

# 입력전압에 비례하는 주파수 신호 생성 회로의 설계\*

최진호

부산외국어대학교 컴퓨터·전자공학부  
전화 : 051-640-3194 / 핸드폰 : 019-251-7640

## A Design of Voltage-to-Frequency Converter

Jin-Ho Choi

Division of Computer and Electronics Engineering, Pusan University of Foreign Studies  
E-mail : jhchoi@taejo.pufs.ac.kr

### Abstract

In this work, a Voltage-to-Frequency Converter(VFC) in which the output frequency is proportional to the input voltage is proposed. To obtain temperature stable characteristics the VFC is designed by using two bandgap references. The difference between simulated and calculated values is less than about 5% in output characteristics. In the VFC using BiCMOS the temperature variation of sample output frequencies is less than  $\pm 0.5\%$  in the temperature range  $-25^{\circ}\text{C}$  to  $75^{\circ}\text{C}$ . And the CMOS VFC has error less than  $\pm 0.8\%$  in the temperature range  $-25^{\circ}\text{C}$  to  $75^{\circ}\text{C}$ .

### I. 서론

습도, 온도, 압력 등 여러 가지 센서와 이러한 센서를 이용한 전자시스템에서의 응용에 관하여 많은 연구가 진행되고 있다[1]. 여러 가지 센서의 출력을 처리하기 위한 회로로서는 전압-주파수 변환회로, 시간-디지털 변환회로, (입

력전압)<sup>1/2</sup>-주파수 변환회로 등 여러 가지 신호 변환 회로가 있다. 이러한 신호 변환 회로의 설계에 관한 연구와 더불어 이러한 신호 변환 회로의 온도에 대한 특성을 향상시키기 위한 연구도 동시에 진행되고 있다[2-4].

본 연구에서는 동작 온도에 무관한 전압-주파수 변환 회로를 설계하였다. 기존의 전압-주파수 변환회로에서는 입력 전압이 증가함에 따라 출력 주파수의 선형성이 유지되지 않는 입력 전압 구간이 있으며, 또한 특정 입력전압에서 주파수의 특성이 왜곡되는 문제점이 있었다. 그리고 온도에 대한 특성을 향상시키기 위해 많은 바이폴라 트랜지스터를 사용함에 따라 칩의 면적이 증가하는 단점이 있었다[3]. 그러나 본 논문에서 제안하는 전압-주파수 변환회로의 특징은 기존의 연구 결과에 비해 출력 주파수의 선형성이 향상되었으며, 또한 온도에 따른 특성도 향상되었다. 본 논문에서는 BiCMOS 전압 주파수 변환회로와 CMOS 전압 주파수 변환회로를 설계하여 그 특성을 살펴보았다. BiCMOS를 이용한 전압 주파수 변환회로에서도 기존의 회로에 비해 바이폴라 트랜지스터의 수를 감소시켜, 기존의 회로에 비해 칩 면적과 전력소모가 감소될 수 있도록 설계하였다.

\* 이 논문은 2001년도 부산외국어대학교 학술연구조성비에 의해 연구되었음

## II. CMOS 전압-주파수 회로

그림 1은 본 논문에서 제안하는 전압-주파수 변화회로의 개략도이다.

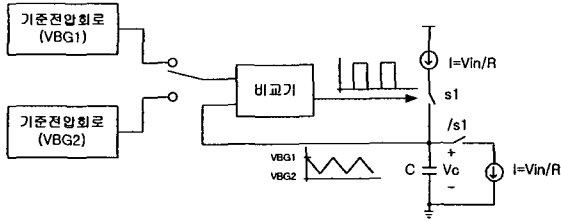


그림 1 전압-주파수 변화회로의 개략도

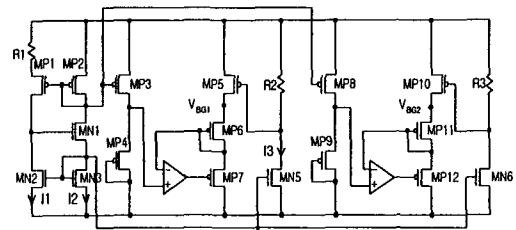
그림 1의 전압-주파수 변화회로는 기준 전압회로, 비교기, 전압-전류 변환회로로 구성되어 있다. 2개의 bandgap 기준 전압 회로에서, 한 개의 bandgap 기준 전압은 동작온도에 따라 변화하는 전압( $V_{BG1}$ )을 가지도록 설계하였으며, 또 한 개의 bandgap 기준 전압은 동작온도에 무관한 전압( $V_{BG2}$ )을 가지도록 설계하였다. 그리고 입력 전압에 비례하는 전류원 회로를 구성한 다음, 전류원을 이용하여 커패시터를 충·방전한다. 커패시터 충전시 최대 전압은  $V_{BG1}$ 이고, 커패시터의 방전시는 최소 전압은  $V_{BG2}$ 이다. 그러므로 커패시터의 전압  $V_C$ 는  $V_{BG1}$ 과  $V_{BG2}$ 의 피크 전압을 가지는 삼각파가 될 것이다. 커패시터의 충·방전 전류  $I$ 는 입력 전압에 비례하는 전류로서  $V_{in}/R$ 이라고 하면, 삼각파의 주파수는 식 (1)과 같다.

$$f = \frac{V_{in}}{2RC(V_{BG1} - V_{BG2})} \quad (1).$$

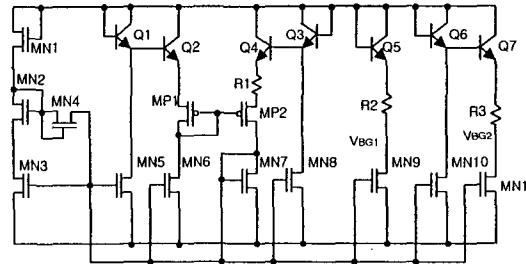
그러므로 만약 동작온도가 변화하면 저항값이 변화하고, 이로 인해 커패시터를 충·방전하는 전류의 크기가 온도에 따라 변화하게 되어 동작 주파수는 변화하게 될 것이다. 그리고 저항에 비해서는 온도에 따라 변화율은 아주 작지만, 커패시터도 온도에 따라 변화하게 되므로 삼각파의 주파수는 온도에 따라 변화할 것이다.

이러한 온도의 영향을 배제하기 위해서는 온도의 변화에 따라  $RC/V$ 가 일정한 값이 되도록 하면 된다. 본 논문에서는 온도에 따라  $RC/V$ 가 일정한 값이 되도록  $V_{BG1}$ 을 조절하여  $RC/V$ 가 온도에 따라 일정하도록 하였다.

그림 2 (a)는 CMOS로 구성된 bandgap 기준 전압 회로이고 그림 2(b)는 BiCMOS로 구성된 bandgap 기준 전압 회로이다[5].



(a)



(b)

그림 2 기준 전압 회로 (a) BiCMOS 기준전압 회로 (b) CMOS 기준 전압 회로

그림 2(a)에서 MP1과 MP2의 채널 폭의 비를  $C$ 라고 하면 전류  $I_1$ 과  $I_2$ 는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$I_1 = I_2 = \frac{V_t}{R_1} \ln C \quad (2).$$

여기서  $V_t$ 는 thermal voltage ( $=kT/q$ )이다. 그리고 MN5의 채널 폭과 MN3의 채널 폭의 비를  $\alpha$ 라고 하면  $I_3$ 는  $\alpha I_1$ 이며,  $V_{gs5}$ 의 크기

는  $R_2I_3$ 이다. 그러므로  $V_{BG1}$ 과  $V_{BG2}$ 는 식 (3)과 (4)와 같이 표현되어진다.

$$V_{BG1} = 2V_{TH} + \frac{R_2}{R_1} Vt \alpha \ln C \quad (3)$$

$$V_{BG2} = 2V_{TH} + \frac{R_3}{R_1} Vt \alpha \ln C \quad (4)$$

여기서  $V_{TH}$ 는 MOS 트랜지스터의 문턱 전압으로 온도에 따라 감소하는 값이다. 그리고  $Vt$ 는 온도에 따라 증가하는 값이므로  $R_1, R_2, \alpha, C$ 의 값을 조절하면 온도에 무관한 기준전압과 온도에 따라 변화하는 기준전압을 얻을 수 있다.

그림 2(b)에서  $V_{BG1}$ 과  $V_{BG2}$ 는 식 (5)와 (6)과 같이 표현되어진다.

$$V_{BG1} = V_{CC} - V_{BE} - (R_2/R_1)(2Vt \ln n) \quad (5)$$

$$V_{BG2} = V_{CC} - 2V_{BE} - (R_3/R_1)(2Vt \ln n) \quad (6)$$

여기서  $V_{CC}$ 는 공급 전압이며,  $V_{BE}$ 는 바이폴라 트랜지스터의 베이스와 에미터 사이의 전압이다. 수식 (5)와 (6)에서 보면,  $V_{BE}$ 는 온도에 따라 감소하는 값이고,  $Vt$ 는 온도에 따라 증가하는 값이다. 그러므로 수식 (5)와 (6)에서 저항  $R_1, R_2, R_3$  그리고  $n$ 을 조절하면 동작온도에 무관한 기준 전압과 동작온도에 따라 변화하는 기준 전압을 얻을 수 있다.

그림 3은 BiCMOS와 CMOS 전압 주파수 변환 회로에 공통으로 사용되는 회로이다. MP20에서 MP27 그리고 MN20에서 MN25까지의 회로는 bandgap 기준 전압과 커패시터 C1의 전압을 비교하여 C1의 출력이  $V_{BG1}$ 에서  $V_{BG2}$  전압으로 충·방전하는 삼각파가 발생되도록 하는 회로이다. 그리고 MP28에서 MP32, MN26에서 MN28 그리고 R5는 입력 전압에 비례하는 전류원을 만드는 회로이다.

그림 3의 전체적인 동작은 먼저, 입력전압에 비례하는 전류원을 만든 다음, 이 전류원을 이용하여 C1을  $V_{BG1}$ 과  $V_{BG2}$  전압으로 충·방전시킨다. 이때 삼각파의 주파수는 식 (7)과 같이

표현된다.

$$f = \frac{I}{2C_1(V_{BG1} - V_{BG2})} = \frac{Vin}{2R_3C_1(V_{BG1} - V_{BG2})} \quad (7)$$

온도의 변화에 따른  $R_5$ 와  $C_1$  값의 변화에 대한 영향은  $V_{BG1} - V_{BG2}$ 의 값을 온도에 따라 조절하여 보상하였다.

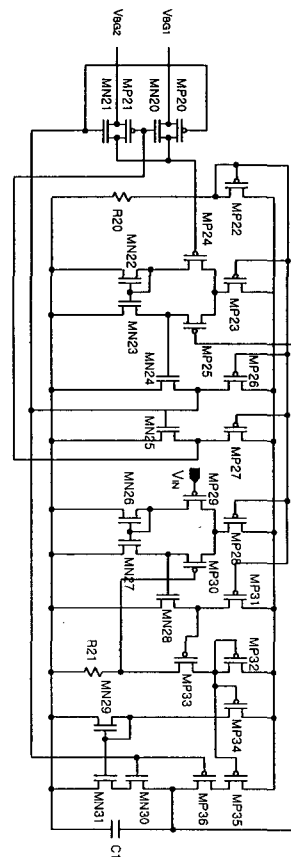
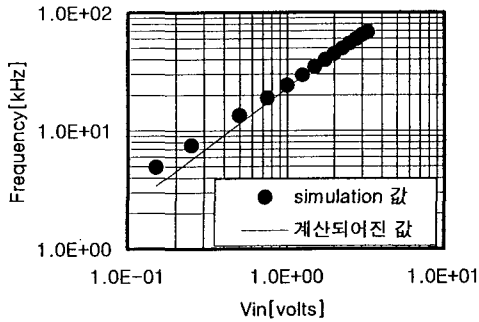


그림 3 전압-전류 변환 삼각파 발진기 회로

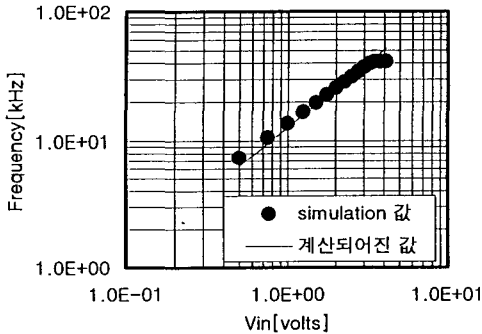
### III. CMOS 전압-주파수 회로 특성

그림 4는 상온에서 입력전압에 따른 출력의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 BiCMOS 회로의 출력 특성이고 (b)는 CMOS 회로의 출력 특성이다. Simulation 값과 이론적인

계산 값과의 차이가 5% 이내가 되는 출력 주파수의 범위는 BiCMOS를 이용한 전압-주파수 변환회로에서는 24kHz에서 65kHz이었으며, CMOS를 이용한 전압-주파수 변환회로는 13kHz에서 40kHz 였다.



(a)



(b)

그림 3. VFC 회로 특성 (a) BiCMOS 전압-주파수 회로 (b) CMOS 전압-주파수 회로

회로의 동작온도를  $-25^{\circ}\text{C}$ 에서  $75^{\circ}\text{C}$ 로 변화시키에 따라 출력 주파수의 변화를 살펴보면, BiCMOS를 이용한 전압-주파수 회로의 경우 상온에 비하여  $\pm 0.5\%$  정도의 변화를 보였다. 그리고 CMOS를 이용한 전압-주파수 변환 회로의 경우  $\pm 0.8\%$ 의 변화를 보였다.

#### IV. 결론

본 논문에서 제안한 전압-주파수 변환 회로는 bandgap 기준 전압 회로, 전압-전류 변환 회로 그리고 증·방진 회로로 구성되어 있다. 이론적인 값과의 차이가 5% 이내인 주파수 영역을 살펴보면 CMOS 전압-주파수 변환회로에 비해 BiCMOS 전압-주파수 변환회로의 경우 더 넓은 동작 주파수의 범위를 얻을 수 있었다. 그리고 회로의 동작온도를  $-25^{\circ}\text{C}$ 에서  $75^{\circ}\text{C}$ 로 변화시킬 때 상온에 대하여 각 온도에서의 출력 주파수의 error는 BiCMOS를 이용한 전압-주파수 회로의 경우 우수한 특성을 보여주었다.

그러나 본 논문에서 제안한 BiCMOS와 CMOS 전압-주파수 변환 회로는 입력전압에 대한 선형성과 동작온도에 대한 출력 주파수의 특성은 기존의 설계된 회로에 비하여 향상된 특성을 보여 주었다.

#### V. 참고문헌

- [1] L. Ristic. : *Sensor technology and devices*, Artech House, Boston, 1994.
- [2] F. N. Trofimenkoff, Farmarz Sabouri, et al, "A Squatre-Rooting Voltage-to-Frequency Converter", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 46, No. 5, pp.1208-1211, October, 1997.
- [3] I. M. Filanovsky and Sean Sidong Cai, "Temperature Stable BiCMOS Voltage - to - Frequency Converter, Proc. IEEE International Symposium on Circuits and System, ISCAS96, Atlanta, pp.349-352, May, 1996.
- [4] Elvi Raisanen-Ruotsalainen, Timo Rahkonen and Juda Kostamovaara, "A low Power CMOS Time-to-Digital Converter", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 30, no. 9, pp. 984-990, September, 1995.
- [5] 김 재준, 서 윤득, 김 범섭, "CMOS enhancement 기준 전압 발생기 설계", 제 2회 IDEC MPW 발표회 논문집, pp. 119-125.