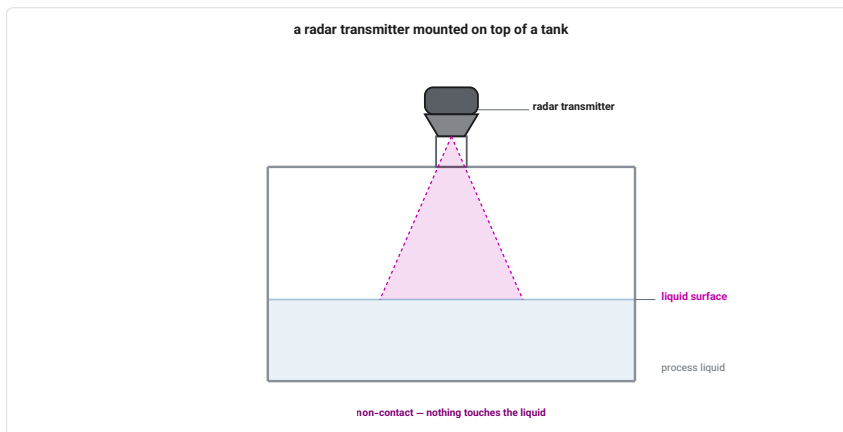


رادار چگونه سطح مایع و جامد را اندازه‌گیری می‌کند؟

How Does a Radar Level Transmitter Measure Level?

دستگاهی که هرگز با سیال تماس پیدا نمی‌کند، چگونه ارتفاع سطح داخل مخزن را اندازه می‌گیرد؟ این راهنما اصل کار Radar Level Transmitter، مسیر ارسال و بازتاب سیگنال، تبدیل فاصله به تراز و تفاوت آن با روش‌های دیگر اندازه‌گیری سطح را بدون نیاز به دانش پیشرفته توضیح می‌دهد.



شکل ۱ – ترانس‌میتور راداری نصب‌شده روی سقف مخزن، بدون تماس با سیال

تاریخ انتشار

شهریور ۱۴۰۵ – August 2026

سطح محتوا

LEVEL 1

بازنگری

Rev00

شماره سند

NICO-EDU-LVL-L1-001-FA

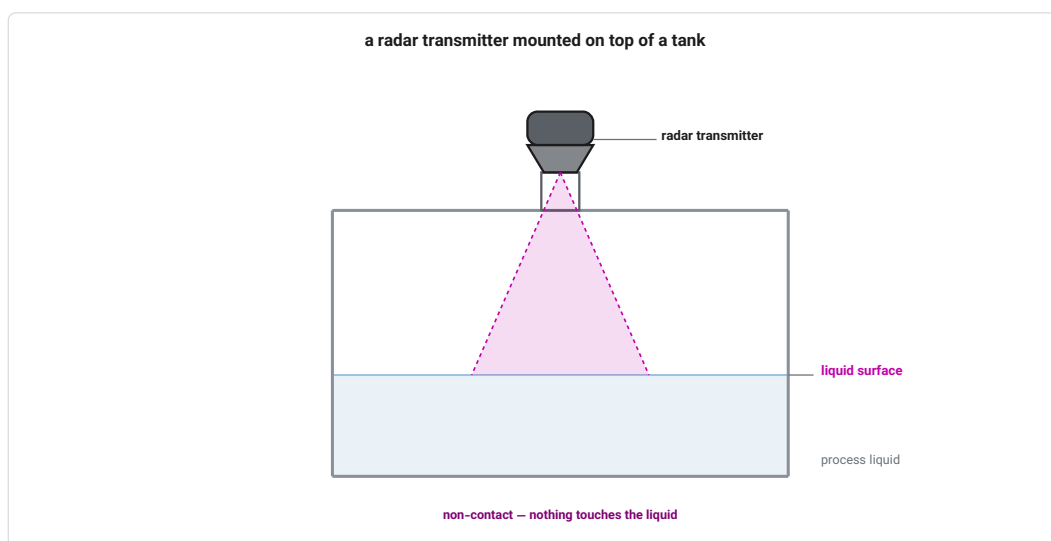
پس از مطالعه این راهنما خواهید توانست:

1. بگویید Radar Level Transmitter چیست و چرا به آن اندازه‌گیری بدون تماس (Non-Contact Measurement) گفته می‌شود.
2. مسیر ارسال سیگنال، بازتاب از سطح و بازگشت آن به آنتن را توضیح دهید.
3. بگویید دستگاه چگونه فاصله را اندازه می‌گیرد و آن را به تراز (Level) تبدیل می‌کند.
4. مفاهیم نقطه مرجع، فاصله خالی (Empty Distance) و فاصله کور (Blocking Distance) را از هم تشخیص دهید.
5. بگویید زاویه پرتو (Beam Angle) چیست و چرا مخروط پرتو باریک‌تر معمولاً بهتر است.
6. توضیح دهید چرا کف، آشفتگی سطح یا سازه‌های داخلی مخزن می‌توانند کیفیت بازتاب را کم کنند.
7. تفاوت مفهومی رادار و التراسونیک را در یک جمله بیان کنید.
8. زنجیره اندازه‌گیری از ارسال سیگنال تا خروجی ترانس‌میتور را نام ببرید.

1 Radar Level Transmitter چیست؟

Radar Level Transmitter دستگاهی است که ارتفاع سطح مایع یا جامد داخل مخزن را بدون هیچ تماس فیزیکی با سیال اندازه می‌گیرد. آنتن دستگاه، معمولاً روی سقف یا نازل مخزن نصب می‌شود، یک سیگنال میکروویو به سمت پایین می‌فرستد و بازتاب آن از سطح را دریافت می‌کند. چون اندازه‌گیری از فاصله و بدون غوطه‌وری هیچ قطعه‌ای در سیال انجام می‌شود، این روش را اندازه‌گیری بدون تماس (Non-Contact Measurement) می‌نامند.

چون دستگاه با سیال تماس ندارد، از خوردگی، فشار مستقیم و بسیاری از محدودیت‌های مکانیکی که یک سنسور غوطه‌ور با آن روبه‌رو است، دور می‌ماند – نکته‌ای که در انتخاب آن برای سرویس‌های خورنده یا فرآیندهای بسته اهمیت زیادی دارد.



شکل ۱ – ترانس‌میتور راداری نصب‌شده روی سقف مخزن، بدون تماس با سیال

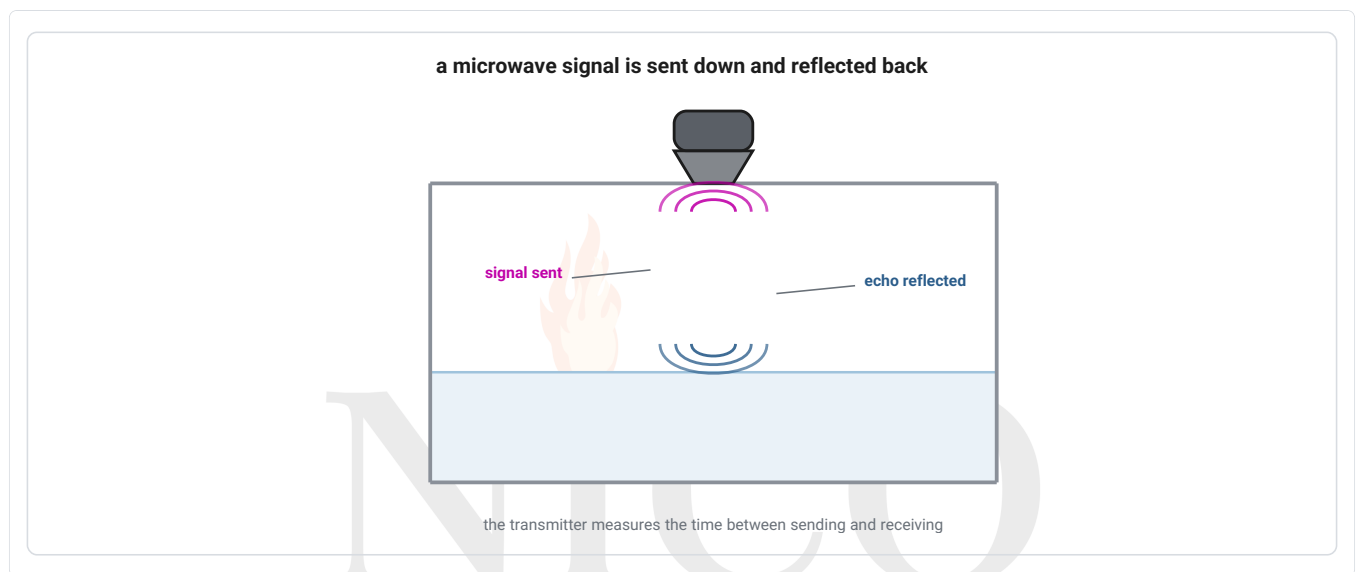
2 سیگنال چگونه ارسال و بازتاب می‌شود؟

آنتن دستگاه یک سیگنال میکروویو کوتاه به سمت پایین، درون فضای خالی بالای مخزن، می‌فرستد. وقتی این سیگنال به سطح مایع یا جامد برخورد می‌کند، بخشی از انرژی آن به همان مسیر بازتاب می‌شود و به آنتن بازمی‌گردد. الکترونیک دستگاه فاصله زمانی میان لحظه ارسال و لحظه دریافت را می‌سنجد.

چون سیگنال میکروویو با سرعت نور حرکت می‌کند، این بازه زمانی بسیار کوتاه است – برای یک فاصله چند متری، در حد نانوثانیه – و الکترونیک دستگاه برای اندازه‌گیری دقیق آن به مدارهای پرسرعت نیاز دارد. رابطه پایه‌ای ساده است:

$$\text{distance} = (\text{speed of light} \times \text{travel time}) / 2$$

تقسیم بر دو به این دلیل است که سیگنال مسیر رفت و برگشت را طی می‌کند؛ فاصله محاسبه‌شده، فاصله یک‌طرفه تا سطح است.



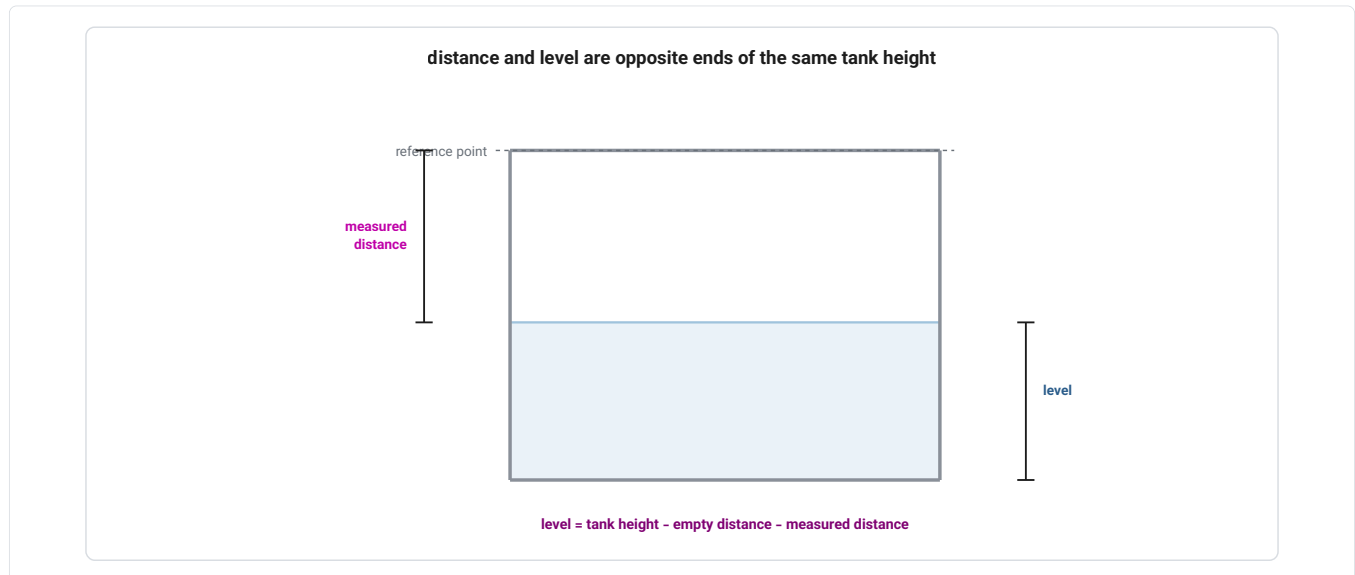
شکل ۲ – ارسال سیگنال به سمت سطح و بازتاب آن به سمت آنتن

ENGINEERING TIP – این سند از کدام روش رادار صحبت می‌کند؟

دو خانواده اصلی رادار سطح وجود دارد: نوع بدون تماس (Free Space Radar) که سیگنال را از میان هوا می‌فرستد – موضوع این سند – و نوع تماسی (Guided Wave Radar) که سیگنال را در طول یک میله یا کابل غوطه‌ور در سیال هدایت می‌کند. اصل زمان‌سنجی سیگنال در هر دو یکسان است؛ تفاوت در مسیر هدایت سیگنال است.

3 از فاصله تا تراز – چگونه یک عدد به عدد دیگر تبدیل می‌شود؟

آنچه دستگاه مستقیماً اندازه می‌گیرد، فاصله میان آنتن و سطح است – نه ارتفاع سیال. برای تبدیل این فاصله به تراز (Level)، دستگاه باید بداند فاصله میان نقطه مرجع (Reference Point – معمولاً محل نصب آنتن) تا کف مخزن یا تراز صفر چقدر است. تراز همان تفاضل این دو عدد است.

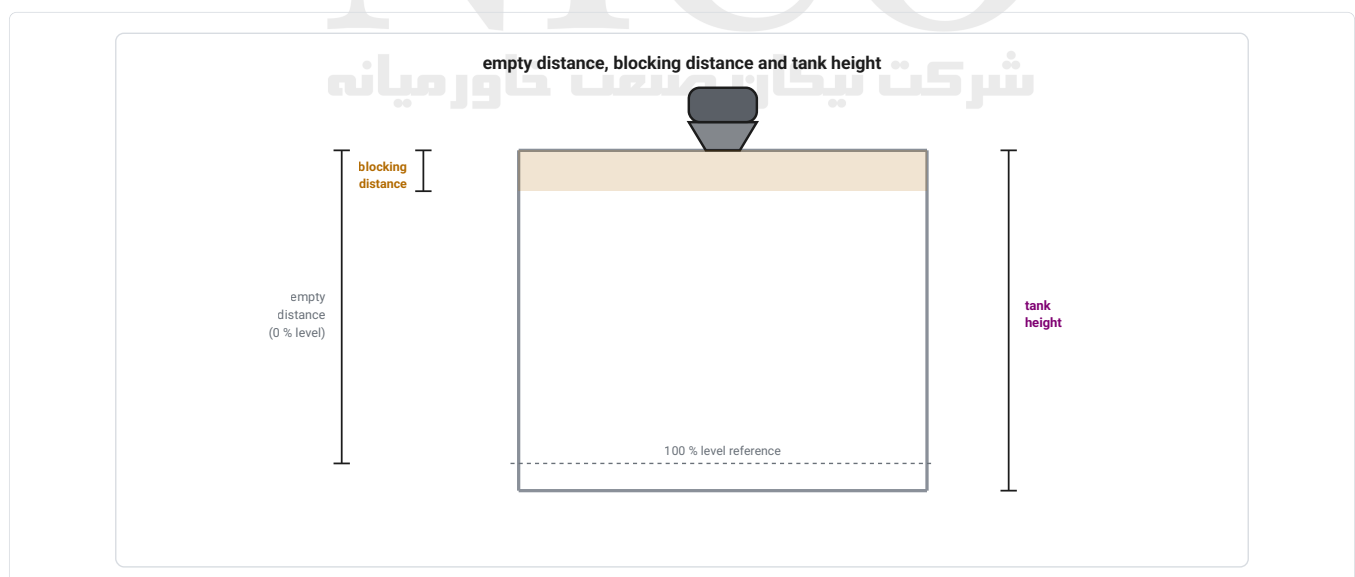


شکل ۳ – فاصله اندازه‌گیری شده و تراز، دو روی یک ارتفاع مشترک

به همین دلیل، «فاصله» و «تراز» هرگز نباید با هم اشتباه گرفته شوند: وقتی فاصله اندازه‌گیری شده کم می‌شود، تراز بالا می‌رود – و برعکس.

4 فاصله خالی، فاصله کور و ارتفاع مخزن

سه فاصله مرجع، تنظیمات اولیه دستگاه را می‌سازند. فاصله خالی (Empty Distance) فاصله از نقطه مرجع تا تراز ۰٪ (کف قابل‌اندازه‌گیری) است. فاصله کور (Blocking Distance) ناحیه‌ای بسیار نزدیک به آنتن است که در آن، دستگاه به دلیل اثرات نزدیک آنتن نمی‌تواند بازتاب را به‌درستی تشخیص دهد – یعنی سطح هرگز نباید به این ناحیه برسد. ارتفاع مخزن، فاصله کل از نقطه مرجع تا کف مخزن است.



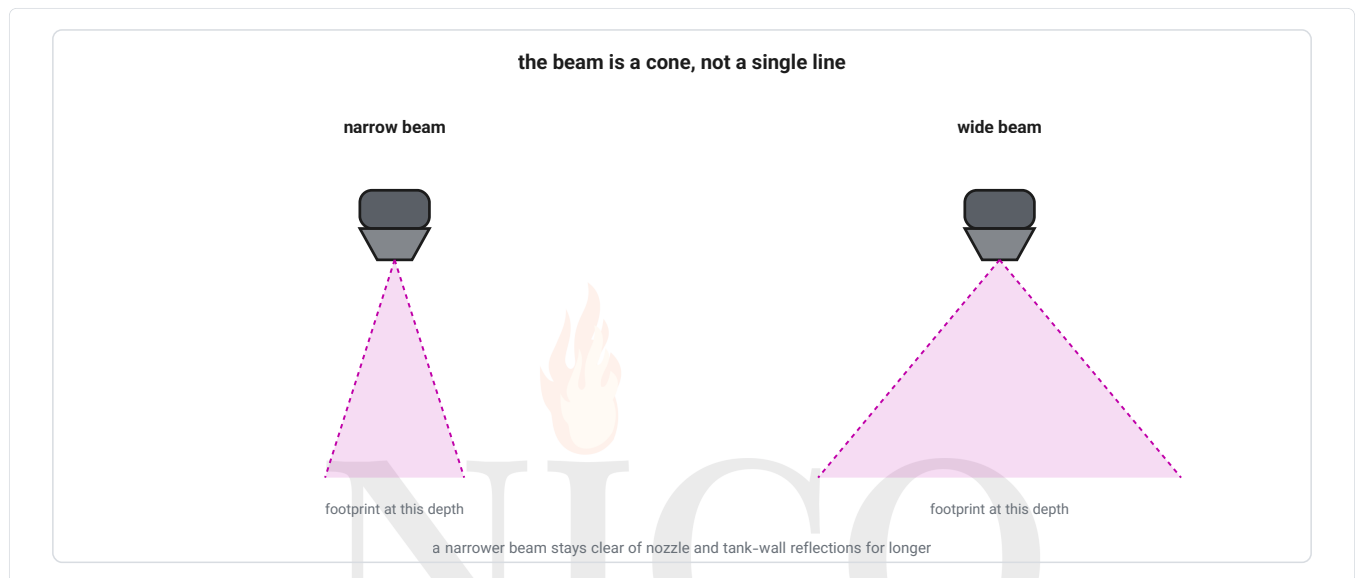
شکل ۴ – فاصله کور، فاصله خالی و ارتفاع مخزن نسبت به نقطه مرجع

NOTE – چرا فاصله کور مهم است

اگر سطح مایع، به‌ویژه در پرشدن کامل مخزن، وارد ناحیه فاصله کور شود، خوانش دستگاه دیگر قابل‌اعتماد نیست. به همین دلیل محدوده اندازه‌گیری مفید همیشه کمی کوتاه‌تر از کل ارتفاع مخزن است.

5 زاویه پرتو (Beam Angle) چیست؟

سیگنال رادار روی یک خط مستقیم حرکت نمی‌کند؛ به شکل یک مخروط از آنتن باز می‌شود. زاویه بازشدگی این مخروط، زاویه پرتو نام دارد. هرچه این مخروط باریک‌تر باشد، انرژی سیگنال روی سطح کوچک‌تری متمرکز می‌شود و احتمال برخورد پرتو با دیواره مخزن، نازل یا سازه‌های داخلی – پیش از رسیدن به سطح اصلی – کمتر می‌شود.

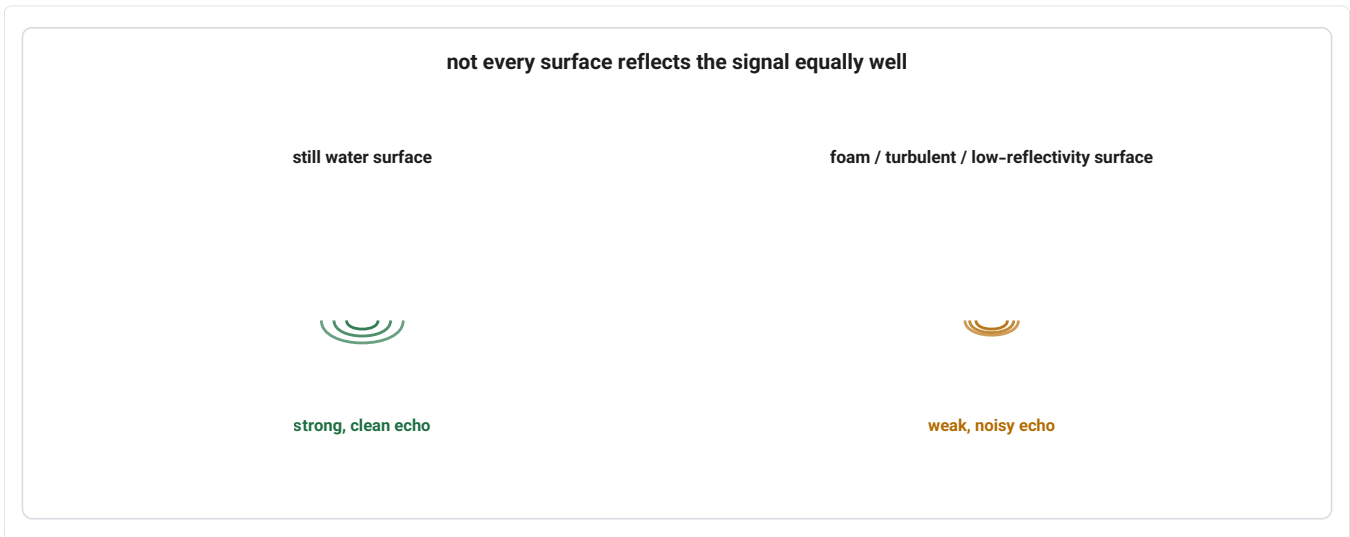


شکل ۵ – مخروط پرتو باریک در برابر مخروط پرتو باز، در یک عمق یکسان

انتخاب فرکانس کاری دستگاه – که در راهنمای سطح ۲ همین مجموعه با جزئیات بیشتری بررسی می‌شود – یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده باریکی زاویه پرتو است. در حد مفهوم همین‌جا کافی است بدانید: به‌طور کلی، فرکانس بالاتر با همان اندازه آنتن، به مخروط باریک‌تری می‌انجامد.

6 چرا کیفیت بازتاب همیشه یکسان نیست؟

همه سطوح، سیگنال را به یک اندازه بازتاب نمی‌کنند. یک سطح آرام و صاف، بازتاب قوی و تمیزی می‌دهد؛ اما کف (Foam)، آشفته‌گی سطح ناشی از اختلاط (Agitation) یا سازه‌های داخلی مخزن – مانند نردبان، لوله یا همزن – می‌توانند بازتاب اصلی را ضعیف کنند یا بازتاب‌های اضافی و ناخواسته ایجاد کنند.



شکل ۶ – بازتاب قوی از سطح آرام در برابر بازتاب ضعیف از سطح کفدار یا آشفته

این موضوع دلیل اصلی است که چرا انتخاب و نصب صحیح رادار – نه فقط اصل کار آن – اهمیت مهندسی دارد؛ موضوعی که راهنمای سطح ۲ همین مجموعه به طور کامل به آن می‌پردازد.

7 تفاوت رادار و التراسونیک

رادار و التراسونیک هر دو از فاصله و بدون تماس اندازه می‌گیرند، اما نوع سیگنالی که می‌فرستند کاملاً متفاوت است. رادار یک سیگنال الکترومغناطیسی (میکروویو) می‌فرستد که می‌تواند از فضای خالی بالای مخزن – حتی در حضور بخار، دود یا تغییرات دما و فشار – عبور کند. التراسونیک یک موج صوتی می‌فرستد که برای انتشار به یک محیط گازی واقعی نیاز دارد و می‌تواند تحت تأثیر دمای گاز، بخار سنگین یا خلأ نسبی قرار گیرد.

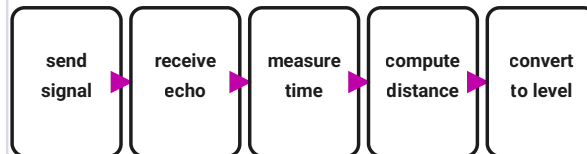


شکل ۷ – نوع سیگنال رادار در برابر التراسونیک و مسیر عبور آن از فضای بخار

8 زنجیره اندازه‌گیری

از لحظه ارسال سیگنال تا لحظه‌ای که یک عدد قابل‌استفاده روی خروجی ترانسمیتر ظاهر می‌شود، پنج مرحله طی می‌شود: ارسال سیگنال، دریافت بازتاب، اندازه‌گیری زمان رفت‌وبرگشت، محاسبه فاصله، و در نهایت تبدیل آن به تراز.

the measurement chain



4–20 mA / HART output reflects the final level value

شکل ۸ – پنج مرحله زنجیره اندازه‌گیری راداری، از ارسال سیگنال تا خروجی

خروجی نهایی معمولاً به صورت سیگنال 4–20 mA یا از طریق ارتباط دیجیتال مانند HART به سامانه کنترل ارسال می‌شود – همان زبانی که در راهنمای «سیگنال ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپر چیست؟» این مجموعه توضیح داده شده است.

9 تصورات غلط رایج

تصور غلط رایج – «فرکانس بالاتر همیشه بهتر است»

فرکانس بالاتر معمولاً به مخروط پرتو باریک‌تر و دقت بهتر کمک می‌کند، اما انتخاب فرکانس مناسب به هندسه مخزن، نازل و شرایط سطح بستگی دارد – نه یک قاعده مطلق. این انتخاب، موضوع مهندسی راهنمای سطح ۲ همین مجموعه است.

تصور غلط رایج – «رادار به هر مایعی به یک اندازه خوب پاسخ می‌دهد»

قدرت بازتاب سیگنال به خواص الکتریکی سیال – به ویژه ثابت دی‌الکتریک (Dielectric Constant) – بستگی دارد. برخی سیالات بازتاب ضعیفی می‌دهند و به دستگاه یا تنظیماتی نیاز دارند که بتواند سیگنال‌های ضعیف را هم به درستی پردازش کند.

10 جمع‌بندی

جمع‌بندی نکات کلیدی

- Radar Level Transmitter با ارسال و دریافت سیگنال میکروویو، بدون تماس فیزیکی با سیال، تراز را اندازه می‌گیرد.
- دستگاه مستقیماً فاصله را اندازه می‌گیرد؛ تراز از تفاضل فاصله با ارتفاع مرجع محاسبه می‌شود.
- فاصله کور، ناحیه‌ای نزدیک آنتن است که سطح هرگز نباید به آن برسد.
- زاویه پرتو، پهنای مخروط سیگنال را تعیین می‌کند؛ مخروط باریک‌تر، تداخل کمتری با دیواره و سازه‌های داخلی دارد.
- کف، آشفتگی سطح و سازه‌های داخلی می‌توانند کیفیت بازتاب را کاهش دهند.
- رادار از سیگنال الکترومغناطیسی و التراسونیک از موج صوتی استفاده می‌کند – تفاوتی که رفتار هرکدام را در بخار و شرایط دشوار متفاوت می‌کند.
- زنجیره اندازه‌گیری از ارسال سیگنال تا خروجی HART / 4–20 mA پنج مرحله دارد.

11 پرسش‌های متداول

➤ Radar Level Transmitter چگونه کار می‌کند؟

یک سیگنال میکروویو به سمت سطح مایع یا جامد می‌فرستد، بازتاب آن را دریافت می‌کند و از زمان رفت و برگشت سیگنال، فاصله تا سطح را محاسبه می‌کند. این فاصله سپس با استفاده از ارتفاع مرجع مخزن به تراز تبدیل می‌شود.

➤ آیا رادار سطح با سیال فرآیند تماس دارد؟

در نوع بدون تماس (Free Space Radar) – موضوع این راهنما – خیر. آنتن روی سقف یا نازل مخزن نصب می‌شود و هیچ قطعه‌ای وارد سیال نمی‌شود.

شرکت نیکان صنعت خاورمیانه

➤ فرق فاصله و تراز چیست؟

فاصله، آنچه دستگاه مستقیماً می‌سنجد، از آنتن تا سطح است. تراز، ارتفاع سیال از کف مخزن است – و از تفاضل فاصله اندازه‌گیری شده با ارتفاع مرجع مخزن به دست می‌آید.

➤ فاصله کور (Blocking Distance) یعنی چه؟

ناحیه‌ای بسیار نزدیک به آنتن که در آن دستگاه نمی‌تواند بازتاب را به درستی تشخیص دهد. اگر سطح مایع به این ناحیه برسد، خوانش دیگر قابل اعتماد نیست؛ به همین دلیل محدوده مفید اندازه‌گیری همیشه کمی کمتر از ارتفاع کامل مخزن است.

➤ چرا زاویه پرتو باریک‌تر معمولاً ترجیح داده می‌شود؟

چون سیگنال را روی سطح کوچک‌تری متمرکز می‌کند و احتمال برخورد پرتو با دیواره مخزن، نازل یا سازه‌های داخلی – پیش از رسیدن به سطح اصلی – را کاهش می‌دهد.

➤ چرا کف یا آشفتگی سطح روی اندازه‌گیری اثر می‌گذارد؟

چون بازتاب سیگنال را ضعیف یا پراکنده می‌کند. سطح آرام و صاف بازتابی قوی و قابل اعتماد می‌دهد؛ سطح کف‌دار یا آشفته ممکن است بازتابی ضعیف‌تر یا نویزی‌تر برگرداند.

تفاوت اصلی رادار و التراسونیک در اندازه‌گیری سطح چیست؟

رادار سیگنال الکترومغناطیسی می‌فرستد که نیازی به محیط گازی برای انتشار ندارد و کمتر تحت تأثیر بخار، دما و فشار قرار می‌گیرد. التراسونیک موج صوتی می‌فرستد که برای انتشار به یک محیط گازی واقعی نیاز دارد.

12 منابع و ادامه مسیر

این سند یک راهنمای مفهومی سطح ۱ است و عمداً وارد انتخاب فرکانس، محاسبه زاویه پرتو یا مقادیر عددی ثابت دی‌الکتریک نمی‌شود. این موضوعات، الزام مهندسی کاربردی دارند و در اسناد سطح بالاتر همین مجموعه ارائه می‌شوند.

منابع مرتبط NICO

ادامه همین موضوع

- راهنمای مهندسی انتخاب و نصب NICO-EDU-LVL-L2-002-FA – Radar Level Transmitter
- طراحی و تحلیل پیشرفته سیستم اندازه‌گیری سطح با رادار NICO-EDU-LVL-L3-003-FA – FMCW

مرتبط از دسته سیگنال و اندازه‌گیری

- سیگنال 4–20 mA چیست؟ NICO-EDU-SIG-L1-001-FA

این راهنما یک سند آموزشی مفهومی است و هیچ مشخصه یا مدل محصول خاصی در آن ادعا نشده است.

