZEMYSŁOWYMI PROCESAMI TECHNOLOGICZNYMI

Streszczenie. Maszyna cyfrowa sterująca procesem technologicznym pobiera cyklicznie informacje z układu i na ich podstawie wypracowuje rozkazy sterujące.

Pojawianie się w układzie zaburzeń powoduje powstanie strat ekonomicznych, których zmniejszenie, czy zlikwidowanie może nastąpić dopiero w następnym kroku pracy maszyny.

Niniejsza praca stanowi próbę takiego doboru częstości pobierania informacji z odpowiednich punktów układu, przy których oczekiwane straty ekonomiczne na skutek zaburzeń zewnętrznych będą minimalne.

Dobór częstości pobierania informacji został przeprowadzony w oparciu o tak zwany algorytm transportowy. Podane jest rozszerzenie tej metody na minimalizację strat informacji w przypadku kiedy przepustowość kanałów informacyjnych jest nie wystarczająca.

Praca maszyny cyfrowej w układzie automatyki polega na przyjmowaniu danych o stanie układu, wyliczaniu i generacji sygnałów wejściowych oraz na zapewnieniu bezpieczeństwa w przypadku zaistnienia stanu awaryjnego.

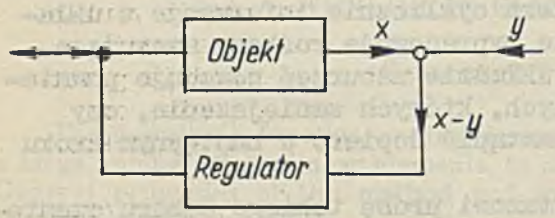
Zagadnienia te są związane z programowaniem pracy maszyny. Skuteczność zastosowania maszyny w systemie automatycznej regulacji zależy w pierwszym rzędzie od struktury programów. Praca niniejsza stanowi próbę ich analizy i optymalizacji pod względem zapewnienia minimum strat w stanie awaryjnym oraz zapewnienia minimum strat informacji przy gromadzeniu danych.

1. Pojęcia podstawowe - typy programów maszyny liczącej pracującej w systemie regulacji automatycznej

W układach automatyki rozróżnia się:

a) automatykę obiektu pojedynczego, na przykład regulację napięcia, obrotów, poziomu itp.,

b) automatykę kompleksową np. automatyczny ruch elektrowni cieplnej. W tym przypadku poszczególne wielkości i sygnały prostych obwodów regulacji powiązane są ze sobą procesem technologicznym.



Rys.1. Schemat blokowy układu regulacji jednego parametru

Pojęcie "a" i "b" zilustrowane są na rysunkach 1 i 2. Działanie prostego układu regulacji polega na stałym porównywaniu sygnałów y i x oraz utrzymaniu możliwie najmniejszej różnicy x-y. Działanie układu kompleksowego, w którym zastosowano maszynę liczącą jest o wiele bardziej skomplikowane i polega na:

Program główny

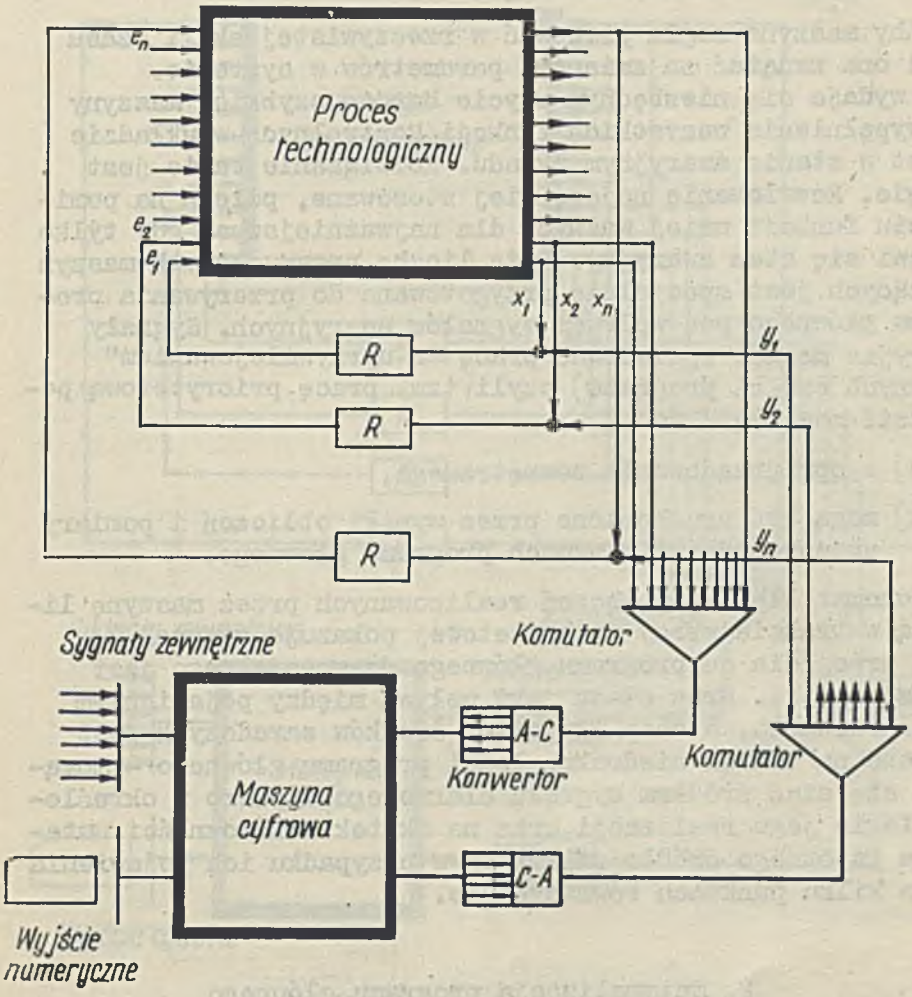
a) Pomiarze wszystkich parametrów procesu technologicznego,

b) weryfikacji pomiarów,

c) wyliczeniu takich wartości parametrów utrzymywanych przez układy proste, dla których proces technologiczny przebiega optymalnie pod względem ekonomicznym,

d) zmianie wartości zadanych prostych układów regulacji zgodnie z wynikami obliczeń,

e) wypełnieniu funkcji statystycznych: obliczeniu ostatniej produkcji, jej kosztów, aktualnych stałych dla systemu (autokorekcja) itd.



Rys.2. Schemat blokowy układu regulacji kompleksowej

Programy specjalne:

a) sygnalizowaniu większych zmian w systemie,

b) aplikowaniu z góry ustalonych środków zaradczych w przypadku pracy awaryjnej,

c) zapewnieniu automatycznego rozruchu i zatrzymania procesu technologicznego.

Aby maszyna mogła pracować w rzeczywistej skali czasu musi ona nadążać za zmianami parametrów w systemie. Nie wydaje się niezbędnym użycie bardzo szybkiej maszyny do wypełnienia wszystkich funkcji kontrolnych w układzie nawet w stanie awaryjnym układu. Rozwiązanie takie jest drogie. Rozwiązanie najczęściej stosowane, polega na pominięciu funkcji mniej ważnych dla najważniejszych gdy tylko pojawi się stan awaryjny. Duża liczba przemysłowych maszyn liczących jest specjalnie przygotowana do przerywania programu głównego pod wpływem sygnałów awaryjnych. Sygnały awaryjne mogące spowodować pracę "z uprzywilejowaniem" (pewnych części programu) czyli tzw. pracę priorytetową pochodzić mogą bądź to

a) z oprzyrządowania zewnętrznego,

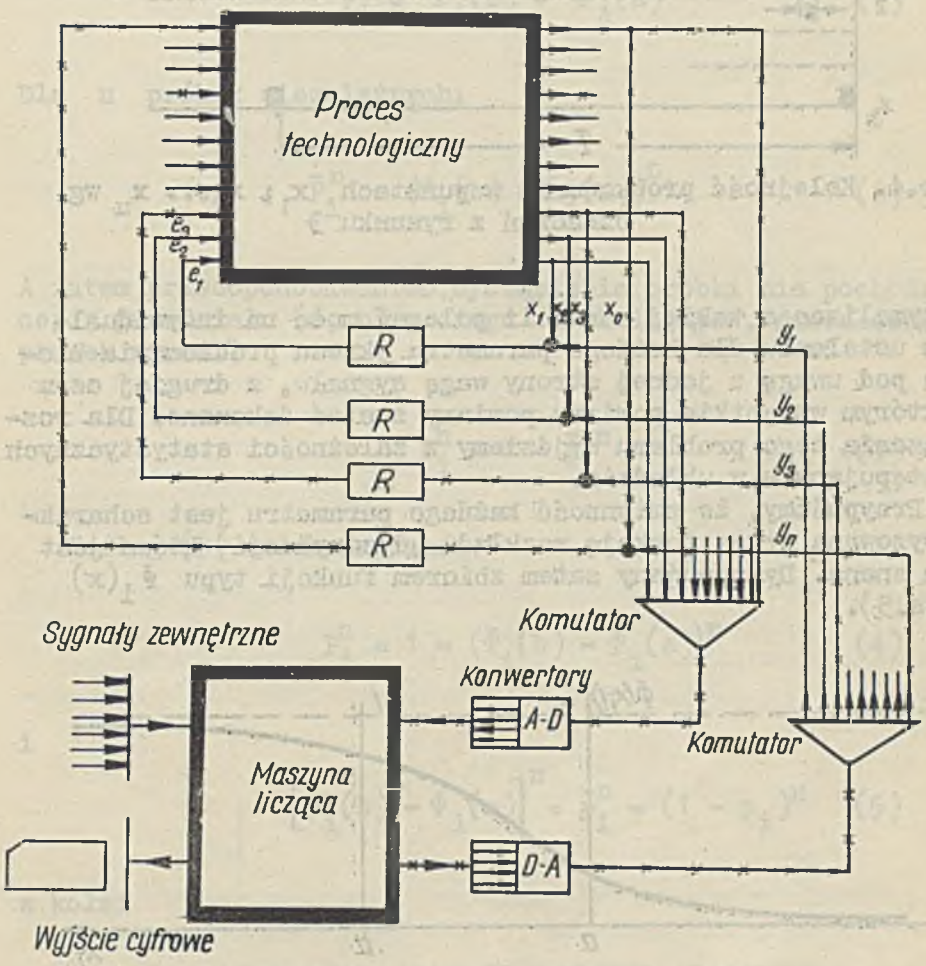
b) mogą być uruchomione przez wyniki obliczeń i pomiary przeprowadzane w ramach programu głównego.

Schemat blokowy połączeń realizowanych przez maszynę liczącą w trakcie pracy priorytetowej pokazuje rysunek 3. Czas przejścia od programu głównego do specjalnego jest bardzo krótki. Gros czasu jaki upływa między pojawieniem się zaburzenia, a zaaplikowaniem środków zaradczych jest tracone na skutek niedoskonałości programu głównego - mogącego się stać źródłem sygnału alarmowego dopiero w określonej fazie jego realizacji oraz na skutek konieczności ustalenia istotnego źródła zabuerzeń w przypadku ich pojawienia się w kilku punktach równocześnie.

2. Optymalizacja programu głównego z punktu widzenia strat awaryjnych

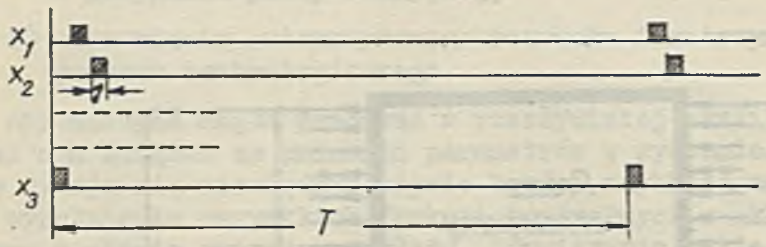
2.1. Przebieg normalny. Prawdopodobieństwo wystąpienia awaryjnego zaburzenia w jednym z punktów.

W dużym, wieloparametrowym systemie regulacji, maszyna jest przeciążona stale wykonywaną kontrolą parametrów.



Rys.3. Działanie programu głównego ———
Działanie programu specjalnego — · — · —

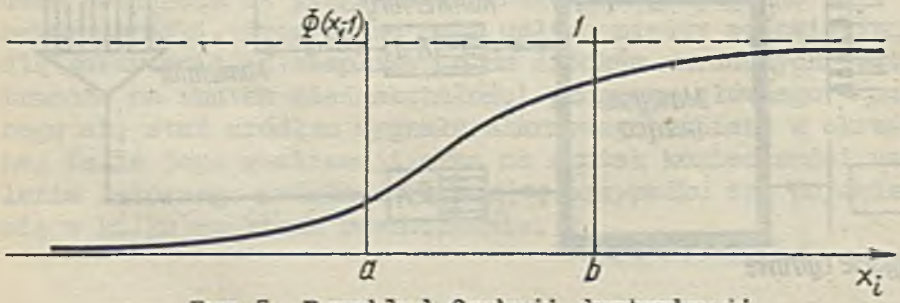
Kontrola ta nosi charakter próbkowania. Pomiędzy dwoma kolejnymi pomiarami jakiegoś parametru upływa pewien czas wykorzystywane dla kontroli w pozostałych punktach układu.



Rys.4. Kolejność próbkowania w punktach x_1; $x_2 \ldots x_u$ wg oznaczeń z rysunku 3

Optymalizacja takiej kontroli polegać może na indywidualnym ustaleniu dla każdego parametru okresu próbkowania biorąc pod uwagę z jednej strony wagę sygnału, z drugiej czas w którym wszystkie pomiary powinny zostać dokonane. Dla rozwiązania tego problemu wyjdziemy z zależności statystycznych występujących w układzie.

Przypuśćmy, że zmienność każdego parametru jest scharakteryzowana przez funkcję rozkładu (dystrybucji) która jest nam znana. Dysponujemy zatem zbiorem funkcji typu $\Phi_i(x)$ (rys.5).



Rys.5. Przykład funkcji dystrybucji

Przypuśćmy, że pomiary są dokonywane kolejno, we wszystkich punktach układu, których jest n.
Pomiar tego samego parametru może się więc odbywać co najwyżej z okresem $t = n\tau$, gdzie τ czas pomiaru łącznie z elementarnymi operacjami odnośnie jednego parametru.

Można zapytać się, jakie będzie prawdopodobieństwo, że n kolejnych próbek będzie posiadało wartości z przedziału (a, b).
Prawdopodobieństwo, że pierwsza próbka pochodzi z przedziału (a, b) wynosi

$$\bar{p}_i = \Phi_i(b) - \Phi_i(a) \qquad (1)$$

Dla n próbek niezależnych:

$$\bar{p}_i^n = (\Phi_i(b) - \Phi_i(a))^n \qquad (2)$$

A zatem prawdopodobieństwo wystąpienia próbki nie pochodzącej z przedziału (a, b) w ciągu n kolejnych, niezależnych próbek wynosi:

$$p_i^n = 1 - \bar{p}_i^n \qquad (3)$$

Według (3) można napisać

$$p_i^n = 1 - (\Phi_i(b) - \Phi_i(a))^n \qquad (4)$$

i

$$\left[\Phi_i(b) - \Phi_i(a)\right]^n = \bar{p}_i^n = (1 - p_i)^n \qquad (5)$$

z kolei

$$1 - \left[\Phi_i(b) - \Phi_i(a)\right]^n = 1 - (1 - p_i)^n \qquad (6)$$

Rozwijając dwumian (6) na szereg otrzymamy

$$1 - \left[\Phi_i(b) - \Phi_i(a)\right]^n = 1 - 1 + \binom{n}{1} p_i - \binom{n}{2} p_i^2 + \ldots \qquad (7)$$

Dla większości procesów technologicznych, granice pracy normalnej, oznaczone przez a i b są wystarczająco szerokie, aby prawdopodobieństwo stanu awaryjnego (x_i nie należącego do (a,b)) było stosunkowo małe, to znaczy

$$p_i \ll 1$$

Według (7) napiszemy

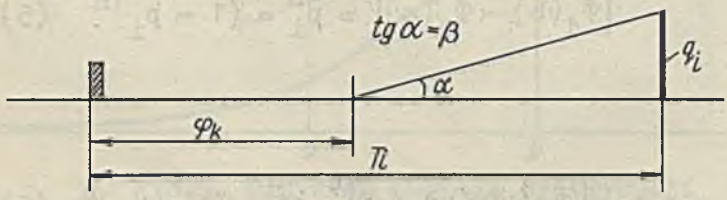
$$1 - \left(\Phi_i(b) - \Phi_i(a)\right)^n \approx \binom{n}{1} p_i = np_i$$

Wniosek. Prawdopodobieństwo wystąpienia stanu awaryjnego rośnie liniowo z liczbą próbek wykonanych (przy stałym okresie ich wykonywania)

2.2. Równania "ekonomiczności" układu

Załóżmy okres realizacji programu głównego równy T. W tym czasie można dokonać R pomiarów w równych odstępach czasu, wynoszących $n\tau$.

Parametr x_i opuszczając strefę normalnej pracy (a,b) powoduje wystąpienie stanu awaryjnego, którego skutki ekonomiczne są tym większe, im dłużej parametr ten pozostawał na zewnątrz przedziału pracy normalnej. Można je przedstawić przez funkcję liniowo rosnącą w czasie - tak jak to pokazano na rys.6.



Rys.6. Stan awaryjny występujący w momencie φ_k oraz straty ekonomiczne które wywołuje $(q_i)^k$

Zakładając, że

1) prawdopodobieństwo P_i jest stałe, niezależne od czasu w którym wykonujemy próbkowanie,

2) moment rozpoczęcia się stanu awaryjnego jest φ_k

mamy stratę ekonomiczną wynikającą z nie natychmiastowego wykrycia awarii równą

$$a_i = \beta_i (T_i - \varphi_k) \qquad \text{gdzie } \beta_i \text{ - współczynnik strat.}$$

Stąd straty całkowite w czasie całego okresu mogą być przedstawione jako

$$Q_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} \beta_i (T_i - \varphi_k) p_i$$

lub w formie całkowej

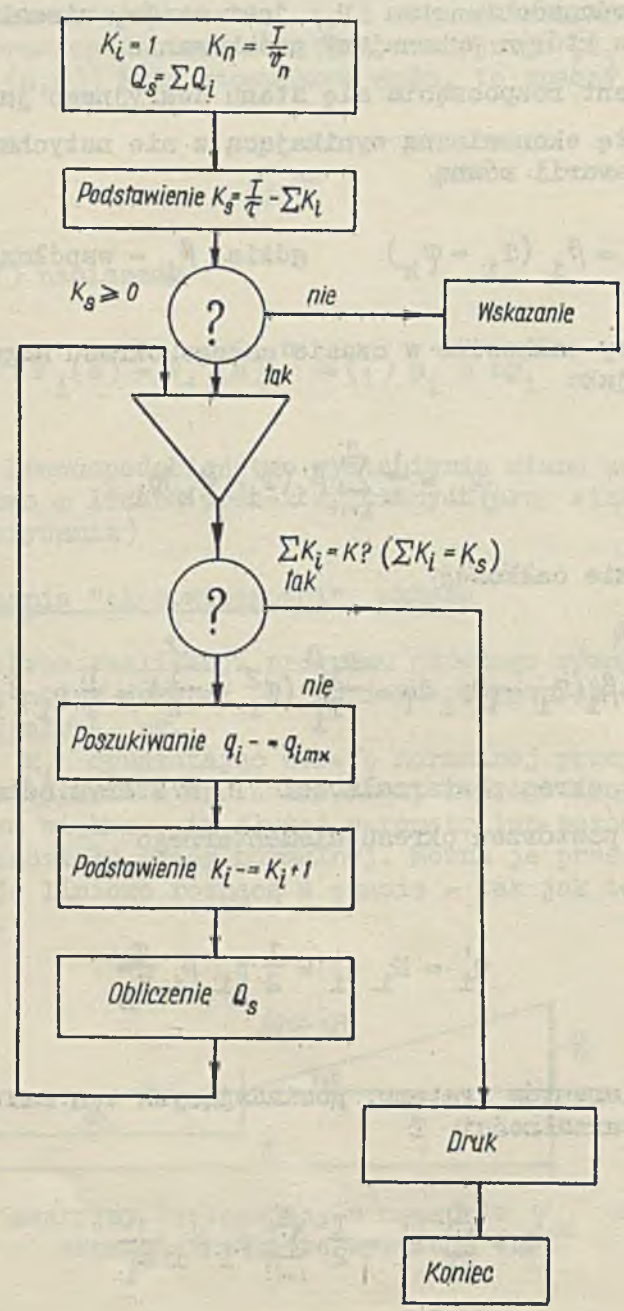
$$Q_i = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} \beta_i (T_i - \varphi) p_i \, d\varphi = \frac{p_i \beta}{T_i} \left(T_i^2 - \frac{T_i^2}{2}\right) = \frac{1}{2} p_i \beta_i T_i$$

Przyjmując okres powtarzalności T w którym odnajdujemy $K_i = \frac{T}{T_i}$ powtórzeń okresu elementarnego

$$Q_i' = K_i Q_i' = \frac{1}{2} p_i \beta_i \frac{T}{K_i}$$

Dla N elementów systemu, posiadających ten sam wspólny okres powtarzalności T

$$Q = \sum_{i=1}^{N} Q_i' = \frac{T}{2} \sum_{i=1}^{N} p_i \beta_i \frac{1}{k_i}$$



Rys.7. Schemat strukturalny poszukiwania optimum

2.3. Ograniczenie i optymalizacja pracy

Długość okresu T jest uwarunkowana ilością kanałów, którymi dysponujemy w urządzeniu centralnej rejestracji oraz czasem wykonywania elementarnej operacji nad jednym sygnałem.

W okresie T może być ponadto zawarty czas wykonywania obliczeń ekonomicznych. Ponadto często występuje przypadek, w którym część parametrów musi być mierzona ze stałym okresem, co narzuca warunki dodatkowe:

Samą optymalizację, tj. sprowadzenie Q do minimum można przeprowadzić posługując się odmianą "algorytmu transportowego" gdyż

1) Q jest liniową formą współczynników $\frac{1}{k_i}$,

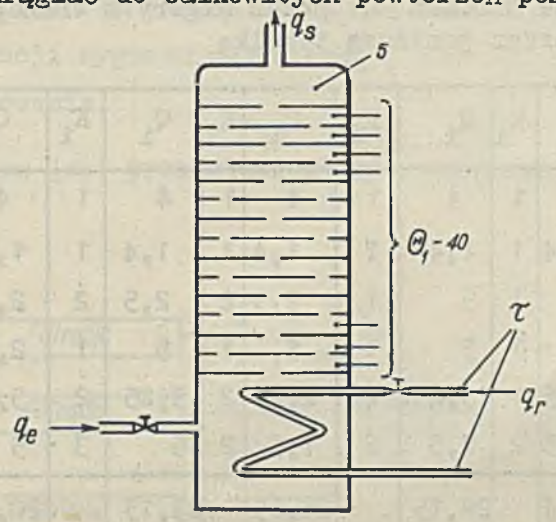
2) jest zadane przez okres powtarzalności T.

Rozwiązanie bezpośrednie.

Schemat blokowy (organigram) operacji wykonywanych przez minimalizacji jest przedstawiony na rysunku 7.

Rozwiązanie ogólne:

Jeśli postawić liczne warunki dodatkowe, uniemożliwiające bezpośrednie zastosowanie algorytmu transportowego, problem może być rozwiązany przez użycie algorytmów programowania liniowego. Niestety wyniki tego postępowania mogą wyrażać się przy pomocy liczb ułamkowych, które dopiero trzeba zaokrąglać do całkowitych powtórzeń pomiarów.



Rys.8. Przykład obiektu technologicznego i pomiarów na nim wykonywanych

2.4. Przykład optymalizacji:

Chcemy przeprowadzić optymalizację programu według którego prowadzony jest ruch wielopółkowej kolumny destylacyjnej. Mierzy się:

1) 40 temperatur branych w różnych punktach kolumny
2) ciśnienie s
3) przepływ q_e
4) przepływ q_s
5) przepływ pary ogrzewczej q_v
6) temperaturę pary na wejściu i wyjściu kolumny

a) Dla wszystkich 40 temperatur można ustalić $\beta_Q = 1$ $p_o = 10^{-2}$/min
b) dla ciśnienia S $\beta_s = 7$ $p_s = 2.10^{-2}$/min
c) dla przepływu na wejściu $\beta_{qe} = 10$ $p_{qe} = 5.10^{-2}$/min
d) dla przepływu na wyjściu $\beta_{qs} = 10$ $p_{qs} = 5.10^{-2}$/min
e) dla różnicy temperatur $\beta_i = 15$ $p = 7.10^{-2}$/min
f) dla przepływu pary $\beta_{qv} = 15$ $p_{qv} = 10^{-1}$/min

Dysponujemy komutatorem o 50 kanałach i stosunkowo wolnej pracy: 200 m/sek na jedno przekształcenie.

Poszukiwanie minimum Q przez algorytm transportowy jest zilustrowane przez poniższą tabelkę

	Q_i	K_i	Q_i	K_i	Q_i	K_i	Q_i	K_i	Q_i	K_i	Q_i	K_i
a	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1
b	1,4	1	1,4	1	1,4	1	1,4	1	1,4	1	1,4	1
c	5	1	5	1	5	1	2,5	2	2,5	2	2,5	2
d	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	2,5	2
e	10,5	1	10,5	1	5,25	2	2,25	2	5,25	2	5,25	2
f	15	1	7,5	2	7,5	2	7,5	2	5	3	5	3
Q	40,8		33,4		28,15		25,65		23,15		20,15	
K_i		45		46		47		48		49		50

Rezultaty końcowe są następujące

$$K_a = 1 \quad K_b = 1 \quad K_c = 2 \quad K_d = 2 \quad K_e = 2 \quad K_f = 3$$

Optymalny rozkład powtórzeń nie zmieni się po dodaniu stałego czasu obliczeń ekonomicznych. Przypuśćmy, że wynosi on 20 sek. Wtedy optymalny cykl pracy będzie polegał na przerwaniu obliczeń ekonomicznych w celu zbadania sygnałów w punktach b, c, d, e, f.

3. Optymalizacja programu głównego z punktu widzenia strat informacji przy dokonywanych pomiarach

Poprzednio rozpatrywaliśmy optymalizację programu głównego z punktu widzenia ewentualnych strat w stanie awaryjnym.

Oczywiste jest, że optymalizacja pod względem dokonywanych pomiarów będzie się wiązała z błędami popełnianymi przez pomiar wielkości ciągłej w sposób nieciągły.

Proces pomiarowy składa się z dwu faz:

a) filtracji sygnału wejściowego,

b) próbkowania.

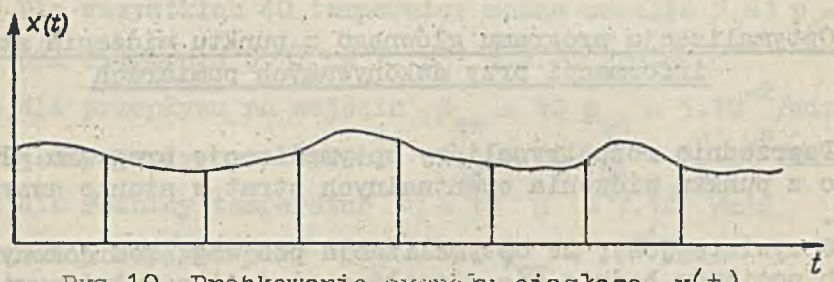
Proces ten jest przedstawiony na rysunku 9.

Rys.9. Ogólny schemat układu pomiarów cyfrowych

Nie zawsze jest możliwe przeprowadzenie pomiarów z częstością bardzo dużą: dla niektórych typów maszyn liczących (np. z bębnami magnetycznymi)[x] czas wprowadzenia pomiarów jest stosunkowo duży. Jest więc dosyć rozsądnym analizować pomiary z punktu widzenia statystycznego i dobrać częstości próbkowania indywidualnie dla każdego sygnału, pamiętając równocześnie o ograniczeniach narzucanych przez graniczną, możliwą do uzyskania częstość próbkowania i przyjmowania informacji.

3.1. Próbkowanie a straty informacji

Niech x(t) będzie sygnałem ciągłym, poddawanym próbkowaniu. Twierdzenie o próbkowaniu Shannona pokazuje, że można

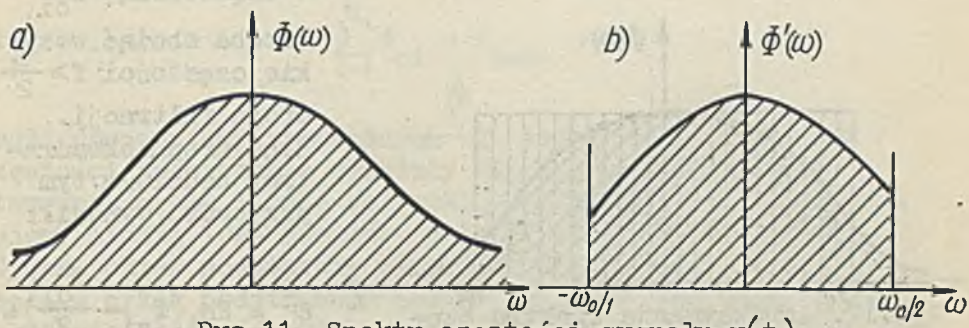


Rys.10. Próbkowanie sygnału ciągłego x(t)

odtworzyć sygnał x(t) na podstawie sygnału x(T) wtedy i tylko wtedy, gdy najważniejsza częstość zawarta w sygnale x(t) jest dwukrotnie mniejsza od gęstości próbkowania. Widmo sygnału x(t) przed i po próbkowaniu oraz odtworzeniu jest przestawione na rysunku 11.
Można wyrazić błąd średniokwadratowy takiego pomiaru przez związek

$$\overline{\varepsilon^2} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\Phi(\omega) - \Phi'(\omega) \right] d\omega$$

x) Autor ma na myśli maszyny uniwersalne. Cyfrowe analizatory różniczkowe są z reguły szybsze od maszyn uniwersalnych mimo użycia w nich pamięci bębnowej i mogą znaleźć zastosowanie do automatyzacji procesów przemysłowych (dop. red.).



Rys.11. Spektr częstości sygnału x(t)

a) przed próbkowaniem, b) po próbkowaniu i reprodukcji

Filtracja

Z punktu widzenia próbkowania i odtwarzania sygnału, najbardziej skuteczny jest filtr obcinający wszystkie częstości

$$f > \frac{f_o}{2} \quad \text{gdzie} \quad f_o \quad \text{częstość próbkowania.}$$

Po takim filtrowaniu sygnał może być przekształcony na sygnał dyskretny i z powrotem odtworzony w postaci ciągłej już bez dodatkowych strat informacji.

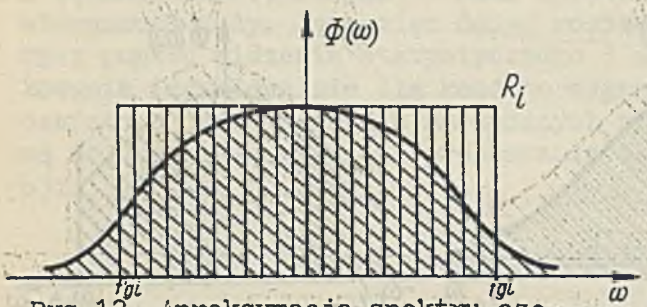
Zatem jedyną operacją odpowiedzialną za straty informacji jest filtracja. Błąd średniokwadratowy sygnału wyrazi się więc wzorem

$$\varepsilon^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\omega)\, d\omega - \int_{-\omega_o}^{\omega_o} \Phi(\omega)\, d\omega = 2\int_{\omega_o}^{\infty} \Phi(\omega)\, d\omega$$

3.2. Zasadnicze parametry sygnału

Każdy sygnał może być przedstawiony w postaci widma częstości. Przypuśćmy ponadto, że widmo takie może być aproksymowane do prostokąta o szerokości $2f_{gi}$ (rys.12).

Parametry h_i oraz f_{gi} odpowiadają wysokości i częstości granicznej widma. Jeśli ponadto próbkowanie ma się odbyć z częstością f_{oi} trzeba obciąć wszystkie częstości $f > \frac{f_{oi}}{2}$ drogą filtracji. Błąd średniokwadratowy będzie w tym przypadku wynosił:



Rys.12. Aproksymacja spektru częstości przez prostokąt

$$\overline{\varepsilon^2} = 2h_i\left(f_{gi} - \frac{f_{oi}}{2}\right) = h_i(2f_{gi} - f_{oi})$$

Ponadto jeśli wagę tego błędu określić współczynnikiem a_i błąd daje się przedstawić przy pomocy zależności:

$$e_i = h_i\, a_i\, (2\, f_{gi} - f_{oi})$$

3.3. Optymalizacja programu pomiarów

Oczywiste jest, że dąży się do najmniejszego błędu globalnego w układzie. Błąd, a raczej wielkość reprezentująca straty informacji, wzięta dla całego układu wynosi:

$$E = \sum_{i=1}^{N} e_i = \sum_{i=1}^{N} n_i a_i\, (2f_{gi} - f_{oi})$$

Optymalizacja procesu pomiarowego polegać więc będzie na minimalizacji wielkości E.

Ograniczenia

Częstość próbkowania jest ograniczona przez maksymalną szybkość komutacji oraz ilość przetwarzanych sagnałów.

Warunek ogólny można zatem zapisać jako:

$$\sum_{i=1}^{N} f_{oi} = f_{conv}$$

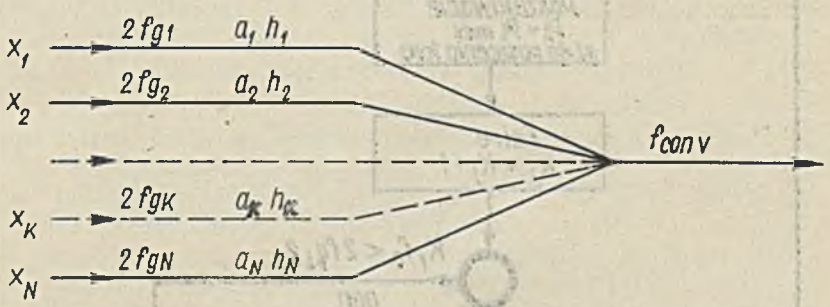
Jeśli dysponujemy komutatorem M kanałowym, trzeba aby częstości próbkowania wyrażały się iloczynem okresu podstawowego przez liczbę całkowitą. Jeśli na przykład dysponujemy liczbą 1024 kanałów, a szybkość komutacji wynosi 50/sek, okres podstawowy wynosi 20,5 sek, więc jeśli w cyklu podstawowym pewien parametr powtarza się kilkakrotnie częstość próbkowania dla tego parametru wyniesie:

$$f = k\ 0{,}051$$

Rozwiązanie: Ten typ problemu odpowiada ściśle problemowi transportowemu.

f_{gi} - jest parametrem nasycenia toru (przepustowością),

f_{conv} - jest przepustowością toru-kolektora jest ceną transportu, sieć przedstawiona jest na rysunku 13.



Rys.13. Schemat sieci transportowej, która odpowiada pod względem struktury układowi przetwarzania informacji

Algorytm rozwiązujący ten problem jest następujący:
Nazywamy:

tor nasycony - tor w którym $K_i f_{oi} \geqslant 2f_{gi}$,

tor nienasycony " " $K_i f_{oi} < f_{gi}$,

koszt jednostkowy dla toru i: $a_i h_i = p_i$,

koszt globalny dla toru i: $g_i = p_i (2f_{gi} - K_i f_o)$

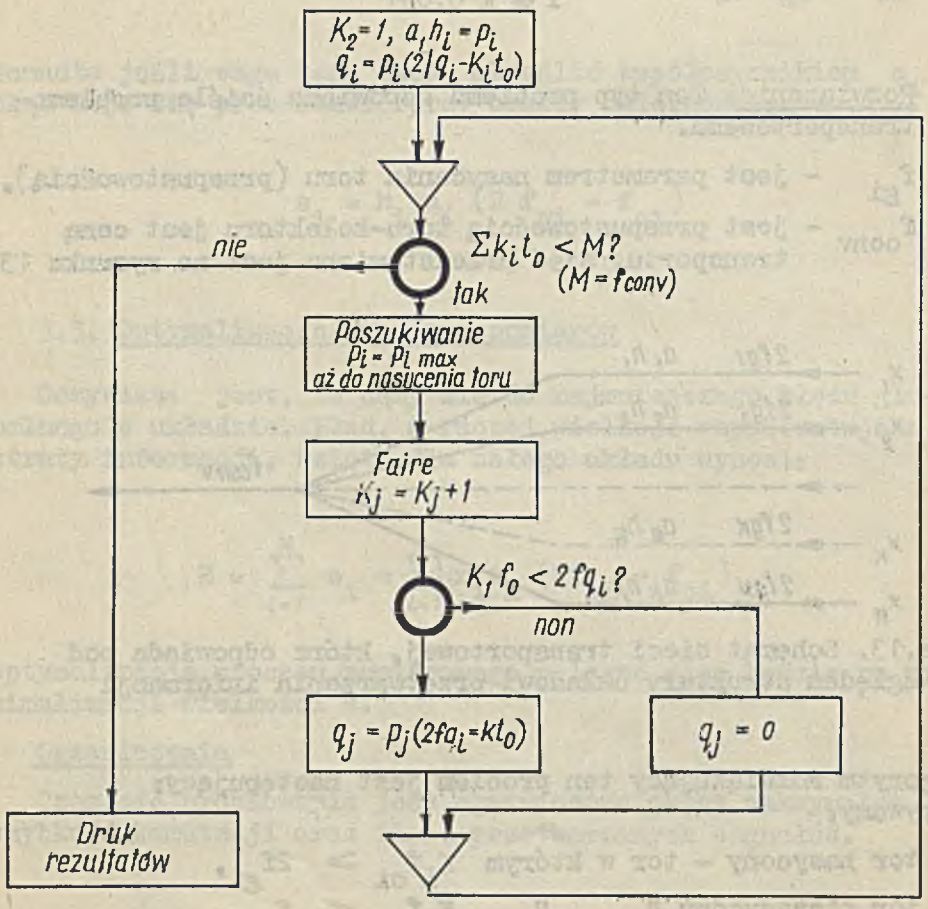
1) Wychodzimy z warunku $K_i = 1$ i sprawdzamy warunek nasycenia kolektora,

2) Jeśli $\sum k_i f_o < f_{conv}$ szukamy $q_i = q_{i\,max}$ i kładziemy $K_j = K_j + 1$

Jeśli tor się nasyci, kładziemy $q_j = 0$

3) Sprawdzamy warunek nasycenia kolektora i podejmujemy operację 2.

Schemat blokowy wykonywanych operacji jest następujący: (rys.14).



Rys.14. Schemat strukturalny poszukiwania optimum

Przykład:

Ilość parametrów mierzonych $N = 45$

Ilość kanałów w komutatorze $C = 50$

$f_o = 100$ - częstość powtarzania.

$f_{g1}, f_{g2} \ldots f_{g40} = 1{,}5$	$h_{1 \ldots 40} = 10$	$a_{1 \ldots 40} = 1$
$f_{g41} = 3$	$h_{41} = 4$	$a_{41} = 0{,}5$
$f_{g42} = 2{,}5$	$h_{42} = 12$	$a_{42} = 2$
$f_{g43} = 5$	$h_{43} = 7$	$a_{43} = 6$
$f_{g44} = 4$	$h_{44} = 5$	$a_{44} = 3$
$f_{g45} = 3{,}5$	$h_{45} = 8$	$a_{45} = 0{,}6$

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГРАММ ЦИФРОВЫХ ВИЧИСЛИТЕЛЬНИХ МАШИН УПРАВЛЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Содержание

Цифровая вычисительная машина для управления технологических процессов получает циклически информацию из обьекта регулирования, на основе которой вырабатывает управляющие комаиды. Проявление возмущений вызывает экономические потери, устранение или уменьшение которых, может быт достигнуто только во время следующего цикла коммутации.

Эта статия представляет собой попытку таково подбора частоты коммутации, при которой ожиданные экономические потери вследствие внешных возмущений будут минимальными. Выбор частоты коммутации производится, с помощию транспортного алторитма..

Дано расширение этого метода на проблемму минимизации потери информации в случае когда пропускная способность информационных каналов не достаточна.

OPTIMISING OF PROGRAMS FOR DATA PROCESSING SYSTEMS

Summary

Perturbances arising in a controlled system cause economical losses which can be reduced only during the next cycle of scanning. The author tries to find such a frequency of scanning at which the economical losses would be a minimum. The selection of the scanning frequency is made on the base of a so called „transport algorythm". An extension of the method to a case at which the transfers of the information channels are not sufficient is also given in the paper.