

발진주파수 조절이 가능한 2차 능동-C 발진기 설계

'88 추계 학술대회

'88-L-1

° 안정철* 최석우* 신윤태* 김동용**
 * 전북대학교 전기공학과 석사과정
 ** 전북대학교 전기공학과 교수

Design of Tunable Quadratic Active-C Oscillator

° Jung Cheol Ahn * Seok Woo Choi * Yun Tae Shin * Dong Yong Kim **
 * Chonbuk National Univ. Electrical Eng.
 ** Prof. of Chonbuk National Univ. Electrical Eng.

ABSTRACT

The design of VCO using OTA as active element is discussed in this paper. Several Quadrature oscillator structures are presented. They use only OTAs and capacitors and are very useful for IC fabrication. The frequency of oscillator, ω_0 are proportional to the g_m of the OTA and the structures are appropriate for high frequency VCO and sinusoidal oscillator operation.

본 논문에서는 OTA와 C로 구성된, 발진주파수가 OTA의 Transconductance, g_m 에 비례하는 발진기를 설계하였다. OTA의 g_m 은 외부에서의 전원 공급에 의한 bias전류로 제어 가능하므로 발진주파수를 조절할 수 있는 집적 회로를 구성할 수 있다^[13]. 또한 수동소자인 저항, R이나 Switch가 필요없으므로 회로를 보다 안정하고 간단하게 구성할 수 있다.

I. 서론

발진기는 통신 시스템에 필수적인 요소인데 특히 VCO는 PLL(Phase-locked loops)의 중요한 피드백 회로이다^[1]. 능동소자로 VCVS방식의 op amp를 이용한 능동 RC 발진기는 발진 주파수가 거의 음성 주파수 대역에 한정되어 있고, composite amplifier^[2]를 이용하거나 특별한 설계기술^[3]에 의해서 주파수를 확장시켜도 100 kHz를 넘지 못하는 약점이 있다^[4,5].

또한, 능동 RC 회로는 일정한 RC적을 유지하기 어렵고 집적하는데 제한이 따르므로 일반적으로 단일 칩에 집적하기 위해 switch와 커패시터로 저항을 모의하는 SC(Switched Capacitor)기법을 이용하게 되었다^[6]. 그러나, SC 회로는 RC적을 일정하게 유지할 수 있으나 switch, op amp, 전력계통 등에서 고조파 문제와 Sampled-data system 이기 때문에 입력단과 출력단에 각각 anti-aliasing filter와 smoothing filter가 필요하고 Clock 발생회로에 의해서 전체적인 회로가 복잡해진다.

이러한 문제점들은 Continuous-time MOSFET-C 회로를 이용하여 해결할 수 있으나 MOSFET를 이용하여 저항을 모의하기 때문에 비선형 저항특성을 제거해야 한다. 위에서 서술한 문제점은 VCCS 방식의 OTA(Operational Transconductance Amplifier)^[7,8,9,10,11,12]를 이용함으로써 해결할 수 있다.

II. OTA-C 발진기의 해석

발진기 설계에 있어서 가장 중요한 점은 발진주파수에 무관하게 극점이 항상 허축상에 존재하거나 우반면에 존재하도록 하는 것이다.(그림 1)에서와 같이 특성 방정식 $s^2 - bs + \omega_0^2 = 0$ 에서 $b = 0$ 이거나, 극점이 우반면에 존재하기 위해

$$\frac{\omega_0^2}{b^2} > \frac{1}{4}$$

를 만족하여야 한다.

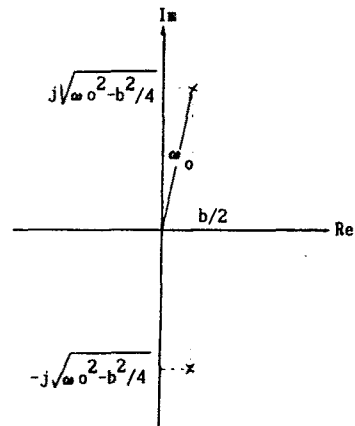


그림 1. 발진기의 극점위치

발전주파수 조절이 가능한 2차 능동-C 발진기 설계

2개의 OTA와 2개의 커패시터로 구성된 OTA-C 발진기는 그림 1(a)와 같다. 여기서 개방 루프이득 LG(s)는

$$LG(s) = \frac{g_{m1}g_{m2}}{sC_1(sC_2 - g_{m2})} \quad \text{-----(1)}$$

발진조건, 1-LG=0를 만족해야 하므로 특성 방정식은

$$s^2 + sg_{m2}/C_2 + g_{m1}g_{m2}/C_1C_2 = 0 \quad \text{---(2)}$$

식 (2)에서

$$\omega_0^2 = \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2} \quad \text{-----(3)}$$

$$b = \frac{g_{m2}}{C_2} \quad \text{-----(4)}$$

여기서, $\omega_0^2/b^2 > 1/4$ 을 만족하도록 g_m 과 C 를 조정하면 극점이 우반면에 존재하게 되고 식 (4)의 b 값을 작게 하면 시간응답 특성이 좋은 발진기를 설계할 수 있다.

3개의 OTA와 2개의 커패시터로 구성된 OTA-C 발진기는 그림 2(b)와 같다. 발진조건 1-LG(s) = 0을 만족시키기 위해 그림 2(b)의 개방 루프이득 LG(s)를 구하면 식 (5)와 같다.

$$LG(s) = \frac{-g_{m1}g_{m2}}{sC_1[sC_2 - (g_{m2} - g_{m4})]} \quad \text{-----(5)}$$

1 - LG(s) = 0로부터 특성방정식을 구하면

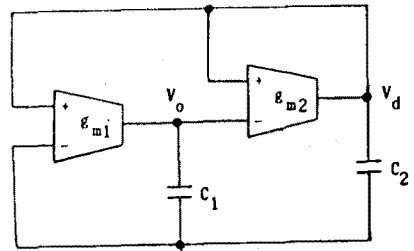
$$s^2 - s(g_{m2} - g_{m4})/C_2 + g_{m1}g_{m2}/C_1C_2 = 0 \quad \text{-----(6)}$$

식(6)에서

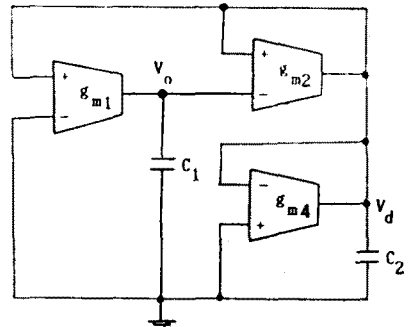
$$\omega_0^2 = \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2} \quad \text{-----(7)}$$

$$b = \frac{g_{m2} - g_{m4}}{C_2} \quad \text{-----(8)}$$

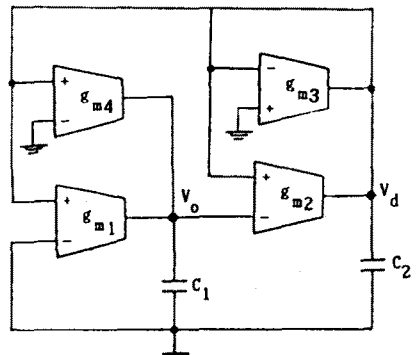
식 (8)에서 $g_{m2} = g_{m4}$ 이면 $b = 0$ 를 만족하게 되어 발전 주파수, $\omega_0 = \sqrt{g_{m1}g_{m2} / C_1C_2}$ 에서 발전하게 된다. 여기서, g_{m4} 를 조절함으로써 발전 주파수, ω_0 에는 무관하게 극점을 허축상에 존재하도록 할 수 있다.



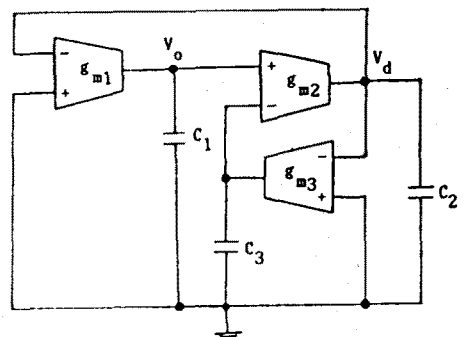
(a) 2 OTAs and 2 Cs



(b) 3 OTAs and 2 Cs



(c) 4 OTAs and 2 Cs



(d) 3 OTAs and 3 Cs

그림 2. OTA-C 발진 회로

4개의 OTA와 2개의 커패시터로 구성된 또 다른 OTA-C 발진기는 그림 2(c)와 같다. 특성방정식은

$$s^2 C_1 C_2 - s(g_{m2} - g_{m3})C_1 + (g_{m1} + g_{m4})g_{m2} = 0 \quad \text{---(9)}$$

식(9)에서

$$\omega_0^2 = \frac{(g_{m1} + g_{m4})g_{m2}}{C_1 C_2} \quad \text{---(10)}$$

$$b = \frac{(g_{m2} - g_{m3})}{C_1} \quad \text{---(11)}$$

식(9)에서 g_{m3} 를 g_{m2} 와 같게하여 $b = 0$ 를 만족시키면

발진주파수, $\omega_0 = \frac{(g_{m1} + g_{m4})g_{m2}}{C_1 C_2}$ 에는 무관하게 극점이 항상 허축상에 존재하게 된다. 식(10)에서 g_{m1} 을 조절함으로써 g_{m3} , 즉 식(11)과는 무관하게 ω_0 를 조절할 수 있다.

그림 2(d)는 3개의 OTA와 3개의 커패시터로 구성된 OTA-C 발진기이다. 특성 방정식은

$$s^2 C_1 C_2 C_3 + g_{m2}(g_{m1} + g_{m3}C_1) = 0 \quad \text{---(12)}$$

$$\omega_0^2 = \frac{g_{m2}(g_{m1} + g_{m3}C_1)}{C_1 C_2 C_3} \quad \text{---(13)}$$

극점을 허축상에 존재하도록 하기위해 g_{m1} 이나 C 를 조절할 필요없이 발진이 가능하며 g_{m2} 에 의해서 발진 주파수들의 외부에서 조절할 수 있다. 또한 시간응답 특성이 정현파로 나타나는 장점을 가지고 있다.

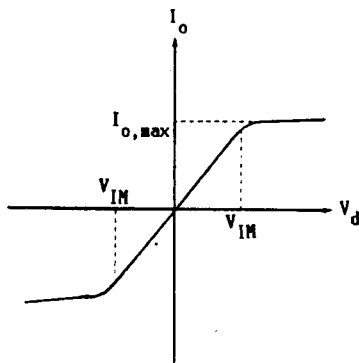


그림 3. OTA의 $I_o - V_d$ 특성

III. Computer Simulation

그림 2(a)는 특성 방정식 $s^2 - sb + \omega_0^2 = 0$ 에서 b 가 양의 값을 가지기 때문에 극점이 항상 우반면에 존재한다. 그림 2(a)의 발진진폭을 고찰해보면

$$V_o(s) = \frac{g_{m1}}{sC_1} V_d(s) \quad \text{---(14)}$$

그리고

$$V_d(s) = -\frac{g_{m2}/C_2}{s - g_{m2}/C_2} \quad \text{---(15)}$$

시간응답 특성은 OTA가 그림 3과 같이 비선형 특성을 갖기 때문에 OTA가 포화상태로 될때까지 $e^{bt/2}$, 즉 지수함수 형태로 증가한다. 시뮬레이션 결과는 그림 4에 나타났다.

그림 2(b),(c)는 g_{m2} 을 조절함으로써 특성방정식의 b 값을 0이 되게하면 $-g_{m1}g_{m2}/C_1 C_2$ 와 $-g_{m2}(g_{m1} + g_{m4})/C_1 C_2$ 에 각기 비례하는 선형함수 형태로 증가한다.

그림 2(d)의 극점은 항상 허축상에 존재하고, 또한 시간응답 특성도 일정한 크기로 발진하는 정현파로 나타난다. 시뮬레이션 결과는 그림 5에 나타났다.

MAG. (volt)

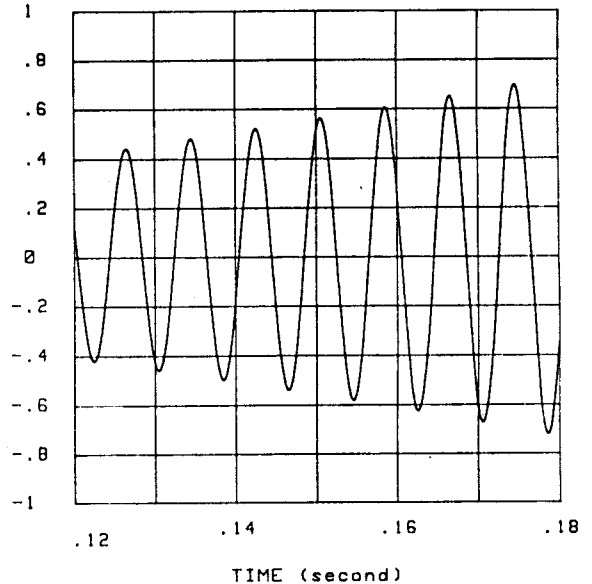


그림 4. 지수함수로 증가하는 발진회로

IV. 결 론

본 논문에서는 4가지 형태의 2차 발진회로를 설계하여 제시하였다. 발진회로를 구성하고 있는 능동소자는 VCCS 방식의 OTA이고 수동소자는 커패시터로만 구성했다. OTA와 커패시터로만 구성되었기 때문에 집적할때 칩면적을 크게 차지할 뿐만 아니라 간단하고 안정된 시스템을 구성할 수 있다. 또한 발진 주파수 ω_0 는 OTA의 g_m 에 비례하며 g_m 은 외부에서 공급하는 바이어스 전류에 의해서 조절할 수 있다.

특히, OTA-C 발진기의 발진 주파수는 수MHz - 수GHz까지 확장할 수 있어 고주파 발진기의 응용에 큰 장점을 가지고 있다.

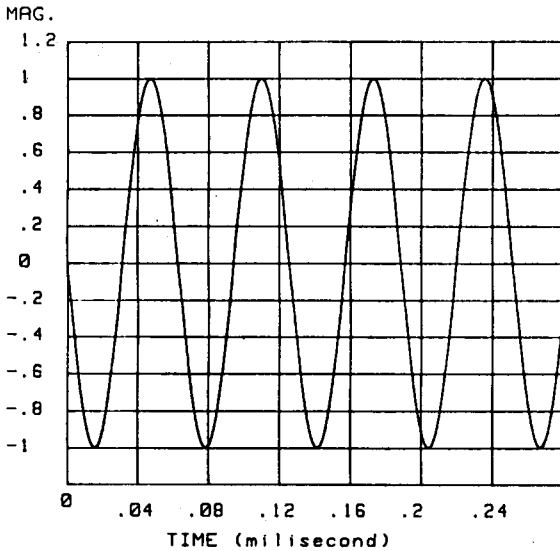


그림 5. 정현함수로 발진하는 회로

REFERENCE

[1] M.Hribsek and R.W.Newcomb, "VCO Controlled by One Resistor", IEEE Circuits and Systems, Vol. CAS-22, pp 166-169, March 1976.
 [2] A Rodriguez-Vazquez, J. L. Huertas and B. Perez-Verdu, "High-Frequency Design of the Wien-Bridge Oscillator using Composite Amplifiers", IEEE Trans. Circuits and Systems, Vol. CAS-34, pp 441-443, April 1987.
 [3] J. L. Huertas, A. Rodriguez-Vazquez and B. Perez-Verdu: "High-Frequency Design of Sinusoidal Oscillators Realized with Operational Amplifiers", IEEE Trans. Circuits and Systems, vol 131, Pt. G, pp137-140, August 1984.

[4] V.Prem-Pyara, S.C.Dutta-roy and S.C.Januar, "Identification and Design of Single Amplifier Single Resistor Controlled Oscillator", IEEE Trans. Circuits and Systems, Vol. CAS-30, pp 176-181, March 1983.
 [5] N. Boutine, "On the Identification and design of Single Amplifier Single Resistance Controlled Oscillator", IEEE Trans. Circuits, Vol. CAS-31, pp 1046-1048, Dec. 1984.
 [6] V.B. Mikhael and S. Tu, "Continuous and Switched-Capacitor Multiphase Oscillator" IEEE Trans. Circuits and Systems, Vol. CAS-31, pp 280-293, March 1984.
 [7] M. Bialko and R.W.Newcomb, "Generation of all Finite Linear Circuits using the Integrated DVCCS", IEEE Trans. Circuit Theory, Vol. CT-18, pp 733-736, November 1971.
 [8] R. L. Geiger, E. Sanchez-Sinencio: "Active Filter Design Using OTAs: A Tutorial", IEEE Circuits and Devices Magazine, vol 1, pp 20-32, March 1985.
 [9] C. Plett, M.A.Copeland and R.A.Hadaway: "Tunable Transconductance Amplifiers". Proc. of the 1986 IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems, pp 1172-1176, IEEE press 1986.
 [10] E. Sanchez-Sinencio: "Generation of Continuous-Time Two Integrator Loop OTA Filter Structure", Proc. of the 1987 IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems, pp 325-3218, IEEE press 1987.
 [11] A.Nedungadi, T.R.Viswanathan: "Design of Linear CMOS Transconductance Elements" IEEE Trans. Circuits and Systems, Vol. CAS-31, pp 891-894, Oct 1984.
 [12] R.R. Torrance, T.R. Viswanathan and J.V. Hanson: "CMOS Voltage to current transducers(VCT)". IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol. CAS-32, pp 1097-1104, Nov 1985.
 [13] V. Linare-Barranco: "Design of Sinusoidal Oscillators using OTAs", Master Thesis, University of Seville.