

Radar – jaka częstotliwość na jaką aplikację?

Szybciej, więcej, dalej, dokładniej, łatwiej – w ciągu ostatnich pięciu lat dokonano znaczących postępów w rozwoju urządzeń radarowych do pomiaru poziomu cieczy i materiałów sypkich. Nadal jednak wybór odpowiedniej sondy do określonej aplikacji nie jest łatwy. Kluczowym czynnikiem prawidłowego doboru jest częstotliwość radaru i wzajemne zależności między nią, a innymi parametrami urządzenia.

Rzeczywisty rozwój elektroniki i dostępność coraz bardziej zaawansowanych komponentów sond radarowych powodują, że zakresy częstotliwości, które nie mogły być wykorzystywane w tej technologii jeszcze kilka lat temu, dziś obiecują rozwiązanie wszelkich problemów aplikacyjnych. Przyjrzyjmy się jednak zagadnieniu częstotliwości nieco bliżej, aby sprawdzić, czy nie są to tylko marketingowe „obiecanki – cacanki”. Kilka teoretycznych i praktycznych informacji pomoże w wyjaśnieniu tego zagadnienia.

RADAR – ZASADY DZIAŁANIA

Niezależnie od zastosowanej metody radar mierzy opierając się na zasadniczej zależności między długością fali, a jej częstotliwością:

$$\lambda = c / f$$

λ – długość fali elektromagnetycznej

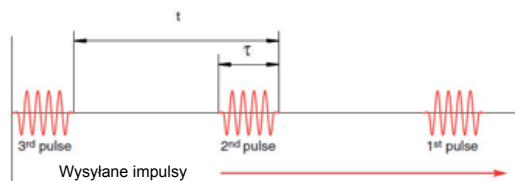
c – prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej

f – częstotliwość

Jak łatwo zauważyć, im dłuższa fala emitowana przez urządzenie, tym częstotliwość mniejsza.

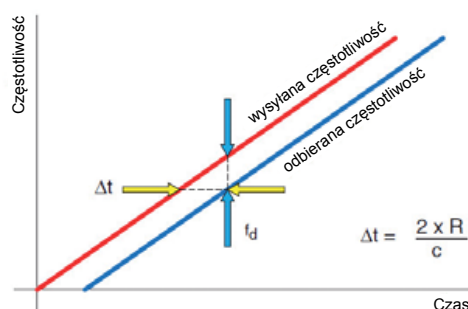
Do pomiaru poziomu techniką radarową używane są dwie metody. Pierwszą z nich jest metoda impulsowa. Radar nadaje sygnał elektromagnetyczny o określonej częstotliwości w formie impulsu. Sygnał ten przemieszcza się pomiędzy radarem i powierzchnią mierzonego medium, następnie odbija się od tejże powierzchni i wraca do radaru. Równocześnie mierzony jest czas, w którym impuls przebywa opisaną drogę. Na podstawie zmierzonego czasu kalkulowany jest dystans do powierzchni medium.

Schemat działania radaru impulsowego



Drugą metodą jest metoda FMCW, która wykorzystuje falę ciągłą o modulowanej częstotliwości. Dzięki algorytmowi FFT (Fast Fourier Transformation) porównującemu przebieg sygnału nadawanego z sygnałem odbieranym określany jest dystans do mierzonego obiektu.

Zależność kąta wiązki od rozmiaru anteny



Schema działania radaru FMCW

Gdzie:

Δt – czas przebiegu fali radarowej

R – odległość do celu

c – prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej

Metoda FMCW wymaga znacznie większej mocy obliczeniowej niż metoda impulsowa. Większe jest również zużycie mocy elektrycznej oraz czas cyklu pomiarowego, co bezpośrednio wpływa na to, że radary FMCW są wolniejsze od radarów impulsowych.

W okresie wczesnego rozwoju techniki radarowej dostępność komponentów elektronicznych spowodowała, że producenci radarów skupili się na częstotliwości w okolicach 10 GHz. Późniejszy rozwój technologii spowodował, że dostępnymi stały się częstotliwości określone jako pasmo C, K oraz W. Są to odpowiednio częstotliwości 6 GHz, 25 GHz oraz 75 GHz.

Należy zwrócić uwagę na to, iż każda z częstotliwości posiada swoje mocne i słabe strony. Ale do tego jeszcze wrócimy.

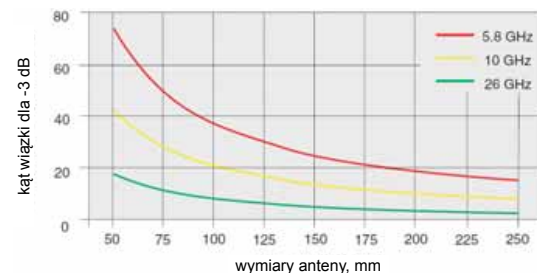
Najważniejszą miarą skuteczności pracy radaru jest jego czułość, rozumiana jako umiejętność rozpoznawania (rozdzielania) sygnałów o bardzo małej amplitudzie. Czułość współczesnych radarów na materiały sypkie została zwiększona do 100 dB co oznacza, że mierzalnym jest sygnał odbity o mocy 10 miliardów razy mniejszej niż sygnał nadany. Dla zobrazowania tego dość abstrakcyjnego określenia możemy użyć przykładu porównania masy 40 tonowego tira i pojedynczego ludzkiego włosa.

ANTENA – PODSTAWOWE ZALEŻNOŚCI

Antena jest bardzo ważnym elementem sondy radarowej, wpływającym na skuteczność pomiaru w określonych aplikacjach. Istnieją trzy proste zależności między budową anten, a innymi własnościami radarów.

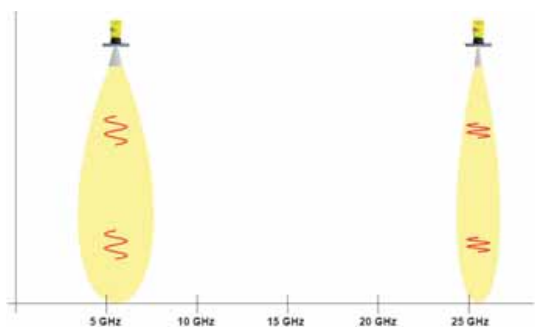
Pierwsza zależność mówi o tym, że im większą posiadamy antenę, tym większą uzyskujemy moc sygnału odbitego od powierzchni mierzonego medium.

Druga zależność mówi natomiast, że im większy jest rozmiar anteny, tym mniejszy otrzymujemy kąt wiązki.



Trzecia zależność, tym razem związana z częstotliwością wskazuje, że im większą częstotliwość

stosujemy tym mniejsze są wymiary anteny dla uzyskania tego samego kąta skupienia wiązki.



Przykładowo – jeżeli podwoimy częstotliwość, to dla uzyskania wiązki o tym samym skupieniu, wystarczy nam antena o wymiarach równych około $\frac{1}{4}$ pierwotnej anteny.

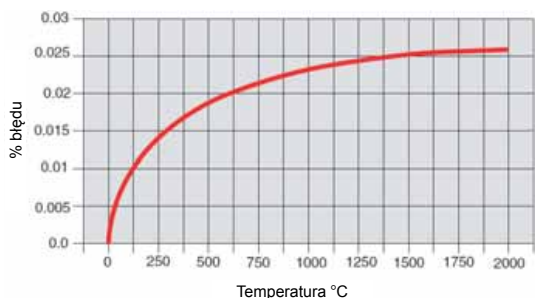
Mając na uwadze powyższe trzy zależności, nasuwa się wniosek, że duża antena to silniejszy (pewniejszy) sygnał odbity i relatywnie mały kąt skupienia wiązki... przy określonej częstotliwości. Wyższa częstotliwość jest tym parametrem, który pozwala na zachowanie takiego samego kąta skupienia, przy zmniejszonej wielkości anteny. Możliwość zmniejszenia anteny (przy zachowaniu kąta skupienia) to bardzo istotna zaleta w przypadkach, gdy jesteśmy ograniczeni małym przyłączem mechanicznym na interesującym nas zbiorniku. Wadą małych anten jest jednak wrażliwość na złe warunki środowiskowe – przy kondensacji lub obłepieniu materiałem, sygnał od medium jest bardzo silnie tłumiony (słaba moc sygnału odbieranego).

Dobór częstotliwości (a tym samym kąta wiązki) i wielkości anteny nie jest zatem sprawą jednoznaczną. Zawsze jest to pewnego rodzaju kompromis pomiędzy pozwalającą na pomiar siłą sygnału, a dostosowaną do aplikacji wielkością anteny z określonym kątem wiązki i częstotliwością. W kompromisie tym nie można zapomnieć o ograniczeniach aplikacyjnych, rodzaju mierzonego medium oraz warunkach w jakich prowadzony jest pomiar.

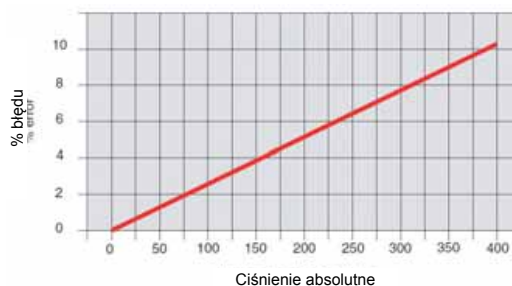
WPŁYW WARUNKÓW APLIKACYJNYCH NA PRACĘ RADARU

Zarówno producenci jak i użytkownicy radarów są w dość komfortowej sytuacji z uwagi na fakt, iż propagacja fali radarowej praktycznie nie zależy od warunków aplikacyjnych.

Prędkość fali elektromagnetycznej prawie w ogóle nie zależy od zmian temperatury (tylko 0,026% na 2000°C).



Przy zmianach ciśnienia zmiany prędkości widoczne są dopiero powyżej 10 bar.



Poza tym różne kompozycje gazów (oparów często występujących w zbiornikach) nie wpływają na zmianę propagacji fali elektromagnetycznej za wyjątkiem dwóch znanych przypadków. Przypadkami tymi są amoniak i chlorek winylu, które zmniejszają prędkość propagacji tym bardziej, im wyższą częstotliwość zastosujemy. Dlatego dla amoniaku i chlorku winylu należy stosować radar pracujący na niskiej częstotliwości, np. 6 GHz.

CIECZE – STANDARDOWE ZADANIE DLA RADARU

Pomiar poziomu cieczy jest w zasadzie zagadnieniem prostym jeśli powierzchnia medium jest gładka i niezaburzona. Sytuacja zmienia się diametralnie jeżeli zbiornik wyposażony jest w mieszadło lub w aplikacji występuje para. Turbulentna powierzchnia, rozpryski medium, wiry generowane przez mieszadło rozpraszają bowiem promieniowanie elektromagnetyczne. W tym przypadku zastosowanie anteny z silnym skupieniem wiązki (np. 4 st) jest błędem (pomiar zbliżony do punktowego). Większą korzyścią dla Użytkownika jest zastosowanie anteny o większym kącie wiązki (np. 8 lub 10 st – pomiar uśredniany). Wracając nieco do wcześniejszych zależności i przyjmując kąt wiązki jako parametr stały (względnie szeroki) możemy wybrać:

- antenę o małych rozmiarach i wysokiej częstotliwości
- antenę o dużych rozmiarach ale niskiej częstotliwości

W takim wypadku, kwestia wyboru zależałaby jedynie od warunków aplikacyjnych (np. wielkości zbiornika), gdyby nie bezpośrednie powiązanie częstotliwości z odpornością na trudne warunki środowiskowe, takie jak obłepienie anteny i kondensacja pary wodnej.

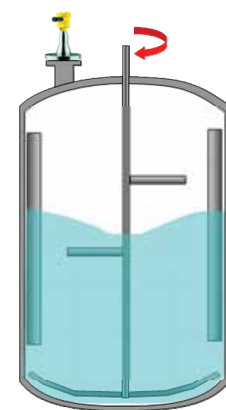
Możliwa kondensacja i ewentualne zabrudzenia na powierzchni anteny mają bowiem większy wpływ na tłumienie sygnału dla krótszych długości fal, a więc częstotliwości wyższych. Stwierdzono, że obłepienie o grubości 1 mm dla radaru 25 GHz powoduje trzy razy większe tłumienie niż dla radaru 6 Hz. Z kolei efekt tłumienia dla 75 GHz jest dziesięć razy większy niż dla 6 GHz.

Piana obecna na powierzchni cieczy również posiada właściwości tłumienia fali radarowej. Tłumienie przez pianę potrafi być nawet silniejsze niż tłumienie wynikające z obłepienia i – podobnie do niego – tłumienie przez pianę jest silniejsze dla wyższych częstotliwości (krótszych fal).

Mając na uwadze bezpośrednią zależność między częstotliwością a tłumieniem fal, do pomiaru cieczy w trudnych aplikacjach należałoby rekomendować jak największe rozmiary i najniższe wartości GHz. Niestety nie jest to tak jednoznaczne, gdyż

▶ Wpływ zmian ciśnienia na błąd pomiaru radaru w powietrzu w stałej temperaturze 273 K

◀◀ Dla danego rozmiaru anteny wyższa częstotliwość daje większe skupienie wiązki



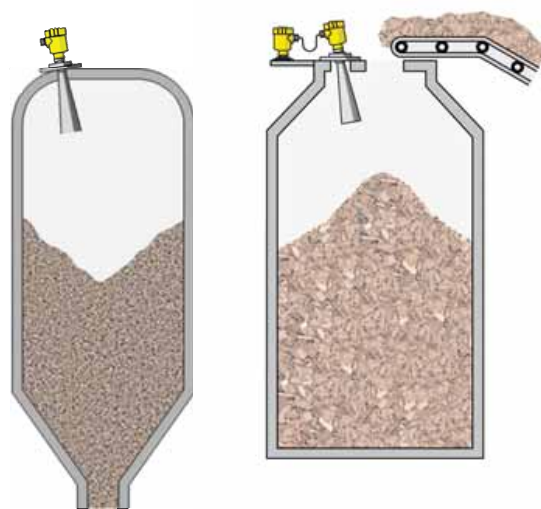
▶ Ukształtowanie powierzchni medium w aplikacji z mieszadłem

▶ Wpływ zmian temperatury na błąd pomiaru radaru w powietrzu przy stałym ciśnieniu 1 Bara

w większości przypadków nie możemy sobie pozwolić na duże wymiary anteny. Tutaj właśnie wkracza częstotliwość 25 GHz – kompromis technologiczny decydujący o tym, że radary 25 GHz stanowią 80% współczesnego rynku i nadają się do znakomitej większości istniejących aplikacji*. Średnia częstotliwość jest zatem optymalnym rozwiązaniem dla cieczy, szczególnie, że postępy poczynione w okresie ostatnich dwóch lat w dziedzinie radarów 25 GHz pozwalają już, w większości aplikacji, na pomiar między innymi przez warstwę piany aż do powierzchni medium.

MATERIAŁY SYPKIE

W zbiornikach z materiałami sypkimi zachodzą bardzo ciekawe zjawiska powodujące, że zadanie pomiarowe staje się nieco trudniejsze niż dla cieczy. W związku z powstawaniem stożków usypowych podczas załadunku i lejów podczas rozładunku zbiornika, znaczna część fali elektromagnetycznej odbija się poprzecznie od powierzchni materiału i nigdy nie wraca do anteny (co zmniejsza moc sygnału odbieranego).



Leje i stożki usypowe w zbiorniku z materiałem sypkim

Teoria uczy, że poprzeczne odbicia są tym silniejsze, im mniejsza jest granulacja mierzonego materiału i im mniejsza częstotliwość. Zależność częstotliwości (długości fali) od granulacji pokazuje, że radar 75 GHz dla materiału o granulacji 3 razy mniejszej, otrzymuje tyle samo energii odbitej co radar 25 GHz. Rozpatrując tylko częstotliwość i granulację należałoby zatem wybierać radary o wysokiej częstotliwości. Praktyka uczy jednak, że różnica w mocy sygnału odbieranego jest trudno zauważalna, a na skuteczność pomiaru wpływa także kąt wiązki i odporność na trudne warunki aplikacyjne. Co więcej, materiały o ekstremalnie niskiej granulacji takiej jak cement, popiół, cukier czy też piasek są od lat z sukcesem mierzone przez radary 25 GHz (warto zauważyć, że materiały o niskiej granulacji układają się w zbiorniku tworząc często powierzchnię zbliżoną kształtem do powierzchni cieczy, dzięki czemu rozpraszanie energii na stożku czy leju jest znikome lub w ogóle nie zachodzi).

Rozważając pomiar poziomu materiałów sypkich warto zastanowić się przede wszystkim nad kątem wiązki anteny. Żaden z oferowanych kątów

wiązki nie jest idealny dla każdej aplikacji. O właściwym doborze tego parametru decyduje analiza warunków aplikacyjnych i potrzeb Użytkownika. Anteny o małym kącie wiązki (np. 4 st), a więc dużym skupieniu, wygrywają w przedbiegach w wysokich, wąskich zbiornikach lub w zbiornikach z mnóstwem wewnętrznych elementów konstrukcyjnych. W zbiornikach o większych średnicach, w których ważnym dla Użytkownika jest uśrednienie pomiaru, właściwym jest zastosowanie anteny o większym kącie wiązki. Dzięki temu uzyskujemy pomiar bardziej uśredniony, czyli bardziej wiarygodny. Przykładem tego typu zastosowań mogą być zbiorniki magazynowe cementu, wapna, węgla, biomasy lub innych materiałów masowych.

Wewnątrz zbiorników z materiałem sypkim, zawsze w dłuższych lub krótszych okresach czasu, występuje silne zapylenie. Główną przyczyną zapylenia jest transport materiału do i/lub ze zbiornika. Zjawisko to powoduje osadzanie się materiału na antenie. Radary wyposażone w anteny o małych rozmiarach mają znikome szanse na długotrwałe, bezobsługowe działanie. Materiał oblepiający antenę tłumi sygnał radarowy, co w efekcie może doprowadzić do utraty pomiaru. **Tłumienie jest tym silniejsze im mniejszą stosujemy antenę i wyższą wykorzystujemy częstotliwość.** Jedynym panaceum chroniącym nas przed utratą pomiaru jest stosowanie anten o odpowiednich rozmiarach, z optymalną częstotliwością, zapewniających bezobsługową pracę urządzenia. Oczywiście, w pomiarze materiałów sypkich możemy zastosować antenę niewielkich rozmiarów, ale wówczas jesteśmy zmuszeni wykonać instalację do nadmuchu powietrza i w sposób ciągły tego nadmuchu używać. Zwiększa to znacznie koszt inwestycji oraz późniejszej eksploatacji.

ŚWIADOMY WYBÓR

Decyzję o tym jak duża antena, o jakiej częstotliwości i jakim kącie wiązki podejmuje każdy, którego losy zawodowe związane są z przemysłowymi pomiarami poziomu. Jak wykazałem, dobór wcale nie jest jednoznaczny, a każdy typ anten ma swoje wady i zalety. Częstotliwość jest przy tym parametrem szczególnie uwikłanym w szereg zależności, których niejasność starałem się nieco rozświetlić. Jeśli jednak, mimo lektury tegoż oraz podobnych artykułów, nadal pojawiają się wątpliwości jaki radar wybrać, najwłaściwszą drogą wydaje się być zaufanie innym użytkownikom. Praktyka bowiem, a więc popularności danego typu aparatury, jest najlepszym wyznacznikiem skuteczności określonych typów radarów do pomiaru poziomu.



Stawomir Wąsowicz

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej o specjalności Automatyka i Metrologia Elektryczna. W Introlu pracuje od 2006 roku, obecnie na stanowisku kierownika Działu pomiaru poziomu. Do jego podstawowych zadań należy koordynacja projektów związanych z wdrażaniem nowoczesnych rozwiązań pomiarowych na obiektach przemysłowych.

* Dane opublikowane w magazynie „Process” 9/2011 (www.process.de)