

수정 발진 자연 구

목 차

1. 서 론	127
2. 공시용 수정발진자의 시작에 있어서의 표준공정설정	128
2. 공시용 수정발진자 시험	133
2-1 등가회로 정수 및 주파수 및 실효저항측정방법	133
2-2 측 정	134
3. 결 론	140
3-1 연마세척 및 화학처리	140
3-2 증 착	141
3-3 MOUNTING	141
3-4 진공봉입	141
3-5 부하용량	142

표준과장	통신기정	박명진
표준과 교정계	통신기좌	윤창근
" "	전송기사	김성배
" "	전송기사보	정성상
" "	전송기원	조인섭
" "	(전송기사	김종은)

“ 개 요 ”

현재 당소에서 생산되는 수정발진자가운데 국내수요의 대부분을 점유하고 있는 증착박막형 수정발진자에 대하여 그의 전기적특성 향상을 위한 기술적 공정관리의 개선 방안을 연구 조사하였다.

1. 서 론

고주파의 주파수안정도를 지배하는 요소는 수정발진자, 항온조, 발진회로 및 그의 부품 전원등으로 이들이 적합하게 설계되어 총화를 이루었을때 비로서 고안정의 수정발진기가 얻어지는 것이다.

특히 이를 구성인자 가운데 본제에서는 수정발진자를 조사대상의 하나로 중점으로 취급하였다.

일반적으로 수정발진자라 부르고 있지만 내용은 수정편과 이의 HOLDER (ELECTRODE PLATE 도 포함) 로 이루어진 2부분으로 되어 있다.

전자는 그의 SIZE 및 수정물질의 밀도와 탄성정수에 의해 정해지는 고유 기계진동이 존재한다. 더욱이 탄성체로서의 수정내부에서의 기계적 진동손실은 비교적 적으므로 어떠한 방법에 의해 고유주파수의 진동 Energy 를 공급하여 진동시킨다면 수정편은 그의 고유주파수에 대응한 진동 Mode 로서 예민한 기계적 공진을 한다.

일반적으로 수정은 압전기현상이 있음으로 수정편이 기계적 공진상태에 이르면 그의 진동에 의한 Distortion에 대응한 전기적 편극을 발생하므로 이같은 부분에 한쌍의 전극을 배치하면 수정편

은 그의 기계적 고유진동과 같은 전기적 공진주파수를 가진 그 단자 회로와 똑같이 동작하게 된다.

더욱이 전술한 기계적 진동손실이 적다는 것은 R1의 충분히 적은 값을 의미하므로 이때의 공진 회로의 Q는 대단히 높아 수만에서 수백만에 이르는 것 까지 있다. 이같이 큰값은 통상적인 Coil와 Condenser에 의한 전기공진 회로에서는 실현키 어려운 값으로 수정발진자가 고주파의 주파수정안정용으로 필요불가결의 것으로 대두되고 있는 까닭인 것이다. 그러나 실제에 있어서는 진동자의 고안정화를 위해서는 사용환경을 고려하여야 하며 주진동을 저지함이 없이 수정편을 Mounting 하고 또 수정편의 주위의 GAS (습기도 포함) 상태에 변화를 주지 않고 더욱이 진동강도에 따른 진동특성의 변화를 가져오지 않게 하는등 수정편 이외에 관한문제도 수정편과 똑같이 중요한 문제로 취급하지 않으면 안된다.

본 연구에서는 증착박막형 수정진동자에 관한 전기적특성 향상을 위한 각종 공정기술의 개선을 도모하여 당소 생산품의 질적향상과 제품의 신뢰성 및 고안정화 연구에 기여를 두었고 시료품을 시작하여 각 주파수대로 군별 (GROUPING) 하여 개선책을 모색하였다.

2. 공시용 수정발진자의 시작에 있어서의 표준공정 설정

전기적 제특성향상 및 고안정화에 있어서 특정한 발진자를 생각할 필요는 없다. 현재 생산되는 수정발진자를 충분히 합리적으로 제작함에 따라 곧 고안정용 발진자가 생산된다는 것에 유의하여야

한다. 따라서 구비하여야 할 조건 및 문제는 기본조건을 여하히 합리적으로 만족시켜야 할 것인가 하는 점이다.

제작공정 자체에 있어서는 각 주파수대 공히 상이한 점은 별로 없다.

통상적인 제작공정을 되풀이 시행하여 기본조건의 최적한계와 합리적인 조건충족을 위하여 표1과 같은 표준공정표를 작성하였다. 본 공정표에 의해 수정발진자의 등가회로의 각 정수의 크기는 INDUCTANCE L1은 수 HENLY에서 수십 HENLY, 실효저항 R은 수 OHM에서 수십 OHM, MOTIONAL CAPACITANCE C1은 0.1~0.01 PF 정도였다.

표 1. 공사용 수정발진자 기술공정표

순서	동작	과정	사용기계	사용물품	비고
1.	연마및수정 편 준비	조 연 마	LAPPING MACHINE LP - 24 FREQUENCY COUNTER KCM-608 카리어 5공5각형	연마제 1. 2 MICRON 2. 50%알미늄옥사이드 (12~15 MICRON) 50% 경유	
		중간연마 최종두께보다 0.0254 mm	LAPPING MACHINE LP - 12B FREQUENCY	연 마 제 15 MICRON 경 유	편 차 ($\pm 0.3F^2$)

순서	동 작	과 정	사 용 기 계	사 용 물 품	비 고
		두 겹 게	COUNTER KCM - 608	세 척 트 리 크 로 에 찌 렌 또는 아 세 톤	
		최 종 연 마 소 망 하 는 편 차 이 내	당 능 연 마 기 FREQUENCY COUNTER HP 5245L CI - METER TEST HOLDER	연 마 제 5 MICRON AL ₂ O ₃ 200 ml 경 유 세 척 트 리 크 로 에 찌 렌 또는 아 세 톤	편 차 ($\pm 0.2F^2$)
		CONTOUR- ING 및 BEVELLING	ROUNDING MACHINE 12-41-639 DIOPTER CUPS	연 마 제 15 MICRON 씨 리 콘 카 바 이 드 경 유	
		BLANK 의 POLISHING 단 OVERTON	POLISHING MACHINE CI-METER FREQUENCY COUNTER KCM-608	연 마 제 20gr 세 룬 옥 사 이 드 100 CC 증 유 수	연 마 속 도 700 R.P.M 편 차 ($\pm 0.065F^2$)
2.	에 징 및 세 척	주 파 수 에 징 1. 모 든 연 마 완 료 구 리 제 료 후 시 행 2. 최 종 연 마 후 의 안 정 도 측 정	ETCH BOX 또는 포 리 에 찌 렌 그 롯 온 도 60°C	ETCH 용 액 불 화 암 모 니 와 증 류 수 (1:5) 48% 불 화 수 소 52% 증 유 수	편 차 ($\pm 0.25F^2$)

순서	동작	과정	사용기기	사용물품	비고
		3. POLISHING 된 수정편은 제외 4. 미소주파수 조정	ETCHING 용기구 수정편지지 용구리 제조리		
			FREQUENCY COUNTER CI-METER	세척 메칠 또는 에칠 알콜 혹은 크롬 산 중탄산나트륨 용액 (10%~12%) 주정 (DENATURED ALCOHOL)	에칭전 에칭후
		세척 (BLANK) PLATING 전 세척함	초음파세척기 세척용기 비가	증유수	
			전기곤로 및 가	산처리 중크롬산나트륨 100g 증유수 200 g 황산 1.75 l 온도 60 °C 두번 째 125 ml 증유수 에다 4 방울 세번 째 증유수	산처리 의 다 른방법 50 g 크 롬산 2500 증유수 1 l 황산

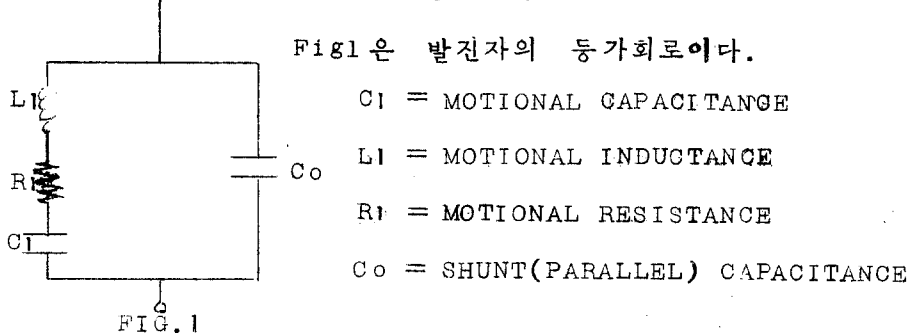
순서	동작	과정	사용기기	사용물품	비고
				건조 110 °C의 온도에 서 건조 알카리 액 90%증유수에 10% 소다를 녹인 용액은 황산대신 알카리 세척으로 사용됨	
		BASE 와 COVER 의 세척		세척 첫번째 트리크로 에찌렌 또는 알콜 두번째 증유수 (125ml) 와 4 방울 암 모니아	
	증착및 지지	기초증착 수정면에 전 극막 형성을 위함.	MASK	증착용물자 닉켈선 (1mm Ø) 은선 (0.7mm Ø)	

한계	
CR-54 (제 5 배조파 진동자)	$0.2F^2 / N \pm 0.75F^2$
CR-18 (CONTOURING 안한것)	$0.8F^2 \pm 0.3F^2$
CR-18 (CONTOURING 한것)	$0.9F^2 \pm 2F^2$ $-0.6F^2$

2. 공시용 수정발진자 시험

2-1 등가회로 정수 및 주파수 및 실효저항 측정방법

수정발진자의 전기적 특성 시험을 위해 CRYSTAL IMPEDANCE METER, FREQUENCY COUNTER, 및 TYPE 1650 - A IMPEDANCE BRIDGE 와 V. T. V. M. 을 사용하였다.



L_1 C_1 R_1 은 고유진동을 대표하는 직렬공진 회로이며 C_0 는 압 전기효과의 전하를 축적하는 용량으로 생각한다.

이같은 경우 Q 및 각치는 상기한 측정기에 의해 다음 공식에 의해 산출할 수 있다.

가. SHUNT(PARALLEL) 용량. C_0

C_0 의 측정은 TYPE 1650-A IMPEDANCE BRIDGE 에 의해 측정하였으나 Q-METER 혹은 RF-BRIDGE 로서도 가능하다.

나. 공진 및 반공진 저항

CI-METER에 의해 공진상태 및 반공진상태의 실효저항을 측정

다. MOTIONAL 용량 C_1 및 INDUCTANCE L_1 와 Q 주어진 부하

용량에서의 반공진주파수 및 실효저항과 직렬공진 상태에서 주파수 및 저항을 CI-METER로 측정하고 IMPEDANCE BRIDGE에 의해 측정한 Co의 값에 의해 다음 산출식으로 CI 및 LI 그리고 Q의 값을 산출하였다.

$$C_1 = \frac{2(C_0 + C_L)(f_r L - f_r)}{f_r}$$

CL : 부하용량

Co : 분포용량

f_{rL} : 반공진주파수

f_r : 공진주파수

$$L_1 = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 C_1}$$

$$Q = \frac{2\pi f_r L_1}{R_1}$$

2-2 측 정

가. 등가회로정수 측정

주파수 2MHz, 6MHz, 8MHz,의 공시용 수정발진자를 시작하여 이에 대한 종합적 전기특성을 측정하였다.

표, 2~4는 주파수별 측정 DATA이다.

측정기명 : 1. CI-METER 459A 3. IMPEDANCE BRIDGE 1650-A
 2. COUNTER KCM-608 4. V.T.V.M SERIAL NO.183

사용온도 : 상온

CRYSTAL 특성 DATA

1971.12.9~1971.12.11.

試料 番号	주파수편차	등가실효저항		DRIVELEVEL		CRYSTAL Q	등가 C ₁	등가 L ₁	비	고
		직렬	병렬		P					
1	2015.008 + 8	42	52		0.77	1.8×10^4	0.0176	7.2	32 P 11 (전류)	32 P (부하용량)
2	2014.972 - 28	37	40		1.69	2.3×10^4	0.0176	7.2	32 P 0	
3	2014.993 - 7	37	40		0.36	2.3×10^4	0.0176	7.2	32 P 0	
4	2014.941 - 59	67	87		3.1	1.1×10^4	0.0176	7.2	32 P 0	
5	2014.978 - 22	65	87		3.9	1.1×10^4	0.0176	7.2	32 P 0	
6	2637.986 - 14	55	71		4.7	3.0×10^4	0.0288	12.7	32 P 5	
7	2637.994 - 6	13	19		4.1 0	10.7×10^4	0.0296	12.3	32 P 5	
8	2638.001 + 1	39	29		0.68	7.3×10^4	0.0288	12.7	32 P 4	
9	2637.952 - 48	22	44		1.91	4.8×10^4	0.0288	12.7	32 P 5	
10	2638.148 + 148	38	49		5.5	7.3×10^4	0.0168	21.7	32 P 6	

측정기명 : 1. CI-METER 459A 3. IMPEDANCE BRIDGE 1650-A
2. COUNTER KCM-608 4. V.T.V.M SE. No.183

측정온도 : 상온 (25°C) CRYSTAL 특성 DATA

측정 번호	주 파 수 편 차	등가실효저항		DRIVE LEVEL		CRYSTAL Q	등가CI	등가L	CRYSTAL 전 류	LOAD CAPACITY
		직렬	병렬	직렬	P					
1	6501.601 - 66	5	8		5	7.9×10^4	0.0388	15.5	10	35 p
2	6758.212 -121	11	16		2.5	5.1×10^4	0.0264	22.7	7	32 p
3	6591.586 - 80	10	13		11.7	4.6×10^4	0.0355	14.3	20	"
4	6591.574 - 92	7	11		13.7	5.6×10^4	"	"	19	"
5	6591.693 + 27	5	8		9.8	7.7×10^4	"	"	21	"
6	6591.689 + 23	5	7		4.6	8.8×10^4	"	"	"	"
7	6591.448 -218	12	16		19.6	3.6×10^4	"	"	"	"
8	6591.545 -121	8	12		20.8	5.1×10^4	"	"	"	"
9	6591.552 -114	12	17		17.8	3.5×10^4	"	"	18	"
10	6591.543 -123	11	13		23.3	4.6×10^4	"	"	20	"

측정기명 : 1. CEMETER 459A 3. V.T.V.M.SE, NO.183
 2. COUNTER KOM-608 4. IMPEDANCE BRIDGE 1650-A

측정 온도 : 상온 CRYSTAL 특성 DATA

試料 番号	주 파 수 편 차	등기실효저항		DRIVE LEVEL		CRYSTAL Q	등가 C ₁	등가 L ₁	부 하 용 량 PF	전 류 mA	비 고
		직 렬	병 렬	지 렬	P						
1	8887.835 + 335	9	12		6.1	5.0 × 10 ⁴	0.0279	10.8	25	11	
2	8887.655 + 155	6	8		5.5	7.3 × 10 ⁴	0.0288	11.2	25	21	
3	8887.769 + 269	4	7		3.3	12.3 × 10 ⁴	0.0209	15.4	25	22	
4	8887.516 + 16	4	6		8.1	8.3 × 10 ⁴	0.0360	8.9	25	13	
5	8887.946 + 446	4	6		15.0	8.0 × 10 ⁴	0.0372	3.6	25	14	
6	8887.661 + 161	5	6		12.3	10.4 × 10 ⁴	0.0238	11.2	25	11	
7	8887.991 + 441	3	8		16.2	6.0 × 10 ⁴	0.0372	3.6	25	22	
8	8887.738 + 238	10	18		6.1	3.5 × 10 ⁴	0.0288	11.2	25	21	
9	8887.530 + 30	4	6		8.8	8.0 × 10 ⁴	0.0372	3.6	25	22	
10	8887.765 + 265	5	8		5.0	6.2 × 10 ⁴	0.0360	8.9	25	20	

표 5

OVERTONE CRYSTAL 특 이 DATA

시료 번호	주파수 (MHz)	진동자수	C ₀ (PF)	R (OHM)	C ₁ (PF)	Q	비 고
1	43.3	3	6.5	7.7	0.022	3.3×10^4	
2	41.54	3	6.9	5.0	0.0165	3×10^4	
3	71.0	5	6.7	13	0.0024	5.4×10^4	
4	72.17	5	6.5	15.4	0.00115	9.3×10^4	

상기표에서 보는바와 같이 Q가 높은 것은 10만 이상에 이르고 있다.

Q가 높아야 한다는 것에는 다음과 같은 의미가있다. 즉, 진동이 쉽게 계속될 수 있다는 것이므로 이같은 발진자를 여진하기에는 극히 미약한 세력으로 가능한 것이다.

발진자에 극히 큰 여진을 건다는것은 주파수의 비직선적곡을 발생시키고 또 발진자 자체의 발열을 크게할 뿐 아니라 발진자 및 지지부의 AGING을 크게하는등 고안정과는 반대의 효과를 가져오게 하는점을 돌이켜 볼때 높은 Q는 대단히 중요한 것이다.

높은 Q를 위해서 실효저항 R과 MOTIONAL CAPACITANCE C₁은 되도록 적게 MOTIONAL INDUCTANCE L₁은 커야된다.

수정발진자의 L₁이 적을수록 Δf 변화량도 커지며 주파수 경년변화도 커지므로 발진주파수의 안정화에 불리하다.

나. AGING 특성

수정발진자의 고안정화에 있어서 중요한 특성으로서 동작파수 및 그의 진동 MODE에 따라 틀려지는 것이다.

수정발진자를 발진 회로에 넣어 장기간 연속적으로 사용하였을 경우 그의 발진주파수는 안정하게 유지되지 않으면 안된다. 공시용 수정발진자 2 MHz 및 8 MHz에 대한 AGING 특성의 일예를 FIG2 및 FIG3에 나타냈다.

실온동작의 경우와 60°C 동작의 경우에 있어서 그의 변화특성은 대차없이 대단히 양호한 특성을 나타내고 있다.

도표에서 보는바와 같이 $1 \times 10^{-6} / \text{YEAR}$ 이하의 주파수 AGING 특성이 얻어지므로 더욱이 발진자의 제조조건에 개선에 의해 그 이상의 AGING 특성을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

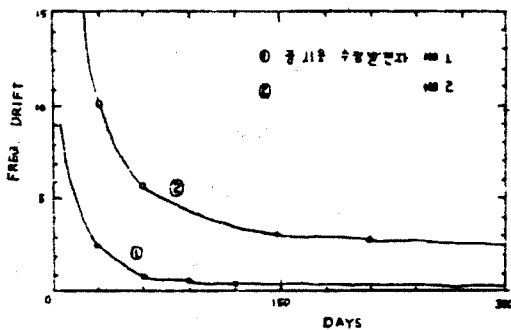


FIG 2 공시용 수정발진자의 주파수 변화 특성

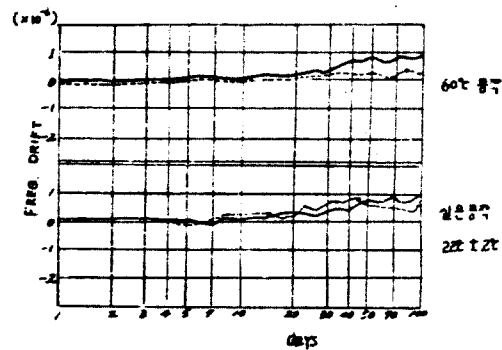


FIG 3 10MHz 주파수 AGING 특성

3. 결 론

수정발전자의 고안정화에 있어서 악영향을 끼치는 요인은 수정편 표면 연마층의 상태, 봉입기체와 전극막 재료의 화학변화 등의 변화에 기인된다고 생각한다. 2항에서 언급한바와 같이 정밀하게 학리적으로 제작함에 따라 고정 수정발전자가 생산된다는것에 유의하여야 되겠다. 본 연구에서 취한 표준공정에 따라 $1 \times 10^{-6}/\text{YEAR}$ 의 양호한 주파수 AGING 특성을 얻었다.

제조조건의 개선여하에 따라서는 여기에 기술한 성능을 더욱 개선할수도 있을 것이다.

측정 시험 DATA는 항을 바꾸어 제언하기로 한다.

3-1, 연마세척 및 화학처리

고안정 HIGH Q를 위하여 수정편 표면의 凸凹를 진동파장에 비해 무시할 정도로 처리하여야 한다.

그러나 실제에 있어서는 커다란 문제가 있다. 즉, 수정결정체의 격자면 (ATTICE) 이외의 면 (예를들어 AT 판)을 상기한 바와같이 凸凹를 적게 경우에 따라서는 광학면으로 연마시공한다는 뜻에는 어딘가 의문이 있지만 여기서는 이에 저촉하지 않는다 해도 연마공정의 정확성 및 정밀성정도에 따라서는 수정내부에 C CRACK이 남는다는 것은 특히 AGING 문제에 있어서는 좋은일이 못된다. 천천히 그리고 정확한 연마작업과 불산에 의한 표면의 용해세척공정과를 교차로 되풀이 해가면서 수정판 표면을 정돈하여 간다는 것이 절대로 필요하다.

3 - 2 . 증 착

수정 판상의 증착한 전극은 수정편파의 상호위치가 변화하지 않은 점으로 현재 제일 널리 사용되고 있다.

이 점은 수정의 결정에 비해 비교적 안정도가 떨어지는 형태의 금속막이 예를들어 AT판에 있어서는 주파수에 제일 영향을 미치는 수정판의 SURFACE에 부착하는것이 되므로 여러가지 어려운 문제가 일어난다. 오는 금속막을 부착하는 공정의 내용이 중요한 것으로 증착전극이면 어떤것이든 좋은 이치는 아니며 증착전극이 AGING의 큰 부분을 점하고 있다는 것을 잊어서는 안된다.

3 - 3 . MOUNTING

Q를 좌우하는 진동자의 손실(저항분)을 분석한다는 것은 고안 정진동자를 실현시키는데 있어서 대단히 중요한것이나, 실제로 있어서는 쉬운일은 아니다. 다만, 진동자 자체만이 아니고 그의 지지방법(MOUNTING)을 개량하면 할수록 Q는 대폭적으로 향상되는 현실로부터 판단하면 진동자의 손실의 거의 대부분은 진동자 자체에 있지않고 외부에 기인하여 생각할 필요가 있다.

따라서, 지지에 의한 손실이 무시할 정도가 되면 진동자의 Q는 수정의 미소한 내부마찰에 의해 제한될 뿐 이므로 대단히 높은값이 되고 이 값은 진동자의 형상(평행평면상의 수정판이나凸렌즈상의 수정편이라도)등에 의해 좌우되는 일은 거의없다.

3 - 4 . 진 공 붕 입

진동 ENERGY는 지지물만이 아니고 주위 GAS체에도 방사하므로 원칙적으로 진공붕입하여야 되겠으나 여기에도 여러가지 생각

하지 않으면 안될 문제가 계속된다. 즉: 수정 중에는 비교적 많은 GAS 체가 흡수되어 있으므로 이것을 진공내에서 진동시키면 GAS는 차차 주위에 확산되어 AGING원인의 하나가 되므로 다만 무리하게 진공으로 하는 것으로는 안된다.

더욱이 수정편에서의 발열은 주위가 진공이면 진공일수록 방산되기 힘들게 되는 등 도리어 해가 되는일도 생기므로 질소 GAS를 봉입하여 진동의 기계적 방사손실도 적게하고 또 열의 방산에도 도움이 되게 하고 있다.

그러나 어떤 경우일지라도 수정편 내부의 흡착 GAS는 봉입하기 전에 충분히 제거하여 둘 필요가 있다.

여기서 수정편은 종드라도 봉입용기나 지지 부품등의 GAS제거가 충분치 않으면 안된다. 이들 상기 사항에서 사용중에 나오는 약간의 GAS도 수정편의 주위상태를 바꾸는것이 되므로 AGING을 떨어뜨린다.

3-5. 부 하 용 량

FIG4에 나타내는 G-P 회로에서 수정발진자를 동작시켰을 경우 그림(b), (c)의 등가회로로 나타내어 (c)의 CL은 (b)의 C₁, C₂ 및 전극간 용량의 합성치로서 이것을 회로측의 부하용량이라고 한다.

이 회로에서의 발진주파수와 CI-METER에서의 발진자와 CL와의 직렬회로의 직렬공진주파수는 일치한다.

따라서, 수정발진자측과 회로측의 부하용량이 다를 경우는 정확한 발진주파수를 얻을수가 없다.

FIG5 는 500 KHz 및 10MHz 발진자의 부하용량 특성을 나타
 낸 것이다. 그림에서 보는 바와같이 부하용량의 변화에 따라
 $\Delta f/F$ 가 변화하므로 수정 발진자의 고안정화를 위해서는 반드시
 사용회로의 계원을 참조하여야 된다.

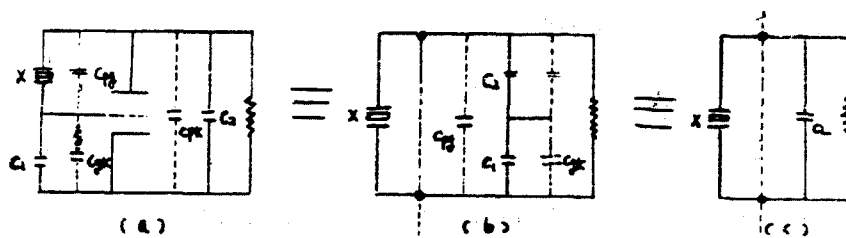


FIG 4 PIERCE OSC 와 동가 회로

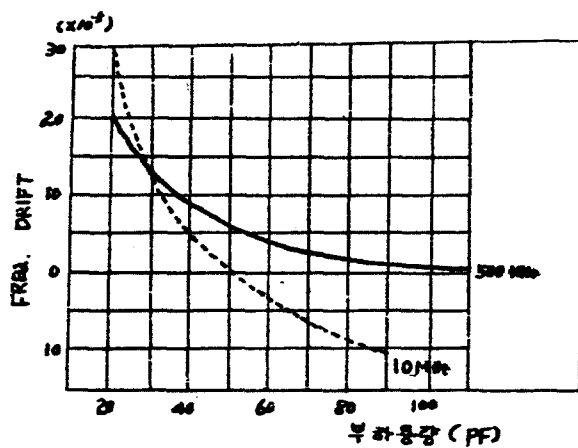


FIG 5 부하용량특성

“ 참 고 문 헌 ”

- 1 . 非金属材料의 精密加工法 (下)

地人書館刊

- 2 . QUARTZ CRYSTA THEORY, FABRICATION AND PERFORMANCE MEASUREMENTS

ARMY TECHNICAL MANUAL

TM 11-2540

- 3 . GENERAL RULES OF QUARTZ CRYSTAL UNIT FOR OSCILLATORS

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD COMMITTEE

- 4 . 水晶振動子の理論と実際

オーム社