

A jednak się kręci!

Słów kilka o współczesnych metodach pomiaru prędkości obrotowej w automatyce przemysłowej



Fot. 1.

Przez ostatnie 10 lat pracy w tej branży doszedłem do wniosku, że pomiar i kontrola prędkości obrotowej niektórych istotnych części maszyn i urządzeń należy do najczęściej realizowanych zadań przez proste komponenty i układy automatyki. Jednocześnie ta prosta z pozoru sprawa nastęrcza klientom wielu problemów, zarówno jeśli chodzi o wybór właściwej metody pomiaru, jak również późniejszy dobór komponentów.

W artykule spróbuję przybliżyć trochę tematykę oraz podpowiedzieć jak to zrobić szybko, tanio i bez konieczności dużych zmian w konstrukcji mechanicznej urządzenia.

Bez większego ryzyka pominięcia istotnych metod można powiedzieć, że obecnie najbardziej rozpowszechnione są dwie podstawowe metody:

- z wykorzystaniem prądnicy tachometrycznej,
- bezstykowa, zwana również cyfrową lub elektroniczną.

Pomiar prędkości obrotowej za pomocą prądnicy tachometrycznej (wyglądem i budową bardzo zbliżona do małego silnika prądu stałego) znany jest od bardzo dawna. Istota tej metody, to bezpośrednio, mechaniczne (za pomocą kół zębatach i przekładni pasowych) sprzężenie osi prądnicy z wirującą osią kontrolowanego elementu. Prądnica tachometryczna jest źródłem napięcia stałego proporcjonalnego do wielkości prędkości obrotowej swojej osi, natomiast nachylenie charakterystyki (U/ω) zależy od konkretnego modelu prądnicy. Podstawowe zalety tej metody to:

- natychmiastowy pomiar aktualnej prędkości obrotowej,
- duża dokładność pomiaru,
- możliwość dokładnego odczytu zmierzonej wielkości przez urządzenia z wejściem

analogowym np. woltomierze cyfrowe, systemy mikroprocesorowe z kartą przetworników analogowo-cyfrowych itp.

- krótki czas reakcji na zmianę prędkości.

Niestety metoda ta ma również kilka wad, które w skuteczny sposób odstraszą potencjalnych klientów:

- duże problemy i koszty związane z poprawnym i niezawodnym mechanicznym sprzężeniem prądnicy tachometrycznej z mechaniką maszyny lub urządzenia. Mam tu na myśli konieczność wykonania odpowiednich kół zębatach a później całej przekładni.
- konieczność ingerencji w „mechanikę“ urządzenia,
- wysoki koszt prądnicy tachometrycznej,
- konieczność okresowych konserwacji i przeglądów.

Nic więc dziwnego, że tego typu rozwiązania spotyka się w układach napędowych drogich i precyzyjnych maszyn produkowanych seryjnie typu frezarki, tokarki, elektrodrażarki, linie obróbcze itp.



Fot. 2.

Jeśli istnieje konieczność zmodernizowania starszego urządzenia w celu zautomatyzowania niektórych jego funkcji lub w budowanej od podstaw maszynie chce się uniknąć skomplikowanych rozwiązań mechanicznych, bardzo dobre rezultaty osiąga się stosując do pomiaru prędkości obrotowej nowoczesne komponenty automatyki przemysłowej. Umożliwiają one zrealizowanie precyzyjnego pomiaru praktycznie bez ingerencji w mechanikę układu napędowego maszyny. Kompletny zestaw pomiarowy składa się z:

- bezstykowego czujnika zbliżeniowego z wyjściem dwustanowym. Stosowane są tu najczęściej czujniki indukcyjne, optoelektroniczne odbiciowe i przelotowe, magnetyczne oraz hallotronowe,
- elektronicznego tachometru z wejściem cyfrowym i wyświetlaczem zmierzonej wartości, pracującym na zasadzie pomiaru okresu przychodzących impulsów z czujników,
- zasilacza sieciowego, jeśli tachometr nie jest w taki wyposażony.

Kluczową sprawą w tej metodzie, decydującą o dokładności, czasie i dynamice pomiaru, jest zastosowanie właściwego tachometru. Jeszcze do niedawna do tego typu pomiarów używane były tachometry działające na zasadzie pomiaru liczby impulsów w określonym czasie. Ponieważ zawsze żądanymi jednostkami przy pomiarze jest n/min (n - ilość obrotów) stosowane były dwie podstawowe grupy urządzeń:

- współpracujący z tachometrem czujnik dostarczał 1 impuls na 1 obrót kontrolowanego podzespołu, a tachometr mierzył ilość tych impulsów w czasie 1 minuty. W tym wypadku czas pomiaru wynosi również 1 minutę, co dyskwalifikuje go w przypadku pomiaru zmiennych prędkości obrotowych oraz prędkości poniżej 1 obrotu/min.
- czujnik dostarczał 60 impulsów na 1 obrót, a tachometr mierzył ich ilość w czasie 1 sekundy.

W tym rozwiązaniu czujnik współpracuje z zamontowaną na wirującej osi tarczą z nacięciami na jej obwodzie 60 zębami

lub otworami, których wymiary i wzajemne położenie ściśle związane jest z typem zastosowanego czujnika (o zasadach doboru czujnika piszę w dalszej części artykułu). Tarcza ta pełni funkcję swoistego mnożnika częstotliwości impulsów, zwiększając dokładność pomiaru i znacznie skracając (do 1 sekundy) czas pomiaru. No, ale trzeba mieć taką tarczę.

Dlatego też pisząc, że trzeba zastosować właściwy tachometr miałem na myśli taki, który przy pomiarze działa na zasadzie pomiaru okresu przychodzących impulsów (a tak naprawdę czasu między dwoma kolejnymi impulsami z czujnika), natomiast wewnętrzny układ mikroprocesorowy dokonuje przeliczeń na prędkość obrotową w żądanych jednostkach: n/s, n/min lub n/h. Przed zakupem tachometru warto więc zwrócić uwagę, czy w danych technicznych w karcie katalogowej lub instrukcji obsługi jest odpowiednia uwaga na ten temat (niemieckie określenie: Periodendauermessung, angielskie: period measurement).

Jedynym wymogiem stawianym czujnikowi w układzie pomiarowym z takim tachometrem jest to, aby dostarczał on jeden impuls na jeden obrót kontrolowanego elementu. To w znakomity sposób upraszcza szybką realizację układu w konkretnym urządzeniu. Wystarczy wykorzystać istniejący w wirującym elemencie łeb śruby, występ, nacięcie lub otwór (dla czujnika indukcyjnego), nakleić folię odblaskową lub wykonać znacznik białą farbą (odbiciowy czujnik optyczny), przykleić magnes stały (czujnik magnetyczny i hallotronowy). Zwiększenie ilości impulsów na jeden obrót pozwala zwiększyć dokładność i dynamikę pomiaru. W większości spotykanych w naszym przemyśle aplikacjach nie jest to jednak konieczne.

Tachometr pracujący na tej zasadzie wydatnie skraca czas pomiaru dla małych prędkości obrotowych - przykładowo dla 10 obr./min wynosi on tylko 6 s. Ponadto umożliwia bezproblemowy pomiar prędkości pomiędzy 0 a 1 obr./min.

Uważam, że bardzo dobrymi przykładami nowoczesnych tachometrów są modele z serii 260 firmy CURTIS z Niemiec (fot. 1), która od kilku lat jest obecna na polskim rynku z bardzo szeroką ofertą elektronicznych liczników impulsów, czasu pracy maszyn, tachometrów, timerów i paneli wskaźnikowych.

Tachometr ten ma znormalizowaną obudowę „tablicową” 36x72 mm, 8-pozycyjny wyświetlacz LCD z podświetlaną skalą, wysokość cyfr 10 mm, maksy-

malną częstotliwość zliczania 10 kHz, napięcie zasilania 24VDC. Współpracuje on z każdym z wcześniej wymienionych typów czujnika, pod warunkiem, że ma on wyjście typu PNP.

Do najważniejszych zalet predestynujących go do pomiaru prędkości obrotowej zaliczyć należy:

- ARS (Auto Range System) czyli system automatycznej zmiany zakresu pomiarowego połączony z automatyczną zmianą położenia punktu dziesiętnego,
- ustawianą dokładność pomiaru na 10%, 1% lub 0,1%,
- wyświetlanie nazw jednostek. Użytkownik może wybrać pomiędzy: 1/s, 1/min, 1/h, 1/s, 1/min i 1/h. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że tego typu mierniki mogą mierzyć również prędkość przepływu cieczy, gazów, materiałów sypkich, wydajność procesów technologicznych, jeśli współpracują z przetwornikami, które na wyjściu dają przebieg prostokątny o częstotliwości proporcjonalnej do wielkości przepływu (np. turbinkowymi).
- Jednymi z ciekawszych zrealizowanych ostatnio układów pomiarowych na bazie „260” było urządzenie mierzące wydajność przemysłowego pieca piekarniczego oraz miernik prędkości jachtu i wiatru.
- ustawianą w zakresie 1..999999 tzw. stałą czujnika, czyli ilości impulsów przypadających na jeden obrót kontrolowanego elementu,
- możliwość wprowadzenia współczynnika skalującego na wejściu w zakresie od 0,0001 do 99,9999, co umożliwia łatwe dopasowanie wielkości mierzonej do wyświetlanej,
- zaprogramowanie czasu „time out”, po upływie którego zostanie wyzerowany wyświetlacz w przypadku zaniku impulsów na wejściu tachometru,
- możliwość odczytu łącznej ilości impulsów, które dotarły do tachometru.

Praktycznie takie same parametry użytkowe ma tachometr CODIX 522 firmy KUBLER (fot. 2). Wyposażony on jest jednak

w wyświetlacz LED, co ma swoje znaczenie w przypadku konieczności zapewnienia odczytu z dużej odległości. Tachometr ten ma mniejszą obudowę tablicową (24x48mm) oraz 6 wyświetlaczy o wysokości aż 8 mm.

Omówione dotychczas tachometry jedynie mierzą i wyświetlają ilość impulsów w żądanym przedziale czasowym. Są również takie, które pozwalają także kontrolować mierzoną wielkość i nazywane są najczęściej tachometrami nastawnymi lub programowanymi. Posiadają one możliwość ustawienia jednej lub dwu wartości progowych, przekroczenie których sygnalizowane jest zmianą stanu styków wewnętrznego przełącznika, sterowanego przez komparator częstotliwości nastawionej i aktualnej. Pozwala to na sterowanie układami napędowymi lub alarmowymi, celem utrzymania mierzonej wartości w określonym, bezpiecznym przedziale.

Zastosowanie tachometru nastawnego zwiększa możliwości urządzenia o wymianę danych pomiędzy tachometrem a nadrzędnym sterownikiem mikroprocesorowym PLC w złożonych układach sterowania, poprzez magistralę RS232, RS485 lub RS422. Tachometry tego typu mają najczęściej obudowę o wymiarze części czołowej 48x48 mm, podtrzymanie danych po wyłączeniu zasilania w pamięci EEPROM przez co najmniej 10 lat, klasę ochronności IP65, pełen zakres napięć zasilających i możliwość współpracy z każdym typem wyjścia czujnika.

Na fot. 3 pokazano sztandarowe modele z ofert obu wspomnianych wcześniej firm: 312 firmy CURTIS oraz 716 (z 1 nastawą) i 717 (z dwoma nastawami) firmy KUBLER.

Trzeba tu jednak od razu zaznaczyć, że proporcje cen tych dwu grup tachometrów są najczęściej jak 1:2. Nie powinno to jednak zrażać potencjalnych klientów, gdyż w ostatnich dwu latach obserwuje się systematyczny spadek cen tego typu wyrobów. Spowodowane jest to zastosowaniem w ich konstrukcji na szeroką skalę techniki mikroprocesorowej,



Fot. 3.

unifikacją podzespołów i znacznym zwiększeniem poziomu produkcji. Obecnie cena prostego, cyfrowego tachometru w wykonaniu przemysłowym waha się w przedziale 200..240 zł, a tachometru nastawnego 440..510 zł (w zależności od funkcji i typu wyświetlacza).

Najczęściej do pomiaru prędkości obrotowych stosuje się bezstykowe czujniki indukcyjne. Spowodowane jest to powszechną ich dostępnością (produkcja krajowa w szerokim asortymencie i wysokiej jakości), najniższą ceną spośród wszystkich rodzajów czujników bezstykowych oraz faktem, że najczęściej mierzona jest i kontrolowana jest prędkość obrotowa elementów metalowych.

Muszę jednak z przykrością stwierdzić, że właściwe zastosowanie czujników indukcyjnych przysparza użytkownikom najwięcej problemów i tu popełniane jest najwięcej błędów, mających swoje odzwierciedlenie w złych wynikach pomiaru. Zaczynamy więc od teorii.

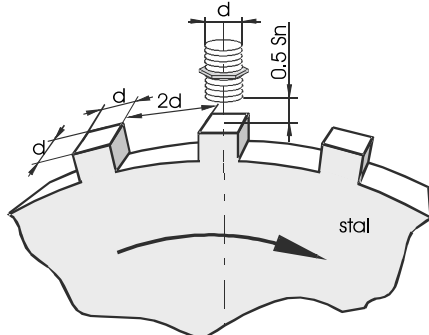
Na rys. 1 znajduje się schemat typowego układu pomiarowego z wykorzystaniem czujnika indukcyjnego i wirującego elementu z jednym lub kilkoma zębami (występami lub otworami). Przyjęto następujące oznaczenia:

Sn - strefa nominalna czujnika, czyli odległość czoła czujnika wyrażona w mm do obiektu wykonanego ze stali St37, przy której następuje skokowa zmiana napięcia na jego wyjściu (czujnik generuje impuls). Prawie zawsze parametr ten podawany jest na obudowie czujnika.

d - średnica czujnika.

Już na pierwszy rzut oka widać, że to praktycznie parametry czujnika narzucają rozwiązania mechaniczne. Dlatego też zawsze zalecam swoim klientom, projektującym układy pomiaru i kontroli prędkości obrotowej, w pierwszej kolejności wybór określonego rodzaju i typu czujnika, uwzględniającego specyfikę urządzenia, a dopiero później zlecenie wykonania tarcz wirujących - nigdy odwrotnie.

W przypadku, jeśli element wirujący wykonany jest z innego materiału niż stal St37, zmienia się dla danego czujnika jego rzeczywista strefa działania - niestety ulega zmniejszeniu. Cecha ta jest określana dla każdego rodzaju metalu przez współczynnik korekcyjny:



Rys. 1.

Uwaga:

a) Pokazane wymiary elementu wirującego należy traktować jako minimalne.

b) Na rysunku zabrakło bardzo istotnego wymiaru, a mianowicie wysokości zęba, która powinna wynosić co najmniej 3 Sn.

- stal St37 1,0 Sn
- chrom, nikiel 0,9 Sn
- mosiądz 0,5 Sn
- aluminium 0,4 Sn
- miedź 0,4 Sn

Kolejną bardzo istotną sprawą związaną z wyborem konkretnego typu czujnika, jest maksymalna częstotliwość przełączania wyjścia czujnika (lub jak kto woli, maksymalną częstotliwość pobudzania powierzchni czołowej czujnika elementem metalowym przy zachowaniu ww. wymagań). Parametr ten podawany jest niestety dopiero w szczegółowych kartach katalogowych wyrobu i decyduje, czy czujnik jest wiarygodnym źródłem impulsów dla tachometru w pełnym zakresie prędkości obrotowych kontrolowanego elementu.

Trzeba jednak wiedzieć, że wraz ze wzrostem strefy działania czujnika maleje maksymalna częstotliwość przełączania, co stoi w sprzeczności z naturalną, moim zdaniem, tendencją do oddalania czujnika od wirującego metalu - przede wszystkim w trosce o bezpieczeństwo czujnika (osiowe lub boczne „bicie“, luzy w układzie napędowym, niedokładności wykonania itp.). Jak w życiu tak i tu przyjąć należy rozsądne, kompromisowe rozwiązanie.

Nieuwzględnienie maksymalnej częstotliwości przełączania czujnika, mimo wykonania tarczy wirującej zgodnie z zaleceniami, jest, statystycznie rzecz biorąc, najczęstszą przyczyną błędów pomiarowych w tego typu aplikacjach.

Pokażę to na przykładzie układu, który ostatnio został zrealizowany w jednej z firm - niestety wymagał sporej korekty.

Założenia były następujące:

- średnica tarczy ze stali St37 - 290 mm (wraz z 1 zębem o wysokości 20 mm),
- wymiar czołowy zęba 20x20mm,
- nominalna prędkość obrotowa - 4000 obr./min (przy maksymalnej prędkości 4800 obr./min tachometr typ 716 powinien wyłączyć cały układ napędowy),
- zastosowano czujnik typ ICZ D5 CN PNP o strefie nominalnej 5 mm, wyjściu typu PNP, średnica obudowy M18,
- odległość czoła czujnika- powierzchnia zęba ok. 2 mm.

Teoretycznie rzecz biorąc, wszystko powinno więc być w porządku - aplikacja jest zgodna z zaleceniami „mechanicznymi“. Jednak układ przestawał działać już przy prędkości rzędu 3000 obr./min.

Aby znaleźć przyczynę dokonamy pewnych obliczeń, przyjmując następujące założenia:

- układ powinien działać pewnie do co najmniej 5300 obr./min (10% zapasu bezpieczeństwa),
- upraszczamy trochę istotę problemu przyjmując, że czujnik widzi metal tak długo jak długo jego oś przebywa nad metalem (nie jest to do końca prawda, ale upraszcza obliczenia),
- czujnik „obserwuje“ metal na obwodzie równym średnicy tarczy.

Obliczamy czas t - przelotu czujnika nad powierzchnią czołową zęba przy maksymalnej prędkości obrotowej 5300 obr./min.

Obwód tarczy:

$$O = \pi \cdot S,$$

gdzie $\pi=3,14$

$$S = 290 \text{ mm}$$

S - średnica

$$L = 20 \text{ mm}$$

L - szerokość zęba

Prędkość obrotowa $\omega=5300$ obr./min=83,3 1/s czyli czas pełnego obrotu tarczy $T=11,3$ ms

Układamy proporcje:

$$\frac{O}{L} = \frac{T}{t}$$

O - obwód tarczy

T - czas pełnego obrotu

L - szerokość zęba

t - czas „przelotu“

czyli $t = L \times T / O = L \times T / \pi \times S$

po podstawieniu danych liczbowych $t=0,25$ ms

Czas przelotu czujnika na powierzchnię zęba przy prędkości 5300 obr./min wynosi więc 0,25 ms.

Maksymalna częstotliwość przełączania czujnika wynosi zgodnie z kartą katalogową 800 Hz. Przeliczając to na czas i przyjmując, że czas pobudzenia czujnika do czasu przerwy wynosi również 1:2 (patrz rys. 1), okazuje się, że ten pierwszy wynosi min. 0,42 ms.

Czujnik „zobaczy“ więc ząb (przy takiej prędkości obrotowej), jeśli czas przelotu nad nim wydłużony zostanie z 0,25 ms do co najmniej 0,42 ms.

Najprościej zrealizować to można zwiększając jego szerokość. Analogiczne obliczenia wskazują, że powinno to być ok. 34 mm, czyli 70% więcej niż zalecenia związane ze standardowym sposobem zabudowy czujnika w maszynach i urządzeniach.

Reasumując: przy projektowaniu układu pomiaru i kontroli prędkości obrotowej z wykorzystaniem czujnika indukcyjnego należy wziąć pod uwagę:

- wymiary, a przede wszystkim średnicę czujnika,
- jego strefę działania S_n ,
- maksymalną częstotliwość przełączania czujnika,
- maksymalną prędkość obrotową tarczy,
- średnicę tarczy,
- rodzaj materiału (współczynnik korekcyjny).

O ograniczeniach związanych z maksymalną częstotliwością przełączania czujnika należy pamiętać również jeśli stosujemy do pomiaru czujniki optyczne lub hallotronowe. Zasady obliczania czasu przelotu są praktycznie identyczne.

Przedstawione dotychczas metody umożliwiają bardzo precyzyjny pomiar prędkości obrotowej lub przepływu. W wielu aplikacjach w warunkach przemysłowych często konieczne jest tylko stwierdzenie, czy coś się w ogóle kręci (z prędkością większą od założonej czy krytycznej). Taka sytuacja ma miejsce zawsze na przykład w układach napędu taśmociągu w kopalniach i elektrociepłowniach. Tutaj zerwanie się taśmociągu lub jego poślizg grozi poważnymi konsekwencjami dla całego obiektu i olbrzymimi stratami. Dlatego powszechnie stosowane są urządzenia zwane elektronicznymi sygnalizatorami ruchu (ESR). Tak naprawdę są to proste w obsłudze i tanie jednoprogowe dyskryminatory częstotliwości impulsów, pochodzących z identycznych układów pomiarowych jak ten przedstawiony na rys. 1. Nie posiadają one wyświetlacza wartości aktualnej, a jedynie przełącznik zakresu pracy, potencjometr do dokładnego ustawienia żądanej wartości w ramach wybranego zakresu i regulację czasu opóźnienia zadziałania wewnętrznego przekaźnika, po spadku prędkości obrotowej poniżej wartości nastawionej (układ nie reaguje na chwilowe poślizgi na taśmociągu, spowodowane nagłym dociążeniem).

Innym urządzeniem bardzo często spotykanym w układach pomiaru i kontroli prędkości obrotowej jest sygnalizator poślizgu. Stosowany jest w układach napędowych składających się z zestawu silnik-sprzęgło-układ napędzany, głównie w celu ochrony sprzęgła przed spalaniem w sytuacji ciągłego przeciążenia w układzie napędzanym. Tu jednak są dwa układy pomiarowe z czujnikami zbliżeniowymi: jeden po stronie silnika, drugi po wtórnej stronie sprzęgła. Sygnaliza-

tor poślizgu (np. typu MK26) porównuje częstotliwość impulsów otrzymywanych z tych dwu czujników i w przypadku stwierdzenia różnicy większej niż nastawiona (w %) przez obsługę, może wyłączyć cały układ. Ponadto możliwe jest ustawienie tzw. czasu rozbiegu (w tym czasie układ nie reaguje na różnicę prędkości obrotowych-bardzo istotne przy rozruchu urządzenia), eliminować nierównomierność częstotliwości przychodzących impulsów poprzez uśrednianie kilku kolejnych itp. przydatne w realnym układzie funkcje.

Rzecz jasna, że w tego typu artykule nie sposób poruszyć wszystkie kwestie związane z tym bardzo ważnym zagadnieniem w układach automatyki przemysłowej. Chętnie jednak służę radą i pomocą wszystkim Czytelnikom, którzy chcieliby zrealizować tego typu układ pomiarowy lub mają problemy z już istniejącym. Nie będzie też problemu z otrzymaniem bezpłatnych katalogów czujników zbliżeniowych, liczników impulsów, czasu, tachometrów, zasilaczy przemysłowych 24 VDC, złącz z atestami NATO, sterowników przemysłowych oraz informacji technicznej na temat zasad ich stosowania.

mgr inż. Ryszard Żak, Impol-1
e-mail: zak@impol-1.com.pl