

Ku-Band 위상고정 루프 발진기에 관한 연구

鄭天錫
電子工學科

(요 약)

본 연구에서는 VCDRO를 사용한 고안정 저잡음 Ku-Band PLL 발진기를 설계하였다. 크리스탈 발진기를 사용함으로써 얻어지는 안정된 약 83MHz의 기준 주파수를 합성하기 위하여 PLL회로의 설계과정 및 동작특성을 제어이론을 바탕으로 해석하였다.

Ku-Band PLL 발진기의 위상잡음은 위상고정 귀환루프의 안정화로 30dB이상 개선되었다.

A study on the Ku-Band Phase-Locked Loop Oscillator

Jung, Chun-Suk
Dept. of Electronics

(Abstract)

In this paper, a highly stable low noise Ku-Band PLL Oscillator using the VCDRO(Voltage Controlled Dielectric Resonator Oscillator) was designed. Design procedure and operation characteristics of PLL circuit were analyzed on the basis of control theory to synthesize the reference frequency about 83MHz frequency which should be stable by using crystal oscillator.

The Phase noise of the Ku-band PLL VCDRO was improved 30dB by the stabilization of the PLL feed back loop.

1. 서 론

위성통신 시스템이 디지털화 되면서부터 국부발진기의 성능중에서 주파수 안정도 및 위상잡음이 송수신 시스템 성능에 중요한 개선요소로 부각되었다. 그 이유는 일반적인 주파수 발진기로는 위성통신에서 요구되는 주파수발진 안정도와 적절한 위상잡음 수준의 유지가 매우 어렵기 때문이다.¹⁾

일반적으로 초고주파대 이상의 주파수를 발생시키는 주파수 합성방식은 크게 디지털 합성기, 직접 합성기, PLL을 이용한 간접 합성기, 앞의 방식을 조합한 조합 합성기 등으로 나눌 수 있다.

본 연구에서는 PLL을 이용한 간접 주파수 합성방법으로 고안정 국부발진기를 구성하였다. 간접 합성기는 출력주파수를 나누어 기준주파수와 같도록 PLL을 조정함으로써, 기준 주파수의 정수배에 해당하는 주파수를 만든다. 이 방법은 주파수 변경시간이 비교적 긴편이나 회로구성이 간단하고 주파수를 다루는데 융통성이 많으며 소형, 저전력으로 구성할 수 있으므로 적용분야가 확대되고 있다. 과거의 Ku-Band용 고안정 주파수 발진기의 실현방법은 저주파수대에서 위상고정 케환루프에 의하여 안정된 신호를 발생시킨 후에 고율의 체배과정을 통하여 목적하는 출력주파수의 고주파신호를 발생시켰으나, 고율의 체배에 따른 출력전력의 안정도와 위상잡음에 많은 문제점을 갖는다.²⁾

그러므로 본 연구에서는 고도의 안정적인 발진주파수를 얻기 위하여 고주파 유전체 공진기를 이용한 전압제어 유전체 공진기와 고주파 분배기, 루프필터, 위상검출기를 이용하여 발진주파수를 외부에서 공급되는 수정발진기 신호의 위상에 안정하게 고정시킴으로써 위상잡음을 최대한 억압시킨 위상고정 유전체공진 전압제어 발진기를 설계하였다.

2. 위상고정 루프 발진기

기준 입력신호와 분주기에 의해 분주된 신호가 위상검출기에 의해 비교되어 그 차이만큼의 전압이 루프필터에 의해 검출되어 지고, 이 검출된 전압이 전압제어 발진기를 제어하여 전압제어 발진기의 위상이 입력신호와 일치되도록 루프가 반복되어, 위상동기 (Lock-in) 과정에서 동기화 완료됨으로써 원하는 출력이 나오게 하는 것이 위상고정 루프 발진기이다.

2.1 PLL의 원리

PLL은 출력주파수를 항상 일정하게 유지하도록 구성된 주파수 부귀환 회로이다. 기본 구성은 위상검출기(P/D), 루프 필터(LPF), 전압제어발진기(VCO)로 이루어진다.

위상검출기는 기준주파수(f_r)와 비교주파수(f_p)의 위상을 비교하여 그 위상차에 해당하는 DC전압을 출력하고 루프필터를 통해 나온 전압으로 전압제어 발진기의 출력주파수(f_{vco})를 조정한다. 그리고 출력주파수는 다시 위상 검출기에 부귀환된다. 이러한 루프 동작은 두 신호의 위상이 고정될 때까지 반복되며, 고정이 되면 안정된 주파수를 출력한다. 그리고 비교주파수를 기준주파수와 일치시키기 위해 프로그램카운터를 사용하여 $1/N$ 로 분주하고, 전압제어 발진기의 출력주파수대를 위상검출기의 동작주파수대와 일치시키기위해 프리스케일러($1/M$)를 사용한다. 프로그램카운터와 프리스케일러를 부과하여 구성한 기준신호 발생기 회로를 그림 2-1에 나타내었다.

PLL회로가 위상고정상태가 되기 위해서는 $f_r=f_p$, $f_p=f_{vco}/(M \times N)$ 을 만족시켜야 하므로, 위상고정 상태에서의 전압제어 발진기의 출력주파수는 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

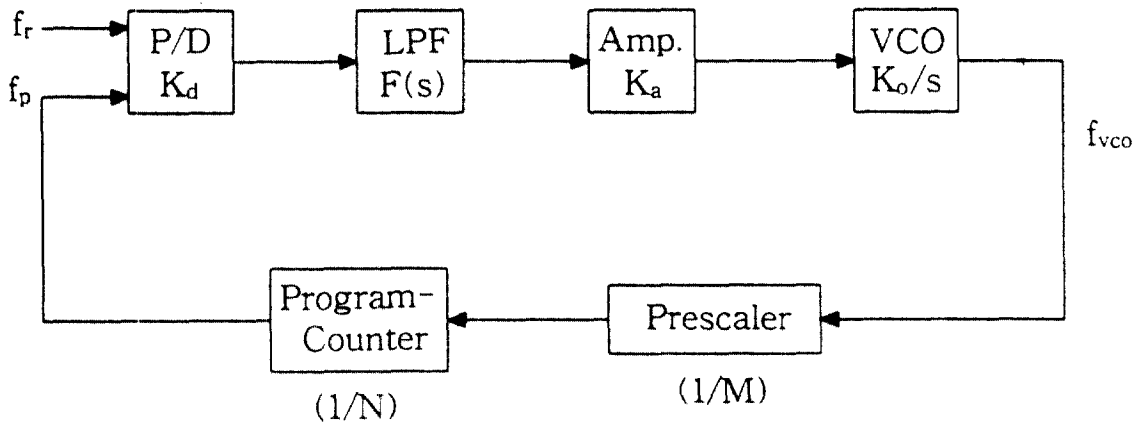


그림 2-1 프로그램카운터와 프리스케일러를 부과한 PLL회로
 Fig. 2-1 PLL circuit with program-counter and prescaler

$$f_{vco} = f_p \times M \times N \text{ ----- (2-1)}$$

PLL회로의 루프동작이 일반적으로 2차 부귀환 제어시스템 동작과 같으므로 루프 동작을 고찰하기 위해 주파수영역에서 총 루프이득과 폐루프 전달함수를 그림 2-1에서 구하면 다음과 같다.

$$H(s) = \frac{T(s)}{1+T(s)} = \frac{\left(\frac{1+K_v \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}\right) s + \frac{K_v}{\tau_1 + \tau_2}}{s^2 + \left(\frac{1+K_v \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}\right) s + \frac{K_v}{\tau_1 + \tau_2}} \text{ ----(2-2)}$$

일반적으로 2차 부귀환 시스템의 폐루프 전달함수는 다음 식과 같이 나타낸다.

$$H(s) = \frac{2 \zeta \omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2 \zeta \omega_n s + \omega_n^2} \text{ ----- (2-3)}$$

그러므로 식(2-2)와 식(2-3)를 비교하면 고유주파수와 감쇠비를 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

$$\omega_n = \left(\frac{K_v}{\tau_1 + \tau_2}\right)^{1/2} \text{ ----- (2-4)}$$

$$\zeta = \frac{\omega_n}{2} \left(\tau_2 + \frac{1}{K_v}\right) \text{ ----- (2-5)}$$

2.2 전압 제어 발진기

전기적 동조는 바랙터 다이오드를 사용하여 구현할 수 있으며, 바랙터 다이오드는 Si 또는 GaAs 다이오드가 있는데 GaAs 다이오드가 보다 높은 Q값을 얻을 수 있다.

원래 발진기는 모두 비선형이나 발진기의 해석과 설계를 위해서는 선형적인 해석법을 사용한다. 일반적으로 발진기의 구성도는 단순화하여 변환등가회로로 나타내면 그림 2-2와 같다.³⁾

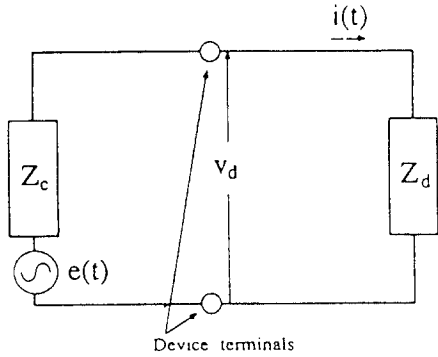


그림 2-2. 발진기의 기본 구성도
Fig. 2-2. The block diagram of oscillator

그림 2-2의 구성도에서 $Z_c(\omega)$ 는 능동소자의 단자에 나타나는 회로 임피던스이고, 발진을 일으키는 잡음원 $e(t)$ 가 회로에 추가되어있다. 그리고 $Z_d(\omega)$ 는 능동소자의 임피던스이다. 여기서 다음과 같은 가정을 하여 발진기 소자와 회로 임피던스의 항만으로 발진기의 일반조건을 다음과 같이 구하였다.³⁾

1) $Z_d(A)$ 는 발진기 RF전류 진폭 A 만의 함수이다.

2) $Z_c(\omega)$ 는 주파수만의 함수이다.

○ 발진조건

$$R_c(\omega) + R_d(A) + j[X_c(\omega) + X_d(A)] = 0$$

----- (2-6)

○ 안정도

$$S = \frac{\partial R_d}{\partial A} X_c'(\omega_0) - \frac{\partial X_d}{\partial A} R_c'(\omega_0)$$

$$= R_c'(\omega_0) \frac{\partial R_d}{\partial A} [\tan \theta_c - \tan \theta_d] > 0$$

----- (2-7)

여기서 프라임은 ω 에 대한 미분치를 나타내며 $\tan \theta_c$ 와 $\tan \theta_d$ 는 다음과 같다.

$$\tan \theta_c = \frac{X_c(\omega_0)}{R'(\omega_0)}, \quad \tan \theta_d = \frac{\partial X_d / 2A}{\partial R_d / 2A}$$

식 (2-7)로부터 발진기의 안정도는 소자와 회로양쪽의 전기적인 특성에 의하여 결정되어지는 것을 알 수가 있다.

2.2.1 위상잡음

발진기는 순수한 단일 신호만을 발생하지 않고 캐리어의 기본 주파수 부근에 근접해서 잡음이 분산되어 있으며 주파수 변조된 연속스펙트럼으로 그림 2-3과 같이 발생한다.⁴⁾

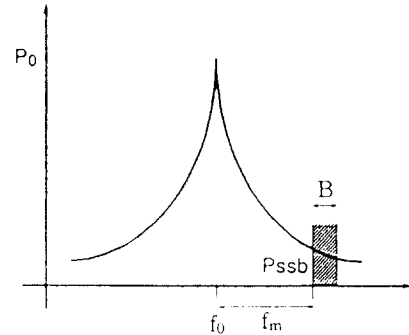


그림 2-3. 캐리어 부근의 스펙트럼 에너지 분포

Fig. 2-3. Spectral distribution of energy around the carrier

잡음에 기인한 이 출력 스펙트럼은 다음과 같은 두가지 부분으로 구성되어있다.

- 1) 직류전원이나 바이어스 회로에서의 변조에 기인한 시스템계 잡음. 이 잡음은 설계시 충분히 억제될 수가 있다.
- 2) 마이크로웨이브 소자에서의 불규칙 효과에 기인한 불규칙 잡음. 이 잡음은 증폭기나 발진기의 메카니즘에 달려있다.

발진기에서의 발진되는 실제 신호는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$V(t) = [V_0 + \varepsilon(t)] \sin [2\pi f_0 t + \varphi(t)]$$

----- (2-8)

여기서 $\varepsilon(t)$ 는 진폭변동성분이고, $\varphi(t)$ 는 불규칙적인 위상변동성분, 즉 위상잡음이다. 불규칙적인 위상변동성분은 Spectrum Analyzer에 의하여 관측되어 질 수 있는

며, 이것은 스퓨리어스와 같은 별개의 성분으로 나타나는 이산적인 성분과, 위상잡음으로 불리는 불규칙성에 기인한 위상불안정으로 발진기에서 열잡음, 산탄잡음, 1/f 잡음을 포함한 불규칙 측대파 잡음으로 나타난다. 여기서 위상잡음은 다음과 같이 주어진다.³⁾

$$|\varphi(f)|^2 = \frac{2|\epsilon|^2}{\omega^2 A_0^2} \times \frac{\omega^2 |Z_c'(\omega_0)|^2 + A_0^2 \left[\left(\frac{\partial R_d}{\partial A}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_d}{\partial A}\right)^2 \right]}{\omega^2 |Z_c'(\omega_0)|^2 + A_0^2 S^2} \quad (2-9)$$

여기서 A_0 는 RF전류진폭의 정상상태 값이다. 그리고 식 (2-9)의 결과는 위상잡음 φ 의 전력스펙트럼밀도이다.

발진기는 그림 2-4와 같이 귀환을 가진 증폭기 모델로 표시될 수 있다. 여기서 탱크회로나 대역공진기는 식 (2-10)과 같이 저역통과 전달함수를 가지며, 증폭기 입력에서의 위상잡음은 발진기에서의 공진기 대역폭에 의해 영향을 받는 것을 알 수 있다.

$$L(\omega_m) = \frac{1}{1 + j(2Q_L \omega_m / \omega_0)} \quad (2-10)$$

여기서 Q_L 은 부하시 공진기의 Q, ω_m 은 offset 각 주파수, $\omega/2Q_L = B/2$ 는 공진기의 반대역폭이다. 식(2-10)은 대역통과 공진기의 진폭응답을 나타내며, 위상잡음은 반대역폭까지 공진기를 통해 감쇠없이 전달되어지고, 위상귀환루프의 폐루프응답은 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta\varphi_{out}(f_m) = 1 + \frac{\omega_0}{j(2Q_L \omega_m)} \Delta\varphi_{in}(f_m) \quad (2-11)$$

위상스펙트럼 밀도는

$$S_{\varphi_{in}(f_m)} = \frac{FKTB}{P_{avs}} \left(1 + \frac{f_c}{f_m}\right) \quad (2-12)$$

$$S_{\varphi_{out}(f_m)} = \left[1 + \frac{1}{f_m^2} \left(\frac{f_0}{2Q_L}\right)^2\right] S_{\varphi_{in}(f_m)} \quad (2-13)$$

여기서 P_{avs} 는 캐리어신호 전력이다.

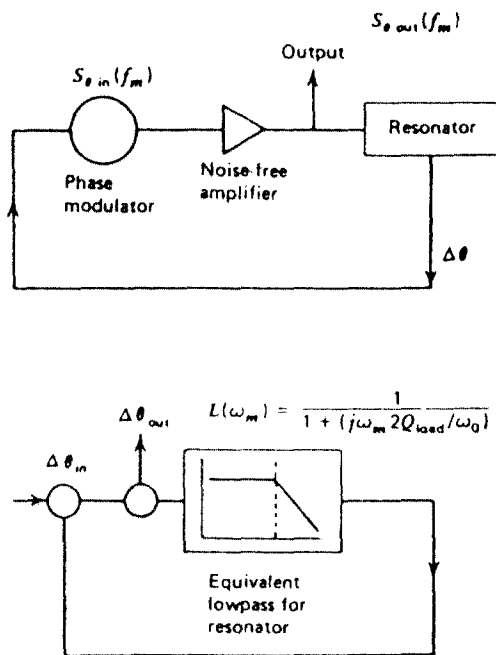


그림 2-4. 발진기 위상잡음의 등가 귀환 모델

Fig. 2-4. Equivalent feedback models of oscillator Phase noise

f_c 와 반대역폭 $f_0/2Q_L$ 의 관계에 의하여 식 (2-10)~(2-13)으로부터 전체 잡음스펙트럼밀도를 구하면 식 (2-14)와 같이 표시되며, $1/f_3$ 과 $1/f_1$ 의 영역은 캐리어 근처에 분포하며 그림 2-5와 같이 표시된다.⁴⁾

$$L(f_m) = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{1}{f_m^2} \left(\frac{f}{2Q_L} \right)^2 \right] \frac{FKT}{P_{avs}} \left(1 + \frac{f_c}{f_m} \right)$$

$$= \frac{FKTB}{P_{avs}} \left[\frac{1}{f_m^3} \frac{f_c^2}{4Q_L^2} + \frac{1}{f_m^2} \left(\frac{f}{2Q_L} \right)^2 + \frac{f_c}{f_m} + 1 \right]$$

(dB_c/Hz)

----- (2-14)

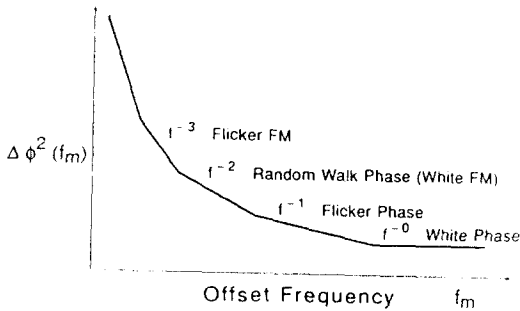


그림 2-5. offset 주파수에 대한 스펙트럼 밀도분포

Fig. 2-5. Spectral density distribution versus offset frequency

식 (2-14)는 캐리어 주파수로부터 offset 주파수 f_m 만큼 떨어진 점에서의 전체 신호전력대 단일 위상변조 측대파 전력의 비이다.

어떤 주어진 동조회로의 등가 전송 임피던스는 식 (2-15)와 같이 표현된다.⁶⁾⁷⁾

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ ----- (2-15)}$$

식 (2-12)에서 C가 커질수록 등가임피던스는 작아진다. 그러나 C가 큰 회로는 Circuit board용량에 덜 민감하기 때문에 잡음을 줄일 수 있다. 또한, 발진기의 루프 대역폭 밖의 잡음은 Q에 의해 결정되어지며 80MHz 이상에서는 1/4 전송선을 이용하면 Q를 높여 위상잡음 스펙트럼을 개선할 수 있다.

본 논문에서는 $\lambda/4$ 전송선을 이용한 S-parameter 방법을 적용하였다. 이 방법에 의한 발진조건은 식(2-13), (2-14), (2-15)와 같다.⁵⁾

$$k = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + D^2}{2|S_{12}||S_{21}|} < 1$$

----- (2-16)

$$\Gamma_G S_{11} = 1 ; |S_{11}| > 1 \text{ ----- (2-17)}$$

$$\Gamma_L S_{22} = 1 ; |S_{22}| > 1 \text{ ----- (2-18)}$$

단, k:stability, $D = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$

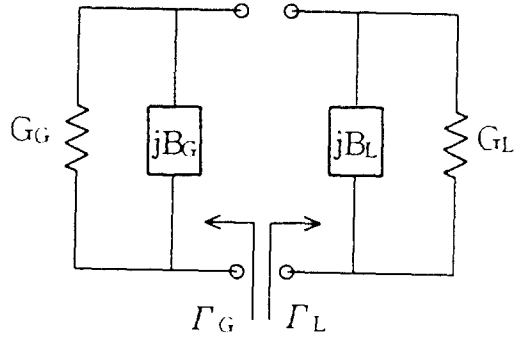


그림 2-6. 병렬공진발진기 등가회로
Fig 2-6. Parallel resonant oscillator equivalent circuit

전송선로를 이용한 공진기의 구성은 다음 식에 의해 이루어진다.⁶⁾

$$\lambda = 300/f \text{ [m]} \text{ ----- (2-19)}$$

조밀한 회로를 구성하여 잡음을 줄이기 위해 전송선로의 길이를 줄일 경우, 이 줄인 전송선로의 길이를 보충하기 위해 연결하는 콘덴서의 값은 다음 식에 의해 구해진다.

$$C = \frac{1}{2\pi f Z_o} \tan(2\pi dZ/\lambda) \text{ ----- (2-20)}$$

여기서 f : 공진주파수

λ : 전송선로의 파장
 Z_0 : 특성 임피던스
 dZ : $\lambda/4 - L$

식 (2-20)에 의하여 구한 C를 이용하여 병렬 공진 회로를 구성한다.

3. 위상고정루프 유전체공진 발진기 설계

다음 그림 3-1은 본 논문에서 실현하고자 하는 위상고정루프 유전체공진 발진기의 구성도를 나타낸다.

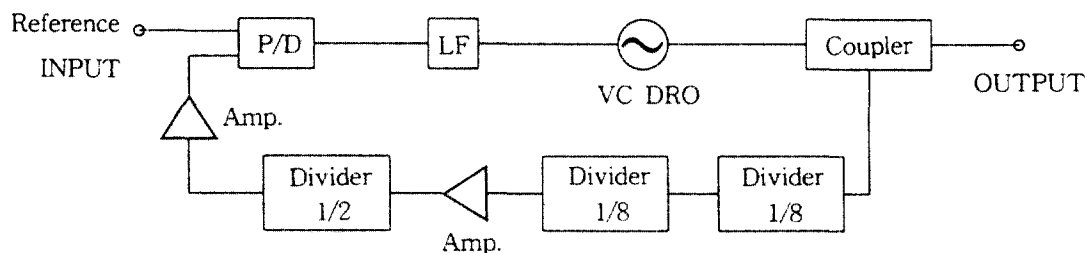


그림 3-1. 위상고정루프 유전체공진 발진기의 구성도
 Fig. 3-1. The Block Diagram of PLL using VCDRO

3.1 전압제어 유전체공진 발진기

전압제어 유전체공진 발진기의 GaAs FET는 OKI社의 KGF 1860, 유전체 공진기는 Murata社의 DRO051E022, 그리고 바랙터 다이오드는 MA-COM社 MA464 기로 택하였고, 비유전율 2.5, 높이 0.5 mm, 동박두께 0.018mm인 Teflon fiber 기판을 택하여 설계를 하였다. 마이크로스트립선로의 길이는 Smith 도표를 이용하여 구하였으며, EESOF社의 Touchstone 을 이용하여 시뮬레이션 및 최적화를 수행하였다.

3.1.1 저잡음 발진기 설계

발진기의 위상잡음은 혼합기 출력에 직접적으로 옮겨 나타나므로 시스템의 선택도 뿐만 아니라 감도를 저하시키는 원인이 된다. 그러므로 이 위상잡음을 최소로 줄이기 위해서는 식 (2-7), (2-9)에서 안정도 S를 개선시키거나 $\frac{\partial R_f}{\partial A}$ 를 적게하기 위해 기준 발진기로 수정발진기를 사용하였다. 그리고 식 (2-14)에서 알 수 있는 바와 같이 공진기의 Q_L 이 클수록, 또한 식 (2-9)에서 공진회로의 $Rc'(\omega_0)$ 와 $Xc'(\omega_0)$ 가 작을수록 위상잡음이 줄어들므로 다음과 같은 방식으로 회로설계를 하였다.

단일 마이크로스트립선로의 폭 W는 Hammerstad의 식에 의해서 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$W/H \leq 2 \text{ 일 때,}$$

$$W/H = 8 \exp(A) / (\exp(2A) - 2) \quad \text{--- (3-1)}$$

$$A = \frac{Z_0}{60((\epsilon_r + 1)/2)^{1/2}} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{(\epsilon_r + 1)(0.23 + 0.11/\epsilon_r)}$$

----- (3-2)

$$W/H \geq 2 \text{ 일 때,}$$

$$W/H = 2/\pi \{ B - 1 - \ln(2B - 1) + (\epsilon_r - 1)/\epsilon_r$$

$$\quad [\ln(B - 1) + 0.39 - 0.61/\epsilon_r] \}$$

----- (3-3)

$$B = 60\pi^2 / (Z_0 \epsilon_r^{1/2}) \text{ ----- (3-4)}$$

실효유전율 ϵ_{re} 는

$$\epsilon_{re} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + (\epsilon_r - 1) F(W/H) \text{ ----- (3-5)}$$

$$F(W/H) = (1 + 12H/W)^{-1/2} + 0.04(1 - W/H)^2, W/H \leq 1$$

$$= (1 + 12H/W)^{-1/2}, W/H \geq 1 \text{ ----- (3-6)}$$

Dispersion 효과를 고려하여 $Z_0(f)$ 는 Bianco의 식을 이용하였고, $\epsilon_{re}(f)$ 는 Gesinger의 식을 이용하였다.

$$Z_0(f) = Z_{OT} - (Z_{OT} - Z_0) / (1 + G(f/f_p)^2) \text{ ----- (3-7)}$$

$$\epsilon_{re}(f) = \epsilon_r - (\epsilon_r - \epsilon_{re}) / (1 + G(f/f_p)^2) \text{ ----- (3-8)}$$

$$Z_{OT} = 60 / (\epsilon_r)^{1/2} \ln(8H/\pi W), W/2H \leq 0.35 \text{ ----- (3-9)}$$

$$= 2 / (\epsilon_r)^{1/2} 94.15 / (W/2H + C_f / 0.0885\epsilon_r), W/2H \geq 0.35 \text{ ----- (3-10)}$$

여기서 $G = 0.6 + 0.009Z_0$
 $f_p = Z_0 / (8\pi H)$
 $C_f = 0.0885\epsilon_r / \pi 2 \ln 2$ 이다.

식(3-1)~(3-10)의 결과를 이용하여 비유전율 2.5, 기관두께 0.5mm, 동박두께 0.018 mm인 Teflon fiber 기관위에 전압 제어 유전체공진 발진기를 설계하면 표 3-1.와 같이 선로의 길이를 얻을 수 있다. 설계된 전압제어 유전체공진 발진기의 구조는 출력을 Source측에서 얻었으며, Drain측에 귀환을 이용하여 발진조건을 만들었다. 출력단에 정합회로를 구성함으로써 최대의 출력전력을 얻을 수 있도록 하였다.

표 3-1. 전압제어 유전체 공진기의 선로길이

Gate 단	Source 단	Drain 단
선로폭 W=1.592	선로폭 W=0.4	선로폭 W=1.592
선로길이 L ₁ =7.940	선로길이 L ₁ =0.9	선로길이 L ₂ =2.414
		선로길이 L ₃ =2.970
유전체 공진기와 마이크로스트립 선로사이의 길이 d=0.530		

3.2 저역통과 여파기 설계

능동형 2차 저역통과 여파기를 설계하기 위하여 F(0)=1일 때, DC루프이득을 다음과 같이 한다.

$$K_v = 0.418 \times 10^6 \text{ ----- (3-11)}$$

설계를 보다 간단히 하기 위하여 식(2-4)에서 $\tau_1 = \tau_2 = \tau$ 하면, 다음과 같이 된다.

$$\omega_n = \left(\frac{K_v}{2\tau} \right)^{1/2} \text{ ----- (3-12)}$$

2차 부귀환 제어시스템의 제어이론을 적용하여 안정시간(settling Time)과 고유주파수 사이의 관계는 다음과 같이 한다.

$$t_s = \frac{1.5}{0.8\omega_n} \text{ ----- (3-13)}$$

시스템의 특성을 고려하여 안정시간을 125μs로 정함으로써 고유주파수는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\omega_n = 15 \times 10^3 \text{ ----- (3-14)}$$

식(3-12)와 (3-14)로부터 τ 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\tau = \frac{K_v}{2\omega_n^2} = \frac{0.074 \times 10^6}{(15 \times 10^3)^2} = 3.288 \times 10^{-4}$$

C를 10μf로 택함으로써 저역통과 여파기의 성분값 R을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$R = \frac{\tau}{C} = \frac{3.288 \times 10^{-4}}{10 \times 10^{-6}} = 32.888 \Omega$$

이상의 결과를 가지고 Op-Amp를 이용한 2차 여파기의 구성을 그림 3-2에 나타내었다.

3.3 결합기 설계

10.678GHz 전압제어 발진기 출력신호를 주파수 분주기와 출력으로 분배하기 위하여 3dB Branch Line Coupler를 가지고, 사용주파수 대역에서 각 출력단으로 전력이 절반으로 감소되어 입력되고, 또한 입출력 정재파비는 30dB정도의 성능을 갖도록 그림 3-3과 같이 설계하고, 그 설계된 설계치로부터 그림 3-4와 같은 패턴도를 얻었다.

그림 3-5는 앞에서 설계된 회로들을 취합하여 제작한 위상고정루프 유전체공진 발진기의 실제 PCB 패턴도이다. 전압제어 유전체공진 발진기는 우측후단에 다른 회로와의 고주파 간섭을 줄이기 위하여 분리구역에 배치하였다. 전압제어 발진기의 출력은 1/8분주기로 2단 분주한 신호와 이를 다시 1/2로 분주하여 위상검출기의 입력신호로 변환한 신호는 미약하여 이를 보완하기 위해 증폭기를 사용하였다.

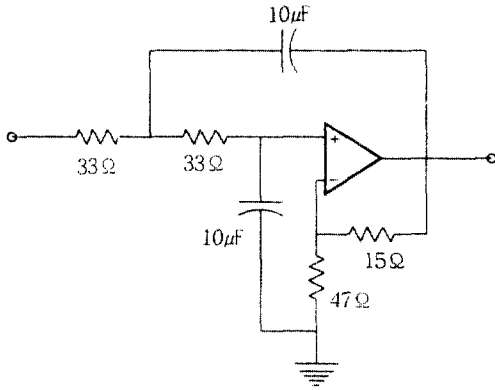


그림 3-2. 능동형 2차 여파기의 회로도
Fig. 3-2. Circuit diagram of active 2nd filter

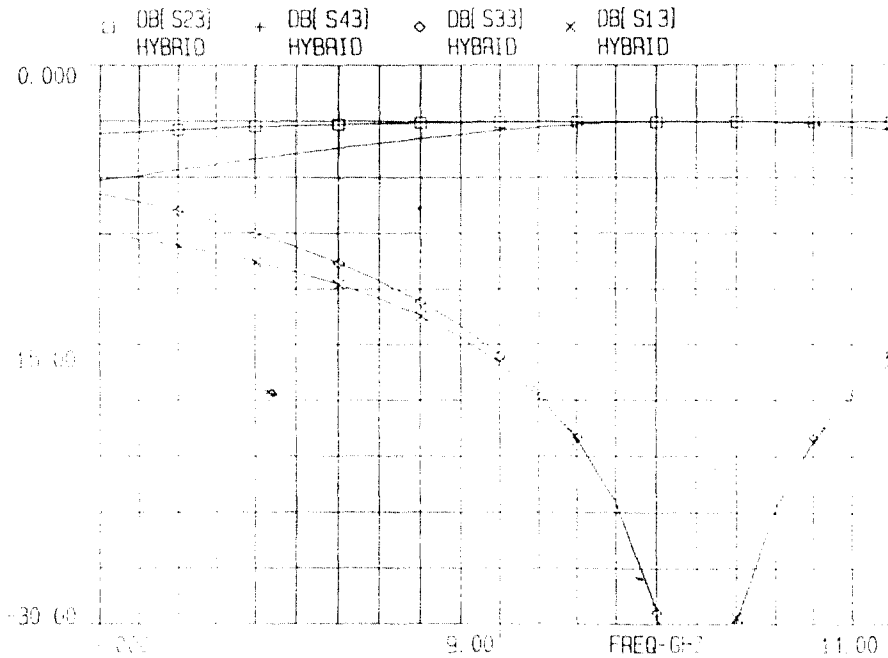


그림 3-3. 3dB Branch Line Coupler 시뮬레이션 결과
Fig. 3-3. The result of simulation for 3dB Branch Line Coupler

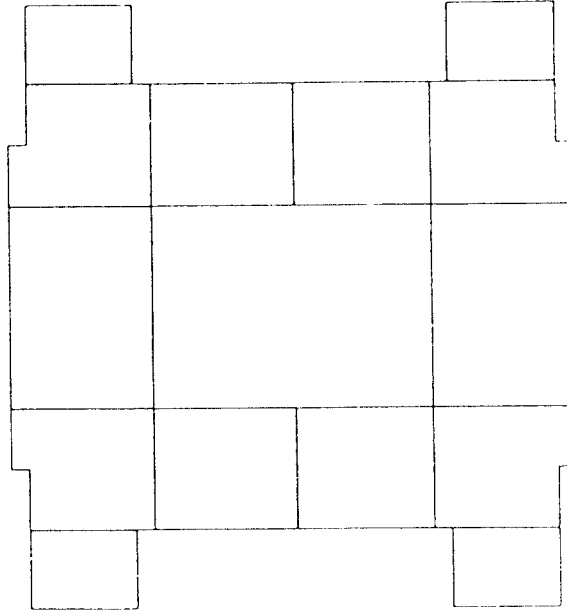


그림 3-4. Coupler 패턴도
 Fig. 3-4. The pattern of Coupler

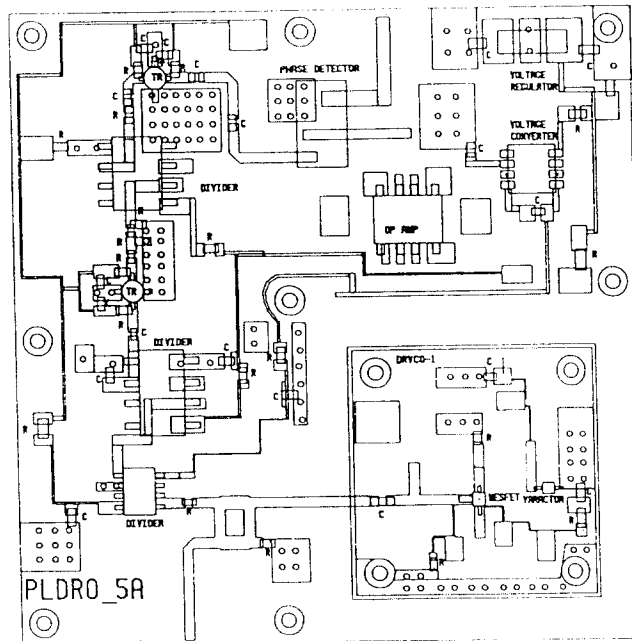


그림 3-5. 10.678GHz 위상고정루프 유전체공진 발진기의 실제 패턴도
 Fig. 3-5. The practical pattern of 10.678GHz PLL DRVCO

그림 3-6은 전압제어 유전체공진 발진기의 발진조건을 Simulation Program인 Touchstone을 이용하여 Simulation한 결

과이다. 그림에서 보듯이 발진주파수 10.678GHz에서 반사계수의 크기가 1보다 훨씬 큰 값을 갖도록 설계하였다.

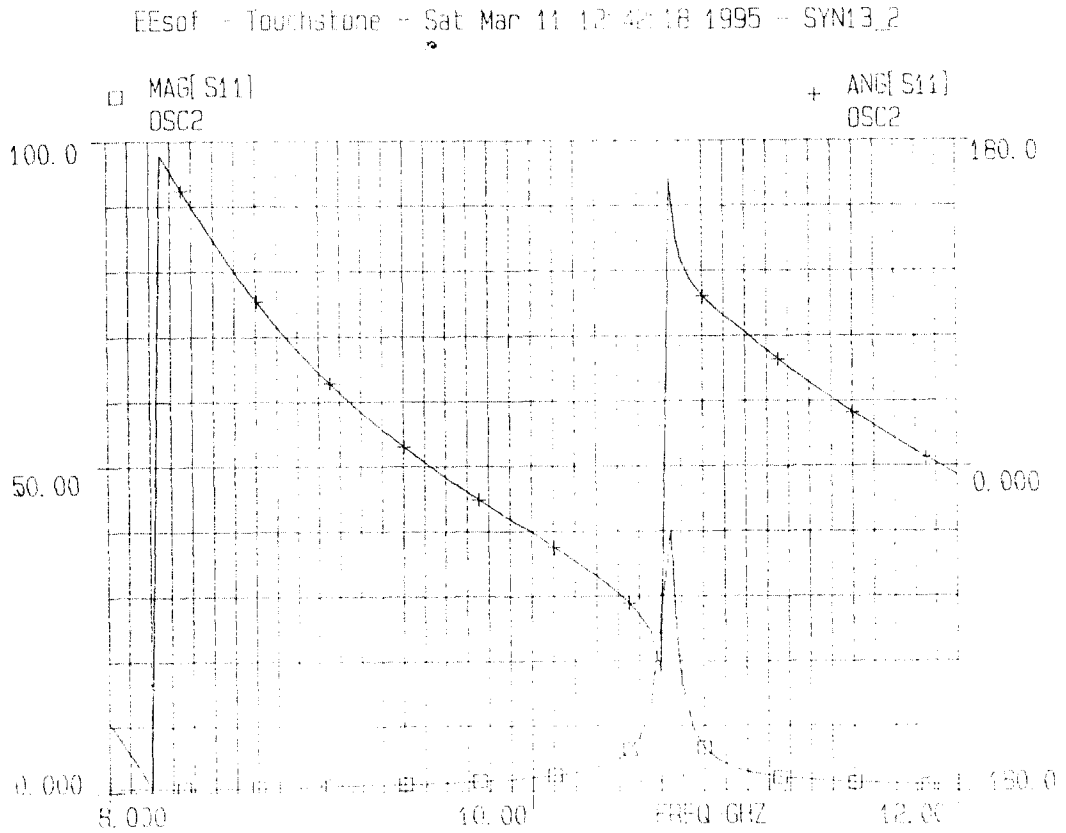


그림 3-6. 전압제어 유전체공진 발진기의 Simulation 결과
Fig. 3-6. The simulation result of VCDRO

4. 측정 및 고찰

측정장치의 구성도는 다음과 같다.

기(HP8360)를 사용하였다. 그림 4.2는 10.678GHz 전압제어 유전체공진 발진기만의 신호발생특성을 보여주며 10.678GHz에

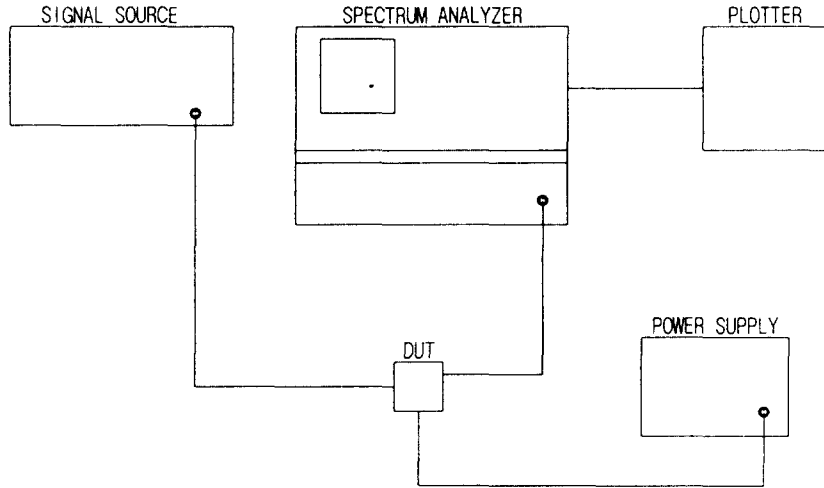


그림 4-1. 10.678GHz 위상고정루프 발진기 측정장치 구성도
 Fig. 4-1. Blockdiagram of 10.678GHz PLL DRVCO

위상고정루프 유전체공진 발진기의 위상잡음 특성은 기준 발진기의 성능에 의해 결정되므로 신호발생기는 위상잡음 특성이 우수한 주파수 합성방식의 신호발생

서 출력신호의 세기가 1.5dB_m으로 비교적 양호한 발진 특성을 보여주고 있다. 측정 시 Spectrum Analyzer의 Span은 500 MHz이다.

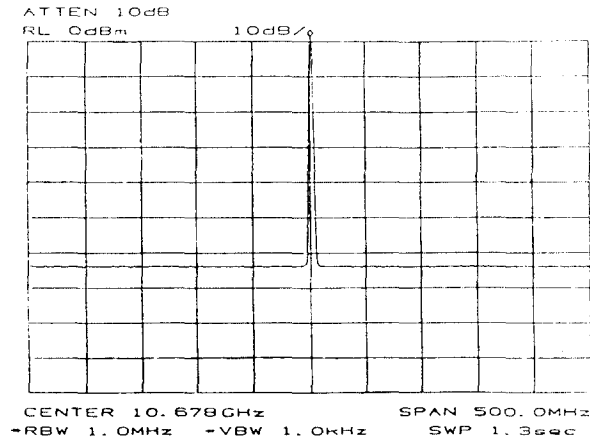


그림 4-2. 전압제어 유전체 공진 발진기의 발진특성
 Fig. 4-2. Oscillation Characteristics of VCDRO

본 연구에서의 VCDRO의 특성은 이 앞의 연구결과인 DRO의 특성보다 위상잡음 특성이 개선된 것으로 나타났다.⁸⁾

그림 4-3과 그림 4-4는 본 측정장치에 의하여 측정된 VCDRO와 PLL DRVCO의 위상잡음 특성을 보인 것이다.

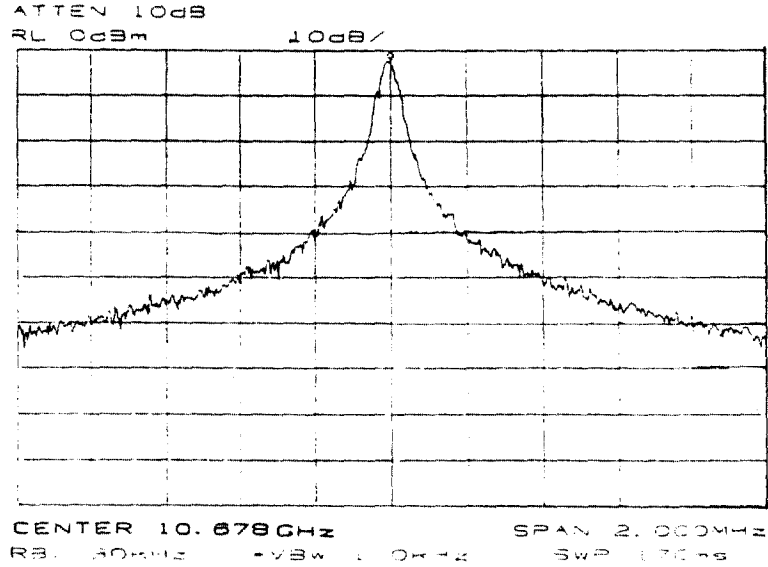


그림 4-3. 전압제어 유전체 공진 발진기의 위상잡음
Fig. 4-3. Phase noise of VCDRO

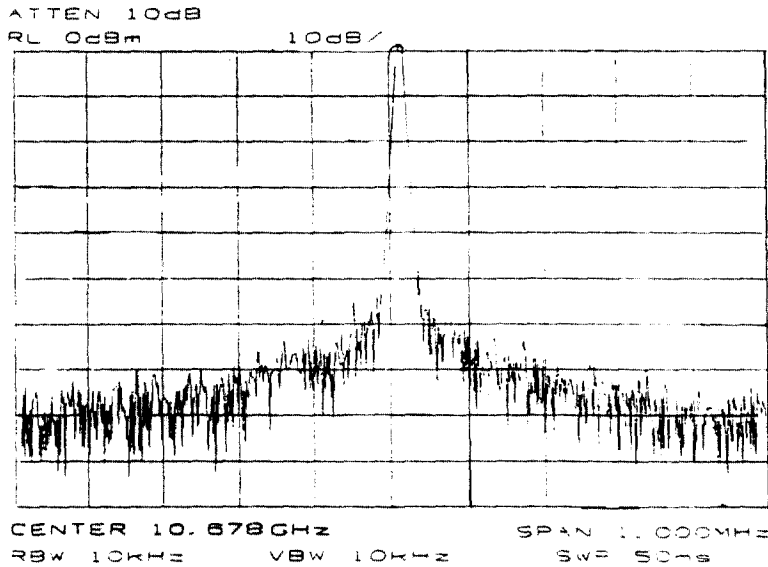


그림 4-4. 위상고정루프 유전체 공진 발진기의 위상잡음
Fig. 4-4. Phase noise of PLL VCDRO

그림 4-3과 그림 4-4에서 알 수 있는 바와 같이 위상고정루프방식을 적용함으로써 발진기의 위상잡음이 약 30dB정도 개선됨을 알 수 있다. 그러나 이 위상잡음은 본 실험에서 기준신호로 사용한 신호 발생기의 위상잡음에 따라 성능에 차이가 있을 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 위성방송수신용 국부발진기로 사용할 수 있는 Ku-Band용 고안정 발진기 개발을 목적으로하여, 높은 주파수 안정도와 낮은 위상잡음 특성의 10.678 GHz 위상고정루프 주파수합성 발진기에 대한 이론을 정리하고 실제 설계를 하였다.

기존의 일반적인 Ku-Band용 주파수 합성기의 실현방법은 낮은 주파수대에서 위상고정 귀환루프에 의하여 안정된 주파수를 합성 발진시킨 후에 고율의 체배과정을 통하여 목적하는 출력주파수의 고주파 신호를 발생시켰으나, 이 방식은 고율의 체배에 따른 출력전력의 안정도와 위상잡음에 많은 문제점이 따르고 있다. 따라서 본 연구는 체배과정보다는 분배과정에 의해 초고주파를 안정적으로 구현한 합성발진기 구조를 채택하여 보다 개선된 출력의 안정성과 위상잡음특성, 그리고 발진주파수의 선택용이도를 높일 수 있는 주파수합성 발진기를 제시하였다.

본 논문의 주파수합성 발진기는 유전체 공진 발진기에 바랙터 다이오드를 추가해서 10.678GHz의 주파수를 전압조절할 수 있는 유전체공진 발진기로서 발생주파수는 루프귀환회로로 연계되어 모듈형태의 주파수 분주기를 이용하여 83MHz대역으로 변환시킨 후에 위상검출기에 입력된다. 주파수 분주기는 특성상 전력의 손실이 크므로 전력증폭기에 의해 보상을 하였다. 위상검출기에 입력된 신호는 수정발진기에서 발생된 기준주파수와 비교되어 위상

차이에 따른 주파수 조정전압을 출력하게 되고, 이 출력전압은 루프필터를 통하여 10.678GHz VCDRO의 발진주파수를 고정시킨다.

본 연구에서 개발한 10.678GHz 위상고정루프 발진기의 중요한 성능 요소인 위상잡음과 안정도는 근본적으로 기준 발진기인 수정발진기의 안정도와 위상잡음에 의해 지배받게 되므로 주파수 온도 특성이 안정한 온도제어 수정발진기의 사용이 유리할 것이다. 그러므로 온도특성이 안정한 수정발진기를 사용함으로써 위상잡음은 위상고정 귀환루프의 안정회로로 인해 30dB이상 개선이 됨을 측정하였다. 또한, 위상검출기, 루프필터 등도 발진기의 성능에 영향을 주게 되므로 설계과정에서 각 부분의 성능조건을 함께 고려하여 최적의 설계값을 추출함이 매우 중요하다.

본 연구의 다음 단계에서 실용적인 주파수 합성발진기 제작을 위한 연구 사항은 다음과 같다.

- 가. MIC의 실현을 위한 각 부분의 집적화.
- 나. 발진주파수의 가변폭 확장에 관한 연구.
- 다. 균일한 위상잡음의 제어를 위한 연구.

References

- 1) Floyd M.Gardner, Phaselock Techniques, John Wiley & Sons, 1979.
- 2) V.F.Kroupa, "Noise Properties of PLL Systems", IEEE Trans.Communication, Vol. Com-30, PP.2244~2252, No. 10, Oct. 1982.
- 3) Eric Holzman, Solid-State Microwave Power Oscillator Design, Artech House, 1992.
- 4) B.L. Smith & M.H.Carpentier, the Microwave Engineering Handbook, Chapman & Hall, 1993.

- 5) Vendelin, Pavio, Rohde, Microwave circuit design using linear and non linear techniques, John Wiley & Sons, 1990.
- 6) V.Manassewitsch, Frequency Synthesizers Theory and Design, John Wiley & Sons, 1976.
- 7) E.C.Niehenke & R.D.Hess, "A Microstrip Low-Noise X-Band Voltage-Controlled Oscillator" IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-27, PP. 1075~1079, Dec. 1979.
- 8) C.S.Jung, "A study on the highly stable Dielectric Resonator Oscillator for a Ku-band satellite Broadcasting Systems" Journal of Engineering research Vol.25, No.2, PP.165~180, 1994. University of Ulsan.
- 9) Dan H.Wolaver, Phase-Locked Loop Circuit Design, Prentice Hall, 1991.