

Stanisław CIERPISZ

Katedra Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa
Politechniki Śląskiej

OPTIMALIZACJA DYNAMICZNYCH WŁASNOŚCI POPIŁOMIERZA RADIOMETRYCZNEGO

Streszczenie. Przedstawiono niektóre problemy związane z optymalnym doborem parametrów popołomierzy radiometrycznych ze zmienną stałą czasową (zmiennym czasem pomiaru) adaptującą się do zmian sygnału pomiarowego. Analizowano układ pomiarowy z integratorem oraz z licznikiem impulsów. Wykazano, że istnieje możliwość uzyskania lepszych dynamicznych własności popołomierzy radiometrycznych w porównaniu do stosowanych rozwiązań.

OPTIMIZATION OF DYNAMICS OF ON-LINE ASH MONITOR

Summary. Some problems of the optimal choice of radiometric on-line ash monitors parameters with time constant adapting to variations of the input signal have been discussed in the paper. Measuring circuits with an integrator and pulses counter have been analysed. It has been shown that there is a possibility to achieve better dynamics of ash monitors in comparison to the circuits applied so far.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИКИ КОНТИНУАЛЬНОГО ЗОЛОМЕРА

Резюме. Рассмотрено некоторые проблемы оптимального выбора параметров континуального золомера с адаптивной инерцией зависящей от изменения измерительного сигнала. Рассмотрено схемы с интегратором и счетчиком импульсов. Доказано, что есть возможность получить лучшую динамику золомера чем в конвенциональных схемах.

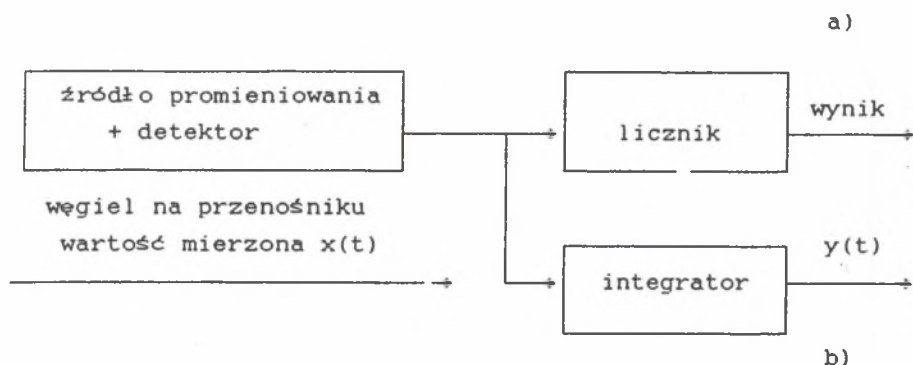
1. WSTĘP

Zagadnienia dynamicznych właściwości mierników radiometrycznych, do których należy popiołomierz radiometryczny [1], były rozpatrywane w różnych pracach [1, 2, 3]. Ogólny schemat blokowy popiołomierza radiometrycznego o działaniu ciągłym można przedstawić w formie pokazanej na rys. 1. Na rys. 1b przedstawiono układ z integratorem ciągu impulsów, natomiast na rys. 1a przedstawiono układ z integratorem ciągu impulsów, natomiast na rys. 1a układ z licznikiem impulsów. Szczegółowy opis działania miernika oraz jego zastosowań można znaleźć w pracach [3, 5]. Zagadnienie optymalnego doboru parametrów dynamicznych tego miernika ze względu na minimalny błąd odtworzenia sygnału wejściowego $x(t)$ (zawartości popiołu w węglu transportowanym, np. przenośnikiem taśmowym) wynika z konieczności uśredniania sygnału wyjściowego detektora promieniowania (np. licznik scyntylacyjny). Sygnał wyjściowy z detektora jest zawsze przebiegiem stochastycznym niezależnie od charakteru wejściowego sygnału pomiarowego, modulującego natężenie promieniowania padającego na detektor.

Ze wzrostem czasu uśredniania rośnie oczywiście dokładność statystyczna (statyczna) miernika, ale rośnie zwykle jednocześnie błąd dynamiczny, występujący przy zmianach parametru mierzonych $x(t)$.

Wobec tego przy założonym sygnale wejściowym i założonej strukturze układu miernika można znaleźć optymalny czas uśredniania stochastycznego sygnału na wyjściu detektora ze względu na minimalny błąd odtworzenia sygnału wyjściowego według założonego kryterium. Optymalizowanie dynamicznego pomiaru wielkości $x(t)$ można rozważyć ogólniej na przykładzie miernika o zmiennych w czasie parametrach. Jeżeli np. sygnał wejściowy (zawartość popiołu) $x(t)$ zmienia się skokowo, to intuicyjnie jest oczywiste, że w celu zmniejszenia błędu odtwarzania tego sygnału należy w pierwszej chwili zmniejszyć stałą czasową (czas pomiaru) całego układu, zwiększając tym samym szybkość jego reakcji, a następnie zwiększyć stałą czasową (czas pomiaru) w celu dokładnego odczytania nowej wartości x .

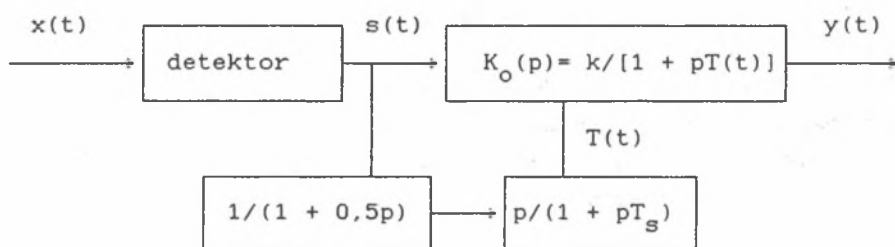
W niniejszej pracy wykazano możliwości dalszego optymalizowania charakterystyki dynamicznej pomiaru $x(t)$ na przykładzie układów przedstawionych na rys. 1a i b.



Rys. 1. Schemat blokowy popiołomierza radiometrycznego
Fig. 1. Block diagram of a radiometric ash monitor

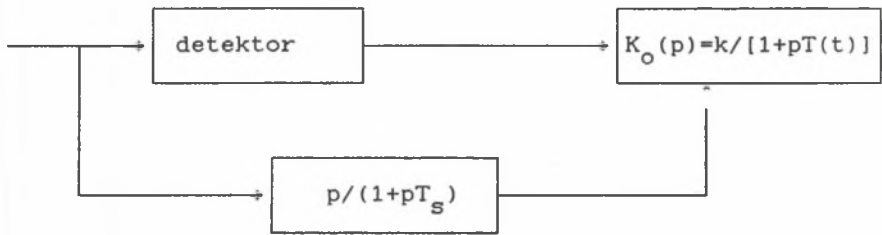
2. BŁĘDY DYNAMICZNE UKŁADU POMIAROWEGO Z INTEGRATOREM

Zajmijmy się zagadnieniem optymalnego odtwarzania (pomiaru) przebiegu prostokątnego sygnału $x(t)$. Sytuacja taka może występować w przypadkach stosowania popiołomierza do rozdzielania strugi węgla na dwie strugi w zależności od jakości węgla lub w układach produkcji mieszanek węglowych z produktów o zdecydowanie różnej jakości (zawartości popiołu).



Rys. 2. Schemat blokowy adaptacyjnego popiołomierza (dla przyrostów sygnałów)
Fig. 2. Block diagram of an adaptive ash monitor (for increments of signals)

Przedstawiony na rys. 2 układ pomiarowy jest układem adaptującym się do zmian sygnału wejściowego (pomiarowego). Znaczne uproszczenie obliczeń osiągnięto w wyniku rozpatrywania tego układu wg schematu przedstawionego na rys. 3. Dokonana zmiana w schemacie blokowym polega na pominięciu w prze-



Rys. 3. Uproszczony schemat blokowy miernika adaptacyjnego

Fig. 3. Simplified block diagram of an adaptive meter

biegu $T(t)$ składowej fluktuacyjnej, wynikającej z impulsowego (stochastycznego przebiegu sygnału $s(t)$). Dopuszczalność takiego postępowania dla praktycznych obliczeń została uzasadniona w pracach [1, 2].

W dalszych rozważaniach przyjęto następujące założenia:

- sygnał $x(t)$ jest przebiegiem prostokątnym określonym następująco:

$$x(t) = 0 \quad \text{gdy} \quad t < 0 \quad \text{i} \quad t > t_0$$

$$x(t) = x_0 \quad \text{gdy} \quad 0 < t < t_0$$

- sygnał $s(t)$ jest przebiegiem stochastycznym (impulsowym) i ma charakter białego szumu,
- zależność wielkości x i średniej częstotliwości impulsów N w jednostce czasu sygnału $s(t)$ jest liniowa,
- przetwornik sygnału pomiarowego jest elementem liniowym ze zmienną stałą czasową o funkcji przejścia

$$K_O(p) = k/[1 + pT(t)]$$

- sprzężenie adaptacyjne jest dokonane za pomocą elementu liniowego o funkcji przejścia:

$$K_S(p) = p/(1 + pT_S)$$

Układ przedstawiony na rys. 3 jest układem liniowym o zmiennych parametrach i może być opisany równaniem:

$$T(t) \frac{dy}{dt} + y(t) = x(t)$$

$$T(t) = T_0 [a - \exp(-t/T_s)] \tag{1}$$

W układzie opisanym równaniem (2) wartość średnia i dyspersja sygnału wyjściowego $y(t)$ w przypadku przyłożenia na jego wejście sygnału $x(t) = x_0 = 1$ w postaci białego szumu określone są następującymi wyrażeniami [2]:

$$M_1[y(t)] = a(1 - \exp(-t/T_s))(a - \exp(-t/T_s))^{-1} \tag{2}$$

$$D_1[y(t)] = a(1 - \exp(-2t/T_s))[4T^2(a - \exp(-t/T_s))]^{-2} \tag{3}$$

Wyrażenia (2) i (3) zostały wyznaczone przy upraszczającym założeniu $T_s/a T_0 = 1$.

Dla układu popiołomierza z odłączonym sprzężeniem adaptacyjnym wyrażenia (2) i (3) mają postać [1]:

$$M_2[y(t)] = 1 - \exp(t/T) \tag{4}$$

$$D_2[y(t)] = [1 - \exp(-2t/T)](2T)^{-1} \tag{5}$$

gdzie: $T = aT_0$.

Założmy, że zmiana wartości $x(t)$ nastąpiła z x_0 na $x_0 + \Delta x$ i spowodowała zmianę średniej częstotliwości impulsów $s(t)$ w jednostce czasu N_0 na $N_0 + \Delta N$. Oznaczmy również przez $k_D = x/n$ współczynnik przetworzenia sygnału zawartości popiołu na ciąg impulsów z detektora promieniowania.

Wzory (3, 4, 5) określające wartości średnie i dyspersję sygnału $y(t)$ wyrażone w jednostkach zawartości popiołu przyjmą wtedy postać:

$$M_{x(1)} = N_0 k_D + \Delta N k_D M_1[y(t)] \tag{6}$$

$$D_{x(1)} = N_0 k_D^2 / 2aT + \Delta N k_D^2 D_1[y(t)] \tag{7}$$

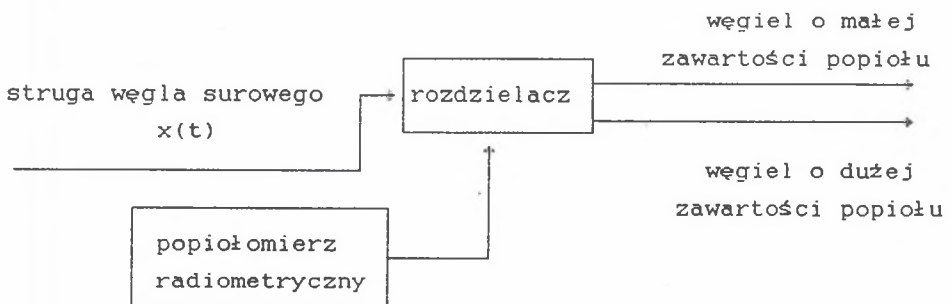
$$M_{x(2)} = N_o k_D + \Delta N k_{D2} [y(t)] \quad (8)$$

$$D_{x(2)} = N_o k_D^2 + \Delta N k_{D2}^2 [y(t)] \quad (9)$$

Analiza wzorów (6, 8, 9) przeprowadzona w pracy [2] wykazała, że układ ze zmienną stałą czasową daje zdecydowanie lepsze efekty, jeśli chodzi o błąd odtworzenia zmiennego sygnału $x(t)$ na wyjściu integratora popiołomierza w porównaniu z układem z niezmienną stałą czasową. Błąd odtworzenia (pomiaru) dynamicznego przebiegu $x(t)$ w sensie średniokwadratowej odległości przebiegu $x(t)$ i $y(t)$ jest o ok. 30% mniejszy niż w przypadku układu z niezmienną stałą czasową.

3. POPIOŁOMIERZ RADIOMETRYCZNY Z LICZNIKIEM IMPULSÓW

Rozważmy zastosowanie popiołomierza do rozdzielania strugi węgla na dwa produkty o różnej zawartości popiołu, jak to przedstawiono na rys. 4. Załóżmy dla uproszczenia, że zmiany zawartości popiołu są skokowe i po każdej zmianie zawartość popiołu utrzymuje się na nowym poziomie przez czas dłuższy niż jeden cykl pomiaru.



Rys. 4. Zastosowanie popiołomierza do rozdzielania strugi węgla na dwa produkty w zależności od jego jakości

Fig. 4. Application of an ash monitor for coal stream splitting to two products according to coal quality

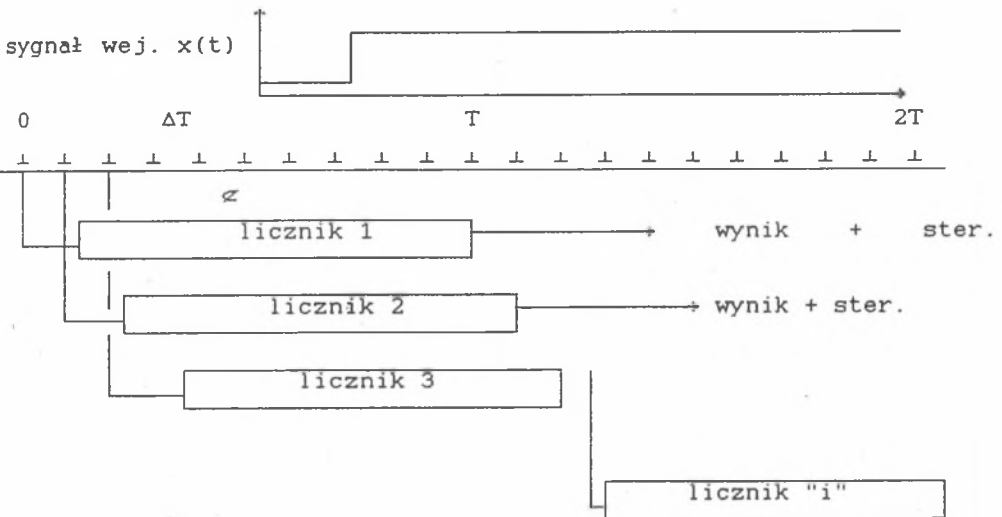
W układzie popiołomierza przedstawionym na rys. 1b ciąg impulsów z detektora promieniowania zliczany jest zwykle w stałym cyklu pomiarowym o czasie trwania T. Względne odchylenie standardowe pomiaru średniej częstości impulsów N sygnału s(t) wynosi:

$$\delta_{\%} = 100/(NT)^{1/2}$$

Jeżeli zmiana zawartości popiołu x(t) nastąpi w czasie trwania np. pierwszego cyklu pomiarowego T, to informację o tej zmianie uzyskamy z wystarczającą dokładnością dopiero po czasie 2T (po zakończeniu drugiego cyklu pomiarowego). Długość czasu pomiaru T wynika z przyjętej dokładności pomiaru statystycznego ciągu impulsów s(t) według wzoru (9).

Przeprowadźmy rozumowanie zbliżone do poprzedniego dla układu z integratorem.

Podzielmy cykl pomiaru T_i na k odcinków o długości ΔT oraz wprowadźmy zamiast jednego licznika impulsów, zliczającego cyklicznie impulsy co czas T, k równoległych liczników (np. k = 10). Wejścia tych liczników otwierane są w momentach czasu k ΔT przesuniętych względem siebie o czas ΔT (rys. 5).

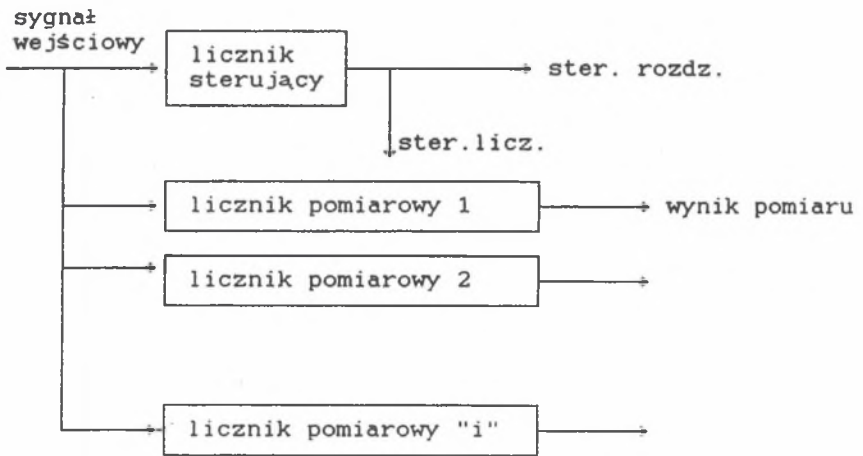


Rys. 5. Schemat ideowy równoległych liczników do wczesnego wykrycia zmiany sygnału wejściowego

Fig. 5. Scheme of parallel counters for early detection of the change of the input signal

Informacja o zliczonej ilości impulsów przechowywana jest w licznikach w ciągu całego cyklu $T - 2T$. Łatwo zauważyć, że obserwując przez cały czas stany k równoległych liczników, można z błędem δ wykryć zmianę zawartości popiołu w momencie czasie z przedziału $T - 2T$. W ten sposób czas reakcji popiołomierza na zmiany zawartości popiołu można poprawić średnio o 25% w stosunku do układu ze stałym (jednym) cyklem pomiarowym, zachowując tę samą dokładność statystyczną pomiaru.

Dalsze istotne skrócenie czasu reakcji popiołomierza można osiągnąć w przypadku, gdy dopuszczalne jest przyjęcie większego błędu pomiaru δ_s dla wyjściowego sygnału sterującego, natomiast utrzymanie założonego błędu pomiaru zawartości popiołu δ (układ na rys. 6).



Rys. 6. Schemat blokowy układu liczników popiołomierza dla $\delta_s < \delta$

Fig. 6. Block diagram of ash monitor counters for $\delta_s < \delta$

Zależność czasu reakcji popiołomierza (czasu wypracowania sygnału sterującego) od dopuszczalnego błędu pomiaru δ_s w tym momencie przedstawiono w tabeli 1.

W tabeli 1 przyjęto, że średnia gęstość zliczeń detektora promieniowania wynosi $N = 10^4$ 1/s.

Tabela 1

Zestawienie własności dynamicznych popiołomierza z układem liczenia impulsów

Względne odchylenie δ_s , %	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Względne odchylenie pomiaru δ , % (w czasie T)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Czas reakcji na zmianę zawartości popiołu ΔT , s	100	25	11	6,2	4
Liczba równoległych liczników impulsów	1	4	10	16	25

4. WNIOSKI

Przedstawioną wyżej metodę analizy dynamicznych właściwości popiołomierza radiometrycznego można stosować dla wszystkich mierników promieniowania jądrowego stosowanych do pomiaru takich wielkości jak gęstość, grubość, zawartość wilgoci itp.

Dla układu pomiarowego z licznikiem impulsów przedstawiono najprostszą propozycję poprawy własności dynamicznych układu. Dalsze efekty można uzyskać, stosując bardziej skomplikowane metody przetwarzania ciągu impulsów z detektora promieniowania w postaci optymalnych filtrów cyfrowych.

LITERATURA

1. Cierpisz S.: Optymalizacja układu regulacji z miernikiem izotopowym. Archiwum Automatyki i Telemekhaniki, 1966 nr 1.
2. Cierpisz S.: Dynamiczne właściwości adaptacyjnego miernika promieniowania jądrowego. Pomiary. Automatyka, Kontrola 1972, nr 4.
3. Cierpisz S.: Automatyzacja procesów przeróbki mechanicznej węgla, Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1980.

4. Lach R., Cierpisz S., Mirkowski Cz.: Analiza własności statystycznych przebiegów zmian zawartości popiołu w węglu. Wzbogadanie i Utylizacja Kopalini 1974, nr 4.
5. Mirkowski Cz.: Badania przemysłowe popiołomierza gamma. Dokumentacja "Separator" 1972.

Recenzent: Doc. dr inż. Ryszard LACH

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1992 r.

A b s t r a c t

On-line ash monitors have been applied in coal preparation practice for many years. They have been used for coal quality monitoring or in control systems for coal blending, washing in separators or splitting coal stream to two products having different ash content.

Due to radiometric method used in such monitors (absorption or back-scattering of gamma radiation) there is always a necessity of averaging statistical output signal from the detector during a period of tens of second or even minutes to reduce standard deviation of the measurement. This is often in contradiction with the dynamics of ash content variations in coal stream to be measured or with the dynamics of the control system.

Dynamical model of ash monitors have been presented and discussed in the paper. A concept of an ash monitor with a time constant (or time of measurement) adapting to variations of an input signal (ash content) have been analysed. Such a system allows to speed-up reaction of the instrument to rapid variations of ash content and at the same time achieve a high statistical accuracy for longer periods of time. This is particularly important in applications of ash monitors in closed loop control systems or in splitting coal stream to different products.

It is possible to speed-up reaction of an ash monitor by 30% with the same standard deviation of the measurement as for a conventional integrating circuit.