

위상동기회로에서 전압조종발진기의 주파수응답특성에 대한 연구

리순남, 박일승

무선통신과 자동조종장치, 현대정밀측정기를 비롯한 전자장치들에서는 동작의 안정성, 신뢰성을 담보할수 있는 주파수 또는 국부발진원천을 요구한다.[1]

위상동기회로(PLL)를 리용한 전압조종발진기(VCO)는 자체발진주파수를 위상검파기에 반결합하여 출구주파수의 위상을 고정함으로써 높은 주파수안정도(10^{-8} 정도)를 얻을수 있게 한다.

1. PLL VCO위상모형

위상동기회로는 위상정보를 전달하는 닫힌체계가기때문에 위상모형에 기초하여야 회로의 완전한 성능을 얻을수 있다. PLL VCO는 위상검파기(PD), 고리려파기(LPF), 주파수분주기(분주비 N) 그리고 VCO로 이루어져있다.[2]

PLL VCO위상모형은 그림 1과 같다.

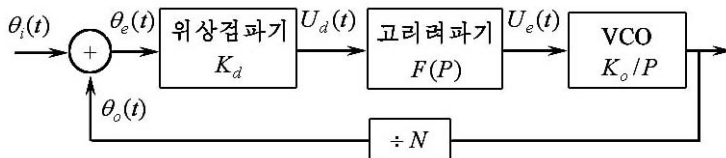


그림 1. PLL VCO위상모형

그림 1에서 K_d 는 PD의 위상검파감도, $F(P)$ 는 LPF의 전달함수, K_o 는 VCO전압감도, P 는 적분연산자이다.

일반적으로 PD와 VCO는 비선형성을 가지는데 위상검파

기가 위상고정상태에 있고 두 입력신호위상 $\theta_i(t)$ 와 $\theta_o(t)$ 의 차 $\theta_e(t)$ 가 $\pm 30^\circ$ 보다 작다면 선형으로 근사화할수 있다.

따라서 PD의 출력은 다음과 같다.[3]

$$U_d(t) = K_d \theta_e(t) \quad (1)$$

그리고 이러한 선형화된 위상모형을 따라 닫힌고리의 전달함수 $H(P)$ 와 오차전달함수 $E(P)$ 를 구할수 있다.

$$H(P) = \frac{\theta_o(t)}{\theta_i(t)} = \frac{K_d K_o F(P)}{P + K_d K_o F(P)} \quad (2)$$

$$E(p) = 1 - H(p) = \frac{P}{P + K_d K_o F(P)} \quad (3)$$

식 (2)와 (3)에서 보는바와 같이 매 전달함수는 고리려파기의 형식과 요소파라미터에

의하여 결정된다. 여기로부터 자동조절체제에서 리용하는 파라미터들인 고유각진동수를 $\omega_H = \sqrt{k/T_1}$ 로, 감쇠계수를 $\xi = \tau/2 = \sqrt{k/T_1}$ ($K = K_o K_d$)로 표시하면 닫힌고리전달함수 $H(P)$ 는 다음과 같이 된다.

$$H(p) = \frac{\xi \omega_n P + \omega_n^2}{P^2 + 2\xi \omega_n P + \omega_n^2} \quad (4)$$

한편 식 (4)에서 P 를 $j\omega$ 로 바꾸면 구하려는 PLL VCO체제의 주파수응답을 구할수 있으며 이때 진폭-주파수특성 $|H(j\omega)|$, 위상주파수특성 $\arg H(j\omega)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$|H(j\omega)| = \sqrt{\frac{1 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (5)$$

$$\arg H(j\omega) = \text{tg}^{-1} 2\xi \frac{\omega}{\omega_n} - \text{tg}^{-1} \frac{2\xi \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad (6)$$

2. PLL VCO특성분석

ξ 를 파라미터로 하는 위상-주파수특성은 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 $\omega/\omega_n < 1$ 인 주파수범위에서 로그진폭응답은 0dB를 초과하지 않으며 감쇠계수 ξ 가 작으면 작을수록 봉우리값도 높아진다.

모든 곡선들은 $\omega/\omega_n < \sqrt{2}$ 인 점에서 0dB점을 지나며 $\omega/\omega_n > 2$ 일 때 응답곡선은 떨어지는데 ξ 가 작으면 작을수록 더 급격히 떨어진다.

한편 PLL고리대역너비를 결정하는 러파기의 차단주파수(3dB 대역너비)는 식 (5)로부터

$$|H(j\omega)|^2 = 1/2$$

로 놓으면 구할수 있다. 즉

$$\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^4 - 2(\xi^2 + 1)\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 - 1 = 0.$$

이 방정식으로부터 차단주파수 ω_c 는 다음과 같이 계산된다.

$$\omega_c = \omega_n \left[2\xi^2 + 1 + \sqrt{(2\xi^2 + 1)^2 + 1} \right] \quad (7)$$

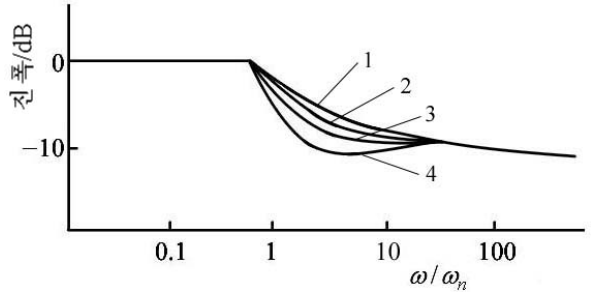


그림 2. 위상-주파수특성 그래프
1-4는 ξ 가 각각 0.1, 0.5, 1.0, 1.5일 때

고리입력신호의 위상 $\theta_i(t)$ 가 시누스적으로 변할 때 ω 가 ω_c 보다 작다면 고리는 위상을 정확히 전달하며 출력신호위상 $\theta_o(t)$ 는 입력신호의 위상변화를 충분히 추종한다.

반대로 $\omega > \omega_c$ 이면 고리는 위상을 전달할수 없다. 즉 입력신호위상변화에 대하여 저역려파기로 동작하는 위상고리는 입력신호반송파와 그 부근의 주파수성분을 통과시키는 주파수선택성을 가진다.

한편 식 (7)에 따라 려파기의 차단주파수 f_c 를 선택할 때 주파수변화걸음을 결정하는 수정편발진기의 기준주파수 f_i 를 잘 선정하여야 한다. f_i 를 작게 하면 걸음간격이 작아지면서 분해능이 높아지지만 반대로 매 주파수변환후의 불안정시간은 길어진다. 따라서 ω_c 값은 주파수합성기의 최소걸음(분해능)과 위상잡음성능에 따라 합리적으로 결정하여야 한다.

이와 같이 려파특성이 좋은 고리려파기를 설계하자면 VCO의 전압동조대역너비, 기준주파수, 위상잡음특성을 보고 고리려파기의 형태를 선정하며 차단주파수와 요소파라미터값들을 계산하여야 한다.

맺 는 말

위상동기회로의 전압조종발진기의 위상모형에 기초하여 그것의 전달함수특성을 분석하고 고리려파기의 차단주파수를 결정하였다.

고리려파기의 입력신호의 위상이 시누스적으로 변할 때 려파기차단주파수가 고리대역너비보다 작으면 위상동기회로전압조종발진기는 위상변화를 정확히 추종한다.

참 고 문 헌

- [1] Giovanni Bianchi; Phase-Locked Loop Synthesizer Simulation, Mc-Graw, 215~253, 2005.
- [2] Rowan Gilmore ; Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems, Artech House, 433~463, 2003.
- [3] R. Deal et al.; IEEE Trans. M. T. T., 6, 91, 2012.

주체103(2014)년 9월 5일 원고접수

On the Frequency Response Characteristic of VCO in Phase-Locked Loops

Ri Sun Nam, Pak Il Sung

We analyzed the transfer function based on the phase model of VCO in phase locked loops. And according to the analysis, we determined the cut-off frequency of loop-filter.

Key words: PLL VCO