

# Sensores de nível por RADAR

Os sensores por RADAR<sup>1</sup> baseiam-se na detecção de ecos de sinais de rádio. Os sinais de rádio, utilizados na medição de níveis em reservatórios, são ondas electromagnéticas no domínio das microondas, com frequências típicas entre os 5 GHz e os 30 GHz.

A primeira verificação experimental de que as ondas electromagnéticas eram reflectidas por objectos metálicos foi feita por Hertz<sup>2</sup> em 1886/87. No entanto, o primeiro RADAR com utilização prática só foi desenvolvido e patenteado por Hülsmeyer<sup>3</sup> em 1904, mas não teve sucesso comercial. Só em 1922 é que Marconi<sup>4</sup> reconheceu o potencial da utilização das ondas de rádio para a detecção de navios à noite ou com nevoeiro.

Até à Segunda Grande Guerra Mundial o RADAR conheceu algum avanço tecnológico em vários países, embora não muito significativo. É com a Guerra que há uma corrida ao desenvolvimento do RADAR, nomeadamente na Grã-Bretanha, na Alemanha e mais tarde nos EUA, destinando-se o RADAR à detecção de aviões. Estes RADAR funcionavam com frequências entre os 125 MHz e os 200 MHz. Só em 1940 com a invenção do magnetrão, dispositivo que podia produzir uma onda electromagnética de 3 GHz, é que o RADAR deu um salto qualitativo, tendo este dispositivo, que era secreto, sido compartilhado pela Grã-Bretanha e pelos EUA, que começaram a produzi-lo para as Forças Aliadas. Com o fim da Segunda Grande Guerra Mundial, o RADAR passou também ser utilizado na Aviação Comercial, em altímetros e em Astronomia, sendo hoje usado, além das aplicações militares, na navegação e controlo de tráfego aéreo, na detecção da velocidade de automóveis, no levantamento de mapas em astronomia e nas previsões do tempo em meteorologia.

A primeira aplicação do RADAR na medição de níveis em reservatórios data de 1970, na indústria petrolífera. Mas só no final dos anos 80 é que a técnica se começou a desenvolver, com o aparecimento de osciladores de alta frequência, com semicondutores. O passo decisivo no desenvolvimento desta tecnologia deu-se quando foi possível construir, em 1997, um transmissor de nível por RADAR com alimentação a dois fios, 4 mA a 20 mA. Na medição de distâncias (níveis) utilizam-se fundamentalmente dois tipos: o RADAR de onda contínua modulada em frequência (FM-CW, do inglês "Frequency-Modulated Continuous-Wave") e o RADAR por impulsos.

## 1. RADAR FM-CW

Neste tipo de RADAR, destinado a medir distâncias, transmite-se um sinal sinusoidal de frequência  $f_0$ , modulado em frequência. A modulação de frequência é linear, em rampa, como indicado na Figura 1. O sinal reflectido pela superfície do líquido do reservatório

terá a mesma modulação de frequência que o sinal enviado, mas encontrando-se atrasado de  $\Delta t$ , intervalo de tempo igual ao tempo que o sinal leva a percorrer o caminho de ida e de volta até à superfície reflectora. Representando por  $\ell$  a distância entre o sensor e a superfície (de acordo com a nomenclatura usada na Figura 1), será

$$\Delta t = \frac{2\ell}{c} \quad (1)$$

em que  $c=299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$ , representa a velocidade da luz no vazio.

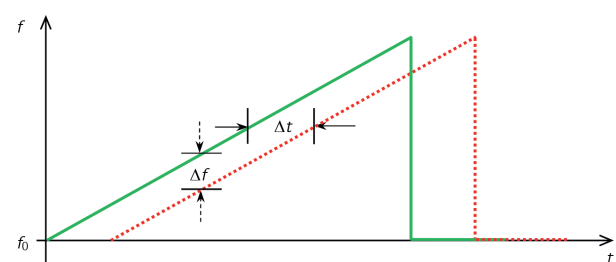


Figura 1. Variação de frequência do sinal de RADAR (verde cheio) e respectivo eco (vermelho pontilhado).

O sensor mede a cada instante o valor de  $\Delta f$ . Uma vez que a variação de  $f$  com  $t$  é conhecida (linear e em rampa), fica conhecido o valor de  $\Delta t$ , determinando-se, a partir da equação (1), o valor de  $\ell$  e, posteriormente, o valor do nível  $h = H - \ell$  (de acordo com a Figura 2).

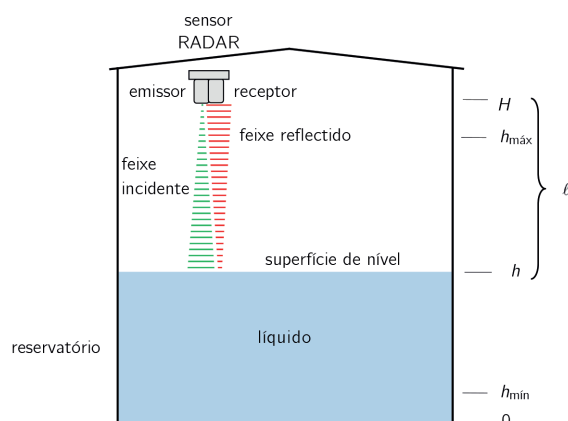


Figura 2. Esquema de princípio de um sensor RADAR.

em que:

- $h$  – nível do líquido dentro do reservatório;
- $h_{\text{máx}}$  – nível máximo do líquido dentro do reservatório;
- $h_{\text{mín}}$  – nível mínimo do líquido dentro do reservatório;
- $H$  – distância do sensor RADAR ao fundo do reservatório;
- $\ell$  – distância do sensor ao nível do líquido dentro do reservatório.

Num sensor de nível deste tipo, são típicas variações de frequência de 8,5 GHz a 9,9 GHz e de 24 GHz a 26 GHz. A tensão de modulação é produzida por um gerador em rampa linear (dente de serra), sendo o grau de linearidade muito importante para a precisão do sensor. Alguns sensores utilizam, em vez do sinal em dente de serra, um sinal modulador em onda triangular. O sinal modulado é produzido por meio de um oscilador FET (do inglês

- 1 Acrónimo do inglês "RADio Detection And Ranging".
- 2 Heinrich Rudolf Hertz, físico alemão, quem primeiro provou, de forma conclusiva, a existência das ondas eletromagnéticas, 1857–1894.
- 3 Christian Hülsmeyer, inventor, físico e empresário alemão, 1881–1957.
- 4 Guglielmo Marchese Marconi, inventor e engenheiro eletrotécnico italiano, 1874–1937.

"Field Effect Transistor") de arsenieto de gálio (GaAs) controlado em tensão (VCO, do inglês "Voltage Controlled Oscillator"), com uma potência de pico típica de ¼ mW, resultando numa onda sinusoidal de amplitude constante e frequência variável (no intervalo de medição dos GHz), sendo a última definida pela expressão

$$f(t) = f_0 + ku_{VCO}(t) \quad (2)$$

em que:

$f$  – frequência do sinal modulado variável no tempo;

$f_0$  – frequência mínima do sinal modulado;

$u_{VCO}$  – tensão de entrada de controlo da frequência do oscilador;

$k$  – constante de ajuste do intervalo de medição de variação da frequência do sinal modulado.

## 2. RADAR POR IMPULSOS

O princípio de funcionamento deste tipo de RADAR para medição de níveis é análogo ao de um sensor por ultra-sons. No entanto, existe uma diferença muito significativa entre as duas tecnologias: no RADAR usam-se ondas electromagnéticas, que se propagam à velocidade da luz no vazio, enquanto que nos ultra-sons utilizam-se ondas sonoras, as quais necessitam de suporte material para se propagarem.

No RADAR, o tempo de trânsito entre o impulso emitido e o impulso refletido é da ordem das dezenas de nano segundos, consoante a altura do reservatório e do nível do produto. Na Figura 3 representa-se a forma dos impulsos de RADAR utilizados com este método, indicando-se, também, a sequência de impulsos enviados e respectivos ecos.



Figura 3. Impulsos de RADAR enviados e respectivos ecos.

Uma vez que os tempos envolvidos são muito pequenos, torna-se difícil efectuar a sua medição por amostragem, pelo que se recorre à técnica da subamostragem para obter sinais equivalentes, mas com frequências significativamente mais baixas. Na Figura 4 representa-se esquematicamente esta tecnologia, para um sinal sinusoidal.

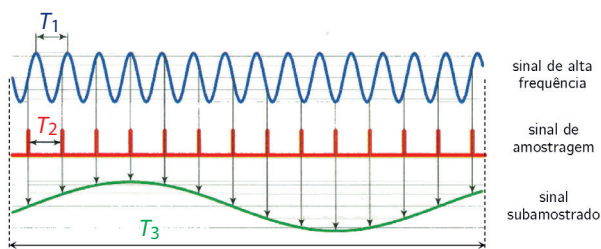


Figura 4. Subamostragem de um sinal de alta frequência.

Designado por  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$  os períodos do sinal de alta frequência, de amostragem e subamostrado, respetivamente, uma amostragem com  $T_2$  ligeiramente superior a  $T_1$  origina, tendo em conta que a frequência do sinal subamostrado é igual à diferença

entre as frequências do sinal de alta frequência e do sinal de amostragem ( $f_3 = f_1 - f_2$ ),

$$T_3 = \frac{T_2}{T_2 - T_1} T_1 \quad (3)$$

Sendo  $T_3 > T_2 > T_1 \Rightarrow f_3 < f_2 < f_1$ , a partir da igualdade  $f_3 = f_1 - f_2$ , tem-se

$$\frac{1}{T_3} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \Leftrightarrow \frac{1}{T_3} = \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \quad (4)$$

que resulta na equação (3).

Se o sinal de alta frequência não for sinusoidal, os resultados obtidos são análogos. Para a determinação do tempo decorrido entre os impulsos enviados e os recebidos, depois de os subamostrar, calcula-se a correlação entre eles. A correlação apresentará um máximo do seu valor para uma defasagem temporal igual ao tempo entre o impulso enviado e o respectivo eco. Este método de detecção é computacionalmente mais leve do que o da onda contínua modulada em frequência.

Um problema que surge nestes dispositivos são os falsos ecos, devidos à existência de pás de agitadores, tubos e estruturas no interior do reservatório, reflexões múltiplas, etc. Por vezes, a amplitude dos falsos ecos pode ser superior à do sinal refletido pela superfície a medir. O eco total recebido é, pois, uma mistura complexa de sinais. Para separar convenientemente o eco que interessa e diz respeito à reflexão na superfície de nível que se quer medir, dos falsos ecos, faz-se o processamento de todos os ecos por meio da transformada rápida de Fourier (FFT, do inglês "Fast Fourier Transform"). Ao serem obtidos os espectros dos sinais de eco e feita a sua análise, tal permitirá detectar os falsos ecos por estes possuírem componentes espectrais que não estão presentes nos impulsos emitidos, logo, nos respectivos e legítimos ecos. Este processamento é feito em tempo real, por meio de "hardware" que utiliza circuitos eletrónicos dedicados.

## 3. VANTAGENS E INCONVENIENTES DA MEDIÇÃO DE NÍVEL POR RADAR

A medição do nível em reservatórios, através de sensores por RADAR, apresenta vantagens e inconvenientes em relação aos outros métodos de medida de nível, nomeadamente:

- Vantagens:
  - > a tecnologia é muito fiável e robusta, estimando-se que o tempo médio entre avarias seja da ordem das dezenas de anos;
  - > não é influenciado por gases ou espuma que possam existir sobre o líquido;
  - > não depende da densidade, da condutividade, nem da permitividade elétrica do líquido;
  - > é independente da pressão e da temperatura;
  - > é um método sem contacto físico;
  - > pode ser utilizado em instalações a dois fios, HART ou em Fieldbus.
- Inconvenientes:
  - > é um método que inicialmente utilizava equipamento dispendioso, embora ultimamente os preços tenham diminuído de modo significativo;
  - > exige cuidado na instalação, para evitar a possibilidade de falsos ecos. ❗