

BiCMOS 기술을 이용한 전압-주파수 변환 회로

최진호(崔晉鎬)

부산외국어대학교 컴퓨터·전자 공학부 전화 : (051) 640-3194 / 팩스 (051) 640-3038

Voltage-to Frequency Converter using BiCMOS

Jin Ho Choi

Department of Computer and Electrical Engineering Pusan University of Foreign Studies

E-mail : jhchoi@pufs.taejo.ac.kr

Abstract

In this work, I propose a temperature stable voltage-to-frequency converter in which the output frequency is directly proportional to the input voltage. The output frequency range is from 20kHz to 60kHz and the difference between simulated and calculated values is less than about 5% for this range of output frequency. The temperature variation of sample output frequencies is less than $\pm 0.5\%$ in the temperature range -25°C to 75°C .

I. 서론

집적화된 센서의 인터페이스 회로로서 여러 가지 전압-주파수 변환회로에 대한 연구가 많이 진행되고 있다[1, 2]. 그리고 이러한 인터페이스 회로의 온도에 대한 특성을 향상시키기 위한 연구도 동시에 진행되고 있다. 그러나 기존의 연구에서는 입력 전압이 증가함에 따라 주파수의 선형성이 유지되지 않고 특정 입력 전압에서 주파수의 특성이 왜곡되는 문제점이 있었다. 그리고 온도에 대한 특성을 향상시키기 위해 많은 바이폴라 트랜지스터를 사용함에 따라 칩의 면적이 증가

하는 단점이 있었다[3].

본 논문에서는 기존의 회로에 비해 전압-주파수 변환 특성과 동작 온도에 따른 특성을 향상시키기 위한 새로운 전압-주파수 변환 회로를 설계하였으며, 또한 사용된 바이폴라의 숫자를 기존의 회로에 비해 급격히 감소시켜 칩 면적이 감소될 수 있도록 설계하였다.

II. 본론

그림 1은 본 논문에서 제안하는 전압-주파수 변환회로의 개략도이다. BiCMOS를 이용한 2개의 bandgap reference 회로에서, 한 개의 bandgap reference는 동작온도에 무관한 전압(V_{BG1})을 가지도록 설계하였으며, 또 한 개의 bandgap reference는 동작온도에 따라 변화하는 전압(V_{BG2})을 가지도록 회로를 설계하였다. 그리고 입력 전압에 비례하는 전류원 회로를 구성한 다음, 이를 이용하여 커패시터를 충·방전한다. 커패시터의 충전시는 V_{BG1} 과 비교하여 커패시터의 전압은 V_{BG1} 까지 충전을 하고 방전시는 V_{BG2} 의 전압과 비교하여 V_{BG2} 까지 방전을 한다. 그러므로 커패시터의 전압 V_C 는 V_{BG1} 과 V_{BG2} 의 피크 전압을 가지는 삼각파가 된다. 그리고 이때 삼각파의 주파수는 $I/2C\Delta V$ 이며, I 는 입력 전압에 비례하는 전류로서 V_{in}/R 이다. 그러므로 만

약 동작온도가 변화하면 전류원을 구성하는 R의 값이 변화하고, 커패시터를 충·방전하는 전류의 크기 또한 온도에 따라 변화하게 되어 동작 주파수는 변화하게 될 것이다. 그리고 저항에 비해서는 변화율이 아주 작지만, 커패시터도 온도에 따라 변화하게 되므로 삼각파의 주파수는 온도에 따라 변화할 것이다. 이러한 온도의 영향을 배제하기 위해서는 온도의 변화에 따라 $RC\Delta V$ 가 일정한 값이 되도록 하면 된다.

본 논문에서는 온도에 따라 $RC\Delta V$ 가 일정하게 되도록 하기 위해 저항과 커패시터의 변화를 V_{BG2} 를 조절하여 $RC\Delta V$ 가 온도에 따라 일정하도록 하였다. 그림 2는 설계된 전압-주파수 변환 회로이다. 그림 2에서 bandgap reference 회로는 MN1에서 MN11, MP1에서 MP2, Q1에서 Q7 그리고 R1, R2, R3로 구성되어 있다. Q1과 Q2의 에미터 면적이 Q3과 Q4의 에미터 면적에 비해 $1/n$ 이라면 Q1, Q2, Q3, Q4에서 전류관계는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$I_o e^{qV_{BE1,2}/kT} = nI_o e^{qV_{BE3,4}/kT} \quad (1)$$

여기서 n : 트랜지스터의 에미터 면적비

I_o : reverse bias saturation current 이다.

식 (1)을 에미터의 면적비 n에 관하여 다시 표현하면 식 (2)와 같다.

$$n = e^{qV_{BE1,2}/kT - qV_{BE3,4}/kT} \quad (2)$$

식 (2)를 베이스-에미터 전압 V_{BE} 로 정리하면 식 (3)과 같다.

$$V_{BE1,2} - V_{BE3,4} = V_T \ln n \quad (3)$$

여기서 $V_T = kT/q$ 이다.

그림 2의 회로에서 MP1과 MP2의 소오스 전압이 동일하므로 Q4의 에미터 전류는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$I = 2V_T \ln n / R_1 \quad (4)$$

그러므로 bandgap refernce 전압 V_{BG1} 과 V_{BG2} 는 식(5)와 (6)처럼 표현되어진다.

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

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

식 (5)와 (6)에서 V_{BE} 는 온도에 따라 negative 온도 상수를 가지며, V_T 는 온도에 따라 positive 온도 상수를 가진다. 그러므로 저항 R1, R2, R3와 에미터의 면적비 n을 조절하면 온도에 따라 변화하지 않는 기준 전압 V_{BG1} 과 온도에 따라 변화하는 기준 전압 V_{BG2} 를 얻을 수 있다.

그림 2에서 MP3에서 MP10 그리고 MN12에서 MN17까지의 회로는 bandgap reference 전압과 커패시터 C1의 전압을 비교하여 C1의 출력이 V_{BG1} 에서 V_{BG2} 전압으로 충·방전하는 삼각파가 발생되도록 하는 회로이다. 그리고 MP10에서 MP16, MN18에서 MN21 그리고 R5는 입력 전압에 비례하는 전류원을 만드는 회로이다.

그림 2의 전체적인 동작은 먼저, 입력전압에 비례하는 전류원을 만든 다음, 이 전류원을 이용하여 C1을 V_{BG1} 과 V_{BG2} 전압으로 충·방전시킨다. 이때 삼각파의 주파수는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$f = I / [C_1 (V_{BG1} - V_{BG2})] \\ = V_{IN} / [R_5 C_1 (V_{BG1} - V_{BG2})] \quad (6)$$

그리고 온도에 따른 R5와 C1 값의 변화에 대한 영향은 V_{BG2} 를 온도에 따라 조절하여 보상하였다.

그림 2는 회로 설계를 위하여 사용된 NMOS와 PMOS의 온도변화에 따른 I_{ds} - V_{ds} 특성이다. 온도는 $-25^{\circ}C$ 와 $75^{\circ}C$ 에서 simulation 하였으며, 이때 NMOS와 PMOS의 채널 폭과 길이는 $2\mu m/2\mu m$ 였다. NMOS의 경우 온도가 $75^{\circ}C$ 에서 $-25^{\circ}C$ 로 감소함에 따라 전류는 약 1.24배 증가하였으며, PMOS의 경우는 1.33배 증가하였다.

그림 4는 상온에서 입력전압에 따른 출력의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 그림 4 (a) 경우는 linear로 출력 특성을 살펴본 것이고 (b)는 log로 출력 특성을 살펴본 것이다. 상온에서 입력 전압이 1 volt에서 2.75 volt 사이를 변화할 때 출력 주파수는 22kHz에서 60kHz 사이를 변화하였다. 그리고 이때 simulation 값과 이론적인 계산값과의 차이는 5% 이내 였다. 이론적인 계산을 위하여 사용된 V_{BG1} 과 V_{BG2} 는 3.48volt와 1.71volt 였다. 그리고 이 값은 simulation으로부터 얻어진 값이다.

그림 5는 온도에 따른 출력 주파수의 변화를 살펴본 것이다. 입력 전압이 1 volt에서 2.75volt로 변화할 때 온도의 변화에 따른 출력 주파수의 변화는 $\pm 0.5\%$ 이내 였다.

III. 결론

본 논문에서 제안한 전압-주파수 변환 회로는 bandgap reference 전압 회로, 전압-전류 변환 회로 그리고 증·방전 회로로 구성되어 있다. 설계되어진 회로는 입력 전압이 1 volt에서 2.75 volt 사이로 변화할 때 출력 주파수는 22kHz에서 60kHz 였으며, 이론적인 값과의 error는 5% 이내였다. 그리고 회로의 동작온도를 -25°C에서 75°C로 변화시킬 때 상온에 대하여 각 온도에서의 출력 주파수의 error는 ±0.5% 이내였다.

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

IV. 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 .

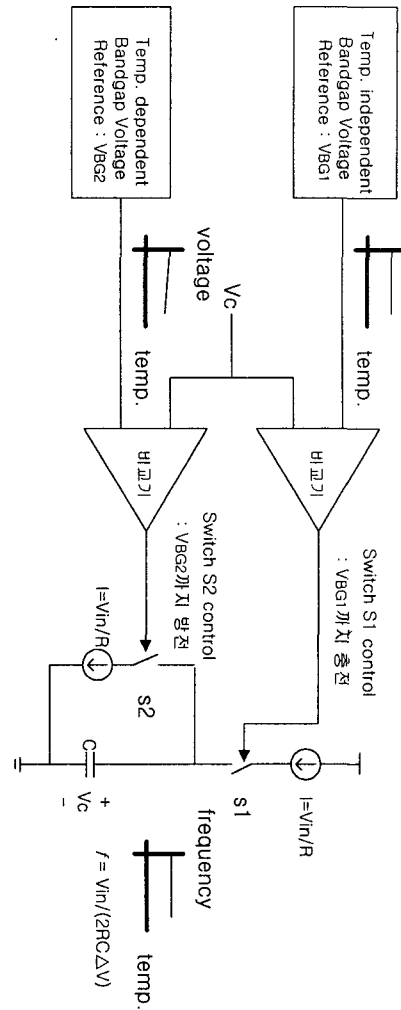
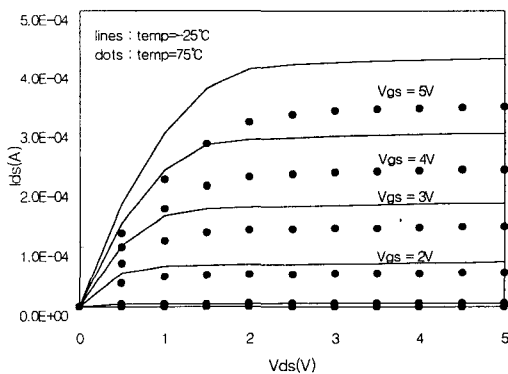
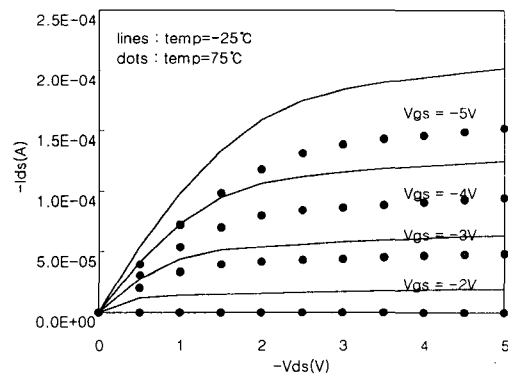


그림 1 전압-주파수 변환기의 개략도



(a) NMOS의 온도에 따른 I-V 특성



(b) PMOS의 온도에 따른 I-V 특성

그림 2 NMOS와 PMOS의 온도에 따른 I-V 특성

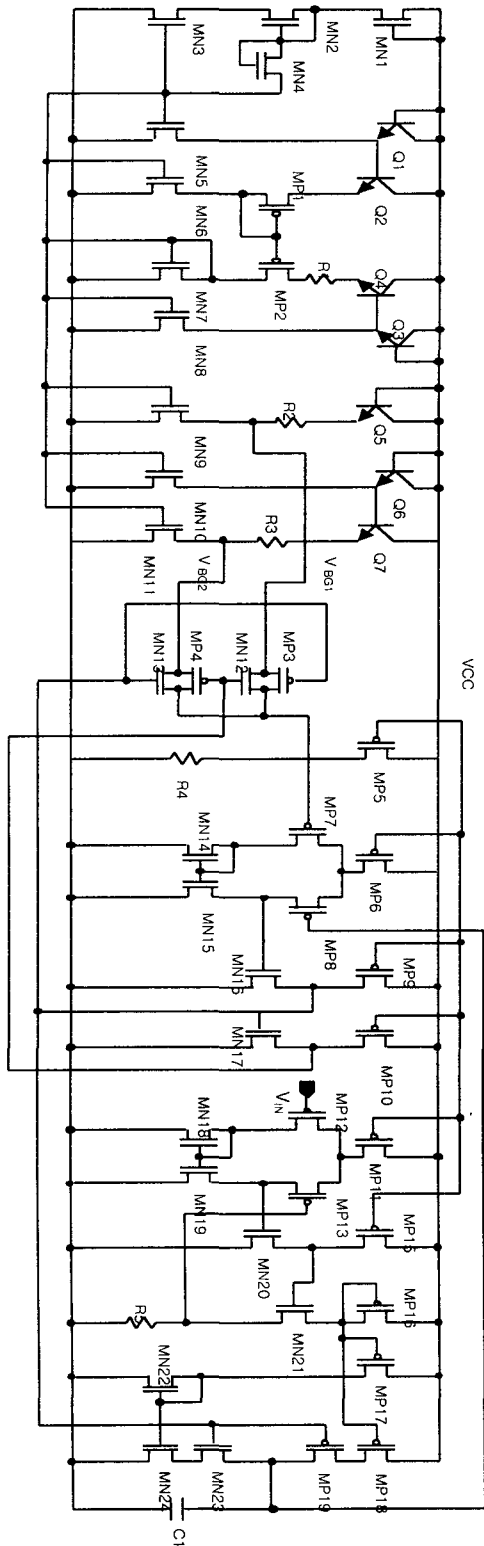
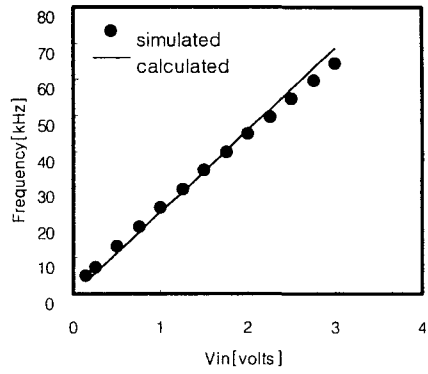
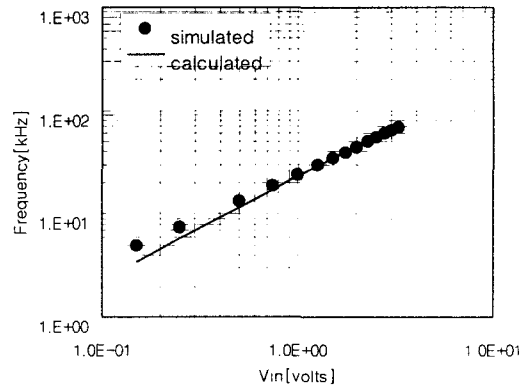


그림 3 전압-주파수 변환회로



(a)



(b)

그림 4 입력전압에 따른 출력 특성

(a) linear scale

(b) log scale

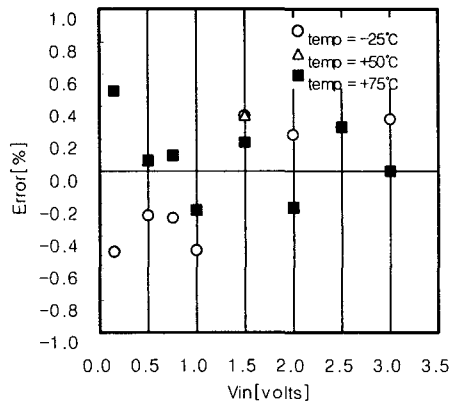


그림 5 온도에 따른 전압-주파수 변환 error 특성