



Dokładność w przetwornikach ciśnienia, czyli diabeł tkwi w szczegółach



MICHAŁ DUDEK

W Introlu pracuje od 2007 roku. Zajmuje się wsparciem technicznym i doborem czujników ciśnienia i kalibratorów.

Tel: 601 589 949

Przetworniki ciśnienia są szeroko stosowane w wielu gałęziach przemysłu. Producenci w materiałach reklamowych i specyfikacjach podają często coraz to lepsze wartości dokładności. Nierzadko jednak specyfikacja zawiera tylko część prawdy. Obejmuje bowiem tylko niektóre jej składniki wpływające na całkowitą dokładność danego przetwornika w danej aplikacji. Przeanalizujemy więc specyfikacje dokładności niektórych popularnych przetworników ciśnienia i różne składowe dokładności, takie jak: zmiana zakresu, temperatura otoczenia, pozycja montażu, ciśnienie statyczne, dryft długoterminowy, wibracje, zasilanie i inne.



DOKŁADNOŚĆ DOKŁADNOŚCI NIERÓWNA

W branży pomiarowej widzimy nierzadko pewnego rodzaju „gry” rozgrywane ze specyfikacjami niektórych przetworników. Przedstawiają one jedną wartość dokładności, będącą tylko jednym z wielu składników dokładności, które należy wziąć pod uwagę. W niektórych przypadkach reklamy te mogą być mylące i stwarzać błędne wrażenie całkowitej, praktycznej dokładności jaką uzyskać można w aplikacji. Być może rywalizacja w wyścigu o najlepsze dokładności doprowadziły do takiej sytuacji. Faktem jest jednak, że niektórzy producenci określają „ograniczoną” dokładność i umieszczają ją na okładce

broszury i reklamują ją na swojej stronie internetowej, podczas gdy pełną specyfikację można znaleźć w instrukcji obsługi. Zazwyczaj specyfikacja przetwornika ciśnienia obejmuje kilka elementów dokładności, które należy wziąć pod uwagę przy rozważaniu całkowitej dokładności.



„DOKŁADNOŚĆ ODNIESIENIA”

Praktyka uczy, że gdzieś w zakamarkach strony internetowej lub dalszych stronach broszury czy instrukcji obsługi często wspomina się, w osobnym oświadczeniu, o „ograniczonej” dokładności. Można to nazwać także „dokładnością odniesienia” lub czymś podobnym, co obejmuje tylko niektóre składowe dokładności, a nie wszystkie części. Obejmuje np. tylko liniowość, histerezę i powtarzalność. Ta „ograniczona dokładność” nie obejmuje wszystkich praktycznych elementów dokładności, które należy wziąć pod uwagę, takich jak: pozycja montażu, temperatura otoczenia itp. Nie można więc do końca uznać, że ta specyfikacja jest tym, czego można oczekiwać w praktyce, po zainstalowaniu przetwornika w swoim procesie.



RÓŻNE ZAKRESY CIŚNIEŃ

Čzęsto najlepsza (referencyjna) dokładność obowiązuje tylko dla określonych zakresów ci-



Rysunek 1
Inteligentny przetwornik ciśnienia FCX AII V5



Rysunek 2
Przetwornik ciśnienia Introbar 20

śnięć, a nie dla wszystkich dostępnych. Podczas gdy najlepsze zakresy mogą mieć nawet 0,04% dokładności zakresu, to już inne zakresy tego samego modelu przetwornika mogą mieć na przykład dokładność 0,1%. Specyfikacje dokładności można podwoić lub potroić dla różnych dostępnych zakresów ciśnień. Dlatego zawsze należy upewnić się jaka jest dokładność dla zakresów, w których będziemy używać przetwornika.



ZMIANA ZAKRESU

W przetwornikach z komunikacją HART (tzw. inteligentne przetworniki) możemy sami ustawić zakres ciśnienia w jakim będą pracowały. Jeśli przetwornik HART (z wyjściem mA) zostanie ustawiony na mniejszy niż jego pełny zakres, zwykle pogarsza to dokładność. Tak więc, jeśli zmienimy zakres przetwornika na mniejszy niż jego zakres maksymalny, musimy mieć świadomość, że będzie on miał gorszą dokładność, ponieważ dokładność często podawana jest do pełnego zakresu.



WPŁYW TEMPERATURY OTOCZENIA

Większość przetworników ciśnienia jest wykorzystywana w procesach o zmiennych warunkach środowiskowych. Również temperatura mediów mierzonych może się znacznie zmieniać podczas użytkowania. Podobnie jak w przypadku większości urządzeń pomiarowych, przetworniki ciśnienia zwykle mają pewien rodzaj współczynnika temperaturowego. Innymi słowy, istnieje

składowa dokładności, która zależy od temperatury otoczenia. Patrząc na różne przetworniki, wpływ temperatury otoczenia może powodować zmiany dokładności od 0,01% zakresu do nawet 0,5%. W najmniej dokładnych przetwornikach temperatura wpływa na zmianę zakresu nawet o 1%. Co ważne, zależność od temperatury jest często określana w dość trudnym do zrozumienia formacie i w bardzo różny sposób w zależności od producenta. W przypadku wątpliwości w odczycie takich parametrów, warto po prostu zapytać swojego dostawcę.



EFEKT CIŚNIENIA STATYCZNEGO

Bardzo często przetworniki różnicy ciśnień mogą pracować przy ciśnieniu statycznym. Oznacza to, że oba wejścia mają określone ciśnienie, a przetwornik mierzy różnicę między dwoma wejściami. Przetworniki dp działają więc inaczej niż zwykły przetwornik, który mierzy ciśnienie w odniesieniu do ciśnienia atmosferycznego i inaczej niż przetwornik ciśnienia absolutnego, który mierzy ciśnienie w odniesieniu do próżni (do zera absolutnego).

Idealny przetwornik różnicowy mierzyłby więc tylko różnicę między wejściami, ale w praktyce jest inaczej. Jeśli oba wejścia są otwarte na ciśnienie atmosferyczne, różnica ciśnień jest naturalnie zerowa. Ponadto jeśli mamy to samo ciśnienie (powiedzmy 50 bar) przyłożone do obu wejść, różnica ciśnień nadal wynosi zero. W praktyce jednak to ciśnienie statyczne ma pewien wpływ na wyjście przetwornika i gdy zmienia się ciśnienie statyczne, zmienia się wyjście przetwornika. Zwykle wpływ ciśnienia statycznego w układzie może sięgać od 0,025% zakresu do 0,4% w zależności od modelu przetwornika.

Zwykle ciśnienie w układzie zmienia się głównie w zerze przetwornika, ale nie powoduje znaczącej zmiany zakresu. Tak więc podczas kalibracji można przetestować ten efekt, przykładając to samo ciśnienie (niskie i wysokie) do obu wejść i zobaczyć, jak bardzo zmienia się zero.

Specyfikacja przetwornika ciśnienia obejmuje kilka elementów dokładności, które należy wziąć pod uwagę przy rozważaniu całkowitej dokładności.

DOKŁADNOŚĆ

0 do 20% zakresu	$\pm(0,02\% \text{ pełnego zakresu})$
20% do 110% zakresu	$\pm(0,1\% \text{ odczytu})$
próżnia	$\pm(0,25\% \text{ pełnego zakresu}^*)$

* pełny zakres = -1,0 bar

Tabela 1

Dokładność przetwornika w zależności od zakresu ciśnienia

PARAMETRY METROLOGICZNE

	Szerokość zakresu pomiarowego		
	10 kPa	40 kPa	100 kPa ... 100 MPa
Dopuszczalne przeciążenie (powtarzalne – bez histerezy)*	100 kPa	250 kPa	4 × zakres, maks. 120 MPa
Przeciążenie uszkadzające	200 kPa	500 kPa	8 × zakres, maks. 200 MPa
Błąd podstawowy	0,3%	0,2% (0,16% – wykonanie specjalne)	
Stabilność długoczasowa	0,2%/rok	0,1%/rok	
Błąd temperaturowy	typowo 0,3% / 10°C maks. 0,4% / 10°C		typowo 0,2% / 10°C maks. 0,3% / 10°C
Histeresa i powtarzalność	0,05%		
Zakres temperatur kompensacji	-10 ... 80°C		

Tabela 2

Wpływ temperatury na dokładność przetwornika ciśnienia



” Wszystkie urządzenia pomiarowe z biegiem czasu będą powoli tracić swoją dokładność. Niektóre więcej i szybciej, inne mniej i wolniej.



STABILNOŚĆ DŁUGOTERMINOWA

Wszystkie urządzenia pomiarowe z biegiem czasu będą powoli tracić swoją dokładność. Niektóre więcej i szybciej, inne mniej i wolniej. Dotyczy to również przetworników ciśnienia. Niektóre przetworniki ciśnienia mają określoną roczną stabilność, inne mają nawet 5- lub 10-letnią, a nawet dłuższą. Na przykład przetwornik o dokładności odniesienia 0,04% zakresu może mieć roczną stabilność 0,2% zakresu. Niektóre inne modele mają podobny poziom dokładności 0,2% zakresu ważnego przez 5 lub nawet 10 lat.



EFEKT POZYCJI MONTAŻU

Pozycja montażu ma zwykle pewien wpływ na dokładność przetwornika ciśnienia. Większość przetworników ciśnienia ma specyfikację dotyczącą pozycji montażu.

Zwykle zmiana pozycji montażu zmienia zero i nie wpływa na dokładność zakresu. Pozytywnie pracy przetwornika należy jednak wziąć pod uwagę, jeśli najpierw wzorcowany jest przetwornik w warsztacie, a następnie instalowany w procesie w innej pozycji niż była przeprowadzone wzorcowanie.



EFEKT WIBRACJI

Wiele przetworników ciśnienia ma specyfikację dotyczącą wpływu wibracji. Oczywiście należy to wziąć pod uwagę tylko wtedy, gdy przetwornik jest zainstalowany w miejscu z wibracjami. Wpływ wibracji na dokładność jest często stosunkowo niewielki i można go na przykład określić jako „mniejszy niż 0,1% zakresu”.



EFEKT ZASILANIA

Przetwornik 2-przewodowy wymaga do działania zewnętrznego źródła zasilania. Zwykle jest to zasilanie 24 VDC. Przetworniki mogą pracować w szerokim zakresie napięcia zasilania, nawet do 10 VDC. W każdym razie, jeśli napięcie zasilania zmienia się podczas pracy, może to mieć wpływ na dokładność przetwornika. Wpływ napięcia zasilającego jest zwykle niewielki i można go określić na przykład jako „mniejszy niż 0,01% zakresu na zmianę o 1 V”. W praktyce, jeśli mamy dobry zasilacz, nie stanowi to zatem problemu.



CAŁKOWITA SPECYFIKACJA DOKŁADNOŚCI

Niektóre przetworniki mają swego rodzaju specyfikację „całkowitej dokładności”, która obejmuje kilka typowych elementów dokładno-

ści. Może to obejmować wspomniany wcześniej wpływ temperatury otoczenia i wpływ ciśnienia statycznego. Ten rodzaj całkowitej dokładności ma wartość bardziej przyjazną dla użytkownika, ponieważ zbliża się do rzeczywistej dokładności jakiej można oczekiwać od przetwornika.

Na przykład, specyfikacja „całkowitej dokładności” może wynosić 0,14% zakresu, podczas gdy wartość odniesienia wynosi 0,04%. Inny przykładowy model oferuje 0,075% dokładności odniesienia zakresu, a gdy uwzględnimy wpływ temperatury, wzrasta do 0,2%. Gdy uwzględnione są również efekty ciśnienia statycznego, wzrasta do 0,3% zakresu.

Jeśli przetwornik ma tego rodzaju specyfikację „całkowitej” dokładności, pomaga to uzyskać bardziej realistyczny obraz jakiej dokładności można się spodziewać w praktyce.



ZANIECZYSZCZENIE PODCZAS UŻYTKOWANIA

W każdym przetworniku ciśnienia używanym w procesie istnieje duże ryzyko, że membrana przetwornika zostanie zanieczyszczona przez medium lub jakiś zabrudzenie. Tego rodzaju zanieczyszczenia mogą mieć ogromny wpływ na dokładność przetwornika. Jeśli przetwornik będzie bardzo zabrudzony, zapewne zobaczycie Państwo to w swoim układzie analizując wyniki pomiaru ciśnienia. Jeśli jednak zabrudzenie będzie minimalne, trudniej będzie wyłapać ten błąd. Rodzaj i wielkość tego błędu nie jest czymś, co możemy określić w jakikolwiek sposób, ale musimy go brać pod uwagę i dla bezpieczeństwa robić przegląd przetworników co pewien okres czasu.



PRZYKŁADY NAJLEPSZYCH I NAJGORSZYCH PRZYPADKÓW

Po zsumowaniu wszystkich wymienionych powyżej, różnych specyfikacji dokładności, uzyskuje



Rysunek 3
Przetwornik ciśnienia Vegabar 64

się rzeczywistą, całkowitą dokładność, której można oczekiwać w praktyce. Generalnie ujmując, gdy chcemy połączyć (obliczyć) niezależne składniki niepewności, powszechną zasadą jest użycie metody „pierwiastek z sumy kwadratów” składowych (RSS). Samo dodanie wszystkich składników do jednej sumy byłoby najgorszym scenariuszem. W praktyce nie jest bowiem prawdopodobne, aby wszystkie składowe szły w tym samym czasie i kierunku. Dlatego stosowana jest statystyczna metoda RSS.

Aby uzyskać podsumowanie najbardziej optymistycznego przypadku, powinniśmy wziąć wszystkie najmniejsze składowe dokładności i pominąć te, które mogą nie być istotne. W pesymistycznym przypadku powinniśmy przyjąć wszystkie składowe dokładności jako ich maksimum i założyć, że wszystkie są obecne.

Aby uzyskać najlepszą dokładność, przyjęto następujące założenia:

- Wybierz najlepszą dokładność odniesienia.
- Wybierz najdokładniejszy model i zakres.
- Nie zmieniaj zakresu -> brak wpływu na dokładność.
- Używaj przetwornika w ograniczonym zakresie temperatur, zbliżonym do temperatury otoczenia.
- Załóż, że nie ma wpływu ciśnienia statycznego (używane do pomiaru manometru) -> brak wpływu.
- Załóż, że nie ma efektu wibracji -> brak efektu.
- Załóż, że zasilanie jest dobre -> brak efektu.
- Uwzględnij roczny dryf.

Po przejrzaniu specyfikacji kilku różnych przetworników wydaje się, że najmniejsza łączna dokładność jaką mogą znaleźć to około **0,15%** zakresu, a największa około dwa razy więcej, czyli około **0,3%** zakresu.

Aby znaleźć najgorszy przypadek dokładności, przyjęto następujące założenia:

- Wybierz model / zakres ciśnień o największej specyfikacji dokładności.
- Załóż, że zmieniasz zakres ciśnienia przy pomocy komunikacji Hart.

- Użyj zakresu z większym efektem temperaturowym.
- Przyjmij, że używane jest ciśnienie statyczne / liniowe.
- Przyjmij niewielki efekt wibracji.
- Załóż, że efekt zasilania jest niewielki.
- Uwzględnij roczny dryf.

Ponownie patrząc na różne specyfikacje przetworników, po dodaniu wszystkich najgorszych specyfikacji dokładności, otrzymujemy około **1% do 1,5%** dokładności zakresu, z najdokładniejszymi przetwornikami. W przypadku niektórych modeli dokładność ta może być jeszcze gorsza.



DOKŁADNOŚĆ A KALIBRATOR

Z uwagi na to, że dokładność przetwornika wpływa na dokładność wyposażenia kalibracyjnego, pojawiają się pytania jak dobrać odpowiedni kalibrator do sprawdzanych przetworników. Przede wszystkim kalibrator powinien być dokładniejszy niż przetwornik wzorcowany. Stosunek dokładności między kalibratorem a przetwornikiem powinien być dwa razy większy (w Laboratoriach Akredytowanych minimum 3 razy większy). W każdym razie należy mieć świadomość całkowitej niepewności i udokumentować ją podczas wzorcowania.



PODSUMOWANIE

Jak wspomniałem wcześniej, nowoczesne przetworniki ciśnienia są bardzo dokładnymi przyrządami. Warto jednakże uważnie czytać specyfikacje dokładności, w tym wszystkie różne komponenty na nią wpływające. Łatwo je przeoczyć i po prostu przyjąć dokładność z tabliczki znamionowej. Oczywiście taka sama sytuacja dotyczy wszystkich urządzeń pomiarowych, nie tylko przetworników ciśnienia. Zawsze dobrze jest przeczytać wszystkie specyfikacje, w tym wszystkie przypisy napisane drobnym drukiem.



Rysunek 4
Inteligentny przetwornik ciśnienia FKP FCX



Rysunek 5
Przetwornik ciśnienia Introclim DMU