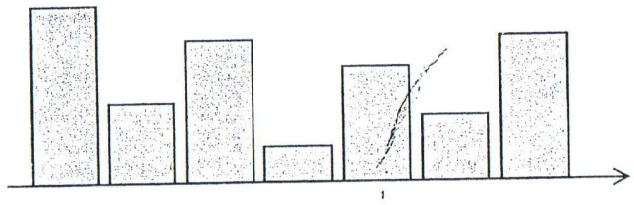
تمارين وتدريبات

1. ما نوع الرائحة إذا أعتبرت كوسيط من ناحية اعتمادها على الزمن؟
2. ما الفرق بين متشعب النصوص ومتشعب الوسائط؟
3. بماذا يصنف أسلاك الكهرباء وساعة اليد إذا أعتبر كل منها كوسيط؟
4. عدد ثلاث استخدامات لنظم الوسائط المتعددة في العمل؟
5. نحتاج إلى عرض صور متحركة ذو معدل إرسال يساوي 70 كيلو بايت لكل ثانية وأن البيانات ملتزمة بعمر أقصى يساوي 2 ثانية فكم في الذاكرة تحتاج للنظام؟
6. ماذا تقول على الشكل الذي يمثل تدفق بيانات لنظام متعدد الوسائط من ناحية التوزيع مع الزمن والتوزيع للأحجام؟



الشكل 8 تدفق بيانات

الوحدة الثانية

الصوتيات ومعالجتها

Audio and Audio Processing

في هذه الوحدة وموضوعها "الصوتيات ومعالجتها"، سوف تجد إجابات عن كثير من التساؤلات التي راودتك في حياتك عن الأصوات. ومن هذه التساؤلات: كيف ينتقل الصوت من فم المتكلم لينتهي إلى قرص التخزين؟ وكيف يستطيع الحاسوب تحويل ملف الصوت المخزن على القرص المغناطيسي أو الضوئي إلى أمواج صوتية تُخرج من سماعات الحاسوب؟ وما الفرق بين شريط الكاسيت وقرص التخزين من حيث الصوت المخزن أو المسجل عليه؟

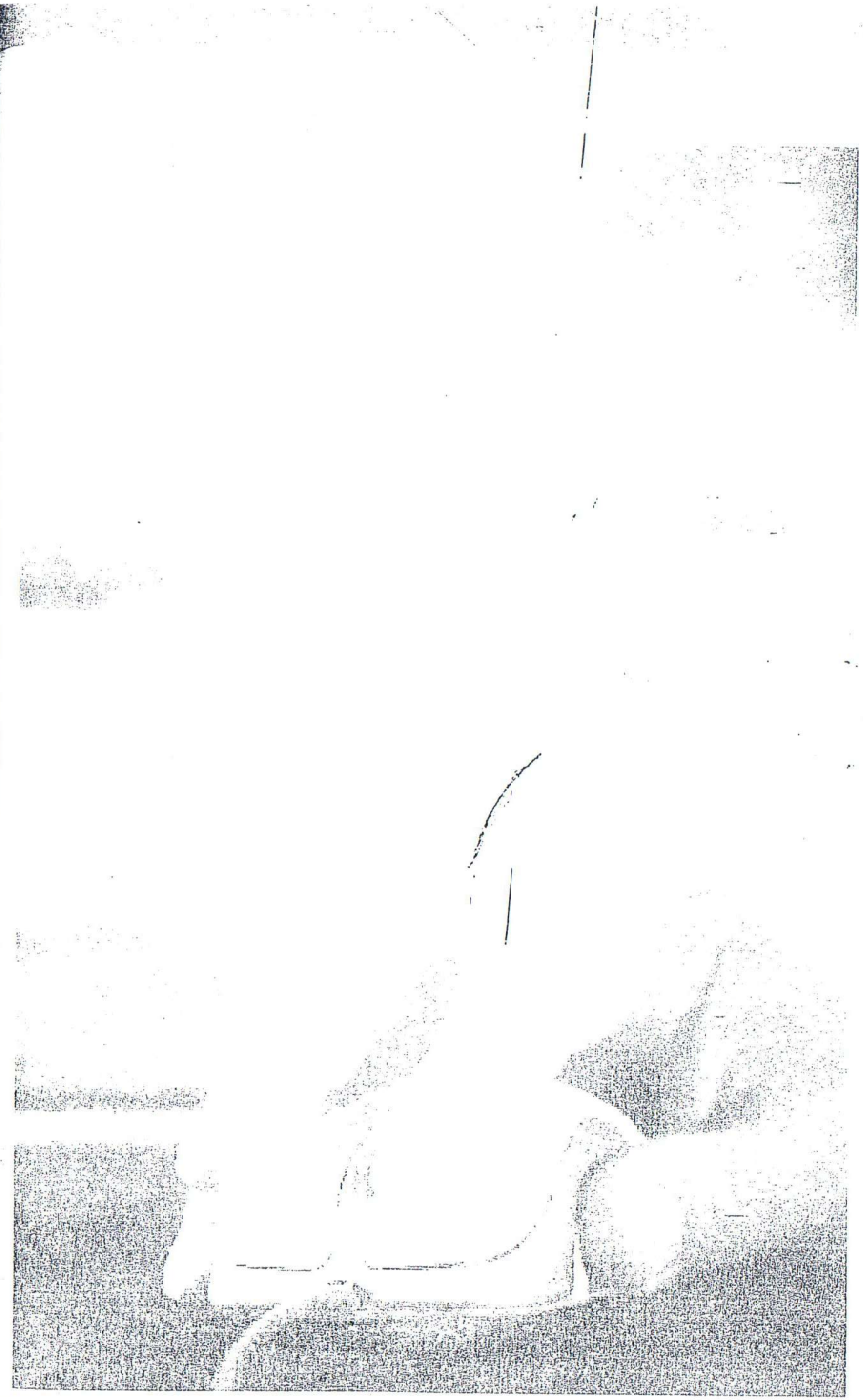
في هذه الوحدة سنجد الإجابة المطولة عن تلك الأسئلة وأسئلة أخرى. كما سنتعرف أيضاً على كيفية التعامل مع هذه الملفات الصوتية الرقمية الخزنة في أجهزة الحاسوب، وعلى بعض البرمجيات التي تساعدنا على فهم الصوت ومعالجته مثل Adobe Audition.

لقد اخترنا البدء في دراسة الصوت قبل الصورة لأن استخدام الصوت والسمع عبر الزمن في نقل المعلومات وتخزينها قد سبق الصور، وكذلك استخدام التكنولوجيا فيها. ويكفينا بأن الله عز وجل قد ذكر السمع قبل البصر في عدة مواضع نذكر واحدة منها: قال تعالى "ان السمع والبصر والفؤاد كل أولئك كان عنه مسؤولا".

وفي رحلتنا مع الصوت سنمر بمراحل شتى نتعلم من خلالها الكثير مثل مكونات السماعات وأجهزة الالتقاط، المايكروفون، وكيفية عملها. وأخيراً ومع نهاية هذه الوحدة، سنتعرف على مكونات الملف الصوتي مثل WAV، ونقوم ببعض التجارب المتعة التي سنتعلم من خلالها كيفية التعامل مع مثل هذه الملفات الصوتية.

ومن أهداف هذه الوحدة التالي:

1. التعرف على المراحل التي يمر بها الصوت من المصدر وحتى قرص التخزين.
2. التعرف على خصائص الصوت.
3. تعلم كيفية تحويل الصوت من النظام الخطي إلى النظام الرقمي.
4. التعرف على أنواع ملفات الصوت مثل WAVE و MIDI

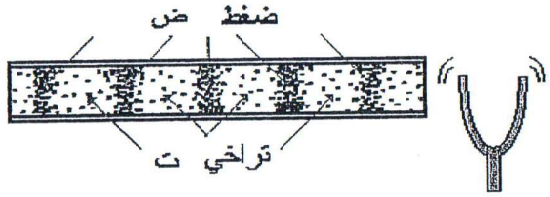


1 الموجات الصوتية Sound Waves

يمكننا تعريف الصوت بأنه عبارة عن موجات تنتج من اهتزاز أجسام وتنتقل عبر وسيط ما من مكان لآخر. فعندما يكون الوسيط هواء، على سبيل المثال، فإن انتقال الصوت يكون من خلال اهتزازات جزيئات الهواء، فتكّون موجات. ثم تشكل مناطق تكون فيها هذه الجزيئات الهوائية مكثفة ومركزة، وأخرى تكون متباعدة وأقل تركيزاً. تسمى المناطق ذات الجزيئات المكثفة وشديدة الاهتزاز بمناطق الضغط (Compression) والأخرى بالتراخي (Rarefaction).

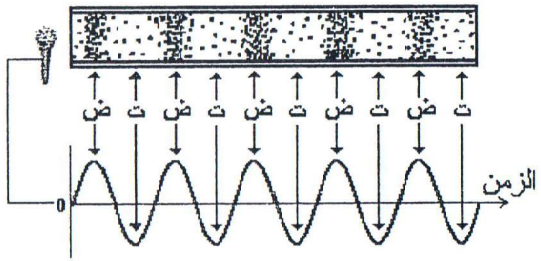
ولمعرفة كيف تنتج تلك المناطق، ننظر معاً إلى الشوكة الرنانة في الشكل 1.2. تصدر الشوكة الرنانة صوتاً عندما تهتز ولو قليلاً. في هذه الحالة تدفع الشوكة جزيئات الهواء شمالاً لتنتقل جزئياً إلى منطقة تتكاثف فيها جزيئات الهواء، لتعمل بدورها على دفع جزيئات الهواء بتلك المنطقة إلى اليسار. ومع رجوع الشوكة الرنانة إلى جهة اليمين تولد مناطق تراخي شبه فارغة من جزيئات الهواء التي تكون ملاصقة للشوكة، فتعود إليها الجزيئات المدفوعة وهكذا.

يمثل الشكل 1.2 الموجات الصوتية داخل أنبوب مفتوح تظهر فيها جزيئات الهواء على سبيل التوضيح في مناطق الضغط وفي مناطق التراخي.



الشكل 1.2 الشوكة الرنانة

فإذا وضعنا ملتقط الصوت (الميكروفون) في الطرف الآخر من الأنبوب فإنه يصدر إشارات كهربائية تتناسب مع كثافة اهتزازات الجزيئات، تنتج عنه موجة كهربائية تتمثل في الشكل 2.2 لتبين قوة الإشارات المرتبطة مع الوقت بهذه الموجة، ثم نرى ارتفاعات وانخفاضات منتظمة تشبه أمواج الجيب أو الجتا. تمثل الارتفاعات مناطق الضغط، والانخفاضات مناطق التراخي. أما نقاط الصفر فإنها تمثل الأوقات التي تكون فيها جزيئات الهواء متباعدة التباعد الطبيعي.



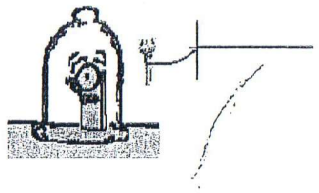
الشكل 2.2 إشارات كهربائية

تجدر هنا ملاحظة أن الموجات الصوتية ليست منتظمة جميعها، ولكن وكما ذكرنا فإن قوة الإشارة الكهربائية ترتفع بارتفاع الضغط، وتنخفض بانخفاضه.

إنّ ما تحدثنا به سابقاً عن اهتزازات جزيئات الهواء ينطبق على الوسائط الأخرى التي ينتقل عبرها الصوت، مثل الحديد والماء وغيرها. فان جزيئات الحديد هي التي تهتز بدلا من جزيئات الهواء عندما ينتقل الصوت خلال الحديد. وقد تستنتج في هذه الحالة بأن سرعة انتقال الصوت في المواد الصلبة مثل الألمنيوم والحديد أكبر من سرعة انتقال الصوت في الهواء، وذلك لشدة تلاصق جزيئات الوسيط في المواد الصلبة. فسرعة الصوت في الألمنيوم تساوي 5100 م / ث أما في الهواء فهي 332 م / ث.

والوسائط الأخرى كالحديد عبارة عن مجموعة من الجزيئات المترابطة حيث تبدأ بالاهتزاز عند مرور الصوت خلالها. فالأوتار الصوتية تهتز جزيئاتها بمقدار الصوت المراد إخراجه من الفم، وهذه الاهتزازات في الأوتار تدفع الهواء داخل الفم والحنجرة بمقدار اهتزاز هذه الجزيئات، لتولد موجات صوتية في الهواء. وعند انتقال الصوت من وسيط لآخر، ومثال ذلك من الحديد إلى الهواء، فان اهتزاز الجزيئات في الحديد يؤدي إلى قوة دفع جزيئات الهواء ومن ثم توليد موجات صوتية في الهواء.

وتجدر هنا ملاحظة أننا ونحن نتكلم عن الموجات أن الموجات الصوتية تختلف عن الموجات الكهرومغناطيسية، لأن الثانية يمكنها الانتقال من مكان لآخر عبر الفراغ، أما الموجات الصوتية فطبيعتها مثل الموجات الميكانيكية تعتمد على تحرك الجزيئات في الانتقال، لذلك لا يمكن سماع أية أصوات في الفراغ كما يفهم من الشكل 3.2.



الشكل 3.2 الصوت لا ينتقل في الفراغ

1.1 اللاقط (الميكروفون) Microphone

وكما وعدناك فإننا في هذه الوحدة سوف نتعرف على المراحل التي يمر بها الصوت منذ صدوره من خلال الأوتار الصوتية باهتزازها، ومن ثم اهتزاز جزيئات الهواء وصولاً به إلى أن ينتهي على قرص التخزين المغناطيسي. ومن هذه المراحل مرور الأمواج الصوتية أو التقاطها من خلال الجهاز اللاقط أو الميكروفون. ودعنا نتعرف على هذا الجهاز ولو قليلاً لنعرف ما يحدث للأمواج الصوتية.

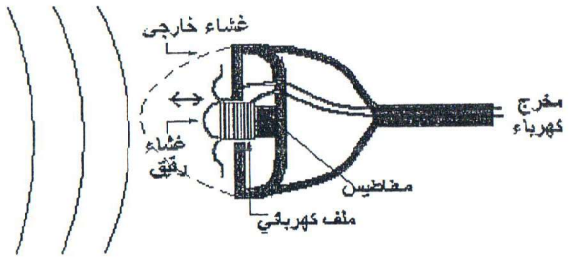
الميكروفون هو جهاز لاقط للأمواج الصوتية أو محول للطاقة، يلتقط الأمواج الصوتية ليحولها إلى طاقة كهربائية لتستخدم في مكبرات الأصوات أو التسجيل. ويفترض بأن تكون الأمواج الصوتية الملتقطة من خلال الميكروفون والصادرة من مكبرات الأصوات متماثلة.

وهناك عدة أنواع من أجهزة الميكروفون سنعرض في هذه الوحدة اثنين منها وهما: الميكروفون الديناميكي والميكروفون المكثف، وهما النوعان الأكثر استخداما في الاستوديوهات ومحطات الإذاعة وفي المسارح.

1.1.1 الميكروفون الديناميكي Dynamic Microphone

يحتوي هذا النوع من الميكروفون غشاء رقيقاً وملفاً كهربائياً مرتبطاً به. يوضع الملف حول عمود مغناطيسي، كما في الشكل 4.2. يتحرك الغشاء حسب ذبذبات جزيئات الهواء القريبة منه. فعند استقبال الجزيئات المتذبذبة المكثفة المضغوطة يهتز الغشاء إلى الداخل وإلى الخارج بقوة. وعند استقبال الجزيئات المتراخية يهتز الغشاء بضعف. وبهذه الحركة الاهتزازية يتحرك على أثرها الملف الكهربائي المرتبطة به ، وبحركة الملف الكهربائي المحيط بمغناطيس من الداخل يتولد تيار كهربائي عبر الملف.

لعلك تذكر أن تولد تيار كهربائي في ملف يكون كالتالي: يولد المغناطيس مجالاً مغناطيسياً حوله ما بين القطب الشمالي والجنوبي له. وعندما يُقطع هذا المجال بأسلاك كهربائية فإن الإلكترونات تبدأ بالتحرك لتولد تياراً كهربائياً. ويتناسب انتظام التيار بانتظام الأسلاك الكهربائية وانتظام حركة الملف القاطع للمجال المغناطيسي أو حركة المغناطيس نفسه كما في الشكل 5.2. وكذلك قوة التيار تكون بكثافة المجال المغناطيسي المقطوع. فإذا أردنا تياراً قوياً نرفع كثافة الملف بزيادة عدد لفاته أو باستخدام مغناطيس أقوى أو بكليهما معاً. وجدير بالذكر بأن التيار يتولد عند انقطاع المجال المغناطيسي إما بتحرك المغناطيس كما في الشكل 5.2 أو بتحريك الملف كما في الميكروفون.



الشكل 4.2 الميكروفون الديناميكي

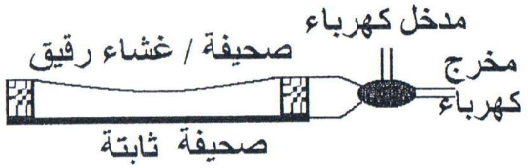
الشكل 5.2 توليد الكهرباء بقطع المجال المغناطيسي بوساطة ملف كهربائي

1.1.2 الميكروفون المكثف Condenser Microphone

يحتوي هذا النوع من الميكروفون أنبوباً خفيف الوزن وصفيحتين عند أعلى وأسفل الأنبوب، إحداهما ثابتة والأخرى متحركة كما هو موضح في الشكل 6.2. ويعمل الميكروفون من خلال الصفيحتين كعمل مكثف كهربائي تتغير قيمته بتغير المسافة بين الصفحتين. فالتغيير في ضغط الهواء يؤدي إلى تحرك الصفيحة المتحركة، فيؤدي التغير في قيمة المكثف إلى تغير التيار الكهربائي مما يتناسب مع الموجات الصوتية الملتقطة.

وبعكس الميكروفون الديناميكي، فإن الميكروفون المكثف يحتاج إلى مصدر كهربائي يعمل على شحن صفائحه. ويفضل استخدام الميكروفون المكثف على الميكروفون

الديناميكي لانتظام التردد الصوتي ووضوح الصوت الناتج، كذلك فان الميكروفون المكثف يتميز بخفة وزن الغطاء الذي يسمح بالتقاط الأصوات ذات التردد العالي كما يسمح بالتقاط الأصوات ذات التردد المنخفض. مما يجعل الصوت الناتج أقرب إلى الصوت الطبيعي فيتميز بوضوحه وخلوه من الإزعاج.



الشكل 6.2 الميكروفون المكثف

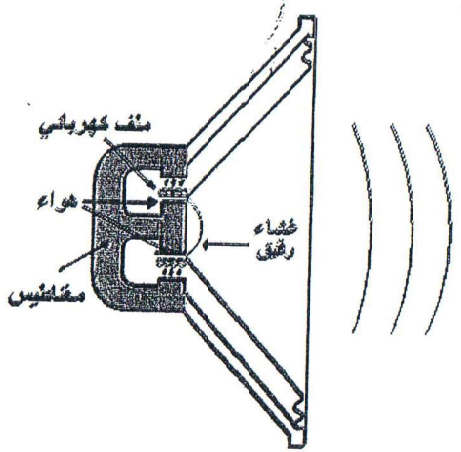
لذلك فإن الميكروفون المكثف كثيراً ما يستخدم في التسجيل الإذاعي. ويستخدم عادةً هذا النوع من الميكروفون في غرف الاستوديوهات المحترفة. ويتميز هذا النوع من الميكروفون المكثف أيضاً بعدم تواجد الحركة الميكانيكية الكبيرة التي قد تنتج بعض التشويش. وتكون سماكة الصفيحة المتحركة حوالي 3 ميكرون أي اقل من 100,0000/1 من سم، كما أن وزن الميكروفون المكثف أقل وزن من الميكروفون الديناميكي ويمكن أن يكون أقل حجما منه بكثير، مما يجعله الاختيار المفضل في كثير من التطبيقات.

1.2 السماعات Speakers

إن الميكروفون جهاز لاقط ومستقبل للموجات الصوتية لذلك فهو يحول الموجات إلى تيار كهربائي تختلف قوته باختلاف قوة الموجات الصوتية الملتقطة، بينما السماعات

تشكل الجهاز العكسي لذلك والذي يحول التيار الكهربائي إلى موجات صوتية تتناسب مع شدة التيار.

وهناك تشابه كبير بين السماعات والميكروفونات وخصوصاً الميكروفونات الديناميكية من ناحية التركيب والأجزاء. تتكون السماعات من غشاء بلاستيكي أو ورقي محدب الشكل، ويصل طول هذا الغشاء أحيانا إلى 10 أو 20 سم. ويتصل مع هذا الغشاء ملف من الأسلاك الدقيقة المعزولة الملفوفة حول مغناطيس بطريقة تترك فراغين من الهواء حول الملف من الداخل والخارج لئلا يعيقه بالحركة، كما هو موضح في الشكل 7.2. يصدر الملف السلكي مجالاً كهرومغناطيسي عندما يمر به تيار كهربائي، مما يجعله يتنافر أو يتجاذب مع المجال المغناطيسي التابع للمغناطيس الداخلي. وبما أن المغناطيس ثابت فإن الملف سيضطر إلى التحرك إلى الداخل أو الخارج حسب قوة المجال الكهرمغناطيسي المولد من جراء مرور التيار في الملف. وبما أن الملف موصول مع الغشاء البلاستيكي المحدب الشكل فإن الحركة تنتقل إلى هذا الغشاء فيتحرك معه للداخل والخارج، فيدفع جزيئات الهواء المتلاصقة بالغشاء فتهتز مكونة موجات صوتية.



الشكل 7.2 السماعات

وإذا ما قارنّا السماعة بالميكروفون الديناميكي، فان كليهما يشبه الآخر، فكلاهما يحتوي غشاءً وملفاً كهربائياً ومغناطيساً يلتف حوله ملف كهربائي. ولكن الفرق الأساسي هو في كيفية العمل، ففي السماعة يسير الكهرباء في الملف فينتج مجال كهرمغناطيسي يتداخل مع المجال المغناطيسي الثابت فيضطر الملف للاهتزاز مع الغشاء المتلاصق مصدراً أمواجاً صوتية. أما في الميكروفون الديناميكي فإن الأمواج الصوتية تدفع الغشاء للداخل والخارج، فيتحرك الملف الكهربائي المتصل مع الغشاء. وبهذه الحركة يقطع الملف المجالات المغناطيسية الثابتة مما يجعل التيار الكهربائي يسير فيه بمقدار يتناسب مع قوة الاهتزازات الملتقطة.

1.3 خصائص الموجات الصوتية Sound Waves Properties

للموجات الصوتية خصائص عدة يتميز بها صوت عن الآخر. ومن هذه الخصائص:

1- التردد
2- الطاقة
3- الزاوية

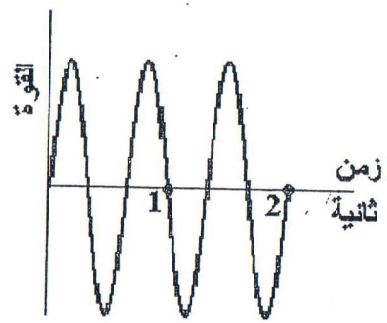
1.3.1 التردد Frequency

أيا كان مصدر الصوت فإن اهتزازات الجزيئات في الوسط الناقل إلى الأمام والخلف تكون بتردد معين، ويعرف هذا التردد بتردد الصوت أو بمعدل اهتزاز الجزيئات عند مرور الصوت خلالها.

ويقاس تردد الصوت بعدد الاهتزازات إلى الأمام ومن ثم إلى الخلف لجزيئات الوسيط في وحدة زمنية معينة. فعلى سبيل المثال، إذا اهتزت جزيئات الهواء بمعدل 1000 اهتزاز كامل للأمام وللخلف خلال ثانية واحدة، فإن تردد ذلك الصوت هو 1000 اهتزاز في الثانية. وتستخدم وحدة (Hz) وتلفظ هيرتز للدلالة على ذلك، فنقول إن اهتزاز هذا الصوت هو 1000 Hz. (1 هيرتز = 1اهتزاز في الثانية)

مثال:

ما هو تردد الصوت المبين في الشكل 8.2 ؟



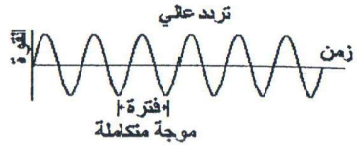
الشكل **8.2** موجة صوتية

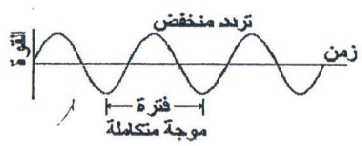
الحل:

هناك 3 دورات كاملة بمقدار ثانيتين. فهذا يعني ان تردد الصوت يساوي $\frac{3}{2}$ هيرتز. وتساوي 1.5 هيرتز.

وإذا أردنا أن نفهم الاهتزازات الكاملة فلننظر إلى الموجة المنتظمة في المثال السابق، لنرى أن اللاقط يلتقط 3 مناطق ضغط في الثانيتين، وكذلك سيلتقط مناطق الرخاوة بمعدل 3 في الثانيتين، فنقول إن تردد الصوت هنا هو 1.5 Hz أو هيرتز.

إن الموجات الصوتية ذات التردد العالي تجعل المسافة بين مناطق الضغط المتتالية أو مناطق الرخاوة المتتالية صغيرة، وبالعكس فان الموجات الصوتية ذات التردد المنخفض تجعل المسافة بين مناطق الضغط المتتالية أو مناطق الرخاوة المتتالية كبيرة. الشكل 9.2 يبين الاختلاف بين موجتين صوتيتين: إحداهما ذات تردد عالي، والأخرى ذات تردد منخفض.





الشكل **9.2** الموجات ذات التردد العالي وأخرى ذات التردد المنخفض

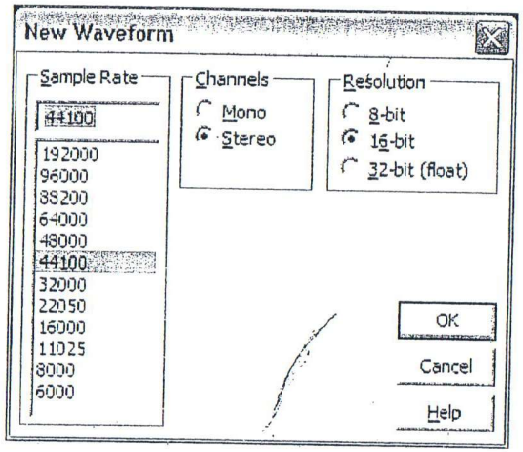
ومن الجدير بالذكر أن نقول إن طبلة أذن الإنسان قادرة على التقاط أصوات ذات مدى ترددي كبير يتراوح بين 20 هيرتز و20,000 هيرتز، وان الإنسان لا يسمع الأصوات التي يزيد أو يقل ترددها عن هذا المدى. إن الموجات الصوتية ذات التردد الأقل من 20 هيرتز تعرف بانفراساوند Infrasound، بينما الموجات الصوتية ذات التردد الذي يفوق أعلى تردد يسمعه الإنسان أي أعلى من 20,000 هيرتز فتعرف بـ الالتراساوند Ultrasound.

ومن الجدير بالذكر أيضاً أن بعض الحيوانات مثل الكلاب تتمتع بقدرة على السمع لمدى تردد صوتي اكبر من الإنسان، وهذا المدى هو 50 هيرتز إلى ما يقارب 45,000 هيرتز. لذلك نلاحظ بأن الصفارة التي تعرف بصفارة الكلاب لا يسمعها الإنسان وتسمعها الكلاب، لأنها تنتج أصواتاً ذات تردد عال ضمن مجال الالتراساوند.

كما أن القطط أيضا تتمتع بقدرة على السمع تفوق قدرة الإنسان، فمدى سمعها للموجات الصوتية يكون اكبر وأعلى من مدى الموجات الصوتية التي يسمعها الإنسان، وهذا المدى هو 45 هيرتز إلى 85,000 هيرتز. وبعكس الكلاب والقطط والإنسان فإن هناك حيوانات أخرى مثل الفيلة لها قدرة على سماع أصوات ضمن مجال الانفراساوند مثل 5 هيرتز. ومن المصطلحات البديلة للتردد كلمة الحدّة Pitch، فالأمواج الصوتية ذات الحدّة العالية تقابل الأمواج الصوتية ذات التردد العالي، بينما الأمواج الصوتية ذات الحدّة المنخفضة تقابل الأمواج الصوتية ذات التردد المنخفض.

نشاط:

في هذا النشاط سنحاول معرفة المجال الترددي الذي تستطيع أن تسمع أنت به الأصوات. تأكد في بادئ الأمر من وجود سماعات ذات جودة عالية. يمكنك استخدام أي من البرمجيات الصوتية التي تستطيع إنشاء موجات جيبية ذات تردد معين ولكننا في هذا النشاط سنستخدم برنامج Adobe Audition .



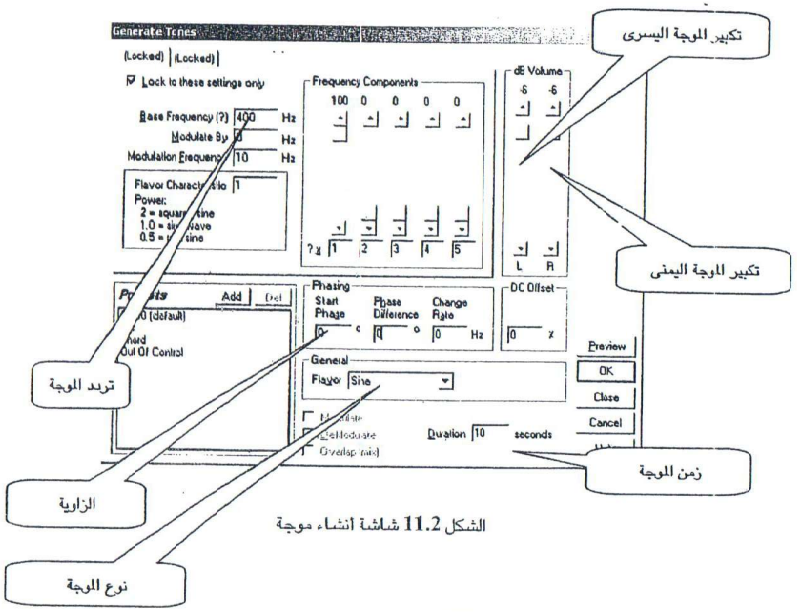
الشكل 10.2 نافذة الترقيم لبرنامج Adobe Audition

أنشئ موجة جيبية ذات تردد يساوي 400 هيرتز. لعمل ذلك قم بفتح برنامج Adobe Audition باختيار نغمة Tones تحت قائمة انشاء Generate. ستفتح لك نافذة سنطلق عليها نافذة الترقيم، كما في الشكل 10.2 . سنقوم بشرح هذه النافذة في الأقسام اللاحقة بالتفصيل إن شاء الله. ولكن الآن عليك اختيار الآتي منها:

- Sample Rate = 44100
- Channels = Stereo
- Resolution = 16-bit

ومن ثم اضغط Ok تفتح لك شاشة أخرى لاختيار الموجة المراد إنشاؤها، كما في الشكل 11.2. تأكد في هذه الشاشة من التالي:

- الزاوية صفر.
- تردد الموجة 400
- نوع الموجةSin (جيب).
- الزمن 10 ثوان.

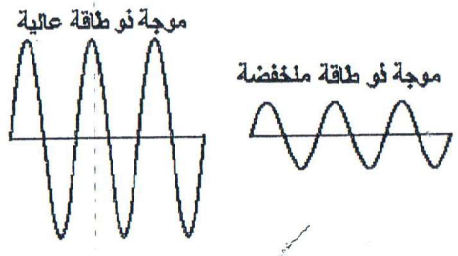


الشكل 11.2 شاشة انشاء موجة

اضغط Ok ثم اضغط Play للتشغيل وسماع الموجة بعد أن تكون قد وضعت السماعات الرأسية على أذنيك. ستسمع أنيناً يمثل الموجة الجيبية المنشأة. أغلق الموجة باختيار اغلقClose تحت قائمة ملف File ومن ثم أعد ما سبق واختر ترددات مختلفة للموجة. قم بتسجيل أعلى وأدنى تردد تستطيع سماعه.

1.3.2 الطاقة Energy

من خصائص الموجات الصوتية خاصية الطاقة. تعتمد الطاقة المنقولة إلى الوسيط على طول المسافة المقطوعة عند الاهتزاز يميناً وشمالاً بجزيئات الهواء، فعلى سبيل المثال، إذا تصورنا أن الأمواج الصوتية مصدرها وتر جيتار، فنقول بأن الأمواج الصوتية تكون ذات طاقة عالية إذا صدرت عن اهتزاز كبير لوتر الجيتار جراء زيادة شده ومن ثم تركه، لأن شدة اهتزاز وتر الجيتار تجعل جزيئات الهواء تتذبذب بمسافات اكبر فتنتج موجات صوتية ذات طاقة عالية.



الشكل 12.2 الموجات الصوتية ذات الطاقة المنخفضة والموجات الصوتية ذات الطاقة العالية

نرى في الشكل 12.2 الفرق بين الموجات الصوتية ذات الطاقة المنخفضة والموجات الصوتية ذات الطاقة العالية في حين أن التردد ثابت لكليهما.

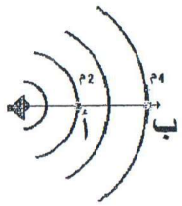
وتعرف كثافة الصوت بطاقة الصوت لزمن معين و لمساحة معينة.

$$\text{كثافة الصوت} = \frac{\text{طاقة الصوت}}{\text{مساحة} \times \text{زمن}}$$

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{القدرة}}{\text{المساحة}} \quad \text{وتكون الوحدة هي واط / م}^2$$

وتدل المعادلة السابقة على أن الكثافة تنقص بازدياد المساحة. وبما أن الصوت ينتشر من خلال أمواج كروية يكون مركزها مصدر الصوت، لذلك تنتشر الطاقة على مساحات أكبر كلما بعدنا عن مصدر الصوت. ويوضح الشكل 13.2 أمواجاً صوتية تنتشر من

خلال أشكال دائرية، فكلما بعدنا عن مصدر الصوت كانت الكثافة اقل وذلك لازدياد المساحة. كذلك الحال فإن كثافة الصوت في المكان "أ" اكبر منها في المكان "ب".



الشكل 13.2 أمواج صوتية تنتشر من خلال أشكال دائرية

ومن الجدير بالذكر أن أدق الأصوات التي يستطيع الإنسان أن يسمعها تعرف بحد السمع، وأكثر الأصوات كثافة والتي يستطيع الإنسان أن يسمعها بدون معاناة أو الحاق الأذى بطبلة الأذن تكون بليون ضعف من حد السمع. ولأن المدى في كثافة الموجات الصوتية التي يسمعها الإنسان كبير جدا، فإن المقياس الذي يستخدم لقياس الكثافة مبني على مضاعفات الـ 10 ، ويعرف بالمقياس اللوغارتمي ويسمى بمقياس دسابل (decibel) ويرمز له بالرمز (dB). فيكون حدّ السمع هو صفر ديسابل وعشرة أضعاف كثافة هذا الصوت تساوي10 ديسابل.

الجدول 1.2 التالي يوضح مستوى الديسابل لبعض الأصوات المعروفة:

الصوت	ضعف حد السمع	مستوى الكثافة
حد السمع	10^0	0 dB
الهمس	10^2	20 dB
محادثة طبيعية	10^6	60 dB
شارع مزدحم	10^7	70 dB
مكنسة كهربائية	10^8	80 dB

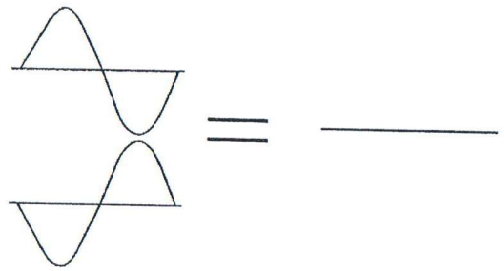
حد التألم	10^{13}	130 dB
محرك جت	10^{14}	140 dB
ثقبان الاذن	10^{16}	160 dB

الجدول 1.2 مستوى الديسابل لبعض الاصوات المعروفة

1.3.3 الزاوية Phase

ذكرنا خاصيتين مهمتين من خصائص الصوت حتى الآن وهما: التردد والطاقة. وهاتان الخاصيتان تكونان لأية موجة صوتية على حدة. أما الخاصية الثالثة "الزاوية"، فهي خاصية تصف العلاقة بين موجة صوتية وأخرى. فعلى سبيل المثال، نستطيع أن نصف موجتين بأنهما متقابلتان تماما، كما في الشكل 14.2 ، إذا ما اختلفتا بخاصية الزاوية بمقدار 180°

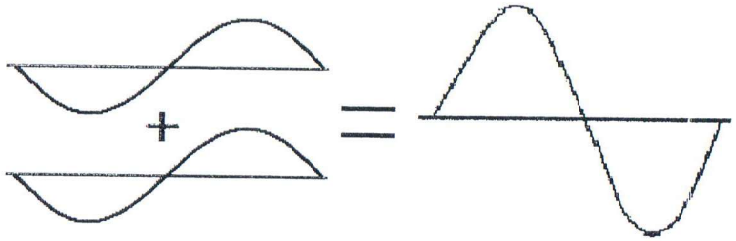
وفي هذه الحالة، أي عند الاختلاف 180° وعندما تشترك الموجتان بنفس التردد والطاقة، فإن تأثير إحداهما يلغي تأثير الأخرى، وهذا ما يحدث عندما نجمعهم جمعاً جبرياً، فيكون الناتج صفراً، حيث إن مجموع القيم الموجبة تعادل مجموع القيم السالبة. ويطلق على هذه العلاقة التي تكون بين الموجتين (التداخل الهادم) Destructive Interference.



الشكل 14.2 موجتان متقابلتان تماما

وهذا ما يستخدم أحياناً عندما يراد إلغاء الضجيج غير المرغوب به. فمن المعروف أن صوت الطائرة العمودية عالٍ جداً لدرجة أنك لا تستطيع أن تكلم من هم بجانبك إذا ما كنت بداخلها دون أن تتكلم بصوت مرتفع أو أن تصرخ. ولكن في الوقت نفسه يمكنك التكلم مع الآخرين بهدوء وبدون صراخ من خلال استخدام الميكروفون والسماعات الموجودة بالطائرة. وأن تسمع بوضوح دون سماع ضجيج مروحة الطائرة. ويحدث ذلك لأن الأصوات الملتقطة من خلال جهاز الميكروفون تجمع مع أمواج صوتية ملتقطة من جهاز ميكروفون آخر موضوع بقرب مروحة الطائرة ويكونان مختلفين بزاوية 180° من خلال استخدام جهازقلب يوضع على أحد الميكروفونين ليلغي بذلك ضجيج المروحة الملتقط من كلا الميكروفونين مبقياً صوت المتكلم.

إن الموجات الصوتية تلتقي بزوايا مختلفة فمنها على سبيل المثال 60° ومنها 100°. وفي هذه الحالة بدلا من أن تلغي الواحدة الثانية، فإنها تقوي الثانية في ترددات معينة وتلغي الثانية في ترددات أخرى. فعند الاختلاف بزاوية صفر 0° ، أي لا اختلاف، وعندما تشتركان بنفس التردد فإن تأثير إحداهما يقوي تأثير الأخرى كما في الشكل 15.2. وتسمى العلاقة بين الموجتين بـ (التداخل البناء) Constructive Interference.



الشكل 15.2 التداخل البناء

لذلك عند تثبيت أجهزة الميكروفون في غرفة المؤتمرات، مثلاً، فان وضع أجهزة الميكروفون تكون بدراسة دقيقة لزواياها كي لا يلغي بعضها البعض. وخاصية الزاوية هي التي تساعد السامع كالإنسان مثلاً على معرفة اتجاه مصدر الصوت. لأن الموجة

التي يستقبلها الإنسان من جهة الأذن اليمنى تختلف عن تلك التي يستقبلها من جهة الأذن اليسرى بزاوية معينة إذا كان مصدر الصوت يميناً أو شمالاً. وتحليل كلتى الموجتين في الدماغ يساعد على تمييز اتجاه مصدر الصوت.

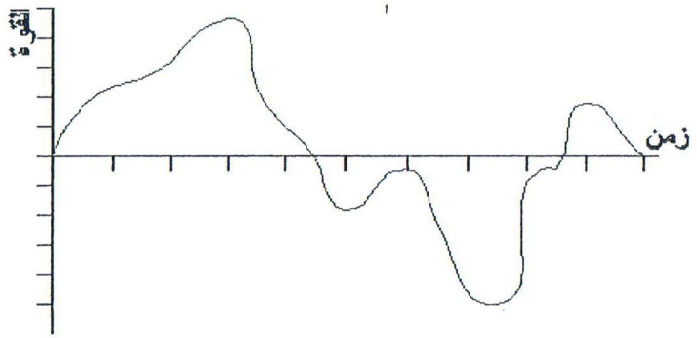
2. تمثيل البيانات الصوتية Representation

لدراسة الموجة الصوتية أو الإشارة الكهربائية الناتجة عن التقاطها بالميكروفون على سبيل المثال، هناك تمثيلان نستطيع من خلالهما استنتاج بعض صفات الموجة الممثلة. وهذان التمثيلان هما:

1. التمثيل في المجال الزمني.
2. التمثيل في المجال الترددي.

1.4 المجال الزمني Time Domain

التمثيل الأكثر استخداما هو التمثيل في المجال الزمني. حيث يمثل المحور العمودي قوة الإشارة بينما يمثل المحور الأفقي الزمن. الشكل 16.2 يمثل موجة ما بالتمثيل الزمني.



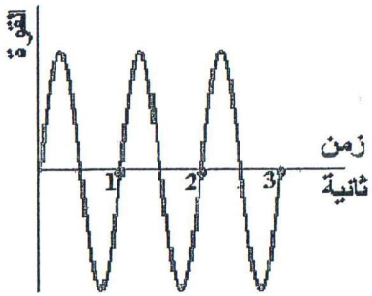
الشكل 16.2 التمثيل في المجال الزمني

ويمكننا تمثيل أية إشارة في أحد هذين المجالين ويمكننا الانتقال من مجال لآخر بمساعدة تحويل فورير Fourier Transform.

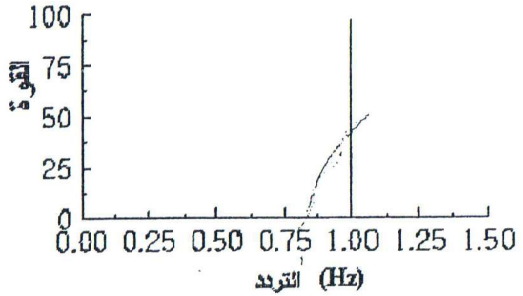
1.5 المجال الترددي Frequency Domain

أما التمثيل الثاني فهو في المجال الترددي. وفي هذا المجال يمثل المحور الأفقي التردد بينما يمثل المحور العمودي مجموع قوة الإشارة. يفيدنا المجال الترددي بالتعامل مع الإشارة بسهولة أكثر وحسابات أقل تعقيدا. فالحصول على تردد إشارة ما من خلال التمثيل الزمني غالباً ما يكون معقداً ومن خلال عمليات رياضية قد تحتمل الخطأ إذا ما كانت الإشارة ذات ترددات مختلفة باختلاف الزمن. بالإضافة إلى أن اختيار الفترة الزمنية التي يراد دراستها واستخراج التردد أو الترددات التي فيها، تعتمد كثيراً على بداية الفترة ونهايتها، لذلك فإن التمثيل في المجال الترددي يعرض لنا بديلا من ذلك في المجال الزمني لتمثيل الإشارة باستبدال المحور الأفقي بمحور يمثل التردد بدلا من الزمن. وعندها يمكننا أن نتعرف على أهم صفات تلك الإشارة والترددات المختلفة التي تتواجد فيها من خلال تمثيلها في المجال الترددي.

فعلى سبيل المثال إذا نظرنا إلى الشكل 17.2 أدناه والذي يمثل إشارة كهربائية بشكل الجيب نستطيع إن نقول أن تردد هذه الإشارة هو 1 هيرتز. وهذا ما ينتج إذا حسبنا عدد الدورات الكاملة في الثانية الواحدة. وكما نلاحظ فإن اختيار الفترة لقياس التردد غير مهم وذلك لأن تلك الموجة لها تردد واحد. فيكون التمثيل الترددي لهذه الموجة بسيطاً وكما في الشكل 18.2. فإذا نظرنا إلى هذا التمثيل نقول بسرعة وبسهولة أن تردد الإشارة هو 1 هيرتز. ومن الملاحظ في الشكل أن المحور العمودي لا يمكن أن يحتوي قيماً سالبة فهي تمثل مجموعة الطاقة الصوتية لتردد معين.

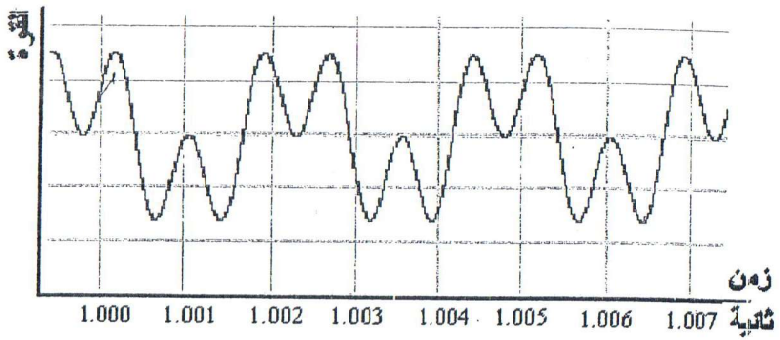


الشكل 17.2 موجة صوتية بشكل الجيب

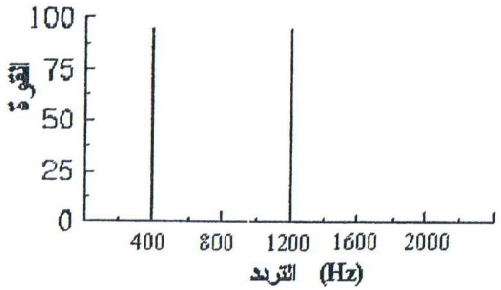


الشكل 18.2 تمثيل موجة بشكل الجيب في المجال الترددي

ولنأخذ الآن موجة أخرى كما في الشكل 19.2 ممثلة بالتمثيل الزمني بحيث يمثل المحور العمودي قوة الموجة. فإذا نظرنا إلى تمثيل الموجة في المجال الترددي، كما في الشكل 20.2 والتي تمثل الموجة المبينة في الشكل 19.2. نقول بسهولة أنها عبارة عن مزيج من موجتين جيبيتين ذواتا ترددين مختلفين. وهذا مالا نستطيع قوله بسهولة عند النظرإلى تمثيل الموجة في المجال الزمني والمبينة في الشكل 19.2.

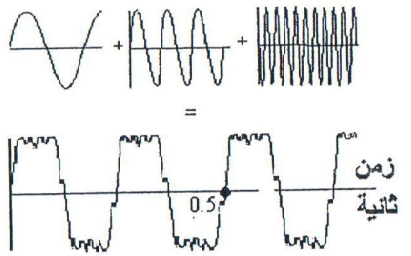


الشكل 19.2 موجة صوتية ذات تردد غير واضح

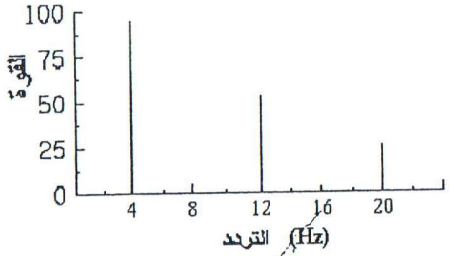


الشكل 20.2 تمثيل موجة ذات موجتين جيبيتين في المجال الترددي

وأخيرا لنأخذ موجة صوتية تتكون من عدة موجات جيبية ذات ترددات مختلفة. فإذا كانت العلاقة بين ترددات هذه الموجات وقوة كل منهما متناسقة بطريقة معينة فإنها تنتج موجة صوتية تشبه الموجة المربعية، كما في الشكل 21.2. وقد تخوننا حسابات تردد هذه الموجة إذا استخدمنا التمثيل الزمني، فقد نقول بسذاجة أن تردد هذه الموجة هو عدد الدورات المتكاملة في الثانية أي 4 هيرتز. أما إذا لاحظنا التمثيل الترددي لهذه الموجة فإنها توضح الترددات المختلفة فيها كما هو في الشكل 22.2.

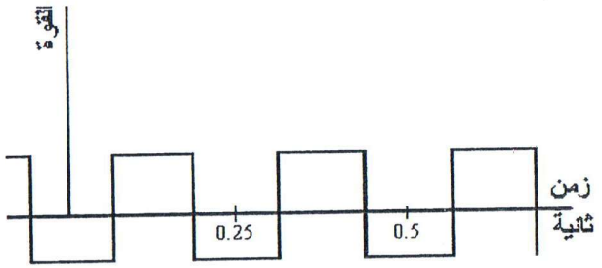


الشكل 21.2 دمج عدة موجات جيبية ذات ترددات مختلفة متناسبة



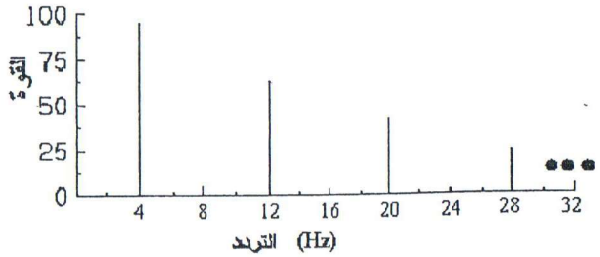
الشكل 22.2 التمثيل الترددي لموجة ذات موجات جيبية عدة وذات ترددات مختلفة متناسبة

فالموجة المربعة الصحيحة والدقيقة كما في الشكل 23.2 هي عبارة عن مجموعة موجات جيبية متناسبة الترددات والقوة وغير متناهية العدد.



الشكل 23.2 موجة المربعة

فالتمثيل الترددي لموجة مربعية يوضح لنا ترددات الموجات الجيبية المختلفة والمدموجة مع بعضها البعض. ونلاحظ هنا في الشكل 24.2 أن علو الموجات يبدأ بالانخفاض حيث إن هذا العلو يمثل علو الموجة الجيبية، فالموجة الجيبية التمثلة بالخط الأول ذي العلو الأعلى تكون هي الغالبة في الصوت على الموجات الأخرى. وهذا أيضاً يمثل عدد الدورات المتكاملة في الثانية للموجة المربعية.



الشكل 24.2 التمثيل الترددي لموجة مربعية

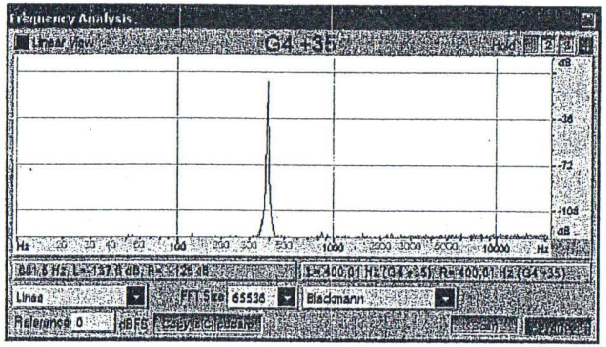
وكملخص لما سبق، فإن التمثيل الزمني للموجة الصوتية يوضح تغيير الموجة خلال الوقت، بينما التمثيل الترددي يوضح تغيير مقدار كمية الصوت لترددات مختلفة. ونستطيع استخراج التمثيل الترددي باستخدام تقنية تعرف بـ Fourier Transform وهذه التقنية تعتمد على سلسلة الـ Fourier.

نشاط

استخدم برنامج Adobe Audition وأنشىء موجة صوتية جيبية بتردد 400 هيرتز وبطول 10 ثوان وبالمواصفات التالية:

- Sample Rate = 44100
- Channels = Stereo
- Resolution = 16-bit

لنشاهد التمثيل الترددي لهذه الموجة إختر Show Frequency Analysis من قائمة Analyze لتظهر لك تمثيل الموجة في المجال الترددي كما في الشكل 25.2 وليظهر لك نفس المنحنى. وتأكد من القيم المبينة في الشكل 25.2.



الشكل 25.2 التمثيل الترددي لموجة صوتية جيبية بتردد 400

تلاحظ بأن الإشارة تشبه خطاً عمودياً عند 400 هيرتز.

أعد النشاط ولكن باختيار موجة مربعة وانظر إلى التمثيل الترددي لها.

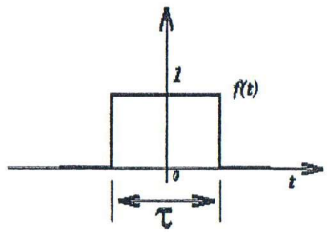
1.6 تحويل الفوريير Fourier Transform

تحويل الفوريير يعتمد على سلسلة الفوريير Fourier Series. في هذا القسم لن نستطيع تغطية تفاصيل كليهما لأن فهمهما يعتمد على مواضيع رياضية أخرى.

تحويل الفوريير يطبق على الموجات الخطية المتصلة وتعرف بالمعادلة التالية:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\, e^{-j\omega t}\, dt$$

حيث ω تمثل قيمة ثابتة تساوي 2π .



الشكل 26.2 نبضة مربعية واحدة

وإذا أخذنا تحويل الفوريير لنبضة مربعية واحدة مبينة في الشكل 26.2 نحصل على التالي:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\, e^{-j\omega t}\, dt$$

وبما أن قيمة الموجة f(t) هي صفر ما عدا في الفترة $2/\tau$ و $-2/\tau$ ، فإن الموجة في المجال الترددي تصبح:

$$F(j\omega) = \int_{-\tau/2}^{\tau/2} e^{-j\omega t}\, dt = \left.\frac{e^{-j\omega t}}{j\omega}\right|_{-\tau/2}^{\tau/2}$$

وإذا حولنا المعادلة التالية:

$$F(j\omega) = \frac{e^{j\omega(\tau/2)} + e^{-j\omega(\tau/2)}}{j\omega}$$

باستخدام تعبير Euler التالي:

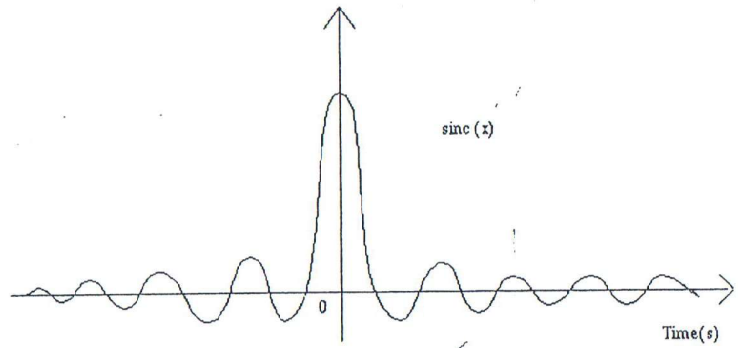
$$e^{j\omega t} + e^{-j\omega t} = 2\cos\omega t$$

$$e^{j\omega t} - e^{-j\omega t} = 2j\sin\omega t$$

يصبح الشكل النهائي للموجة في المجال الترددي هو:

$$F(j\omega) = \tau\left(\frac{\sin\frac{1}{2}\omega\tau}{\frac{1}{2}\omega\tau}\right) = \tau\,\mathrm{sinc}(x)$$

والشكل 27.2 يمثل sinc(x) علماً بانه معروف كثيراً لدى العاملين في مجال DSP.



الشكل 27.2 sinc(x)

أما باستخدام سلسلة الفوريير Fourier Series فإذا كانت موجة على الشكل f(t) تتكرر كل T من الزمن، فإن سلسلة الفوريُر تكون كالتالي:

$$X(t) = \sum_{k=0}^{d} \alpha\, ku \cos\left(\frac{2\pi\, kt}{T} - \phi\, ku\right)$$

ومن هذه المعادلة نفهم بأننا نستطيع تحليل الموجة إلى حزمة من الموجات الجيبية، لكل واحدة منها علو وزاوية معينة. ولكن يجدر التنويه هنا إلى أنه ليس من الضروري أن تكون الموجة الأصلية هي موجة جيبيه، ولا يفهم من ذلك أن سلسلة الفوريير لا يمكنها تحليل إلا الموجة الجيبية، بل وعلى العكس، فإنه يمكن لسلسلة الفوريير تحليل أي موجة كانت. لذلك فإن جميع الموجات يمكنها أن تحلل رياضيًا إلى موجات أساسية وأن مجموع

تلك الموجات تكوّن الموجة الأصلية. التقنية التي تحول تمثيل موجة من مجال لمجال آخر تعرف بتقنية التحويل وتعتبر الفوريير من التقنيات المتداولة التي تحول موجة من المجال الزمني إلى المجال الترددي من خلال معادلات دورية مثل معادلة الجيب.

نشاط

في هذا النشاط سوف ندمج عدة موجات جيبية لندرس الموجة في المجال الزمني والمجال الترددي. استخدم برنامج Adobe Audition وانشيء موجة صوتية جيبية بتردد 400 هيرتز وبطول 10 ثوان وزاوية صفر. بالإضافة إلى المواصفات التالية:

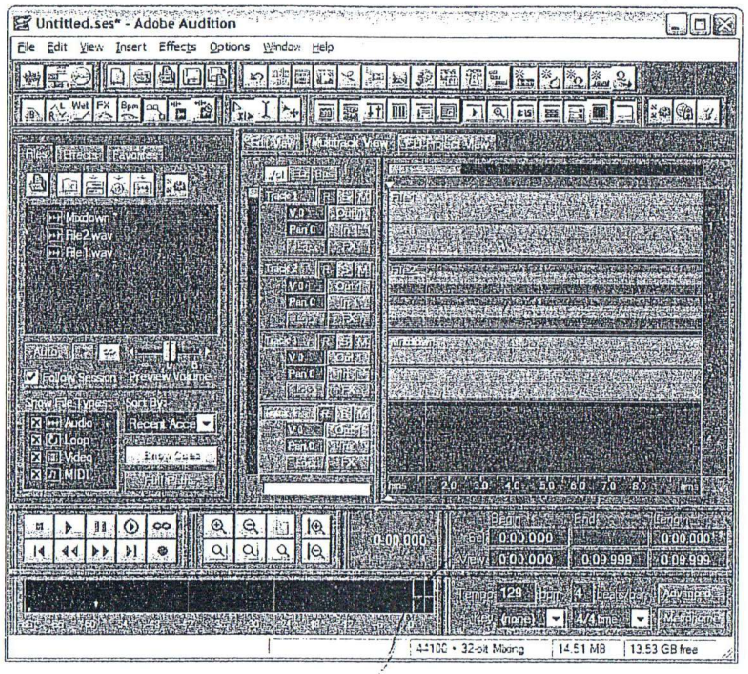
- Sample Rate = 44100
- Channels = Stereo
- Resolution = 16-bit

قم بتخزين الموجة بملف يدعى File1 وتأكد من أن يكون نوع الملف Windows PCM. ثم اختر Close من قائمة File.

أعد ذلك لتردد يساوي 1200 هرتز ولكن بتصغير يساوي 10 (أي تكبير سالب 10) بملف يدعى File2

وبعد كل ملف اختر Close من قائمة File. بعد الانتهاء من إنشاء الملفات اضغط على متعدد المسارب Multitrack والذي يسمح لنا بدمج الموجات الصوتية مع بعضها البعض.

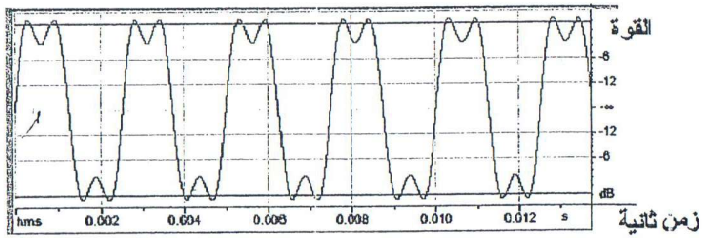
في المسرب الأول Track 1 ادخل الموجة الأولى وذلك بتحريك الفأرة لتستقر فوق بداية المسرب الأول ومن ثم اضغط على يمين الفأرة واختر من النافذة المعلقة Wave From File من قائمة Insert ومن ثم اختر الملف الأول File1. أعد ذلك في المسرب الثاني واختر File2. أما في المسرب الثالث، فاختر من النافذة المعلقة All Waves من قائمة Mix Down to Tracks.



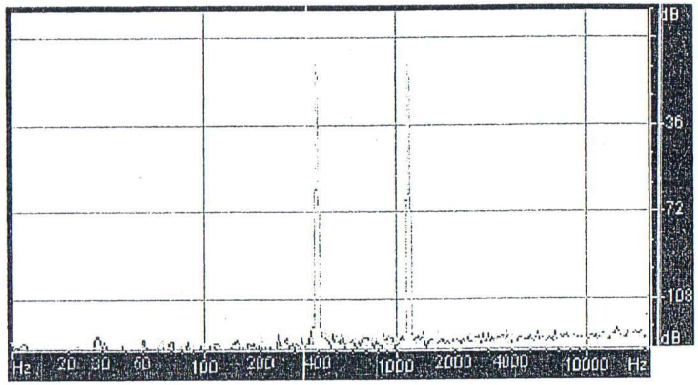
الشكل 28.2 دمج عدة موجات صوتية

اختر المسرب الثالث واضغط على المشاهدة Edit View ليرجعك البرنامج إلى تمثل الموجات التي تصدر من السماعات اليمنى واليسرى، أو اضغط على الفأرة وأنت في المسرب الثالث مرتين. كبر المشاهدة للموجة بالضغط على العدسة فنلاحظ أن الموجة تختلف عن موجة جيبية وتشبه الموجة في الشكل 29.2.

أضف إلى هذا الدمج الملف الثالث وأنظر إلى الموجة الناتجة.



الشكل 29.2 موجة صوتية ذو ترددان



الشكل 30.2 تمثيل ترددي

2. ترقيم الموجات الصوتية Digitization

تعلمنا حتى الآن في هذه الوحدة الكثير عن الموجات الصوتية وصفاتها الأساسية من تردد وطاقة وزاوية. كما تعرفنا على بعض الأجهزة اللاقطة كالميكروفون والأجهزة المصدرة للصوت كالسماعات. وكل ذلك يعرف بالمجال Analog الخطي. فالأجهزة والإشارات المختلفة حولنا تكون إما خطية أو Digitalرقمية. ففي الأجهزة والأنظمة

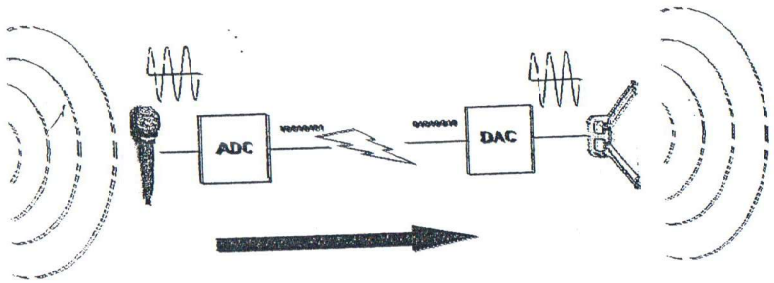
الخطية المتواصلة هناك عدد غير متناهي من الإشارات الكهربائية التي يصدرها الميكروفون لتمثل علو الصوت الملتقط. وغالبا ما تؤخذ هذه الإشارات لتمر تحت مراحل معالجة كالتكبير وإدخال الصدى وخلطها مع أصوات أخرى، ومن ثم نقلها إلى أماكن قد تكون بعيدة لإعادة تحويلها من إشارات كهربائية إلى أمواج صوتية من خلال أجهزة كالسماعات، أو تخزينها في أشرطة مغناطيسية كتلك المتداولة في الأسواق.

ومن خلال هذه العمليات من معالجة ونقل وتخزين للإشارات تصبح الإشارات عرضة لتشويش والتخريب مما يؤثر على جودة الصوت، لذلك فإنه يوضع عادةً حد أقصى لمراحل عمليات المعالجة على الصوت من النظام الخطي ليظل فيها الصوت ضمن المستوى المقبول. ولتفادي هذه المشكلة وللمحافظة على جودة الصوت عند النقل أو التخزين كان يجب تحويل الإشارات من النظام الخطي إلى النظام الرقمي الذي تكون فيه الإشارات الأصلية للصوت بشكل بيتس (Bits).

عملية التحويل هذه من النظام الخطي إلى النظام الرقمي تدعى Analog-To-Digital Conversion (ADC) أو (A\D) وتكون هذه العملية قبل تخزين الصوت أو نقله وذلك لتفادي التدني في الجودة وكذلك للتمكن من ضغط المعلومات. أما المرحلة العكسية التي تكون عند الحاجة لإرسال الإشارة المستقبلة أو المسترجعة إلى السماعات، فهي تحويل الإشارة من النظام الرقمي إلى النظام الخطي وتسمى Digital-To-Analog Conversion (DAC) أو (D\A) . ومن المراحل الأساسية لهذا التحويل الأول من النظام الخطي إلى الرقمي مرحلتان : تسمى الأولى مسح العينات (Sampling) والأخرى التسوية (Quantization) .

1.7 المسح العيني ومعدل نكويست Sampling and Nyquist Rate

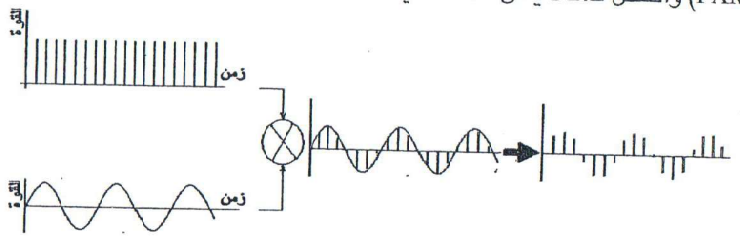
العالم الطبيعي حولنا بما فيه الصوت يعمل بالنظام الخطي. لاقطات الصوت مثل الميكروفون تحول الموجات الصوتية إلى موجات كهربائية، وبالعكس، فالسماعات تحول الموجات الكهربائية إلى موجات صوتية وكل ذلك في النظام الخطي.



الشكل 31.2 التحويل من النظام الخطي إلى النظام الرقمي وبالعكس

وما بينهما تحويلان فالأول من النظام الخطي إلى الرقمي والآخر بالعكس، أي من النظام الرقمي إلى الخطي كما يوضح الشكل 31.2. وأول مراحل عملية التحويل إلى الرقمي هي عملية مسح العينات. ومسح العينات هو ببساطة أخذ عينات من الإشارة الخطية المتواصلة في فترات زمنية متساوية. فتصبح الإشارة متقطعة. ومن أهم عوامل إنجاح هذه العملية وبدون تدني جودة الصوت الأصلي، اختيار الفترة الزمنية المناسبة. فكلما كانت الفترة الزمنية صغيرة كلما كانت الإشارة المتقطعة الناتجة أقرب إلى الإشارة الأصلية وأكبر في عدد العينات الناتجة، ولكن يكبر بذلك حجم الملف الصوتي إن أردنا تخزينه. أما إذا تباعدت الفترات الزمنية فإن عدد العينات يقل فتختلف الإشارة إذا ما قورنت بالأصلية فتتدنى الجودة ولكن يصغر حجم الملف. فاختيار الفترة المناسبة التي تراعي كلتا الحالتين تعتمد على سرعة التغيرات في الموجة الخطية أو بمعنى آخر على تردد الموجة الخطية. وهنا نأتي لنتعرف على نظرية نكويستNyquist التي تقول أن معدل أخذ العينات للموجة الخطية يجب أن يكون على الأقل ضعف أكبر تردد للموجة الخطية، وذلك إذا أردنا أن نسترجع الموجة الخطية الأصلية بدون انخفاض مستوى الجودة. ونقصد بمعدل أخذ العينات هو عدد العينات المأخوذة في الثانية ويقال لها معدل مسح العينات Sampling Rate.

والفترة الزمنية تساوي مقلوب هذا التردد. وقد ننظر إلى عملية مسح العينات بمنظار آخر فنقول إنها عبارة عن ضرب الموجة الخطية بتدفق من نبضات متكررة ومنتظمة بمعدل مسح العينات المطلوب، وهذا ما يطلق عليه (Pulse Amplitude Modulation PAM) والشكل 32.2 يمثل هذه العملية.

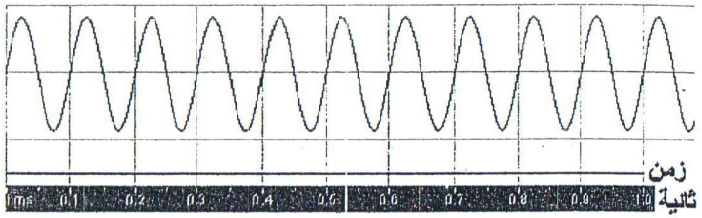


الشكل 32.2 عملية PAM

نظرية النكويست إذا نظرنا لها من جهة أخرى نقول إن أعلى تردد في النظام الخطي يمكن استرجاعه في النظام الرقمي يساوي نصف معدل مسح العينات والذي يسمى أيضا بتردد نكويست نسبة إلى هاري نكويست. فإذا علمنا أن معدل مسح العينات للأصوات المخزنة على القرص الليزري الصوتي هو 44.1 ألف هيرتز فان أعلى تردد يمكن استرجاعه بدون أي ضعف في الجودة إذا ما قورن بالموجة الأصلية يساوي 22.05 ألف هيرتز، أي أعلى بكثير من 20 ألف هيرتز وهو حد السمع الترددي الأعلى للإنسان. أما إذا أردنا أن نعرف ماذا يحدث للأصوات ذات التردد العالي والذي يكون أعلى من نصف التردد العيني، فإنها غالبا ما تتغير إلى تردد منخفض وأحيانا أقل بكثير من ترددها الأصلي. وهذا التغير في التردد الأصلي أو في الموجة الأصلية الذي يطلق عليه Aliasing إلياسنغ، فيتسبب في تعكير صفاء الصوت.

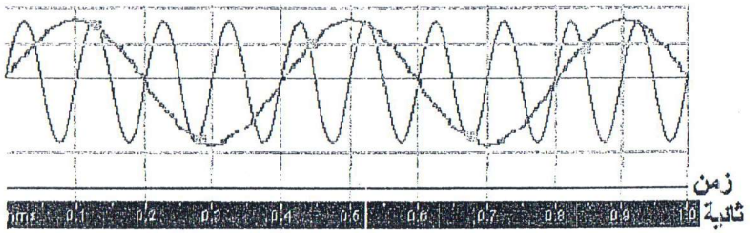
وللعلم، فإن الأصوات والموسيقى التي تكون غالبا مسجلة على مثل هذه الأقراص الليزرية الصوتية غالبا لا يزيد ترددها على 10 كيلو هيرتز. ولكن مع ذلك هناك ادعاءات بان بعض الأصوات قد تزيد على ذلك، لذلك فإن الاستوديوهات غالبا ما تستخدم تردد عيني بمقدار 48 كيلو هيرتز.

وللتعرف على الـ إلياسنغ اكثر، فإنه ينتج عندما يكون معدل مسح العينات أقل من ضعف تردد النكويست، أي أقل من ضعف التردد الأعلى للموجة الأصلية. وعندها تتحول الأصوات ذات التردد العالي إلى أصوات ذات تردد منخفض. فإذا كان التردد للموجة هو 10 هيرتز كما في الشكل 33.2 فنقول إن معدل مسح العينات يجب أن لا يقل عن 20 هيرتز أي عشرين عينة في الثانية.



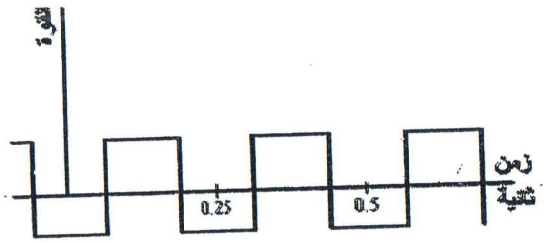
الشكل 33.2 موجة ذات تردد 10 هيرتز

ونرى في الشكل 34.2 أن معدل مسح العينات المستخدم هو قرابة 5 هيرتز أي 5 عينات في الثانية أي يساوي ربع الـ 20 هيرتز. وباستخدام نظرية النكويست نقول إن أعلى تردد يمكن الحصول عليه من استخدام هذا التردد هو نصف ألـ 5 فهو 2.5 هيرتز. وهذا ما يتضح من الشكل لأننا إذا أردنا أن نستخرج الموجة من العينات المعطاة فإننا سنلاحظ أن الموجة الناتجة تساوي 2.5 هيرتز أي أقل مما كانت عليه، 10 هيرتز، وذلك لاستخدام تردد عيني صغير وهذا ما لا يتماشى مع نظرية النكويست.



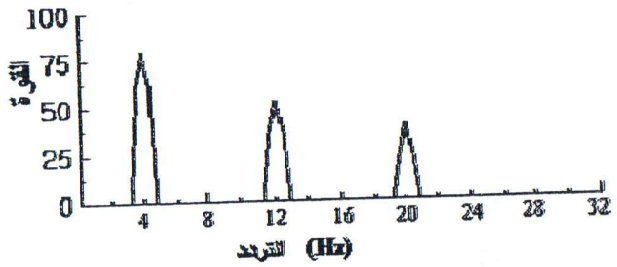
الشكل 34.2 التغير في التردد الأصلي Aliasing

وكذلك في الشكل 35.2 والذي يمثل موجة مربعية، وكما علمنا سابقا فإن الموجة المربعية هي عبارة عن مجموعة من الموجات الجيبية ذات التردد المنتظم والعلو المتناقص، فالموجة المربعية التالية لا يمكننا فيها حصر التردد الأعلى.



الشكل 35.2 موجة مربعية ذات تردد إجمالي يساوي 5 هيرتز

فمهما كان اختيارنا لمعدل مسح العينات فإن جميع الموجات ذات التردد الذي يكون أعلى من نصف معدل مسح العينات سينخفض ترددها الأصلي لينتشر إلى ما دون نصف معدل مسح العينات المختار، ليصبح لنا التمثيل الترددي للموجة المسترجعة كما هو بالشكل 36.2 والذي يمثل الوجه المسترجعة في المجال الترددي إذا كان معدل مسح العينات المختار يساوي 50 هيرتز. فنقول إن أعلى تردد للموجة نستطيع الحصول عليه هو أقل من نصف 50 هيرتز أي 25 هيرتز.



الشكل 36.2 التمثيل الترددي للموجة المربعية ذات معدل مسح العينات الذي يساوي 20 هيرتز

مثال:

موجة جيبية بتردد 500 هيرتز، ما هو أقل تردد عيني يمكن أن نستخدمه بدون أي انخفاض للجودة الصوتية؟

الحل:

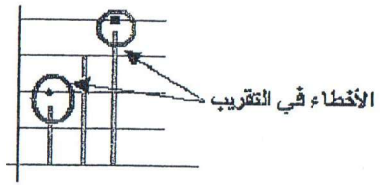
بما أن تردد الموجة هو 500 هيرتز والموجة جيبية فإن أعلى تردد لتلك الموجة هو أيضاً 500 هيرتز. فمعدل مسح العينات الأدنى وبدون انخفاض للجودة الصوتية حسب نظرية Nyquist هو

$500 \times 2 = 1000$ هيرتز.

1.8 التسوية Quantization

التسوية هي المرحلة الثانية من مراحل الترقيم للموجات الصوتية من النظام الخطي، وهي تتضمن إعطاء مستوى أو رقم لكل عينة ناتجة من عملية مسح العينات السابقة وتحويل هذه القيم إلى أرقام في المجال الثنائي Binary. وعدد هذه المستويات يحدد بعدد الـ Bits بيتس المستخدمة لكل عينة، فاستخدام Bit بيت واحد يعطينا مستويين، واستخدام اثنين من البيتس يعطينا 4 مستويات، وهكذا.....

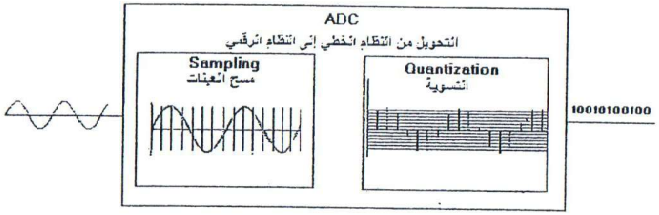
فعدد المستويات تساوي (2) قوة عدد البيتس. فالتسوية هي عبارة عن تمثيل كل عينة بأقرب مستوى معطى، وهذا ما يسمى أيضاً بعملية التقريب. فكلما قل عدد البيتس المستخدمة كلما كانت عملية التقريب ذات مسافات أكبر، أما الفرق بين القيمة الحقيقية والقيمة المقربة فيدعى خطأ التسوية كما هو موضح بالشكل 37.2.



الشكل 37.2 خطأ التسوية

وبالتالي، فكلما كبرت عملية التقريب نتيجة تصغير حجم العينة أو تقليل عدد البيتس المستخدمة لكل عينة، كبرت لدينا نسبة التغيير بالموجة الأصلية فتقل جودة الصوت ويكثر التشويش، ولكن بالمقابل يقل حجم الملف الصوتي. ولتفادي هذه الأخطاء فما علينا إلا أن نزيد عدد البيتس المستخدمة لكل عينة. وتسمى عدد البيتس المستخدمة لكل عينة بحجم العينة أو عمق العينة (Sample Depth). فإذا أخذنا القرص الليزري الصوتي فإن حجم العينة هو 16 أي 65536 مستوى. وحالياً تستخدم الاستوديوهات المتميزة حجم عينة يساوي 20 أي 1048576 مستوى وأحيانا تستخدم 24 أي 16777216 مستوى.

ومما تقدم نستطيع أن نلخص عملية التسوية فنقول إنها العملية التي من خلالها يكون القيم فيها محددة ومقطعة، وهي العملية التي تقرب القيم المتواصلة إلى قيم محددة أو صحيحة.



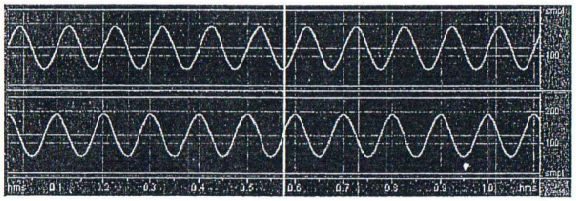
الشكل 38.2 التحويل من النظام الخطي إلى النظام الرقمي ADC

عمليتا مسح العينات والتسوية تمثلان العمليتين الأساسيتين لمرحلة تحويل الإشارة من النظام الخطي إلى النظام الرقمي. فتكون بعدها الإشارة أكثر جاهزية للتخزين أو النقل. ولكن قبل ذلك نحتاج إلى وضع المعلومات الناتجة في قالب أو ملف لنتعرف على البداية والنهاية للمعلومات التي تحتوي الصوت وكذلك كيفية التعامل مع المعلومات وفهمها. فإذا أعطي شخص العينات التالية 001010111001100 وطلب منه أن يرسم الموجة الناتجة فإنه لا يستطيع لجهله بعمق العينة ومعدل مسح العينات وغيرها من المعلومات الأساسية لفهم الموجة.

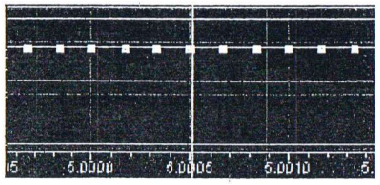
مثال:

من الموجة الجيبية المبينة في الشكل 39.2 والمكبرجزء منها في الشكل 40.2 ، احسب التالي:

1- التردد العيني.
2- تردد الموجة الخطي.
3- عمق العينة.



الشكل 39.2 الوجة الجيبية



الشكل 40.2 جزء مكبر من الموجة الجيبية

الحل:

عدد الدورات في الثانية إذا ما نظرنا إلى الشكل 39.2 يساوي 10 وهو تردد الموجة ويساوي 10 هيرتز.

أما إذا نظرنا إلى الشكل 40.2 فإن النقاط تمثل العينات. لذلك نجد هناك 6 نقاط في الفترة ما بين (5.0 – 5.001) ثانية فنقول بأن معدل مسح العينات يساوي.

$$\frac{6}{0.001} = 6000 \text{ هيرتز}$$

أما عمق العينة فنجد إذا ما أمعنا النظر في المحور العمودي للشكل 39.2بأن أعلى قيمة فيه تقارب الـ 250 أي تتراوح ما بين 200 إلى 300 فنقول أننا بحاجة الى قيمة س تحقق الشرط التالي

$$200 > س^2 > 300$$

فنجد أن قيمة س التي تحقق الشرط هي 8 لأن في حال أن س تساوي 9 فيكون الناتج 500 وفي حال أن س تساوي 7 فيكون الناتج 128 وهما بعيدان عن القيمة العليا للمحور العمودي. لذلك من خلال الشكل نقول بأن عمق العينة هو 8 بيتس.

1.9 الملفات الصوتية Audio Files

إن المعلومات التي نحصل عليها من عملية الترقيم ADC مثل 1001010000101، يمكننا أن نرسلها أو نخزنها كما هي، ولكن ذلك سيؤدي إلى عدم القدرة على فهم تلك المعلومات عند استقبالها أو استرجاعها. ومن الأسئلة التي قد نطرحها عند البدء في عملية التحويل الى النظام الخطي DAC، وهي العملية العكسية لـ ADC :

1. كم من البيتس استخدمت لتمثيل كل عينة؟

2. كم هو زمن الموجة الصوتية الممثلة بتلك المعلومات؟
3. كم من العينات أخذت لكل ثانية؟
4. ما هذه المعلومات وهل هي مضغوطة أم لا؟
5. هل هناك موجة واحدة أم اثنتين أم أكثر؟
6. ما هي نوعية الضغط المستخدم؟

إلى غير ذلك من الأسئلة.

ولتمكين مرحلة DAC من الفهم والتعامل مع المعلومات، نحتاج إلى تغليف هذه العينات الصوتية في ملف نجد فيه جميع الأجوبة عن تلك الأسئلة وغيرها التي نحتاجها، ويطلق عليها اسم رأس الملف.

تسمى الملفات التي تحتوي موجتين صوتيتين الأولى يمين والأخرى شمال (بملفات الستيريو) Stereo. وتسمى الملفات التي تحتوي موجة واحدة (بملفات المونو)Mono. وهناك أيضاً أصوات ذات موجات منفصلة متعددة تزيد عن اثنتين. وتحتوي ملفات الستيريو موجتين منفصلتين يمنى ويسرى بوضعية التداخل(Interleave) ونعني بذلك أن يكون تدفق العينات في الملف عينه لكل موجة في تدفق واحد مثل (ي ش ي ش ي ش.....) حيث تمثل (ي) عينة في موجة اليمين و(ش) عينة في موجة الشمال.

وهناك وضعية أخرى لملفات الستيريو، وتسمى المتفصل(Split) ، حيث يكون هناك ملفان: الأول يمثل الموجة اليمنى والآخر يمثل اليسرى. ومن الطبيعي أن يسمى الملف الأول باسمه الأصلي منتهيا بـ R، حيث أن R تمثل Right يمين، والملف الآخر بنفس الاسم منتهيا بـ L حيث أن L تمثل Left شمال.

مثال:

إذا كان ملف ستيريو بوضعية المنفصل اسمه *محاضرتي* ، فما هي أسماء الملفات التي تكون الملف الصوتي؟

الحل:

اسم الملف الذي يحتوي الموجة اليمنى: *R. محاضرتي*

اسم الملف الذي يحتوي الموجة الشمال *L. محاضرتي*

عند التعامل مع مثل هذا النوع الملفات من خلال البرمجيات الصوتية، فإن هذه البرمجيات تفتح كلا الملفين مع بعضهما في حالة الستيريو المنفصل. والجدير بالذكر أن اغلب الأقراص الليزرية لا تحتوي إلا الملفات الصوتية المتداخلة.

وهناك تصنيفان من الملفات يحتوي كل تصنيف مجموعة من أنواع الملفات ويحتوي الآخر أنواعاً أخرى. ويمكن لنوع واحد من الملف أن يستخدم أياً من التصنيفين، فيذكر نوع التصنيف المستخدم في رأس الملف. وهذان التصنيفان يكونان واضحين عندما تكون العينة بحجم 16 بيت أي بحجم 2 بايت، فتسمى الأولى بالعظمى والثانية بالصغرى. فيكون الملف بوضع Big Endian إذا سبق ترتيب الكبرى الصغرى وLittle Endian إذا سبق ترتيب الصغرى الكبرى في الملف.

وبالرغم من اختلاف أنواع الملفات الصوتية فإن أغلب البرامج الصوتية مثل Media Player وReal Audio تستطيع فهم وتحويل وتشغيل عدة أنواع من الملفات. وسنتعرف على بعض أنواع هذه الملفات لاحقاً وخصوصاً المستخدمة بكثرة منها.

تجمع الملفات الصوتية قيم العينات الرقمية بنموذج متعارف عليه يمكنها أن تخزنه في جهاز الحاسوب، أو تنقله إلى أجهزة حاسوبية أخرى، أو تضعه على الشبكة العالمية للتنزيل. وتختلف الملفات عن الأقراص الليزرية الصوتية، والتي غالبا ما تحتوي العينات الصوتية فقط بشكلها الأصلي، وذلك لأن المعلومات التي نحتاجها لفهم العينات على الأقراص ثابتة على جميع الأقراص الصوتية. فمعدل مسح العينات في الأقراص الصوتية يجب أن يكون 44.1 ألف هيرتز وعمق العينة يجب أن يكون 16 بيتس، أما

عدد الموجات المستخدمة فهي اثنتان وتمثل ستيريو. لهذا السبب فإن الأقراص الليزرية غالبا ما تحتاج إلى قراءتها وتغليفها في ملفات يحتوي رأسها تلك المعلومات وغيرها لتستطيع برامج الحاسوب فهمها قبل تشغيلها وسماع ما تحتويه.

وتتميز ملفات الصوت عن المراسلات والرسائل الكتابية وغيرها من الملفات التي تحتوي حروفاً بأن أحجامها كبيرة. فعلى سبيل المثال، حجم ملف صوتي يتصف بالصفات التالية 16 بيتس و44.1 كيلو هيرتز، وستيريو يحتاج إلى ما يقارب 172 كيلوبايت في الثانية (KB/s) مساحة للتخزين في حالة عدم ضغطه.

مثال:

ما المساحة التخزينية لملف صوتي عمق العينة فيه 16 بيتس وتردد العيني يساوي 22.05 كيلو هيرتز، ويمثل ستيريو وطوله 15 دقيقة؟

الحل:

يحتاج الملف إلى:

$$\frac{16 \text{ بيتس}}{\text{عينة}} \times \frac{22050}{\text{ثانية}} = 352800 \text{ بيتس لكل ثانية لكل موجة}$$

أي 44100 بايت لكل ثانية لكل موجة إذا ما قسمنا الجواب على 8 (لأن البايت تمثل 8 بيتس) أو 43.1 كيلوبايت لكل ثانية لكل موجة. وبما أن الملف ستيريو أي موجتين فينتج عندنا قرابة 43.1×2=86.2 كيلوبايت في الثانية (KB/s) مساحة التخزين في حالة عدم ضغطه. والملف في المثال طوله 15 دقيقة فيحتاج إلى ما يقارب 86.2×60×15=77580 كيلوبايت.

وسنتعرف على وسائل متعددة للضغط لاحقاً في الوحدة الخامسة أما في هذه الوحدة فإن تعاملنا سيكون مع الملفات التي تحتوي معلومات غير مضغوطة أو خامة.

1.10 أنواع الملفات الصوتية المتداولة

هناك الكثير من نماذج الملفات الصوتية والمتداولة بين الناس وهي في تزايد مستمر. ومن أسباب اختلاف النماذج هي اختلاف البيئة الحاسوبية أو الأجهزة، فمنها ما يستخدم في أجهزة Mac ومنها في Sun وأخرى في IBM- Compatible. ومن أسباب تواجد الاختلافات أيضاً اختلاف أنواع الضغط المستخدم لضغط العينات واختلاف المعلومات التي قد تحتاجها البرمجيات لفك الضغط وإرجاع المعلومات الخامة. فمن هذه الملفات AC3، ra ، و MP3 وغيرها.

أما الملف الأكثر تداولاً والذي يحتوي المعلومات غير المضغوطة وصمم بالأصل لأجهزة IBM- Compatible فهي WAV. وقبل أن نفصل هذا النوع من الملفات سنعرض لكم موجزاً عن بعض النماذج من الملفات الصوتية المتداولة في الأجهزة والبرمجيات الصوتية.

1.10.1 MP3

وهي الطبقة الصوتية الثالثة ل MPEG-1 . حيث استطاع العلماء في نهاية العام 1978 أن يتوصلوا إلى طريقة قوية لضغط الصوت وإطلاق ما يسمى بـ ISO-MPEG Audio Layer 3. ومن أهم ميزات الMP3 هي نسبة الضغط التي قد تصل إلى 1: 24 ضعف من الحجم الأصلي للملف الصوت، بينما لا تبعد الجودة كثيراً عن جودة الأقراص الليزرية الصوتية، وان الميزة بذلك هي نسبة الضغط والجودة معاً.

ويمتاز هذا النوع من الملفات أيضاً بخاصية تدفق الملف، فإن الملفات الصوتية ضمن هذا النموذج، كما سيأتي معنا لاحقاً، يمكن لها أن تسحب عبر الشبكة العالمية وتشغل معاً دون الحاجة إلى الانتظار لتنزيل أو سحب الملف كاملاً.

1.10.2 RA أو RAM أو RM

ويسمى أيضاً هذا النوع بـReal Audio . يتمتع هذا النموذج من الملف بخاصية التدفق التي شرحناها سابقا لأن الشخص يستطيع إنزال تلك الملفات من الشبكة العالمية وتشغيلها على الفور دون الحاجة للانتظار لتنزيل الملف كاملاً. وبالإمكان دمج هذا النوع مع الفيديو أو الصور المتحركة والحفاظ على خاصية التدفق أيضاً. ويمكن تشغيل هذا النوع من الملفات باستخدام برمجيات صوتية متعددة وأشهرها Real Audio . أما بالنسبة لجودة الصوت فإنها غالباً ما تتأثر كثيراً بسبب نسبة الضغط الكبيرة.

1.10.3 WAVE

هذا النموذج المتعارف عليه للملفات الصوتية الرقمية على أجهزة IBM Compatible . وعادةً ما تكون البيانات الصوتية فيها على نموذج الـ Pulse Code Modulation PCM والتي سنتطرق لها لاحقاً، أي بمعنى آخر فهي غير مضغوطة وتستخدم مساحة كبيرة على قرص التخزين. وسيأتي تفصيل لملفات WAV معنا لاحقاً.

1.10.4 AIFF

هذا النموذج المتعارف عليه للملفات الصوتية الرقمية على أجهزة الماكنتوش وعادةً ما تكون البيانات الصوتية فيها على نموذج الـ PCM أيضاً، أي بمعنى آخر هي غير مضغوطة وتستخدم مساحة كبيرة على قرص التخزين.

1.10.5 AU

وهي نماذج الملفات الصوتية المتعارف عليها في أجهزة الـ SUN وكذلك الحال فإن البيانات الصوتية غير مضغوطة. ولكن هذا لا يعني بأنه لا يمكن التعامل مع هذه الملفات سواء AU أوAIFF من خلال البرمجيات الموجودة على أنظمة التشغيل (النوافذ)

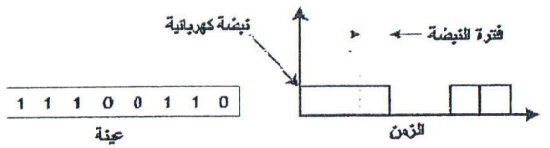
Windows على أجهزة IBM Compatible. بل إن بعض البرمجيات على أنظمة التشغيل النافذة مثل Media player تستطيع فهم وتشغيل مثل هذه الملفات.

1.11 خاصية تدفق الصوت Audio Streaming

خاصية تدفق الصوت هي عبارة عن آلية لتجنب مشكلة الحجم الكبير لملفات الصوت. فبدلاً من أن ينتظر المستخدم فتح وقراءة الملف كاملاً من خلال برنامج التشغيل وتحميله في ذاكرة الحاسوب، فإنه بهذه الآلية يستطيع البدء في سماع الملف الصوتي وذلك من خلال قراءة البرنامج الصوتي لجزء يسير من الملف. وهذه الآلية تستخدم بكثرة في استقبال الملفات من خلال شبكة الإنترنت وسماعها في نفس الوقت، وذلك حال وصول جزء يسير من الملف. وقد يحتاج أحياناً الى تخزين بيانات تعادل عدة ثوان من ملف الصوت وذلك لتغطية تأخر وصول بعض البيانات عبر الانترنت لكي لا يشعر السامع.

وتستطيع أن تستفيد من هذه الآلية كثيراً في نماذج الملفات الصوتية من خلال تغليف الملفات بنماذج تدفق مثل مايكروسوفت Active Streaming Format (ASF) والتي يمكن استخدامها لتغليف ملفات مثل WAV وWMA وغيرها.

1.11.1 Pulse Code Modulation - PCM



الشكل 41.2 Pulse Code Modulation

هو تمثيل مباشر للمعلومات الرقمية والتي تتمثل بـ (1 و صفر) من قيم العينات. فعندما نستقبل البيانات الصوتية على شكل PCM فإن 1 تتمثل بنبضة من التيار الكهربائي وصفر تتمثل بـ غياب نبضي من التيار. وهي الطريقة المشهورة لتخزين ونقل البيانات الرقمية غير المضغوطة. وبما أنها نموذج عام فإن أغلب البرامج الصوتية تستطيع قراءتها وفهمها. ويستخدم هذا النموذج في الأقراص الصوتية الليزرية وأشرطة الأصوات الرقمية، كما يستخدم في ملفات AIFF و الـ WAV. الشكل 41.2 يمثل PCM.

يأتي الصوت الرقمي في عدة أشكال وعدة نماذج وتأتي البرامج والأجهزة لتدعم هذه النماذج المختلفة من الصوت الرقمي ولكن قد يحدث أن تفشل بعض هذه الأجهزة والبرامج الصوتية بفتح ملف عندما تحاول ذلك، وهذا عادة ما يحدث عندما يكون نموذج الملف إما جديداً أو غير مشهور أو قديماً جداً، ومع ذلك فإنك دوماً تستطيع أن تجد البرامج من خلال الشبكة العالمية التي تحول الملفات الصوتية من نموذج إلى آخر أكثر شهرة.

وتلخيص ما سبق، أن الملف الصوتي يتكون عادةً من قسمين: المقدمة والمعلومات الصوتية. وتستخدم المقدمة لتخزين معلومات عن طبيعة الملف الصوتي ونوع النموذج المستخدم. ومن هذه المعلومات معدل مسح العينات، نوع الضغط المستخدم، وعدد البيتس لكل عينة. وأحياناً يستخدم التغليف لإضافة معلومات أخرى مثل حقوق الطبع وقدرة التدفق التابع للملف.

أما نماذج الملفات الصوتية الرقمية فهي تعكس طبيعة هيكلية المعلومات الصوتية المخزنة في الملف، وغالباً ما تحتوي مؤخرة اسم الملف دلالة النموذج المستخدم للملف، ويمثل الجدول 2.2 التالي بعض النماذج المستخدمة في الملفات الصوتية والمؤخرات الاسمية وهيكلية المعلومات الصوتية.

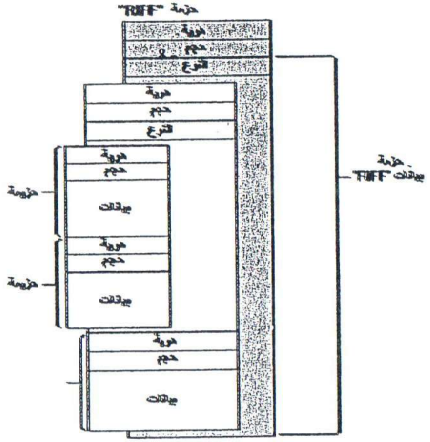
نموذج الملفات	مؤخرة إسم الملف	نموذج المعلومات الصوتية
AIFF (Mac)	.aif, .aiff	PCM
AU (Sun/Next)	.au	u-law
CD audio (CDDA)	N/A	PCM
MP3	.mp3	MPEG Audio Layer-III
Windows Media Audio	.wma	خاص بميكروسوفت (Microsoft)
QuickTime	.ql	خاص بأبل (Apple Computer)
RealAudio	.ra, .ram	خاص (Real Networks)
WAV	.wav	PCM

الجدول 2.2 نماذج للملفات

1.12 الملف الصوتي الرقمي WAV

هذا هو النموذج المتعارف عليه في الملفات الصوتية الرقمية على أجهزة الحاسوب PC ذات نظام تشغيل النوافذ Windows. وتستخدم هذه الملفات هيكلية الـ PCM شكلاً من أشكال المعلومات الصوتية غير المضغوطة. لذلك فإننا نتوقع من ملف الـ WAV أن يأخذ الحيز الكبير وأن يحتاج إلى سعة كبيرة للتخزين.

ونموذج ملف WAV هو عبارة عن جزء من مواصفات RIFF *Resource Interchange File Format* التابع لميكروسوفت والذي يعطي ضوابط لتخزين ملفات الـ Multimedia. يبدأ ملف الـ RIFF بمقدمه ويتبعها بحزم متتابعة من البيانات كما في الشكل 42.2. وملف WAV هو عبارة عن ملف RIFF كما في الشكل 43.3 ولكن بحزمتين تمثل الأولى معلومات النموذج التي تصف البيانات الصوتية، والثانية تحتوي البيانات الصوتية نفسها أي العينات الصوتية. ويوضح الشكل ترتيب المعلومات في الملف وحجم كل معلومة بوحدة البايت. فتبدأ بأحرف أربعة RIFF وحجمها أربعة بايت وتنتهي ببيانات العينات.



الشكل 42.2 مواصفات RIFF

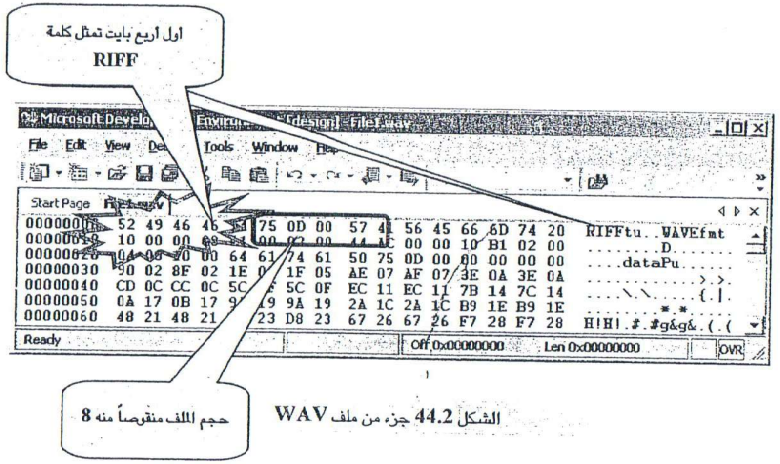
الشكل 43.2 ملف WAV

مثال

إذا كان الشكل 44.2 التالي يبين أول مائة بايت من ملف WAV فما هو حجم الملف؟

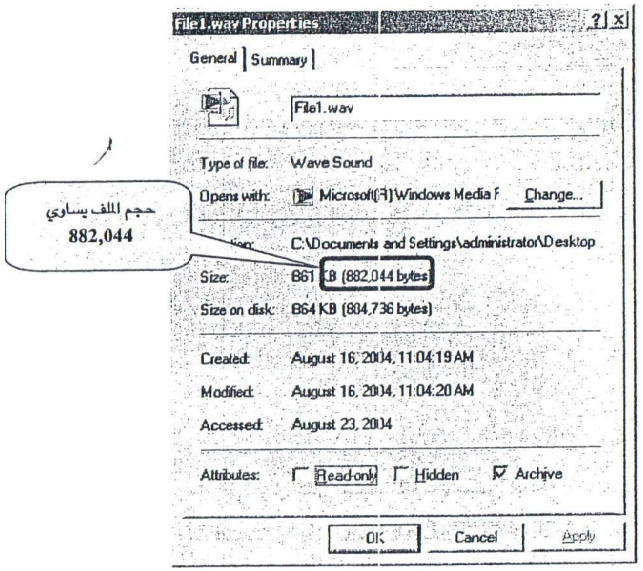
الحل

كما هو متوقع فإننا نجد أول أربع بايت منها تمثل كلمة RIFF أما الأربع بايتس اللاحقة فإنها تمثل حجم الملف منقوصاً منه الثمانية الأوائل.



الشكل 44.2 جزء من ملف WAV

وكما هو مبين أعلاه، فإن حجم الملف منقوصاً منه الثمانية يساوي $0\times D7574$ بالنظام السداسي. وهذا يعادل882,036 بالنظام العشري. وإذا لاحظت فإننا عكسنا ترتيب البايتس (ليس البيتس) وذلك لأن ترتيبها في الملف يكون معكوساً في الأصل، أي يخزن البايت الأصغر ترتيباً قبل الأكبر. وإذا أضفنا 8 بايتس فيكون حجم الملف يساوي 882,044 بايت. ولتتأكد من ذلك إذا علمت موقع الملف، قم باختيار صفات الملف من خلال النقر على يمين الفأرة بعد اختيار الملف، وسيظهر لك كما هو في الشكل 45.2.



الشكل 45.2 صفات الملف من خلال ويندوز

نشاط

يهدف هذا التدريب إلى تعميق الفهم بنموذج الملف الصوتي الرقمي WAV وسنقوم في هذا التدريب بدمج ملفين صوتيين في ملف واحد من خلال التعامل مع المعلومات الرقمية الموجودة داخل الملف.

تحتاج في هذا التدريب إلى القيام بالخطوات التالية:

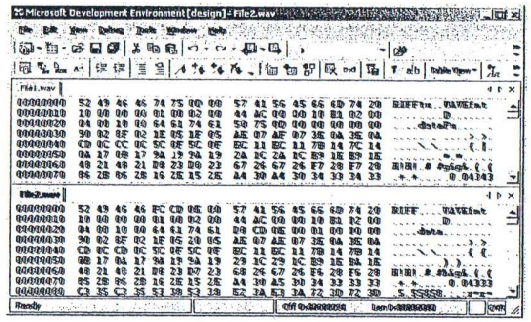
1. أنشىء الملف الأول وذلك باستخدام أحدى البرمجيات الجاهزة مثل Adobe Audition لتكون مواصفاته كالتالي:
   - معدل مسح العينات $KH_Z44.1$
   - 16 بت لكل عينة.
   - ستيريو

ومن خلال الميكروفون عد جهراً من 1 إلى 5 بعد الضغط على زر التسجيل ومن ثم قم بتخزينه.

1. انشيء ملفاً آخر بنفس المواصفات وعد جهراً من 6- 10ومن ثم قم بتخزينه.
2. افتح الملف الأول ومن ثم الآخر من خلال برنامج يستطيع قراءة الملف قراءة خامة، أي يظهر المعلومات بشكل بايتس Bytes أي بالنظام الثنائي. ومن هذه البرامج VStudio.
3. المطلوب دمج الملفين في واحد ليحتوي صوتك الذي تعد فيه من 1 –10. وللقيام بذلك نحتاج إلى تعديل أحد الملفين. فلنأخذ على سبيل المثال الملف الأول، فنقوم بما يلي:

- نقل العينات الصوتية فقط من الملف الثاني إلى الملف الأول.
- تغيير المعلومة التي تدل على حجم الملف لتعكس الحجم الجديد.
- تغيير المعلومة التي تدل على حجم العينات لتعكس الحجم الجديد من العينات.

إذا قمنا نحن بذلك نحصل على الملفين الموضحين في الشكل 46.2. ويجب أن ننتبه إلى أن الملفين الذين حصلنا عليهما ليسا من الضروري أن يطابقا الملفين اللذين حصلت أنت عليهما، وذلك لأن الزمن لكل منهما قد يختلف عن ذلك في الملفات التي حصلت عليهما فقد نحتاج نحن إلى 5 ثوان للعد، بينما تحتاج أنت إلى أكثر أو أقل.



الشكل 46.2 تمثيل ثنائي للملفين الصوتين في النشاط

من الشكل نستطيع أن نلخص التالي:

	الحقل	القيمة السداسية حسب الملف	القيمة السداسية الصحيحة	القيمة العشرية الصحيحة
الملف الأول	حجم العينات	50 75 0D 00	D7550	882000
	حجم الملف – 8	74 75 0D 00	D7574	882036
الملف الثاني	حجم العينات	D8 CD 0E 00	ECDD8	970200
	حجم الملف – 8	FC CD 0E 00	ECDFC	970236

ولاستخراج الأحجام الجديدة عند الدمج نجمع التالي:

(حجم الملف – 8) للملف الأول + (حجم العينات) للملف الثاني = (حجم الملف –8) للملف الجديد.

(حجم العينات) للملف الأول + (حجم العينات) للملف الثاني = (حجم العينات) للملف الجديد.

فنحصل على التالي:

	الحقل	القيمة العشرية الصحيحة	القيمة السداسية الصحيحة	القيمة السداسية حسب الملف
الملف الجديد	حجم العينات	1852200	C43281	81 32 C4 00
	حجم الملف – 8	1852236	C434C1	C1 34 C4 00

نعدل القيم في الملف كما في الجدول أعلاه.

وأخيراً ننسخ البيانات التي تمثل العينات من الملف الثاني ونلصقها بعد نهاية البيانات التي تمثل العينات في الملف الأول. فيكون بذلك الملف الأول والذي يمثل دمج الملفين. إحفظ الملف ومن ثم استخدم أي برنامج صوتي لتشغيل الملف ولاحظ طوله بالثواني واسمع العد من 1 – 10.

1.13 الملف الصوتي الموسيقي MIDI

وضع نظام الميدي لفهم المعلومات الموسيقية وتسهيل التعامل معها وجعل انتقالها بين الأجهزة الموسيقية أمراً ممكناً. ويسمح النظام للأجهزة مثل الحاسوب والآلات الموسيقية بالتحكم ببعضها البعض. وقد تطور هذا النظام ليمكن أجهزة الحاسوب من إنشاء أصوات موسيقية تجعل منه جهازاً موسيقياً.

صمم بروتوكول الميدي ليستخدم في الآلات الموسيقية من خلال ترابط واضح بينها وبين الحاسوب. وهذا الترابط كان في بادئ الأمر في اتجاه واحد وبسرعة 31250 بيتس في الثانية. ورسائل الميدى مختصرة بشدة وذلك لبطئ الترابط. وتحتوي أغلب الرسائل (بايتاً) يحتوي رقم النغمة وأمراً ومن ثم (بايتاً) أو اثنين من المعلومات الأخرى.

ومن خاصية ملفات الميدي بأنها صغيرة الحجم جداً مقارنة مع الطول الزمني لها. وذلك لعدم الحاجة لعينات صوتية بل لرسائل تحتوي أوامر. لذلك يقتصر ملف الميدي على النغمات الموسيقية ولا يستطيع احتواء أي أصوات أخرى كصوت الإنسان أو غيره. أما مؤخرة اسم ملفات المبدي فهوMIDI .

- موجات تنتج من اهتزاز أجسام وتنتقل عبر وسيط ما من مكان لآخر
- ملتقط الصوت الميكروفون يصدر إشارات كهربائية تتناسب مع كثافة اهتزازات جزيئات الوسيط الناقل للأمواج.
- الميكروفون سواء أكان الميكروفون الديناميكي أوالميكروفون الكثف هو عبارة عن جهاز بسيط يلتقط الأمواج الصوتية ليحولها إلى طاقة كهربائية.
- السماعات تشكل الجهاز العكسي لذلك والذي يحول التيار الكهربائي إلى موجات صوتية تتناسب مع شدة التيار.
- الموجات الصوتية خصائص عدة يتميز بها صوت عن الآخر. مثل التردد والطاقة والزاوية .
- الموجات الصوتية ذات التردد العالي تجعل المسافة بين مناطق الضغط المتتالية أو مناطق الرخاوة المتتالية صغيرة، وبالعكس فان الموجات الصوتية ذات التردد المنخفض تجعل المسافة بين مناطق الضغط المتتالية أو مناطق الرخاوة المتتالية كبيرة .
- تعتمد الطاقة المنقولة إلى الوسيط على طول المسافة المقطوعة عند الاهتزاز يميناً وشمالاً بجزيئات الوسيط الناقل للأمواج .
- الزاوية خاصية تصف العلاقة بين موجة صوتية وأخرى لتكون علاقات مثل التداخل الهادم والتداخل البناء .
- تمثل الموجة الصوتية أو الإشارة الكهربائية إما بالتمثيل في المجال الزمني و التمثيل في المجال الترددي .
- للمحافظة على جودة الصوت عند النقل أو التخزين يجب تحويل الإشارات من النظام الخطي إلى النظام الرقمي .

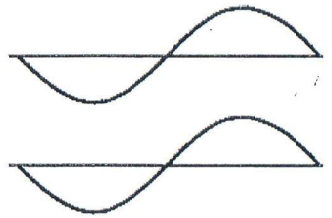
- من المراحل الأساسية لتحويل الإشارات من النظام الخطي إلى النظام الرقمي مرحلتان تسمى الأولى مسح العينات (Sampling) والأخرى التسوية(Quantization) .
- مسح العينات هي أخذ عينات من الإشارة الخطية المتواصلة في فترات زمنية متساوية .
- نظرية نكويست تقول إن معدل أخذ العينات للموجة الخطية يجب أن يكون على الأقل ضعف أكبر تردد للموجة الخطية .
- إلياسنغ Aliasing ينتج عندما يكون معدل مسح العينات أقل من ضعف تردد النكويست .
- التسوية هي إعطاء مستوى أو رقم لكل عينة ناتجة من عملية مسح العينات السابقة وتحويل هذه القيم إلى أرقام في المجال الثنائي Binary .
- تجمع الملفات الصوتية قيم العينات الرقمية بنموذج متعارف عليه يمكنها أن تخزن في جهاز الحاسوب.
- هناك الكثير من نماذج الملفات الصوتية المتداولة بين الناس وهي في تزايد مستمر.
- WAVE هو النموذج المتعارف عليه للملفات الصوتية الرقمية على أجهزة IBM Compatible .
- ملف WAV هو عبارة عن جزء من مواصفات RIFF Resource Interchange File Format التابع لميكروسوفت .
- صمم بروتوكول الميدي لتستخدم في الآلات الموسيقية من خلال ترابط واضح بينها وبين الحاسوب .

المراجع

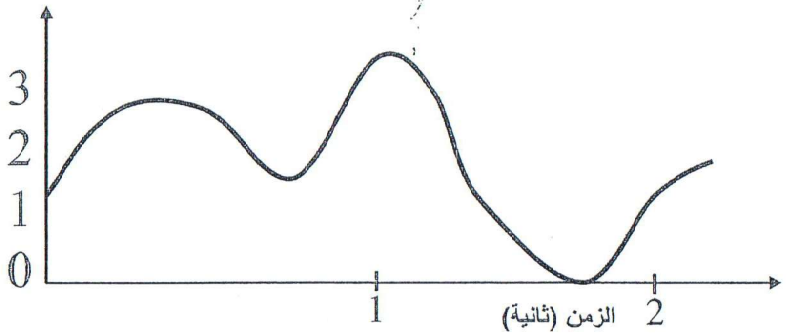
- Middleton C. and Zuk A. (2003) The Complete Guide to Digital Audio: A comprehensive Introduction to Digital Sound and Music-Making. Muska & Lipman Pub.
- PCTechGuide (2004) http://www.pctechguide.com
- Steinmetz R. and Nahrstedt K. (2002) Multimedia Fundamentals Volume I: Media Coding and Content Processing 2nd Ed. USA: Prentice Hall.

تمارين وتدريبات

1. اذكر اختلافين بين جهاز الميكروفون وجهاز السماعة؟
2. عند مزج الموجتين المبينتين في الشكل كيف تتوقع شكل الموجة الناتجة؟ وماذا يطلق على هذه العلاقة؟

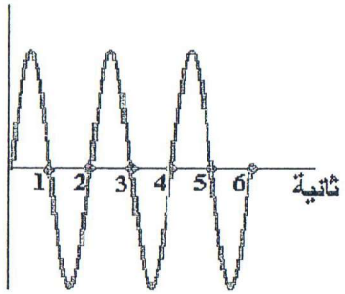


3. هل تؤثر طاقة الصوت على وضوح الخطأ التقريبي؟
4. الموجة في الشكل تمثل موجة صوتية في المجال الزمني وفي النظام الخطي. مطلوب منك تحويل تلك الموجة إلى نظام رقمي باستخدام تردد عيني مقداره 4 هيرتز وعمق العينة يساوي 2 بيت.

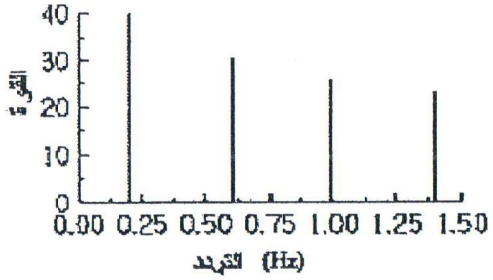


5. كيف يكون شكل الأمواج الصوتية على القمر وكم سرعة الصوت هناك؟
6. ما هو أقل تردد تتأذى بعده طبلة الأذن ؟

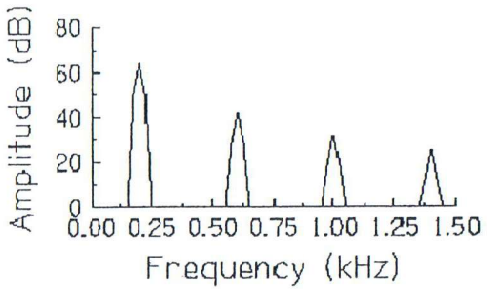
7. ما هي القيمة بالدسابل لموجة صوتية كثافتها 316 ضعف حد السمع؟
8. هل يستطيع الإنسان سماع الأصوات ذات الطاقة العالية والتي تفوق 160 ديسابل؟
9. ارسم جهاز السماعة مبيناً أجزاءه؟
10. لماذا تتولد الكهرباء في ملف كهربائي عند تحريك المغناطيس داخله؟
11. عدد ثلاثًا من خصائص الموجة الصوتية.
12. جد سرعة الصوت خلال خمس وسائط تكون منها وسائط جامدة وأخرى سائلة وأخرى غازية، وقارن بينهم .
13. ما قيمة الزاوية في العلاقة الهادمة بين موجتين صوتيتين وما قيمتها في العلاقة البناءة ؟
14. ما هي وحدة الكثافة الصوتية؟
15. احسب تردد الموجة الجيبية المبينة في الشكل .



16. اذكر تمثيلين للموجة الصوتية يمكننا الاستعانة بهما لمعرفة خصائصها .
17. استخرج معادلة فورير من الموجة الجيبية التالية $f(t) = 2 \sin at$.
18. ما هو أعلى تردد للموجة الصوتية التي تتمثل بالشكل التالي؟



19. متى يكون خطأ التسوية وكيف يمكن تفاديه؟
20. ما هو معدل النيكويست لموجة أعلى تردد فيها يساوي 200 هيرتز؟
21. كيف تقلل أخطاء التسوية؟
22. هل نستطيع تطبيق نظرية النيكويست على موجة مربعية؟
23. كم من البيتس نحتاج إذا أردنا استخدام 30 قيمة مختلفة في عملية التسوية؟
24. ما هو Aliasing وكيف يمكن تفاديه؟
25. ما هو أصغر تردد عيني يمكنك اختياره دون أن تؤثر على جودة الصوت للإشارة الممثلة في المجال الترددي المبين في الشكل التالي



26. عرف الإشارات التالية :
    أ. النظام الخطي.
    ب. المجال الزمني.
    ج. المجال الترددي.
    د. النظام الرقمي.
    ه. النظام الخطي المتقطع.
27. إذا كان لدينا ملف صوتي بجودة CD – Audio وإن طوله 15 دقيقة فكم يكون حجمه التقريبي إذا كانت المعلومات غير مضغوطة؟
28. هل يمكن للملف أن يحتوي أكثر من موجة؟
29. عدد ثلاثة نماذج من الملفات التي تحتوي عينات صوتية غير مضغوطة؟
30. يمثل الشكل المعلومات الأولى المخزنة في ملف WAV إذا علمت أن معدل مسح العينات هو 32 ألف هيرتز وأن الموجة عبارة عن ستيريو وأن عمق العينة هو 8 بيتس فكم من الزمن يستغرق طول هذه الموجة؟