القسم الثالث

الصوتيات الطيفية

الفصل الثالث عشر

الأصوات الطيفية

عند تصميمي للتكوين الطيفي في النغمة المبينة في شكل (١١) فعلت أموراً ثلاثة:

أولها: أنني اخترت موجة بالغة البساطة (إذا ما قورنت بأصوات الكلام) تتألف من مكونين فقط.

وثانيها: أنني اخترت صوتاً مستطيلا *sustained* ذا موجة منتظمة ومكررة إلى ما لا نهاية؛ ولذلك أستطيع - باختيار أي نقطة على طول المدى الزمني الذي تستغرقه الموجة - أن أحصل على صورة صادقة للصوت، فهو دائماً صوت ذو قوة معينة عند التردد ٢٠٠ ذ/ث، وذو قوة معينة عند التردد ٦٠٠ ذ/ث. ومن ثم يكون الرسم التخطيطي في الشكل (١١) تمثيلاً تصويرياً طيفياً كاملاً ودقيقاً لهذا الصوت.

وثالثها: أنني استخدمت صوتاً غير مضمحل.

ولكن كلام البشر لا يسود فيه أي ظرف من هذه الظروف الثلاثة، ولم يكن قبولي لها في معظم الرسوم التوضيحية التي قمت بها حتى الآن إلا بهدف التبسيط. ولذلك يُواجَه المرءُ في تحليل الكلام بقدر من التعقيد أكبر يَرِدُ على هذه الثلاثة جميعاً:

فالقوة **أولاً**: ليست مصاحبة لترددين فقط، ولكنها مصاحبة لعدد كبير من الترددات (انظر التركيب المعقد في النغمة الحنجرية).

وثانياً: عنصر الزمن عنصر جوهري؛ إذ ليس ثمة صوت من أصوات الكلام يستمر عادة أكثر من جزء من الثانية، ولأن كل أصوات الكلام تستمد شكلها النمطي في التصوير الطيفي من البعد الزمني.

وثالثاً: أصوات الكلام أصوات مضمحلة، وينبغي أن تحلل بطريقة يظهر فيها أثر الاضمحلال مرئياً في الرسم.

وإذا أردنا أن ننجز تحليلاً يمنح كل هذه المظاهر المعقدة وزنها الصحيح فليس من الممكن أن نكتفي بأن تطلب إلى شخص ما أن يتكلم بدرجة مناسبة من البطء، وأن يطيل النطق بصوتياته حتى نتمكن من الحصول على صورة أوضح لبعضها على الأقل على الرغم مما تتسم به من سرعة الزوال. وسبب ذلك أن المطل المتعمَّد للنطق في فم المتكلم يغير التركيب الأكوستيكي الصحيح لأصوات الكلام ويفسده. (ويلاحظ أن هناك طريقة لمطل الأصوات، ولكنها تتم عن طريق جهاز يمكن التحكم فيه يسمى **ممطال الكلام** *speech stretcher*، ولكن هذا الجهاز يعمل بتسجيل طبيعي وأصلي للكلام).

ويمكن أن نلبّي أول مطلب من المطلبين اللذين فرغت لتوي من ذكرهما تلبية مبدئية بإيجاد نوع من التنظيم بَيِّنه لنا الشكل «١٤»، وفيه نجد منظومة من المرشحات المستجيبة للرنين جرى تحديدها بحيث تستجيب لترددات معينة نختارها أيضاً. وبالإضافة إلى منظومة المرشحات يستخدم شريط ورقي متحرك تسجل عليه وجود القوة التي يثار بها المرشح على البعد الزمني. ونحن بهذه الطريقة نتخلى عن التحديد الكمي الدقيق لمحدِّد ثالث ونعني بهذا المحدِّد كمية القوة الموجودة (وإن كنا لا نتخلّى بالضرورة عن الإشارة إليها إشارة تقريبية). وعلة هذا التخلي هي أن علينا أن نحصل على تصوير ثنائي البعد وليس ثلاثي الأبعاد.

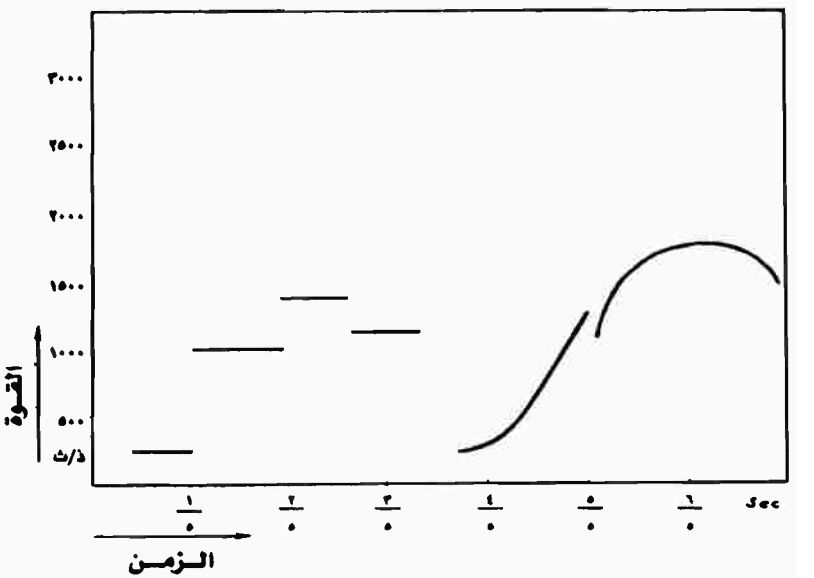
وأما المطلب الثالث، وهو ضرورة أن نولي الاضمحلال عناية مناسبة - فيمكن تحقيقه باستخدام مرشحات ملائمة، أي أجسام رنانة مضمحلة. كما

يمكن الحصول على العينة المناسبة والمنضبطة من الكلام المراد تحليله باستخدام التسجيل بديلاً للمتكلم الحيّ.

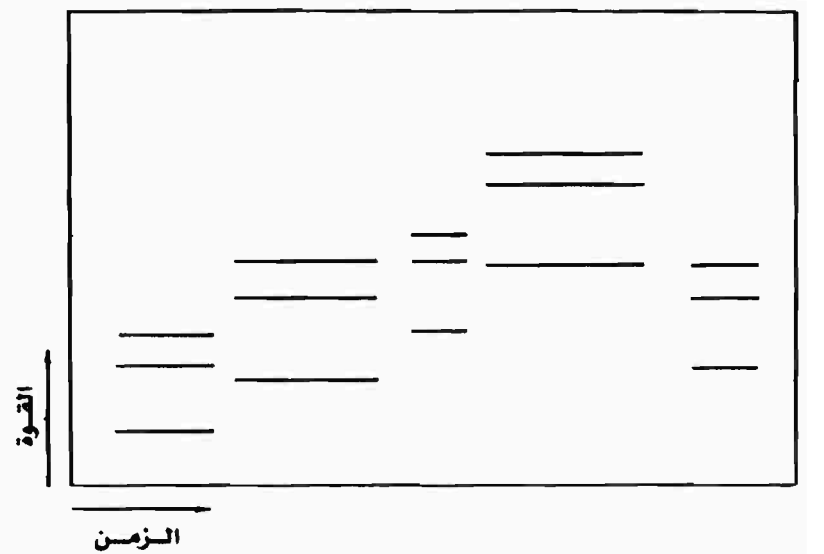
والآن سأعرض سلسلة من الرسوم التوضيحية الطيفية، تتدرج في تعقيدها بحيث تقودنا خطوة خطوة نحو الوفاء بما أوردته حتى الآن من الشروط والمتطلبات التي تحقق الرسم الطيفي الكامل، والتي ينبغي على المطياف أن يلبيها.

يمثل الشكل (١٦) رسماً تخطيطاً طيفياً، ويشير كل خط على البعد الأفقي إلى وجود القوة، وإلى مدة استمرارها مع الترددات التي جرى ترتيبها على البعد الرأسي. ولكن عليك أن تلاحظ أنني قد اخترت مؤقتاً ولمرة أخرى تتابعاً من الأصوات، يشتمل كل صوت فيه على تردد واحد هو تردد الأساس، كما تتعدم فيه النغمات العليا. ومن الواضح أن هذه الأصوات ليست من النوع الذي يَصْدر عن معظم الآلات، فضلاً عن أن تكون من جنس أصوات الكلام. والأجدر بهذه الأصوات أن تكون نغمات صادرة عن شوكات رنانة مثالية، تقرع قرعاً متتابعاً، أو هي نغمات آلة الأوكارينا أو الصفير الذي يطلقه الإنسان بفمه. ويدوّن النصف الأيسر من الرسم لحناً مؤلفاً من أربع نغمات عزفت على التوالي، أو عزفت عزفاً متقطعاً *staccato*. أما النصف الأيمن الذي يسمى بصفير الذئب *walf - whistle*، وهو الصفير الذي يستخدمه الشباب ليعبروا بالصوت لا بالنطق عن الإعجاب بفتاة لطيفة. ولذلك لا يبدو هذا الصفير على هيئة سلسلة متقطعة بل يبدو فيه الانزلاق من تردد إلى آخر. وسيكون الكلام في أساسه من النمط الانزلاقي.

والرسمان التوضيحيان الآتيان هما رسمان طيفيان لنغمة أكثر تعقيداً؛ فالشكل (١٧) لحن عزفته آلة من آلات الكمان، والشكل (١٨) هو صوت «صفير الذئب» نفسه ولكنه معزوف بالبوق. ولم تظهر في هذا الرسم التخطيطي كل النغمات العليا التي تشتمل عليها النغمة الصادرة من كلتا الآلتين. وقد عزفت

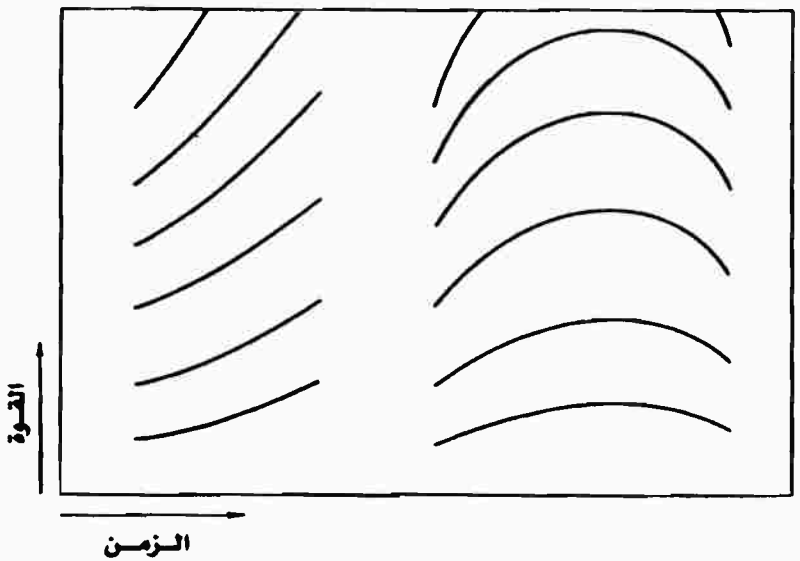


شكل ١٦ . مخطط طيفي لنغمات بسيطة



شكل ١٧ . مخطط طيفي لنغمات مركبة مقطعة

نغمات الكمان على نحو متقطع، أما نغمات البوق فقد عزفت بطريقة انزلاقية متصلة *sliding legato*. وكلا الرسمين الطيفيين مصنوع باستخدام مرشحات مثالية ذات تردد محدد، فهي لا تسمح إلا بمرور تردد واحد. (لاحظ أن الرسم يظهر فيه ارتفاع درجة نغمة الأساس، يصحبه زيادة الانحدار أو الارتفاع النسبيين في منحنيات النغمات التوافقية العليا إذا ما قورنت بالنغمات



شكل ١٨ . مخطط طيفي لنغمات مركبة متصلة

التوافقية السفلى. ويرجع السبب في ذلك إلى أن النغمات العليا - نظراً لكونها مضاعفات لنغمة الأساس - يزيد ترددها بمعدل أسرع من معدل زيادة تردد نغمة الأساس. ونحن إذا سجلنا قراءة لتردد نغمة الأساس عند نقطتين زمنيتين متتاليتين مثل ١٠ذ/ث و ٣٠ ذ/ث فسيكون تردد النغمة التوافقية الثانية في النقطتين المناظرتين هو ٢٠ ذ/ث و ٦٠ ذ/ث، ويكون تردد النغمة

التوافقية العاشرة هو ١٠٠ ذ/ث و ٣٠٠ ذ/ث - وهذا يعني أن الفارق بين مستوى التردد العلوي والتردد السفلي كان عند نغمة الأساس ٢٠ ذ/ث فقط، ثم زاد إلى ٤٠ ذ/ث في النغمة التوافقية الثانية، ووصل إلى ٢٠٠ ذ/ث في النغمة العاشرة).

والآن صار في حوزتنا ورقة يجري تدوين القوة الموجودة على صفحتها، ويقوم بالتدوين قلم ينشط بفعل هذه القوة - ونظراً لأن هذه الورقة تتحرك من اليمين إلى الشمال فإن القلم لن يترك عليها إلا آثاراً أفقية يمثل طولها المدة التي ينشط خلالها القلم؛ أي الزمن الذي تظهر في أثنائه القوة مصاحبة لمستوى معين من التردد. وهذا يعني أن القلم في حالة نشاطه لا ينتج في حقيقة الأمر إلا الآثار الأفقية فحسب. أما الخطوط التي تبين توافقيات نغمة البوق، وكذلك التي تمثل نغمة الصفير في الشكل (١٦) فقد جرى رسمها يدوياً، وذلك بطريقة نورد فيما يلي شرحاً لها:

إن اللحظات التي تقترن فيها الترددات المرشحة بكميات كافية من القوة لا تظهر إلا على هيئة نقط لحظية. ويتحدد مكان النقط في كل مستوى يتم ترشيحه بمكان حدوثها الدقيق على البعدين الرأسي والأفقي، أي من حيث الذبذبات والزمن، ثم إننا قمنا بتوصيل النقط لتنتج الخطوط المبينة للنغمات التي أسلفنا الإشارة إليها. ومن الواضح أن القلم لا يقوم بتدوين أي آثار إلا عند النقط التي ينشط فيها فعلاً، وذلك بفعل الطاقة التي تمر من خلال المرشح، وأما الترددات الأخرى التي لا ترشح فإنها تمر دون أن تُلاحَظ أو تدون. ونظراً لأننا نعالج هنا أداءً من النوع المتصل، يتميز بالانزلاق من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى - لذلك لن يثار المرشح إلا إثارة لحظية سريعة، أي في اللحظة التي تقوم فيها نغمة توافقية صاعدة أو هابطة بتمرير ترددها من خلاله[1]. وهذه الطريقة؛ أعني طريقة إكمال المنحنى بواسطة توصيل النقط المتباعدة التي تكون جزءاً من المنحنى - هو أمر جائز بشرط

أن تكون الفجوات الزمنية بين النقط ضيقة بدرجة كافية، وذلك حتى لا تجعل من تحديد مسار المنحنى تخميناً لا يستند إلى أساس. إن المنحنى الذي يمثل التغيرات الطارئة على درجة حرارة مريض بالحمى، والذي يُرْسم بناء على قائمة بدرجات حرارة المريض هو منحنى صحيح ما دام الذين قاموا برسمه قد سجلوا قراءات كافية خلال الوقت الذي يمثله المنحنى. (ومن الصعب أن نجوِّز - على سبيل المثال - تدوين حرارة المريض مرتين في اليوم: في الساعة السادسة صباحاً وفي السادسة مساءً، ثم نقوم بتوصيل ما بين النقطتين بخط مستقيم أو خط منحنٍ بناء على التخمين). ولو افترضنا أن صورة المنحنيات المرسومة باليد في الشكل (١٨) يمكن أن يكون له ما يسوغه بوجه عام فإن من الواضح أن العالِم في المجال التجريبي خليق بألا يقنع بآلة تترك مثل هذا المجال الكبير للقائم بالتجربة؛ حيث يمارس حرية الاختيار - ونحن نستطيع أن نكمل الصورة الطيفية الخاصة بنغمة البوق بقدر معقول من اليقين على النحو المبين في الشكل (١٨)، وذلك لأننا نعلم أن انزلاقاً بسيطاً إلى أعلى أو إلى أسفل يحدث لأسباب ترجع إلى خواص الآلة والنغمة التي جرى عزفها. غير أن أصوات الكلام هي - من وجهة أخرى - أكثر تعقيداً، وهي ذات ترددات تتغير على نحو فائق السرعة والأهمية، وهي لذلك غير قابلة لعمليات حشو يقوم بها ملاحظ التجربة، إذ إن فرص وقوع الخطأ هنا أكبر على نحو ليس له مثيل.

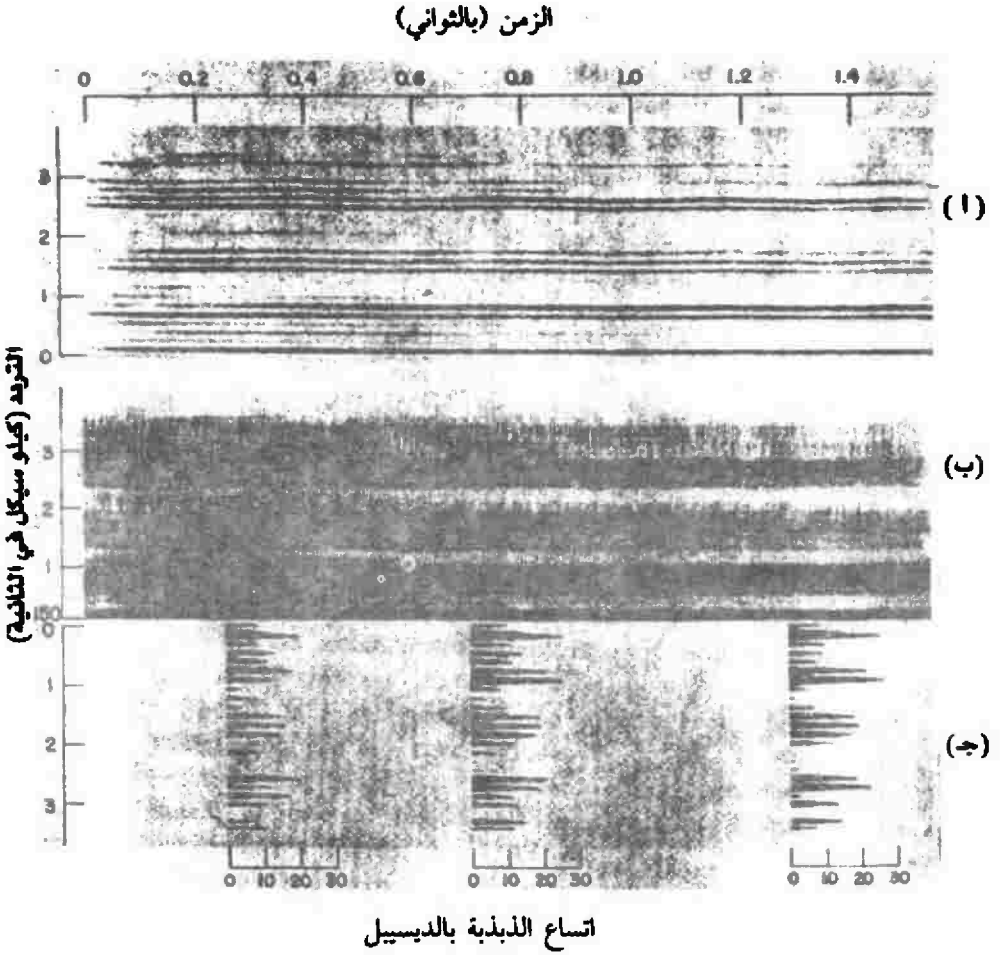
ومن ثم كان على المطياف أن يلبي لنا مطلباً آخر، وهو أن يمدنا بصورة تتمتع بالاستمرارية لتصور لنا ما يطرأ على الترددات المتقطعة والمتصلة من تغيرات بحيث يكون التصوير سليماً وتلقائياً.

وتشتمل الصورة الطيفية في الشكلين (١٧) و (١٨) على إشارة تقريبية للتغيرات والفروق التي تطرأ على القوة، ويأتي ذلك على هيئة تنويع في درجة

سواد الخطوط يمثل تنويعاً في ضغط القلم على الورقة. وعندما يقوم القلم عن طريق شرارة كهربية بعمل آثار سوداء على ورق حساس فإن التنوع في درجة سواد الخطوط يمكن أن يمثل تنوع كميات الجهد الكهربي الذي يثير القلم. وكلما زادت القوة الموجودة زاد الضغط أو الجهد، ونشأ عن ذلك زيادة أثر السواد الذي يحدثه القلم.

وفي تحليل الكلام بطريقة التصوير الطيفي سَتَترك الأجزاء المتتابعة التي يتكون منها نطق المتكلم - وهي التي تسمى أصواتاً أو تنوعات لصوتيمات لغة هذا المتكلم - آثارها على ورقة التصوير تماماً كما فعلت النغمات المتتابعة في المعزوفتين الموسيقيتين اللتين سجلتا في الشكلين (١٧) و (١٨). لذلك سأطلق على هذه الصور المرئية للعناصر اللغوية مصطلح **الأصوات الطيفية** - *spectro phones*. وإذا استحضرنا ما تتميز به أصوات الكلام من تعقد وتنوع توقعنا أن تكون الصور التدوينية للأصوات الطيفية على درجة من التعقيد أكبر من كل ما ناقشناه من صور حتى الآن.

* * *



الشكل ١٩ . رسم طيفي لنغمة مستطيلة عزفت بآلة الشيللو (١٥٠ذ/ث) .

(أ) بالنطاق الضيق : ٥٠ ذ/ث .

(ب) بالنطاق الواسع : ٣٠٠ ذ/ث

(جـ) تقاسيم اتساع الذبذبة .

الفصل الرابع عشر

المطياف

الجزء العلوي والأوسط من الشكل (١٩) هما رسمان طيفيان حقيقيان، تَمّ صنعهما بجهاز المطياف - أما كيفية صنعهما وكيف يمكن للباحث أن يقرأهما فهذا ما سأصفه تفصيلاً فيما يأتي من الفصول. وأكتفي هنا بأن أقول: إنهما يصوران نغمة موسيقية مستطيلة *sustained* ترددها ١٥٠ ذ/ث عزفت على آلة الشيللو، ويوضحان الترددات التي يتكون منها الصوت فيما بين الصفر و ٣٦٠٠ ذ/ث (الكيلو سيكل يساوي ١٠٠٠ سيكل).

وعلى الرغم من أن النغمات العليا التي تتجاوز ٣٦٠٠ ذ/ث قد تكون ذات أهمية في هذا المقام فإن الترددات التي تقع فوق ٣٦٠٠ ذ/ث لن تكون ضرورية لتحليل معظم أصوات الكلام إلا بالنسبة للتجارب التي تتطلب مزيداً من الدقة. ويتم الترشيح على مسافات يفصل كلاً منها عن الأخرى ١٨ ذ/ث. وإذا كان العرض الكلي للترددات هو ٣٦٠٠ ذ/ث فإنه بقسمة $\frac{٣٦٠٠}{١٨}$ سيكون الناتج ٢٠٠ (مئتي تدوين) لتحديد الترددات على البعد الرأسي. أما الزمن، وهو في حالتنا هذه حوالي ١ $\frac{١}{٢}$ (ثانية واحدة ونصف الثانية) - فقد تم تدوينه على البعد الأفقي. ونستطيع على الرسم الطيفي الواحد أن نسجل مدة زمنية تصل إلى ٢,٣ ثانية. أما تحديد الحد الأقصى للطول فقد جاء تبعاً للمتطلبات الفنية للجهاز[٢].

والرسم الموجود في الجزء العلوي من الشكل (١٩) هو رسم طيفي تم صنعه بطريقة الحزام الضيق *narrow band*، أي حزام من الترددات عرضه

٥٠ ذ/ث. وقد سمي بذلك لأن الآلة التي تستخدم للترشيح فيه لا تستجيب لتردد واحد فقط ولكن لكل الترددات التي تقع في مجال حزام عرضه ٥٠ ذ/ث؛ بحيث يقوم المرشّح بتجميع القوة الموجودة عند تردده المركزي بالإضافة إلى الترددات الواقعة تحت هذا التردد المركزي وفوقه بما مقداره ٢٥ ذ/ث في كلا الجانبين. ولكي نحقق هذا المطلب - وسيذكر ذلك من باب التكرار لنذكّر القارئ بما أسلفنا بيانه - علينا أن نستخدم مرشّحاً يشبه في خصائصه الفيزيائية خصائص الشوكة الرنانة المضمحلة التي عرضنا أمثلة لها في الشكلين (١٣ B) و (١٣ C) لا خصائص الشوكة الرنانة المثالية المبينة في الشكل (١٣ A). ويتفق هذا الرسم الطيفي في جوهره - إذا صرفنا النظر عن عرض الحزام - مع الرسمين الواردين في الشكلين (١٧) و (١٨). وتتميز هذه الخطوط الرمادية التي تمثل نغمة الأساس (عند ١٥٠ ذ/ث) والنغمات العليا (عند مضاعفات ١٥٠ ذ/ث) في الرسم - عن الخطوط الموجودة في الشكلين (١٧) و (١٨) بأنها تظهر أفقية وغير متقطعة؛ لأن نغمة الشيللو التي صورت طيفياً هي نغمة متصلة وثابتة على درجة واحدة.

والصورة الوسطى هي رسم طيفي للنغمة نفسها صنعت بمرشح عرضه ٣٠٠ ذ/ث. وسأناقش تفصيلاً في الفصل السادس عشر أسباب اتخاذ الصورة لهذا الشكل الذي تبدو عليه، والهدف من صنعها على هذا النحو.

وتوضح الصورة السفلى من الشكل (١٩) ثلاثاً مما يسمى **قسائم اتساع الذبذبة** *amplitude sections*، وتقوم الآلة نفسها بصنع هذه القسائم (بعد إعادة ضبطها بطريقة معينة). وتصور قسائم الاتساع هذه ما سبق أن بيّنه الشكل (١١)؛ وهو التكوين الطيفي للصوت الذي أخضعناه للفحص؛ غير أننا هنا قد مثّلنا البُعْد الخاص بالزمن مع البُعد الخاص بالقوة[٣]، وهكذا تمثل كل قسيمة من قسائم الاتساع الثلاث لقطة مصورة من النغمة، التقطت في لحظة من

اللحظات الواقعة على التدريج الخاص بالزمن. وتصور الآلة تدريج الزمن - بالنسبة لأي قسيمة من قسائم الاتساع - على خط القاعدة *baseline* الذي يمتد رأسياً. ولما كانت نغمة الشيللو ثابتة - لذلك كانت اللقطات المصورة الثلاث متماثلة بقدر ما يمكن لعازف الشيللو أن يصدر نغمة لا تتغير ولا تضطرب خلال $\frac{1}{2}$ ثانية. أما قسائم الاتساع في أصوات الكلام فلن تظهر فيها خاصية الثبات، إذ إنه لا القوى ولا الترددات يتمتع أي منها في أصوات الكلام بالثبات. والواقع أن طيف الصوت يتغير في كل جزء من الثانية. ومن ثم إذا أضيفت صورة لقسائم الاتساع مصاحبة للتصوير الطيفي للكلام على مدى الحدث الكلامي كله فلا يمكن أن تظهر إلا مواقع قليلة نختارها. ويمثل الشكل (٢٠) رسماً تخطيطياً للمطياف، تلك الآلة التي أخرجت لنا الرسوم الطيفية في الشكل (١٩). وليس من الضروري بالنسبة لما نستهدفه الآن أن نتوغل في التفصيلات الفنية حول تركيب الجهاز[٤] وعمله، ولكني سأناقش ما ينبغي على اللساني أن يعرفه.

يزيد عرض قطعة الورق التي يظهر عليها الرسم الطيفي على البوصتين قليلاً، وأما العرض الفعلي لتمثيل الأصوات بطريقة التصوير الطيفي فيشمل بوصتين بالتحديد. ويغطي الورقة فيلم مصنوع بطريقة تجعله حساساً للاحتراق الكهربي وكذلك يترك قلم التدوين عليها بواسطة الشرارة الكهربية أثراً قاتم اللون. (لاحظ أن العلامات ستختلط إن أمسكت الورقة بدون عناية). وتلتف الورقة حول أسطوانة تدور بطريقة تزامنية مع شريط وضعت عليه الرسالة المسجلة. وخلال عملية التحليل يتكرر النطق بالرسالة المسجلة ويعاد ٢٠٠ مرة. والسبب في تنظيم الأمور على هذا النحو المعين هو ما يأتي:

لو أننا استخدمنا في المطياف الذي أخرج لنا الشكل (١٩) جهازاً بالغ الفجاجة كمنظومة الشوكات الرنانة التي في الشكل (١٤) (حتى لو كانت

مضمحلة ذات مجال ترشيحي معين) فلا بد للآلة من أن تحتوي على عدد يصعب التعامل معه من الشوكات الرنانة المنفصلة، أو من أي مرشحات أخرى يبلغ عددها المئتين. وقد تم حل هذه المشكلة الهندسية بتشغيل الجهاز بمرشح واحد يشتمل على وسيلة قادرة على التكيف والانتقال من نغمة إلى أخرى *modulator* ووسيلة للتذبذب بطريقة متنوعة *variable oscillator*؛ أي أنه يشتمل على مرشح رنان واحد يكيف نفسه مع الترددات المتنوعة تباعاً، مرشحاً إياها واحداً بعد الآخر، وذلك في حركة تزامنية مع الجهاز أثناء عمله. ويتطلب هذا الأمر بطبيعة الحال - ألا يغذى الجهاز بالرسالة المراد تحليلها بواسطة المطياف مرة واحدة فحسب، حتى نحصل على تحليل لجميع الترددات في وقت واحد. إن علينا أن نغذيه بهذه الرسالة مرات متتالية نحصل في كل مرة على ترشيح لتردد واحد في زمن ما، أي أن الرسالة تتكرر مع كل عملية ترشيح على مسافات ثابتة ومعينة (بالذبذبات) من بدايتها إلى نهايتها. ومطيافنا مُهيّأ للقيام بمئتي جولة ترشيحية ليغطي مجموع مجال الترددات البالغ ٣٦٠٠ ذ/ث على مسافات تبلغ كل منها ١٨ ذ/ث.

وليس في إمكاننا - حينئذ - أن نعتمد على راوية من البشر لكي يعيد نطقاً ما، أو يعيد عزف نغمة أو أغنية ما مرتين متواليتين، ملتزماً بكيفية أكوستيكية واحدة التزاماً دقيقاً بَلْه أن يعيدها مئتي مرة استجابة لما يتطلبه المطياف، فضلاً عما يستلزمه هذا الأداء من وقت وجهد. وحين يكون لدينا مطياف قابل لتحليل عينة من الكلام تستغرق ٢,٣ ثانية، ونريد أن نزوده بالمُدخل الأكوستيكي اللازم *acoustic input* يكون على المتكلم أن يعيد نطقه دون أدنى تغيير مئتي مرة في حوالي سبع دقائق ونصف الدقيقة، وهذا محال؛ ولذلك تسجل شريحة الكلام المراد تصويرها طيفياً على شريط، ويغذي هذا التسجيل الجزء القائم بالتحليل في جهاز المطياف بالمدد المطلوب من المرات، حيث يُستخرج من مجموع الترددات في كل مرة من مرات الأداء

المتعاقبة تردد واحد، أو بالأحرى حزام واحد من الترددات بواسطة مرشح ذي قدرة على تغيير تردداته. وعندما يوجد في نقطة ما تردد أو مجموعة من الترددات يمررها المرشح في لحظة معينة - ينشط القلم المتحرك متخذاً مساره على اتساع الأسطوانة بشكل تزامني مع جولة المرشح ويسجل المثير على الورقة.

وإذن فالشريط والأسطوانة يقومان بمئتي جولة لتحليل كل تسجيل. وليس ثمة قول نهائي حول هذا العدد، إنه مجرّد عدد وجد أنه ملائم ومقنع، ومن الممكن أن يكون عدد جولات الاختبار أكبر أو أصغر. وكذلك الأمر بالنسبة لأفضل مدة تستغرقها عملية واحدة لتحليل شريحة من الكلام، إذ وجد - بالملاحظة والاختبار - أنها ٢,٣ ثانية. وقد جاء هذا التحديد على أساس ما يستلزمه الحجم المعقول للجهاز، والمدة المعقولة للتحليل. ومجموع الوقت اللازم لإتمام الرسم الطيفي سبع دقائق ونصف، غير أن في إمكاننا الإسراع بعملية التحليل بحيث لا تستغرق إلا دقيقتين ونصفاً دون أن يتسبب ذلك في تشويه الصورة.

ومع كل جولة للشريط والأسطوانة؛ أي مع كل إعادة للرسالة يكمل القلم جولة حول الأسطوانة. غير أن هذه الدائرة - على أي حال - ليست دائرة هندسية صحيحة؛ لأن القلم لا يسير في جولة على مستوى واحد، ومن ثم فإنه لا يقفز في نهاية جولته إلى نهاية المسافة الفاصلة بين جولتين وهي ١٨ ذ/ث(٥). والصحيح أن يتبع مساراً تدريجياً ليغطي في كل جولة مسافة ١٨ ذ/ث حتى يكون في نهاية كل جولة من جولات الأسطوانة في وضع أعلى من نقطة بدايتها بمسافة ١٨ ذ/ث؛ أي أنه يكون في الوضع الصحيح لبداية الجولة التالية. ونقول بعبارة أخرى: إن القلم يقوم برسم دوران حلزوني. وعلى ذلك،إذا ابتدأ القلم من الصفر فإنه ينهي جولته الأولى عند ١٨ ذ/ث، ثم

يتحرك في الجولة التالية من ١٨ ذ/ث إلى ٣٦ ذ/ث. وبطبيعة الحال أننا عندما نحرك الورقة بعد انتهاء الرسم الطيفي بعيداً عن الأسطوانة وبسطها سيظهر الدوران الحلزوني مقسماً إلى مائتي خط؛ وستكون هذه الخطوط أفقية تقريباً، ولكن مع انحراف ضئيل جداً؛ إذ تنحرف نهاية كل خط منها على الجانب الأيمن بمقدار $\frac{١}{٢٠٠}$ من البوصتين (وهو المجموع الكلي لعرض الصورة مقسوماً على المجموع الكلي لعدد جولات الأسطوانة)؛ أي أن نهاية الخط على الجانب الأيمن تكون أعلى من بدايته على الجانب الأيسر بمقدار ٠١, من البوصة. وهذا الانحراف الضئيل عن أفقية الخط غير ملحوظ. والخطوط المئتان تنحرف بزاوية واحدة، ولذلك فهي متوازية.

ولا يسلك القلم سلوك نظيره في الترمومتر والبارومتر. إنه لا يدون بالفعل خط سيره كله على الورقة، وإنما يترك أثره في اللحظة التي ينشط فيها وعند التردد الذي يحركه؛ ولذلك نادراً ما يتألف الرسم الطيفي من مئتي خط، تكون كلها خطوطاً متوازية ومنحرفة قليلاً عن المستوى الأفقي. وحتى إذا استطاع أحد أن يصدر نغمة تظهر في التصوير الطيفي على هذا النحو (وينبغي أن تكون ثابتة، وأن تكون درجتها الأساسية ١٨ ذ/ث، وأن تشتمل على كل التوافقيات الممكنة حتى ٣٦٠٠ ذ/ث) فلن تكون هذه النغمة عينة من الكلام تستغرق ٢,٣ ثانية؛ إذ لا وجود في الكلام العادي لصوت بمثل هذه الدرجة من الثبات الذي لا يقبل تغييراً، كما أننا لا نعرف من أصوات الكلام صوتاً درجته الأساسية ١٨ ذ/ث؛ ويشتمل على مئتي نغمة توافقية تصل إلى ٣٦٠٠ ذ/ث.

ومن المعتاد حينئذ أن يثار القلم إثارة متقطعة حين تتمتع الترددات التي يقوم الجهاز بتحليلها في لحظة معينة بالقوة الكافية. وربما توجد هذه القوة على امتداد معيّن من الزمن، وتدوّن تبعاً لذلك على هيئة خط على البُعد

الأفقي، أو تظهر على هيئة نقطة إن كانت مختصرة جداً؛ ويفصل مكان التدوين عن خط الأساس *baseline* مسافة مساوية لتردد القوة (قارن الأشكال ١٦، ١٧، ١٨). وإذا تأمّلنا ما قد ذكرته عن خفة حركة أعضاء النطق والتغيرات السريعة في مواضعها لإنتاج كثير من الأصوات المتتابعة واحداً بعد الآخر بتتابع سريع في مجرى الكلام العادي - بل في الكلام البطيء المتروّي في نطقه - أمكن لنا أن نتوقع صعوبة وجود ترددات ثابتة؛ أي صعوبة وجود ذلك النوع من الترددات الذي ينبغي أن يظهر في الرسم الطيفي للغة على هيئة آثار للقلم غير متقطعة وبأي طول. ويصدق هذا القول - كما ستتاح لي الفرصة لتأكيده - حتى على الصوائت التي تستغرق جزءاً معيناً من الثانية قابلاً للقياس؛ لأنه في خلال المدة التي يستغرقها نطقها والتي تدركها الأذن موحدة من الناحية اللغوية تحدث تنوعات أكوستيكية. ولذلك تنعدم فعلاً في الرسم الطيفي وجود علامات مستمرة ومتصلة يسجلها القلم.

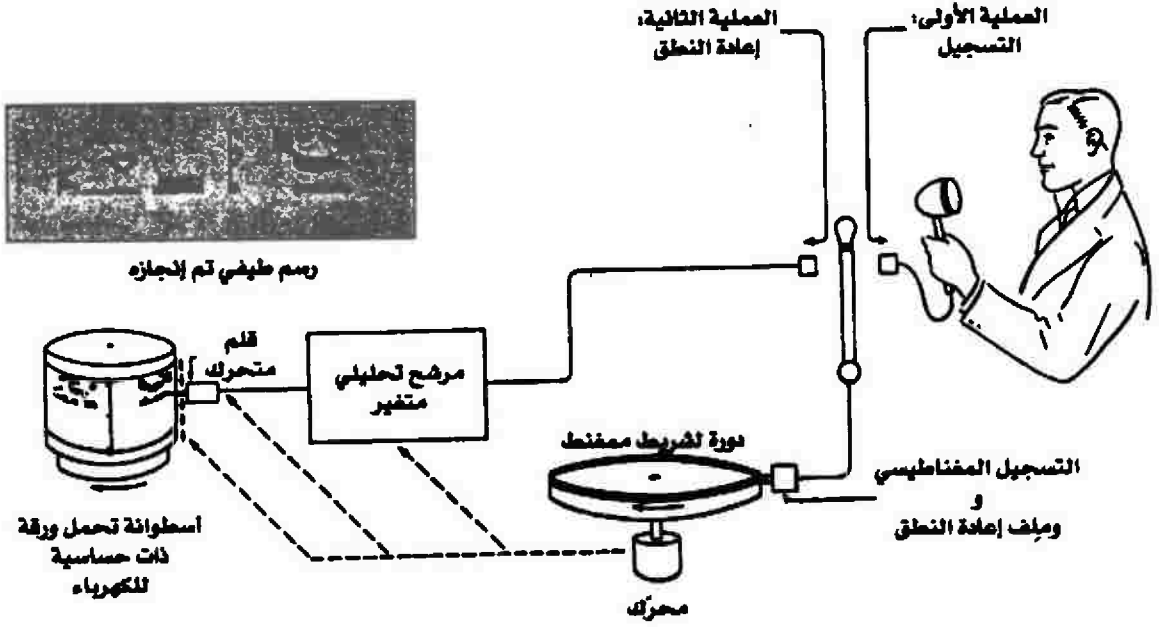
وقد أشرت عند مناقشتنا للشكلين (١٧) و(١٨) إلى أن المنحنيات قد رسمت باليد، ووعدت بأنه لن يكون ثمة ضرورة لهذا في الرسوم الطيفية التي يقوم المطياف بصنعها. ولو تصوّرنا أن الشكل (١٩) لا يمثل نغمة ثابتة ذات درجة واحدة بل يمثل لحناً انزلاقياً متصلاً فإن الخطوط الأفقية في الواقع كانت ستظهر منحرفة في هيئة منحنيات وإن كانت ستظل تبدي مظهر الاستمرار غير المتقطع.

وهذا الأثر يوضحه لنا الشكل (٢١) الذي هو رسم طيفي للَّحْن الموسيقي do - mi - sol - mi - do، وقد قام المغني بنطق الحركة [i] في النغمة كلها. وتمثل المنحنياتُ النغماتِ التوافقية للَّحن المتصل، ويبين ارتفاعها وانخفاضها الارتفاع والانخفاض الفعلي في الدرجة، وذلك بنفس طريقة الرسم

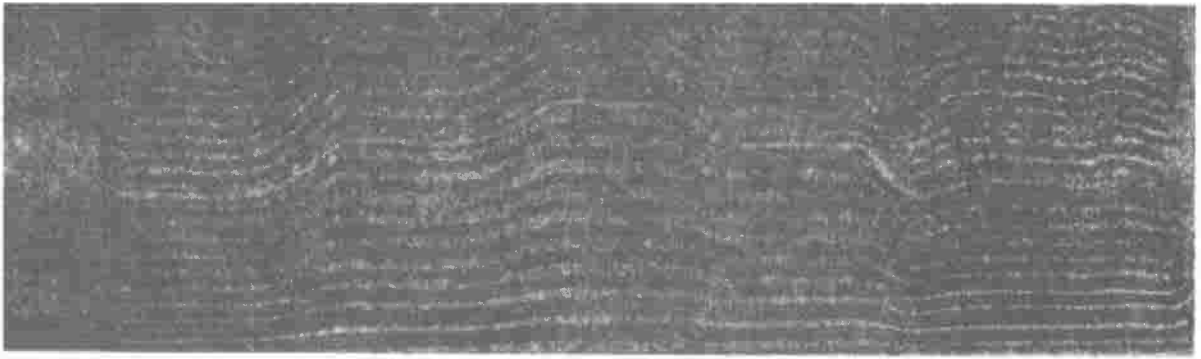
اليدوي في الشكلين (١٧) و (١٨). (وقد دوّنت النغمة التوافقية العاشرة باللّون الأبيض لمزيد من وضوح الرؤية). وسنرى في الحال أن هذا التصوير للتوافقيات على الرسم الطيفي هو الأثر المحدد الناتج عن استعمال مرشح ضيّق عرضه الترشيحي ٤٥ ذ/ث أو ٥٠ ذ/ث. ويختفي هذا الأثر عندما نزيد من عرض المرشح. وقد صنع الرسم الأوسط في الشكل (١٩) - باستخدام المرشح ٣٠٠ ذ/ث، ومع أنه يمثل بالضبط نفس النغمة التي يمثلها الرسم العلوي - الذي هو مصنوع باستخدام المرشح ٥٠ ذ/ث - إلا أن النتيجة المرئية تختلف اختلافاً كلياً. وربما يكون هذا التغيير - أو هذا التشكيل من الرسوم الطيفية - مطلوباً، وسأشرح الآن الهدف منه.

ولقد أبديت لتوي ملاحظة مؤدّاها أن القلم لا يمكنه عملياً أن يرسم خطوطاً متّصلة على النحو الذي تبدو به التوافقيات في الشكل (٢١)؛ وذلك لأنّ المسار المحدد الذي لا يمكن للقلم أن يحيد عنه سواء أكان يقوم بالتدوين أم لا - هو الدوران الحلزوني الذي يتحوّل بعد إبعاد الورقة عن الأسطوانة إلى مئتين من الخطوط المتوازية.

إن الخط المتصل الوحيد الذي يستطيع القلم أن يرسمه عندما تنشطه درجة صاعدة أو هابطة هو جزء من الدورة الحلزونية، أو - قل - هو في كل دورة من دورات الأسطوانة جزء من أحد الخطوط المئتين - لكنه لا يستطيع في الدورة التي تستغرق ٢,٣ ثانية أن يترك مساره المحدد متحركاً إلى أعلى أو أسفل ليعترض طريق أي عدد من الترددات. ويترتب على ذلك أن المنحنيات التي تظهر في الشكل (٢١) لا بد أن تكون خداعاً بصرياً - وإن كان من أوفر أنواع الخداع البصري حظاً من التوفيق والإيضاح؛ وربما نسائل أنفسنا الآن ما الذي يتسبب في إنتاج هذا الأثر؟.



الشكل ٢٠ . المطياف



شكل ٢٠ . رسم طيفي بالنطاق الضيّق للنوتة do - mi - sol - mi - do
وقد تغنى منها بالحركة [i]

الفصل الخامس عشر

المرشِّح ١٨ ذ/ث

لو أن المطياف الذي بين أيدينا كان مزوّداً بمرشح مثالي لا يسمح إلا لتردد واحد بالمرور لما استجاب القلم إلا لتردد واحد. ولو أن هذا المطياف كان به مرشح تحليلي قادر على تنويع استجابته لاستجاب المرشح لتردد واحد عند كل مرة تسمع فيها الرسالة. ويبلغ تعداد هذه المرات مئتي مرة تبعاً لتركيب الجهاز على هذا النحو. ويعني هذا أن في كل مرة يسمع فيها الشريط لن يُستخلص إلا تردد واحد، وأن القلم المتصل بالمرشح لن يشير إلا إلى وجود تردد واحد على حين تمرُّ جميع الترددات المجاورة دون أن تدوّن أو تلاحظ.

ولما كانت جولات الترشيح تأتي بفاصل قدره ١٨ ذ/ث فإن ثمة مجموعات من الترددات يبلغ عَرْضها ١٧ ذ/ث سنظل نتجاهلها، كما أننا سنظل غير مكتشفين للترددات التي تقع خلالها. وتُعَدّ هذه الترددات من منظور المطياف والرسم الطيفي في حكم المنعدمة. وأما المرشح الذي يعمل في مجال حزام معيّن فسيجمع كل الترددات ذات القوة الكافية الواقعة ضمن مجاله (علماً بأنه يمكن لمن يقوم بالتجربة أن يتحكم في مدى حساسية المرشح للقوة). ومن ثم يمكن وضع ترتيب معين نستطيع بواسطته تجميع أي تردد، ونَقْل تأثيره إلى القلم ليدونه، أياً ما كان الزمان أو المكان الذي يقع فيه هذا التردد. أضف إلى ذلك أن النغمات المضمحلة المشتملة على الترددات الثانوية المهمة التي تقع فوق ذروة تردد النغمة التوافقية وتحتها - هذه النغمات يمكن بهذه الطريقة تدوينها تدويناً أوفر حظّاً من الدقة؛ ذلك لأن

المرشّح إذا كان ذا عرض معلوم أمكن له أن يُجمّع كل الترددات الثانوية أو كثيراً منها في اللحظة المعينة. وسيقترن هذا الأمر بالتأثير على مجموع الطاقة الكهربية المنشطة للقلم، كما سيقترن أيضاً بالتأثير في عملية التدوين التي يقوم بها القلم تأثيراً مساوياً للطاقة المنشطة. ويمكن - بعبارة أخرى - أن نقول: إن المرشح المضمحل يمكننا من تحقيق ما يأتي:

(أ) أن نغطي كل السلسلة الكاملة من الترددات موضوع التحليل (وهي بوجه عام تغطي في المطياف المجال الواقع بين الصفر و ٣٦٠٠ ذ/ث).

(ب) أن نحصل على تمثيل مرئي أصدق لآثار الاضمحلال الأكسوتيكية.

ولنفحص كل هذه الأمور في بعض التفصيل، مع اهتمام خاص بالغرض والنتائج المترتبة على استخدام مرشحات ذات مجالات متنوعة.

فلنفترض أن المطياف يفحص في لحظة معيّنة من جولاته المئتين التردد ٩٠٠ ذ/ث؛ أي أن الجهاز يستخلص هذا التردد بعينه من مجموع الضجة التي شحن بها، ولنفترض بالإضافة إلى ذلك أنه في هذه اللحظة لا توجد بين مكونات النغمة نغمة ترددها ٩٠٠ ذ/ث ولكن يوجد نغمة توافقية مهمة جداً ترددها ٩٠٩ ذ/ث (وهي النغمة التوافقية التاسعة لنغمة أساس ترددها ١٠١ ذ/ث التي هي درجة الصوت لمتكلم ذكر بالغ). مهما تكن قوة هذه النغمة التوافقية - أي مهما تكن أهميتها الأكوستيكية واللغوية فإن المرشح غير المضمحل الذي يعمل عند التردد ٩٠٠ ذ/ث لا يمكنه أن يصل إلى التردد ٩٠٩ ذ/ث، وأن يسمح له بالمرور؛ ومن ثم لن يتمكن القلم من القيام بأي تدوين لهذا التردد.

أما جولة الفحص التالية التي يقوم بها الجهاز فستكون أعلى بمقدار ١٨ ذ/ث، أي أنه إذا كان المرشح والقلم قد بدءا العمل في الجولة السابقة

عند ٩٠٠ ذ/ث فإنهما سيكونان الآن أعلى بمقدار ١٨ ذ/ث؛ أي أنهما يعملان عند التردد ٩١٨ ذ/ث. وواضح أن المرشح غير المضمحل سيضيع علينا مرة أخرى النغمة التوافقية ٩٠٩ ذ/ث؛ إذ هو غير قابل إلا لتمرير التردد ١٨ ذ/ث ليس غير. ويترتب على ذلك أن النغمات التوافقية لنغمة الأساس ١٠١ ذ/ث التي لا تقع في اللحظات المناسبة أي عند مضاعفات ١٨ ذ/ث لن تدو مهما كانت قوتها. وبما أن المضاعف المشترك الأصغر لكل من ١٨ و١٠١ هو ١٨١٨ فلن تتمكن أي نغمة توافقية لنغمة الأساس ١٠١ ذ/ث تقع تحت ١٨١٨ ذ/ث من أن تدوّن في مطياف يستخدم مرشحاً غير مضمحل، بل إنه لن يسمح لنفس نغمة الأساس ١٠١ ذ/ث بالتدوين بطبيعة الحال، ولن ينتج عن مثل هذا التنظيم لعمليات الفحص والترشيح أي تصوير صحيح للعينة.

وإذا كان التردد ٩٠٩ ذ/ث ذروة موجة مضمحلة أصبح محتملاً في هذه الحال وجود تردد ثانوي عند ٩٠٠[٦] ذ/ث يكون كافياً بحيث يدوّنه القلم، شريطة أن يقع دائماً في اللحظة المناسبة. وفي مثل هذه الحالة لم تُدَوّن النغمة التوافقية لنفسها، ومع ذلك من الممكن التعرّف إليها في الرسم الطيفي عن طريق أحد ترددات، وذلك خير من تجاهلها تجاهلاً تاماً.

على أنه ينبغي هنا أن نلاحظ أن حدث التدوين نفسه يتوقف على كمية الاضمحلال؛ فإذا كان منحنى الطيف شديد الانحدار فإن التردد ٩٠٠ ذ/ث مع كونه لا يبعد عن الذروة إلا بمقدار ٩ ذ/ث ربما كان ذا قوة منخفضة جداً حتى إنه لن يجد طريقة إلى التدوين، وذلك بالرغم من أنه - من حيث كونه تردداً - يمر من خلال مرشح مثالي تردده ٩٠٠ ذ/ث. ويمكن للمرء بطبيعة الحال أن يعالج هذا الأمر بزيادة حساسية المرشح للقوة، ولكنه بهذا العمل يخاطر بالسماح لعدد ضخم من الترددات ذات القوة المنخفضة وغير المهمة على الإطلاق لكي تزحم الصورة، حتى يمكنه التقاط بعض الترددات الثانوية

لأنها تنم عن وجود بعض ذرى القوة ذات الأهمية. ومن الممكن أن تشتمل هذه الترددات على الضجات الاحتكاكية الموجودة دائماً في جهاز النطق وهي ضجات لا علاقة لها كلياً بالأمر، وهكذا ستتطفل على الرسم الطيفي كثير من الترددات بدرجة تفوق أهميتها بكثير. ولذلك ليس من المستصوب أن نحاول التقاط ترددات ثانوية لكي نجعلها - من ناحية التصوير الطيفي على الأقل - تأخذ مكان النغمات التوافقية التي تمثل ذرى القوة. ويلزم عن ذلك أن أي مرشّح مثالي يعجز حتى عن ترشيح النغمة المضمحلة التي تنتشر الترددات حول ذروتها، وأن العكس صحيح تماماً.

ثمة حل آخر وسط نستبقي به المرشح المثالي القادر على تنويع تردده، ولكن على أن يقوم الجهاز بجولات تحليلية على مسافة ١ ذ/ث وليس ١٨ ذ/ث. وسنضمن بهذه الطريقة تجميع كل الترددات التي تقع. ويمكن أن ننظم حساسية القوة في الجهاز بحيث لا تدوّن القوة التي تقع تحت حد أدنى معيّن. ولكن ذلك سيقتضي ضرورة تكرير سماع عينة الكلام المسجلة ٣٦٠٠ مرة كما سيتطلب ٣٦٠٠ جولة تحليلية يقوم بها القلم (أو أكثر من ذلك إذا أريد للرسم الطيفي أن يستمر إلى ما بعد ٣٦٠٠ ذ/ث)، وسيتطلب ذلك شريطاً عريضاً من الورق يتسع لكل التدوينات بدرجة جيدة من الوضوح، ومن ثم يتطلب زيادة في حجم المطياف نفسه، وسيستغرق تحليل عينة صوتية مدتها ٢,٣ ثانية أكثر من ساعتين (يمكن أن تزاد سرعة الجهاز، ولكن بحيث لا تتخطى حداً معيناً لأسباب فيزيائية).

إن لجوءنا إلى مرشح مضمحل ذي سعة معينة خير من أن نقوم بتركيب آلة غير دقيقة أو آلة بطيئة يصعب التحكم فيها. دعنا نفترض من قبل التوضيح - أن المطياف مزود الآن بمرشح عرضه ١٨ ذ/ث. وهذا العرض في العادة ليس عرضاً عملياً، ولكني أختاره بحيث يكون مدى الترشيح مساوياً

تماماً للمسافة الواقعة بين الجولات التحليلية للجهاز. وإذا كانت الآلة تقوم بفحص التردد ٩٠٠ ذ/ث فسيبدأ المرشح في تجميع كل الترددات الواقعة تحت هذا التردد وفوقه بمقدار ٩ ذ/ث أي بين ٨٩١ ذ/ث و٩٠٩ ذ/ث. وحينئذ فإن القوة الموجودة عند التردد ٩٠٩ ذ/ث - وهي النغمة التوافقية التاسعة لنغمة الأساس ١٠١ ذ/ث - ستترك أثرها على الورقة، بقطع النظر عما إذا كانت النغمة مضمحلة أو غير مضمحلة. ونظراً لأن الجولة التالية ستبدأ العمل في نفس لحظة سماع الرسالة المسجلة - عند التردد ٩١٨ ذ/ث ونظراً كذلك لأنها الآن تغطي مجالا يشمل ما هو فوق التردد ٩١٨ ذ/ث بمقدار ٩ ذ/ث - أقول نظراً لذلك كله فإن الترددات الواقعة بين ٩٠٩ ذ/ث و٩٢٧ ذ/ث سيمكن تمريرها من خلال المرشح، ثم الترددات الواقعة بين ٩٢٧ ذ/ث و٩٤٥ ذ/ث بالنسبة لموقع التردد ٩٣٦ ذ/ث وهكذا.

ولذلك فإن الجهاز الذي يعمل لمئتي جولة تحليلية بمسافة ١٨ ذ/ث بين كل جولة، والذي يتم تجهيزه بمرشح متنوع سمته ١٨ ذ/ث، ويتحرك متقدما إلى أعلى بنفس سرعة القلم - مثل هذا الجهاز يمكن بواسطته تدوين كل تردد واقع بين الصفر و٣٦٠٠ ذ/ث لمرة واحدة. [أي لا يتكرر تدوين أي تردد مرتين].

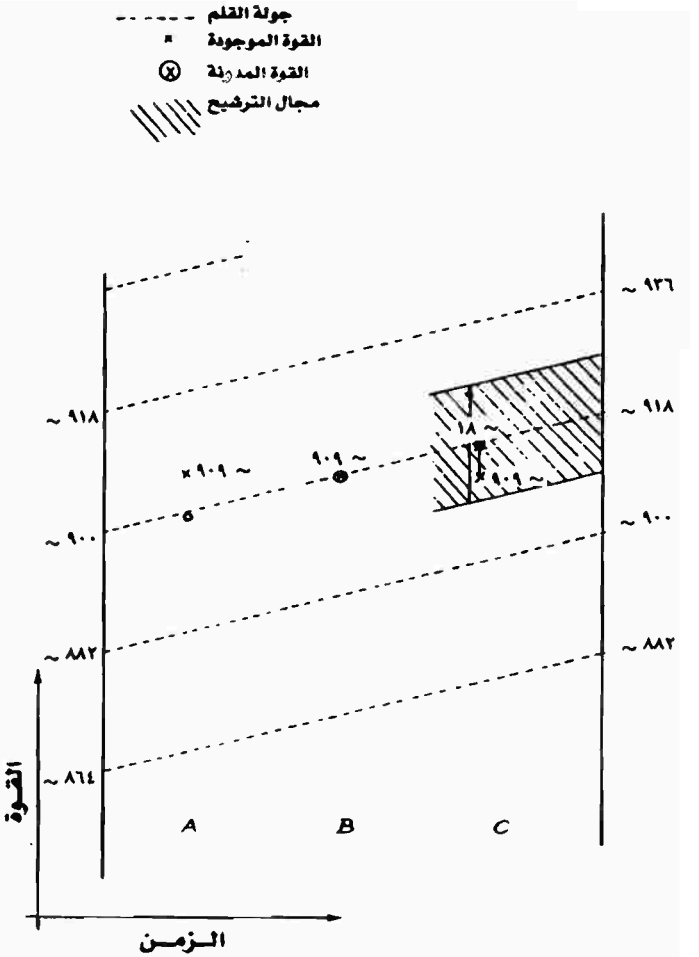
قلنا إن التردد ٩٠٩ ذ/ث أو أي تردد آخر يأتي في موقع مشابه من حيث التردد والزمن لن يدون مرتين، شأنه في ذلك شأن أعلى تردد في الجولة ٩٠٠ ذ/ث وأدنى تردد في الجولة ٩١٨ ذ/ث. والسبب في ذلك أن الأثر الذي يرسمه القلم بطبيعة الحال هو دوران حلزوني متواصل ولذلك تشكل نهاية الجولة ٩٠٠ ذ/ث وبداية الجولة ٩١٨ ذ/ث نقطة هندسية واحدة ومتحدة. ومهما يكن تردد نغمة الأساس عند نقطة معينة فإن كل نغمة من نغماتها التوافقية سترشح وتدون، وكذلك كل الترددات الثانوية ذات القوة

الكافية والمهمة الموجودة على كلا جانبي ذروة أي نغمة مضمحلة (يمكن للقائم بالتجربة الكافية أن يحدد معايير الكفاية والأهمية بالنسبة للقوة وأن يضبط جهازه ليناسب غرض ما يستهدف فحصه)(٧).

وفي جهاز يدور على النحو الذي وصفته سليتقط التردد ٩٠٩ ذ/ث في مكان ما في جولة القلم ٩٠٠ ذ/ث - ٩١٨ ذ/ث. وإذا وقع هذا التردد في الصورة تحديدا على البعد الأفقي في اللحظة التي يمر فيها القلم على البعد الرأسي بنقطة التردد ٩٠٩ ذ/ث وهو يقطع الطريق ما بين التردد ٩٠٠ ذ/ث والتردد ٩١٨ ذ/ث فسيمثل التدوين الحقيقة الفيزيائية الدقيقة، سواء من حيث الزمن أو التردد. أما إذا وقع التردد في لحظة يكون القلم فيها فوق - أو تحت - مستوى ٩٠٩ ذ/ث فإن التردد ٩٠٠ ذ/ث لن يدون عند ٩٠٩ ذ/ث ولكنه سيدون على مستوى أعلى أو أدنى قليلا في مكان ما بين ٩٠٠ ذ/ث و٩١٨ ذ/ث. ومن ثم فإن التدوين - وإن كان يقع في النقطة الصحيحة من حيث الزمن ليس حتما أن يقع في النقطة الصحيحة عند مستوى التردد. ويمكننا على أي حال أن نتجاهل هذا الإرباك من قبيل التيسير وتحقيق الأغراض العملية. وذلك بسبب الأبعاد الضيقة التي يتميز بها الرسم الطيفي. إن مقدار الإزاحة هنا لن يتجاوز في هذه الحالة التي نعرض لها ٩ ذ/ث. والمساحة التي يستغرقها تمثيل هذا المقدار في الصورة ستكون ٠,٠٠٥ من البوصة على البُعد الرأسي، وهي مسافة ضئيلة جداً بحيث يمكن تجاهلها.

ويوضح لنا الشكل (٢٢) العرض السابق (ولم يرسم الشكل بمقياس رسم). ففي الشكل تمثل الخطوط من الشمال إلى اليمين جولات القلم على طول ورقة التصوير. وتبين العلامة x المواضع الصحيحة من حيث الزمن والتردد - للقوة الموجودة (مع التردد ٩٠٩ ذ/ث) في العينة التي كان قد جرى

تحليلها. (في هذه الحالة فحسب يستوي في ذلك ما إذا كانت النغمة التي نعالجها نغمة ثابتة عند ٩٠٩ ذ/ث أو كانت لحناً ما يلمس التردد ٩٠٩ ذ/ث ثلاث مرات فالخلاف هنا ليس جوهرياً). وتشير الدوائر الصغيرة إلى مواضع القلم أثناء جولة واحدة في اللحظات التي توجد فيها القوة عند التردد ٩٠٩ذ/ث. ولا يستطيع القلم في الجزء «A» إذا ما اقترن بمرشح مثالي غير مضمحل أن يدون إلا القوة الموجودة - إن وجدت - في نفس اللحظة وبنفس التردد في الموضع الذي يمر به أي عند ٩٠٣ ذ/ث تقريباً. ولذلك فإن التردد ٩٠٩ ذ/ث الذي يقع في هذه اللحظة يمر دون أن يلاحظ أو يدون مهما تكن قوته لأنه يقع عند مستوى التردد غير الملائم. وهذا يعني أنه في الوضع الراهن لا يمكن للقلم أن يقوم إلا بالتدوينات التي هي ترجمة للحقيقة الفيزيائية الصادقة. وقد حدثت هذه المصادفة السعيدة في الجزء «B» من الشكل «٢٢» حيث توافق القوة الموجودة عند ٩٠٩ ذ/ث موضع القلم عند نفس التردد. وأما في الجزء «C» فيقترن القلم الآن لا بمرشح مثالي بل بمرشح مضمحل سمته الترشيحية ١٨ ذ/ث، وقد أشرنا إلى الحزام الترشيحي بخطوط مائلة. وهنا يدون المرشح كل تردد (ذي قوة كافية) يقع في مدى ٩ذ/ث أعلى أو أسفل مستوى التردد الذي يقطعه هو والقلم المزامن له عند نقطة معينة من الزمن. ولكن القلم يمارس التدوين عند التردد الذي يحوم حوله في تلك اللحظة ولا يستطيع أن ينحرف عنه على طول البعد الرأسي، أي أنه لا يدون التردد عند مستواه الحقيقي حيث توجد القوة بالفعل. ومن هنا لم تدون قوة التردد ٩٠٩ ذ/ث الآن في الجولة التحليلية الحالية للقلم (الخامسة) إلا عند مستوى التردد ٩١٤ ذ/ث تقريباً.



الشكل ٢٢ . الآثار الناتجة عن مرشح عرضه ١٨ ذ/ث

لنفترض الآن أننا نعالج نغمة انزلاقية *legato* درجتها الأساسية تتحرك من ٢٠ ذ/ث لتصل إلى ٢٥ ذ/ث، ثم تنتهي عند ٣٠ ذ/ث، وهي شبيهة بالنغمة الصادرة عن آلة الترمبون Trompone الموسيقية على مدى ٢,٣ ثانية التي هي طول الرسم الطيفي. وتقع النغمات العليا لهذه النغمة في نقط مناظرة عند ٤٠ - ٥٠ - ٦٠ ذ/ث، ٦٠ - ٧٥ - ٩٠ ذ/ث وهكذا حتى تصل إلى ٢٤٠٠ - ٣٠٠٠ - ٣٦٠٠ ذ/ث في رسم طيفي عرضه الذبذبي ٣٦٠٠ ذ/ث وذلك في ١٢٠ خطاً منحنياً مرسومة بتمامها، أو في ١٢٠ خطاً مستقيماً (يوجد - بطبيعة الحال - عدد من المنحنيات الإضافية التي لا يكتمل رسمها أو الخطوط التي تبدأ عند الهامش الأيسر للرسم الطيفي ولكنها بعد ذلك تترك الرسم في طرفه العلوي قبل أن تصل إلى الهامش الأيمن. وقد سبق لي أن شرحت السر في أن النغمات العليا مع أنها مضاعفات لنغمة الأساس نجد أنها لا توازي هذه النغمة، ولا يوازي بعضها بعضاً ولكنها تزيد من الانحراف في اتجاه التوافقيات العليا).

ولنتأمل الآن اللحظة الزمنية عند بداية الرسم الطيفي؛ حيث نغمة الأساس ٢٠ ذ/ث تعطينا النغمات العليا ٤٠، ٦٠، ٨٠ ....، ٢٣٨٠، ٢٤٠٠ ذ/ث. (تابع المناقشة الآتية على الشكل (٢٣)):

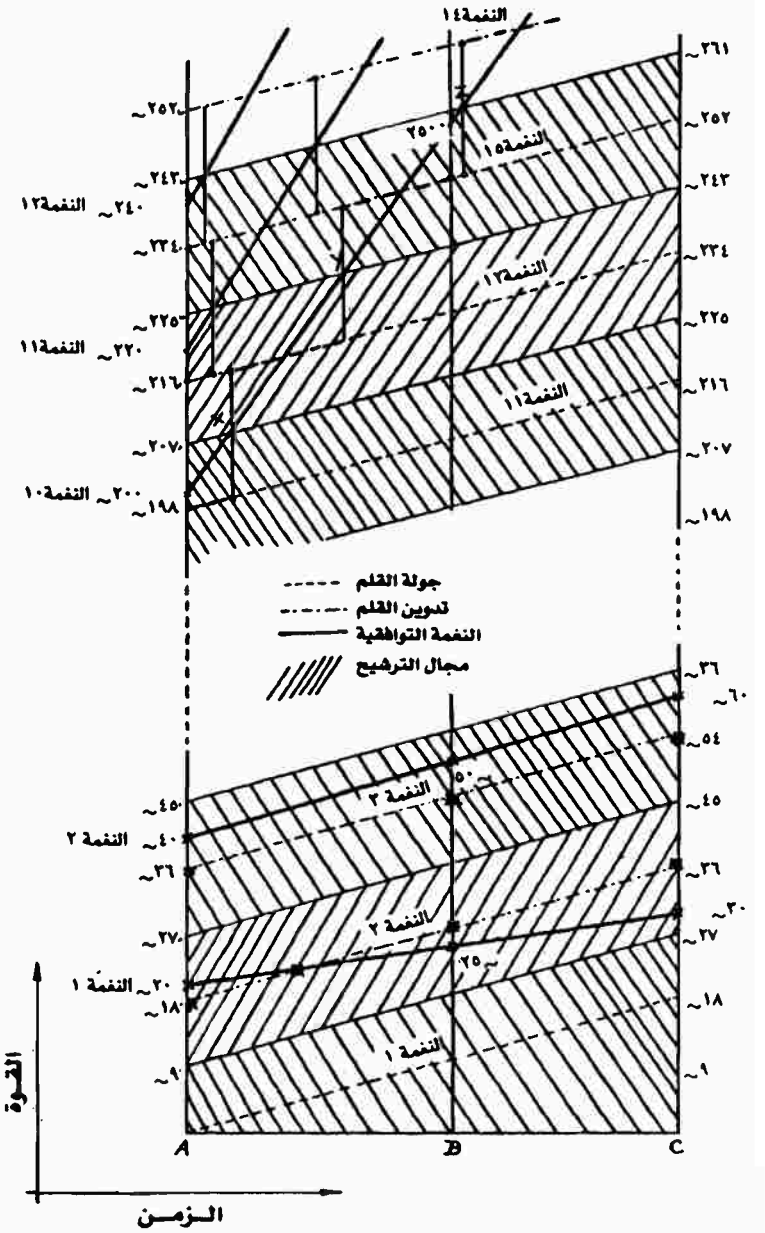
عند بداية الجولة حول الأسطوانة أو بطول ورقة الرسم الطيفي سيكون القلم عند نقطة الصفر وسيدون جميع الترددات الواقعة بين الصفر ونصف مجاله الترشيحي ٩ ذ/ث. ولذلك لن يلتقط المرشح أول تردد موجود وهو ٢٠ ذ/ث في الجولة صفر، ولكن في الجولة ١٨ ذ/ث (وأنا أسمي كل جولة باسم التردد الذي تبدأ به)، ثم يمضي دون أن يلتقطه مرة أخرى. وستلتقط النغمة التوافقية التالية وهي ٤٠ ذ/ث ولن تلتقط مرة اخرى، وهكذا. ولأن الترددات ٢٠، ٤٠، ٦٠.... إلخ تظهر بشكل لحظي = ولأن النغمة التي لدينا نغمة انزلاقية لا تبقى على حالتها عند أي تردد - فسنحصل بطول الحافة اليسرى للرسم الطيفي على سلسلة عمودية من النقط (١٨٠ نقطة على وجه التحديد) تفصل بين كل منها مسافة ٢٠ ذ/ث.

وسننتقل الآن إلى النقطة التي يكون تردد الأساس فيها ٢٥ ذ/ث. وهنا أيضاً ولأسباب مماثلة تماماً سنحصل على سلسلة عمودية من النقط تفصل بين كل منها مسافة ٢٥ ذ/ث (على الرغم من أنه لا مكان هنا الآن إلا لمئة وخمسين نقطة). وعندما يكون تردد الأساس ٣٠ ذ/ث سنحصل لهذا السبب على نقطة تبعد كل منها عن الأخرى بمسافة ٣٠ ذ/ث (١٢٠ نقطة). وإلى هذا الحد من وصفي يصبح لدينا مرة أخرى رسم على نمط منحنى الحُمّى *fever curve type*، يمكننا من أن نرسم باليد واصلين بين النقط التي تنتمي إلى نفس النغمة التوافقية، آملين بقدر ضئيل أو كبير من اليقين يعتمد على معلومات أخرى - أن تكون الخطوط الناتجة ممثلة للحقيقة الأكوستيكية.

وليس هذا - على أي حال - ضروريا في الرسم الطيفي إذا أخذنا في حسابنا ما يقوم الجهاز بعمله بين النقط التي اخترتها اختياراً تحكمياً بغرض التوضيح والقياس. ونحن نعلم - مع ذلك - أن القلم يتحرك بشكل ثابت، كما نعلم أيضاً أن المرشح يستقبل باستمرار الترددات الموجودة في مدى تناوله. ونعلم الآن أن التردد ٢٠ ذ/ث في نغمة انزلاقية صاعدة لن يوجد إلا للحظة واحدة. ويستمر القلم في جولته من ١٨ ذ/ث إلى ٣٦ ذ/ث متحركا عبر ورقة الرسم الطيفي كلها، في وقت يستمر فيه المرشح الذي عرضه ١٨ ذ/ث مغطياً في زمن واحد - مدى يشمل عند بداية الجولة رقم ١٨ ذ/ث المساحة ما بين القلم ٩ ذ/ث و٢٧ ذ/ث، ثم ١٠ ذ/ث و٢٨ ذ/ث، ثم ١١ ذ/ث و٢٩ ذ/ث حتى نهاية الجولة، حيث يصل القلم إلى ٣٦ ذ/ث فنجده يغطي ما بين ٢٧ ذ/ث و٤٥ ذ/ث. وخلال هذه الجولة كلها ينشط القلم - في المثال الذي نسوقه - بواسطة القوة الموجودة مع التردد ٢٠ ذ/ث عند الهامش الأيسر لمرة واحدة ولا يتكرر ذلك مرة أخرى. ولما كانت نغمة الأساس تتطور في الرسم الطيفي من ٢٠ ذ/ث إلى ٣٠ ذ/ث فسينشط القلم - علي أي حال - عند لحظات معينة بواسطة وجود الترددات بين ٢٠ ذ/ث و٣٠ ذ/ث، والتي تضطر جميعها إلى أن تقع في متناول المرشح. ونظراً لأن القلم يتحرك حركة

أمامية صاعدة من ١٨ ذ/ث إلى ٣٦ ذ/ث، ولأن منحنى التردد يتحرك في نفس الزمن حركة أمامية صاعدة من ٢٠ ذ/ث إلى ٣٠ ذ/ث أي بمعدل متفاوت - كانت الترددات التي يترك القلم أثراً عندها غير ممثّلة بالضرورة تمثيلا دقيقا للترددات التي نشطته كما رأيت فيما سبق (الشكل ٢٢)، فقد يحدث أن يثير التردد ٢٥ ذ/ث القلم في لحظة لا يكون فيها القلم قد وصل في صعوده التدريجي المطرد من ١٨ ذ/ث إلى ٣٦/ ذ/ث إلا إلى مستوى ٢٣ ذ/ث، أو يكون قد تقدم بالفعل إلى ٢٧ ذ/ث. والحق أن التردد ٢٠ ذ/ث إذا وجد في أول بداية الجولة بالتحديد فسيدون عند ١٨ ذ/ث والتردد ٣٠ ذ/ث السائد في نهاية الجولة سيشار إليه عند مستوى التردد ٣٦ ذ/ث على الهامش الأيمن من الرسم الطيفي. ولكني قد أوردت لتوي تعليقاً ينص على أننا أحرار في تجاهل هذا الاضطراب بسبب المسافات اللامتناهية في الصغر التي يشتمل عليها الرسم الطيفي.

والآن سيتحرك القلم قليلا في حركة أمامية صاعدة بعد تدوين التردد ٢٠ ذ/ث على الهامش الأيسر. وإذا ظلت هناك بعد جزء من الثانية قوة موجودة في متناول المرشح فإن القلم سيظل على نشاطه، وسيستمر في ترك آثاره على الورق ما دامت القوة في متناوله. وفي المثال الذي نناقشه (وهو نغمة صاعدة تدريجياً من ٢٠ ذ/ث إلى ٣٠ ذ/ث يقوم بترشيحها مرشح عرضه ١٨ ذ/ث وذلك في الجولة التي تبدأ بالتردد ١٨ ذ/ث) نقول: في هذا المثال تكون هناك قوة موجودة خلال جولة كاملة من ١٨ ذ/ث إلى ٢٦ ذ/ث وذلك مع وجود مرشح يغطي عرضه الترشيحي وهو ١٨ ذ/ث مجالا من الترددات يبدأ من ٩ ذ/ث و٢٧ ذ/ث إلى الجانب الأيسر، وينتهي إلى ٢٧ ذ/ث و٤٥ ذ/ث على الجانب الأيمن. (قارن النصف السفلي من الشكل (٢٣)، حيث تعيِّنُ النقاط « A» و«B» و«C» اللحظات التي تكون عندها ترددات نغمة الأساس هي ٢٠ ذ/ث، ٢٥ ذ/ث، ٣٠ ذ/ث على الترتيب.



شكل ٢٣ . المرشح ١٨ ذ/ث ونغمة متصلة صاعدة

ولذلك ينشط القلم خلال الجولة الثانية كلها من ١٨ ذ/ث إلى ٣٦ ذ/ث، ويترك أثراً متصلا على الورقة. وهذا الأثر هو خط مستقيم يمثل $\frac{١}{٢٠٠}$ من مجموع الدوران الحلزوني الذي يصوره القلم.

وشبيه بذلك التدوينُ الذي يحدث في جولة القلم الثالثة من ٣٦ ذ/ث إلى ٤٥ ذ/ث وإن كان يرتفع عن الجولة الثالثة بمسافة ١٨ ذ/ث، ويتم التدوين خلال النغمة التوافقية كلها والتي لا تزال تقع خلال المجال الترشيحي الثالث للمرشح.

ولنفحص الآن النغمة التوافقية العاشرة من هذه النغمة الانزلاقية حيث تقع النقاط «A»، و«B»، «C» على سلم الزمن عند الترددات ٢٠٠ ذ/ث، ٢٥٠ذ/ث، ٣٠٠ ذ/ث. إن المرشح ١٨ ذ/ث سيقوم بتجميع التردد ٢٠٠ ذ/ث عند الهامش الأيسر في جولته الحادية عشرة. وستبدأ هذه الجولة عند ١٩٨ ذ/ث؛ حيث يغطي المدى الترشيحي ما بين ١٨٩ ذ/ث و٢٠٧ ذ/ث وينتهي في الهامش الأيمن عند ٢١٦ ذ/ث، حيث يغطي المرشح ما بين ٢٠٧ ذ/ث، و٢٢٥ ذ/ث.

وتمثل هذه الحالة حالة مناقضة لما حدث في الجولة الثانية؛ ففي الجولة الثانية قام المرشح بتجميع كل النغمة التوافقية الأولى في رحلة واحدة. وأما في هذه الجولة الحادية عشرة فإن المرشح لن يصل بحال إلى النقطتين ٢٥٠ ذ/ث، ٣٣٠ ذ/ث اللتين تشتمل عليهما النغمة التوافقية العاشرة. ويعني هذا أن القلم لم ينشط طوال هذه الجولة كلها، وأن النغمة التوافقية العاشرة لا يمكن تدوينها في خط مستقيم واحد لا ينقطع.

وإذن؛ إلى أي مدى يستمر القلم في تسجيل آثاره بعد أن ينتهي من تدوين التردد ٢٠٠ ذ/ث على الهامش الأيسر؟ والإجابة: إنه يستمر في التدوين حتى تخرج الترددات الموجودة عن متناول المرشح، وستخرج النغمة التوافقية عن المجال الذي يشمله المرشح ١٨ ذ/ث في مكان ما (وقد أشرنا إلى سمة المرشح في الشكل بالخطوط المائلة)، وسيحدث هذا عند النقطة x في النصف العلوي من الشكل (٢٤). ومن الواضح أن النظام الذي نستخدمه الآن يقوم على

أساس جولات يفصل بين كل منها ١٨ ذ/ث مع مرشح سمته ١٨ ذ/ث، وفي هذا المجال نجد أن النهاية العليا في كل مدى ترشيحي تنطبق على البداية السفلى للمدى الترشيحي الذي يليه. ولهذا السبب يستأنف القلم تدوينه في الجولة التالية في النقطة الزمنية المحددة التي ينهى فيها الجولة السابقة، وإن كانت هذه النقطة تقع في الرسم التخطيطي الذي قمت به على البعد الرأسي فوق نهاية السابق بمسافة ١٨ ذ/ث. وينشط القلم ثانية في الجولة الثانية عشرة بقدر ما تقع الترددات في مجال مرور المرشح أي إلى النقطة Y، وكذلك في الجولة الثالثة عشرة إلى النقطة Z وهكذا.

وإذن فإن مجموع التدوين الذي يرسمه القلم ليس في الحقيقة خطاً على الإطلاق، ولكنه سلسلة من الخطوط القصيرة تقع بانحراف ضئيل ويرتفع كل منها قليلا عن السابق (أو ينخفض قليلا إذا كانت الدرجة لنغمة انزلاقية هابطة). ولكن كما أن الانحراف عن المستوى الأفقي ضئيل حتى إنه لا يدرك بالبصر فإن منظر المراحل المتدرجة الذي يبدو في الرسم الذي سقته - وهو رسم محرف إلى حد كبير - سيخف أثره حتى تصير نسبته في الرسم الطيفي غير مدركة، ذلك أن مسافة ١٨ ذ/ث لن تبلغ على عرض الرسم الطيفي الذي هو ٢ بوصة إلا ٠١, من البوصة فحسب. ونكون بهذ الطريقة قد شرحنا الانطباع الذي يتكون لدى الناظر إلى الرسم عن وجود منحنى مستمر وهو الخداع البصري الذي تكلمت عنه عندما ناقشت الشكل (٢١).

ويمكن أن نستنبط من الشكل (٢٣) عدداً من النتائج نوردها فيما يأتي:

(١) إذا كانت نغمة الأساس في لحن أو صوت ما (وهي في المثال الذي سقناه ٢٠ ذ/ث - ٢٥ ذ/ث - ٣٠ ذ/ث بحيث يمكن للمرشح ١٨ ذ/ث أن يدونها في جولة واحدة، ونتج عن ذلك أن استمر في النشاط طوال جولته ورسم لنا خطاً مستقيماً على طول المسافة في ١٨ ذ/ث على اليسار إلى ٣٦ذ/ث على اليمين - فحينئذ لا يمكن لمثل هذا التدوين أن يعطينا أي

معلومة عن المنحنى الصحيح للتردد في نغمة الأساس، فبالنسبة للتردد ٢٠ذ/ث الذي يظهر على هيئة خط مستقيم يستوي فيه أن يكون درجة ثابتة على مدى ٢,٣ ثانية، أو منحنى يتكون من الترددات ١٥ ذ/ث - ٢٥ ذ/ث، أو منحنى يتكون من ٢١ ذ/ث - ٣٠ ذ/ث - ٢٣ ذ/ث أو أي نغمة توافقية أخرى يمكنها تنشيط القلم دون أي انقطاع من حيث الصورة الطيفية.

(٢) غير أنه نظراً لأن انحراف الخط يزيد بالضرورة في النغمات التوافقية العليا فإن أي حالة غامضة من هذا النوع يمكن حلها بأن تستكشف المعلومات الخاصة بالدرجة الحقيقية لنغمة الأساس على مستوى نغمات توافقية عليا كافية [لأن التوفقيات العليا هي مضاعفات لنغمة الأساس].

(٣) إذا كانت نغمة الأساس في اللحن ذات انحراف كاف ٢٠ ذ/ث - ٦٠ ذ/ث - ٩٠ ذ/ث على سبيل المثال فإن أثر المنحنى الذي يكاد يكون قريباً من الدرجة الصحيحة سيكون منظوراً حتى على مستوى نغمة الأساس، إذ لا يمكن للمرشح ١٨ ذ/ث أن يصل في الجولة ١٨ ذ/ث - ٣٦ إلى ما بعد ٤٥ ذ/ث، ومن ثم لن يتمكن من التقاط ترددات نغمة الأساس هذه لأنها ستنحرف انحرافاً مباشرا متجهة إلى الصعود بعد بداية الجولة.

(٤) كلما ازدادت درجة انحراف الارتفاع أو الانخفاض في النغمة التوافقية ضاقت مسافات التدرج الداخلية في تكوينها على مستوى كل جولة من جولات القلم. إن هذه المسافات يمكن أن تتكمش بالتأكيد حتى تصير في شكل نقط؛ حتى إن الخط الناتج عن الرسم الطيفي ليتكون بالفعل من نقط كثيرة تقع كل منها أعلى (أو أدنى) قليلا من السابقة وإلى يمينها. وبذلك يمكن أن يزداد الخداع البصري الذي يوهم بوجود منحنى متصل. (وسيكون هذا بالتأكيد هو الحالة الغالبة بالنسبة للرسوم الطيفية للكلام؛ حيث تتنوع الترددات بصورة تتسم بالسرعة والانحراف). ولما كان الانحراف أكبر في التوافقيات العليا فسيترتب على ذلك أنه كلما كانت التوافقيات في تحليل نفس

الصوت الواحد أعلى كان الخط المحدد لها في الصورة الطيفية أقرب إلى أن يكون مؤلفا من نقط منه إلى كونه مؤلفا من مراحل متدرجة.

(٥) ينشأ من ذلك أن ظاهرة النقط ستبدو لنا في التوافقيات السفلى، حين تكون نغمة الأساس التي نعالجها من نوع أعلى من النغمة التي عالجناها في الشكل (٢٣). وهذا هو ما يحدث في حالة الكلام حيث نغمة الأساس في صوت الذَّكَر لا تقرب من ٢٥ ذ/ث أو ٣٠ ذ/ث بل إنها تكون أقرب إلى ١٠٠ ذ/ث فصاعداً.

هذه إذن هي الطريقة التي يشكل بها الرسم الطيفي قطعة قطعة ما يبدو لنا من منحنيات تشير إلى حدود درجات كل من نغمة الأساس والنغمات التوافقية، وهكذا يعفينا الجهاز من ضرورة الوصل بين النقط الواقعة على نفس المنحنى يدوياً. ونحن مدينون في ذلك لتركيب الجهاز على هذا النحو البارع من قلم يقوم بجولاته في شكل حلزوني ويقترن بمرشح عرضه الترشيحي أكبر من الصفر (بحيث لا يقل عن ١٨ ذ/ث للأسباب التي فرغت من ذكرها).

* * *

الفصل السادس عشر

المرشِّحان ٥٠ ذ/ث و ٣٠٠ ذ/ث

ماذا يحدث إذا ركَّبنا مرشحاً يقوم بتمرير مجال من الترددات أعرض من ١٨ ذ/ث؟. هذا ما يوضحه الشكل «٢٤» بالنسبة لمرشح عرضه ٥٠ ذ/ث. لقد اخترت مرة أخرى نغمة أساس تبدأ من ٢٠ ذ/ث، ثم تستمر صاعدة إلى ٣٠ ذ/ث، مارة بالتردد ٢٥ ذ/ث، ولكني قمت بتدوين تردداتها الواقعة حول جولات القلم: السابعة (١٠٨ ذ/ث - ١٢٦ ذ/ث)، والثامنة (١٢٦ ذ/ث - ١٤٤ ذ/ث)، والتاسعة (١٤٤ ذ/ث - ١٦٢ ذ/ث)، والعاشرة (١٦٢ ذ/ث - ١٨٠ ذ/ث)، والحادية عشرة (١٨٠ ذ/ث - ١٩٨ ذ/ث)، والنغمات التوافقية المعنيَّة هي الخامسة والسادسة والسابعة والثامنة والتاسعة.

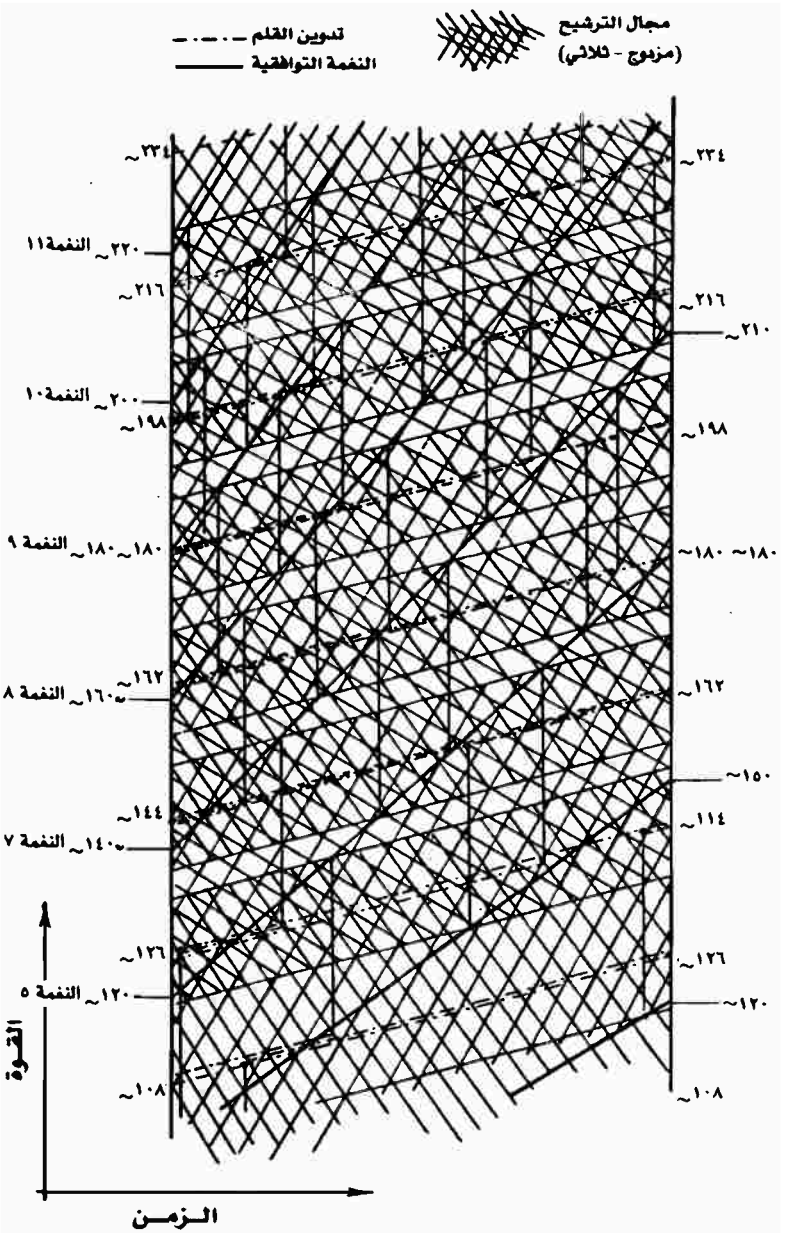
والخاصية البارزة في هذا الرسم هي تداخل مناطق الترددات التي تقوم بمسحها جولات ترشيحية متتابعة. ومَرَدُّ هذا - بطبيعة الحال - إلى أن حزام التمرير بالنسبة للمرشح ٥٠ ذ/ث أوسع منه في ١٨ ذ/ث التي هي المسافة بين جولات القلم: فالتردد ١٤٠ ذ/ث - على سبيل المثال - في الجانب الأيسر من الصورة الطيفية يُنَشِّطُ القلم في الجولة ١٢٦ ذ/ث (حيث يكون ارتفاع المرشح ١٢٦ ذ/ث + ٢٥ = ١٥١ ذ/ث)، وفي الجولة ١٤٤ ذ/ث (١٤٤ ذ/ث - ٢٥ ذ/ث = ١١٩ ذ/ث)، وفي الجولة ١٦٢ ذ/ث (١٦٢ ذ/ث - ٢٥ ذ/ث = ١٣٧ ذ/ث)، وربما تدون بعض الترددات الأخرى في نقاط أخرى مرتين أو ثلاث مرات معاً.

ولكن عند ضبط الجهاز على هذا النحو - أي على جولات ترشيحية بمسافة ١٨ ذ/ث مع مرشح عرضه ٥٠ ذ/ث - لن يقل عدد مرات التدوين

بالنسبة لأي تردد موجود عن مرتين. ويظهر هذا التداخل في الرسم التوضيحي بمناطق مظللة بخطوط متقاطعة ثنائية وثلاثية. ويشير كل نوع من الخطوط إلى مدى من مديات الترشيح.

ولما كان عرض المرشح (٥٠ ذ/ث) أكبر في هذا المثال من المسافة الفاصلة بين النغمات التوافقية فقد يحدث أن يسمح المرشح في نفس الجولة الواحدة بتمرير أكثر من نغمة توافقية واحدة؛ فيلتقط على سبيل المثال النغمات ١٢٠ ذ/ث، ١٤٠ ذ/ث، ١٦٠ ذ/ث (التي هي توافقيات لنغمة الأساس ٢٠ ذ/ث) في بداية الجولة ١٤٤ ذ/ث؛ حيث يصل أدنى مدى للمرشح إلى ١١٩ ذ/ث وأعلى مدى إلى ١٦٩ ذ/ث. ولذلك يمكن لجولة واحدة من جولات القلم أن تدون على طولها كله أو على أي جزء منها نغمةً أو نغماتٍ توافقية كاملة أو غير كاملة، كما يمكنها أن تدون توليفة من مجموعة نغمات توافقية أو أجزاء منها. ومثال لذلك ما أوردته في الرسم «٢٤» حيث تدون الجولة ١٤٤ ذ/ث (وهو مدى الترشيح التاسع) النغمة التوافقية السادسة كلها، وما يزيد على النصف الأول من النغمة التوافقية السابعة، وحوالي السدس الأول من النغمة التوافقية السابعة، وحوالي السدس الأول من النغمة التوافقية الثامنة، والثلث الأخير من النغمة التوافقية الخامسة (يمكن التحقق من ذلك في يسر إذا حجبنا باستخدام مسطرتين أو قطعتين من الورق ما فوق وما تحت المجال الترشيحي التاسع وحينئذ تكون جميع التوافقيات التي تبقى لدينا قد دونت في الجولة الترشيحية ١٤٤ ذ/ث).

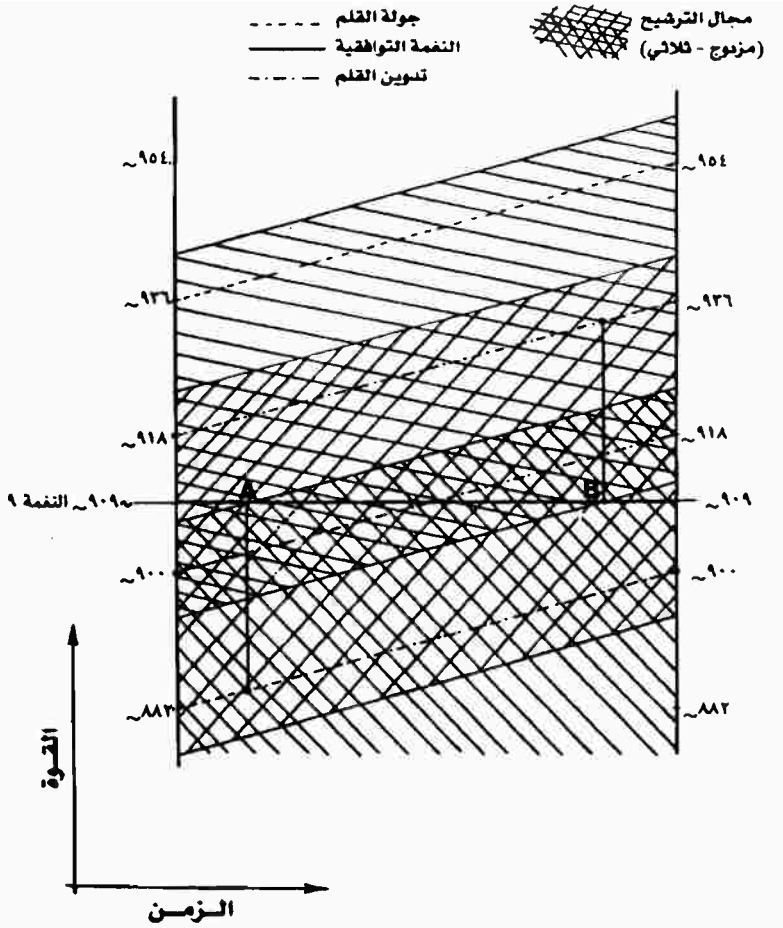
وأما الجولة ١٨٠ ذ/ث (وهي مدى الترشيح الحادي عشر) فإنها لا تجمع نغمة توافقية كاملة ولكنها تجمع أجزاء من النغمات التوافقية السادسة والسابعة والثامنة والتاسعة. وقد أشرت في الشكل (٢٤) إلى هذا التجميع لأكثر من نغمة توافقية بخطوط مضاعفة تمتد بالطول المناسب عبر امتدادات التدوين الذي يقوم به القلم، فنحن إذا ضبطنا القلم بحيث يستجيب لتنوعات



شكل ٢٤ . المرشح ٥٠ ذ/ث ونغمة متصلة صاعدة

القوة المُدْخلة *input powers* فسيترك عبر هذه الامتدادات آثاراً أكثر سواداً ترجع إلى وجود كمية زائدة من الطاقة الكهربية المتجمعة تسببها تلك المثيرات المضاعفة. لكن عليك أن تلاحظ أنه في الرسوم الطيفية للكلام لن يكون المرشح ٥٠ ذ/ث قادراً على أن يلتقط نغمتين توافقيتين في وقت واحد، وذلك لأن النغمات التوافقية تقع بفاصل مقداره ١٠٠ ذ/ث أو يزيد (حيث تكون معادلة لتردد نغمة الأساس).

سبق لنا أن ناقشنا التردد ٩٠٩ ذ/ث وكيف يمكن التقاطه بالمرشح ١٨ ذ/ث. ونحن إذا استخدمنا في ترشيح هذا التردد المرشح ٥٠ ذ/ث فإن قدرة هذا التردد على الهروب من التدوين لن تكون بأكبر من قدرته على الهروب من المرشح ١٨ ذ/ث، أياً كان المكان الذي سيقع فيه طوال المدة ٢,٣ ثانية التي تستغرقها العينة، بل إنه بالتأكيد سيدون أكثر من مرة (انظر الشكل ٢٥). فإذا وقع هذا التردد على الهامش الأيسر في نقطة الصفر على محور الزمن فإنه سيقع خلال المدى الذي يغطيه المرشح ٥٠ ذ/ث، وذلك في الجولتين ٩٠٠ ذ/ث و ٩١٨ ذ/ث. (ونحن نسميها كالعادة بحسب التردد الذي يبدءان به)، وحين يقع التردد ٩٠٩ ذ/ث على الهامش الأيمن من الرسم الطيفي في الزمن ٢,٣ ثانية فإنه سيدون في الجولتين ٨٨٢ ذ/ث و٩٠٠ ذ/ث، ٩١٨ ذ/ث، وسيلتقط ثلاث مرات فيما بين النقطتين A، B، أي عندما يقع في المنطقة المظللة بثلاث خطوط. ويمكن أن أعبر عن ذلك بطريقة أخرى فأقول: إنه عند تحليل نغمة ثابتة ترددها ٩٠٩ ذ/ث بواسطة مرشح عرض حزامه ٥٠ ذ/ث فإن الجولة ٩٠٠ ذ/ث للقلم ستَشْطُ على مدى طولها كله، والجولة ٨٨٢ ذ/ث ستَشْطُ لمدة $\frac{٨}{٩}$ من طولها تقريباً (من جهة نهايتها)، كما ستَشْطُ الجولة ٩١٨ ذ/ث لمد $\frac{٨}{٩}$ من طولها تقريباً من جهة بدايتها).



شكل ٢٥ . المرشح ٥٠ ذ/ث والنغمة التوافقية ٩٠٩ ذ/ث

وإذن فالفرق بين الرسوم الطيفية التي تتم بالمرشح ١٨ ذ/ث وغيرها من الرسوم التي تتم بالمرشح ٥٠ ذ/ث إنما يكمن في تداخل مجالات الترشيح، مما ينتج عنه تدوين قطاعات معينة من كل نغمة من النغمات التوافقية أكثر من مرة على مستويات متوالية، كما ينتج عنه إمكان تجميع أكثر من نغمة توافقية في كل جولة من جولات القلم. وإذن فكلما زادت الترددات التي يمكن

أن يُجمِّعها المرشح زادت القوة التي تقتحم القلم، وزاد كذلك الجهد الكهربي الذي يحرك القلم، ويظهر ذلك في هيئة آثار أكثر سواداً يصنعها القلم على الورقة. ويلزم عن ذلك إمكان ظهور درجات مختلفة من السواد في جولة واحدة من جولات القلم تبعاً لعدد الذبذبات التي تستخلصها الجولة وتدونها في لحظة معينة.

وثمة جانب آخر يختلف فيه الرسم الطيفي للمرشح ٥٠ ذ/ث عن الرسم الطيفي للمرشح ١٨ ذ/ث. إن المسافة الفاصلة رأسيّاً بين كل تدوين من التدوينات المتتابعة هي ٠,٠١ بوصة؛ ولذلك، ولكون هذه المسافة هي الفاصل بين كل جولتين من جولات القلم المئتين - فإن أي تردد يتم تدوينه مرتين متتاليتين سيكون الفاصل بين هذين التدوينين على البعد الرأسي هو ٠,٠١ بوصة. وبطبيعة الحال سيكون من الصعب أن نرى هذه المسافة الضئيلة على حقيقتها. إنها ستبدو للعين المجردة كما لو كانت نقطة واحدة أكثر سمكاً أو خطّاً قصيراً طوله ٠,٠٢ بوصة أو ٠,٠٣ بوصة إذا تم تدوينها مرتين أو ثلاثاً على الترتيب.

وعليك أن تلاحظ مع ذلك - أن مرور نغمتين توافقيتين في وقت واحد خلال المرشح سيظهر إسهامه لا على هيئة علامات ذات حجم أكبر بل يظهر فقط على هيئة علامة ذات درجة كبيرة من السواد بسبب زيادة الكمية التي يستقبلها القلم من الذي يحفزه الجهد الكهربي. ولذلك علينا أن نميز بوجه عام بين أمرين؛ أولهما: درجة سواد التدوين *blackness of the registration*، وهي التي تنشأ عن كمية القوة؛ أي عن عدد الذبذبات وكمية القوة التي يجري تجميعها في لحظة ما خلال جولة واحدة *single run*، وثانيهما: عرض التدوين *breadth of the registration* الذي ينشأ عن تكرار تمرير التردد الواحد في لحظة واحدة خلال الجولات المتتابعة *successive runs*. وهاتان الكميتان معاً

[يعني درجة سواد التدوين ومساحة انتشار التدوين رأسياً] هما المسؤولتان عن المظهر النهائي للتدوين.

ومن الممكن أن نزيد من درجة سواد التدوين وعرضه في نفس الصوت أو في جزء منه، وذلك بزيادة عرض المرشّح المستخدم في التحليل؛ وذلك لأن زيادة العرض توجد الظروف الخاصة التي تسهل تجميع الترددات، وهذا التجميع ضروري لإنتاج آثار مدونة أكثر وضوحاً؛ أي (أكثر سواداً)، وأكثر امتداداً؛ أي (أكثر انتشاراً على البعد الرأسي).

وعليك أن تلاحظ أيضاً أننا في الكلام نتعامل في كل الحالات تقريباً مع أصوات مضمحلة؛ أي أننا مع كل نغمة توافقية نتعامل مع عدد من الترددات، يتجمع حول تردد معين يشكل، بدوره ذروة هذه النغمة؛ ولذلك فإننا مادمنا نستخدم مرشحاً مضمحلاً فسيكفل ذلك لنا تمرير عدد من الترددات المتزامنة في أي لحظة، ومن ثم تمرير جهد كهربي أكبر من ذلك الذي تسببه النغمة التوافقية بمفردها، ومن ثم ينتج عن ذلك كمية مناسبة من درجة السواد. وإذا قمنا بتركيب مرشح عرضه ٣٦٠٠ ذ/ث أي عرض الرسم الطيفي كله فستكون النتيجة أن يَنْشط القلم في كل جولة بواسطة أي تردد يوجد بين الصفر و ٣٦٠٠ ذ/ث (ولن يفشل القلم في أن يَنْشط إلا عندما لا يوجد على الإطلاق أي تردد في مجموع هذه المدى. ولا يمكن أن يحدث ذلك إلا عندما يسود السكون التام). وستنتج هذه الحالة في الرسم الطيفي مئتين من الخطوط المتوازية يبعد كل منها عن الآخر ٠,٠١ بوصة، وسيبدو هذا مجرد تسويد كلي للورقة لا يقطعه إلا مساحات عمودية على مدى ارتفاعه الكلي تشير إلى الصمت إن وجد. ومن الواضح أن تنظيم عملية الترشيح على هذا النحو عديم الجدوى؛ إذ لن يكون كافياً في تمييز التكوين الطيفي للصوت.

أما إذا قمنا بتركيب مرشح تحليلي عرضه ٣٠٠ ذ/ث فإننا بالنسبة للنغمة التوافقية ٩٠٩ ذ/ ث التي نغمتها الأساسية ١٠١ ذ/ث سنحصل -

كما يمكن أن يظهر من شكل تخطيطي كالشكل (٢٤) - لا على تدوينين أو ثلاثة فحسب، بل على ما يصل إلى ستين تدويناً متوالياً؛ أي على خط يصل سمكه إلى ٠,١٦ بوصة يمتد إلى مسافة ٠,٠٨ بوصة فوق - أو تحت - بعض نقاط الخطوط في في الجولة ٩٠٠ ذ/ث من جولات القلم.

كذلك يستطيع مرشح عرضه ٣٠٠ ذ/ث أن يجمع نغمتين توافقيتين متجاورتين أو ثلاث نغمات متجاورة للنغمة ١٠١ ذ/ث. وتستطيع الجولة ٩٠٠ ذ/ث لا أن تلتقط النغمة ٩٠٩ ذ/ث فحسب بل أن تلتقط أيضاً النغمتين التوافقتين ٨٠٨ ذ/ث، ١٠١٠ ذ/ث عند وجودهما؛ لأن المرشح يصل مداه في أي لحظة من لحظات الجولة إلى ما فوق موضعه بمقدار ١٥٠ ذ/ث وإلى ما تحت نفس الموضع بمقدار ١٥٠ ذ/ث وتكون النتيجة كالعادة درجة من السواد أكبر في الآثار التي سيدونها القلم.

والآن، إذا كانت النغمة التوافقية ٨٠٨ ذ/ث في المثال الذي سقناه - موجودة بالفعل وذات قوة تكفي لتنشيط القلم فحينئذ سيحدث تدوين لها لا في الجولة ٩٠٠ ذ/ث فحسب - تلك التي فرغنا لِتَوِّنا من مناقشتها - ولكن ستدون تدويناً آخر في الجولة ٧٩٢ ذ/ث التي تمتد ثانية إلى ما فوقها وإلى ما تحتها بمقدار ٠٨, بوصة. وبالنظر إلى أن الجولتين ٧٩٢ ذ/ث و ٩٠٠ ذ/ث تبعد كل منها عن الأخرى في الرسم الطيفي بمقدار ١٠٨ ذ/ث أو ٠٦, بوصة فإن التدوينين اللذين يكون عرض كل منها ٠٨, بوصة واللذين يأتيان من أعلى ومن أسفل سوف يتداخلان، وسينمحى بهذه الطريقة الانفصال الواضح والمرئي بين النغمتين التوافقتين ٠٨, ذ/ث و ٩٠٩ ذ/ث. والعالم المجرب في مجال التحليل الطيفي لا يسيء فهم هذه الظاهرة؛ إذ هو على علم بأن المرشح الذي سمته ٣٠٠ ذ/ث لا يمكنه أن ينتج من تنشيط القلم في جولة واحدة فقط علامات يصل سمكها إلى سمك العلامات الناشئة عن تدوينات متداخلة تنتجها جولات متعددة، كما أن مثل هذا المرشح - في حالة حدوث

تردد ما حدوثاً لحظيّاً - لا يُمْكِنُه كذلك بتنشيط القلم في جولة واحدة فقط أن ينتج «نقطة» هي الآن أشبه بخط رأسي منها بنقطة حقيقية. غير أن مثل هذا العالم المجرب مضطر إلى القيام ببعض الحسابات لاكتشاف ما يمثله هذا **الحزام الواسع** *wide band* أو الخط العمودي على وجه الدقة. أما المُشاهِد الذي تعوزه الدربة الفنية فسيستنبط منه للوهلة الأولى معلومات ضئيلة القيمة عن عدد النغمات التوافقية وتوزيعها. لذلك كان على من يرغب في تحليل التركيب التوافقي لنغمة ما معتمداً على الصورة الطيفية ألا يختار مرشحاً يكون ذا عرض أكبر من المسافة الفاصلة بين النغمات التوافقية. والنغمة الحنجرية هي نغمة تشتمل على كثير من التوافقيات القوية ذات الأهمية أكوستيكيًا ولسانيّاً. وبما أن التردد الأساسي لأصوات الكلام البشري نادراً ما يكون أعلى من ٣٠٠ ذ/ث - فسيلزم عن ذلك أن الرسم الطيفي الذي يتم إنجازه بمرشح عرضه ٣٠٠ ذ/ث سيكون التداخل وعدم الوضوح فيه أمراً لا مفر منه. ونحن إذا وضعنا في حسابنا أيضاً أثر الاضمحلال في تجاويف ما فوق الحنجرة حيث تنتج هذه التجاويف ترددات ثانوية كثيرة وما يتبع ذلك من تسويد للعلامات في الصورة الطيفية تسويداً ناشئاً عن الجهد الكهربي العالي الذي تسببه ترددات كثيرة تُنَشِّط القلم بطريقة متزامنة في اللحظة المعينة - أقول: إذا وضعنا في حسابنا هذا كله توقعنا أن أي رسم طيفي لصوت من أصوات الكلام ينتجه مرشح عرضه ٣٠٠ ذ/ث لا يمكن أن يظهر فيه إلا مناطق واسعة عميقة السواد يصعب إدراك تفاصيلها إلا بشق النفس.

والفصل الآتي من هذا الكتاب يشرح لنا كيف أن هذا القصور الذي يتوعدنا به رسم طيفي ينجزه نطاق واسع عرضه ٣٠٠ ذ/ث ليس كل ما فيه هو أنه رسم مرهق. إن هذا القصور يمكن أن يتحول إلى شيء نافع أيضاً.

الفصل السابع عشر

الحزم الترددية المميزة

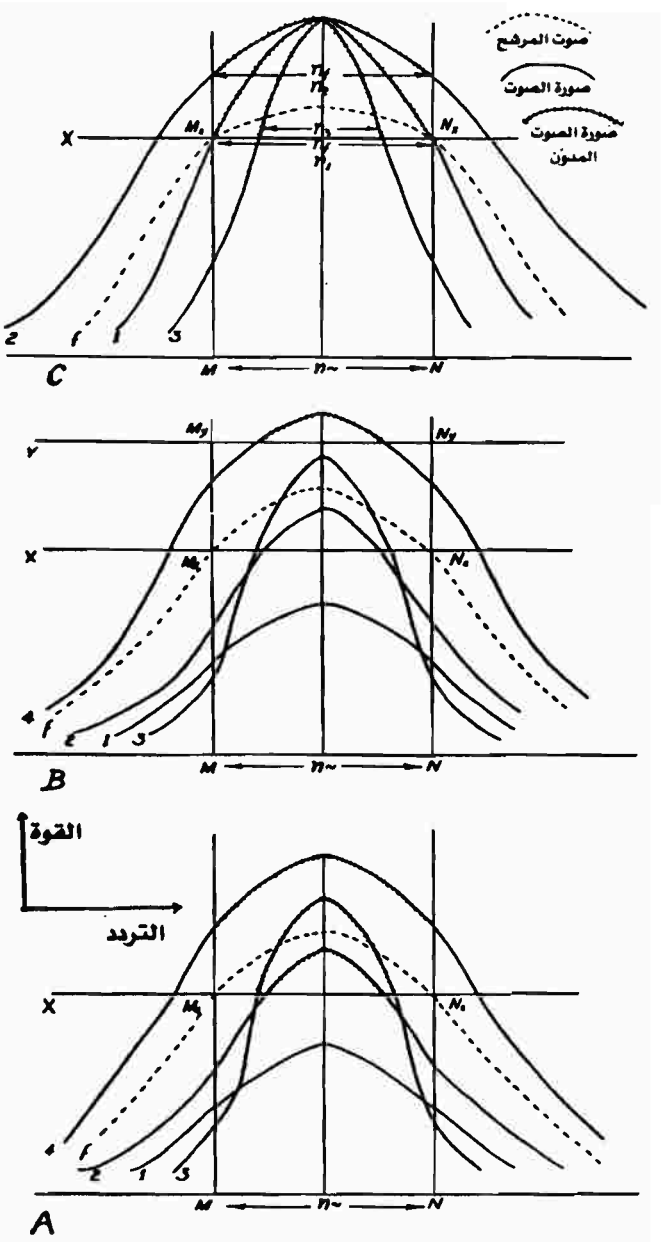
سبق لنا في الفصل الثامن وفي معرض التمييز بين العرض العملي *practical width* للمرشح الرنان المضمحل وبين العرض النظري *theoritcal width* الذي هوغير متناهٍ - أن رأينا أن هذا العرض العملي إنما يتخذ بواسطة نقاط منتصف القوة، وشأن المرشح الرنان المضمحل في ذلك هو شأن الجسم الذي يصدر نغمة مضمحلة، ويعني هذا إذن أننا عن طريق ترشيح صوت من خلال مرشح ذي عرض معين لا نعزل من الرسم الطيفي الترددات التي هي خارج المنحنى الرنيني للمرشح من حيث التردد فحسب، ولكنا نتجاهل أيضاً الترددات التي تكون قوتها أقل من الكمية المتخذة أساساً وحداً فاصلاً في القياس. وهاهنا أوضح عن طريق عدة منحنيات رنينية (قارن الشكل (١٣)) العلاقة بين المرشَّح والصوت في الشكل (٢٦ A و B) حيث يعترض مرشح واحد بعينه نغمات متنوعة. يمثل الخط المتقطع الذي أشير إليه بالرمز f المنحنى الرنيني للمرشح. وتشير الخطوط المتصلة المشار إليها بالأرقام 1, 2, 3, 4، بترتيب تصاعدي للقوة إلى أربعة أصوات مختلفة. وتشير الرموز M, N, M_x, N_x إلى موقع نقاط منتصف القوة على محور «التردد - القوة». أما الخط X فيشير إلى حد القوة التي يسمح المرشح بتمريرها، كما تحدد المسافة M - N عرض المرشح بالنسبة للتردد المركزي ~ n.

وإذا قمنا الآن بتركيب مرشح من هذا النوع في المطياف فإن أي تردد يمر ويدون بواسطة القلم في جهاز المطياف ينبغي أن يتوافر فيه شرطان يتوقف كل منهما على الآخر.

أولهما: أن يكون تردداً قابلاً للمرور، أي أن يقع خلال النطاق الرنيني للمرشح.

والثاني: ينبغي أن تقع قوة التردد فوق قوة نقطتي منتصف القوة الخاصتين بهذا المرشح. ويلزم عن ذلك ألا يدون المطياف إلا الترددات التي تقع بين النقطتين M, N (من حيث التردد)، وفوق M_X , N_X (من حيث القوة). ولهذا نجد في الشكل (٢٦ A) أن أجزاء معينة من المنحنيات 2, 3, 4 - وقد زودت في الرسم بخطوط قصيرة قاطعة - تستوفى الشرطين من حيث القوة والتردد، على حين نجد أن المنحنى 1 - بالرغم من احتوائه على ترددات مناسبة - إلا أن جميع تردداته غير ذات قوة كافية. أما المنحنى الذي يكون ذا قوة كافية ولكن تردداته غير مناسبة فسيقع إلى اليمين أو إلى اليسار من المنحنيات الموجودة في هذا الرسم الذي لدينا، وستكون ذروته بعيدة عن ذروة هذا الرسم، حتى إن المسافة M - N الخاصة به لن تتداخل مع المسافة M-N الموجودة بالرسم.

والقائم بالتصوير الطيفي - بطبيعة الحال - ليس مجبراً على قبول نقطتي منتصف القوة التقليديتين للمرشح، وكذلك الشأن مع حد القوة المسموح بمرورها، إذ قد يجد من المفيد أن يزيد أو ينقص من الحد دون أن يغير عرض نطاق المرشح. ويبين الشكل «٢٦ B» ما يحدث لهذه المنحنيات الأربعة نفسها إذا زيد الخط X بحيث يصل إلى الوضع Y. وهنا لن ينشط قلم الراسم الطيفي إلا بواسطة أقوى الترددات في هذه المنحنيات الأربعة، ولن تدون الترددات الأخرى لكونها ضعيفة جداً. وهكذا يستطيع القائم باختبار الطيف في صوت مركب أن يختار في هذا الطيف مجموعة ذرى القوة التي يراها ذات أهمية كافية لتسجل على الرسم الطيفي، وأن يستبعد الأخريات التي قد لا تفعل شيئاً سوى أن تزحم الصورة. إنه يستطيع أن يفعل ذلك وهو



شكل : ٢٦ . نغمات مضمحلة ومرشحات مضمحلة

مستقل كل الاستقلال عن خصائص المرشح المستخدم من حيث التردد أو التكوين الطيفي.

ولقد قلت غير مرة إن سواد العلامات في الرسم الطيفي سيزداد بزيادة عدد الترددات التي يتم تجميعها، أي بزيادة كمية القوة الموجودة في لحظة بعينها من لحظات التدوين. وعملية الترشيح التي فرغت لتوي من وصفها تسمح بإقامة علاقات بين هذه الكميات الثلاث: عدد الترددات، والقوة، وسواد الأثر.

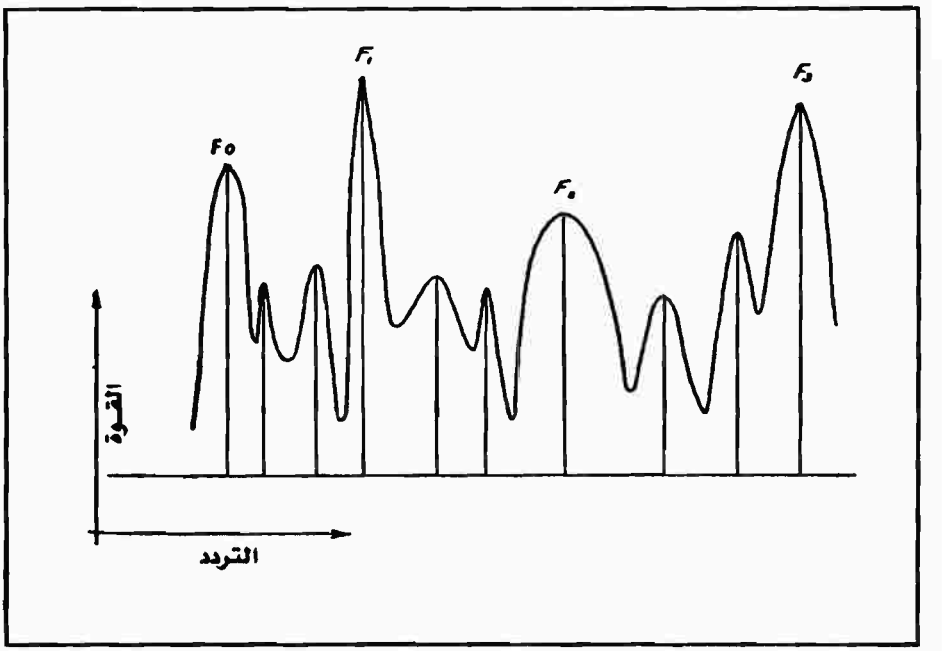
وقد رسمت في الشكل (C ٢٦) ثلاثة «أشكال بروفيلات» للنغمات المضمحلة 1, 2, 3 التي هي ذات قوة واحدة عند ذروتها وقد دُوِّن بعض أجزائها باستخدام المرشح f. والقضية هنا هي: هل ستدون هذه النغمات الثلاث المتحدة في ذروة القوة بدرجة سواد متساوية على الرسم الطيفي أم لا؟ وبما أننا نتعامل مع نغمات مضمحلة تشتمل على عدد من الترددات الثانوية التي قام المرشح بتجميع بعضها - فإن القوة التي تتجاوز قوة ذروة المرشح نفسها ستنتقل إلى القلم. ويتطابق عدد الترددات التي قام المرشح f بتجميعها على هذا النحو في الرسم (C ٢٦) مع عرض الحزمة التي يمثل خط قاعدتها n_f, n_1, n_2, n_3 على التوالي. وأقصى عرض بطبيعة الحال هو عرض المرشح نفسه nf. ويختص هذا الحد الأقصى من العرض أيضاً بالنغمة (n1) 1 والنغمة $(n_2)2$ وكذلك بكل النغمات الأخرى التي يقطع فيها البروفيل الطيفي الخط X عند نقطتي منتصف القوة M_x, N_x أو خارجها. أما «البروفيلات» التي تقطع الخط من داخل هاتين النقطتين فتمثل النغمات التي تسهم بترددات أقل. وينتج من ذلك أن سواد التدوين في التصوير الطيفي لا يعتمد على ارتفاع البروفيل فحسب (القوة، العلو) بل على شكل البروفيل أيضاً

(التكوين الترددي، النوع)؛ أي أن الرسوم الطيفية التي تتميز بدرجة أكبر من السواد ربما لا تمثل فقط نغمات أعلى بل تمثل أيضاً - على سبيل المثال - نغمات أغلظ (وتتميز بأن لها بروفيلاً مسطحاً) وفي ذلك - بالإضافة إلى ما سبق - تقليلٌ من شأن الرسم الطيفي فيما يتصل بالدقة والثقة عند تحديد كمية القوة أو العلو. غير أن ثمة فوائد معينة تَرْجَحُ هذه الخسارة[٨].

سيكون من قبيل التذكير أن نقول إن النغمة الحنجرية البالغة التعقيد تقوم بمجرد دخولها إلى تجاويف ما فوق الحنجرة بإجراء تعديلات لنوعها وقوتها، بالرغم من أن التعديلات لا تتناول درجة الأساس. وتتم هذه التعديلات عن طريق الرنين والتقوية الناتجة عن حجم هذه التجاويف وهيئتها. ويتسبب كل تجويف في حمل تردد معين من ترددات النغمة الحنجرية على إحداث رنين يمثل التردد الذي يمكن للتجويف إذا أثير أن يصدر عنده صوتاً. وينتج عن ذلك إعادة لتنظيم القوة وتوزيعها على الترددات الموجودة في النغمة الحنجرية، أي حدوث تعديل لنوع النغمة الحنجرية الأصلية. لذلك سيكون التكوين الطيفي للنغمة الحنجرية المعدلة مختلفاً كل الاختلاف عن النغمة الأصلية المنبعثة من الحنجرة قبل التعديل.

والمعروف - من خلال التجارب - أن النغمة الحنجرية في حال النطق بالصوائت تكون عرضةً للتعديل فيما بين نغمة الأساس و ٣٦٠٠ ذ/ث على نحو يكتسب فيه البروفيل الطيفي عدداً معيناً من ذرى القوة، وأن من بين هذه الذرى توجد ذروتان أو ثلاث أو أربع تكون على درجة متميزة من العلو (ويعتمد عدد هذه الذرى العالية على نوع الصائت، غير أن العدد الذي يظهر - أو أُعِدّ ليظهر - في الرسم الطيفي هو ثلاث. وانظر تفسير ذلك فيما يلي من بيان[٩]). ويطلعنا الشكل ٢٧ على تكوين طيفي من هذا النوع (ويلاحظ أننا لم نقصد أن نمثل بهذا الرسم صائتاً معيناً. قارن الشكلين (١١)، (١٣)، والقطاع

السفلي من الشكل ١٩). ولا يعلم المشتغلون بالتصوير الطيفي والأكوستيكيون يقيناً إلى أي خاصية من خصائص الرنين الفموي ترجع هذه الذرى. لقد توهم بعضهم - وهو ما ظهر لنا الآن خطؤه - أن الذرى الثلاث الأولى الواقعة فوق الذروة الخاصة بالدرجة الحنجرية هي التي تمثل ظواهر الرنين الناشئة عن التجاويف الثلاثة الأساسية في الفم، وهي التي تتشكل نتيجة أوضاع اللسان والشفتين على ما هو مبين بالشكل (١٥). (لاحظ أن الذروة الخاصة بالدرجة الحنجرية هي أقل الذرى جميعاً من حيث التردد، وإن كان لا يلزم عن ذلك أنها أضعفها من حيث القوة). ويبدو أن الحقيقة على الصحيح هي أن كل التجاويف قد ترابطت أو تزاوجت، وأنه ليس ثمة تجويف واحد مسؤول بمفرده عن أي ذروة من ذرى القوة بمفردها.[١٠] وترشيح هذا النوع من الطيف المتعدد الذرى لا يختلف في جوهره عن ترشيح تكوين طيفي لا يشتمل إلا على ذروة واحدة كالمبين بالشكل (٢٦). ومن الواضح - مع ذلك - أن أي



شكل ٢٧ حزم ترددية مميزة

مرشح مضمحل ذي عرض معين يمكنه الآن أن يتسع ويمرر عدة ذرى؛ أي أكثر من ذروة واحدة في زمن ما وفي جولة تحليلية واحدة، وأن بعض هذه الذرى يمكن الآن أن يمر ويدون في عدة جولات تحليلية متتابعة. ومن الطبيعي أن يعتمد عدد الذرى التي يمررها المرشح مرة أخرى على عرض المرشح وعلى القوة التي يسمح بتمريرها. وأما بالنسبة للعرض الخاص بمرشح معين فإن حد القوة المسموح بتمريرها يمكن تنويعه بحيث يشمل في التكوين الطيفي أقوى ذروة أو أقوى أربع ذرى أو أقوى عشرين ذروة. وهذا يعتمد على نوع التحليل الذي يريد الباحث إجراءه، وعلى عدد الذرى التي يرغب الباحث في إظهارها على الرسم الطيفي. وقد نوقشت كل هذه القضايا مناقشة مستفيضة مع الشكل (٢٦).

وتسمى هذه الذرى في التصوير الطيفي بالحزم الترددية المميزة *formants*[١١]؛ وذلك لأسباب هي الآن واضحة. وقد أشير لهذه الذرى بالأرقام F_0, F_1, F_2؛ هكذا بدءاً من أقلها وانتهاءً بأعلاها تردداً. (يلاحظ أن بعض المؤلفين يطلقون اسم F_1 على الدرجة الأساسية للجهر على الرغم من أنها ليست حزمة على الحقيقة).

وتتعدم ذرى القوة أو هذه الحزم المميزة في الأصوات غير الرنانة، لأن جوهر هذه الأصوات لا يتعين إنتاجه ونوعه الصوتي (الفوناتيكي) بواسطة الرنين الحادث في التجاويف.

والحزم المميزة في أصوات الكلام الرنانة (غير الأنفية) حين ينتجها رجل طبيعي تقع عادة في حدود مستويات التردد الآتية:

F_1	١٥٠	-	٨٥٠ ذ/ث
F_2	٥٠٠	-	٢٥٠٠ ذ/ث
F_3	١٧٠٠	-	٣٢٠٠ ذ/ث
F_4	٢٥٠٠	-	٤٥٠٠ ذ/ث

ولصوت الأنثى العادية حزم ترددية مميزة أعلى من صوت الرجل بنسبة ١٧٪. ويرجع هذا الفرق إلى أن الطول الكلي للتجاويف الصوتية من الحنجرة إلى الشفتين عند الأنثى هو في العادة أصغر؛ حتى إن أصوات الأطفال تظهر حزماً مميزة أعلى. ودرجة الأساس في صوت الأنثى هي في العادة أعلى من صوت الرجل بطبقة موسيقية واحدة أو (أوكتاف). والقيمتان النمطيتان لهذه الدرجة في المتوسط هي ٢٢٠ ذ/ث للإناث و ١٢٠ ذ/ث للذكور.

* * *