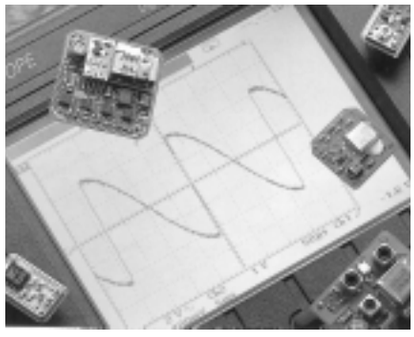
발진회로의 완전 마스터



3 수정 발진회로의 기초와 응용

大隅 明/小柳津 泰夫

수정 진동자

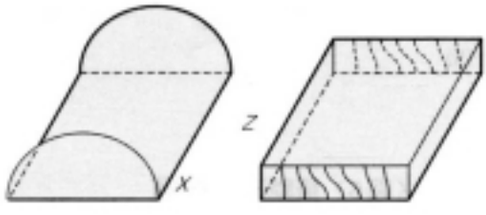
1880년에 프랑스의 큐리 형제는 결정판에 압력을 가하면 양면에 역극성의 전하가 발생하는‘ 압전 효과 ’를 발견했다.

또 1881년에 리프만이 결정판에 전계를 걸면 기계적인 변형 또는 힘이 발생하는‘ 역압전 효과 를 예상했으며 그 해 말에 큐리 형제의 실험에 의해 확인되었다. 수정 진동자는 수정의‘ 압전 효과 와‘ 역압전 효과 를 이용하고 있다. 수정은 다른 결정에 비해 Q가 높아 안정된 진동이 얻어지기 때문에 수정 진동자는 옛부터 무선통신에는 없어서는 안될 전자 부품이다. 최근 디지털 기기에서도 불가결한 것으로 되고 있다.

수정 진동자의 용도와 특징

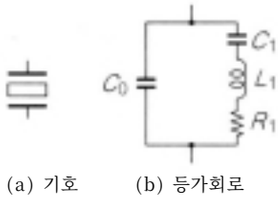
● 수정 진동자의 용도

수정 진동자는 그 주파수 안정성을 활용하여 통신기



(a) 전하 분포 모델 (b) 진동 편위 모델

그림 1. AT 컷 수정판의 모델



(a) 기호 (b) 등가회로

그림 3. 수정 진동자의 등가회로

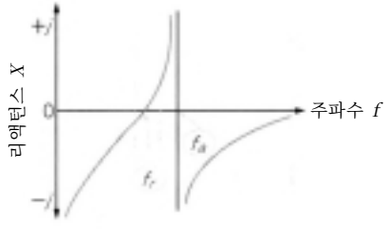
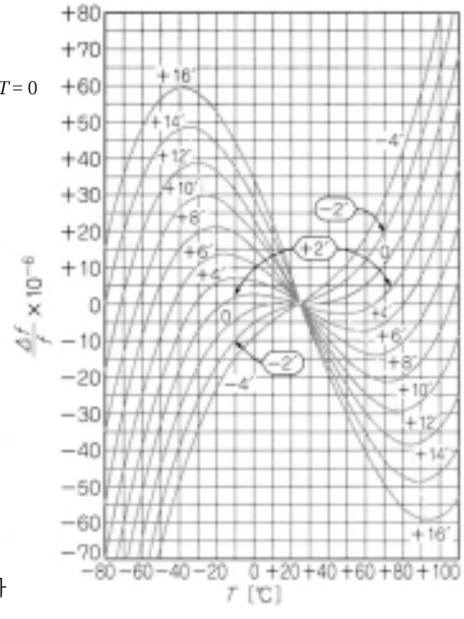


그림 4. 수정 진동자의 등가 리액턴스의 주파수 특성

그림 2. AT 컷 수정의 컷각과 주파수의 온도 특성(점선은 $\Delta f/\Delta T=0$ 이 되는 온도의 궤적)



발진회로의 완전 마스터

기, 전자기기, 컴퓨터와 그 주변기기, 카 일렉트로닉스, 음향 영상기기, 시계, 완구 등의 신호원, 클록원으로서 이용되고 있다.

안정된 것으로는 방송국용의 고안정 발진기, 휴대전화의 로컬 오실레이터(발진기), 컴퓨터나 주변기기의 클록원, 게임기에도 이용되고 있다.

이러한 점에서 디지털 기기의 심장으로서, 또한 이동체 통신기기의 키 파트로서 활약하고 있다.

● 수정 진동자의 특징

▶ 인공 수정(水晶)으로 만들어지고 있다

옛날에는 브라질 등에서 수입한 수정 덩어리에서 잘라 내어 가공하고 있었지만 현재는 거의 100% 인공 수정을 이용하고 있다.

인공 수정의 원료는 라스카라 불리우는 수정의 작은 조각이다. 특수강제인 오토크레이브(autoclave)에 종(種) 수정을 매달아 용액에 침지하여 고온 고압으로 1개월 이상에 걸쳐 재결정화한다. 재결정화된 것이 인공 수정으로서, 이것을 웨이퍼 형상으로 가공하여 이용하고 있다.

때문에 천연의 수정에 비해 불순물이 적고 쌍정(雙晶)이라 불리우는 결정축이 서로 다른 부분도 없이 공업적으로 가공이 용이하여 재료의 낭비를 적게 할 수 있다.

▶세라믹 진동자와의 비교

수정이 Q가 높고 안정된 주파수를 유지할 수 있다. 또 넓은 온도 범위에서 주파수의 편차가 작은 특징을 지니고 있다. 수정의 Q는 수만에서부터 수십만이다. Q가 높다고 하는 것은 한 차례 진동하면 진동이 장시간 동안 감쇠되지 않고 계속 진동한다는 것을 의미하지만 실제로는 저항분의 손실에 의해서 감쇠되고 있다.

▶주로 AT 컷 수정판이 사용된다

수정 진동자는 수정의 컷각(角)에 따라서 온도 특성이 달라진다. 주로 사용되는 것은 두께 미끄럼 진동(thickness sliding vibration)으로 발진하는 AT 컷의 수정판이다.

그림 1(a)에 AT 컷 수정판의 전하분포 모델을, 그림 1(b)에 진동 편위 모델을 나타낸다.

AT 컷의 수정 진동자의 온도 특성(그림 2)은 3차 곡선에서 목적으로 하는 온도 범위에 들어 갈 수 있는 컷각을 선정한다.

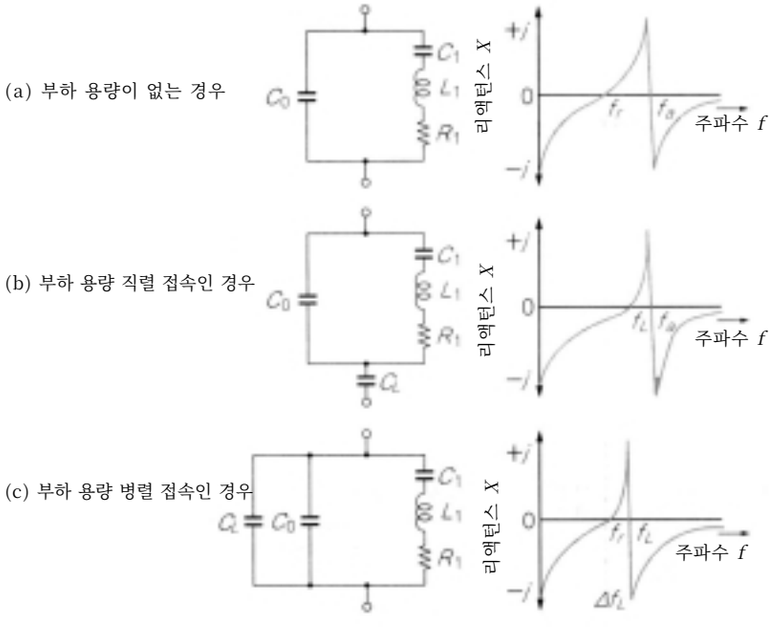
손목시계용으로서 사용되는 진동자는 +5°X 컷으로서, 음차형을 하고 있으며 온도 특성은 2차 곡선이다.

▶ 수정 진동자의 전기적 특성

그림 3(a)는 IEC나 JIS에서 결정된 전기기호이며, 그림 3(b)는 전기적 등가회로이다.

주파수 f_s는 L_1C_1의 직렬 공진으로서,

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$$



◀그림 5. 부하 리액턴스와 리액턴스 곡선

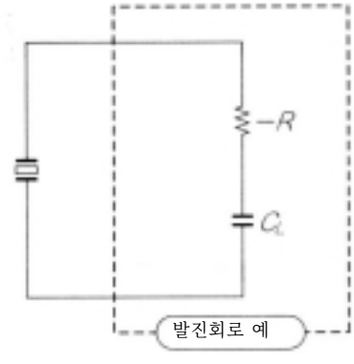


그림 6. 진동자와 발진회로의 관계

이며, Q는,

$$Q = \frac{2\pi f_s L_1}{R_1} = \frac{1}{2\pi f_s R_1 C_1}$$

로 표현된다.

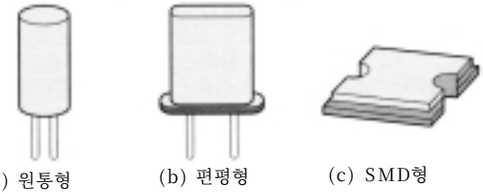
그림 4는 리액턴스 곡선이다. 공진점과 반공진점의 간격이 좁아 발진 주파수를 움직인다는 것은 곤란하다. 발진시키는 경우에는 거의 유도성 리액턴스로 사용하기 때문에 주파수 범위는 공진 주파수에 대하여 매우 좁아 거의 용량비는C_0/C_1로 결정된다. C_0은 전극간 용량이다.

그림 5에 수정 진동자에 용량성 리액턴스를 부하로 했을 때에 부하용량이 직렬과 병렬인 경우의 리액턴스 곡선을 나타낸다.

● 수정 진동자를 이용하기 위한 어드바이스

그림 6은 수정 진동자를 이용한 발진기의 개념도이다. 부성(負性) 저항 $-R$과 부하용량 C_L로 표현한다.

부성 저항 $-R$이 클(깊을)수록 발진이 용이해 진다.



(a) 원통형 (b) 편평형 (c) SMD형

그림 7. 대표적인 수정 진동자의 외형

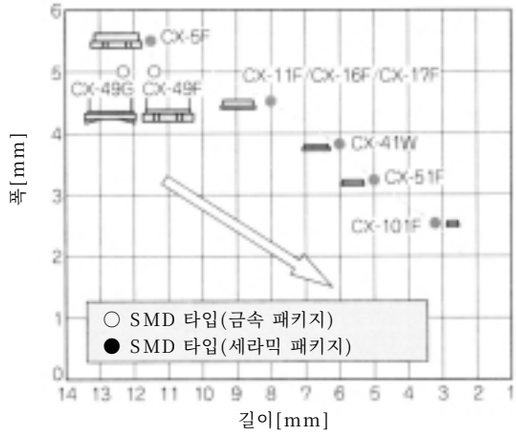


그림 8. 가전용 SMD형 수정 진동자의 추이

또 부하 용량 C_L은 수정 진동자의 발주시에 중요한 요소이다.

수정 진동자를 안정된 주파수로 이용하기 위해서는 먼저 목적하는 주파수에 맞추기 위한 어려움이 발생된다. 시판되고 있는 수정 진동자는 공칭주파수는 알 수 있지만 부하 용량을 알 수 없기 때문에 VCXO와 같이 주파수를 어느 정도 가변하기 위해서는 전극을 바꾸는 등, 수정 진동자의 설계를 바꾸지 않으면 안된다.

수정 진동자의 종류

● 형상에 따른 수정 진동자를 분류

그림 7에 대표적인 수정 진동자의 외형을 나타낸다.

그림 7(a)는 원통 형상의 리드형이다. 발진 주파수는 32.768kHz에서 시계용으로 널리 사용되고 있다.

그림 7(b), (c)와 같이 AT 컷의 1M~150MHz의 수정 진동자는 리드형과 표면 실장용의 SMD형이 있다. 최근에는 SMD형이 주류를 이루고 있어 외형도 점점 경량₩소형화되고 있다.

SMD형 수정 진동자에는 의사 SMD형과 세라믹 패키지형이 있다.

의사 SMD형인 CX-49F, CX-49G는 키가 낮은 리드형 수정 진동자(HC-49/U-S)를 이용하여 SMD형으로 하고 있다. 세라믹 패키지형에서도 소형화가 진행되어 봉지방법도 저융점 유리 봉지에서 심 용접이 일반적으로 되고 있다.

그림 8는 가전용 진동자, 그림 9는 산업용 진동자인

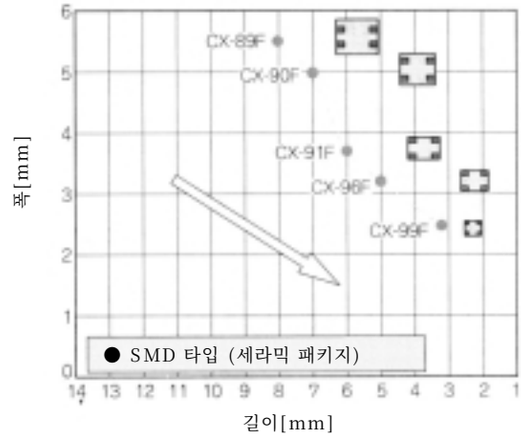
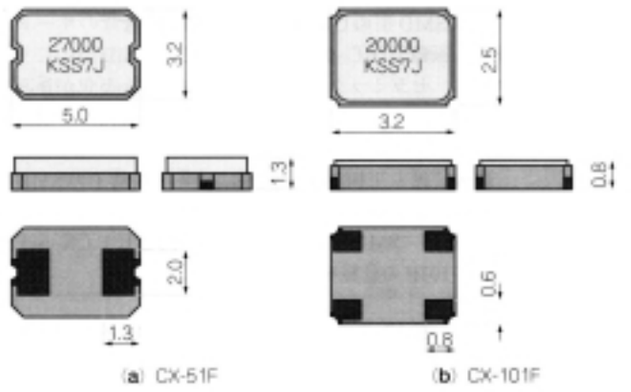


그림 9. 산업용 SMD형 수정 진동자의 추이

발진회로의 완전 마스터



(a) CX-51F (b) CX-101F

형 명	CX-51F	CX-101F
발진 주파수[MHz]	20~47	
동작 온도 범위[℃]	−10~+60	
주파수 편차(@25℃)	±30, ±50, ±100 (×10^{-6})	
주파수 온도 특성	±30, ±50, ±100 (×10^{-6})	
부하 용량[pF]	12	
등가 직렬저항 [Ω]	100	
외형 치수 [mm]	5.0×3.2×1.3	3.2×2.5×0.8

(c) 주된 사양

그림 10. CX-51F와 CX-101F의 외관과 사양

표 1. 수정 진동자 발주서의 기록방법

1.	형명	
2.	공칭 주파수	_____ MHz
3.	오버톤 차수	_____
4.	주파수 편차	_____ × 10^{-6} MAX. (@25℃)
5.	주파수 온도 특성	_____ × 10^{-6} _~_ ℃
6.	등가 직렬저항	_____ Ω MAX.
7.	부하 용량(C_L)	_____ pF
8.	여진 레벨	_____ mW
9.	병렬 용량(C_o)	_____ pF MAX.
10.	기타 요구사항	_____
11.	표시	_____
12.	용도	_____

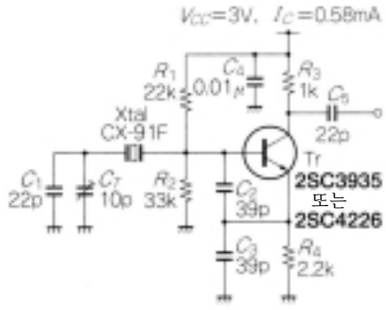


그림 11. 트랜지스터에 의한 기본파 발진회로 (10M~40MHz)

SMD형 수정 진동자 외형의 한 예로서, CX-51F와 CX-101F의 사양을 소개한다.

수정 진동자를 구입할 때 주의사항

수정 진동자를 주문하는 경우, 다음과 같은 점을 지정할 필요가 있다. 표 1은 주문서의 예이다.

(1) 형명에서 수정 진동자의 외형을 지정한다

수정 진동자를 선정할 때에 외형을 결정해야 한다. 메이커의 카탈로그를 참조하여 선정한다.

(2) 공칭 주파수(중심 주파수)

필요로 하는 주파수의 중심값을 지정한다.

(3) 오버톤 차수

기본파로 사용할 것인가, 오버톤으로 사용할 것인가를 지정한다. 오버톤으로 사용하는 경우는 차수(次數)를 지정한다.

수정 진동자에는 만들기 쉬운 주파수와 만들기 어려운 주파수가 있다. 높은 주파수는 시간이 걸리기 때문에 오버톤으로 하는 편이 만들기가 용이하다. 또 오버톤으로 하면 가변폭이 작아지게 되는 이점이 있다. 낮은 주파수는 회로측에서 분주하여 얻어지기 때문에 수정 진동자를 만들기 쉬운 주파수를 선정하는 것이 경제적이다.

(4) 주파수 편차

25℃에서의 주파수 편차를 지정한다. 메이커는 제작시에 최종적으로 의도하는 주파수 편차를 조정한다. 이 값을 작게 하면 가격이 높아진다.

(5) 주파수 온도 특성

사용 온도 범위의 주파수 변화량을 지정한다. AT 컷 수정 진동자인 경우, 3차 곡선의 온도 특성을 지니고 있으므로 그림 2와 같이 컷각에 의해서 적절한 온도 특성을 선정한다. 사용하는 온도 범위를 결정하고 그 온도 범위와 온도 특성을 지정한다.

(6) 등가 직렬저항

이 값이 작을수록 발진이 용이하게 되지만 거기에는 한도가 있다. 주파수대에 따라 달라지므로 최대값은 ' JIS 규격 C6701(표 9) 의 등가 직렬저항의 최대값을 참고로 하기 바란다.

(7) 부하 용량

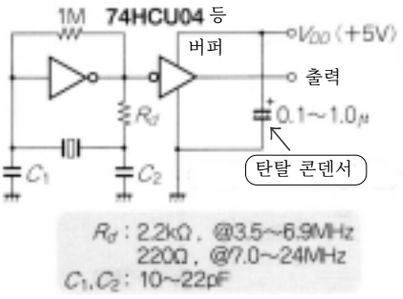


그림 12. CMOS 로직 IC에 의한 기본파 발진회로

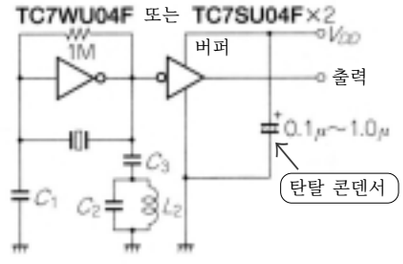


그림 13. CMOS 로직 IC에 의한 오버톤 발진회로

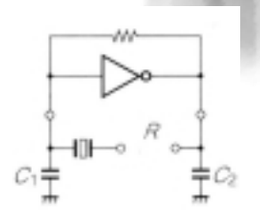


그림 14. 체크용 저항을 직렬로 접속하는 방법

표 2. 체크용 저항의 값

주파수 범위 [MHz]	저항값[Ω]
3.5 — 4.5	1.5 k
4.6 — 6.0	1.0 k
6.1 — 10.0	750
10.1 — 14.0	500
14.1 — 20.0	400

수정 진동자측에서 회로를 보았을 때의 용량을 말하는 것이다. 부하 용량을 지정하지 않으면 공칭 주파수로 발진되지 않는다.

부하 용량의 지정이 없으면 트리머 콘덴서 등으로 주파수를 맞출 때의 조정도 곤란하다. 또한 부하 용량의 중심값을 몇 개로 할 것인가도 지정한다. 특히 부하 용량이 작아지면 용기나 부유 용량의 영향으로 발진 주파수의 오차가 커지게 돼 버린다.

일반적으로 12p~16pF가 표준적인 부하 용량이다.

(8) 여진 레벨

최근의 회로는 여진 레벨을 낮게 하는 경향이 있지만 너무 낮게 하면 발진을 개시하지 않는 경우가 있기 때문에 발진 개시시에는 높게 하여 통상 발진으로 한 다음에 낮은 레벨이 되는 회로가 이상적이다. 여진 레벨이 너무 높으면 주파수가 안정되지 않는 경우가 있다.

(9) 병렬용량 C_0

AT 컷인 경우, 병렬 용량 C_0은 거의 전극간 용량으로 된다. 주파수 가변폭을 필요로 하는 경우에는 지정을 해야한다.

(10) 지정 회로

발진회로가 결정되어 있는 경우에는 제시한다. 일반용으로서 그림 11, 13에 회로 예를 나타낸다.

회로의 발진 마진(여유도)을 조사하는 경우, 제작한 회로에 수정 진동자를 접속한다. 이때 수정 진동자와 직렬로 체크용 저항을 접속하는 방법(그림 14)이 있다. 특히 전원전압을 변화시킨 다음에 기동하여 확인한다. 물론 회로 체크를 한 다음에는 체크용 저항은 벗겨낸다. 체크용 저항값을 표 2에 나타낸다.

안정된 발진회로로 하기 위해서는 회로의 부성저항은 수정 진동자의 등가 직렬저항에 대한 규격값의 5배 이상이 되도록 설계한다.

(11) 표시

수정 진동자의 공칭 주파수를 표시하는 경우, 기본파용에는 kHz 단위, 오버톤용에는 MHz 단위로 표현한다는 것을 원칙으로 하고 있다. 이 밖에 제조자 기호, 로트 번호를 표시하고 있다.

(12) 용도

자동차 적재용이거나 의료기기용 등의 특수한 용도인 경우에는 동작을 보증할 수 없는 경우가 있기 때문에 미리 제조자와 합의를 해야 한다.

수정 진동자의 취급상의 주의

(1) 수송시의 진동 충격

무른 수정판의 박편이기 때문에 진동이나 충격으로 인하여 파괴되는 경우가 있으므로 조심하여 취급하기 바란다.

(2) 실장시

금속 용기는 접지하지만 금속 용기에 직접 납땜해서는 안된다. 열 충격으로 인하여 특성이 열화되거나 발진되지 않게 되는 수가 있다. 접지 전용의 재킷이나 접지 단자붙이의 용기가 있다. 그밖에 여진 레벨이나 회로와의 매칭에 주의하기 바란다.

<大隅 明>

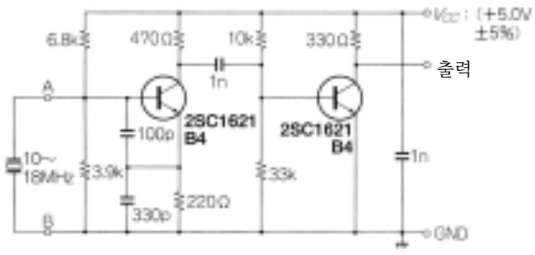


그림 15. 수정 발진회로 예 ①

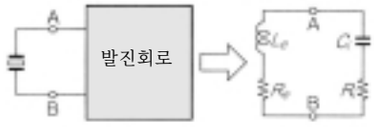


그림 17. 수정 발진회로의 등가회로

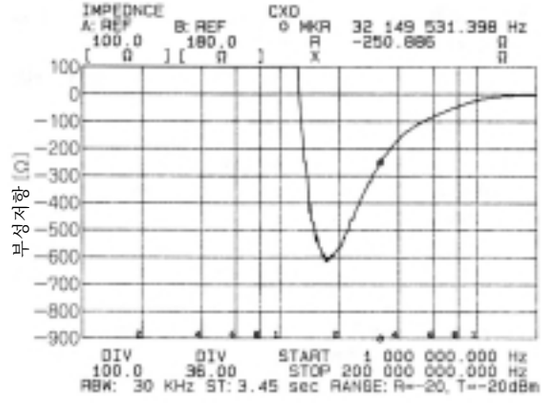


그림 19. HCMOS 로직 IC에 의한 수정 발진기의 부성저항의 주파수 특성

수정 발진기의 사용방법

수정 발진기는 수정 진동자와 발진회로를 내장하고 있다. 전원을 공급하여 부하만 접속하면, 통신, 정보처리 시스템 등에서 필요한 $\pm 1\times10^{-4}$ ~ $\pm 2\times10^{-9}$ 정도의 안정된 주파수 편차의 신호를 인출한다.

수정 진동자는 저항, 콘덴서 등의 수동 소자에 비해 규격이나 제특성이 복잡하다. 때문에 필요로 하는 주파수나 주위 환경조건, 발진회로 방식 등의 차이에 따라 설계상 주의점이 달라진다. 때문에 안정되게 발진시키는 것이 비교적 어려운 전자 부품이다.

그래서 일부의 양산품을 제외하면 수정 진동자를 구입해 발진회로의 설계와 조합하여 시험 및 품질관리를

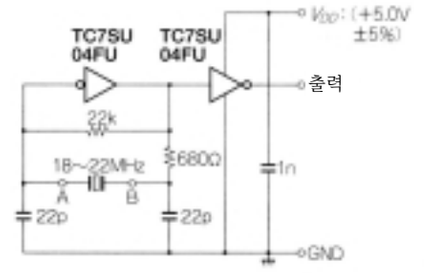


그림 16. 수정 발진회로 예 ②

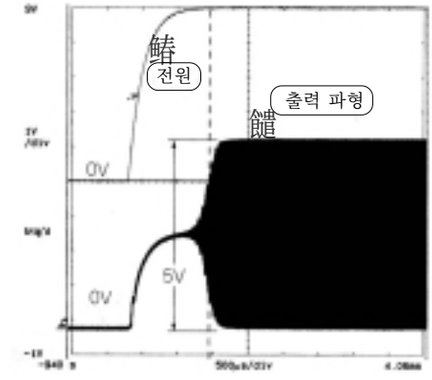


그림 18. 발진 개시시의 진폭 변화

표 3. 수정 발진기의 분류

기본 디바이스 \ 기능	발진기능		주파수 전압 제어기능 부가	
수정의 특성을 그대로 이용	SPXO		VCXO	
주파수 온도 특성을 보상하여 이용	TCXO	직접보상	VC-TCXO	직접보상
		간접보상		간접보상
	DTCXO	디지털 보상	VC-DTCXO	디지털 보상
항온조 속에서 온도제어하여 이용	OCXO		VC-OCXO	

자사에서 시행하는 것보다도 메이커에서 수정 발진기를 구입하게 하는 편이 가격 면에서 유리하다.

수정 발진기의 동작원리

그림 15, 16과 같은 수정 발진회로에 관하여 발진하는가의 여부를 결정하는 진폭조건과 발진 주파수를 결정하는 위상조건을 검토해 보기로 한다.

수정 진동자와 수정 발진회로의 등가 상수를 검토하기 위해 그림 17과 같이 분해하면 수정 진동자는 등가 인덕턴스 L_e와 등가저항 R_e로 되고 수정 발진회로는 등가 입력 용량(부하 용량) C_i와 등가 입력저항(부성저

항) R_i로 된다.

여기에서 위상조건,

$$\omega L_e - \frac{1}{\omega C_i} = 0$$

에서 발진 주파수 $f = 1/(2\pi\sqrt{L_e C_i})$가 결정된다.

진폭조건 $R_e \leqq |R_i|$에 관해서는 발진 개시의 작은 신호시에 회로측의 부성저항 R_i는 등가저항 R_e보다 충분히 큰 값으로 할 필요가 있다. 일반적으로는 R_i는 R_e의 3~10배의 값이 되도록 설계한다.

그림 18에 발진 개시를 할 때의 진폭의 변화를 나타낸다. 그림 19는 HCMOS 로직 IC에 의한 수정 발진기의 부성저항 R_i의 주파수 특성이다.

수정 발진기의 기능별 분류

수정 발진기는 수정 진동자의 공진회로의 Q 값이 높은 성질을 이용하여 정확한 주파수의 신호를 얻고 있다.

● 주파수 안정도로 분류

수정 발진기는 주파수 안정도의 차이로 표 3과 같이 분류된다.

주파수를 안정화하는 방식으로는,

(1) 수정 진동자의 특성을 그대로 이용한다

(2) 온도 특성을 보상하여 이용한다

(3) 온도를 일정하게 제어하여 이용한다

등이 있다. 또한 외부 전압에 의한 발진 주파수의 전압제어 기능을 부가한 것도 있다.

표 4에 수정 발진기의 동작 온도 범위와 주파수 안정도를 나타낸다. 표에서 알 수 있듯이 필요한 주파수 안정도에서 발진기의 종류가 결정된다.

● 수정 진동자의 특성을 그대로 이용한다

주파수 편차가 $\pm 3\times10^{-6}$~$\pm 100\times10^{-6}$의 사양에서

표 4. 수정 발진기의 종류, 동작 온도 범위와 주파수 안정도

발진기의 종류	동작 온도 범위[℃]	주파수 안정도[$\times 10^{-6}$]															
SPXO VCXO	0~+50												±3	±5	±10	±50	±100
	−10~+60													±5	±10	±50	±100
	−20~+70														±10	±50	±100
	−30~+80															±50	±100
	−40~+90															±50	±100
	0~+70														±10	±50	±100
TCXO	0~+50								±0.3	±0.5	±1	±2					
	−10~+60									±0.5	±1	±2	±3				
	−20~+70										±1	±2	±3	±5			
	−30~+80											±2	±3	±5			
	−40~+90											±2	±3	±5			
OCXO	0~+50	±0.002	±0.005	±0.01	±0.02	±0.05											
	−10~+60		±0.005	±0.01	±0.02	±0.05	±0.1										
	−20~+70			±0.01	±0.02	±0.05	±0.1	±0.2									

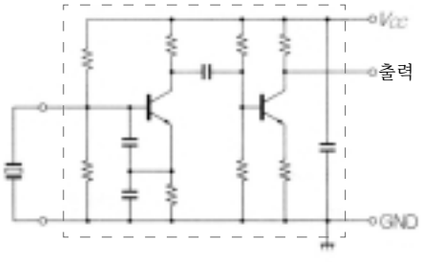


그림 20. SPXO의 블록도

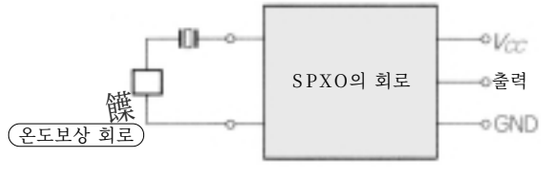
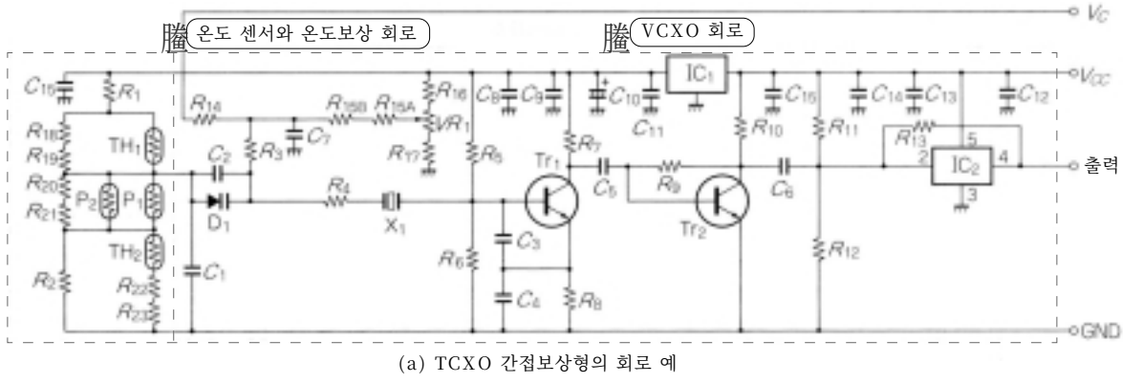
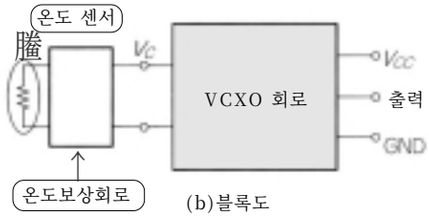


그림 21. 직접보상 방식인 TCXO의 블록도

발진회로의 완전 마스터



(a) TCXO 간접보상형의 회로 예



(b)블록도

그림 22. 간접보상 방식인 TCXO의 블록도와 회로

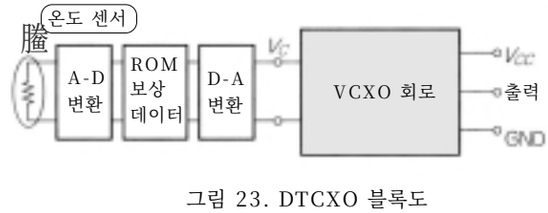


그림 23. DTCXO 블록도

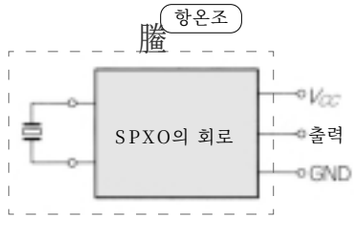


그림 24. OCXO의 블록도

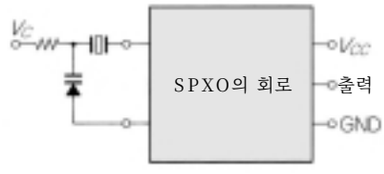


그림 25. VCXO의 블록도

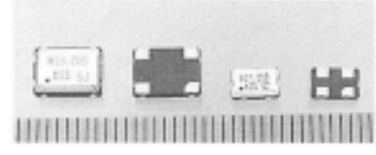


사진 1. SMD 타입의 SPXO

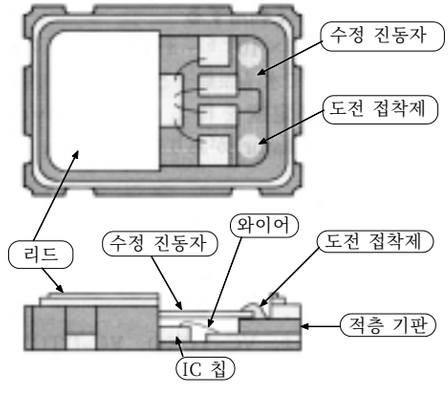


그림 26. 표면 실장형 수정 발진기의 내부 구조

는 수정 진동자의 특성을 그대로 이용하고 있는 SPXO (Simple Packaged Crystal Osciliator) 타입(그림 20)이 적합하다.

● 온도 특성을 보상하여 이용한다

주파수 편차가 $\pm 0.3\times10^{-6}$ ~ $\pm 5\times10^{-6}$의 사양에서는 주파수 온도 특성을 보상하여 이용하는 TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator) 타입이 있다. TCXO의 방식으로서는 직접보상 방식과 간접보상 방식이 있다.

▶ 집적보상 방식(그림 21)

수정 진동자와 발진회로 사이에 온도 보상회로를 접속하고 발진회로의 부하 용량 C_L을 직접 변화시켜 온도 보상을 실행한다.

▶ 간접보상 방식(그림 22)

온도 센서에서 얻은 전압을 변환회로에서 보상에 최적인 전압으로 변환하고 수정과 직렬로 가변 용량 다이오드를 접속한 *VCXO*(Voltage Controlled Crystal Oscillator)의 회로에 제어전압으로서 인가하여 간접적으로 온도보상을 실행한다.

또 간접보상 방식 중에서 변환회로의 보상 데이터를

표 5. SMD 타입의 사양과 특성 [FXO 시리즈, 킨세키(株)]

항 목	기호	단위	FXO-31F	FXO-31FH	FXO-31FT	FXO-31FL	FXO-32F	FXO-32FL	FXO-34F	FXO-34FL	FXO-37F		FXO-37FL
주파수 범위	f	MHz	1.8～50				8～32	50～100	8～32		50～100	100～125	50～100
주파수 편차	df	$\times10^{-6}$	±100				±30		±30		±100		
동작 온도범위	t_o	℃	−10～+70				−10～+60		−30～+85		0～+70		
보존 온도범위	t_s	℃	−55～+125				−20～+80		−30～+85		−20～+80		
전원전압	V_{DD}	V	+5±0.5			+3.3±0.3	+5±0.25	+3.3±0.165	+5±0.25	+3.3±0.165	+5±0.25		+3.3±0.15
전원전류	I_{DD}	mA max	25	25(1.8−15 MHz)		20	12	8	12	10	50		25
			—	30(15.1～32 MHz)		—	—	—	—	—	—	—	—
			—	45(32.1～50 MHz)		—	—	—	—	—	—	—	—
부 하	C_L	pF	15	50		20	15				25	15	
	IC	TTL	LS10	10		5	2	1	2	1	10	5	
출력전압	V_{OH}	Vmin	4.5					2.97	4.5	2.97	4.0		2.8
	V_{OL}	Vmax	0.5			0.4	0.5						
시머트리 (symmetry)	D	%	40～60										
	—	V	2.5		1.4	1.65	2.5	1.5	2.5	1.65	2.5		1.65
파형 상승 하강시간	t_r/t_f	ns max	10		6		12	16	12	16	7		
용 도	—		일반기기				영상기기		산업기기		고주파수		

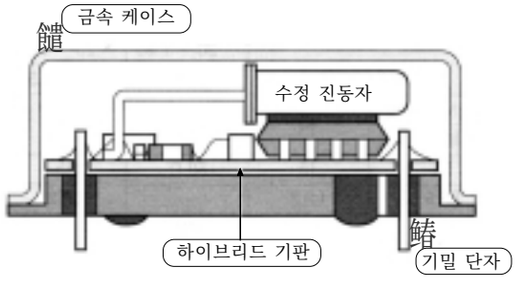


그림 27. 리드 단자형인 수정 발진기의 내부 구조

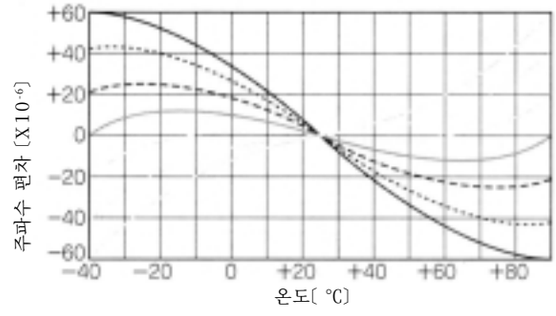


그림 28. SPXO의 주파수-온도 특성

디지털 데이터로서 ROM에 기억시킨다. DTCXO (Digital processing Temperature Compensated Crystal Oscillator)가 있다(그림 23).

● 온도를 일정하게 제어하여 이용한다

주파수 편차가 $\pm0.002\times10^{-6}$～$\pm0.2\times10^{-6}$의 사양에서는 항온조를 사용하여 수정 진동자와 발진회로의 온도를 일정하게 제어하여 안정도를 얻는 OCXO(Oven Controlled Crystal Oscillator)가 있다(그림 24).

● 주파수 전압 제어기능

주파수 제어 단자를 갖추고 외부로부터 전압을 인가함으로써 발진 주파수를 변화시킬 수 있는 발진기가 그림 25에 나타낸 VCXO이다.

온도보상 방식인 것은 VC-TCXO, VC-DTCXO로 되고 항온조 방식인 것은 VC-OCXO로 된다.

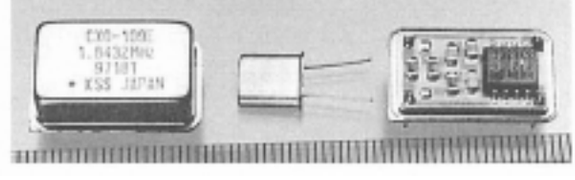


사진 2. 리드 단자 타입의 SPXO

VCXO는 위상 동기 회로기술(PLL)에 의해 신호 재생이나 주파수 체배 등, 다방면에서 사용되고 있다. 수정 발진기로서는 주파수 안정도를 유지하면서 발진주파수를 변화시킬 필요가 있다. 수정 진동자의 선정과 발진회로 상수의 설계 및 사용 부품의 선정에는 세심한 주의를 해야 한다.

발진회로의 완전 마스터

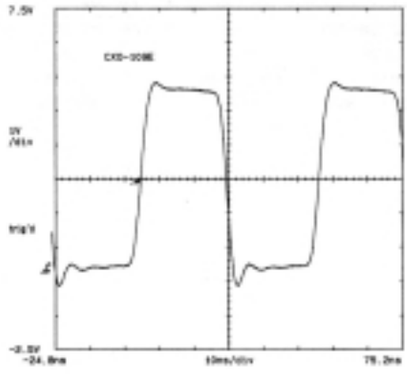


그림 29. 수정 진동자의 주파수를 그대로 출력한 파형 (f=19MHz, 부하 50pF)

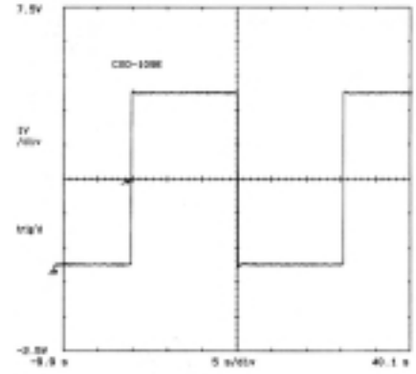


그림 30. 수정 진동자의 주파수를 분주하여 출력한 파형 (f=32.768kHz, 부하 50pF)

표 6. 리드 단자 타입의 사양과 특성 [CXO 시리즈]

항 목	기호	단위	CXO-072D	CXO-106B	CXO-108	CXO-109E	CXO-109H	CXO-199	CXO-203
주파수 범위	f	MHz	4.9－20.8	40－100	80－200	0.001－80	0.5－50	30－160	0.032768
주파수 편차	df	$\times10^{-6}$	±5	±100			±20		±80
동작 온도 범위	t_o	℃	0～＋60	－10～＋70					－10～＋50
보존 온도 범위	t_s	℃	－30～＋85	－20～＋85				－20～＋80	－20～＋85
전원전압	V_{DD}	V	＋5±0.25	＋5±0.5	－5.2±0.25	＋5±0.25		－5.2±0.25	＋5±0.5
전원전류	I_{DD}	mA max	20	60		25(0.001 M～20 MHz) 60(20.1 M～80 MHz)	45	40	0.15
부하	C_L	pF	—	20	—	50	15	50 Ω	15
	IC	TTL	2	AS10	10KH ECL	LS 5	LS 2	—	LS 2
출력 전압	V_{OH}	Vmin	2.4	3.0	−1.02～−0.74	4.5		0 dBm	4.5
	V_{OL}	Vmax	0.4	0.5	−1.95～−1.60	0.5		—	0.5
시머트리 (symmetry)	D	%	40～60					—	—
	—	V	1.4	1.3	−1.29	2.5		—	2.5
파형 상승 하강시간	t_r/t_f	ns max	10	5	3.5	10		—	300
용도	—	—	고정밀도	산업기기	고주파수	산업기기		정현파 출력	산업기기

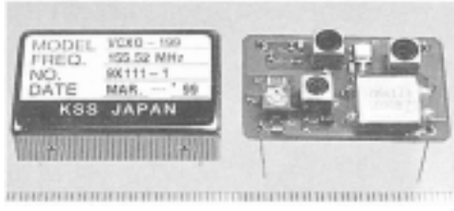


사진 3. VCXO의 외관과 케이스 내부

수정 발진기의 구조와 규격

● SPXO 타입의 특징

▶ SMD 타입(사진 1)

소형, 박형으로서, 자동 탑재 가능한 표면 실장용이다. 외형 치수는 5.0×7.0×1.8mm이다. 패키지는 세라믹 패키지로서, 금속화 단자를 사용하고 있다.

그림 26과 같이 수정 진동자와 IC 및 세라믹 용기, 금속 캡으로 구성되어 있다.

FXO 시리즈〔킨세키(株)는 전원의 바이패스 콘덴서를 내장하고 있지 않기 때문에 FXO의 전원 단자와 어스 단자 사이에 0.01μF의 콘덴서를 설치하여 사용한다.

출력 파형은 CMOS나 TTL 등의 IC를 직접 구동 가능한 구형파이다. 기기 시험을 할 때에 발진기의 출력을 차단할 수 있는 3스테이트 기능을 지니고 있다.

표 5에 사양과 특성 및 용도와 제품 형명과의 관계를 나타낸다.

또한 소형화한 FXO-61F 시리즈는 3.2×5.0×1.

표 7. VCXO/VC-CXO 타입의 사양과 특성

항 목	기호	단위	VC-CXO-072E	VC-CXO-072G	VC-CXO-072H	VCXO-078B	VCXO-105N	VCXO-190	VCXO-199
주파수 범위	f	MHz	11～34		27～60	32～100	1.5～33	14－29	30－160
주파수 편차	df	$\times10^{-6}$	±40				±30	±30	±40
동작 온도 범위	t_o	℃	－20～＋70			－10～＋60	－20～＋70	－10－＋60	－10－＋75
보존 온도 범위	t_s	℃	－40～＋85			－40～＋75	－40～＋85	－30～＋80	－20－＋80
전원전압	V_{DD}	V	＋5±0.25						
전원전류	I_{DD}	mA max	20	25		40	27	15	40
주파수 가변폭	df	$\times10^{-6}$	±100	±150	±100	±70	±100	±50	±120
제어전압	V_C	V	＋2.5±2.5	＋2.5±2.0	＋2.5±2.5	＋2.5±2.0		＋2.5±2.5	
부하	C_L	pF	—	15		—	15		50Ω
	IC	TTL	1	LS 2	AS 2	1	—	LS 2	
출력 전압	V_{OH}	Vmin	3.0	4.5		3.0	4.5		0 dBm
	V_{OL}	Vmax	0.4	0.5		0.4	0.5		—
시메트리	D	%	40－60			30－70	40～60		—
	—	V	1.4	2.5		1.4	2.5		—
파형 상승 하강시간	t_r/t_f	ns max	10	5		10		5	—
용도	—	—	영상기기	산업기기				영상기기	정현파 출력

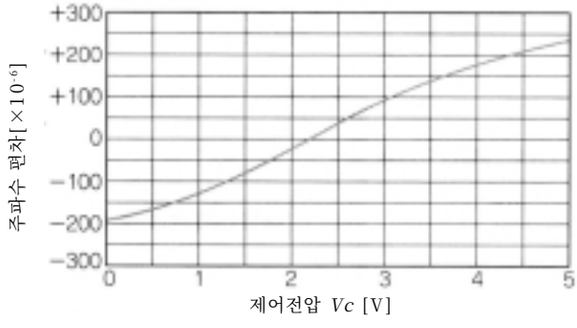


그림 31. VC-CXO-072G의 주파수 가변특성

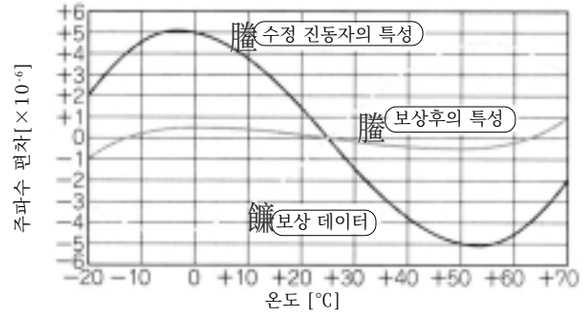


그림 32. TCXO 타입의 주파수-온도 특성

2mm로 FXO-31F 시리즈의 30%인 용적으로 되어 있다.

▶ 리드 단자 타입(사진 2)

금속 케이스 저항 용접 패키지로 완전 밀폐형인 리드 단자 타입의 발진기이다. 외형 치수는 13.08×20.8×8.26mm이다.

그림 27과 같이 UM-1 등의 수정 진동자와 IC 및 저항과 콘덴서 등을 사용한 하이브리드 기판, 기밀형 단자, 금속 케이스로 구성되어 있다. 진동자만으로 검사나 에이징 처리가 가능하며 또한, 발진 회로도 상수를 자유롭게 설계할 수 있어 수정 진동자의 특성을 최대한으로 인출하는 수정 발진기이다.

그림 28과 같이 주파수 온도 특성은 AT 컷(두께 미끄럼 진동) 수정 진동자의 특성인 3차 곡선이 된다.

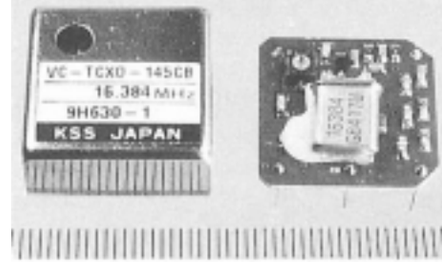


사진 4. TCXO의 외관과 케이스 내부

SPXO의 출력 주파수 가운데 생산량이 많은 주파수 범위는 10MHz에서 80MHz로 되어 있다. AT 컷 수정 진동자의 두께는 주파수에 반비례하기 때문에 10MHz 이하의 주파수에 관해서는 수정 진동자가 두껍게 되기 때문에 외형도 크게 하지 않으면 좋은 특성이 얻어지지

발진회로의 완전 마스터

표 8. VC-TCXO-145CB의 사양

형명		VC-TCXO-145CB
주파수 범위		2 MHz－30 MHz
동작 온도 범위		－10 ℃－＋60 ℃
보존 온도 범위		－40 ℃－＋80 ℃
주파수 안정도		±1×10⁻⁶max./－10 ℃－＋60 ℃
경년변화		±1×10⁻⁶max./year
전원전압 변동		±0.2×10⁻⁶max./＋5.0 V±5%
제어전압 주파수 특성		±10×10⁻⁶min./＋2.5 V±2.0 V(포지티브)
주파수 조정		±3×10⁻⁶max./(對내부 타이머)
전원전압		＋5.0V±5%
소비전류		20 mA max.
출력	레벨	V_{OH}:＋4.5 V min.V_{OL}:＋0.5 V max.(V_{CC}=＋5.0 V)
	부하	CMOS(15pF)
	시메트리	40～60% ⊗＋2.5 V 포인트(방형파)
입력 임피던스		10 kΩ min.

표 9. DTCXO-12A의 사양

형명	DTCXO-12A
주파수 범위	1 MHz～32 MHz
보존 온도 범위	－40－＋85 ℃
동작 온도 범위	－35－＋85 ℃
주파수 안정도	±0.1×10⁻⁶max./－35－＋85 ℃
경년변화	±0.5×10⁻⁶max./year
전원전압 변동	±0.05×10⁻⁶max./5 V±5%
주파수 조정	±0.7×10⁻⁶min.
전원	30 mA max./5 V
출력 레벨	CMOS 레벨
시메트리	45－55 %/1－15 MHz 30－70 %/15－32 MHz
서브·하모닉	－80 dB max.

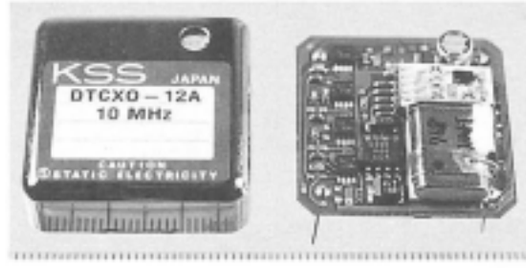


사진 5. DTCXO의 외관과 케이스 내부

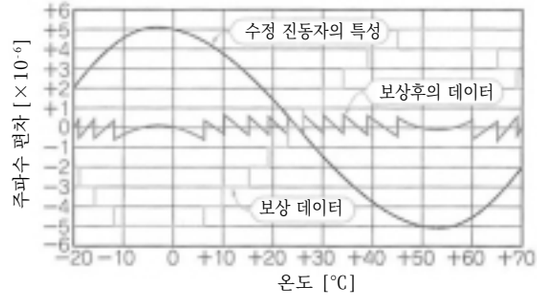


그림 33. DTCXO 타입의 주파수-온도 특성

사진 6. OCXO의 외관

않는다. 또 0.8MHz 이하인 주파수에서는 윤곽 미끄럼 진동을 하는 CT 및 DT 컷 수정 진동자를 사용한다. 그러나 주파수 온도 특성이 2차 곡선으로 되어 3차 곡선인 AT 컷 수정 진동자보다 안정도가 나쁘게 되어 버린다. 때문에 수정 발진기에서는 10～30MHz인 AT 컷 수정 진동자로 발진시켜 IC에 의해 분주하여 낮은 주파수를 만드는 제품이 많아지고 있다. CXO-109E형 수정 발진기의 1kHz～10MHz 제품에서는 IC로 분주하여 낮은 주파수를 만들고 있다.

그림 29에 수정 진동자의 주파수를 그대로 출력하고 있는 19MHz의 출력 파형을, 그림 30에 분주하여 출력하고 있는 32.768kHz의 출력 파형을 나타낸다.

표 6에 리드 단자 타입의 사양과 특성 및 용도와 제품 형명과의 관계를 나타낸다.

HCMOS, AS 타입 TTL, 10KH-ECL 등의 IC에 대응한 출력 특성을 지닌 것과 50Ω의 부하에 0dBm의 정현파를 출력하는 것이 있다.

● VCXO타입(사진3)의 특징

금속 케이스 저항용접 패키지, 또는 금속 케이스 납땜 패키지의 리드 단자 타입 발진기이다.

VCXO-190 등 표면실장 SMD 타입인 것도 있다.

외형 치수와 구조는 SPXO 리드 단자 타입과 같은 제품이 많고, UM-1 등의 수정 진동자와 IC 및 저항과 콘덴서 등을 사용한 하이브리드 기판과 기밀단자 및 금속 케이스로 구성되어 있다. 수정 진동자로 UM-1 등을 사용하고 있고, 진동자만으로 검사나 에이징 처리가 가능하다. 또한 발진회로도 상수를 자유롭게 설계할 수

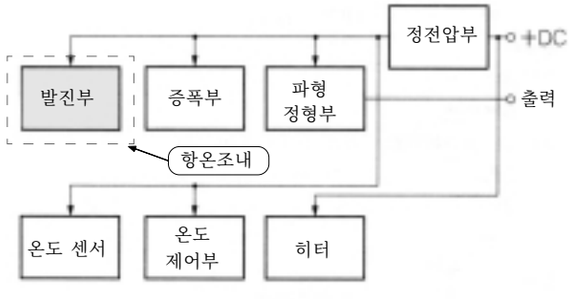


그림 34. OCXO 타입의 내부 블록도

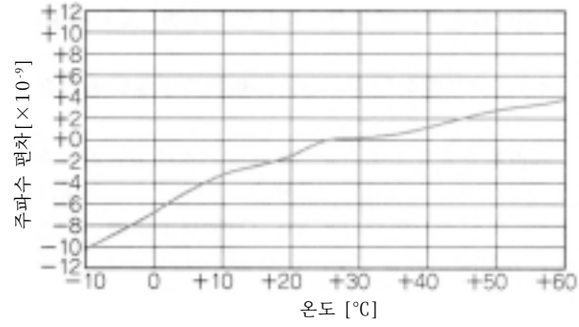


그림 35. OCXO-108B(@5MHz)의 주파수-온도 특성

있고, 수정 진동자의 특성을 최대한 끌어내는 수정 발진기이다. 그림 31은 VC-CXO-072G형 수정 발진기의 제어전압에 대한 주파수 가변특성이다.

표 7에 사양과 특성 및 용도와 제품 형명과의 관계를 나타낸다. 분주회로를 내장하고 있고 저주파수를 출력할 수 있는 VCXO-105N, 체배회로를 내장하고 있고 고주파를 출력할 수 있는 VC-CXO-072H나 VCXO-199 등이 있다.

이밖에 HCMOS 및 AS 타입 TTL 등의 IC에 대응한 출력 특성이 있는 것이라든가 50Ω의 부하에 0dBm인 정현파를 출력하는 것이 있다.

● TCXO(사진4)의 특징

금속 케이스는 납땜 패키지로서, 리드 단자 타입의 발진기이다. TCXO 아날로그 간접보상 타입은 온도보상 회로에 기준전압을, 발진회로(VCXO)에 정전압을 공급하는 정전압회로를 내장하고 있다. 또한 온도 센서와 저항 회로망으로 구성되는 온도보상 회로와 발진회로, 출력파형을 HCMOS 또는 TTL 레벨로 변환하는 파형 정형회로로 구성되어 있다.

그림 32는 주파수 온도 특성의 보상에 관하여 나타내고 있다. 수정 진동자의 주파수 온도 특성과 온도 센서의 데이터에서 보상 데이터를 어떻게 작성할 것인가가 보상후의 특성을 결정한다.

표 8에 VC-TCXO-145CB의 사양을 나타낸다.

● DTCXO(사진 5)의 특징

금속 케이스는 납땜 패키지의 리드 단자 타입인 발진기이다.

DTCXO 디지털 간접보상 타입은 온도보상 회로에 기준전압 및 발진회로(VCXO)에 정전압을 공급하는 정전압 회로와 온도 센서를 내장하고 있다. 또 A-D 변환회로와 보정 데이터를 기억시키는 ROM 및 D-A 변환회로로 구성되는 온도보상 회로와 발진회로 및 출력파형을 HCMOS 또는 TTL 레벨로 변환하는 파형 정형회로도 내장하고 있다.

그림 33은 주파수 온도 특성의 보상에 관하여 나타내고 있다. 제작시에 온도 센서의 데이터에서 각 온도에서의 주파수 편차가 제로로 될 수 있는 보상 데이터를 ROM에 기억시켜 둔다. 동작시에는 온도 센서의 데이터를 바탕으로 보상 데이터를 ROM에서 호출하여 보상값으로 한다.

또한 실제의 제품은 그림 33에 비해 보상 데이터의 비트수가 많기 때문에 보상 데이터는 원활하게 되고 보상후의 특성도 주파수 편차 $\pm 0.1\times10^{-6}$의 규격을 충족시킬 수 있다. 표 9는 DTCXO-12A의 사양이다.

● OCXO(사진6)의 특징

금속 케이스 나사 조임식 패키지의 리드 단자 타입의 발진기이다. OCXO는 항온조를 사용하여 수정 발진회로의 온도를 일정하게 제어하여 주파수 안정도를 얻는다. 때문에 히터나 온도 제어회로 및 발진회로를 내장하고 있다. 또 발진회로에 정전압을 공급하는 정전압 회로 및 출력파형을 HCMOS 또는 TTL 레벨로 변환하는 파형 정형회로도 탑재하고 있다. 그림 34에 내부 블록도를 나타낸다.

항온조의 내부 온도를 +70℃ 전후로 하기 위해 전원 투입에서 약간의 시간이 필요하다는 것과 소비전력이 다른 발진기에 비해 많아지는 특징이 있다. 수정 진동자는 주파수 안정도를 얻기 위해 AT 컷 또는 SC 컷이 사

발진회로의 완전 마스터

표 10. OCXO-108B의 사양

형명		OCXO-108B
주파수		5 MHz
보존 온도 범위		−20 ~ +70 ℃
동작 온도 범위		0 ~ +60 ℃
제어전압 주파수 특성		$\pm 1.5 \times 10^{-8}$ max./0 ~ +60 ℃
경년변화		$\pm 2 \times 10^{-8}$ max./year
전원전압 변동		$\pm 5 \times 10^{-9}$ max./+12.0 V ± 5 %
주파수 조정		$\pm 1 \times 10^{-7}$ min.
전원	전압	+12.0 V ± 5 %
	전류	500 mA max.
출력	레벨	TTL 레벨
	부하	TTL (팬·아웃 = 2)
안정성		전원 투입후 30분에서 $\pm 2 \times 10^{-8}$

용되고 있다.

그림 35에 주파수 온도특성에 관하여 나타낸다.

표 10은 OCXO-108B의 사양이다.

수정 발진기의 발주에 필요한 조건

카달로그에 있는 표준품인 경우는 발진기의 형명과 공칭 주파수를 지정한다.

특주품을 발주하는 경우는 표 11의 항목을 지정할 필요가 있다. 표 중의 _에는 수치를 기입한다.

수정 발진기 취급을 위한 가이던스

● 사용 환경을 확인하여 사양의 범위 내에서 사용한다

다음과 같은 내용에 관하여 필요가 있는 경우는 메이커와 상의하기 바란다.

규정 범위를 초월하여 사용했을 경우, 주파수 변화, 제품의 탈락, 기밀 불량, 발진 정지, 정전 파괴 등의 치명적인 결함을 유발할 우려가 있다.

▶ 환경조건(내후성)

(1) 사용중 및 보관중의 온도환경
최고 사용 온도 및 최저 사용 온도

(2) 사용중 및 보관중인 온도환경
최고 사용 습도 및 최저 사용 온도

(3) 유독 가스, 염무, 수분 또는 기름기가 있는 환경

(4) 오존, 자외선 및 방사선이 조사되는 환경

(5) 이 밖에 발열물에서의 열로 인하여 제품이 규정된 최고 사용 온도를 초월하는 환경

(6) 정전기의 발생 또는 발생되기 쉬운 환경

▶ 환경조건(기계적 환경)

(1) 진동이 가해지는 환경

(2) 충격이 가해지는 환경

(3) 케이스 내벽에 제품 및 기판이 접촉되어 있는 환경

● 수정 발진기의 전원에는 내부저항이 작은 것을 사용한다

주파수 안정도나 출력 레벨 등의 수정 발진기의 성능은 카탈로그 또는 개별 사양서에 규정하는 전원전압으로 사용하여 성능을 유지할 수 있다. 사용하는 전원의 내부저항에도 배려해야 한다. 특히 비교적 큰 전류(0.2~0.5A)를 필요로 하는 항온조 제어 수정 발진기 OCXO에서는 내부저항이 충분히 작은 전원을 사용해야 한다.

예를 들면 전류가 0.5A인 OCXO에 내부저항 1Ω의 5V 전원을 접속하면 0.5V의 전압 강하가 발생하여 4.5V로 OCXO를 구동하게 된다. 당연히 규정된 성능이 보증되지 않을 우려가 있다.

● 수정 발진기의 전원은 잡음이 적은 것을 사용

수정 발진기에 공급하는 전원의 잡음으로 인하여 수정 발진기의 성능이 열화되는 경우가 있다.

출력파형에 리플 형상의 잡음이 발생하는 경우는 잡음 주파수에 따라 수정 발진기의 전원 단자에 0.1~100 μF의 콘덴서를 삽입하면 개선되는 경우가 있다. 또 IC화된 전압 레귤레이터 속에서는 원래 레귤레이터 자체가 발진되기 쉬운 것이 있어 이러한 IC를 입력전원으로서 사용했을 경우, 위상 잡음 특성의 열화를 야기시키는 원인이 된다.

특히 저위상 잡음 특성을 필요로 하는 경우에는 스위칭 전원의 사용은 피해야 한다.

● VCXO의 제어단자에 가해지는 제어전압은 카탈로그나 개별 사양서에 규정하고 있는 극성의 정격값 범위 내에서 사용한다

VCXO의 제어전압과 출력 주파수와의 관계는 직선적이 아니다. 제어전압의 값에 의해서 주파수 변화량이 변하기 때문에 제어전압은 정격값의 범위내에서 사용하기 바란다. 범위 밖에서 사용했을 경우에는 가변 용량 다이오드가 파손되거나 발진이 정지되는 경우가 있다.

표 11. 특주품의 발주 사양서

1. 발진 주파수	____. _____ MHz
2. 주파수 안정도	
(1) 온도 특성	±_____ × 10^{-6} max.
	−____~+____℃
(2) 전원 특성	±_____ × 10^{-6} max.
	+____VDC ±____%
(3) 부하 특성	±_____ × 10^{-6} max.
	____Ω, ____ pF ±____%
(4) 경시 특성	±_____ × 10^{-6} max./
3. 주파수 가변 범위	±_____ × 10^{-6} min.
4. 주파수 제어 범위	±_____−±_____× 10^{-6}
	+____V ±____V
5. 출력 특성	
(1) 출력 파형	구형파 (TTL, HCMOS), 정현파
	고조파 일그러짐 제2 ____dB, 제3 ____dB
(2) 출력 전압	____V rms., ____Vpp
	Voh ____V, Vol ____V
(3) 부하	____Ω, ____ pF
	LS−TTL ____,
	HCMOS ____
6. 전원	+____VDC ±____%____ mA max
7. 환경조건	
(1) 보존 온도 범위	−____~+____℃
(2) 동작 온도 범위	−____−+____℃
(3) 진동	진폭____mm,
	진동수 ____−____ Hz
(4) 충격	목판상 자연낙하 ____ cm
8. 외형 치수, 단자 접속	
9. 용도	
10. 기타, 특수조건 등	

또 제어전압에 대한 주파수 변화의 직선성이 필요한 경우에는 메이커와의 타협이 필요하다.

● 출력 부하의 임피던스는 카탈로그 또는 개별 사양서에 규정하고 있는 정격값의 범위내에서 사용

수정 발진기의 출력회로는 설계시에 특정의 부하 임피던스를 상정하여 설계하고 있다. 따라서 출력부하의 임피던스는 카탈로그 또는 개별 사양서에 규정한 정격값의 범위내에서 사용하기 바란다.

수정 발진기를 규정 밖의 출력부하인 임피던스로 사용했을 경우, 카탈로그 또는 개별 사양서에 규정한 주파수 안정도나 출력 레벨 등을 충족시키지 못하는 경우가 있다.

● TTL 부하에서는 카탈로그 또는 개별 사양서에 규정하고 있는 팬 아웃 수 이하로 사용

TTL 부하에서는 부하가 무거워지면 출력 레벨이 저하되거나 출력 파형이 난류되는 수가 있다. 또한 경우에 따라서는 대전류가 흘러 버리거나 예상치 못한 발열이나 파손을 초래하는 수가 있다.

● EMC가 규정되는 전자기기에 수정 발진기를 사용하는 경우는 미리 메이커와의 충분한 협의가 필요

디지털 회로나 마이크로 프로세서 및 스위칭 레귤레이터를 탑재하고 있는 전자기기에서는 다양한 클록이나 스위칭 레귤레이터의 기본파 및 고조파가 혼재한다.

수정 발진기도 이중의 하나이다.

수정 발진기의 전기신호가 다른 회로에 전자적인 영향을 주거나 반대로 회로측의 전기신호의 영향을 받아 수정 발진기의 주파수 안정도나 출력신호의 순도를 손상시키는 수가 있다. <小柳津 泰夫> EE