الفصل السادس

قياس المستوى باستخدام الاشعاعات غير المؤينة

٦ – ١ اجهزة قياس المستوى باستخدام الاشعاعات غير المؤينة :

يمكن استخدام الاشعاعات غير المؤينة كمقاييس نووية لقياس الارتفاع والتحكم بالعمليات الانتاجية. وتمتاز هذه الطريقة بأنها لأتعرض العاملين والجمهور الى الاشعاع المؤين والتـــأثير البـــايولوجي للإشعاع . لكنها لايمكن ان تستخدم لقياس الارتفاع للخزانات السميكة او التي تحوي على الابخرة او المواد ذات الكثافة القليلة لعدم قدرة هذه المواد على عكس الموجات غير المؤينة بشكل جيد نحو جهاز الاستقبال.

اهم هذه الموجات هي الموجات فوق الصوتية والموجات القصيرة مثل موجات الرادار .

٦ – ٢ مقاييس المستوى بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic Level Gauges

يعود استخدام الموجات فوق الصوتية إلى بداية القرن الماضي عندما استخدمت الموجات لقياس اعماق البحار ، وكذلك أستخدمت خلال الحرب العالمية الثانية من قبل البحرية البريطانية في توجيه السفن الحربية في البحار. الموجات الفوق الصوتية هي الموجات التي يزيد ترددها عن ٢٠ كيلوهرتز ولا تستطيع الأذن البشرية سماع هذه الموجات ويمكن سماعها من قبل بعض الحيوانات (مثل الكلاب والخيول وبعض الطيور)، وتنتقل في الأوساط بنفس سرعة الصوت وتتغير هذه السرعة بتغير الوسط ودرجة الحرارة، وقد وجد أن سرعة الموجات الصوتية أو فوق الصوتية تزداد بمقدار ٠،٠٦١ م /ثا كلما ارتفعت درجة الحرارة درجة سيليزية واحدة :-

$$V_t = V_0 + 0.61\ \Delta T$$

حيث: V_t سرعة الصوت عند أي درجة حرارية .

V_0 سرعة الصوت في صفر درجة سيليزية = ٣٣٠,٥ م/ثا.

ΔT التغير في درجات الحرارة.

فسرعة الصوت في درجة حرارة الغرفة تساوي ٣٤٠ م/ثا تقريباً في الهواء وفي المـــاء ١٤٩٦ م/ثا، وعندما تزداد درجة حرارة الهواء إلى ١٠٠ درجة سيليزية تصبح سرعة الموجات الصوتية ٣٨٦ م/ثا. استخدمت الموجات فوق الصوتية في تطبيقات علمية كثيرة منها قياس ارتفاع المـــواد داخل الخزانات ذلك من خلال ارسال واستقبال الموجات المنعكسة .يعمل متحسس الموجات فـــوق الصوتية في قياس الارتفاع على أساس تناقص اهتزاز الموجات فوق الصوتية أو على امتصاص أو بث الموجات فوق الصوتية.

ويمكن قياس المسافة من خلال قياس زمن إرسال واستلام الموجة المنتقلة من الوسط الكثيف. ويقاس مستوى شدة الصوت بوحدة تسمى الديسي بيل.

يمكن توليد الموجات فوق الصوتية من خلال استخدام الاهتزازات المرنة لبلورات مولدات الطاقة التي تتجاوب مع اهتزاز المجال الكهربائي المتناوب بتردد اكبر من ٢٠٠٠ هرتز وهي في حالة رنين. تعمل هذه البلورات على مبدأ التغماز(البيزو) (Piezoelectric) وهو تحويل الطاقة من شكل إلى آخر. ومن أقدم بلورات مولدات الطاقة تلك التي تتكون من شريحة رقيقة من الذهب مغلفة بشريحة من الألمنيوم ومثبته بواسطة نابض حلزوني. أما البلورات المستخدمة حالياً فهي عبارة عن بلورات سيراميكية أو من البوليمرات والتي تهتز بترددها الطبيعي. هذا النوع من البوليمرات يمتاز بصلابته ويمكنه الصمود تحت الضغوط العالية. فالموجات فوق الصوتية تنتشر بشكل حزم ضيقة يمكن توجيهها في اتجاهات معينة وتزداد طاقه وشدة الموجة في تلك الحزمة . وبشكل عام فكلما كان قطر هذه البلورات كبيراً كان القياس لارتفاعات اعمق وبتردد أقل. والسبب في ذلك لأنه بعد انبعاث الموجات فوق الصوتية فان البلورة تحتاج إلى زمن لكي يخمد الاهتزاز. ان تردد الاهتزاز يتناسب عكسياً مع قطر بلورات محولات الطاقة، فكلما كان قطر البلورة صغيراً كان التردد المتولد كبيراً.

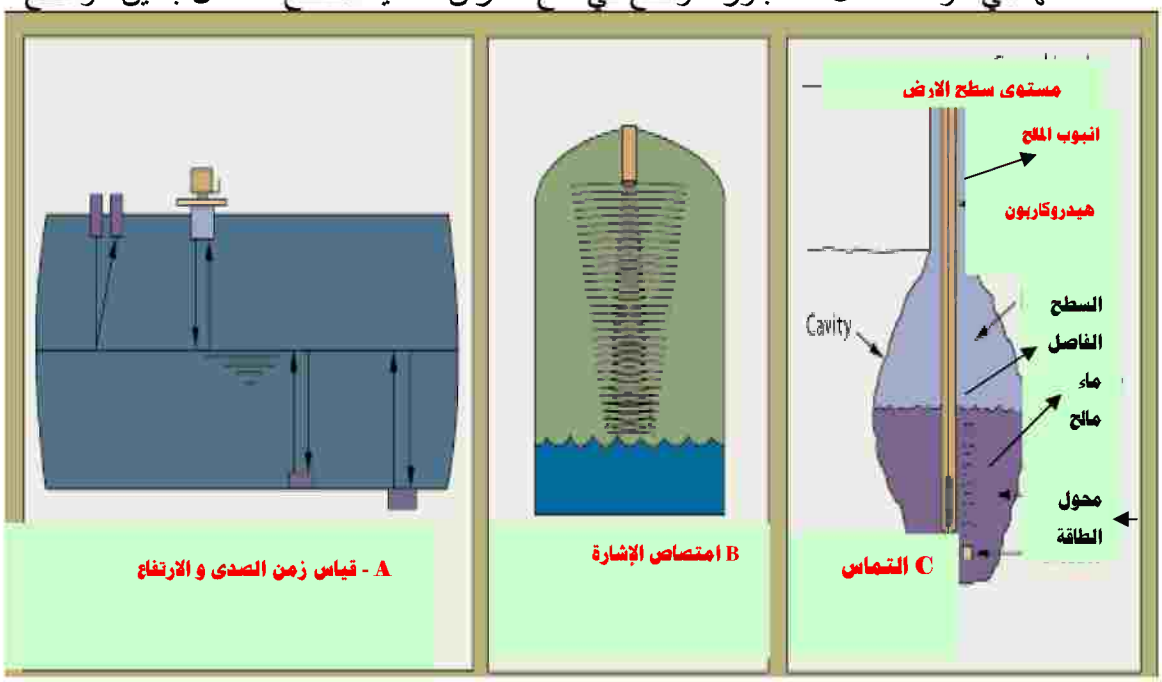
منظومة قياس المستوى بواسطة الموجات فوق الصوتية تتكون من مرسل ومستقبل منفصلين عن بعضهما (شكل **A 6-1**). ومع ذلك فان بعض المنظومات تحتوي على بلورات تفتح وتغلق في فترات منتظمة لكي ترسل الموجات وتستلم الموجات المنعكسة (الصدى). وعندما توضع المنظومة أعلى الخزان فان المتحسس يمكنه قياس عمق بخار السائل فيه ومنها يمكن قياس ارتفاع المادة داخل الخزان. ومن معرفة المقطع العرضي وشكل الخزان يمكن قياس حجم السائل داخل الخزان . وإذا كان المطلوب قياس ارتفاع عمود السائل بشكل مباشر فان البلورة توضع في قاع الخزان وهذا يعرض البلورة الى المائع داخل الخزان و يحدد من صيانة المنظومة لذلك يمكن وضع المنظومة في الأسفل وخارج جدران الخزان ولكن هذه الطريقة تؤدي الى اضعاف الموجة فوق الصوتية الساقطة أو المستلمة نتيجة للامتصاص والتشتت من قبل جدران الخزان. جميع هذه الحالات موضحة في (شكل **B1-6**). السوائل الساكنة والأجسام الصلبة داخل الخزان تتكون من دقائق صلبة كبيرة وتكون عاكس جيد للموجات فوق الصوتية لذلك فان قياس الارتفاع لهذه المواد بواسطة الموجات فوق الصوتية يكون دقيقاً . ولكن الأبخرة والدقائق الصغيرة المنفصلة فانها عاكس غير جيد للموجات فوق الصوتية، ان قدرة الموجات فوق الصوتية تنخفض بمقدار (١-٣) ديسي بيل لكل متر تقطعه الموجة، لذلك من المهم وعند قياس أعماق كبيرة أن تولد البلورات موجات ذات شدة

عالية وطاقة مركزة بشكل جيد. يفضل أن يكون سطح المادة المراد قياس عمقها مستوياً وعمودياً على اتجاه الموجة فوق الصوتية. في تطبيقات ارتفاع السوائل فان درجة انحراف الموجات فوق الصوتية لا تتجاوز ٢ درجة عن العمود. لقياس السطح الفاصل بين سائلين مختلفين في الكثافة مثل الهيدروكربونات والماء المالح في بئر تخزين السوائل المالحة، فان بلورات محول الطاقة توضع في قاع البئر فترسل الموجات فوق الصوتية خلال الطبقة المالحة الثقيلة إلى السطح الفاصل، والزمن اللازم لعودة الصدى إلى البلورة يعطي مؤشراً الى موقع الحد الفاصل .شكل (C ٤ – ١).

معظم المنظومات الحديثة للموجات فوق الصوتية تحتوي على مقياس لدرجة الحرارة ومرشحات لتحليل النتائج والتعيير الذاتي لكل المتغيرات. يوضح الشكل (2-6) منظومة ثابتة لغرض التعيير الاوتوماتيكي الى مقياس الارتفاع، تستخدم مجموعة من المنظومات لغرض التعيير والتي تجعل قياس الاعماق دقيقاً، وتصل الدقة الى حوالي٥ ملم عند قياس مسافة ٣٠ م وحدات القياس التي تستخدمها المختبرات يمكنها ان تعيّر نفسها اتوماتيكياً او تحول المستوى للخزانات غير المنتظمة ، الدائرية، أو الاسطوانية الى حجم حقيقي .

شكل ٦ – ١ مقاييس الارتفاع باستخدام الموجات فوق الصوتية

A – قياس زمن الصدى ومنة قياس الارتفاع B– امتصاص الإشارات وانعكاسها خـــلال انتقالها في الوسط C – البلورة توضع في قاع الخزان لتحديد السطح الفاصل بـــين موائـــع



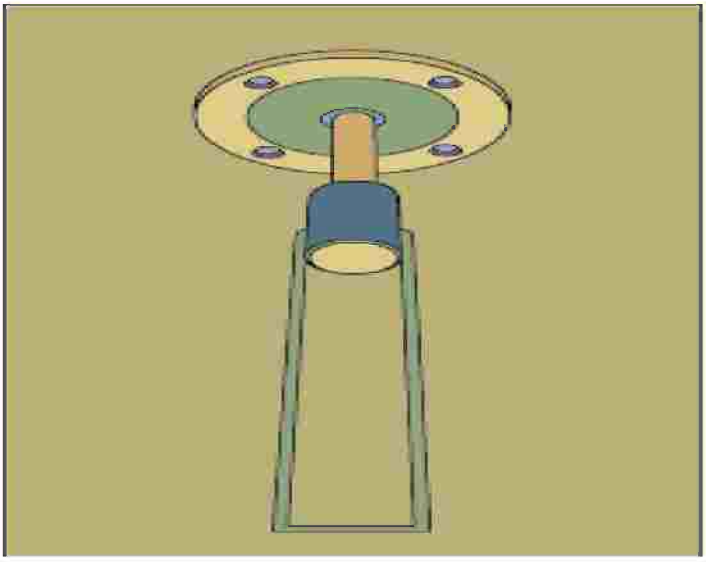
٦ – ٣ مفاتيح (مقاييس)المستوى Level Switches

لغرض قياس المستوى عند ارتفاع معين نستخدم نوعين من مفاتيح القياس.

المقياس الأول: مقياس الخمود (Dampened Design)

بلورات محولات الطاقة تجعل وجه المتحسس يهتز بالتردد الرنيني، حيث أن هذا الاهتزاز يخمد عندما يغمر الجهاز في السائل ، هذه المفاتيح (المقاييس) يمكن أن تثبت خارج أو داخل الخزان، فوق أو تحت مستوى السائل بشكل عمودي أو أفقي ، تستخدم هذه المقاييس في حالة السوائل النظيفة فقط لأن السوائل غير النظيفة تؤدي إلى تكون طبقة عازلة فوق المتحسس والتي تخمد الاهتزاز. أما المواد الصلبة فان مقاييس خمود الاهتزاز لا يكون مناسباً للقياسات الدقيقة.

شكل (٦ -٢) منظومة التعيير في المقاييس فوق الصوتية



المقياس الثاني: مقياس (مفتاح) الامتصاص:-

يتكون هذا المقياس من بلورتين أحداهما للارسال والاخرى للاستقبال وتملأ الفجوة بينهما بسائل.تنتقل الموجات فوق الصوتية بين البلورتين فاذا كانت الفجوة مملؤة بالبخار فان نبضة الموجات فوق الصوتية لا تصل إلى المستقبل. يمكن أن تثبت البلورات على جانبي الخزان. وعندما تكون موائع العمليات كثيفة مثل الملاط (sludge) فيفضل أن تكون الفجوة بين البلورتين واسعة للتأكد من أن السوائل الملتصقة على السطح يمكن أن تمر كلياً من هذه الفجوة. عندما ينخفض المستوى فان وجود أو غياب السطح الفاصل بين السوائل النظيفة يمكن قياسها

بوضع متحسس للإمتصاص بزاوية ١٠° أسفل الأفق. وبهذه الطريقة ولأن المتحسس مغمور في السائل الثقيل أو الخفيف فان النبضات فوق الصوتية سوف تصل إلى المستقبل..

٦ – ٤ استخدام الرادار في قياس المستوى.

تعتمد تقانة قياس المستوى على قابلية المواد إلى امتصاص او عكس الإشعاع ،ففي حالة القياس المستمر للمستوى فان الأنواع الشائعة الاستخدام من المقياس تستخدم الموجات الفوق صوتية والإشعاع المؤين . وتستخدم الان بشكل واسع موجات الرادار لقياس الارتفاع في كثير من التطبيقات الصناعية.من اهم مزايا قياس المستوى باستخدام الموجات هو عدم وجود الاجزاء المتحركة للقياس داخل الوعاء .

٦ – ٥ الموجات الرادارية:

يرجع استخدام موجات الرادار لقياس الأبعاد إلى عام ١٩٢٥ حيث قام الباحثين الأمريكين بقياس ارتفاع الطبقة المتاينة في جو الأرض. وفي عام ١٩٣٥ استخدم روبرت واط من انكلترا موجات الرادار للكشف عن الطائرات . يعتمد أساس عمل الرادار على ظاهرة الاهتزاز الكهربائي والحصول على صدى كهرومغناطيسي. لذا فهو جهاز ارسال واستقبال في نفس الوقت. كلمة رادار مختصرة لعبارة (**Radio Detection and Ranging**) وتعني الكشف وتعين المدى بالاسلكي .يكون بث الرادار موجها بدقة ويتم ذلك من خلال تركيز الطاقة بحزم ضيقة باستخدام صحن سطحة بشكل مقطع مكافىء يثبت فيه هوائي نهايته تقع في بؤرة القطع المكافىء ، يتم من خلاله ارسال وتسلم النبضات .ولكي يكون عمل الرادار سريعا فأن مدة الارسال أو التسلم يجب ان تكون قصيرة وذلك يقتضي وجود مؤقت يحدد مدة البث والاستقبال ويعطي المؤقت إيعازه إلى مفتاح الكتروني فيعملان بالتزامن ويقوم المفتاح الالكتروني بفتح دائرة الارسال وغلق دائرة الاستقبال والعكس بالعكس.

كل من موجات الرادار والموجات المايكروية متشابهة وتتحرك بسرعة الضوء ولكنها تختلف في التردد فالموجات المايكروية لها تردد يتراوح بين ١–٣٠٠ كيكا هرتز وقدرتها تتراوح بين ٠.١ – ٥ ملي واط /سم^{٢} اما الرادار فان قدرته اقل وبحدود ٠.٠١ ملي واط/سم^{٢} .أن متحسسات الرادار تتكون من مستقبل مرسل وهوائي ومعالج دقيق. يثبت المرسل في أعلى الخزان ويحتوي على بلورة محولة للطاقة (**Transducer**) تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية (فرق الجهد بين طرفيها) إلى موجات كهرومغناطيسية (اهتزاز). يبعث محول الطاقة موجات كهرومغناطيسية تتجه نحو أسفل الخزان وترتد عندما تصطدم بسطح المائع داخل الخزان وتعود إلى الهوائي والذي يكون بشكل قطع مكافئ أو بشكل بوق (**horn**) شكل (**3-6**). تتجمع الموجات المرتدة وتذهب إلى المستقبل وبواسطة المعالج الدقيق يحسب زمن انتقال الموجة ذهابا

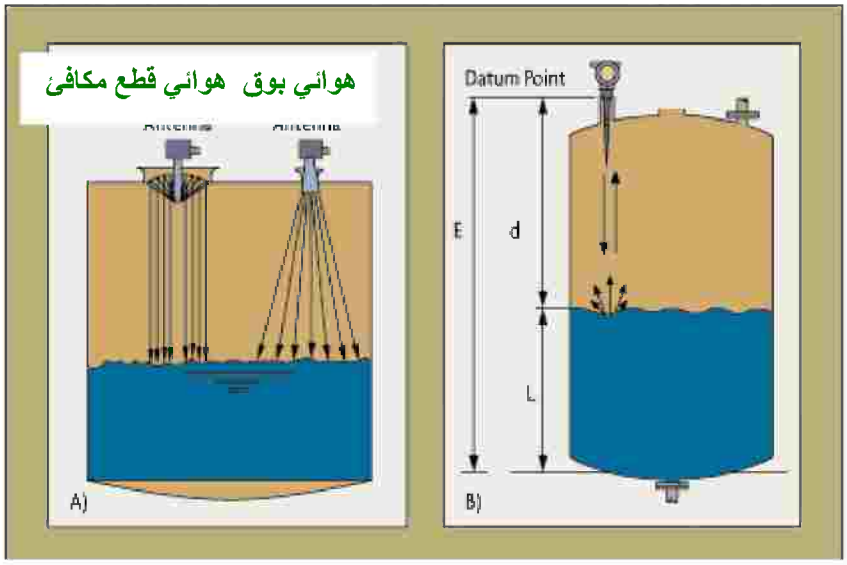
وايابا ومنه يحسب ارتفاع المائع ،أن زمن الانتقال هو الزمن بين إرسال موجة الرادار واستقبال الموجات المنعكسة نحو السطح والتي تسجل بواسطة عداد الرادار.يحسب عمق المائع (d) من زمن الانتقال (t) وسرعه الضوء C حيث:

$$d = t/2C$$

يحسب مستوى السائل (L) من الفرق بين ارتفاع الخزان E وعمق المائع d.

$$L = E - d$$

شكل (3-6) مقياس الارتفاع باستخدام موجات الرادار A - هوائي قطع مكافئ وهوائي اخر بشكل بوق B - قياس عمق المائع نتيجة لانعكاس موجات الرادار



وبمعرفة سرعه الإشارة (C) وثابت العزل الكهربائي(d) للبخار،(القدرة النسبية لمقدرة البخار اللازم لعكس الموجات الكهرومغناطيسية)فان سرعه موجات الرادار المرسلة (v) يمكن كتابتها بالشكل التالي .

$$v = C/(d)^{0.5}$$

الهوائي المستخدم في أجهزة القياس الارتفاع هوالهوائي ذي القطع المكافئ أو هوائي البوق.عندما يرسل مقياس المستوى الإشارة المايكروية فإنها تنتشر من خلال الهوائي وكلما ازداد قطر الهوائي فان زاوية الانفراج تكون قليلة وشدة الإشارة تكون كبيرة .ويؤي كبر مساحة الهوائي إلى زيـــادة تركيز الإشعاع وتقليل الضوضاء في الموجة المرسلة والمستقبلة .

يوضح الشكل 4-6 & 5-6 الهوائي المعزول والموضوع خارج الخزان وهذا العزل كهربائي وحراري . فإذا وجه الهوائي نحو الخزان فانه يتعرض إلى البخار المنبعث من الخزان ولكن الفائدة من هذاالاتجاه هو الحصول على إشارة كبيرة . أن مقياس الارتفاع باستخدام الرادار على نوعين:

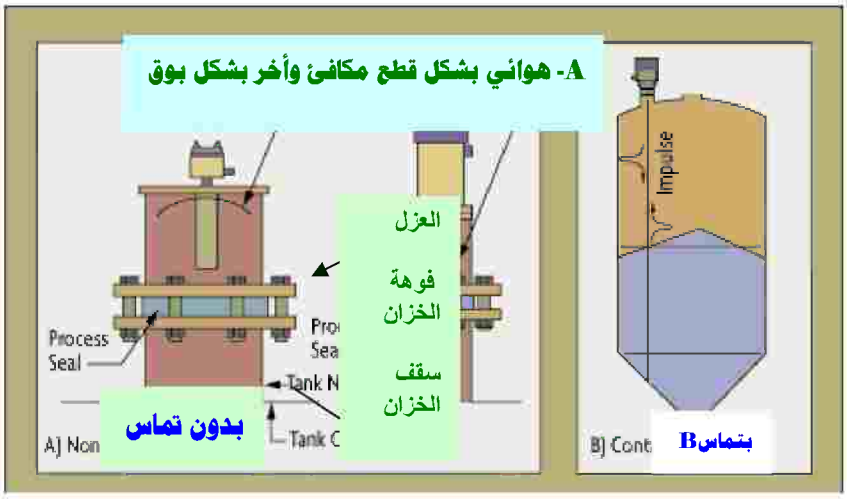
١ - الرادار الملامس.

في هذا النوع تبث الموجات الميكروية من البلورات وتقاس المسافة باستخدام زمن العبور.

٢ - الرادار غير الملامس

يستخدم هذا النوع الموجات بشكل نبضات رادارية أو أن الموجات تكون مضمنة ترددیا و مستمرة (frequency modulated continuous wave) . يرسل المتحسس موجة مستمرة مضـــمنة ترددیا بشكل خطي والفرق في التردد المتولد عن اختلاف الزمن بين الموجات المرسلة والمستلمة يمكن منها ان نجد المسافة.

شكل ٦ – ٤ الهوائي معزول وموضوع فوق الخزان A- مقطع هوائي بشكل قطع مكافئ وأخر بشكل بوق
B- الهوائي المعزول والموضوع خارج الخزان



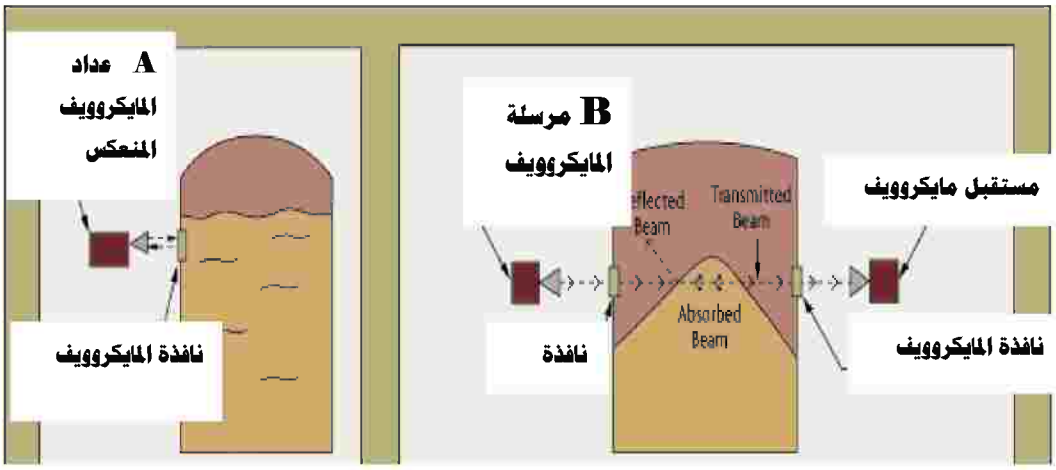
موجة الرادار يمكن أن تخترق مواد البلاستيك و ألياف الزجاج لذلك فان الرادار غيـــر الملامـــس لقياس المستوى يمكن أن يعزل عن أبخرة العمليات الصناعية بالإحكام والإغلاق.الإغلاق قد يكون فوق الهوائي ذي القطع المكافئ أو يمكن عزل المتحسس تماما (شكل ٦ – ٤ A). يمكن استخدام متحسس الرادار عندما تكون المواد داخل الخزان قابلة للاشتعال أو أن درجة حـــرارة المكونـــات متغيرة . تستخدم المقاييس الحديثة هوائي صغير وتعمل بتردد مقدار ٢٤ كيكا هرتز وحزمة ضيقة من الموجات فوق الصوتية . صغر الهوائي تجعل المنظومة صغيرة وخفيفة والحزمة الضيقة تقلل من الموجات المنعكسة عن الأجهزة الموجودة داخل الخزان مثل المبادلات الحراريـــة والأنابيـــب

الداخلية وان وجود المنظومة أعلى الخزان يعرضها إلى مخاطر التعرض إلى مكونات سوائل الخزان أو تلوثها بالمواد الكيماوية عند صيانة الأجهزة داخل الخزان . المقياس الحديثة مصممة للعمل في بيئة صناعية ملوثة لذلك فان استخدام الكترونيات أشباه الموصلات وعدم استخدام منظومة ميكانيكية يؤدي إلى قلة الصيانة وزيادة العمر التشغيلي لمقياس الرادار . ترسل بلورات المنضومة نبضه نحو الأسفل بواسطة سلك إلى السطح الفاصل بين السائل والبخار فإذا حصل تغير مفاجئ في ثابت العزل الكهربائي فان الإشارة سوف تنعكس جزئيا ثم يقاس زمن الانتقال (شكل ٦– ٤ B). هذه الطريقة تستخدم لقياس ارتفاع السوائل والمواد الصلبة ذات الحبيبات الصغيرة إلى أكثر من حجم ٢٠ ملم . وتقسم هذه المقياس إلى نوعين:

١ - مقياس انعكاس الموجة

في هذة المقاييس نتنعكس موجة الرادار عن سطح المائع و يقاس التغير في ارتفاع الإشارة المنعكسة (شكل ٦–٥ A). يعيد الهواء والبخار قسما قليلا من الإشارة بسبب قلة ثابت العزل بينما المواد ذات ثابت العزل الكبير مثل الماء فان الإشارة المنعكسة تكون كبيرة، أن المقاييس الحساسة يمكن أن تفرق بين السطوح الفاصلة للسائل – سائل، أو السائل– صلب.المواد ذات ثابت العزل القليل مثل حبيبات البلاستيك ثابت العزل(١.١) يمكن قياسها إذا كان قطر الجسيم اقل من (٠.٢٥ سم) .

شكل(٦ - ٥) مقياس راداري A- مقياس انعكاس موجة الرادار من خلال نافذة على سطح الوعاء
B- مقياس انعكاس ونفوذ موجة الرادار من خلال نافذ تين على سطحي الوعاء



٢-مقياس مجزئ الحزمة (Beam-breaker Switch)

وفي هذا النوع ترسل حزمة من الموجات المايكروية من المرسل إلى المستقبل واللذان يقعان على جهتين مختلفتين من الخزان وعندما تتوقف الحزمة فان الإشارة تضعف ويمكن قياس المسافة. كلا الطريقتين أعلاه تستخدم بشكل ملائم في جميع التطبيقات التي لاتحتاج اختراق الخزان .هذه الطريقة الاتلافية يمكنها إرسال موجات كهرومغناطيسية خلال الخزانات البلاستيكية،السيراميكية،أو الألياف الزجاجية.

محددات هذه الطريقة:

١ – خواص الانعكاس في المواد داخل الخزانات تؤثر بشكل كبير على شدة موجة الرادار المنعكسة.فإذا كانت المادة سائلة فان خواص الانعكاس جيدة ويمكن قياس ارتفاع السائل بدقة بينما لايمكن ذلك إذا كانت المواد صلبة،

٢ – يمكن لموجات الرادار قياس ارتفاع السائل الواقع تحت طبقة خفيفة من الهباء ولكن إذا كانت ذرات الهباء كبيرة فلا يمكن قياس ارتفاع السائل بسهولة ويقاس في هذه الحالة ارتفاع دقائق الهباء وليس السائل.

٣ – ترسبات الهباء والأوساخ على الهوائي والأنابيب الداخلية يولد انعكاسات متكررة في جدار الخزان جميعهما تساهم في التداخل في دقة عملية قياس المستوى بواسطة موجات الرادار.

خلال هذه السنوات تم أنتاج مقاييس متطورة (شكل ٦–٦)

(شكل ٦-٦) مقياس راداري خفيف وصغير