

Nowości

przemysłu
automatyki
robotyki
i aparatury
pomiarowej

Zbigniew KŁOS, Piotr MADEJ

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
INSTYTUT MASZYN, NAPĘDÓW I POMIARÓW ELEKTRYCZNYCH

INSTYTUT MASZYN, NAPĘDÓW
I POMIARÓW ELEKTRYCZNYCH
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27,

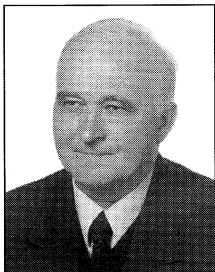
50-370 Wrocław,

tel./fax: (071) 320-34-67, tel. 320-37-52

Mikroprocesorowe przetworniki do pomiaru pH, potencjału redox i zawartości tlenu w ściekach

Dr inż. Zbigniew KłOS

Studia na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej ukończył w 1968r i podjął pracę w Instytucie Metrologii Elektrycznej, gdzie także obronił pracę doktorską. Aktualnie pracuje jako adiunkt na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej w Instytucie Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, gdzie prowadzi prace badawcze w zakresie wysokoomowych wzorców rezystancji oraz aparatury elektrometrycznej dla ochrony środowiska.



Dr inż. Piotr MADEJ

studia na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej ukończył w 1974 r. i został zatrudniony w Instytucie Metrologii Elektrycznej. W roku 1983 obronił pracę doktorską. Obecnie jest adiunktem naukowo-dydaktycznym, pracuje naukowo w dziedzinie pomiarów elektrycznych i elektronicznej aparatury pomiarowej, a przede wszystkim w elektrometrii - przetwarzanie bardzo słabych sygnałów, badania zjawisk elektryzacji, gigaomierze, pikoamperomierze.



Streszczenie

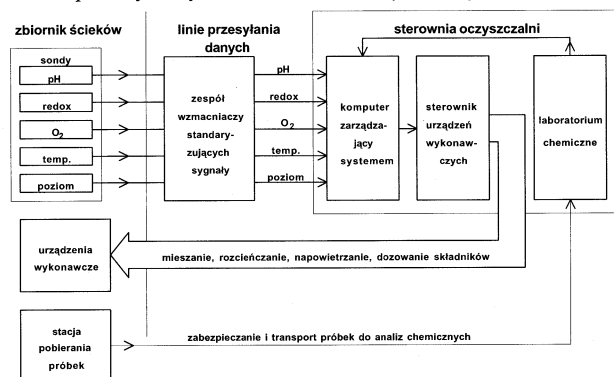
Przedstawiono zestaw trzech przetworników do ciągłego pomiaru (monitorowania) pH, potencjału redox i stężenia tlenu w ściekach. Przetworniki te wzmacniają i przetwarzają sygnały z sond pomiarowych do postaci umożliwiającej bezpośrednie zdalne sterowanie urządzeniami wykonawczymi; zbędny jest komputerowy system pomiarowy i jego wysokokwalifikowana obsługa. Wyposażono je w mikrokontroler umożliwiającą automatyczną kompensację wpływu temperatury i obliczanie innych poprawek. Przetworniki są autonomiczne i tanie, przewidziane dla małych i średnich oczyszczalni ścieków.

Abstract

The paper presents a set of three converters for continuous measurement (monitoring) of pH, redox potential and oxygen concentration in sewages. The converters amplify and convert signals from measuring probes to the form enabling a direct remote control of control devices; an expensive measuring computer system and highly qualified operators become unnecessary. They are equipped with a microcontroller ensuring an automatic compensation of temperature influence and corrections calculation. The converters are autonomous and cheap, predict for small and medium sewage-treatment plants.

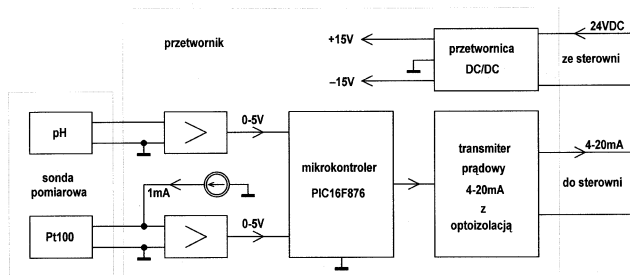
1. Wprowadzenie

W Polsce gospodarka ściekami bytowo - gospodarczymi, miejskimi i przemysłowymi zwłaszcza w małych miejscowościach i za-



Rys. 1. Blokowy schemat funkcjonalny kontroli procesu oczyszczania ścieków

ładkach przemysłowych pozostawia wiele do życzenia. Nieoczyszczone ścieki często odprowadzane są wprost do rzek, strumieni lub zbiorników wodnych, co powoduje zatrucie wód gruntowych a niekiedy nawet ujęć wody. Wobec starań naszego kraju o przyjęcie do EWG problem ten nabiera szczególnego znaczenia, gdyż w państwach Europy zachodniej normy w zakresie ochrony środowiska są rygorystycznie przestrzegane. Rozwiązaniem tego problemu może być szybkie uruchomienie wielu małych i średnich lokalnych oczyszczalni ścieków. Koszt pełnego wyposażenia oczyszczalni w aparaturę kontrolno - pomiarową jest bardzo wysoki, stąd w małych oczyszczalniach dąży się do jego zmniejszenia, a monitorowanie procesu oczyszczania ścieków ogranicza do kontroli najbardziej charakterystycznych parametrów - pH, potencjału redox i zawartości tlenu w ściekach. Istniejąca na rynku aparatura służąca do tych pomiarów jest droga i często zbyt uniwersalna. Wychoząc naprzeciw spodziewanemu zapotrzebowaniu ze strony określonych podmiotów gospodarczych (małych i średnich oczyszczalni) w Instytucie Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej w ramach tematu badawczego KBN opracowano i wykonano zestaw specjalizowanych, tanich przetworników mikroprocesorowych do pomiaru pH, potencjału redox i zawartości tlenu. Przetworniki te umożliwiają bezpośrednie sterowanie za pośrednictwem sygnału prądowego 4-20mA urządzeniami wykonawczymi, bez potrzeby instalowania komputera zarządzającego systemem pomiarowym. Przystosowane są one do współpracy z typowymi czujnikami (sondami pomiarowymi) dostępnymi na rynku. Zastosowanie w przetworniku prostego mikrokontrolera umożliwia automatyczną kompensację wpływu wielkości pasożytniczych (głównie temperatury) i wykonanie niezbędnych obliczeń np. przy przeliczaniu procentowej zawartości tlenu na jednostki wagowe w mg/litr.



Rys. 2. Schemat blokowy przetwornika do pomiaru pH.

2. Monitorowanie procesu oczyszczania ścieków

Pełna i dokładna kontrola procesu oczyszczania ścieków prowadzona jest głównie w dużych i bogato wyposażonych oczyszczalniach. Jest to proces złożony i wymaga ciągłego pomiaru parametrów fizycznych, chemicznych i biochemicznych, takich jak kwasowość lub zasadowość, zapotrzebowanie chemiczne i biochemiczne na tlen, zdolności utleniająco-redukcyjne, temperatura, zasolenie, zawartość szkodliwych pierwiastków oraz poziom ścieków w zbiorniku. Funkcjonalny schemat blokowy sterowania tym procesem został przedstawiony na rys. 1. Spośród wielu parametrów opisujących stan ścieków, najchętniej mierzonymi parametrami ścieków są te, które dobrze charakteryzują proces oczyszczania, a przy tym są mierzone metodami elektrochemicznymi. Mierzony sygnał ma postać siły elektromotorycznej lub prądu, a więc może być łatwo wzmacniony, przetworzony, przesyłany na znaczne odległości i rejestrowany. Pomiar jest szybki i może być prowadzony wprost w zbiorniku ścieków bez konieczności pobierania próbek. Inne pomiary, np. chemiczne wymagają pobierania, zabezpieczania i odpowiedniego transportu próbek niezbędnych do analiz oraz kosztownego zaplecza laboratoryjnego. W związku z brakiem takich możliwości w małych oczyszczalniach proces monitorowania wystarczy ograniczyć do ciągłego pomiaru temperatury, pH, potencjału redox i zawartości tlenu w ściekach, a analizy chemiczne zlecać okresowo zewnętrznym wykonawcom (laboratoriom).

3. Opis wykonanych przetworników

3.1. Przetwornik do pomiaru pH typ MPH-1

Mierząc pH ścieków określa się aktywność jonów wodorowych H^+ i wodorotlenkowych OH^- , a więc kwasowość lub zasadowość roztworu. Pomiar przeprowadza się metodą potencjometryczną, tzn. mierzy się różnicę potencjałów między elektrodami - wskaźnikową i odniesienia - zanurzonymi w roztworze. Sondy pomiarowe (czujniki) używane w pomiarach przemysłowych budowane są jako kombinowane (zespolone) i zawierają w jednej obudowie obydwie elektrody, a często także termorezystor platynowy Pt100 (lub Pt1000). Prezentowany przetwornik przystosowany jest do współpracy z sondą standardową, a jego schemat blokowy przedstawiono na rys. 2. Sygnał wyjściowy z czujnika (sondy pomiarowej) wynosi w temperaturze $20^{\circ}C$ zazwyczaj $58mV/1pH$; zakresowi mierzonych pH (od 0 do $14pH$) odpowiadają wartości napięć ok. $\pm 420mV$. Wartość rezystancji wewnętrznej źródła sygnału zależy głównie od rezystancji membrany szklanej elektrody wskaźnikowej, która osiąga wartość rzędu $1 \times 10^8 - 1 \times 10^9 \Omega$. Sygnał z czujnika przesyłany jest kablem do niezbyt odległego (do 10m) przetwornika umiejscowionego zazwyczaj na obrzeżach zbiornika ścieków. Zadaniem przetwornika jest wzmacnienie sygnału z czujnika do wartości 0-5V i przetworzenie go na standardo-

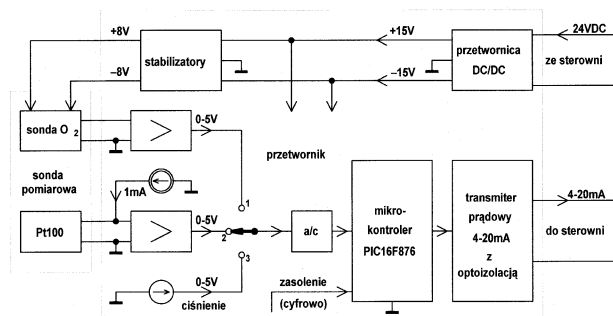
wy sygnał prądowy 4-20mA, a następnie przesyłanie dalej (do 200-400m) do sterownika urządzeń wykonawczych. Wejściowy wzmacniacz przetwornika posiada rezystancję wejściową na poziomie $1 \times 10^{12} \Omega$, dzięki czemu wpływ rezystancji wewnętrznej sondy jest pomijalnie mały. Dla skompensowania wpływu temperatury wykorzystuje się termorezystor Pt100, wbudowany do sondy pomiarowej. Termorezystor Pt100 zasilany jest prądem 1mA, a wytworzony na nim spadek napięcia, po wzmacnieniu do poziomu 0-5V, podawany na jeden z analogowych kanałów wejściowych mikrokontrolera PIC16F876. Zmodyfikowany 12-bitowy wejściowy przetwornik a/c mikrokontrolera zamienia sygnał na postać cyfrową i w oparciu o taką wartość dyskretną oblicza poprawkę temperaturową dla sygnału pH. Sygnał z sondy pH po wzmacnieniu (i przesunięciu poziomu odniesienia) do wartości 0-5V także poddawany jest przetworzeniu na sygnał cyfrowy w wejściowym przetworniku a/c i poprzez multiplexer podawany do mikroprocesora. Mikroprocesor uwzględnia poprawkę a następnie steruje wyjściowym transmitemerem prądowym w ten sposób, aby na wyjściu pojawił się prąd 4-20mA odpowiadający poprawnej wartości mierzonego pH. Wartość 4mA odpowiada 0pH, 20mA odpowiednio 14pH, zaś prąd wyjściowy poniżej 4mA sygnalizuje stan awaryjny układu. Wyjściowy transmitemer zasilany jest przez szeregową pętlę prądową ze sterowni napięciem $+(12-40)V$ tą samą parą przewodów, którą prowadzony jest sygnał wyjściowy przetwornika. Transmitemer ma charakter bierny i spełnia rolę sterowanej rezystancji. Zasilanie pozostałych bloków przetwornika zapewnia napięcie stałe 24VDC, dostarczane również ze sterowni osobną parą przewodów. Napięcie to jest przetwarzane w przetwornicy DC/DC na dwa napięcia $\pm 15V$, niezbędne do zasilania wzmacniacza sygnałów. Przetwornica DC/DC zapewnia także separację obwodów (mas) wejściowych i wyjściowych przetwornika pH.

Inne napięcia zasilania (+5V) uzyskuje się poprzez obniżenie napięcia 15V w monolitycznym stabilizatorze małej mocy. W przetworniku pH zrezygnowano z wizualizacji wyników pomiaru, co umożliwiło dalsze uproszczenie układu, a co za tym idzie istotne zmniejszenie kosztów wykonania i wymiarów geometrycznych. Przetwornik umieszczony jest w szczelnej obudowie z tworzywa ABS, odpornej na działanie szkodliwych czynników atmosferycznych.

Sondy pH używane w ciągłych pomiarach ścieków często ulegają uszkodzeniom i zabrudzeniu tłuszczami. Wymagają więc one okresowej kontroli i wzorcowania wskazań. W przetworniku przewidziano możliwość regulacji wzmacnienia i punktu zerowego sygnału sondy za pomocą elementów regulacyjnych dostępnych po zdjęciu pokrywy obudowy przetwornika.

3.2. Przetwornik do pomiaru potencjału redox typ MPR-1

Zdolności utleniająco - redukcyjne ścieków zależą od zawartości substancji utleniających i redukcyjnych oraz wzajemnych relacji zachodzących między nimi. W czasie oczyszczania ilość substancji redukcyjnych maleje natomiast rośnie stężenie substancji utleniających, w tym także rozpuszczonego tlenu. Potencjał roztworu rośnie i dla czystej wody wynosi ok. 800mV. Pomiar potencjału redox przeprowadza się podobnie jak dla pH metodą potencjometryczną, mierząc różnicę potencjałów między dwiema elektrodami: platynową (złotą) wskaźnikową i odniesienia (kalomelową, $AgCl$), umieszczonymi w badanym roztworze. Zakres zmienności napięcia wyjściowego wynosi od -1500mV do +1500mV. Przy pomiarze potencjału redox roztworu nie uwzględnia się w praktyce poprawki temperaturowej, gdyż wartość potencjału opisuje w sposób przybliżony reakcje zachodzące w roztworze, a więc dokładna interpretacja wyniku pomiaru nie jest możliwa. Mimo to parametr ten



Rys. 3. Schemat blokowy przetwornika do pomiaru zawartości tlenu w ściekach.

jest chętnie mierzony podczas kontroli procesu oczyszczania ścieków ze względu na łatwość i szybkość pomiaru i przynajmniej zgrubną informację o procesie. Wszystkie sondy używane w przemysłowych pomiarach potencjału redox podobne są do sondy pH tzn. w jednej obudowie zawierają obydwie elektrody lecz bez termorezystora Pt100.

Przetwornik do pomiaru potencjału redox jest prostszy w budowie od pozostałych przetworników, gdyż nie ma potrzeby wprowadzania w nim kompensacji temperaturowej wyników pomiaru. Z tego względu w przetworniku tym zrezygnowano z mikrokontrolera, a sygnał z sondy, po wzmacnieniu zostaje bezpośrednio przetworzony na prąd 4-20mA, podobnie jak ma to miejsce w przetworniku pH z rys. 2. Sposób zasilania przetwornika także został rozwiązany w podobny sposób jak w przetworniku pH.

3.3. Przetwornik do pomiaru stężenia tlenu typ MPTL-1

Pomiar zawartości tlenu w ściekach dostarcza ważnych informacji o przebiegu procesu biochemicznego i chemicznego ich oczyszczania. Wśród kilku metod pomiaru stężenia tlenu w roztworze najbardziej rozpowszechniona jest zasada prądowego ogniwa galwanicznego z półprzepuszczalną membraną teflonową lub polietylenową. Membrana przepuszcza w całości cząsteczki tlenu a zatrzymuje wszystkie pozostałe. Sygnałem wyjściowym jest prąd o natężeniu kilkudziesięciu mikroamperów dla 100% stężenia tlenu. Prąd ten wykazuje jednak duży rozrzut wartości (czułości sondy) w zależności od membrany i dlatego tlenomierze projektowane są zazwyczaj do jednego typu sondy.

Prezentowany w tym artykule przetwornik przystosowany jest do pracy z popularnym typem sondy CTN-9220A, produkowanej w kraju przez firmę ELSENT z Wrocławia. Jest to sonda zespolona, która oprócz czujnika (ogniwa) tlenowego posiada wbudowany na stałe zarówno termorezystor Pt100, jak i elektroniczny wzmacniacz prądowy służący do wstępnego wzmacnienia sygnału sondy do poziomu ok. 3,5mA dla 100% stężenia O₂. Zależność temperaturowa czułości ogniwa jest znaczna i ma charakter nieliniowy. Niestety, zastosowany w sondzie wzmacniacz elektroniczny wymaga dodatkowego zasilania napięciem ±8V, co powoduje wzrost stopnia komplikacji układu. Wskazania sondy tlenowej zależą także od zasolenia i ciśnienia roztworu. Jest to ważne zwłaszcza w pomiarach na większych głębokościach i w zamkniętych zbiornikach o dużym zasoleniu np. solankach przemysłowych, czy wodach kopalnianych. W przetworniku MPTL-1 wszystkie poprawki uwzględni mikroprocesor oraz oblicza wartość poprawną stężenia tlenu. Sygnał z sondy tlenowej oraz sygnał z termorezystora Pt100 po wzmacnieniu i przetworzeniu na napięcie 0-5V podawane są na dwa oddzielne kanały analogowe mikrokontrolera PIC16F876. Multiplexer podaje kolejno te napięcia do przetwornika a/c i po przekształceniu w sygnał cyfrowy przekazuje do dalszej obróbki.

Poprawkę ciśnieniową uwzględni się w ten sposób, że na trzeci kanał analogowy podawane jest napięcie stałe +2,5V, przyjęte arbitralnie dla średniej wartości ciśnienia atmosferycznego. Opcjonalnie możliwe jest włączenie w miejsce tego napięcia sygnału z dodatkowej sondy ciśnieniowej. Sygnał wyjściowy z sondy ciśnieniowej musi mieć jednak formę napięcia mieszczącego się w przedziale 0-5V dla spodziewanego zakresu zmian ciśnienia. Natomiast zasolenie kodowane jest cyfrowo za pomocą mikroprzełącznika umieszczonego w przetworniku. Przewidziano trzy zakresy zasolenia, odpowiadające najczęściej występującym typom ścieków i uwzględni się je w postaci poprawek do wartości wskazań sondy tlenowej. Oprócz obliczania poprawek mikroprocesor przelicza względną wartość stężenia tlenu (w procentach) na jednostki wagowe wyrażone w mg/dcm³ lub ppm. Algorytm obliczania wartości poprawnej stężenia tlenu w jednostkach bezwzględnych (mg/litr) z uwzględnieniem wpływu temperatury, ciśnienia i zasolenia jest skomplikowany, a wyrażenie (wzór) ma postać wielomianu trzeciego stopnia. Zastosowany mikrokontroler jednocukłowy wykonuje potrzebne przeliczenia z wystarczającą dokładnością. Zasilanie przetwornika oraz wyjściowy stopień prądowy są podobne jak w przetworniku do pomiaru pH (rys. 2). Schemat blokowy przetwornika tlenowego przedstawiono na rys. 3.

4. Podsumowanie

Prezentowany zestaw trzech przetworników przeznaczony jest do monitorowania podstawowych parametrów elektrochemicznych ścieków w procesie ich oczyszczania. Przetworniki są stosunkowo proste w budowie i tanie, mogą być stosowane w małych i średnich oczyszczalniach, które nie zawsze mogą pozwolić sobie na zakup pełnego i drogiego systemu kontrolno-pomiarowego sterowanego komputerem. Podstawowe parametry wykonanych przetworników nie odbiegają od standardu światowego. Obudowy przetworników, z tworzywa ABS mają wymiary 120 x 80 x 60mm.

Parametry przetworników

pH	zakres pomiaru	0-14pH
	niedokładność	mniej niż 0,2pH
	temperatura ścieków	0-80°C
	wyjście	prądowe 4-20mA
	autokompensacja temp.	0-100°C
	sonda pomiarowa	kombinowana z termorezystorem Pt100
redox	zakres pomiaru	±1500mV
	niedokładność	±0,1%
	temperatura	0-80°C
	wyjście	prądowe 4-20mA
O₂	sonda	kombinowana dowolnego typu
	zakres	0-200% nasycenia tlenu 0-20mg/litr (20ppm)
	niedokładność	±2% zakresu
	temperatura	0-50°C
	ciśnienie	1000mbar (980-1000mbar) (opcjonalnie 500-2000mbar po zastosowaniu sondy ciśnieniowej)
	zasolenie	(0-50)ppt, nastawiane ręcznie w trzech podzakresach
	wyjście	prądowe 4-20mA
	sonda	typ CTN-9220A