

論 文

저왜율을 갖는 2상정현파 전압제어
발진기에 관한 연구

正會員 李 成 栢* 正會員 李 允 鍾**

A Study on the two phase sinusoidal
voltage Controlled Oscillator
with Low Distortion

Sung Paik LEE*, Yoon Jong LEE** *Regular Members*

要 約 진동에 관한 비선형 1계연립미분방정식을 아나로그 시뮬레이션으로 2상전압제어발진을 시켜 유용성을 확인하였다. 2상신호를 각각 제공하여 합성하는 부분과 곱셈부분의 실제회로 구성시 복잡하고 가격이 높아지므로 정류 회로와 스위칭회로로 대체하여 회로의 단순화와 가격 저렴화를 이루었다. 본 논문에서 제시된 회로는 제어 입력전압에 주파수가 정확한 비례관계를 가졌고, 응답 속도가 비교적 빠르고 또한 위상오차가 매우 적었으며 주파수비가 10 : 1 이상에서도 저왜율과 정진폭으로 동작하였다.

ABSTRACT Two phase voltage controlled oscillation was realized by using the Electronic analog simulation of non-linear simultaneous 1st order equation in terms of vibration and it's usefulness was sustained. Since it is complex and expensive to implement the circuits actually which composites and multipliate the two phase signal squared respectively, this paper is obtained the simplification and switching circuit. The circuit introduced in this paper had proportionality of frequency to control input voltage, rapid response time, and little phase error, also this circuit operated with very low THD(Total Harmonic Distortion) and constant amplitude at higher than 10 : 1 of frequency ratio.

I. 서 론

주파수 합성기, Phase Lock Loop(PLL) 또는 Look-in 증폭기등에 이용될 수 있는 전압제어 발진기(Voltage Controlled Oscillator; 이하 VCO)는 여러 형태가 있다.

본논문의 VCO는 제어전압에 대한 주파수 직선성이 우수하고 일정진폭으로 동작하며 2상출력을 갖는다. 진동에 관한 미분방정식중에서 진폭과 위상이 각각 변화한다는 가정하에 어느순간의 진폭을 직각성분으로 분류하여 2상화시킨 연립방정식을 세울 수 있다^{(1),(2)}.

이 방정식의 아나로그 연산에 의한 실현은 비교적 잘 이루어 질 수 있으나 회로가 매우 복잡하고 가격이 높아지는 결점이 있어 B·Z KAP-LAN은 이를 단순화하기 위한 관계식을 제시하고 있다⁽³⁾.

*光云大學校 電子工學科
Dept. of Electrical Engineering Kwangwoon Uni.
**漢陽大學校 電氣工學科
Dept. of Electrical Engineering Hanyang Uni.
論文番號 : 87-51(接受 : 1987. 9. 21)

그러나 본연구에서는 MOSFET를 연산회로에 적용하여 회로의 단순화를 위한 설계에 역점을 두었고 아울러 진폭의 안정화를 위한 계수의 관계, 회로 응답 속도 등에 대한 이론치와 실험결과를 비교 검토하였다.

II. VCO 원리

주기운동(periodic motion)에서 각속도 ω 와 위상각의 변화 \dot{Q} 를 일정하다고 가정하며 이 운동을 potential wall내에서 mass point 운동 모델로 하여 이 질점(m)이 R만큼 이동시, 그 에너지는 $W_{(R)} = \frac{1}{2}mR^2$ 이 된다. 이 때 R은 θ , θ 의 값을 가지며 R이 적다고 가정하여 Taylor의 정리로 다음과 같이 전개할 수 있다.

$$W_{(R)} = W_{(0)} + RW'_{(0)} + \frac{R^2}{2!}W''_{(0)} + \frac{R^3}{3!}W'''_{(0)} + \frac{R^4}{4!}W^{(4)}_{(0)} \quad (1.a)$$

$$W_{(-R)} = W_{(0)} - RW'_{(0)} + \frac{R^2}{2!}W''_{(0)} - \frac{R^3}{3!}W'''_{(0)} + \frac{R^4}{4!}W^{(4)}_{(0)} \quad (1.b)$$

궤도상의 절선력을 f, 절선속도를 V라 하면 $f = m \cdot \dot{V} = m\omega \dot{R}$ 이 되므로 다음식이 성립된다.

$$m\omega \dot{R} = W'_{(0)} \cdot R + \frac{W''_{(0)}}{6}R^3 + \dots$$

$$\dot{R} \approx \frac{W'_{(0)}}{m\omega} \cdot R \left(1 + \frac{W''_{(0)}}{6}R^2\right) \quad (1.c)$$

이 식에서 $\frac{W'_{(0)}}{m\omega} \cdot R$

이 식에서 $\frac{W'_{(0)}}{m\omega}$ 를 K로 하고 $\frac{W''_{(0)}}{6}$ 를 A로 하여 식을 단순화시키면 다음과 같다.^{(1),(2),(4)}

$$\dot{R} = K \cdot R (1 - AR^2) \quad (1.d)$$

$$\dot{Q} = -\omega \quad (1.e)$$

식 (1d)에서 K와 A는 양의 정수이며 X성분과 Y성분으로 나누기 위하여 $X = R \cdot \cos \theta$, $Y = R \sin \theta$ 의 관계를 대입하여 계산하면 다음과 같다.⁽³⁾

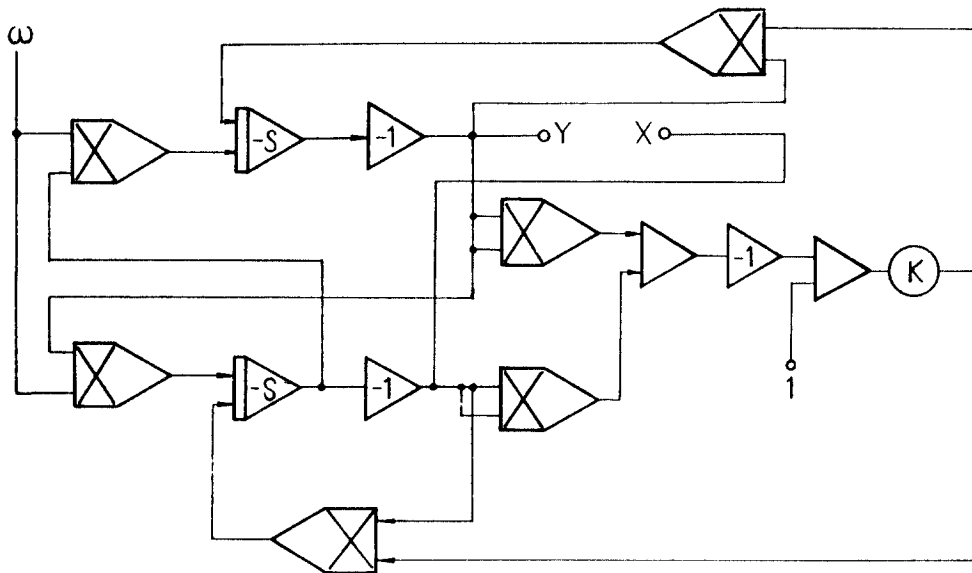


그림 1 2상 VCO의 기본 구성도
Basic block diagram of two phase VCO

$$\dot{X} = \omega Y + K[1 - A(X^2 + Y^2)] \cdot X \quad (2.a)$$

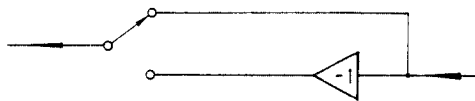
$$\dot{Y} = -\omega X + K[1 - A(X^2 + Y^2)] \cdot Y \quad (2.b)$$

식(2.a),(2.b)는 X,Y에 관한 비선형 1계연립미분 방정식으로 표시되며 이식의 ω 를 가변하여 주파수를 가변 할수있음을 알수있다.

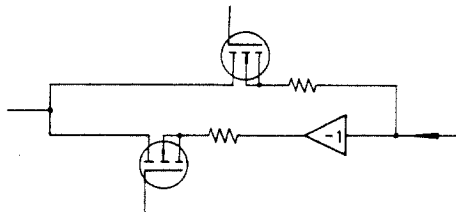
식(2.a),(2.b)를 만족하는 VCO를 실현하는 경우 ω 를 제어전압으로 하였을때 출력 주파수를 ω 에 정확하게 비례할수 있음이 예견된다. 식(2.a),(2.b)에서 $A(X^2 + Y^2)$ 이 1보다 적으면 진폭은 커지고 1보다 크면 진폭이 작아짐을 알수 있으며 K값은 1 이상이어야 진폭이 일정해짐을 알수 있다. 따라서 2상 VCO를 실현함에 있어 식(2.a)(2.b)를 아나로그 연산하기 위한 전자회로 구성은 그림 1과 같다.

III. 회로의 설계

식(2.a),(2.b)에서 $X^2 + Y^2$ 은 양의 값만을 가지며 X,Y에 대하여 2배의 주파수를 갖는다. 한편 진폭이 안정된후 $X^2 + Y^2$ 은 진폭에 비례하는 직류를 의미하므로 X,Y 신호를 전파정류하여 대치할수 있다. 이때 실제의 값이 차이가 있으므로 $X^2 + Y^2$ 을 $B(|X| + |Y|)$ 로 하여 이식을 다음과 같이 다시 쓸수있다.



(a) 동작원리



(b) 실제회로

그림 2 X(또는Y)의 곱셈회로
Multiplier Circuit of X(or Y)

$$\dot{X} = \omega Y + K[1 - A \cdot B(|X| + |Y|)] X \quad (3.a)$$

$$\dot{Y} = -\omega X + K[1 - A \cdot B(|X| + |Y|)] Y \quad (3.b)$$

여기서 $K[1 - A \cdot B(|X| + |Y|)]$ 는 진폭을 일정하게 하기 위한 항으로 정상상태에서는 일정값(직류값)을 가지므로 X또는 Y값에 의해 \pm , \mp 로 결정된다.

이와같은 동작은 곱셈연산으로서 곱셈연산회로의 실현은 매우 복잡하고 가격이 높아지므로 MOS FET로 위와같은 동작을 할수 있도록 그림 2와 같이 구성 하였다.

그림 2에서 알수 있는 바와같이 X또는 Y는 단지 \pm , \mp 에 의해 Q_1 이 ON, Q_2 가 OFF 또는 이와 반대가 되도록 하므로 ± 1 을 식 3.a),(3.b)의 두 번째항에 곱한것과 같다. 따라서 식 3.a),(3.b)를 다음과 같은 식으로 다시 쓸수있다.

$$\dot{X} = \omega Y + K[1 - A \cdot B(|X| + |Y|)] \text{Sign}(X) \quad (4.a)$$

$$\dot{Y} = -\omega X + K[1 - A \cdot B(|X| + |Y|)] \text{Sign}(Y) \quad (4.b)$$

적분회로의 시정수계산은 ωY (또는 $-\omega X$)에 의해서 결정되므로 출력전압(X또는Y)과 입력전압의 최대값을 V_i, V_o 라면 V_o 가 $\frac{1}{4}$ 주기동안 적분적으로 증가한다고 보았을 때 최고의 주파수를 기준하면 다음식에서 간단히 구할수 있다.

$$V_o = \frac{1}{CR} \int_0^{\frac{T}{4}} V_i dt \quad (5)$$

$|X|$ 또는 $|Y|$ 의 값은 그림 3과 같이 전파정류로 얻었고 곱셈연산회로는 2 입력의 첨두치를 각

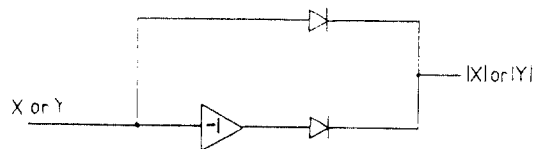


그림 3 연산증폭기를 사용한 전파 정류회로
Fullwave rectifier circuit using the operational amplifier

각 10(V)로 하였을때 그출력도 10(V)가 되게 하
기 위하여 계수를 0.1로 하였다.

IV. 실험및 결과

가. 회로의 구성

그림 1을 식(4.a),(4.b)로 간략화시킨 회로의구
성이 그림 4와 같다. 곱셈기 I_{c1} 과 I_{c2} 는 X,Y신호
와 제어신호 ω 를 곱하여 적분기 I_{c3} 와 I_{c4} 에 가한
다. 적분된 신호는 I_{c5} 와 I_{c6} 로서 반전증폭(전압
증폭도=1)되고, $D_1 \sim D_4$ 로서 X,Y 신호를 전파
정류하게 되고, 또한 I_{c7} 로서 이를 합성하여증폭

한다.

전파 정류된 신호는 진폭제어 신호로서 I_{c7} 과
 I_{c8} 로 증폭 반전시킨후 $Q_1 \sim Q_4$ 의 소오스에 가해진다.
 Q_1, Q_2 는 게이트에 가해진 X신호에 의해 교
대로 스위칭 되며 Q_3, Q_4 는 Y신호에 스위칭 되고
그 출력들은 적분기에 가해져 진폭을 일정하게한
다.

그림 4에서 Analog Multiplier는 MOTOROLA
사의 MC1494로서 구성하였고, $|X|+|Y|$ 를 얻기
위해 $\pm X$ 와 $\pm Y$ 를 $D_1 \sim D_4$ 로 각각 반파정류 하였
다. 진폭의 안정과 왜곡감소를 위해 $Q_1 \sim Q_4$ 를 통
한 케환은 매우 중요하며 파형발생기의 성능을 좌

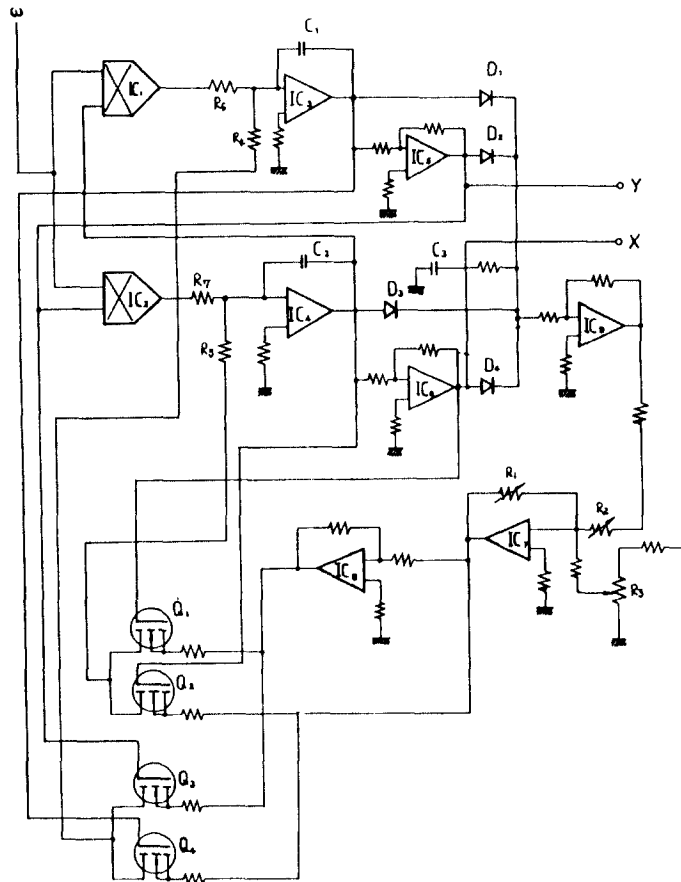


그림 4 설계된 2상 VCO 회로
Implementation 2 phase VCO circuit

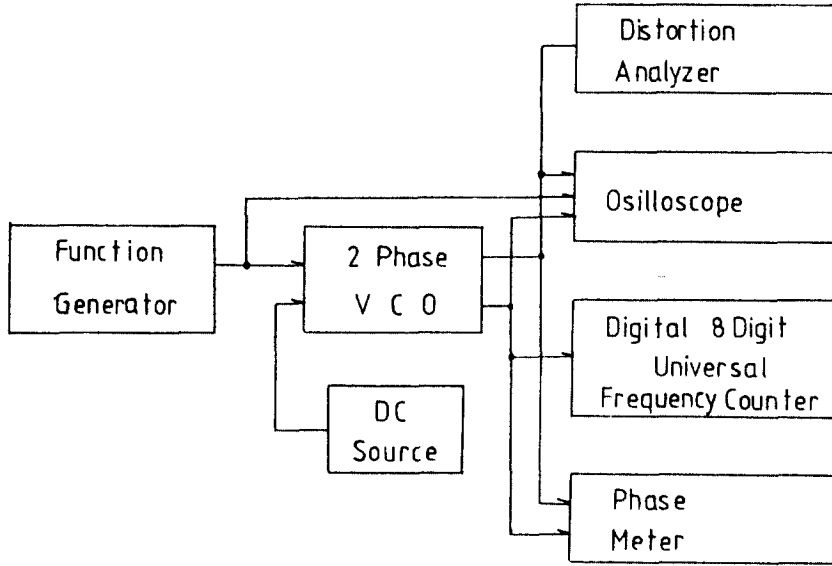


그림 5 설계된 2 상 VCO 의 측정장치도
Measurement system of designed 2 phase VCO

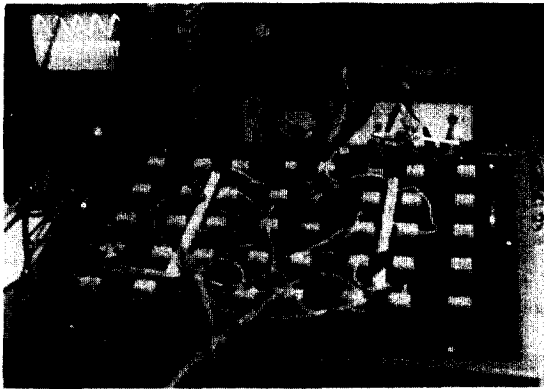


그림 6 설계된 2 상 VCO
Implementation 2 phase VCO

우한다.

주파수의 변위는 입력 ω 에 $-10(V)$ 에서 $+10(V)$ 범위의 전압으로 가변 할수있다. 발진된 정현파 진폭은 R_2 와 R_4 로 조절된다. 또한 위상차와 진폭의 차를 적게하기 위해 $C_1=C_2$, $R_4=R_5$, $R_6=R_7$ 이 되도록 하였다. 한편 2 상 VCO의 측정장치 블럭선도와 사진은 그림 5와 그림 6에 나타난

다.

나. 결과검토

그림 7은 주파수제어 입력전압을 $0.5 \sim 10(V)$ 로 변화시켜 일정한 진폭의 $170 \sim 3200(Hz)$ 정현파 출력을 규격화 시킨것으로 $170(Hz)$ 이하의 주파수로 발생했으나 파형의 일그러짐으로 무의미하다. 한편 가변요소인 "1"의 변화와 진폭및 주파수의 변화는 그림 8과 같다.(다시말해서 "1"의 변화폭은 3 : 1이고 주파수는 $920(Hz)$ 부근이다)

또한 출력파형을 수치해석으로 얻은 파형은 그림 9와 같다. 이해석에서 초기조건으로 $X_{(0)}=6.0$, $Y_{(0)}=0$ 으로 정했으며 정수들은 각각 $K=1.0$, $A \cdot B=0.8$ 및 $\omega=2\pi(600t-60)$ 로 하였다.

이 결과로부터 진폭이 감소하며 파형은 정현파로 2상이되고 제어전압에 의해 주파수가 비례하여 전압의 극성에 따라 상순이 변함을 알수있다. 식(4. a)(4. b)에서 $A \cdot B=0.5$ 로 하고 $K=7.0$ 으로 하였을때 시작된 회로의 출력파형은 그림 10과 같으며 이때 주파수 제어전압은 $\pm 2(V)$ 의 삼각파로 K 가 크므로 진폭이 일정함을 알수있고 위상의 순서가 바뀐것도 관측되었다.

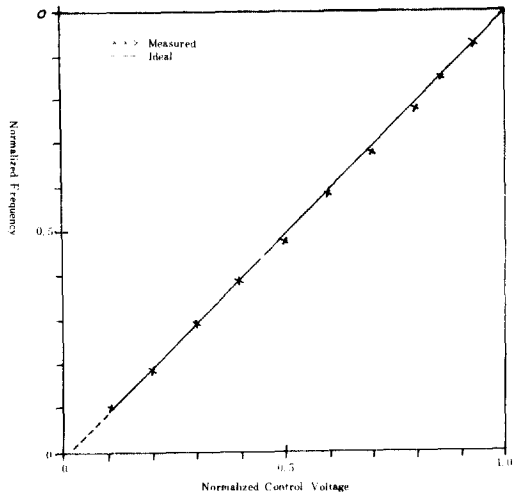


그림 7 제어 전압에 대한 VCO 주파수 관계
VCO frequency VS Control voltage

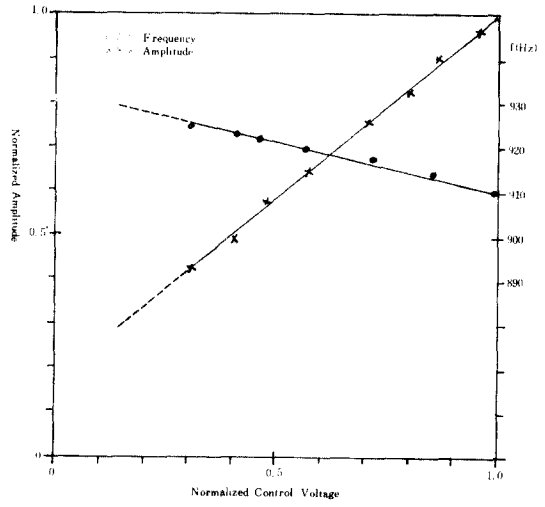


그림 8 제어전압에 대한 진폭의 변화
Control voltage VS amplitude variation

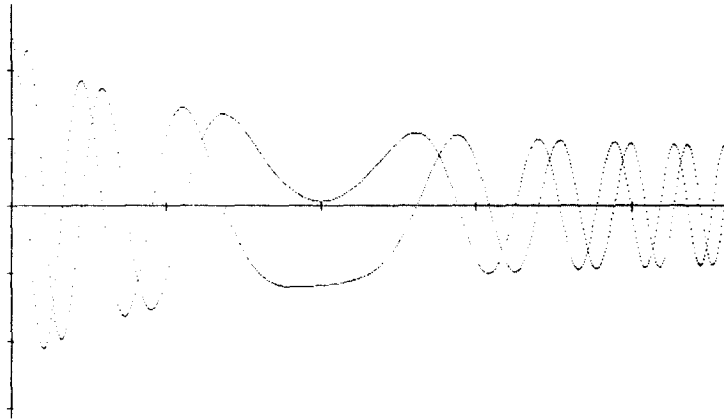


그림 9 디지털 컴퓨터에 의한 파형
Waveform by digital Computer



그림 10 아날로그 연산에 의한 파형
Waveform by analog Computation

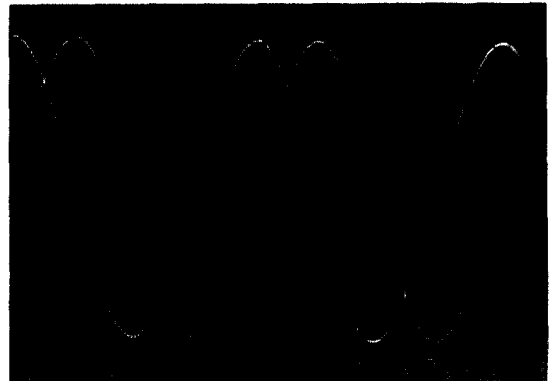


그림 11 1 KHz의 2상 파형
1 KHz 2phase waveform.

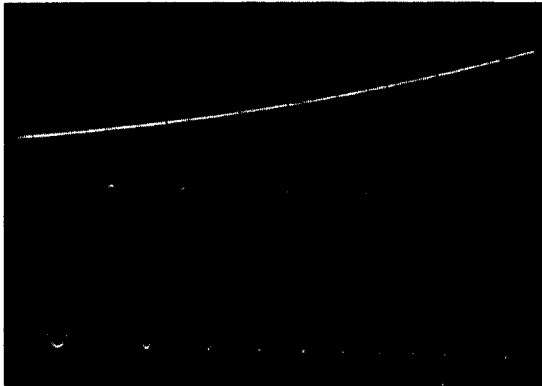


그림12 출력파형과 제어 전압
Control voltage and output waveform

주파수제어전압을 일정히 하였을때 파형은 그림11과 같으며 제어전압을 正의방향으로 증가시킬때 제어전압과 출력파형의 관계는 그림12와 같다. 출력파형과 진폭제어를 위한 파형은 그림13과 같다. 기본파에 대한 비율로 표시한 고조파 함유율은 100~1000(Hz)에 대하여 0.18~0.05(%)로 낮은 주파수측에서 파형왜곡이 컸으며, 위상 오차는 $\pm 2^\circ$ 이내가 되었다.

V. 결 론

응답속도가 빠르고 제어전압에 대한 직선성이 요구되는 PLL회로에 필요한 2상 VCO를 실현하였다. 출력 2상은 필요시 임의의 상으로 만들 수도 있으며 협대역 다중통신회로에 이용이 본 연구에서 얻은 결과는 기대된다.

- 1) VCO는 상대위상차가 최대 $\pm 2^\circ$ 였으며,
- 2) 저고조파 함유율로 10 : 1의 주파수 가변을 얻었다.

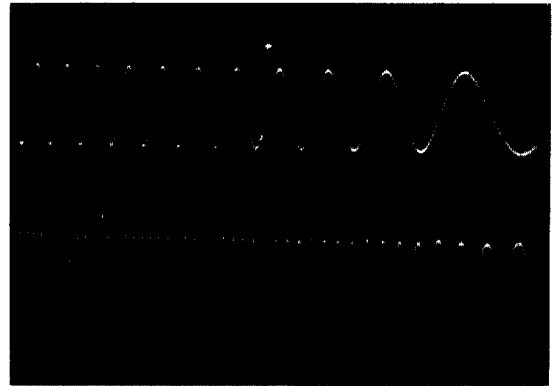
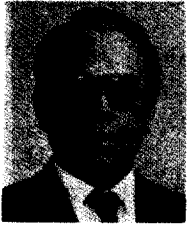


그림13 출력전압파형과 진폭제어 전압파형
Output voltage waveform and amplitude control voltage waveform

- 3) 제어전압에 대한 주파수 관계는 직선성을 가졌고,
- 4) 회로의 단순화, 저렴화를 위해 곱셈회로를 정류회로와 MOS FET 스위칭회로로 변환에 성공하였다.
- 5) 주어진 미분방정식을 아나로그 시뮬레이션 한것과 본실험의 단순화 회로에서 얻은 출력전압은 3.8VPP 이상에서 거의 같은 동작함을 확인하였다.

參 考 文 獻

- (1) N Minovsky "Non Linear Oscillation."Prineeton, NJ:D. Van Nostrand, 1962, pp.72-74.
- (2) G.A Korn and T.M Korn "Electronic Analog and Hybrid Computers."2nd ed. New Youk, McGraw-hill. 1972. p.252
- (3) Ben Zion Kaplan "On the Simplified Implementation of Quadrature Oscillator Models and Expected Quality of their Operation as VCO's", Proceedings of the IEEE, vol.63, no. 6, June 1980.
- (4) G. Sansone and R.Conti, "Nonlinear Differential Equations." New York: A Pergamon press Book. 1964, pp.162-163



李 允 鍾 (Yoon Jong LEE) 正會員
1924年 9月14日生
1948年：서울大學校工科大學電氣工學科
卒業
現 在：漢陽大學校 工科大學 電氣工學
科 教授(工學博士)



李 成 栢 (Sung Paik LEE) 正會員
1940年12月27日生
1965年 2月：漢陽大學校 工科大學 電氣工
學科 卒業
1979年 8月：漢陽大學校 大學院 電氣工學
科 卒業
1985年 3月：漢陽大學校 大學院 電氣工學
科 博士過程 修了.
1987年 8月：光云大學校 電子工學科 教授