

PodKontrola

wydawca: Introl Sp. z o.o.

automatyka i pomiary

01/2015 (31)

PRAKTYCZNY PUNKT WIDZENIA



temat wydania

Dłuższa żywotność procesowych elektrod do pomiaru pH



akademia automatyki

Bezinwazyjne pomiary przepływu cz. 2



dobra praktyka

**Wykorzystanie układu AwiENERGY
w procesie uzyskiwania świadectw pochodzenia**



szkolenie

Szkolenie PLC cz. 13

**aktualności****str. 3****nowości****str. 4****temat wydania****Dłuższa żywotność procesowych elektrod do pomiaru pH****str. 6****dobra praktyka****Wykorzystanie układu AwiENERGY****w procesie uzyskiwania świadectw pochodzenia****str. 8****akademia automatyki****Bezinwazyjne pomiary przepływu,****czyli rozprawa z mitami – cz. 2****str. 11****szkolenia****Szkolenie PLC cz. 13****Implementacja sekwencyjnej maszyny stanów w sterowniku TECO TP03****str. 14****artykuł specjalny****Ocena jakości zasilania silników indukcyjnych****z przemienników częstotliwości średniego napięcia****str. 16****od redakcji****Drodzy Czytelnicy!**

Mam nadzieję, że hucznie przywitaliście Państwo rok 2015, a kalendarz przelotu starego i nowego roku pozwolił na wypoczynek i nabranie sił na nadchodzące 365 dni. My także odpoczęliśmy i z początkiem roku przygotowaliśmy nową dawkę praktycznych artykułów.

Pierwszy tegoroczny „Temat wydania” traktuje o właściwościach czujników pH, które mają wpływ na zmaksymalizowanie ich żywotności. Te powszechnie występujące w licznych aplikacjach czujniki są elementem układu pomiarowego podlegającym zużyciu. W zależności od parametrów fizykochemicznych badanego medium i temperatury, ich żywotność jest różna. Producenci nieustannie starają się udoskonalać technologię produkcji, wprowadzając różne rozwiązania konstrukcyjne i funkcjonalne, tak aby maksymalnie wydłużyć żywotność wytwarzanych produktów. W celu zmaksymalizowania żywotności czujników, światowy lider firma Hamilton, wprowadził wiele innowacji, oferując szeroki wachlarz elektrod dostosowanych do konkretnych warunków aplikacyjnych.

„Kolorowe certyfikaty” to temat na czasie. Decyzja o budowie jednostki kogeneracyjnej zasilanej biogazem podejmowana jest przy uwzględnieniu możliwości uzyskania tzw. świadectw pochodzenia energii z wysoko- i niskoprężnej kogeneracji. Z uwagi na to, że otrzymanie „kolorowego certyfikatu” stanowi jeden z kluczowych czynników opłacalności inwestycji, bardzo ważne jest zapewnienie sobie zgodności całej instalacji z obowiązującymi regulacjami prawnymi. Z doświadczenia wiemy jednak, że w pogoni za minimalizacją kosztów, na etapie projektowania i wykonania jednostki kogeneracyjnej, nie uwzględnia się wszystkich wymogów stawianych przez polskie prawo. Kończy się to ogromnymi

problemami z uzyskaniem świadectw pochodzenia lub po prostu ich brakiem. Właśnie dlatego tak ważne jest stosowanie aparatury spełniającej wszystkie wymagania, posiadającej wszelkie niezbędne certyfikaty i sprawdzonej w działaniu. O tym właśnie przeczytacie Państwo w „Dobrej praktyce”.

W „Akademii automatyki” kontynuujemy rozpoczętą jeszcze w 2014 roku rozprawę z mitami dotyczącymi bezinwazyjnych pomiarów przepływu. Tym razem autor w skrócie charakteryzuje różne metody pomiarów przepływu, skupiając się na temacie wymaganych od cieków prostych, wpływających na dobór optymalnej metody pomiarowej. W artykule nie brakuje odniesień do ultradźwiękowych przepływomierzy i wpływu asymetrycznego profilu przepływu i osadu na wewnętrznej ścianie rurociągu na skuteczność bezinwazyjnej metody pomiaru przepływu.

W najnowszym numerze „Pod kontrolą” mamy dla naszych Czytelników coś wyjątkowego, czyli ... **artykuł specjalny** autorstwa pracownika naukowego Politechniki Warszawskiej. Artykuł jest oceną jakości zasilania silników indukcyjnych z przemienników częstotliwości średniego napięcia.

W 2015 roku nie rezygnujemy ze szkolenia z zakresu programowania sterowników PLC. W **Szkolenie PLC cz. 13** autor prezentuje na przykładzie wdrożonego systemu zagadnienie implementacji sekwencyjnej maszyny stanów w sterowniku.

Zapraszam do lektury

Jerzy Janota

Dyrektor ds. rozwiązań produktowych



Sukces analizatorów AWITE

Jak zwykle początek nowego roku jest okazją do podsumowania wyników tego poprzedniego. Z przyjemnością dowiedzieliśmy się, że nasze wyniki sprzedaży analizatorów biogazu AWITE dały nam wysoką pozycję w rankingu dystrybutorów. Na liście światowej znaleźliśmy się na miejscu trzecim, a w Europie – na miejscu drugim, ustępując jedynie Wielkiej Brytanii! Osiągnięcie to jest tym bardziej znaczące, że polski rynek biogazu jest znacznie słabiej rozwinięty, niż rynki niemiecki, włoski, czy brytyjski.



Analizatory biogazu AwiFLEX i AwiECO są wykorzystywane głównie do kontroli przebiegu procesów fermentacji, do nadzorowania jakości produkowanego lub oczyszczanego biogazu oraz w jednostkach kogeneracyjnych do pomiaru ilości energii chemicznej biogazu. Warto przy okazji wspomnieć, że układ do pomiaru energii AwiENERGY posiada świadectwo TÜV Sud potwierdzające, że spełnia on wymagania tzw. „Rozporządzenia kogeneracyjnego” i może być wykorzystywany do uzyskania świadectw pochodzenia energii z kogeneracji („kolorowych” certyfikatów).

PCA przedłuża akredytację dla Laboratorium Introl

Z satysfakcją możemy poinformować, że Laboratorium Pomiarowe firmy INTROL kolejny raz przeszło pozytywnie ocenę PCA i uzyskało akredytację na kolejne 4 lata do 20.05.2019 roku. Auditorzy wydając decyzję o przedłużeniu akredytacji docenili szczególnie kilka silnych stron naszego Laboratorium: kompetentny personel z doświadczeniem w zakresie prowadzonych pomiarów, dbałość o jakość wyposażenia i warunki lokalowe, współpraca z międzynarodowymi producentami i prowadzenie porównań międzynarodowych. Warto przypomnieć, że Laboratorium Pomiarowe firmy INTROL posiada akredytację już od 2003 roku, a pomiary w zakresie akredytacji wykonywane są dla przyrządów do pomiaru ciśnienia, temperatury i wilgotności.

Pełen wykaz pomiarów akredytowanych można znaleźć na stronach www.laboratoriumintrol.pl oraz www.pca.gov.pl.



Startuje blog AkademiaAutomatyki.pl

Z początkiem roku 2015 ruszył nasz nowy projekt skierowany do ludzi zawodowo lub hobbystycznie związanych z pomiarami i automatyką przemysłową. Blog AkademiaAutomatyki.pl to miejsce gdzie chcemy publikować praktyczne wskazówki, ciekawostki, studia przypadków czy mikro-wykłady. Tematy jakie będziemy poruszać na nowym blogu zawsze będą powiązane z szeroko pojętą automatyką przemysłową, ze szczególnym uwzględnieniem kontroli procesu, programowania układów sterowania, tworzenia systemów wizualizacji, zasad doboru aparatury kontrolno-pomiarowej i armatury przemysłowej oraz diagnostyki maszyn i urządzeń.

Zapraszamy do stałych odwiedzin strony:
www.akademia-automatyki.pl i zapisania się na nasz newsletter.




wejdź na www.akademia-automatyki.pl

blog Automatyków dla Automatyków



























Konwerter Modbus RTU => Modbus TCP/IP

Konwerter jest przeznaczony do wymiany danych pomiędzy urządzeniami podłączonymi do sieci Ethernet 10BASE-T i 100BASE-T a urządzeniami wyposażonymi w interfejs RS-485 i tworzącymi sieć Modbus.

Głównymi zaletami to, oprócz niskiej ceny, elastyczna adresacja w sieci Ethernet (nadpisywanie adresu MAC, statyczny lub dynamiczny adres IP), różne tryby wymiany poprzez sieć Modbus (RTU lub ASCII, z kontrolą parzystości, szeroki zakres prędkości transmisji, ustawiane opóźnienie), zabezpieczenie dostępu – filtr adresu IP i/lub hasło dostępu w celu odczytywania stanu, konfiguracji konwertera lub podłączenia do sieci Modbus, zapisu/odczytu poprzez sieć Modbus.



rejestratory@introl.pl

Nowe czujniki systemu radiowego Wisensys

Firma Wisensys oferująca radiowy system pomiarów parametrów fizycznych, przekazujący dane na odległość 1km, wprowadziła nowe modele czujników:

- radiowy czujnik wielokanałowy pozwalający przekazywać dane z kilku czujników – **WS-DLTi3/5**
- nadajnik / koncentrator Modbus RTU – pozwalający po stronie nadawczej podłączyć urządzenia z protokołem Modbus RTU i odbieranie danych po stronie bazy odbiorczej
- czujniki przeznaczone do transportu samochodowego pozwalające na monitoring on-line wartości środowiskowych w naczepie / chłodni.

Przypomijmy, że system Wisensys to bardzo praktyczny, pro-



sty w instalacji i rozbudowie bezprzewodowy system rejestracji parametrów procesowych, będący bardzo korzystną alternatywą dla skomplikowanych i kosztochłonnych systemów przewodowych.

rejestratory@introl.pl

Siłowniki elektryczne liniowe ze sprężyną powrotną

Siłowniki elektryczne z nowej serii PSF producenta PS Automation zostały wyposażone w sprężynę powrotną umożliwiającą zamknięcie zaworu w przypadku zaniku zasilania. Rozwiązanie to stanowi sporą konkurencję cenową w stosunku do siłowników z zasilaniem awaryjnym. Siłowniki te mogą być sterowane zarówno sygnałem prądowym 0(4) ... 20 mA jak i napięciowym 0(2) ... 10 V. Seria PSF napędzana jest wydajnymi, bezszczotkowymi silnikami prądu stałego, które zasilane mogą być napięciem 24V AC/DC lub dowolnym napięciem z zakresu 100-240 V AC.

armatura@introl.pl



Nowa seria ręcznych przemysłowych pirometrów LAND Cyclops



Cyclops 100L, 160L, 390L, 055L to nowa seria ręcznych pirometrów przemysłowych do aplikacji wysokotemperaturowych na temperatury od +200 do +3000°C (w kilku podzakresach) będąca udoskonaleniem znanych pirometrów Cyclops B. Najważniejszą zmianą w nowej serii jest wyposażenie pirometru we wbudowaną pamięć pozwalającą na zapis 9999 pomiarów oraz wzmocnioną obudowę chroniącą przed uszkodzeniami. Bardzo przydatne są także port Bluetooth i interfejs USB pozwalające na szybkie przesyłanie danych do przenośnej stacji zbierania danych Cyclops Data Logger lub do komputera PC. Usprawnia to cały proces rejestracji pomiarów na obiekcie umożliwiając późniejszą analizę wyników. Istnieje możliwość dokonywania i zapisu pomiaru w 4 trybach: pomiar ciągły, pomiar wartości maks., min lub średniej z serii (czas, w którym naciśnięty jest spust pomiarowy) oraz tworzenie ścieżek pomiarowych („presety” do różnych lokalizacji i obiektów na jednym zakładzie). Nowe pirometry, podobnie do poprzednich, przeznaczone są do precyzyjnych i pewnych, bezkontaktowych pomiarów temperatury materiałów o zmiennej emisyjności jak np: stal, metale kolorowe, ceramika, szkło, materiały ogniotrwałe (Cyclops 100L i 160L) oraz do aplikacji dedykowanych, jak np. pomiar w kotłach, piecach do wygrzewania lub reformowania (Cyclops 390L) oraz do pomiaru płynnych metali (Cyclops 055). Urządzenia Cyclops serii L posiadają bardzo wysokiej jakości optykę (FOV 180:1) z regulowaną ogniskową i celownikiem / wizjerem, co umożliwia pomiary z dużych odległości. Wyposażone są w wyświetlacz LCD zewnętrzny oraz wewnętrzny wizjera. Nowa seria to także szereg akcesoriów opcjonalnych: walizka transportowa, futerał żaroodporny (wymagany przy pracy na koksowniach i odlewniach), stacja zbierania danych Cyclops Data Logger, soczewki do blizy o polu pomiarowym od 0,4 mm.

pirometry@introl.pl



Nowy kalibrator ciśnienia Crystal serii HPC40

HPC40 firmy Crystal to **pierwszy na świecie kalibrator z pełną kompensacją temperatury w zakresie od -20°C do +50°C**. Oznacza to, iż deklarowana przez producenta dokładność zostanie zachowana zarówno dla pomiaru ciśnienia, jak również dla pomiaru prądu (również z zasilaniem pętli pomiarowej), napięcia oraz temperatury w znacznie szerszym zakresie temperatur w porównaniu do konkurencyjnych rozwiązań. Kalibrator w zależności od modelu może posiadać jeden lub dwa wewnętrzne moduły ciśnienia względnego z możliwością dołączenia zewnętrznych modułów ciśnienia. Dodatkowy, dedykowany moduł ciśnienia barometrycznego umożliwia pomiar ciśnienia absolutnego dowolnym modułem ciśnienia względnego. Dostępne zakresy pomiarowe ciśnienia obejmują pomiary od podciśnienia do 1000 bar w klasie od 0,035% wartości mierzonej. Posiadając w kalibratorsze dwa moduły ciśnienia możemy również mierzyć ciśnienie różnicowe z dokładnością od 0,035% wartości mierzonej.



kalibratory@introl.pl

Mierniki do pomiaru gęstości on-line firmy HAMILTON.

Nowością szwajcarskiego Hamiltona są mierniki do pomiaru gęstości przyrostu kultur komórkowych w procesach fermentacji. Pojemnościowy czujnik Incyte umożliwia ciągły pomiar i monitoring gęstości komórek kultur żywych co wpływa na optymalizację procesu. Optyczny pomiar on-line (czujnik Dencytee) zapewnia ciągły monitoring gęstości wszystkich kultur komórkowych, co umożliwia szybką analizę ich przyrostu. Optyczne czujniki gwarantują dokładny pomiar gęstości w szerokim i dynamicznie zmieniającym się zakresie pomiarowym, od niskiego do wysokiego stężenia. Wykonanie materiałowe czujników spełnia wymagania branży biotechnologicznej, umożliwia ich stosowanie w procesach autoklawowania, sterylizacji i mycia CIP. Wizualizacja i rejestracja danych prowadzona jest za pomocą 2- lub 4-kanalowego urządzenia sterującego ARC View. Istnieje możliwość podłączenia do przedmiotowego kontrolera również sond do pomiaru pH i tlenu rozpuszczonego serii ARC firmy Hamilton. Urządzenie sterujące wyposażone jest w wyjścia cyfrowe: Modbus RTU (RS485), Ethernet RJ45 (OPC XML-DA) oraz USB do pobierania danych lub uaktualniania oprogramowania. Urządzenie zarządzające, przetwarzające i rejestrujące dane pomiarowe ARC View wyposażone jest panel dotykowy.

fizchem@introl.pl



Rejestrator wideograficzny PR20 (PR30)

Rejestrator PR20 to nowa propozycja firmy BrainChild wśród uniwersalnych rejestratorów cyfrowych. Jest to następca znanych na polskim rynku rejestratorów VR06/VR18. Nowy produkt wyróżnia się większą ilością kanałów wejściowych, szybszym czasem zapisu (100 msek), obsługą większej ilości typów czujników (m.in. Pt1000), zwiększoną pojemnością pamięci wewnętrznej.



Rejestrator prócz sygnałów analogowych może prowadzić rejestrację danych gromadzonych poprzez sieć (Modbus RTU). Dane rejestrowane są w pamięci cyfrowej i/lub karcie SD (USB). Zastosowany wyświetlacz 5,6" obsługiwany jest dotykowo lub poprzez mysz podłączoną w port USB. Wyświetlacz umożliwia prezentację danych zarówno w postaci słupków i wykresów, jak i poprzez graficzną wizualizację procesu. Do zarejestrowanych danych możliwe jest dodawanie odrębnych komentarzy bezpośrednio na ekranie rejestratora z danymi. Rejestratory posiadają także funkcję WebServer pozwalającą na podgląd rejestrowanych danych w sieci internet.

rejestratory@introl.pl

Nowy przetwornik punktu rosy od E+E Elektronik

Przetwornik EE354 został zaprojektowany do monitoringu aplikacji, w których nie jest konieczny pomiar poniżej -20°C temperatury punktu rosy. Zawężenie zakresu pomiarowego pozwoliło uzyskać wysoką dokładność pomiaru (max. 1°C Td) oraz obniżyć koszt produkcji, przez co urządzenie proponowane jest w atrakcyjnej cenie. Przetwornik posiada wyjście analogowe w postaci sygnału 4÷20 mA oraz cyfrowe (RS485) w protokole Modbus RTU. Zastosowanie wyjścia cyfrowego pozwala na znaczne uproszczenie gromadzenia danych w systemach rozproszonych, a także bezpośredni odczyt przez nadrzędny system kontroli, np. panel operatorski. Typowymi aplikacjami, które mogą być monitorowane przez ten przetwornik to osuszacze powietrza i układy sprężonego powietrza.



wilgotnosc@introl.pl

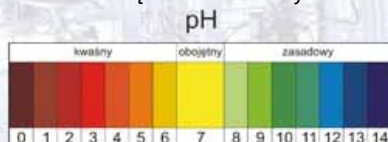


Dłuższa żywotność procesowych elektrod do pomiaru pH

Wielkość pH jest jednym z podstawowych parametrów monitorowanych i kontrolowanych w sposób ciągły w wielu aplikacjach procesowych. Warunki procesowe wymagają zastosowania coraz to bardziej udoskonalonych czujników gwarantujących długoterminową stabilność pomiarową. W celu maksymalizacji żywotności procesowych elektrod pH firma Hamilton wprowadziła szereg innowacji, umożliwiając dobór najbardziej optymalnego czujnika do danych warunków procesowych.

SZCZYPOTA TEORII, CZYLI CZYM JEST pH

Skala pH określa kwasowość lub zasadowość wodnych roztworów związków chemicznych w skali 0-14.



Budowa elektrody kombinowanej

Wartość pH jest definiowana jako ujemny logarytm dziesiętny aktywności zawartych w roztworze wodnym jonów hydroniowych.

$$pH = -\log_{10} [H_3O^+]$$

Do określania pH wykorzystuje się różne metody oznaczania. Najpopularniejsze a jednocześnie najmniej dokładne są wskaźniki kwasowości. Inną metodą jest miareczkowanie potencjometryczne, w której zobojętnia się mierzoną próbkę dokładnie odmierzonymi ilościami kwasu lub zasady aż do uzyskania SEM = 0 ogniwa pH – metrycznego.

W zakresie pomiarów procesowych online stosuje się metodę potencjometryczną nazywaną pH-metrią. **Metoda potencjometryczna** polega na pomiarze siły elektromotorycznej ogniwa złożonego ze wskaźnikowej elektrody szklanej, której potencjał zależy od aktywności oznaczanego jonu i elektrody odniesienia (referencyjnej), której potencjał w trakcie pomiarów jest stały i niezależny od aktywności oznaczanego jonu.

Zależność tę opisuje równanie Nernsta:

$$E = \frac{R \times T}{n \times F} \times \log \frac{C_1}{C_2}$$

E – różnica potencjałów [mV]

R – stała gazowa ($8,31441 J \times K^{-1} \times mol^{-1}$)

T – temperatura bezwzględna [K]

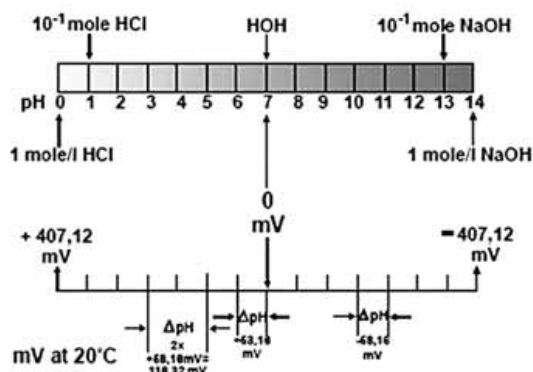
F – stała Faraday'a ($96486,7 \pm 0,54 C \times mol^{-1}$)

n – wartościowość jonu oznaczanego ($n_H = 1$)

C_1 – aktywność jonów hydroniowych w roztworze C_1

C_2 – aktywność jonów hydroniowych w roztworze C_2

Zgodnie z równaniem Nernsta wartość pH



Do oznaczania pH powszechnie stosowane w analizie potencjometrycznej są elektrody szklane tzw. kombinowane.

BUDOWA KOMBINOWANEJ ELEKTRODY PROCESOWEJ pH

Elektroda kombinowana składa się ze szklanej elektrody pomiarowej, elektrody odniesienia (porównawczej) i połączenia elektrolitycznego.

Elektroda pomiarowa to wąska szklana rurka zakończona membraną w kształcie bańki. Wewnątrz

wypełniona roztworem buforowym o znanym pH, zawierającym chlorki.

Membrana w elektrodzie pomiarowej wykonana jest ze specjalnego gatunku szkła sodowego. W kontakcie z ciekłym roztworem na powierzchni membrany formuje

się uwodniona warstwa żelowa (0,001 mm), selektywna dla jonów wodorowych. Pomiędzy zewnętrzną warstwą żelową, a roztworem pomiarowym wytwarza się potencjał elektryczny.

Ponieważ roztwór wypełniający wnętrze elektrody jest roztworem buforowym, czyli jego wartość pH jest stała, to zmiany potencjału zależą wyłącznie od zmian wartości pH roztworu mierzonego.

Elektrodę referencyjną stanowi drut srebrny pokryty warstwą chlorku srebra zanurzony w roztworze buforowym KCL. Na końcu elektrody umieszczone jest połączenie elektrolityczne stanowiące łączące pomiędzy roztworem mierzonym a roztworem wypełniającym elektrodę.

Połączenie elektrolityczne umożliwia przepływ elektrolitu do roztworu, natomiast uniemożliwia przedostanie się tego roztworu do wnętrza elektrody odniesienia.

MAKSYMALIZACJA ŻYWOTNOŚCI ELEKTROD pH FIRMY HAMILTON

W celu zapewnienia maksymalnej żywotności procesowych elektrod kombinowanych do pomiaru pH, firma Hamilton wprowadziła w swoich rozwiązaniach kilka innowacji.

Różnorodność membran w czujnikach do pomiaru pH firmy Hamilton umożliwia dobór najbardziej optymalnej elektrody do danych warunków procesowych badanego medium. Membrany szklane typu H odznaczają się dobrą odpornością chemiczną, gwarantując długoterminową stabilność pomiarową. Minimalny wpływ alkaliów na szkło typu H pozwala uzyskać dokładne pomiary



mediów o wysokim pH lub temperaturze (do 130°C).

Membrany typu PHI z kolei gwarantują powtarzalność pomiarów w procesach sterylizacji parą, mycia CIP i autoklawowania przy temperaturach do 140°C. Tego typu szkło cechuje minimalny dryft i praktycznie zerowe przesunięcie wartości pomiaru w wyniku przeprowadzonych procesów sterylizacji i mycia.

Szkło typu HF daje natomiast najdłuższą możliwą żywotność czujników pracujących w roztworach zawierających kwas fluorowodorowy.

Układ referencyjny z barierą jonową – układ referencyjny w czujnikach do pomiaru pH firmy Hamilton wyposażony jest w barierę jonów utrudniającą przedostawanie się jonów srebra do elektrolitu, co zapobiega zatrutowaniu elektrody. Tego typu wykonanie układu referencyjnego ma szczególne znaczenie przy pomiarach pH mediów zawierających jony siarczkowe, jony amonowe, halogenki; które mogą wchodzić w interakcje z jonami srebra zatykając (zanieczyszczając) diafragmę. System referencyjny z barierą jonową polepsza stabilność potencjału referencyjnego oraz wydłuża żywotność elektrody kombinowanej kilkukrotnie w porównaniu z elektrodami standardowymi, niewyposażonymi w barierę.

Elektrolity: POLISOLVE i FOODLYTE – elektrody wypełnione standardowym elektrolitem żelowym lub polimerowym zawierającym KCL, przeważnie nie pracują w pełnym zakresie pH ani w szerokim zakresie temperatur. Opatentowany elektrolit polimerowy POLISOLVE, którym wypełniony jest układ referencyjny w elektrodach pH firmy Hamilton umożliwia pomiar w pełnym zakresie pH 0 – 14 oraz w przedziale temperatur od -10°C do 140°C. Zastosowanie elektrolitu POLISOLVE zapewnia bezobsługową pracę elektrody, co ma znaczący wpływ na wydłużenie jej żywotności.

Elektrolit FOODLYTE został opracowany specjalnie dla potrzeb przemysłu farmaceutycznego, biotechnologicznego i spożywczego. Elektrolit jest bezwonny, bezsmakowy oraz biokompatybilny. Elektrody wypełnione elektrolitem FOODLYTE są przeznaczone do aplikacji, w których zachodzą procesy sterylizacji, mycia CIP i autoklawowanie (temp. do 140°C).



Kolejnym nowoczesnym rozwiązaniem jest **diafragma typu otwartego**, którą stanowi pojedyncza cienka kapilara o średnicy 2000 razy większej od mikroskopijnych kanalików, jakie zawierają standardowe membrany ceramiczne. W ten sposób wyeliminowano problem zatykania mikroskopijnych kanalików w membranach ceramicznych przy pomiarach roztworów zawierających zabrudzenia lub zawiesinę.

Diafragma typu otwartego uniemożliwia przedostanie się roztworu mierzzonego do wnętrza elektrody

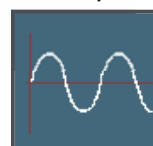
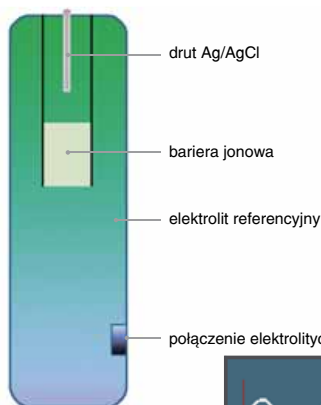
odniesienia, jednocześnie ułatwiając i przyspieszając ruch jonów, co ma wpływ na szybki czas odpowiedzi i zwiększenie dokładności pomiarów. Czujniki pH firmy Hamilton z diafragmą typu otwartego zostały uznane przez Niemiecki Federalny Instytut Fizyczno-Techniczny w Brunshwiku za najdokładniejsze elektrody pomiarowe.



Diafragma typu otwartego w układzie odniesienia czujników gwarantuje stabilny i odtwarzalny potencjał, szybki czas odpowiedzi, najwyższą dokładność pomiarów oraz zapobiega zatykaniu umożliwiając łatwe i szybkie czyszczenie.

Ostatnim rozwiązaniem mającym znaczący wpływ na wydłużenie żywotności jest **zintegrowany przetwornik**. Cyfrowe czujniki do pomiaru pH firmy Hamilton zostały wyposażone w dwa interfejsy: analogowy 2x 4÷20 mA i cyfrowy 2x Modbus umożliwiając bezpośrednie połączenie z systemem. Wszystkie

dane kalibracyjne, procesowe przechowywane są w pamięci zintegrowanego w głowicy czujnika pH przetwornika, co umożliwia kalibrację elektrody w dogodnych (stabilnych) warunkach laboratoryjnych minimalizując błędy. Funkcja samodiagnostyki elektrod pozwala na podjęcie odpowiednich działań prewencyjnych, co ma istotny wpływ na przedłużenie ich żywotności.



4 ... 20 mA



Modbus

PODSUMOWANIE

Reasumując niniejszy artykuł należy zaznaczyć, że wprowadzone przez firmę Hamilton liczne udoskonalenia w elektrodach do pomiaru pH realnie wpływają na maksymalizację ich żywotności. Dodając do tego szeroką ofertę czujników, pozwalającą na dobór najbardziej optymalnej elektrody do danych warunków procesowych badanego medium, możemy być pewni, że odpowiednio dobrane elektrody będą pracowały znacznie dłużej niż te stosowane do tej pory.



Ewa Słomska-Czop

Absolwentka Wydziału Paliw i Energii na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W Introlu pracuje na stanowisku menadżera produktu w dziale pomiarów fizykochemicznych.

Tel: 32 789 00 67



Membrana



Diafragma typu otwartego



Bariera jonowa



Komunikacja w elektrodach Hamilton



Elektroda pH Easyferm Plus



Wykorzystanie układu AwiENERGY w procesie uzyskiwania świadectw pochodzenia

Budowa jednostki kogeneracyjnej zasilanej biogazem jest przedsięwzięciem podejmowanym z uwagi na możliwość wykorzystania dostępnego biogazu, produkcję ciepła (głównie na własne potrzeby) oraz energii elektrycznej (na potrzeby własne bądź na sprzedaż). Jednym z czynników wpływających na opłacalność przedsięwzięcia jest możliwość uzyskania tzw. świadectw pochodzenia energii z wysokosprawnej kogeneracji (inaczej nazywanych też „kolorowymi” certyfikatami). Obowiązujące przepisy wymagają dokonywania pomiaru ilości energii chemicznej paliwa zużywanego w jednostce kogeneracyjnej. Taki pomiar jest pomiarem pośrednim, realizowanym poprzez pomiar ilości spalanego gazu oraz zawartości metanu. Zadanie jest proste, jak się jednak okazuje, tylko pozornie.

PROBLEM

Źródłem problemów jest dosyć powszechne przekonanie, że w doborze aparatury pomiarowej jedynym kryterium jakim należy się kierować jest cena. Nie bierze się pod uwagę trwałości i jakości urządzeń, późniejszych kosztów eksploatacji, serwisów i napraw, a także strat, jakie powstają w sytuacji braku wiarygodnych wyników lub braku pomiaru w ogóle. Z taką sytuacją mieliśmy do czynienia w opisywanym przypadku. Dopływ biogazu do CHP został opomiarowany za pomocą typowego gazomierza oraz analizatora zawartości metanu. Zbieranie danych odbywało się poprzez bezpośredni odczyt i odnotowanie bieżącego stanu licznika gazu oraz zawartości CH_4 . Brak systematyczności w prowadzeniu zapisów oraz niestabilność pracy anali-

świadectw pochodzenia energii. Oznaczało to dla niego stratę finansową wielokrotnie przewyższającą oszczędności osiągnięte z racji zakupu tańszej aparatury.

W takich okolicznościach doszło do spotkania z właścicielem instalacji. Pamiętając o wcześniejszych doświadczeniach określił swoje wymagania co do urządzeń pomiarowych. Układ miał działać bezobsługowo (nie jest wymagana obsługa codzienna) – wszystkie dane pomiarowe miały być rejestrowane w pamięci, z możliwością ich „rzucenia” do pamięci przenośnej. Urządzenia miały działać stabilnie i dostarczać wiarygodnych danych pomiarowych. I wreszcie, układ miał spełniać wymagania obowiązujących przepisów i pozwalać na rozliczenia z URE.

ROZWIĄZANIE

Zaproponowane rozwiązanie spełniło wszystkie oczekiwania klienta. W miejsce dotychczasowych urządzeń zainstalowano układ AwiENERGY, składający się termicznego przepływomierza masowego ST51 Biogas oraz analizatora biogazu AwiFLEX Cool+.

Przepływomierz ST51 mierzy w sposób ciągły ilość biogazu dostarczanego do spalania w jednostce kogeneracyjnej. Urządzenie jest łatwe w montażu i demontażu – sensor jest wsuwany do rurociągu przez króciec i zawór kulowy, jest to możliwe bez zatrzymywania przepływu przez rurociąg.

Typowa jednostka kogeneracyjna



Przepływomierz ST51 Biogas

Analizator biogazu AwiFLEX



zatora doprowadziły do tego, że część zgromadzonych wyników została zakwestionowana podczas audytu kontrolnego, na skutek czego właściciel nie uzyskał

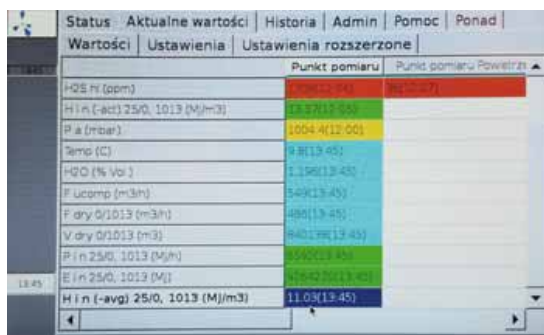


Przepływomierz nie posiada żadnych elementów ruchomych i nie wymaga żadnej obsługi. ST51 jest wyposażony w dwa wyjścia analogowe, na których dostępne są aktualny przepływ i temperatura biogazu – obie informacje są wprowadzane na wejścia analizatora AwiFLEX. Termiczny przepływomierz masowy dostarcza informacji o przepływie w $[\text{Nm}^3/\text{h}]$, co jest zgodne z wymaganiami Rozporządzenia kogeneracyjnego. Jednocześnie jest to urządzenie niewrażliwe na

wilgoć i zanieczyszczenia oraz odporne na agresywne działanie składników biogazu.

Podstawowym zadaniem analizatora AwifLEX jest pomiar i rejestracja składu biogazu – pomiar stężenia metanu CH_4 dla określenia wartości opałowej biogazu oraz pomiar stężenia siarkowodoru H_2S dla kontroli jakości gazu i skuteczności instalacji odsiarczania (producent silnika określa graniczną dopuszczalną zawartość H_2S). Pobór próbki do analizy odbywa się okresowo, co pół godziny. Jest to dobry kompromis między wymaganiami przepisów, a trwałością sensorów elektrochemicznych. Wartość opałowa biogazu jest wyliczana jako iloraz aktualnego stężenia metanu CH_4 i wartości opałowej gazu zawierającego 100% metanu ($\% \text{CH}_4 \cdot 35.818 \text{ MJ/Nm}^3$ wg normy PN-EN ISO 6976). Warto zauważyć, że AwifENERGY jest **jedynym na rynku układem**, który do wyliczeń ilości zużywanego biogazu wprowadza korektę od zmian jego składu (tablice korekcyjne w pamięci analizatora) oraz wilgotności. Do ciągłego pomiaru wilgotności biogazu jest wykorzystywany sensor EE300EX firmy E+E.

W oparciu o bieżący pomiar ilości biogazu oraz wyliczoną wartość opałową, wyliczana jest automatycznie ilość energii chemicznej – dostępna jest wartość chwilowa oraz stan sumatora energii. Wszystkie wartości mierzone (przepływ Fdry [Nm^3/h], temperatura Temp [$^\circ\text{C}$], stężenia CH_4 [%] i H_2S [ppm], ilość biogazu Vdry [Nm^3]) oraz wyliczane (wartość opałowa Hin (-act) [MJ/Nm^3], energia chwilowa Pin [MJ/h], energia dostarczona Ein [MJ]) są rejestrowane w pamięci analizatora wraz ze stemplem czasowym. Całą zawartość pamięci można przeglądać na ekranie analizatora w postaci tabelarycznej lub jako przebiegi czasowe. Dostęp do danych jest chroniony hasłem, osoba nieupoważniona nie ma możliwości ich usuwania lub zerowania stanów liczników.



Wartości	Ustawienia	Ustawienia rozszerzone
H ₂ S (ppm)	1.004	1.004
H ₂ (act) 25/0, 1013 (Nm ³)	11.03	11.03
P _a (bar)	1.004	1.004
Temp (C)	1.004	1.004
F _{dry} (Nm ³ /h)	1.004	1.004
F _{dry} 0/1013 (Nm ³ /h)	1.004	1.004
V _{dry} 0/1013 (Nm ³)	1.004	1.004
P _{in} 25/0, 1013 (MJ/h)	1.004	1.004
E _{in} 25/0, 1013 (MJ)	1.004	1.004
H _{in} (-avg) 25/0, 1013 (MJ/m ³)	11.03	11.03

Dane zgromadzone w pamięci analizatora służą właścicielowi jednostki kogeneracyjnej do przygotowania wniosków o wydanie świadectw pochodzenia energii z kogeneracji oraz do sporządzenia rocznego sprawozdania. Jeżeli analizator komunikuje się z układem sterowania/ zbierania danych, dane pomiarowe oprócz rejestracji w wewnętrznej pamięci są na bieżąco przesyłane do tego systemu. Najczęściej dane do przygotowywanych dokumentów są pobierane za pośrednictwem stacji operatorskiej. W opisywanym przypadku układ pomiarowy pracuje niezależnie, bez połączenia z systemem. Upoważniona osoba kopiuje wyniki pomiarów do przenośnej pamięci podłączonej do gniazda USB, a następnie wykorzystuje je przy wypełnianiu dokumentów niezbędnych przy rozliczeniach.

Podczas kopiowania do pamięci przenośnej trafiają wszystkie dane zarejestrowane przez analizator, także te, które nie są potrzebne do rozliczeń jak np. ciśnienie atmosferyczne, zawartość H_2S w otoczeniu analizatora

lub temperatura pracy chłodnicy. Do analizy danych oraz selekcji parametrów potrzebnych do dalszego opracowania wykorzystuje się oprogramowanie AwifVIEW. Dla ułatwienia dostępu do oprogramowania, jest ono zawsze kopiowane do pamięci przenośnej wraz z danymi pomiarowymi.

Ułatwieniem najbardziej docenianym przez użytkowników systemu AwifENERGY jest dostępność wszystkich informacji potrzebnych podczas przygotowania sprawozdania. W jednym pliku otwieranym w programie Excel, widoczne są: średnie stężenie metanu [$\% \text{CH}_4$], średnia wartość kaloryczna [kJ/Nm^3], ilość zużytego biogazu [Nm^3] oraz ilość energii chemicznej dostarczonej z biogazem [GJ]. Wszystkie te dane pochodzą z jednego źródła i ich zgromadzenie nie wymaga żadnych „ręcznych” operacji, co znacząco redukuje możliwość popełnienia błędu.

NA ZAKOŃCZENIE...

Możliwość uzyskania świadectw pochodzenia energii z kogeneracji jest uwarunkowana posiadaniem na granicy bilansowej jednostki przyrządów pomiarowych, spełniających odpowiednie wymagania techniczno-prawne. Niezbędne jest opomiarowanie wytwarzanej energii elektrycznej i ciepła użytkowego oraz energii chemicznej paliwa zużytego do ich wytworzenia. W przypadku pomiarów energii elektrycznej, ciepła niesionego przez wodę oraz ilości gazu ziemnego, konieczne jest stosowanie przyrządów posiadających zatwierdzenie typu/legalizację. Urządzenia mierzące ciepło niesione przez parę lub olej grzewczy oraz ilość i energię chemiczną biogazu NIE PODLEGAJĄ prawnej kontroli metrologicznej. W przypadku tych przyrządów zatwierdzenia typu i legalizacje nie są wymagane, i co z tym związane, nie są dostępne. Dobra praktyka mówi, że w odniesieniu do takich urządzeń należy prowadzić regularne przeglądy, a jeżeli to możliwe, także kalibracje lub wzorcowania. Przepisy nie określają częstotliwości przeprowadzania takich czynności, jednak producenci i audytorzy zalecają, aby robić to nie rzadziej, niż 1 raz w roku.

W przypadku analizatorów składu biogazu AwifLEX i AwifECO kalibracja jest przeprowadzana raz do roku, i jest to wystarczające do uzyskania dokładnych i wiarygodnych pomiarów. Kalibrację przeprowadza się przy użyciu odpowiednich gazów wzorcowych, a po jej zakończeniu właściciel jednostki kogeneracyjnej otrzymuje świadectwo kalibracji oraz kopię certyfikatu zastosowanego gazu wzorcowego.

Ostatecznym argumentem przekonującym właścicieli jednostek kogeneracyjnych do zastosowania układu AwifENERGY jest świadectwo weryfikacyjne wydane przez TÜV Sud Polska. Dokument ten potwierdza, że układ AwifENERGY spełnia wymagania Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 26 lipca 2011 r. (Dz. U. 2011, Nr 176, poz.1 052) i może być wykorzystywany do uzyskiwania świadectw pochodzenia energii z kogeneracji.



Jerzy Janota

Jest absolwentem Wydziału Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W Introlu pracuje od 22 lat. Obecnie na stanowisku Dyrektora ds. Rozwiązań Produktowych.

Tel: 32 789 00 09



Dane pomiarowe na ekranie analizatora AwifLEX



Potwierdzenie weryfikacyjne TÜV

AwiENERGY – pomiar energii chemicznej biogazu i gazu z odmetanowania kopalń



- jeden układ – wszystkie parametry (przepływ, analiza składu, temperatura, wilgotność, wartość kaloryczna, energia chemiczna gazu)
- praca w układzie niezależnym lub integracja z systemem sterowania (Profibus, Modbus, Profinet, Ethernet...)
- polski interfejs użytkownika
- pozwala uzyskać świadectwa pochodzenia energii z kogeneracji (Świadectwo TUV Sud Polska)



Szczegółowe informacje: biogaz@introl.pl
www.pomiarbiogazu.pl

Przedsiębiorstwo Automatykacji i Pomiarów
Introl Sp. z o.o.

www.introl.pl



Bezinwazyjne pomiary przepływu, czyli rozprawa z mitami – cz. 2

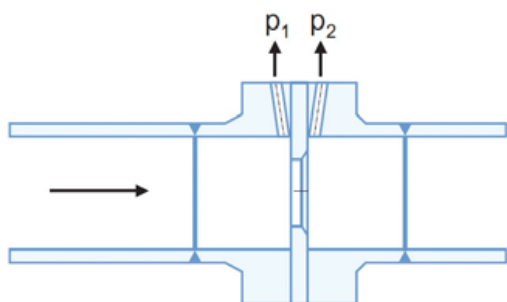
Zjawiska przepływowe związane z ruchem płynu są zagadnieniami złożonymi. Pomiary przepływu cieczy lub gazów są możliwe do prowadzenia w różnorodny sposób, przy wykorzystaniu szeregu metod i urządzeń pomiarowych, które wciąż ulegają postępowi technologicznemu. Wiele z tych metod jest standardowymi rozwiązaniami pomiarowymi stosowanymi od lat. Ale czy są one faktycznie przysłowiowym „złotym środkiem”?

Kontynuując „Akademię automatyki” z poprzedniego numeru porównajmy zatem różne metody w odniesieniu do często niedocenianych bezinwazyjnych przepływomierzy ultradźwiękowych.

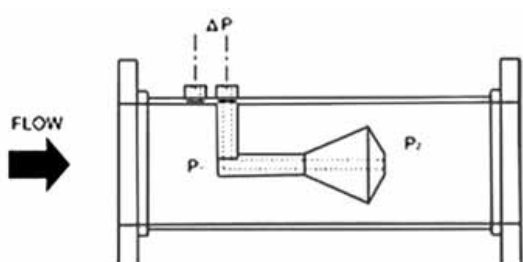
ODCINKI PROSTE

W specyfikacji technicznej oraz wymogach instalacyjnych u każdego producenta przepływomierzy znajduje się informacja o wymaganiach zachowania prostego odcinka przed oraz za miejscem – lokalizacją montażu przepływomierza. Ma to związek z profilem przepływu, którego istotę opisaliśmy w poprzednim numerze „Pod kontrolą”. Różne przepływomierze z uwagi na mnogość dostępnych metod pomiarowych będą reagować bardzo różnie na lokalizację ich zamontowania.

PRZEPŁYWOMIERZE RÓŻNICY CIŚNIEŃ

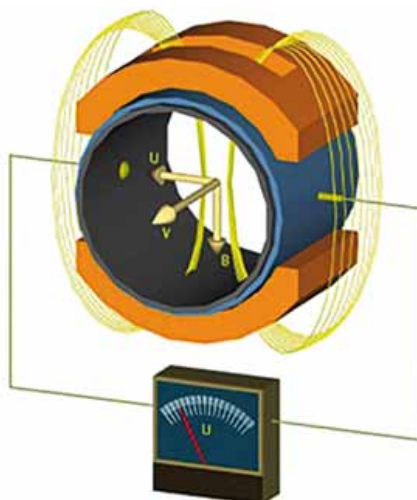


Przepływomierze te bazują na pomiarze spadku ciśnienia w płynącym płynie, spowodowanego zwężeniem wewnątrz rurociągu. Metoda ta została zastosowana zgodnie z teorią Daniela Bernoulliego sformułowaną w XVIII w. Ogólne określenie przepływomierzy różnicy ciśnień dotyczy kryz, zwężek Ventouriego, dysz oraz elementów stożkowych. Zaburzony profil przepływu może doprowadzić w tym przypadku do odchyżeń wskazań względem wartości rzeczywistej natężenia przepływu. W większości przypadków zawirowania obecne w przepływie powodują wskazywanie przez urządzenia wartości niższych niż wartości rzeczywiste. W przypadku elementów stożkowych, w niektórych przypadkach nie wymaga się spełnienia zachowania odcinków prostych. Wówczas elementy pomiarowe (stożki) same w sobie są swego rodzaju prostownicą przepływu.



PRZEPŁYWOMIERZE ELEKTROMAGNETYCZNE

Ten typ przepływomierza nadaje się wyłącznie do mediów przewodzących i mierzy spadek napięcia indukowany przez przepływającą ciecz w polu elektromagnetycznym. Producenci sugerują zachowanie odcinka prostego o długości co najmniej 5x DN, ale generalnie można stwierdzić, że przepływomierze elektromagnetyczne nie są tak bardzo wrażliwe na zaburzenie profilu przepływu, jak inne typy przepływomierzy.



Przepływomierz elektromagnetyczny – schemat

Przepływomierz różnicy ciśnień – schemat

PRZEPŁYWOMIERZE TURBINKOWE

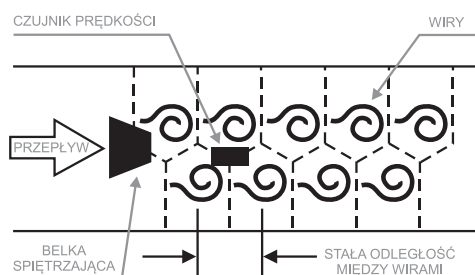
Wpływ zaburzeń profilu przepływu w przepływomierzach turbinkowych jest dość silnie uzależniony od konstrukcji łopatek turbinki. Jeżeli zawirowania ułożone będą w tym samym kierunku w jakim następuje obrót łopatek, wówczas zawirowania spowodują zwiększenie prędkości obrotowej. Wynikiem tego będzie zawyżanie wskazań mierzonego przepływu. W odwrotnej sytuacji, kiedy zawirowania występują w przeciwnym kierunku, urządzenie będzie zaniżało wskazania.

PRZEPŁYWOMIERZE WIROWE (VORTEX)

Ten typ przepływomierzy pracuje w oparciu o celowe wymuszenie zaburzenia, które ma na celu wygenerowanie wirów w płynącej strudze. Natężenie przepływu obliczane jest przez monitorowanie częstotliwości tworzenia się wirów. Oznacza to, że dodatkowe zaburzenia w przepływie mogą negatywnie wpłynąć na obliczenia i tym samym wskazania przepływomierza. W niektórych przypadkach może być wymagane zastosowanie odcinka prostego o długości ok. 70xDN przed miejscem zabudowy przepływomierza. Przepływomierze wirowe są dodatkowo wrażliwe na wibracje oraz pulsacje przepływu.

Stożek spiętrzający – schemat

Przeptywomierz
wirowy – schemat



PRZEPŁYWOMIERZE MECHANICZNE

Przeptywomierze mechaniczne jak np. owalno-kółkowe (*positive displacement*) lub tłokowe, gdzie przepływająca struga cieczy wprawia w ruch element pomiarowy, którego przesunięcie odpowiada pewnej zadanej objętości, są jednymi z niewielu urządzeń niewrażliwych na wpływ występowania zaburzeń przepływu. Są one jednak wrażliwe na inne czynniki, np. zmiany lepkości cieczy, czy zabrudzenia, ale jest to już inna historia.

PRZEPŁYWOMIERZE MASOWE CORIOLISA

Zasada działania przeptywomierzy masowych Coriolisa opiera się na pomiarze sił generowanych przez przepływ płynu przez oscylujące rurki. Siły wzbudzają się w wyniku efektu Coriolisa i powodują przesunięcia fazowe oscylacji rurek pomiarowych względem siebie. Siła wspomnianego przesunięcia fazowego jest wprost proporcjonalna do przepływu masowego danego płynu. Z uwagi na fakt, że przeptywomierze Coriolisa mierzą bezpośredni przepływ masowy, nie są wrażliwe na wpływ instalacji przeptywomierza i tym samym zaburzenia profilu przepływu. Jednakże są wrażliwe na naprężenia mechaniczne wynikające ze złej zabudowy. Skomplikowanie konstrukcji przeptywomierza Coriolisa niestety przekłada się na jego wysoką cenę.

PRZEPŁYWOMIERZE ULTRADŹWIĘKOWE

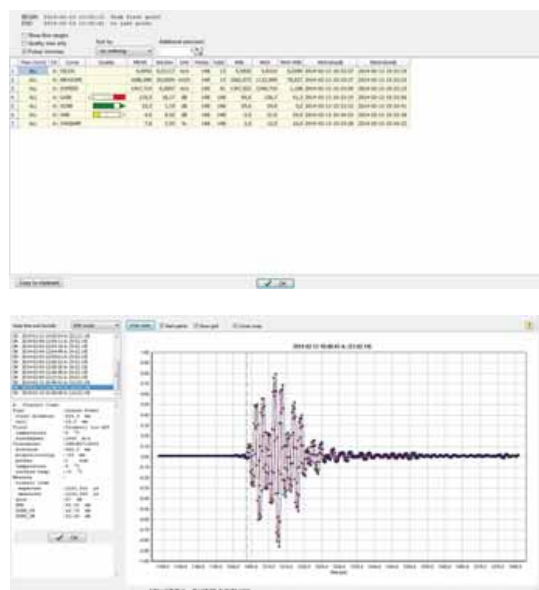
Większość przeptywomierzy ultradźwiękowych pracuje w oparciu o zasadę Transit-Time, gdzie sygnał ultradźwiękowy przemieszcza się pomiędzy dwoma czujnikami. Przejście sygnału odbywa się zarówno z prądem jak i pod prąd mierzonego medium. Zaburzenia w profilu przepływu mają negatywny wpływ na czas przejścia ścieżki mając tym samym wpływ na wskazanie przeptywomierza. Dotyczy to zarówno urządzeń inwazyjnych, gdzie czujniki mają bezpośredni kontakt z medium, jak i tych bezinwazyjnych.

Wpływ asymetrycznego profilu przepływu lub wirów na pomiar jest uzależniony głównie od charakteru przejścia ścieżki sygnału ultradźwiękowego. Można powiedzieć, że im przeptywomierz ma więcej ścieżek (przejść sygnału przez przekrój rurociągu) tym lepiej dla pomiaru. Większa ilość ścieżek przejścia zwiększa uśrednianie profilu przepływu. Istotnym faktem jest, że niektóre przeptywomierze ultradźwiękowe posiadają własną auto-diagnostykę, która w sposób pośredni może wskazać czy w lokalizacji zabudowy przeptywomierza ultradźwiękowego występują niekorzystne zaburzenia przepływu. Nie należy mylić tego z wyliczeniem lub kompensacją błędu pomiarowego wynikającego z tych zaburzeń – tak daleko technika ultradźwiękowa w pomiarach przepływu jeszcze nie doszła.

DIAGNOSTYKA I OCENA JAKOŚCI POMIARU

Pomiar parametrów sygnałowych ścieżki przejścia sygnału ultradźwiękowego polega głównie na pomiarze

siły oraz jakości odbieranego sygnału. Można jednakże analizować jeszcze równolegle kilka innych parametrów związanych z propagacją fali w medium oraz medium i ścianie rurociągu (przeptywomierze bezinwazyjne). Producenci umożliwiają analizę parametrów użytkownikom, nie jest to jednak proste bez lepszego poznania urządzenia. Nieliczni producenci w dokumentacji technicznej podają wartości progowe pewnych sygnałów diagnostycznych, które są wymagane do tego aby urządzenie pracowało zgodnie z założeniami specyfikacji producenta. Dodatkowo, oprogramowanie do akwizycji danych z przenośnych przeptywomierzy bezinwazyjnych również umożliwia prostą wizualizację jakości parametrów. Na rysunku poniżej widać kolory: zielony, żółty oraz czerwony, oznaczające odpowiednio dobry, poprawny, słaby poziom sygnału



Dzięki bardzo wysokiemu próbkowaniu (1000 Hz) oraz cyfrowej analizie dodatkowych parametrów tj. fluktuacji amplitudy lub czasu przejścia pojedynczej ścieżki, bezinwazyjne przeptywomierze typu „Clamp-on” są w stanie wychwycić odchylenia. Tym samym wskazują pośrednio, że wyniki pomiaru mogą być obciążone dodatkowym błędem wynikającym z zaburzeń przepływu. Taka analiza możliwa jest niezależnie od rodzaju medium (ciecz lub gaz).

Diagnostyka sygnałowa przeptywomierzy bezinwazyjnych jest również sporym ułatwieniem podczas uruchamiania takiego przeptywomierza oraz znajduje dobre zastosowanie podczas testów przed finalnym montażem przeptywomierza stacjonarnego, pozwalając na weryfikację możliwości i jakości pomiaru w miejscu zabudowy. Wykonanie testów jest bardzo proste z uwagi na bezinwazyjność montażu oraz pozwala potwierdzić czy przeptywomierz będzie działał poprawnie czy też nie. Zważywszy na inwazyjność innych, wspomnianych wyżej metod pomiarowych, wcześniejsza „przymiarka” przeptywomierza w przeważającej ilości przypadków nie jest możliwa. Diagnostyka sygnałowa pomaga również w analizie otrzymanych danych pomiarowych w przypadku używania przenośnego przeptywomierza bezinwazyjnego do badania przepływów lub oceny innych przeptywomierzy na danej instalacji. Użytkownik takiego urządzenia ma możliwość zweryfikowania tego czy sygnały diagnostyczne są zgodne z zaleceniami producenta i tym samym czy jego pomiary są zgodne ze stanem faktycznym.

Podgląd sygnałów
diagnostycznych prze-
ptywomierza bezinwa-
zyjnego FLEXIM

Echo sygnału – analiza
jakości pomiaru

Warto przy okazji zaznaczyć, że wielu producentów, w szczególności tanie propozycje z „Dalekiego Wschodu”, nie przywiązują wagi do jakiegokolwiek diagnostyki sygnałowej. Jak nie trudno się domyśleć, ma to niebagatelny wpływ na jakość pomiaru.

OSAD ŚCIANKI WEWNĘTRZNEJ

Jednym z mitów odnośnie możliwości pracy bezinwazyjnych przepływomierzy jest kwestia występowania kamienia lub innych narostów wewnątrz ścianki rurociągu. Istnieje wśród użytkowników opinia, że wewnętrzne narosty uniemożliwiają pracę przepływomierza bezinwazyjnego lub powodują duże zafałszowanie wartości pomiaru. W istocie samo obrastanie jest przeszkodą i zjawiskiem niepożądanym, ale są sposoby radzenia sobie w tych jakże trudnych warunkach pomiarowych.

Wewnętrzny osad może mieć wielorakie pochodzenie, od kamienia w aplikacjach na wodzie ciepłej lub biologiczny narost w instalacjach wody surowej, po osady pochodzenia chemicznego. Wszystkie powyższe stanowią przeszkodę dla sygnału ultradźwiękowego i mają często bardzo silne własności tłumiące ten sygnał. Można powiedzieć, że jeżeli sondy emitują sygnał ultradźwiękowy z pewną mocą początkową, to jedynie ok. 20-25% tej mocy jest w stanie wyjść ze ścianki rurociągu do mierzonej cieczy, dając tym samym efekt pomiarowy. W przypadku gazów mówimy o ok. 2-5% energii początkowej sygnału wyemitowanej przez sondy. Co zatem dzieje się zresztą energii? Każdy ośrodek, przez który sygnał przechodzi, wytłumia sygnał, nawet od samego początku – czyli od materiału sondy, który jest najczęściej kompozytem wykonanym z tworzywa sztucznego. Następnie sygnał przenika z sondy poprzez żel sprzęgający lub matę sprzęgającą (Viton) do rurociągu, gdzie rozchodzi się po całym jego obwodzie i wnika do medium. W mierzonym medium wysłany sygnał, o ile jest wystarczająco silny może ulec wielokrotnemu odbiciu, dając wspomniany efekt pomiarowy, czyli tzw. „Transit Time”. W sytuacji kiedy na granicy faz ścianka wewnętrzna rurociągu – mierzona ciecz występuje dodatkowa warstwa, czyli osad, wówczas sygnał ulega dodatkowemu wytłumieniu. Dodatkowo, jeżeli warstwa ta nie jest równa może to spowodować niepożądane odbicie sygnału. Skutkuje to osłabieniem siły sygnału przy sondzie odbierającej i może prowadzić do utraty stabilności pomiaru lub po prostu braku pomiaru. Aby temu zaradzić najprościej jest użyć silniejszych sond pomiarowych. Dzięki temu zwiększamy energię początkową emitowanego sygnału i tym samym zwiększamy szanse przebicia się sygnału przez dodatkową (nieprzewidzianą warstwę). Z doświadczeń aplikacyjnych w pracy z tymi urządzeniami wynika, że w ok. 70% przypadków zamiana sond pomiarowych daje pożądane rezultaty. W pozostałych przypadkach narost jest z reguły jednak tak duży, że pomiary w sposób bezinwazyjny nie są możliwe.

NAROST WEWNĘTRZNY A DOKŁADNOŚĆ POMIAROWA?

Jednym z często zadawanych pytań podczas pomiarów urządzeniem bezinwazyjnym jest pytanie o taki wpływ na dokładność pomiaru ma narost wewnętrzny. Niestety tutaj nie ma odpowiedzi jednoznacznej, chyba że, mamy wiedzę o tym jak duży jest ten narost. Jeżeli możemy to stwierdzić, możemy dodać grubość narostu do parametru grubości ścianki. Urządzenie będzie

wówczas przeliczało wartość natężenia przepływu przy uwzględnieniu zmniejszenia przekroju rurociągu. Kwestia zależności między narostem a dokładnością jest jednakże mało istotna w przypadku dużych średnic rurociągów, gdzie kilka mm nie ma wielkiego znaczenia. W przypadku niewielkich średnic rurociągów kilka mm lub nawet dziesięć mm mogą jednak wpłynąć znacząco na końcowy wynik.

BARDZO DROGA TECHNOLOGIA?

Jednym z argumentów pojawiającym się przeciwko aplikacji bezinwazyjnego przepływomierza jest obawa o koszty takiej aplikacji. Prawdą jest, że na tle niektórych przepływomierzy cena zakupu urządzenia bezinwazyjnego jest wysoka i często zakup takiego urządzenia nie jest uzasadniony w żadnym stopniu. Jednocześnie istnieje mnóstwo przykładów, że wybór „Clamp-on’a” może okazać się ekonomicznym strzałem w dziesiątkę. Przykładowo aplikacje na mediach o wysokiej temperaturze, często przekraczającej 200°C znacznie zawężają wybór metody pomiarowej. Koszt instalacji np. kryzy pomiarowej, jej przeglądów, czy koszty ewentualnej awarii, wycieku i postoju instalacji są wysoce niepożądane. W przypadku mediów łatwopalnych, wybuchowych, wymuszających użycie przepływomierzy zgodnych z dyrektywą ATEX, sytuacja również się komplikuje. W takich właśnie sytuacjach przepływomierze bezinwazyjne stają się bardzo atrakcyjne i to nawet pomimo użycia specjalnego układu do wysokich temperatur (max. 600°C) lub certyfikowanych do pracy w strefie pierwszej (Ex de) oraz zgodnych z wymogami dotyczącymi iskrobezpieczeństwa. Przy urządzeniu bezinwazyjnym nie tylko nie występują bowiem żadne dodatkowe koszty związane z pracami montażowymi, ale nie ma również szczególnie ważnego ryzyka związanego z niebezpieczeństwem rozszczelnienia instalacji.

ALTERNATYWA SPRAWDZONA W PRAKTYCE

Wybór przepływomierza podobnie jak to w życiu jest zawsze kwestią związaną z wieloma zmiennymi oraz argumentami za i przeciw. Czy przepływomierze bezinwazyjne nadają się do wszystkiego? Na pewno nie. Niemniej jednak, na tle innych metod, przepływomierze bezinwazyjne udowadniają często swoją przydatność, dokładność, niezawodność oraz prostotę montażu. Pozwalają one przy tym zoptymalizować kwestie pomiarowe w wielu zakładach, a ich możliwości zostały już wielokrotnie potwierdzone nie tylko w zaciszu laboratoriów symulujących warunki idealne. Jednym z głównych argumentów za aplikacją takiego rozwiązania jest mnogość zainstalowanych już aplikacji, w liczbie ok. 60.000 w pomiarach przemysłowych różnych branż na całym świecie. Czy mogą znaleźć zastosowanie w Państwa instalacji? Analizę tej kwestii zostawiam już Czytelnikom zachęcając przy tym gorąco do kontaktu.



Maksym Cichoń

Absolwent kierunku Energetyka na Politechnice Śląskiej. W Introlu pracuje od 2010 w dziale przepływów na stanowisku menedżera produktu. Zajmuje się bezinwazyjnymi pomiarami przepływu cieczy i gazów oraz przepływomierzami elektromagnetycznymi.

tel. 32 789 00 91



Szkolenie PLC cz. 13

Implementacja sekwencyjnej maszyny stanów w sterowniku TECO TP03

Zastosowanie sterowników PLC w przemyśle, głównie w dziedzinie produkcji przemysłowej, wymaga dostarczenia mechanizmu, który w sposób jednoznaczny i określony z góry będzie w stanie sterować danym procesem wytwórczym. W sytuacjach, w których istnieje możliwość wystąpienia niestabilnej pracy układu sterowania, najlepiej zastosować konstrukcję nazywaną potocznie maszyną stanów.

SEKWENCYJNA MASZYNA STANÓW

Określenie *sekwencyjna maszyna stanów* wywodzi się od pojęcia *układu sekwencyjnego*, czyli takiego rodzaju układu cyfrowego w którym aktualny stan wyjść jest zależny zarówno od sygnałów wejściowych jak i od poprzedniego stanu wewnętrznego całego układu. Jest to cecha odróżniająca ten układ cyfrowy od prostszego automatu kombinacyjnego, w którym na wyjście ma wpływ tylko i wyłącznie aktualna wartość wektora wejść binarnych. Wykorzystując analogię do klasycznych, wspomnianych wyżej automatów cyfrowych: kombinacyjnego i sekwencyjnego, można pokazać różnicę w sposobie tworzenia oprogramowania zgodnie z ideą maszyny stanów i bez niej. W sytuacji gdy implementacja układu sterującego jest stosunkowo prosta, programista może pominąć zalecaną konstrukcję kodu, gdyż ewentualne niestabilności kodu mogą być łatwo wychwycone i skorygowane. W przypadku, w którym kod nabiera rozmiarów, a programowany sterownik domyślnie wykonuje coraz więcej operacji i kontroluje bardziej zaawansowane procesy przemysłowe, warto poświęcić chwilę i zastanowić się nad szkieletem oprogramowania oraz sposobem tworzenia kodu drabinkowego. W pierwszym przypadku, analogicznie do układu kombinacyjnego, na postać wektora wyjść znaczenie ma tylko aktualna postać wejść, więc niemożliwa jest implementacja układu sterującego, reagującego różnie, zależnie od poprzednio wykonanej czynności – pojawienie się określonych sygnałów wejściowych, zawsze implikuje określone, jednoznaczne działanie. W przypadku układu sekwencyjnego, problem ten nie występuje, gdyż program analizuje nie tylko wektor sygnałów wejściowych, ale także poprzedni stan układu, czyli stan w którym znajdował się system sterujący. Jako przykład można podać prosty problem sterowania załączeniem oraz wyłączeniem światła, wykorzystując do tego tylko jeden przycisk monostabilny. W pierwszej opisanej sytuacji, inicjacja przycisku implikuje to samo działanie, a przecież konieczna jest praca naprzemienna-załączenie oraz wyłączenie żarówki. Układ sekwencyjny analizuje aktualny stan żarówki po inicjacji przycisku, i gasi ją gdy jest załączona oraz zapala w przeciwnym przypadku. Implementacja maszyn sekwencyjnych na sterownikach ma jeszcze jedną, bardzo istotną zaletę – przypadkowe zakłócenie powodujące chwilową zmianę wektora sygnałów wejściowych, które w przypadku układu kombinacyjnego zmieniałoby na moment postać wektora wyjściowego, w przypadku układu sekwencyjnego może nie wywołać ża-

nych niepożądanych skutków, gdyż zmiana wyjść może nastąpić tylko w sytuacji gdy dany stan wewnętrzny na to pozwala.

PRAKTYCZNA REALIZACJA STEROWANIA SEKWENCYJNEGO

Implementacja systemu sterowania z wykorzystaniem idei automatu sekwencyjnego, mogąca posłużyć jako doskonałe podsumowanie praktyczne omawianych problemów, zrealizowana została przez naszą firmę w poprzednim roku, w Warszawie. Firma, dla której wykonany został system, zajmowała się produkcją urządzeń transportowych, a rola nasza rola polegała na stworzeniu systemu automatyzacji transportu, opartego o przenośniki rolkowe. W niniejszym artykule opisany zostanie jedynie fragment całego układu, gdyż ze względu na stopień zaawansowania systemu, wgłębianie się we wszystkie aspekty mogłoby być zbyt czasochłonne, a zależy nam jedynie na tym aby na podstawie rzeczywistej realizacji praktycznej, przybliżyć działanie sekwencyjnego układu cyfrowego.

Omawianym fragmentem całości jest moduł sterowania windą transportową. Zakładany sposób działania urządzenia był następujący:

1. stan początkowy
2. inicjacja czujnika obecności transportowanego elementu na windzie,
3. zatrzymanie rolek dojazdowych
4. ruch windy w kierunku górnego pokładu,
5. dojazd na pozycję,
6. sprawdzenie możliwości dokonania transferu,
7. dokonanie transferu,
8. powrót windy na dolny pokład,
9. oczekiwanie na kolejną inicjację czujnika obecności elementu.

W momencie startu systemu układ rozpoczyna realizację pierwszego ze stanów. Gdy osiągnięty zostanie ostatni stan, układ przechodzi automatycznie do stanu bazowego. Powyższe wyszczególnienie konkretnej akcji systemu sterowania jako kolejnego punktu, nie wymusza aby działanie to było obsługiwane w pojedynczym kroku (inaczej ujmując, w stanie układu cyfrowego). Jeżeli działania nie wpływają na siebie wzajemnie i mogą być realizowane jednocześnie, wskazane jest aby wykonywały się równolegle. W analizowanym przykładzie przyjmujemy następujące sygnały:

- wektor sygnałów wejściowych:
 - czujnik obecności elementu na windzie,
 - czujnik windy w pozycji dolnej,
 - czujnik windy w pozycji górnej,
 - czujnik obecności elementu za windą,

Szkolenie prowadzi:

Dominik Szewczyk



tel.: 32 789 00 13



- wektor sygnałów wyjściowych:
 - uruchomienie rolek na windzie,
 - ruch windy w górę,
 - ruch windy w dół.

PRZEGLĄD PRACY STEROWNIKA

W chwili startu procesora sterownika uruchamiane są rolki wjazdowe na windzie oraz dla bezpieczeństwa wymuszane są sygnały stopu dla ruchu windy w obie strony. Ostatecznie inicjowany jest pierwszy ze stanów wewnętrznych układu sterownika *M0*, czyli oczekiwanie na sygnał obecności elementu na windzie.



W pierwszym cyklicznym stanie układu, system czeka na aktywację sygnału pochodzącego z czujnika optycznego. W momencie pojawienia się kupy na platformie windy, zatrzymywane są rolki dojazdowe, uruchamiany jest silnik powodujący ruch windy na górny pokład, a następnie układ przechodzi do kolejnego stanu.



W drugim ze stanów winda porusza się w górę. Gdy osiągnie swoją destynację, aktywowany jest czujnik optyczny i zatrzymywany jest silnik włączony w stanie poprzednim. Układ kończy wykonywanie działań w aktualnym kroku i przechodzi do kolejnego.

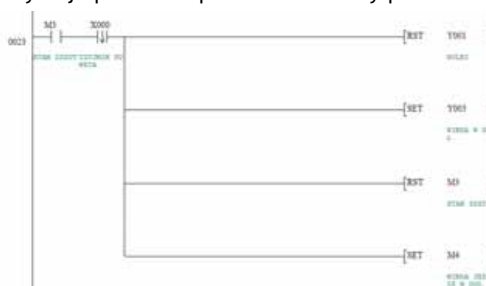


Kolejny stan układu analizuje możliwość dokonania transferu elementu z windy na górną platformę, znajdującą się tuż obok. Jeżeli znajduje się tam poprzedni element, który z jakiegoś powodu nie został przekazany dalej, system sterowania windą oczekuje aż otrzyma pozwolenie na zrzut. Stanie się to w chwili, gdy element blokujący zwolni platformę zrzutową. W tym momencie uruchamiane są rolki zrzutowe, a układ przechodzi do kolejnego stanu.

Umieszczenie czujnika zainstalowanego na windzie zostało wybrane w ten sposób, iż jego aktywacja lub dezaktywacja może sterować przepływem programu. W przypadku startu windy analizowaliśmy zbrocze narastające, jednak zbrocze opadające jest



równie istotne. Sygnalizuje mianowicie, iż element poprawnie przeszedł transfer z windy i nie znajduje się już w obrębie jej platformy. W analizowanym momencie, rolki zrzutowe są zatrzymywane, a winda otrzymuje polecenie powrotu na dolny pokład.



W ostatnim ze stanów układ czeka na powrót windy do pozycji bazowej. O fakcie tym informuje zbrocze narastające na odpowiednim czujniku indukcyjnym. W momencie jego aktywacji, zatrzymywany jest ruch platformy, uruchamiane są rolki dojazdowe, a układ wraca do stanu początkowego, czyli oczekiwania aż kolejny element znajdzie się na windzie. W ten sposób system sterowania się zapętla i cała sekwencja wykonywana jest od nowa.



Należy zwrócić uwagę na to, iż aktywacja odpowiednich sygnałów wpływa na pracę układu tylko i wyłącznie wtedy, gdy system znajduje się w stanie pozwalającym na zmianę. Przykładowo, pojawienie się sygnału lub jego zanik na czujniku sygnalizującym obecność elementu na platformie windy, nie będzie miała najmniejszego wpływu na pracę układu, jeśli układ nie będzie znajdował się w stanie analizującym daną zmianę. Jak zostało podkreślone wcześniej, jest to działanie zwiększające stabilność układu sterowania, gdyż zmniejsza się prawdopodobieństwo wystąpienia błędów spowodowanych zakłóceniami sygnałów pomiarowych.

STOSOWANIE UKŁADÓW SEKWENCYJNYCH

O wyborze implementowanej metody sterowania zawsze decyduje programista i to on musi rozstrzygnąć jaki konkretny rodzaj koncepcji sterowania procesem zastosować. W przypadku układów prostych, dozwolone jest wykorzystywanie algorytmu nieopartego o układy sekwencyjne, jednakże nawet w takich rozwiązaniach, zastosowanie sekwencji może ułatwić pracę programiście zarówno na etapie tworzenia kodu, jak i w czasie jego późniejszych modyfikacji

◀
Rysunek 4
Winda czeka na
możliwość transferu
(zrzutu)

◀◀
Rysunek 1
Inicjalizacja pracy
sterownika

◀
Rysunek 5
Kończenie transferu
elementu na platformę
za windą

◀◀
Rysunek 2
Oczekiwanie na sygnał
obecności elementu
na windzie

◀
Rysunek 6
Powrót windy
do pozycji bazowej

◀◀
Rysunek 3
Oczekiwanie na
dojazd windy na górną
platformę

Ocena jakości zasilania silników indukcyjnych z przemienników częstotliwości średniego napięcia

Silniki indukcyjne o mocach powyżej 250 kW zasilane są najczęściej napięciem znamionowym 6000 V. Taka wartość napięcia była przyczyną tego, że do końca minionego wieku silniki rzadko pracowały z regulacją prędkości obrotowej przy pomocy przekształtników energoelektronicznych. Obecnie, dzięki zastosowaniu półprzewodników typu SGTC, IGCT, HVTGBT są produkowane przemienniki częstotliwości średniego napięcia (CMV) [1]. Autor na podstawie własnych prac projektowych, badań oraz pomiarów, zaproponował ocenę jakości zasilania silników indukcyjnych z CMV.

WSTĘP

W układach napędowych z silnikami indukcyjnymi o mocach znamionowych powyżej 250 kW i napięciu znamionowym 6000 V, coraz częściej do regulacji prędkości obrotowej stosuje się przemienniki częstotliwości średniego napięcia (PCSN). Stało się to możliwe dzięki opracowaniu i wdrożeniu do praktyki przemysłowej elementów półprzewodnikowych średniego napięcia typu SGCT, IGCT, HVTGBT.

Autor na podstawie własnych prac projektowo-aplikacyjnych oraz badań i pomiarów zaproponował ocenę układów napędowych z silnikami indukcyjnymi, zasilanymi z PCSN. Do oceny zostały wzięte następujące zagadnienia:

- współczynniki *THDU* i *THDI* przebiegów wyjściowych PCSN;
- współczynniki stromości narastania napięcia (*SNU*) wyjściowego napięcia PCSN;
- wpływ tych współczynników na dobór kabli zasilających silnik i strat mocy w układzie napędowym.

Autor dokonał oceny (z uwzględnieniem topologii i zasady działania) PCSN pracujących w krajowych aplikacjach napędowych.

W Polsce pracuje kilkadziesiąt (powyżej 50 szt.) tego typu urządzeń z obwodem DC (prądu stałego) typu źródło prądu (falowniki prądowe). Od kilku lat, coraz częściej pojawiają się aplikacje układów napędowych z PCSN, w których obwód DC jest typu źródło napięcia (falowniki napięciowe). Te drugie mają często rozbudowane topologie o charakterze przemienników wielopoziomowych.

OPIS BADANYCH WIELKOŚCI WYJŚCIOWYCH PCSN

Przebiegi chwilowych wartości napięć i prądów wyjściowych są odkształcone od przebiegów sinusoidalnych. Stopień ich odkształcenia najczęściej charakteryzuje się poprzez podanie współczynników *THD*, dla prądu (dodatkowo litera na końcu (*I*), a dla napięcia (*U*)). Opis tych współczynników jest następujący:

$$THDI = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^n I_h^2}}{I_1} \quad (1)$$

przy czym:

I_1 – wartość skuteczna pierwszej harmonicznej prądu;

I_h – wartość skuteczna h-tej harmonicznej prądu.

Podobnie dla drugiego współczynnika:

$$THDU = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n U_h^2}}{U_1} \quad (2)$$

U_1 – wartość skuteczna pierwszej harmonicznej napięcia;

U_h – wartość skuteczna h-tej harmonicznej napięcia.

Wartości *THD* mogą być wyrażane także w %. Przebiegi wyjściowe prądów i napięć są także opisywane przez stromość narastania sygnału. Dla celów eksploatacyjnych ważniejsza jest stromość narastania przebiegu napięcia w postaci:

$$SNU = \frac{dU(t)}{dt} [V/\mu s] \quad (3)$$

Ponieważ wartość *SNU* zależy od chwili czasowej przebiegu napięcia, najczęściej podaje się jej wartość maksymalną:

$$SNU_{max} = \left(\frac{dU(t)}{dt} \right)_{max} [V/\mu s] \quad (4)$$

Wartości powyższych współczynników mają duży wpływ na parametry kabli zasilających oraz strat mocy w izolacji kabli oraz silnika. Jeżeli przyjąć schemat zastępczy izolacji kabla pomiędzy PCSN a silnikiem w postaci równoległego połączenia rezystancji R_i oraz pojemności C_i to prąd płynący przez tą pojemność dla maksymalnej wartości SNU_{max} wynosi:

$$i_i = C_i \left(\frac{dU(t)}{dt} \right)_{max} \quad (5)$$

Dla typowego kabla średniego napięcia o długości 100 m pojemność $C_i \approx 0,001 \mu F$ (pojemność doziemna lub międzyfazowa) bez ekranującego oplotu, wartość prądu i_z w impulsie wyniesie dla $SNU_{max} = 500 V/\mu s$:

$$i_z = 0,001 \cdot 500 \left(10^{-6} \cdot \frac{1}{10^{-6}} \right) \left[F \cdot \frac{V}{s} \right] \quad (6)$$

$$i_z = 0,5 A$$

Dla kabli silnikowych odległości mogą być większe, a przez to pojemności też mogą mieć większe wartości. Również dla większych wartości $SNU > 500 V/\mu s$ możliwa jest większa wartość prądu i_z . Oczywiście wartość tego prądu zależy także od impedancji wyjściowej PCSN. Prąd i_z może powodować dwa zjawiska groźne dla eksploatacji układu napędowego. Pierwsze to zakłócenia pola elektromagnetycznego w pobliżu tras kabli. Na podstawie prawa Biota-Savarta w odległości (r) od miejsca przepływu prądu i_z powstaje natężenie pola magnetycznego dH , którego wartość jest zależna wprost proporcjonalnie od wartości prądu i odwrotnie proporcjonalnie od kwadratu odległości rozpatrywanego punktu. Znając współczynnik przenikalności magnetycznej μ środowiska można obliczyć strumień magnetyczny

$d\varphi$, przenikający powierzchnię dS . Prąd i_z zmienia swą wartość tak, jak zmienia się wartość SNU . Jeżeli zmiana następuje w czasie dt , to zgodnie z prawem Faradaya indukuje się napięcie:

$$e = -\frac{d\varphi}{dt} \quad (7)$$

Gdy w tym rozpatrywanym punkcie znajduje się dowolny obwód przewodzący, to popłynie w nim prąd elektryczny. Wartość tego prądu może być na tyle duża, że zakłóci pracę urządzeń sterujących, pomiarowych lub kontrolnych.

Drugą wadą prądu i_z , szczególnie, gdy jego wartość jest duża w porównaniu z prądem płynącym przez izolację w warunkach znamionowych (np. 6 kV, 50 Hz) to grzanie się izolacji. Prowadzi to do miejscowego przebicia kabla (międzyfazowe lub doziemne przebicie).

Drugim ważnym parametrem napięcia wyjściowego PCSN jest współczynnik $THDU$. Duża jego wartość (powyżej 20%) wskazuje na znaczne odkształcenie przebiegu wartości chwilowej. Oznacza to, że w przebiegu można wyróżnić przebiegi o wyższych częstotliwościach niż podstawowa. Na podstawie rozkładu (Fouriera) funkcji okresowej odkształconej można wyróżnić przebiegi sinusoidalne o amplitudzie A_h i częstotliwości f_h . Przebieg pierwszej harmonicznej (A_1, f_1) najczęściej jest wyznaczana na etapie typu sterowania. Np. sterowanie skalarnie przy zachowaniu stałego strumienia powoduje, że straty w obwodzie magnetycznym silnika zmieniają się w przybliżeniu:

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_{FeN} \left(\frac{f_r}{f_N} \right)^{1,1} \quad (8)$$

Natomiast jeżeli przebieg napięcia zawiera jeszcze inne harmoniczne (f_h), to należy obliczyć straty mocy od każdej harmonicznej. Oznaczając przez A_h amplitudę harmonicznej f_h to straty mocy w obwodzie magnetycznym wynoszą:

$$\Delta F_{eh} = k_h \cdot A_h^2 \cdot f_h^{1,3} \quad (9)$$

Jeżeli tych harmonicznych w przebiegu napięcia jest l , to każda jest przyczyną dodatkowych strat, które sumarycznie wynoszą:

$$\Delta P_{Fel} = \sum_1^l \Delta P_{Feh} \quad (10)$$

Trudnością w takim podejściu jest fakt, że dla różnych harmonicznych współczynnik k_h może mieć różną wartość. Ogólnie można stwierdzić, że im więcej jest harmonicznych w przebiegu napięcia wyjściowego, tym większe są całkowite straty w obwodzie magnetycznym silnika. **Współczynnik THDI prądu wyjściowego PCSN ma wpływ na straty mocy w silniku i kablach na ich rezystancjach.** Odkształcony prąd wyjściowy PCSN płynący przez kable do silnika posiada wartość skuteczną I_{RMS} :

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_1^n I_h^2} \quad (11)$$

które po przekształceniach:

$$I_{RMS} = I_1 \sqrt{1 + \frac{\sum_2^n I_h^2}{I_1^2}} = I_1 \sqrt{1 + (THDI)^2} \quad (12)$$

Prawidłowe przetwarzanie energii elektrycznej w mechaniczną następuje przy współdziałaniu napięcia na zaciskach silnika z pierwszą harmoniczną prądu (I_1). Całkowite straty mocy w rezystancjach (R) będą większe i wyniosą dla znamionowego punktu pracy:

$$\Delta P_{Cu} = \Delta P_{CuN} [1 + (THDI)^2] \quad (13)$$

przy czym:

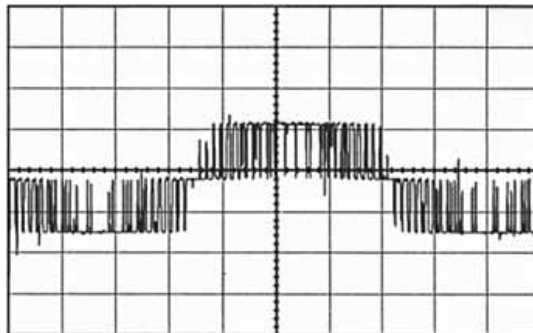
ΔP_{CuN} – straty mocy w rezystancjach przy sinusoidalnym prądzie o wartości znamionowej (I_N).

Dlatego należy ograniczać wartość $THDI$ prądu wyjściowego PCSN.

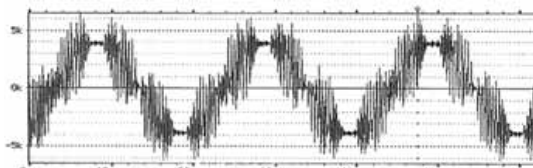
TOPOLOGIE I PARAMETRY SYGNAŁÓW WYJŚCIOWYCH PCSN STOSOWANYCH W EKSPLOATACJI

Autorzy artykułu mieli możliwość badania sygnałów wyjściowych (napięć i prądów) PCSN większości typów eksploatowanych w kraju. Wprawdzie są to badania wyrwykowe, ale dają podstawy do ogólnej oceny różnych topologii PCSN.

Pierwsze aplikacje PCSN w kraju wykonano stosując na wyjściu przemiennika częstotliwości niskiego napięcia (wyjściowe napięcie znamionowe 690 V) transformator podwyższający o przekładni 0,69 kV/6 kV. Na rys. 1 został przedstawiony oscylogram napięcia wyjściowego przemiennika na poziomie 690 V, a na rys. 2 napięcie strony wtórnej transformatora (napięcia przewodowe).



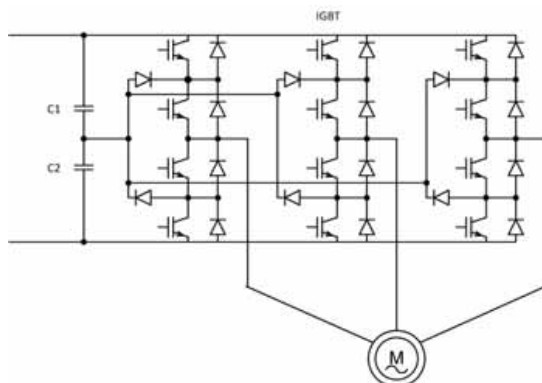
Rys. 1. Oscylogram napięcia wyjściowego przemiennika częstotliwości niskiego napięcia



Rys. 2. Oscylogram napięcia wyjściowego PCSN z tzw. podwójną transformacją bez filtra sinusoidalnego

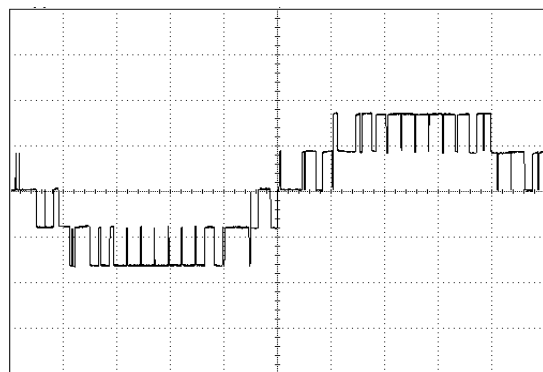
Przebieg tego napięcia jest bardzo zły i charakteryzuje się dużymi stromościami (większymi od 1000 V/μs). Wartość współczynnika $THDU$ nie została zmierzona, a z kształtu napięcia trudno wyznaczyć jego wartość. W krajowym przemyśle istnieje kilka takich aplikacji, ale z filtrem sinusoidalnym na wyjściu przemiennika częstotliwości i dopiero potem zainstalowano podwyższający transformator. Przebieg prądu jest dobry, gdyż $THDI$ jest rzędu kilkunastu % w punkcie znamionowym. Bez filtra sinusoidalnego taka aplikacja nie powinna mieć miejsca, gdyż kable i silniki szybko ulegną zniszczeniu (pierwsze takie aplikacje powodowały uszkodzenie silnika/przebicie izolacji) w ciągu 2 miesięcy pracy. Lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie tzw. trójpoziomowego przemiennika częstotliwości. Na rys. 3 została przedstawiona topologia takiego przemiennika częstotliwości do zasilania silnika 2 MW i napięciu znamionowym 2,1 kV.

Rys. 3. Topologia PCSN trójpoziomowego



Rys. 7. Napięcie wyjściowe pięciopoziomowego PCSN z innymi filtrami wyjściowymi niż w topologii z rys. 5

Rys. 4. Napięcie wyjściowe trójpoziomowego PCSN

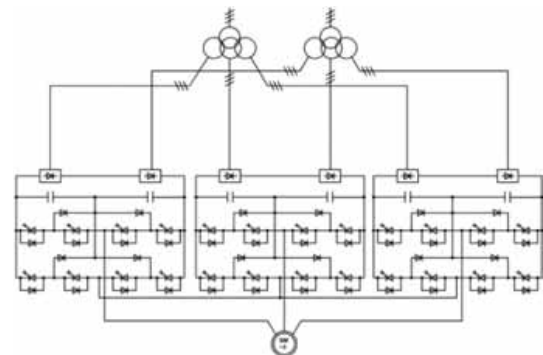


Rys. 8. Topologia siedmiopoziomowego PCSN z dwupoziomowymi przemiennikami jednofazowymi

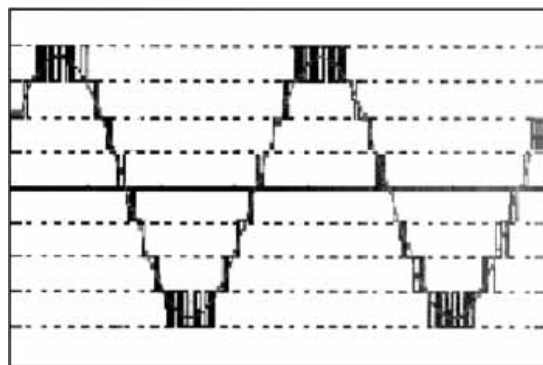
Silnik posiada wzmocnioną izolację (klasa F), kable silnikowe są ekranowane. Nie zostały zmierzone współczynniki $THDI$ i $THDU$. Na rys. 4 został przedstawiony oscylogram napięcia wyjściowego takiego PCSN.

Rozbudowa PCSN w kierunku większej ilości poziomów napięcia doprowadziła do topologii pięciopoziomowego przmiennika częstotliwości. Topologia tego przmiennika została przedstawiona na rys. 5.

Rys. 5. Topologia przmiennika częstotliwości pięciopoziomowego PCSN.

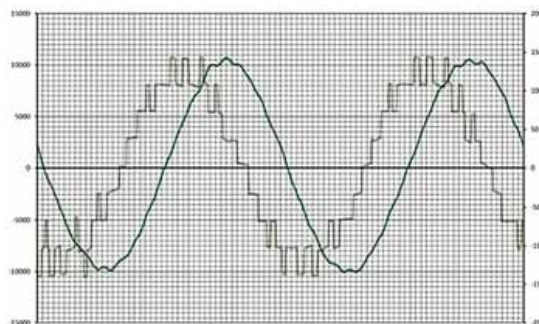


Rys. 9. Napięcie i prąd wyjściowy PCSN o topologii z rys. 8



Rys. 6. Napięcie wyjściowe pięciopoziomowego PCSN

Posłużył on do zasilania silnika synchronicznego dużej mocy (25 MW). Przebieg napięcia wyjściowego został przedstawiony na rys. 6. Na rys. 7 został przedstawiony kształt napięcia wyjściowego pięciopoziomowego PCSN tylko innego producenta.

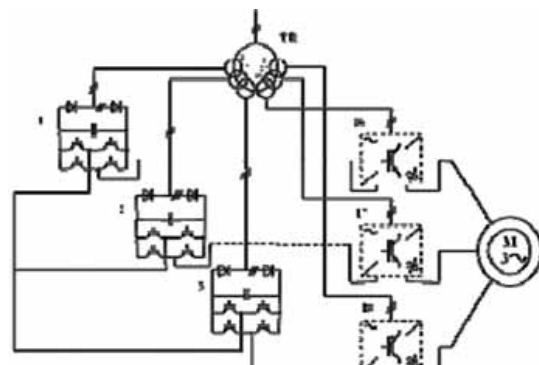


Na wyjściu tego PCSN są rozbudowane filtry wyjściowe. Dla przebiegu na rys. 7 zmierzono:

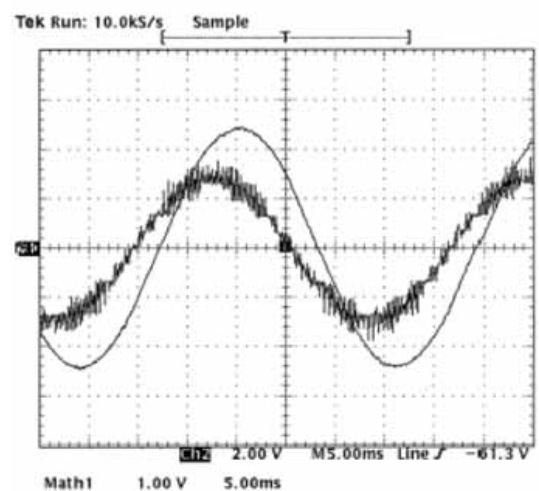
$$\left(\frac{dU}{dt}\right)_{\max} = 500 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$THDU \approx 9\%$$

Obliczona na podstawie przebiegu (graficznie) wartość $THDU$ wynosi ok. 5%. Przebiegi napięć obu przmienników powinny wg autorów prowadzić do stosowania kabli ekranowanych. W praktyce są stosowane jeszcze siedmiopoziomowe PCSN (liczbę poziomów autorzy podają dla dodatknych napięć). Na rys. 8 została przedstawiona taka topologia PCSN, która daje takie możliwości.



Oscylogram napięcia i prądu wyjściowego został przedstawiony na rys. 9.



Z przebiegów prądów i napięć wynika, że są one dobrze zbliżone do sinusoidy. Zmierzone wartości THD dla konkretnego przebiegu badanego przez autorów wynoszą:

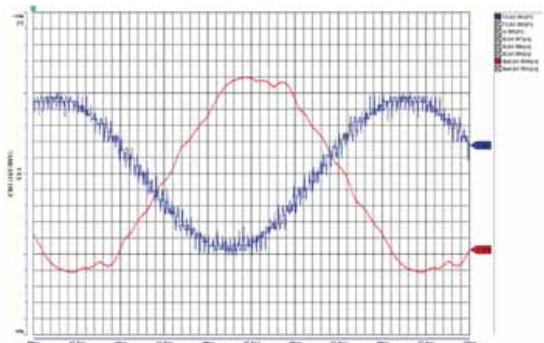
$$THDU \leq 15\%$$

$$THDI \leq 3\%$$

Stromość narastania:

$$\left(\frac{dU}{dt}\right)_{\max} \leq 450 \text{ V}/\mu\text{s}$$

Istnieją w praktyce topologie podobne jak na rys. 8, ale zamiast pojedynczego przemiennika częstotliwości dwupoziomowego zastosowany został przemiennik częstotliwości trójpoziomowy (topologia jak na rys. 3). Wówczas kształt napięcia i prądu wyjściowego jest przedstawiony na rys. 10.



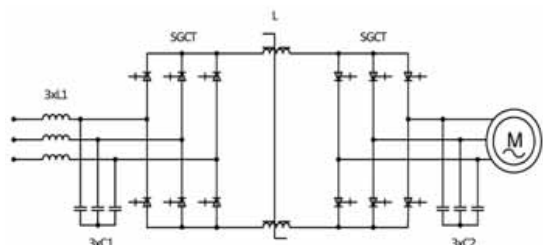
Taki PCSN zawiera jednak mniej pojedynczych przemienników w jednej fazie. Objętość, ciężar i wymiary takiego PCSN są mniejsze. Zmierzone stromość narastania i THDI, które wynoszą:

$$\left(\frac{dU}{dt}\right)_{\max} = 600 \text{ V}/\mu\text{s}$$

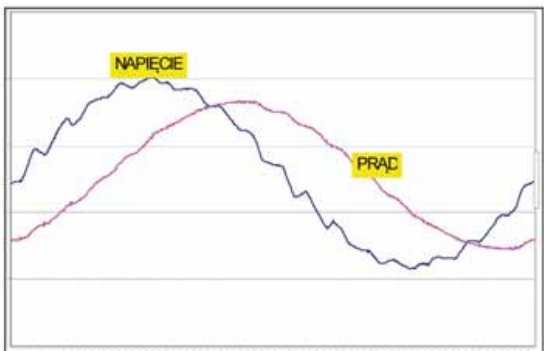
$$THDI \leq 12\%$$

Obie topologie wymagają więc stosowania ekranowanych kabli silnikowych.

Inną topologię, opartą i obwód DC typu źródło prądu, przedstawia rys. 11.



Kształt przebiegów wyjściowych prądu i napięcia został przedstawiony na oscylogramie (rys. 12).



Zmierzone wartości współczynników wynoszą:

$$\left(\frac{dU}{dt}\right)_{\max} = 50 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$THDU = 8\%$$

$$THDI = 6\%$$

Ten przemiennik nie wymaga stosowania kabli ekranowanych, a silnik nie musi posiadać klasy izolacji co najmniej F i izolowanych łożysk.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wszystkie powyższe wyniki badań [4] [5] [6] upoważniają do następujących podsumowań i wniosków:

- kształty przebiegów chwilowych napięć i prądów wyjściowych PCSN mają podstawowe znaczenie dla doboru kabli zasilających silnik oraz zastosowanego silnika;
- duże wartości współczynnika *SNU* (większe od 400 V/μs – 500 V/μs) wymagają stosowania kabli ekranowanych, które dla odległości powyżej 100 m mogą wymagać dużych nakładów finansowych;
- duże wartości współczynników *THDU* i *THDI* zwiększają straty mocy w kablach i silniku, co przy dużych mocach napędu w czasie eksploatacji powoduje zmniejszenie sprawności energetycznej nawet o 1%, a przy długich czasach eksploatacji w ciągu roku (np. 8000 h) daje duże straty energii;



Dr inż. Zbigniew Szulc

Pracuje w Instytucie Sterowania i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Warszawskiej. Ekspert w dziedzinie regulowanych układów napędowych.

Posiada ponad 30-letnie doświadczenie w przemyśle w realizacji wielu aplikacji. Zajmuje się głównie

tematyką sterowania silników indukcyjnych średniego napięcia oraz minimalizacją zużycia energii elektrycznej w układach napędowych.

LITERATURA

- [1]. Koczara W., Szulc Z.: *Nowe topologie i sterowanie obwodów wejściowych PCSN umożliwiające ich szerokie zastosowanie*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, nr 79, 2008.
- [2]. Kubera T., Szulc Z.: *Poprawa efektywności energetycznej układu napędowego pompy wody zasilającej dużej mocy*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, nr 78, 2007.
- [3]. Koczara W., Szulc Z.: *Poprawa efektywności energetycznej układu napędowego z silnikiem indukcyjnym średniego napięcia poprzez jego zasilanie z przemiennika częstotliwości*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, nr 73, 2005.
- [4]. Siedlecki S., Szulc Z.: *Dobór i efekty techniczno-ekonomiczne regulowanych układów napędowych z PCSN 6kV do maszyn przepływowych na przykładzie bloku 200MW*. XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Elektrownie Ciepłe”, Słok k. Bełchatowa, 5-7 marca 2013.
- [5]. Kubera T., Szulc Z.: *Badania eksploatacyjne układów napędowych z przemiennikiem częstotliwości średniego napięcia*. Praca w ramach projektu badawczego nr 3139/BT02/2011, Warszawa 2012-2013.



Rys. 10. Napięcie i prąd wyjściowy siedmipoziomowego PCSN z trójpoziomymi przemiennikami jednofazowymi

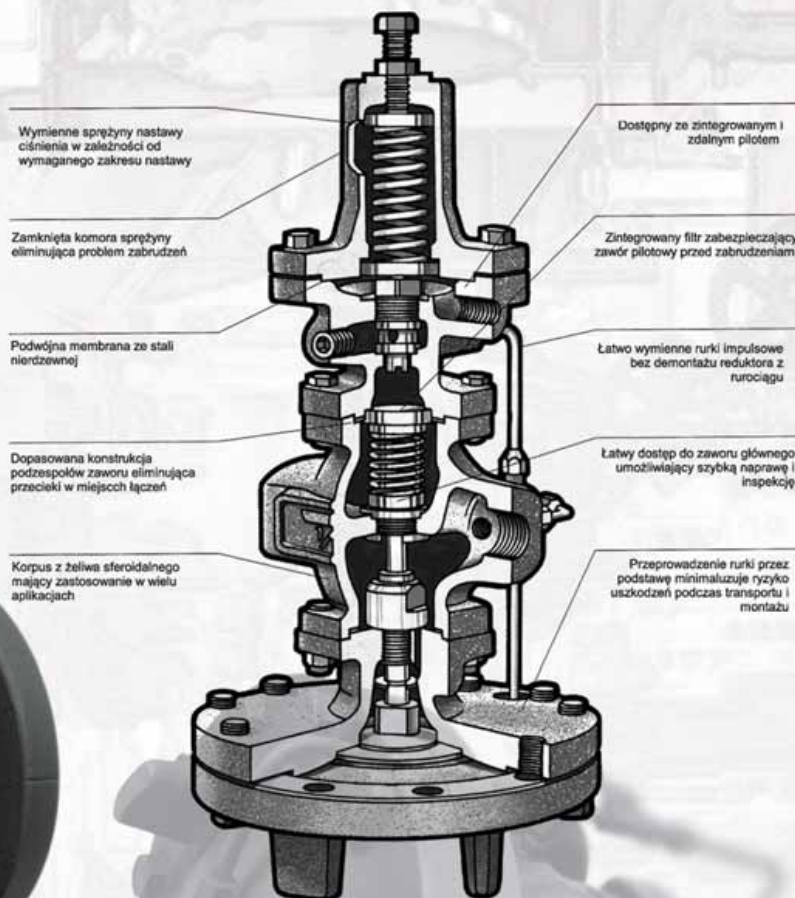


Rys. 11. Topologia PCSN z obwodem DC



Rys. 12. Napięcie i prąd wyjściowy PCSN o topologii z rys. 11

Reduktor ciśnienia bezpośredniego działania z dokładnością nastawy 1%



armatura@introl.pl

- maksymalne parametry robocze: 20 bar, 232°C
- zakresowość: 20:1
- dokładność nastawy: $\pm 1\%$
- minimalne ciśnienie różnicowe: 0,5 bar
- wydajności sięgające nawet do 60 t/h

Przedsiębiorstwo Automatykacji i Pomiarów
Introl Sp. z o.o.

www.introl.pl

