الممانعة (المعاوقة) الصوتية

Acoustic Impedance

مقدمة (Introduction):

يتحدث هذا الفصل عن المعاوقة الصوتية، مقدماً تعريفاً وفكرةً عن المعاوقة الصوتية وما هي أهميتها.

1.6 ما هي المعاوقة الصوتية؟ (What is Acoustic Impedance?)

المعاوقة الصوتية هي ممانعة الوسط لحركة الموجة الطولية. ويعتمد ذلك على كل من خصائص الوسط ونوع الموجة المنتشرة عبر الوسط. وهي تميز العلاقة بين ضغط الصوت المطبق وسرعة الجسيم الناتجة عنه. تسمى هذه الممانعة بالمعاوقة الصوتية النوعية (Specific Acoustic Impedance) للوسط لأنها تميز الوسط نفسه. فعندما ينقل مصدر الصوت طاقته إلى وسط ما، فإن الوسط يعاكس حركة المصدر بنوع من المعاوقة المتوسطة، هذا لا يعتمد فقط على الوسط ولكن أيضًا على حجم الكتلة الهوائية التي يدفعها مصدر الصوت.

بشكل مشابه، في بعض الحالات، يمكن للوسط نفسه أن يهتز كنظام ميكانيكي (على سبيل المثال، أعمدة الهواء في الأنابيب والأبواق) حيث يتميز بأمواج ثابتة بدلاً من الأمواج المنتشرة. لذلك، في الصوتيات، هناك حاجة إلى نوع آخر من المعاوقة يشبه مقاومة التدفق الميكانيكية في النظام الهيدروليكي والتي تحدد نسبة ضغط المائع إلى كمية السائل المتدفق عبر الأنبوب في واحدة الزمن. يسمى هذا التناظر لممانعة التدفق الميكانيكي بالمعاوقة الصوتية (أو معاوقة التدفق الصوتية، Acoustic Flow Impedance).

تميز المعاوقة الصوتية النوعية والمعاوقة الصوتية حالات فيزيائية مختلفة؛ ومع ذلك، في العديد من المقالات والكتب المتخصصة، هناك حاجة إلى مصطلح واحد فقط من هذه المصطلحات. على سبيل المثال، يتم استخدام مفهوم المعاوقة الصوتية النوعية في صوتيات الغرفة (Room Acoustics) وانتشار الصوت في الهواء الطلق، أما مفهوم المعاوقة الصوتية فيطبق على الحالات التي تأخذ في الاعتبار صوتيات الموسيقى (Music Acoustics) والإلكترونيات الصوتية (Electroacoustics). في مثل هذه الحالات، يمكن استخدام نفس المصطلح - المعاوقة الصوتية - ومن المهم معرفة أي من المعوقتين يتم اعتباره.

تسمح لنا المعاوقة الصوتية بحساب الاستطاعة الصوتية والشدة والانعكاس والانتقال عند الحدود الفاصلة بين الأوساط. حيث تعطى المعاوقة الصوتية النوعية بالعلاقة الآتية:

$$z = \rho \times c$$

حيث ρ هي كثافة الوسط وواحدتها في الجملة الدولية kg/m^3 أما c فهي سرعة الصوت وواحدتها m/s. فواحدة المعاوقة الصوتية النوعية فهي rayl (Ry)، والتي تساوي 1 $kg/(m^2s)$ أو 1 Ns/m^3. بالنسبة للهواء، $z = 428$ Ry عند 0 درجة مئوية و $z = 413$ Ry عند 20 درجة مئوية. أما بالنسبة للماء، $z = 14.8$ MRy.

وبالتالي، فإن المعاوقة الصوتية التي تعمل في مواجهة انتشار الموجة تزداد بزيادة كل من الكثافة بالإضافة إلى زيادة سرعة الصوت. وأيضاً تتغير المعاوقة الصوتية النوعية للهواء مع تغير درجة الحرارة لأن كلا من الكثافة وسرعة الصوت تعتمدان على درجة الحرارة.

تحدد المعاوقة الصوتية النوعية شروط انتشار الأمواج الصوتية التي تتحرك عبر وسط ما، أو شروط نقل الطاقة الصوتية من وسط إلى آخر، فمثلاً من الهواء إلى جدار الغرفة. لذلك فإن ضغط الصوت الكبير سيولد سرعة للجسيمة كبيرة إذا كانت ممانعة الوسط منخفضة، لكن نفس ضغط الصوت سيولد سرعة جسيمات صغيرة نسبيًا إذا كانت المعاوقة الصوتية للوسط مرتفعة.

كما تم مناقشته أعلاه، يجب التمييز بين المعاوقة الصوتية النوعية والمعاوقة الصوتية لكتلة الهواء المهتزة، الذي يشاهد في الكتل الهوائية المغلقة، مثل الهواء في الأنبوب أو في ألات النفخ الموسيقية. في هذه الحالات، لا تعتمد المعاوقة الصوتية فقط على نوع الوسط، ولكن أيضًا على أبعاد الحجم المغلق.

تحدد المعاوقة الصوتية (Z) الممانعة التي يوفرها حجم الهواء المغلق وتحدد قيمة سرعة الحجم (U، وتسمى أيضًا بتدفق الوسط). أن سرعة الحجم هي حجم السائل أو الغاز الذي يعبر مساحة سطح معينة في واحدة الزمن بعد تطبيق الضغط الصوتي. بمعنى آخر، تشير سرعة الحجم إلى عدد الجسيمات (من وجهة نظر الحجم) التي تتحرك عبر مستو معين. أما الضغط الكبير فيعني أن المزيد من الجسيمات تتحرك لمسافة أبعد؛ لذلك، ينتج عنه سرعة حجم أكبر.

أن المعاوقة الصوتية النوعية (z) هي "معاوقة نقطية"، أي الممانعة التي تشير إلى العلاقة بين الضغط والسرعة عند نقطة معينة في مساحة غير محدودة:

$$z(x) = \frac{p(x)}{u(x)}$$

Air Pressure

Specific Acoustic Impedance

Longitudinal Particle Velocity

في المقابل، فإن المعوقة الصوتية (Z) هي نسبة متوسط ضغط الصوت عبر سطح محدود افتراضي. فمثلا، تُستخدم المعاوقة الصوتية لحساب مقدار الطاقة التي ينتجها نظام صوتي معين عبر سطحه المشع.

Acoustic Impedance = pressure/flow

Specific Acoustic Impedance = pressure/velocity

بالإضافة إلى ذلك، فإن المعاوقة الصوتية النوعية، z، هي خاصية محددة جداً للوسط. بحيث يمكننا تحديد z للهواء أو الماء.

إن المعاوقة الصوتية Z هي خاصية لشكل هندسي معين وللوسط أيضاً، يمكننا على سبيل المثال مناقشة Z لقناة معينة مملوءة بالهواء. عادة، تختلف Z بشدة عندما يتغير التواتر. فتشير المعاوقة الصوتية عند تواتر معين إلى مقدار ضغط الصوت الناتج عن تدفق صوتي معين عند هذا التواتر.

2.6 لماذا المعاوقة الصوتية مهمة؟ (Why Acoustic Impedance is important?)

المعاوقة الصوتية مهمة في:

1. تصميم محولات فوق صوتية (ultrasonic transducers).
2. تقييم امتصاص الصوت في الوسط.

3.6 فكرة المعاوقة (The Notion of Impedance)

تعني المعاوقة الكبيرة تغيراً كبيراً في الضغط من أجل تغير صغير في السرعة. أما المعاوقة الصغيرة فتعني تغيراً صغيرًا في الضغط والذي يعطي تغيراً كبيرًا في السرعة.

يمكن وصف المعاوقة كتابع للتواتر. فيمكنك الحصول على استجابة كبيرة عند بعض التواترات ولكن ليس عند تواترات أخرى.

يربط قانون أوم المقاومة (R) بالجهد (V) والتيار(I) بالعلاقة: $V = IR$. حيث تشبه المعاوقة الصوتية (Z) المقاومة الكهربائية ولكن في هذه الحالة نستخدم الضغط بدلاً من الجهد والتدفق بدلاً من التيار.

**********نهاية الفصل السادس**********