

التجاوب والترشيح

Resonance and Filtering

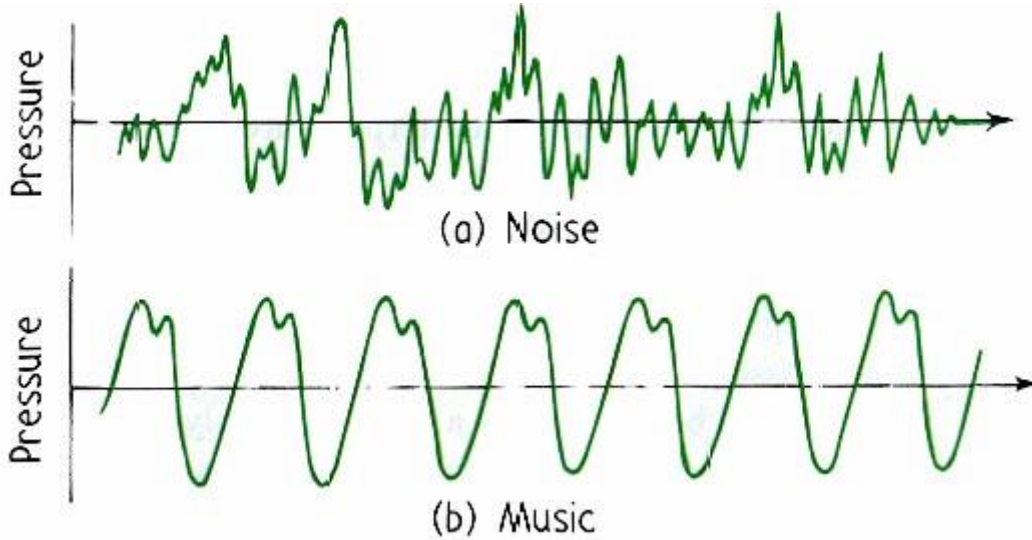
مقدمة (Introduction):

يتحدث هذا الفصل عن ظاهرتي التجاوب (الرنين) والترشيح. فيقدم تعريف لظاهرة التجاوب وشرط حدوثها ومتى تكون مرغوبة في التطبيقات العملية ومن ثم يعطي فكرة عامة عن عملية الترشيح الصوتي ويقدم مثلاً عنه وهو الترشيح في دماغ الإنسان ويتضمن الفصل بعض الأمثلة المحلولة.

1.4 التجاوب (Resonance)

تملك العديد من الجمل الميكانيكية أنماط طبيعية من الاهتزاز، والتي تتضمن أعمدة هواء (كما في آلات النفخ) والأوتار المشدودة (كما في آلة الغيتار). فإذا قمت برمي مفتاح فإنه يصدر صوتاً، يكون الصوت الذي يصدره بتواتره الطبيعي. وإذا قمت بمحاولة جعل جملة تهتز بتواتر يختلف عن تواترها الطبيعي، فسوف تهتز بترنج ولكن لن تصل إلى سعة عظمى.

ينتج كل من الجرس والشوكة الرنانة والناي اهتزازات عند تواتر منفرد ويقال أنها تنتج نغمة صافية (نقية). بينما تنتج أدوات أخرى مجموعة من التواترات والتي تتضاعف مع بعضها البعض لتوليد صوت غني. أما بعض الكائنات فتنتج مجموعة من التواترات والتي لا ترتبط ببعضها البعض بعلاقة بسيطة وتولد صوتاً ليس موسيقياً على الإطلاق – ولكنها تنتج عوضاً عن ذلك ضجيج (كما هو واضح في الشكل 1.4).

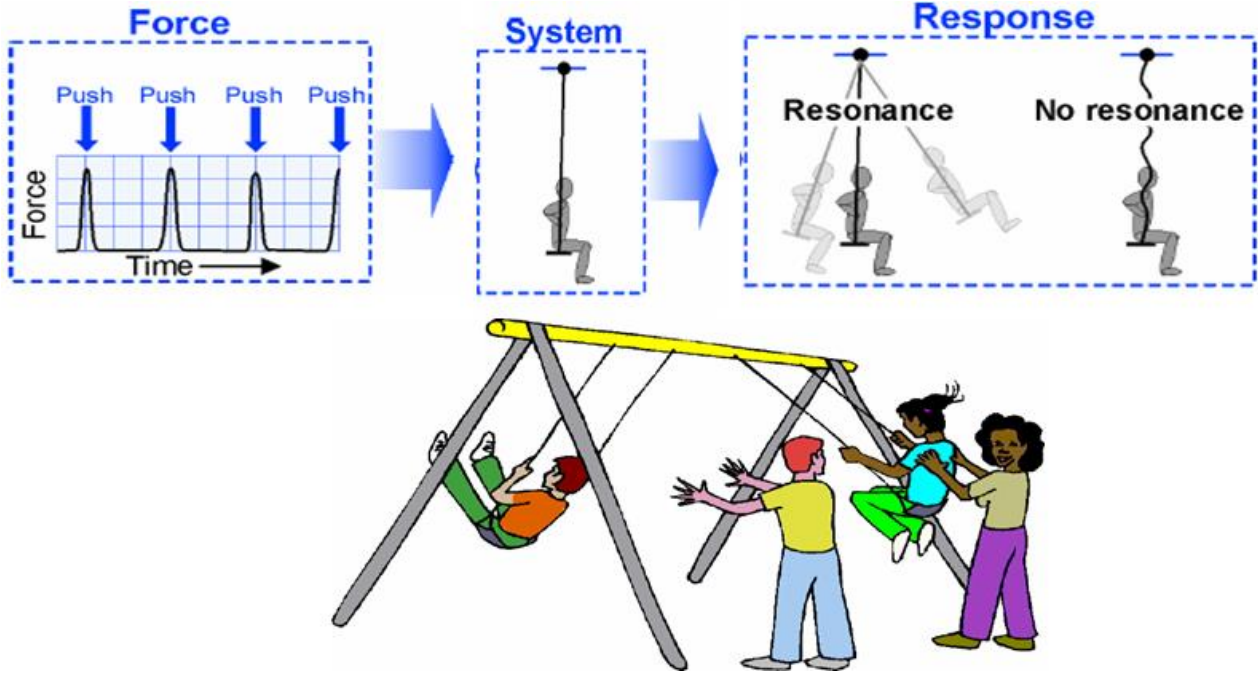


الشكل 1.4: يوضح الفرق بين أصوات الضجيج (a) وهي مجموعة من الأصوات لا ترتبط ببعضها البعض بعلاقة بسيطة والأصوات الموسيقية (b) والتي تملك تواتر منفرد.

بفرض أننا قمنا بتطبيق قوة متغيرة وبشكل دوري على جملة يمكن أن تهتز. بالنتيجة تجبر الجملة على الاهتزاز بتواتر يساوي تواتر القوة المطبقة (يدعى هذا التواتر بالتواتر المولد) وتدعى هذه الحركة بالاهتزاز القسري. في الخصوص، توصف هذه الظاهرة بالتجاوب الميكانيكي.

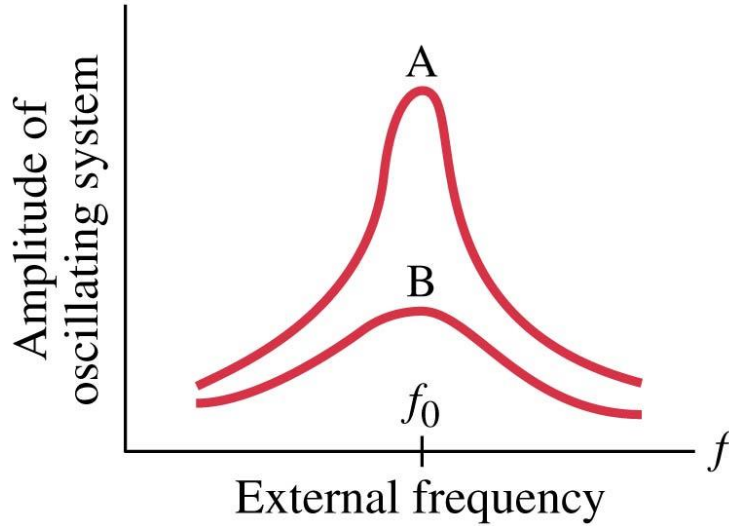
أبسط مثال عن التجاوب هو دفع طفل على أرجوحة. الأرجوحة هي عبارة عن نواس بسيط والتي تملك نمط اهتزاز وحيد، حيث يتحدد تواترها بواسطة طولها فقط. إذا قمنا بدفع الأرجوحة بشكل دوري بهذا التواتر فإننا نستطيع بناء سعة للحركة، أما إذا قمنا بدفعها بتواتر مختلف جداً عن تواترها فسوف تتحرك الأرجوحة بصعوبة كبيرة. إذا كان تواتر القوة المطبقة يساوي بالضبط إلى تواتر

النمط الطبيعي لجملة، فالجملة في حالة تجاوب وبالتالي تملك الجملة المهتزة بشكل قسري سعة عظمى، والتي تكون محدودة فقط بالتخميد (الشكل 2.4). أن "صوت المحيط" الذي تسمعه عندما تضع أذنك بجانب صدفة بحرية كبيرة هو بسبب التجاوب (الصدى).



الشكل 2.4: يوضح أبسط مثال عن التجاوب وهو دفع طفل على أرجوحة.

تعتمد حدة ذروة التجاوب على التخميد. فإذا كان التخميد صغيراً (الشكل 3.4 A)، فتكون ذروة التجاوب حادة جداً. أما إذا كان التخميد كبيراً (الشكل 3.4 B)، فتكون ذروة التجاوب أقل حادةً.



الشكل 3.4: يبيّن العلاقة بين ذروة التجاوب والتخميد.

يمكن أن يكون التجاوب مرغوباً أو غير مرغوب فيه. حيث تعتمد عليه الآلات الموسيقية وأجهزة استقبال التلفزيون / الراديو.

مثال 1.4: عزف ثنائي لآلتي نفخ وغيتار (An organ-guitar duet)

تصدر آلة نفخ صوتاً بالقرب من غيتار مما يسبب باهتزاز أحد أوتاره بسعة كبيرة. نقوم بتغيير قوة الشد للوتر حتى نحصل على سعة عظمى. ليكن طول الوتر 0.80% من طول آلة النفخ. بفرض أن كلا الآلتين تهتز بتواترها الأساسي، فالمطلوب إيجاد النسبة بين سرعة انتشار الموجة على الوتر إلى سرعة انتشار الصوت في الهواء.

الحل:

أن الاستجابة الكبيرة للوتر هي مثال عن التجاوب. يحدث التجاوب كون كل من الغيتار وآلة النفخ يملكان نفس التواتر الأساسي.

لنرمز بالرمز a للهواء في آلة النفخ و s للوتر، شرط التجاوب هو أن يتحقق: $f_{1a} = f_{1s}$.

يعطى التواتر الأساسي لآلة النفخ بالعلاقة الآتية:

$$f_{1a} = \frac{v_a}{4L_a} \quad \text{Stopped pipe}$$

أما التواتر الأساسي لوتر الغيتار فيعطى بالعلاقة الآتية:

$$f_{1s} = \frac{v_s}{2L_s} \quad \text{guitar string}$$

بمساواة العلاقتين السابقتين طرفاً لطرف نجد:

$$\frac{v_a}{4L_a} = \frac{v_s}{2L_s}$$

$$\frac{v_a}{2L_a} = \frac{v_s}{L_s}$$

بتعويض $L_s = 0.80 L_a$ في العلاقة السابقة نجد:

$$\frac{v_a}{2L_a} = \frac{v_s}{0.80 L_a}$$

$$\Rightarrow \frac{v_s}{v_a} = 0.40$$

هناك العديد من الأمثلة عن التجاوب كما هو واضح في الشكل 4.4. فبيّن الشكل 4.4 بوق يصدر صوتاً بالقرب من كأس زجاجية.

تؤدي النوتة الموسيقية التي يتم تشغيلها على نفس تواتر الأهتزاز الطبيعي للزجاج إلى أهتزاز قسري للزجاج. إذا كان الأهتزاز الناتج

كبيراً بما يكفي في السعة بحيث يتجاوز حد المرونة للزجاج، فإن الزجاج سوف ينكسر.



الشكل 4.4: تواتر الصوت الصادر من البوق يطابق تماماً أحد تواترات الوضع العادي للكأس الزجاجية. أن الاهتزازات التجاوبية للكأس لها سعة كبيرة لدرجة أن الكأس يمكن أن يفجر نفسه.

يوجد ثلاثة أنواع من التطبيقات العملية للتجاوب في إنتاج الصوت:

1. توليد الصوت (النفخ في الصفارات وآلات النفخ يجعلهم يصدرون أصواتاً، إذا تجاوزت شدة النفخ عتبة معينة – فتكون الحالة الأكثر تعقيداً في إنتاج الصوت).
2. تشكيل الصوت عن طريق اختيار مناطق معينة من الطيف واسع النطاق (عمل الحلق والفم والتجاويف الأنفية بمثابة رنانة في تشكيل أشكال من إشارة النطاق العريض التي تنتجها العصابات الصوتية).
3. تضخيم الصوت (أن المجاوبات الموجودة في الآلات الوترية تضخم الصوت الناتج عن الأوتار).

2.4 الترشيح (Filtering)

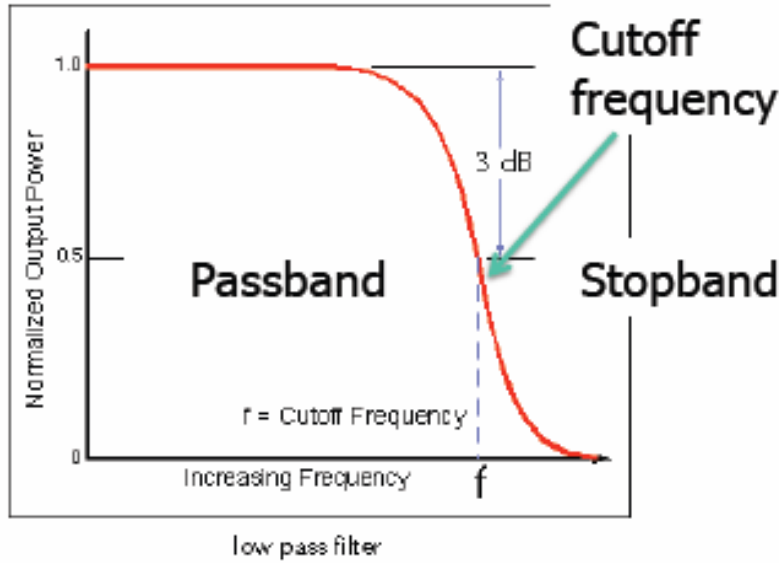
المرشح (Filter): في الصوت، هو أداة تستعمل لامتناس أصوات تقع في مجال معين من التواترات (أي تمرر أصوات بتواترات معينة وتحجب أخرى). ببساطة هو استخلاص موجة بسيطة من موجة مركبة.

إن الجسم مصدر الاهتزاز لا يتجاوب إلا مع النغمة التي تجانسه. فمثلاً إذا عرضنا موجة مركبة تواترها 200 إلى 300، إلى 400 هرتز على جسم رنان تواتره 300 هرتز فإنه لا يتأثر بهذا التواتر، فإذا أمكننا تغيير هذا التواتر ليتوافق مع تواتر الجسم المرن نكون حصلنا على موجة توافقية أي نغمة توافقية. وتستخدم هذه العملية أكثر ما تستخدم في صناعة الآلات الموسيقية الإلكترونية.

يمكن باستخدام المرشح تقسيم مجموعة من التواترات إلى حزمتين (كما هو واضح في الشكل 5.4):

حزمة المرور (Pass Band): وهي مجال من التواترات يسمح لها بالمرور خلال المرشح.

حزمة التوقف (Stop Band): وهي مجال من التواترات لا يسمح لها بالمرور من خلال المرشح.



الشكل 5.4: يمكن باستخدام مرشح تقسيم التواترات إلى حزمتين، حزمة مرور وحزمة توقف.

كمثال عن عملية الترشيح نذكر كيفية قيام مخ الإنسان بترشيح الإشارة من الضجيج (الشكل 6.4). عندما تنتظر بصحبة صديق لعبور تقاطع مزدحم مع أصوات محركات السيارات وأبواقها وضجيج المدينة من حولك، يكون دماغك مشغولاً بمعالجة كل تلك الأصوات. ولكن بطريقة ما يستطيع جهاز السمع البشري ترشيح الضجيج الغريب ويمكنك من سماع كلام صديقك.

تظهر دراسة جديدة قدرة دماغ الثدييات على تمييز الإشارة من الضجيج. تستطيع خلايا الدماغ في باحة السمع الأولية تقليل الضجيج وزيادة تضخيم الإشارة. تظهر النتائج كيف يقوم الدماغ بمعالجة الصوت في البيئات التي تحوي ضجيجاً، الأمر الذي سيساعد في النهاية على تطوير أجهزة تعرف على الصوت أفضل من الحالية، بالإضافة إلى تحسينات في أجهزة الزرع الحلزونية للذين يعانون من نقص في السمع.



الشكل 6.4: يبين كيف يقوم دماغ الإنسان بعملية الترشيح.

أن ترشيح الصوت لا يقتصر على تقوية الإشارة فقط. أن خلايا الدماغ لا تحتاج إلى تقوية الإشارة فحسب بل تحتاج أيضاً إلى تثبيط الضجيج، يتضمن ذلك انخفاضاً في النشاط المشبكي، حيث تطلق الخلايا الدماغية استجابة أقل لبعض الإشارات، فتستجيب الباحة السمعية من القشرة الدماغية بشكل أقل لضجيج الخلفية، بينما تستجيب بشكل أكبر للكلام.

يقول شاهيب شاما وهو عالم أعصاب إدراكية في جامعة ماريلاند "عندما أتحدث إليك يخرج صوتي ويخبو على شكل أمواج عندما أفتح وأغلق فمي، فهي عملية ديناميكية بشكل كبير بينما الضجيج الأبيض ساكن كلياً، يتم تحسين الأصوات المتغيرة، بينما يتم تجاهل الأصوات المتكررة على فترة طويلة من الزمن".

تنخفض القدرة على فهم الكلام بوجود الضجيج عند المرضى الذين يعانون من نقص في السمع، "هذا هو التحدي الأكبر لشخص قام بزراعة حلزون". تستطيع الخوارزميات التي تجمع بين تحسين الإشارات المهمة وتثبيط الضجيج المساعدة في جعل أنظمة التعرف على الكلام أكثر حساسية.

*****نهاية الفصل الرابع*****