الباب التاسع

التردد (Frequency)

٩ ـ ١ الخواص المميزة للنغمة :

تتميز كل نغمة صوتية عن غيرها بخواص ثلاث هى :

الدرجة (Pitch) والشدة (Loudness) والنوع (Quality) فالدرجة يعينها تردد الموجة وسنبحث فى هذا الباب كيف يقاس التردد . وتقاس الشدة بكمية الطاقة الصوتية التى تقع عمودية على وحدة المساحات فى الثانية وقد أثبتنا فى معادلة (٤٤) أن الطاقة تتناسب طرديا مع مربع السعة . ويعرف الاحساس بالشدة بأنه التأثير الفسيولوجى للصوت داخل الأذن أو الاحساس الذى يصل المخ عن شدة الصوت .

والاحساس بالشدة (أو مستوى الشدة) يتناسب مع لوغاريتم الشدة ذاتها أى .

$$= \log \frac{I}{I_0}$$

حيث (I) هى الشدة المطلقة للصوت ، (I_0) هى النهاية الصغرى للشدة $= ١٠^{-١٦}$ وات/سم^٢ .

وحـــدة مستوى الشدة هى (بل) (Bel) نسبة إلى مخترع التليفون جراهام بل .

٠٠ مستوى الشدة :

$$\text{Intensity level} = \log \frac{I}{I_0} \text{ bel}$$

$$= 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ decibel}$$

أما نوع النغمة فيعين بشكل الموجة . فليست كل الآلات الموسيقية تصدر نغمة واحدة بل تختلف شكل الموجة من آلة إلى أخرى وإن اتحدت فى التردد والسعة .

٩ — ٢ شدة الصوت :

إذا انتشرت موجة صوتية فى وسط فان :

الطاقة المؤثرة على جسيمات الوسط فى الثانية = القوة × سرعة الجسيمات .

$$\therefore \text{الطاقة خلال وحدة السطوح فى الثانية} = \frac{\text{القوة} \times \text{السرعة}}{\text{المساحة}}$$

$$= \text{الضغط} \times \text{السرعة}$$

ولكن الضغط الصوتى هو التغير فى كمية الحركة فى الثانية للجسيمات الواقعة على وحدة السطوح .

∴ الضغط = كتلة الجسيمات المهتزة خلال ثانية واحدة والواقعة على وحدة المساحات × سرعة الجسيمات

$$\therefore \text{الضغط} = P = \rho \, v \, c$$

حيث ρ كثافة الوسط ، v سرعة انتشار الموجه ، c سرعة الجسيمات $\left(\frac{dy}{dt}\right)$

شدة الصوت = متوسط معدل انتقال الطاقة الصوتية خلال وحدة السطوح = I

$$\therefore I = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} Pc \, dt$$

$$= \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} \rho v \left(\frac{dy}{dt}\right) \times \left(\frac{dy}{dt}\right) dt$$

ولكن معادلة الموجه هى

$$y = A \cos (\omega t - kx)$$

$$\therefore \frac{dy}{dt} = - A \omega \cos (\omega t - kx)$$

$$\therefore I = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} \rho v A^2 \omega^2 \sin^2 (\omega t - kx) \, dt$$

$$= \frac{\rho v \omega^2 A^2}{T}\int_{t}^{t+T} (\cos^2 kx \sin^2 \omega t + \sin^2 kx \cos^2 \omega t - \tfrac{1}{2} \sin 2 \omega t \cos 2 kx) \, dt$$

$$= \frac{\rho v \omega^2 A^2}{T} \cdot \frac{T}{2}$$

$$= \frac{1}{2} \rho v \omega^2 A^2$$

$$= \frac{1}{2} \rho v 4\pi^2 f^2 A^2$$

$$\therefore I = 2 \rho v \pi^2 f^2 A^2$$

حيث أن الضغط

$$P = \rho v \frac{dy}{dt}$$

$$= - \rho v \omega A \sin (\omega t - kx)$$

$$\therefore P_{max} = - \rho v \omega A$$

$$\therefore I = \frac{P^2_{max}}{2 \rho v}$$

ولكن :

$$P_{max} = P_{r.m.s} \sqrt{2}$$

$$\therefore I = \frac{P^2_{r.m.s}}{\rho v}$$

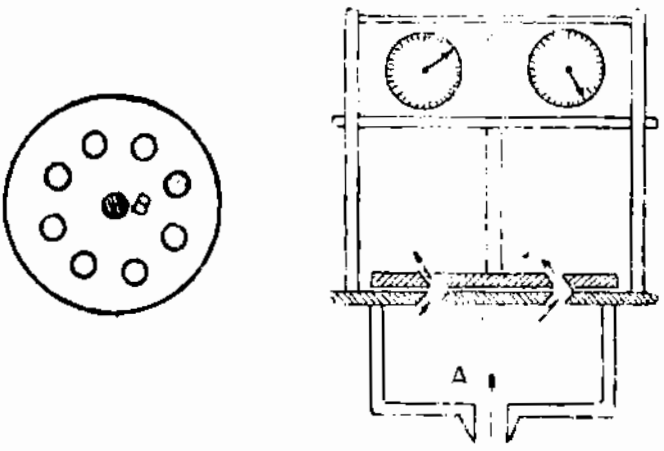
يسمى ρv المانعة المميزة للوسط (Characteristic Impedence)

٩ - ٣ قياس التردد :

١ ـ بواسطة السيرين (The Siren)

يتركب السيرين شكل (٦٤) من قرص معدنى مستدير به عدد من الثقوب تقع على محيط دائرة وتبعد عن بعضها بمسافات متساويه . ويمكن إدارة هذا القرص حول محوره . ويوجد أسفل القرص صندوق أسطوانى سطحه الأعلى

يكاد يلتصق بالقرص وهذا السطح مثقوب بنفس نظام ثقوب القرص. فاذا ضغط هواء فى الصندوق من خلال فتحة عند أسفله تحرك القرص ليسمح للهواء



شكل (٦٤)

بالخروج ولا تلبث أن تنطبق الثقوب أثناء دوران القرص بفعل قصوره الذاتى ثم تتعارض ويقف خروج الهواء ثم يعود وهكذا . ويتسبب عن ذلك خروج الهواء عند الثقوب على هيئة ضربات متتالية ينشأ عنها نغمة تشبه الصفير ، وكلما زيد ضغط الهواء المدفوع بالصندوق كلما زادت سرعة دوران القرص وارتفع تبعا لذلك تردد النغمة ويتصل محور دوران القرص بعداد يمكن بواسطته إيجاد سرعة دوران القرص أى عدد دوراته فى الثانية .

فاذا كان (n) هو عدد الثقوب ، (r) عدد الدورات فى الثانية فان التـــردد :

$$f = nr$$

وإذا أريد إيجاد تردد نغمة مجهولة تصدرها آلة ، يضغط الهواء بالجهاز ويعدل ضغطه تدريجيا حتى تتفق بقدر الإمكان النغمة الصادرة من الجهاز والنغمة

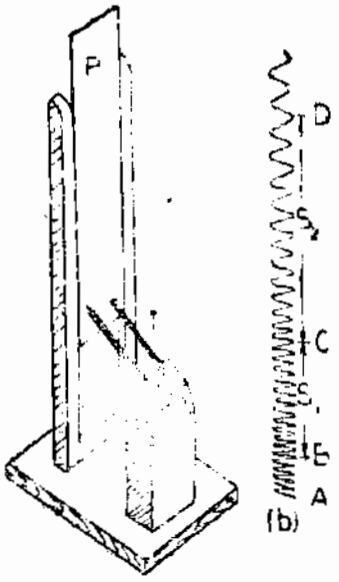
المطلوب ترددها . فاذا كانت (b) هى عدد الضربات بين النغمتين فى حالة عدم إتفاقها تماما فان التردد المجهول :

$$f = nr \pm b$$

ويمكن معرفة الاشارة بتقليل سرعة القرص ومعرفة ما إذا كانت الضربات تزيد أو تنقص .

ب ـ بواسطة اللوح الساقط (Falling Plate)

يتركب الجهاز شكل (٦٥ — a) من شوكة رنانة يثبت عنقها تثبيتا جيدا ويثبت على أحد فرعيها سن مدبب يلامس لوح زجاجى مطلى بالسناج يمكن



شكل (٦٥)

أن يتزلق رأسيا أمام الشوكة . فاذا تذبذبت الشوكة وسمح للوح أن يسقط فى نفس الوقت فان السن المدبب يرسم موجة على اللوح كما هو مبين فى شكل (٦٥ — b) . ويلاحظ أن اللوح يكتسب سرعة أثناء سقوطه تحت تأثير الجاذبية .

فاذا كانت (A) هى نقطة البداية ، (B) نقطة قريبة منها ، وأن عدد الموجات بين النقطتين (B , C) يساوى عدد الموجات بين النقطتين (C , D) ، فان المسافة بين (B , C) والمسافة بين (C , D) إستغرقتا نفس الزمن (t) أثناء سقوط اللوح .

فاذا كان :

$$BC = S_1 \quad , \quad CD = S_2$$

، (u) هى السرعة الابتدائية للوح عند (B) .

$$\therefore \quad S_1 = ut + \tfrac{1}{2} gt^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (55)$$

$$S_1 + S_2 = u \times 2t + \tfrac{1}{2} g (2t^2)$$

$$= 2ut + 2gt^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (56)$$

حيث (g) هى عجلة الجاذبية الأرضية .

ومن المعادلتين (٥٥ ، ٥٦) :

$$\therefore \quad S_2 - S_1 = gt^2$$

$$\therefore \quad t = \sqrt{\frac{S_2 - S_1}{g}}$$

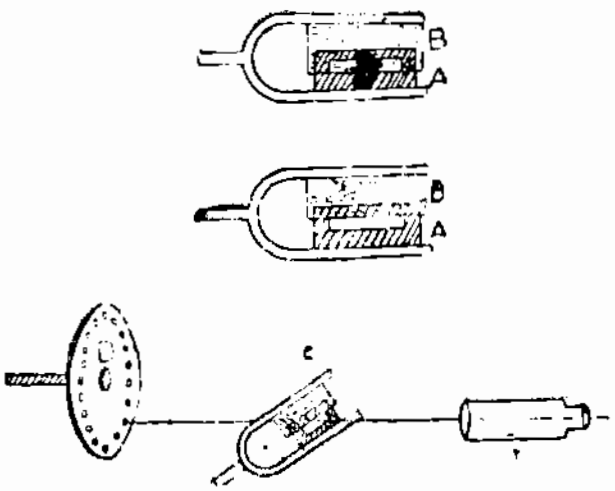
وإذا كانت (n) هى عدد الموجات بين (B ، G) أو بين (C ، D) فان تردد الشوكة :

$$f = \frac{n}{t} = n\sqrt{\frac{g}{S_1 - S_2}}$$

المسافة ($S_2 - S_1$) يمكن قياسها بميكروسكوب متحرك

جـ ـ بواسطة الستروبوسكوب (The Stroboscope)

الستروبوسكوب عبارة عن قرص معدنى مستدير به عدد من الثقوب تبعد عن بعضها بمسافات متساوية ويدور القرص حول محوره (شكل ٦٦) بواسطة موتور كهربائى كما يمكن معرفة عدد الدورات . يركب فى فرعى الشوكة الرنانة المراد معرفة ترددها لوحين من الألومنيوم (A ، B) ويكون للوح (A) فتحة



شكل (٦٦)

بحيث تكون مفتوحة عندما يبتعد فرعى الشوكه وتغلق عندما يتقاربان أثناء تذبذب الشوكة أى أن الفتحه تفتح مرة واحدة أثناء الذبذبة الكاملة للشوكه . توضع الشوكة بحيث تقع الفتحه بين أحد ثقوب القرص وبين تلسكوب (T) فاذا دار القرص بواسطة الموتور وتذبذبت الشوكة فان الرائى يستطيع خلال التلسكوب رؤية ثقب من الثقوب عندما يكون الثقب أمام التلسكوب فى اللحظة التى تكون فيها فتحة الشوكة مفتوحة فاذا ضبطت سرعة الموتور بحيث يكون زمن إحلال ثقب مكان الآخر مساويا لزمن الذبذبة الكاملة للشوكة ، فان الرائى لا تنعدم عنه رؤية الثقوب ويراها كأنها موقوفة أمامه .

فاذا كان (n) هو عدد الثقوب ، (r) عدد دورات القرص فى الثانية فان

زمن دورات القرص دورة كاملة $= \frac{1}{r}$

$\therefore$ زمن إحلال ثقب مكان الثقب الذى يليه $= \frac{1}{nr}$

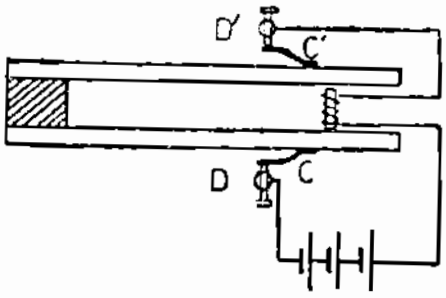
وهو زمن ذبذبة الشوكة

$\therefore \quad f = nr$

٩ - ٤ الشوكة الرنانة الكهربائية:

Electrically Maintained Tuning-Fork

يوضع ملف حلزونى حول قطعة من الحديد موضوعة بين فرعى الشوكة . ولكل فرع صفيحة مرنة (C , C') يمكن أن تلامسا مسمارين (D , D') متصلين بالدائرة الكهربائية المبينة فى شكل (٦٧) . فعند مرور التيار ينجذب



شكل (٦٧)

فرعى الشوكة إلى الداخل فتبتعد (C' , C) عن المسمارين (D' , D) وتفتح الدائرة . عندئذ تفقد قطعة الحديد مغناطيسيتها ويعود فرعى الشوكة إلى الخارج حيث تغلق الدائرة وهكذا تستمر الشوكة فى التذبذب .

تمارين

(١) إذا كانت عدد دورات قرص السيرين هى ١٢٠٠ دورة فى الدقيقة وإذا أعطت النغمة التى تصدرها السيرين ٤ ضربات مع النغمة التى تصدر عن شوكة رنانة مجهولة التردد ، وإذا كان عددثقوب القرص هو ٢٤ ثقبا ، أحسب تردد الشوكة الرنانة ، علما بأنه عند قطع التيار عن الموتور يقل عدد الضربات فى البداية ثم يزداد ثانية .

$$\text{عدد دورات القرص فى الثانية} = \frac{١٢٠٠}{٦٠} = ٢٠$$

$$\therefore \quad r = 20 \text{ revolutions/sec.}$$

$$n = 24 \text{ hole}$$

∴ تردد السيرين :

$$= 20 \times 24 = 480 \quad \text{vibrations/sec}$$

∴ تردد الشوكة الرنانة :

$$= 480 \pm 4$$

وحيث أنه عند قطع التيار عن الموتور ينخفض تردد السيرين ، وحيث أن عدد الضربات أيضا يقل ، فان هذا يدل على أن الترددين يقتربان من بعضهما ، وعلى ذلك يكون تردد السيرين أعلى وتردد الشوكة أقل .

∴ تردد الشوكة :

$$= 480 - 4 = 476 \text{ vib/sec.}$$

(٢) فى تجربة اللوح الساقط كانت الشوكة الرنانة المستخدمة ذات تردد

٥١٢ ذبذبة فى الثانية ، وبفحص الموجات على اللوح فى نهاية التجربة وجد أن مجموعة من الموجات قدرها ٢٠ موجة تشغل مسافة قدرها ٠٫٩٩ بوصة ومجموعة أخرى تليها قدرها ٢٠ موجة تشغل مسافة قدرها ١٫٥٨ بوصة . أحسب عجلة الجاذبية الأرضية .

بما أن :

$$f = n \sqrt{\frac{g}{S_2 - S_1}}$$

حيث (f) هو تردد الشوكة ، (g) عجلة الجاذبية الأرضية ، (S_2 ، S_1) هما المسافتين اللتين تحويان نفس العدد من الموجات ، (n) عدد الموجات فى كل المسافة .

$$\therefore \quad 512 = 20 \sqrt{\frac{g}{\frac{1.58}{12} - \frac{0.99}{12}}}$$

$$= 20 \sqrt{\frac{12\ g}{0.59}}$$

$$\therefore \quad g = 32.3 \text{ ft./sec}^2$$

(٣) (أ) أثبت أن ١ ديسى بل يمثل تغيرا قدره ٢٦٪ فى شدة الصـــوت

(ب) احسب التغير فى قدرة الصوت بالديسى بل إذا تغيرت قدرة الصوت فى المذياع من ملى وات إلى ٢٥٠ ملى وات .

(أ) حيث أن مستوى الشدة بالديسى بل

$$= 10 \log \frac{I_1}{I_2}$$

فاذا وضعنا مستوى الشدة يساوى واحد صحيح

$$\therefore \quad 1 = 10 \log_{10} \frac{I_1}{I_2}$$

$$\therefore \quad \log_{10} \frac{I_1}{I_2} = 0.1$$

$$\therefore \quad \frac{I_1}{I_2} = 1.26$$

أى أن واحد ديسى بل يمثل تغيرا قدره ٢٦٪ من شدة الصوت .

(ب) الزيادة فى قدرة الصوت بالديسى بل :

$$= 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

$$= 10 \log_{10} \frac{250}{25}$$

$$= 10 \text{ decibel}$$

(٤) موجة صوتية مستوية شدتها فى الهـــواء 10 watt/m^2 أحسب القوة على جدار مساحته 10 m^2 نتيجة اصطدام الموجة عموديا بالحائط

الشدة الصوتية (I) هى الطاقة الساقطة على وحدة المساحات فى الثانية .

$$\therefore I = P \text{ v} \quad \text{watt/m}^2$$

الضغط $= P \text{ nt/m}^2$

سرعة الصوت فى الهواء 343 m/sec.

$$\therefore \quad P = \frac{I}{v} = \frac{10}{343} = 0.0292 \text{ nt/m}^2$$

$$\therefore \quad F = PA = 0.0292 \times 10 = 0.292 \text{ nt}$$

٥ — أحسب شدة الصوت فى الهواء فى معدل الضغط ودرجة الحرارة إذا كان التردد 800 sec^{-1} والسعة 0.001 cm

كثافة الهواء فى معدل الضغط ودرجة الحرارة 0.001293 gm/cm^3

سرعة الصوت فى الهواء 331 m/sec

$$I = 2\pi^2 f^2 A^2 \rho v$$

$$= 2 (3.14)^2 (800)^2 (10^{-8})^2 (0.001293) (33100)$$

$$= 540 \text{ erg/sec. cm}^2$$

$$= \frac{540}{10^7} = 54 \times 10^{-6} \text{ watt/cm}^2$$

٦ — قارن بين شدة الصوت فى الهواء وشدته فى الماء فى الحالتين :

ا — إذا كان الضغط الصوتى واحدا فى كل منهما .

ب — إذا كان كل من التردد والسعة متساو فى كل منهما .

علما بأن فى معدل الضغط ودرجة الحرارة :

كثافة الهواء $\rho = 1.21 \text{ Kgm/cm}^3$

كثافة الماء $= 998$,, ,,

سرعة الصوت فى الهواء

$$v = 343 \text{ m/sec}$$

سرعة الصوت فى الماء

$$= 1480 \text{ m/sec.}$$

(ا) المانعة المميزة للهواء

$$\rho c = 1.21\ (343) = 415 \text{ rayls}$$

المانعة المميزة للماء

$$= 998\ (1480) = 1.48 \times 10^6 \text{ rayls}$$

ولكن $$I = \frac{P^2 \text{ r.m.s}}{\rho c}$$

$$\therefore \quad \frac{I \text{ air}}{I \text{ water}} = \frac{1.48 \times 10^6}{415} = 3560$$

(ب) $$\frac{I \text{ water}}{I \text{ air}} = \frac{\frac{1}{2}\ (\rho c \omega^2 A^2) \text{ water}}{\frac{1}{2}\ (\rho c \omega^2 A^2) \text{ air}}$$

$$= \frac{(\rho c) \text{ water}}{(\rho c) \text{ air}}$$

$$= \frac{1.48 \times 10^6}{415} = 3560$$