



EL RELLOTGE DE QUARS

1,1 Introducció.

Els aparells utilitzats al llarg de la història per a la mesura del temps els podem classificar en dos grups: a) Els que es basen en un fenomen periòdic, com ara els rellotges de pèndol, els de molla elàstica, els de diapasó metàl·lic, els de quars i els atòmics. En aquests models la mesura del temps es fa comptant oscil·lacions que es repeteixen regularment. b) Els que utilitzen fenòmens no periòdics per als quals s'ha determinat, empíricament o estadística, la seva relació amb el temps, com el rellotge d'arena o els de desintegració radioactiva. Actualment el rellotge de quars ha desplaçat els anteriors sistemes d'oscil·lació mecànica degut a la seva senzillesa i elevada precisió, que pot arribar a uns trenta segons per any, superant netament els de diapasó metàl·lic i els de molla espiral més sofisticats. Les característiques del rellotge de quars el fan interessant des de diferents punts de vista: com a aparell de mesura de precisió, com a integrant d'una sèrie d'oscil·ladors mecànics als que podem aplicar els conceptes de freqüència i període, com a emissor de senyals elèctrics, que podem utilitzar per una introducció a l'ús de l'oscil·loscopi i per explicar el fenomen de la piezoelectricitat. A totes aquestes concrecions, utilitzables a nivell elemental, hi podem afegir l'interès de ser un objecte d'ús personal ben generalitzat.

1,2 La piezoelectricitat al cristall de quars.

És conegut el fet que algunes estructures cristal·lines, per efecte d'accions mecàniques aplicades en determinades direccions manifesten una polarització elèctrica superficial. Inversament, aquestes estructures poden deformar-se elàsticament si se sotmeten a un camp elèctric adequat. L'efecte piezoelectric i el seu invers, l'electrostricció, es donen al cristall de quars en les direccions dels eixos mecànics Y, perpendiculars a les cares del prisma hexagonal, i en les direccions dels eixos elèctrics X, perpendiculars als anteriors. A les figures 1-7 es poden observar aquests efectes sobre una placa de quars tallada en cares X.

1,3 L'oscil·lador de quars.

Quan a dos electrodes situats sobre les cares de la placa de quars s'aplica una tensió alterna, el cristall vibra forçadament. Si la freqüència d'excitació coincideix amb la pròpia del cristall, s'obté un sistema ressonador. Aquesta freqüència, que depèn del gruix de la placa (fig. 3), serà igual a mitja longitud d'ona (ones estacionàries):

$$e = \frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2\nu}$$

on v és la velocitat de les ones al quars, 5×10^5 cm/s. Aquest sistema ressonador té un elevat factor de qualitat, necessitant, per tant, poca energia de manteniment (corba de ressonància estreta).

$$Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E}$$

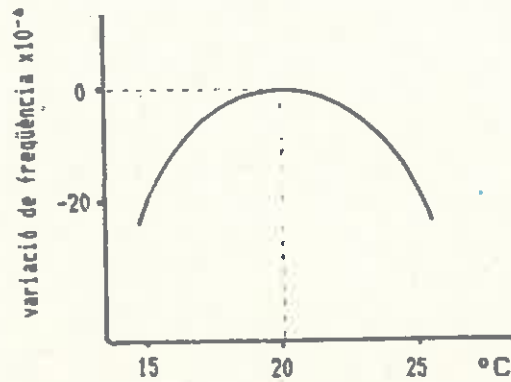
on E és l'energia total del sistema oscil·lant i ΔE , l'energia perduda per cicle.



1,4 El rellotge de quars analògic.

La freqüència del cristall pot tenir diversos valors segons la forma que es talli, les dimensions i el tipus d'oscil·lació. Els valors usuals són 4194304 Hz en plaques rectangulars i 32768 Hz en la forma diapasò. Aquesta freqüència varia amb la temperatura, presentant un màxim o punt d'inversió. Tallant el cristall a un cert angle es fa que el valor màxim correspongui a la temperatura normal d'utilització. Així, les variacions a una i altra banda fan un efecte compensador (figura 8).

Fig. 8



La capacitat del circuit també influeix (figures 9-10). Un condensador variable, C_g , permet ajustar amb precisió la freqüència.

Fig. 9

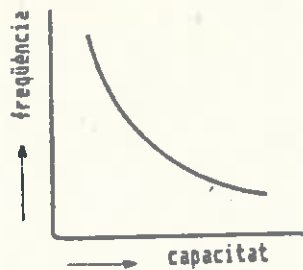
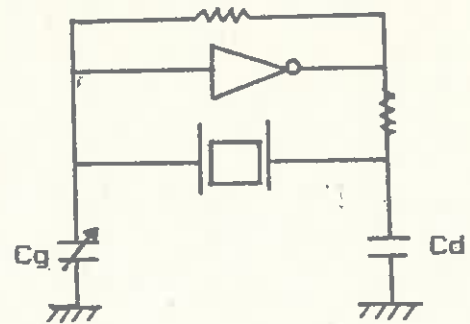


Fig. 10

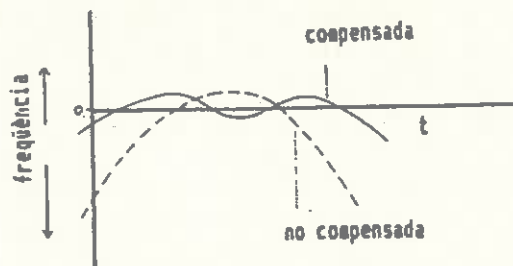


Un condensador ceràmic, C_d , augmenta la zona de compensació tèrmica (figures 11-12). En alguns s'hi pot trobar un condensador electrolític per protegir el circuit dels impulsos del motor.

Fig. 11



Fig. 12





El comportament mecànic de l'oscil·lador de quars és comparable a un circuit RCL (figures 13-14) on la inductància L correspon a la massa en vibració; la capacitat C, a la inversa de l'elasticitat mecànica i la resistència R, al coeficient, d'amortiment mecànic. C_0 representa la capacitat estàtica entre els electrodos i capacitats paràsites entre blindatge, conductors i electrodos. L'energia la proporciona una pila a través de l'amplificador. El circuit oscil·lador es completa amb una resistència elevada en paral·lel, que dóna un petit corrent per iniciar el moviment, i una resistència limitadora, per protegir el cristall en ressonància (figura 10).

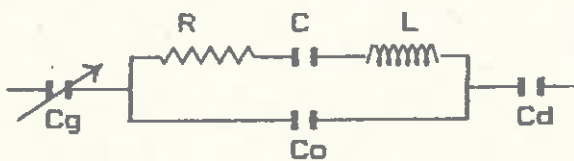


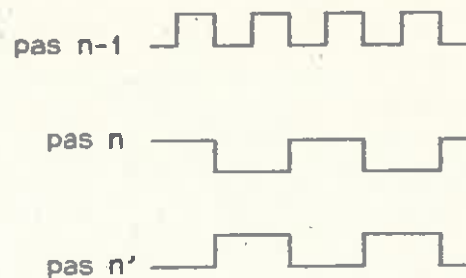
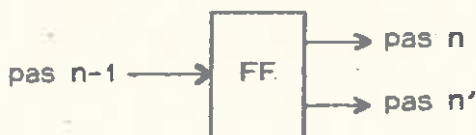
Fig. 13. Circuit equivalent.



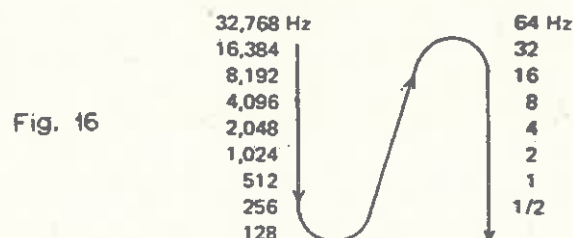
Fig. 14. oscil·lador de quars..

L'amplificador està integrat en un circuit C-Mos, juntament amb el sistema reductor. Prèviament es converteix l'ona sinusoidal en ona quadrada en un disparador de Schmitt. Després l'ona passa per successius divisors fins a 1 Hz. Així, l'oscil·lador de 32768 Hz necessita 15 divisors ($32768=2^{15}$) per obtenir-ne 1 Hz. En realitat són 16 divisors que donen 0,5 Hz per passar alternativament a la bobina del motor. El divisor de freqüència és un comptador binari (flip-flop) que se simbolitza a la figura 15.

Fig. 15



La divisió successiva de freqüències queda reflectida a la figura 16.





Després del pas 16 s'obté una altra sortida, el pas *16, de la mateixa freqüència però desfasada. Ambdues senyals actuen sobre circuits AND, tal com es mostra a les figures 17 i 18.

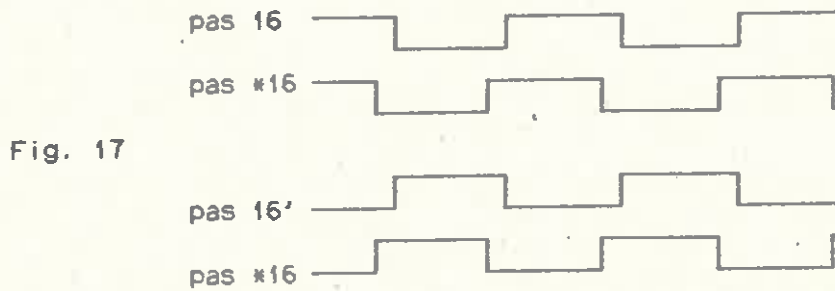


Fig. 17

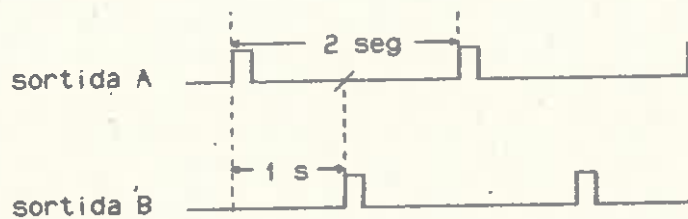
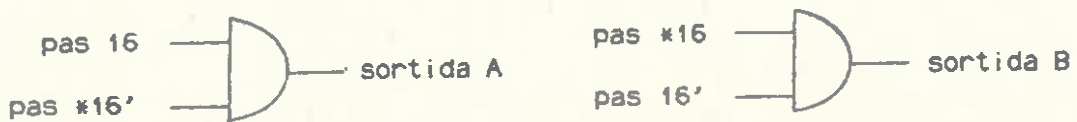


Fig. 18

Aquestes dues sortides arriben als extrems del motor a través de senyals amplificadors. La bobina rep pulsos alterns cada segon (fig. 19).

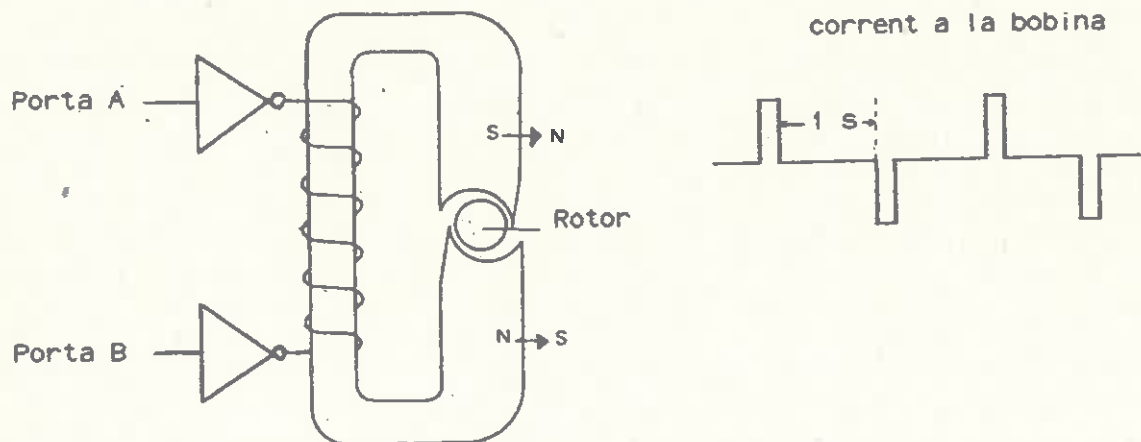
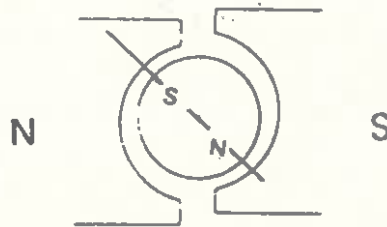


Fig. 19



Els braços del motor, de material ferromagnètic, envolten el rotor que és un imant permanent de dos pols (o de sis). Al ritme de l'impuls elèctric alternat que arriba al motor cada segon, el rotor és obligat a girar 180° (30° si és de sis pols). L'acabament asimètric dels braços del motor i la posició excèntrica de l'imant fan que, a cada moviment, aquest quedi equilibrat en una posició favorable al següent impuls magnètic. La part posterior del rotor està dentada de manera que el seu moviment passa al tren d'engranatges. Com que la precisió, en aquest cas, ve donada per l'elevada freqüència del quars, aquests engranatges són de material ben senzill, a diferència dels utilitzats en rellotges mecànics d'espiral o diapasó, que requereixen un elevat grau de perfecció mecànica (fig. 20).

Fig. 20



2 Descripció del model.

El model s'ha fet a partir de quatre màquines per tal de poder observar dues freqüències d'oscil·lació diferents del cristall de quars, dues freqüències més baixes amb ona quadrada, alguna de les quals s'utilitza com a alarma, els impulsos del motor i dos moviments de rotor, a 180° i a 60°. Una de les màquines es presenta amb els engranatges i les agulles corresponents a hores, minuts i segons. Com a font d'alimentació adequada s'ha triat una pila LR 20 de 1,5 V, ja que és més fiable que una font d'alimentació per transformador. Un condensador electrolític de 220 µF estabilitza el corrent subministrat a cada màquina, que pot acusar els impulsos respectius. Per a les sortides d'ona quadrada s'ha disposat un amplificador per tal que es puguin sentir a través d'un altaveu de 50 Ω. Aquest amplificador s'ha fet amb dos transistors BC 337.

Les sortides s'han fet de colors diferents per identificar-les fàcilment: el blau correspon a la freqüència dels oscil·ladors, el verd a l'ona quadrada, el groc al motor, el gris a l'amplificador i el negre al negatiu o massa del circuit. El consum dels circuits C-Mos és insignificant, de forma que la pila podria durar més d'un any en funcionament continu. L'amplificador, però, consumeix uns 40 mA i, per això, convé desconnectar-lo quan no s'utilitzi. La seva connexió queda assenyalada amb un led.

3 Utilització.

Cal disposar d'un oscil·loscopi amb base de temps, per tal de poder mesurar els valors de les freqüències. Tanmateix, si no té base de temps, es podran observar els impulsos alterns del motor i les dues classes d'ones, sinusoidals i rectangulars, que es produeixen al circuit. Convé triar l'entrada a l'oscil·loscopi per corrent continu.



a) Impulsos del motor: desconnecteu la freqüència de passada horitzontal (X exterior), i centreu el punt lluminós a la pantalla. Connecteu a l'entrada vertical Y les dues sortides grogues. Variant l'amplitud vertical s'observarà una ràpida pulsació alternada, cada segon, coincident amb el moviment del rotor. El corrent observat a la pantalla és el que produeix un camp magnètic altern a la bobina, que obliga a girar el rotor. El camp magnètic pot apreciar-se atansant una brúixola (la dels equips d'Enosa serveix) a un extrem de la bobina. L'agulla magnètica oscil·larà al mateix ritme. Si ara ho passem amb un valor de la base de temps, de 500 ms/div. per exemple, observarem l'evolució dels impulsos a la pantalla coincidents amb les divisions de la quadricula.

b) Freqüència de l'oscil·lador de quars: connecteu el positiu de l'oscil·loscopi a una sortida blava i el negatiu a massa. Seleccioneu la freqüència horitzontal de manera que les ones de la pantalla es vegin bé i se'n pugui comptar una bona quantitat en un nombre sencer de divisions. Si calculem la freqüència obtindrem valors propers a 33 KHz o 4,2 MHz, que són, aproximadament, els dos valors de les freqüències que hi ha. Cal tenir en compte que l'oscil·loscopi no té la precisió d'un freqüencímetre.

c) Ones rectangulars: les tenim en una de les potes del circuit integrat. Inicialment era una sortida de prova d'aquests circuits. Posteriorment va utilitzar-se per a l'alarma. Així hi ha freqüències des de 64 a 2048 Hz. Aquesta última és la que s'utilitza com a alarma i va a la base d'un transistor que pot trobar-se integrat al mateix circuit o bé al petit altaveu. El senyal surt mesclat, a través d'un circuit AND, amb el de 4 o 8 Hz, efecte que s'aprecia a la pantalla ja que l'ona "tremola". Si el transistor és polaritza convenientment a intervals regulars se n'obté el so característic. Aquestes ones es poden observar connectant els terminals de l'oscil·loscopi a les sortides verdes i a massa. Calculada la freqüència obtindrem, probablement els valors arrodonits. Si ara connectem la sortida d'una d'aquestes ones a l'entrada de color gris podrem sentir el so corresponent. Aquesta mateixa prova feta amb les ones produïdes per la vibració del quars no donen una resposta sonora ja que les freqüències corresponen als ultrasons. El cristall de quars s'utilitza també per obtenir ultrasons.

4 Aplicació.

Aquestes observacions, juntament amb les explicacions que es considerin adients sobre la piezoelectricitat i el rellotge de quars, es poden utilitzar a propòsit de l'estudi dels moviments periòdics, ja a partir del moviment circular uniforme. Com s'ha esmentat, poden servir per explicar el funcionament i l'ús de l'oscil·loscopi, amb el càlcul de freqüències. També són apropiades com a referència a altres aplicacions de l'oscil·lador de quars, com la producció d'ultrasons o l'emissió d'ones de radiofreqüència. Les ones sinusoidals i rectangulars que s'observen a l'oscil·loscopi es poden comparar amb les que s'obtenen amb un diapasó, a través d'un micro (o petit altaveu que en faci la funció), i un petit piano elèctric, connectant l'altaveu en paral·lel a l'entrada de l'oscil·loscopi. El comportament d'una brúixola prop d'una bobina amb nucli, fent-hi passar el corrent continu d'una pila o el corrent altern de 50 Hz, també es pot utilitzar com a observació comparativa.



Bibliografia

- J. Català, *Física General*, cinquena edició, p 442 i 443, València, Saber, 1972.
- C. Kittel i altres, *Berkeley Physics Course*, Vol. 1, p 211, Reverté, Barcelona 1968.
- H. Lecoultre i A. Jiménez, *Manual de Relojería Electrónica i de Cuarzo*, Viladrau, Cedel, 1978.
- SEIKO, *Conocimientos Teóricos sobre los Relojes Seiko Quartz*, Dist. General de Relojeria S.A. (Geresá), Barcelona.

Vicent Loscos i Solé.

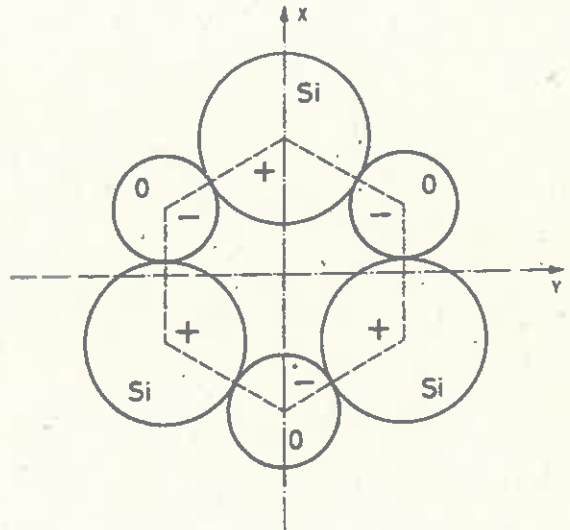
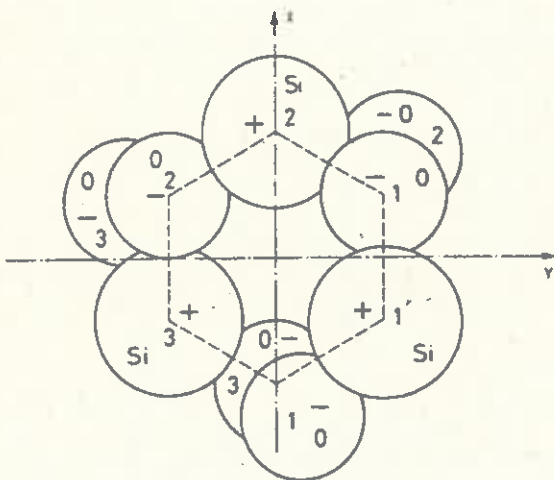
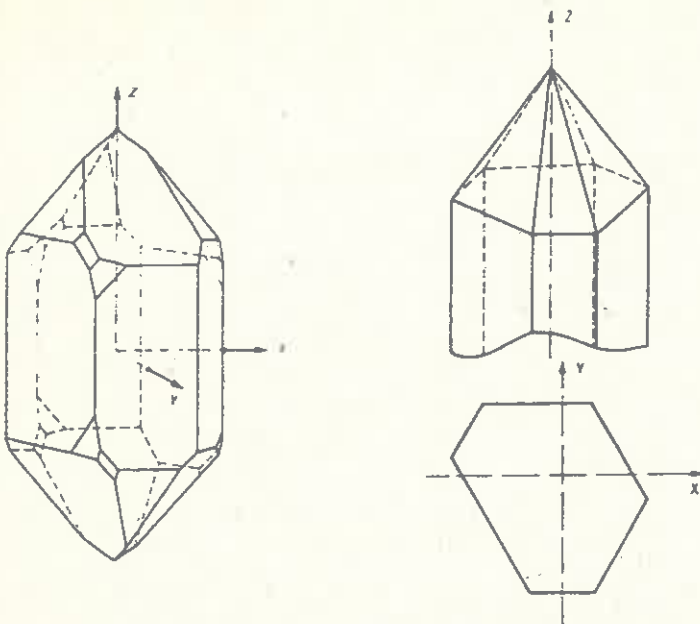


Fig. 4. Reticle estructural del quars.

Fig. 5. Reticle simplificat.

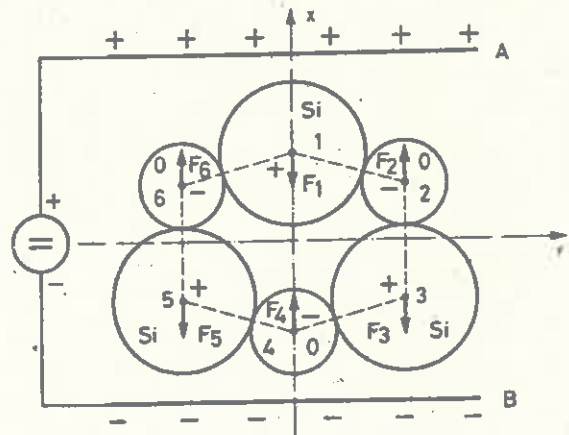
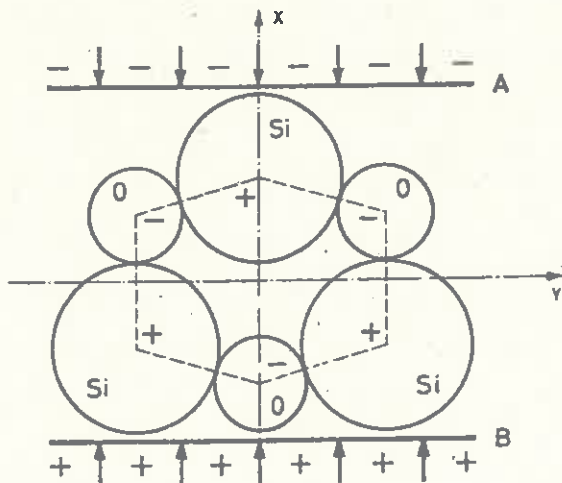


Fig. 6. Efecte piezoelèctric directe.

Fig. 7. Efecte piezoelèctric invers.