
밴드갭 기준전압을 이용한 동작온도에 무관한 PWM 컨트롤러

최진호*

A Temperature Stable PWM Controller Using Bandgap Reference Voltage

Jin Ho Choi*

요약

본 논문에서는 밴드갭 기준전압을 이용하여 동작온도에 무관한 PWM(Pulse Width Modulation) 제어 회로를 설계하였다. 동작온도에 무관한 PWM 제어기는 BiCMOS 기술을 이용하여 동작온도에 무관한 기준전압과 동작온도에 따라 변화하는 두개의 기준 전압을 이용하였다. 설계되어진 회로는 공급전압 3.3volt를 사용하였으며, 출력 주파수는 1MHz이다. 회로의 시뮬레이션 결과 동작 온도가 0°C에서 70°C까지 변화할 때, PWM 제어기의 출력 펄스폭의 변화는 상온에 비하여 +0.86%에서 -0.38%였다.

ABSTRACT

In this work, temperature stable pulse width modulation controller using bandgap reference voltage is proposed. Two bandgap reference voltages are designed by using BiCMOS technology which are temperature dependent and independent voltage references. PWM controller is designed by using 3.3 volt supply voltage and the output frequency is 1MHz. From simulation results, the variation of output pulse width is less than form +0.86% to -0.38% in the temperature range 0°C to 70°C.

키워드

Pulse Width Modulation, Bandgap reference voltage, Triangular waveform generator

I. 서론

PWM(Pulse Width Modulation) 신호는 디지털 값이지만, 입력신호의 크기에 따라 펄스폭이 변화하는 신호이다. 즉, 출력주파수는 일정하지만, 입력 신호의 진폭 정보를 펄스폭이라는 정보로 변환하는 회로이다[1]. PWM 신호는 계측과 통신 등의 분야에서 전력제어와 변환 등 광범위한 영역에서 사용되고 있다[2, 3]. 그러나 시스템의 온도가 변화하면 출력주파수가 변화하며 동일한 입력신호에 대해서 출력 펄스폭이 변화하게 된다.

본 논문에서는 회로의 동작온도가 변화하더라도 입력신

호에 대한 일정한 출력 신호를 발생시키는 동작온도에 무관한 PWM 제어기를 설계하고자한다. 논문의 구성은 II절에서는 동작온도에 무관한 PWM 제어회로의 구성과 개념에 대하여 설명하고, III절에서는 설계되어진 PWM 제어기에 대하여 논한다. 그리고 IV절에서는 SPICE simulation을 통한 PWM 제어기의성능을 분석하고 V 절에서 결론을 맺는다.

II. PWM 제어기

그림 1은 PWM 제어기의 개략도이다. 회로의 동작을

살펴보면, 스위치 S1이 on 되고 스위치 S2가 off 되면 커패시터는 전류원 IC에 의해 충전된다. 이때 Vc의 전압이 V1 보다 증가하면 스위치 S1은 off 되고 스위치 S2가 on 된다. 그러면 커패시터는 스위치 S2를 통하여 방전하게 된다. 이때 Vc의 전압이 V2가 될 때까지 방전한다. 커패시터의 전압이 V2가 되면 다시 스위치 S1이 on되고 스위치 S2는 off되어 커패시터는 충전을 하게 된다. 그러므로 커패시터의 전압 Vc는 V1과 V2의 피크 전압을 가지며, 일정한 전류원에 의해 충전과 방전을 하므로 삼각파의 전압 파형이 된다.

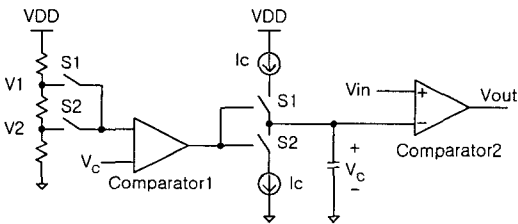


그림 1. PWM 제어기의 개략도
Fig. 1. Concept of PWM controller

PWM 제어기에서 회로의 동작온도가 변화하면 삼각파의 출력주파수가 변화하게 되고, 이로 인해 동일한 입력전압에 대해서 출력 신호 Vout의 펄스폭은 변화한다. 본 논문에서는 동작온도가 변화하더라도 일정한 펄스폭을 얻기 위한 PWM 제어기를 설계하고자 한다. 이를 위해 회로의 동작온도가 변화하더라도 일정한 주파수의 삼각파를 얻기 위해 전류원 Ic의 크기를 동작온도에 따라 제어한다. 그리고 comparator2는 회로의 동작온도가 변화하더라도 일정한 전류로 제어하여 온도 변화에 따라 동작의 변화를 최소화한다.

그림 2는 동작온도 변화에 무관한 PWM 제어기를 설계하기 위한 전체 회로의 구성을 나타낸 것이다. 그림 2의 동작을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 동작온도에 따라 원하는 기율기로 변화하는 기준전압 회로를 구성하고 이를 이용하여 동작온도에 따라 변화하는 전류원을 구성한다. 이 전류원은 삼각파 발생기의 커패시터를 충전하는 전류원이다. 즉, 회로의 동작온도에 따라 전류원의 크기를 조절하여 동작 온도에 무관한 특성을 가지

는 삼각파 발생기를 구성한다. 이렇게 구성된 삼각파 발생기의 출력은 입력 신호와 비교하여 PWM 신호를 출력한다. 이때 입력 신호와 삼각파를 비교하는 비교기는 동작온도에 따라 특성의 변화가 없도록 동작온도에 무관한 전압원을 이용하여 구성한다.

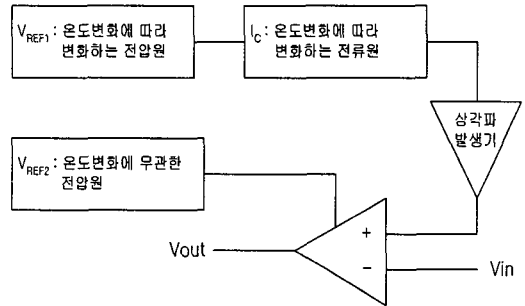


그림 2. 동작온도 무관한 PWM 제어기
Fig. 2. Temperature stable PWM controller

III. BiCMOS PWM 제어기

그림 3은 그림 2의 구성에 따라 설계된 BiCMOS PWM 제어회로 이다. 그림 3의 회로에서 사용된 바이폴라 트랜지스터의 경우 CMOS 공정에서 well 공정을 이용한 수직형 바이폴라 트랜지스터로 구성하면 되므로 CMOS 공정에서 추가 공정없이 제작할 수 있다. 그림 3에서 MN1부터 MN9, MP1과 MP2, Q1에서 Q5로 구성된 회로는 BiCMOS를 이용한 밴드갭 기준 전압 회로이다 [4]. 밴드갭 기준 전압 회로에서 Q1과 Q2의 에미터 면적이 서로 같고, Q3에서 Q5까지의 에미터 면적에 비해 1/n 인 면적을 가진다면 Q2와 Q4에서 전류식은 수식(1)과 같다.

$$I_{o, Q4} = n I_{o, Q2} \quad (1)$$

여기서 n은 트랜지스터의 에미터 면적비이며, $I_{o, Q2}$ 와 $I_{o, Q4}$ 는 바이폴라 트랜지스터 Q2와 Q4의 역방향 포화전류이다.

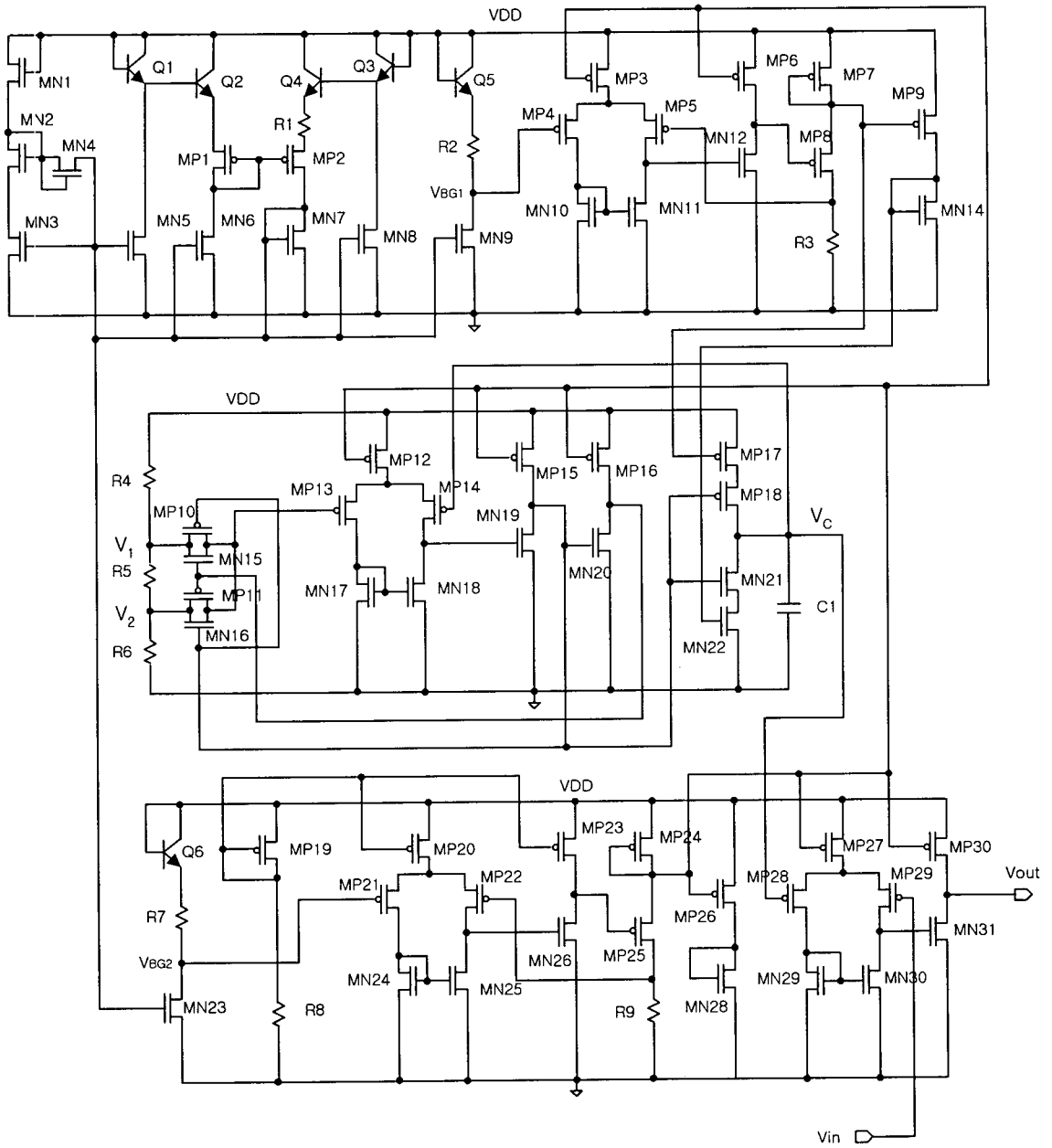


그림 3. 동작온도에 무관한 BiCMOS PWM 제어회로
 Fig. 3 Temperature stable BiCMOS PWM controller

그리고 MP1에 흐르는 전류를 I_1 MP2에 흐르는 전류를 I_2 라고 하면 Q2와 Q4의 베이스-에미터 사이의 전압과 흐르는 전류 사이에는 수식 (2)와 수식 (3)이 성립한다.

$$V_{BE2} = V_t \ln(I_1 / I_{o, Q2}) \quad (2)$$

$$V_{BE4} = V_t \ln(I_2 / I_{o, Q4}) \quad (3)$$

수식 (2)과 수식(3)에서 V_t 는 thermal voltage (=kT/q)이다. 트랜지스터 MP1과 MP2의 소스 전압이 동일하므로, MP2에 흐르는 전류 I_2 와 Q1, Q2, Q3, Q4 트랜지스터의 베이스-에미터 간의 전압 관계는 수식 (4)과 같이 표현되어진다.

$$(V_{BE1} + V_{BE2}) - (V_{BE3} + V_{BE4}) = I_2 R1 \quad (4)$$

Q1과 Q2의 베이스-에미터 간의 전압이 동일하며, Q3과 Q4의 베이스-에미터 간의 전압도 동일하다. 그리고 MP1과 MP2를 흐르는 전류 I_1 과 I_2 가 동일하므로 수식 (4)에 수식 (1), (2), (3)을 대입하면 수식 (5)와 같이 전류 I_2 가 표현된다.

$$I_2 = (2V_t \ln n) / R1 \quad (5)$$

트랜지스터 MN9에 흐르는 전류는 MN6과 MN7에 흐르는 전류와 동일하므로 V_{BG1} 은 수식 (6)과 같이 표현된다.

$$V_{BG1} = V_{DD} - V_{BE} - (R2 / R1)(2V_t \ln n) \quad (6)$$

Q6, R7, MN23으로 이루어진 밴드갭 기준전압 회로에서도 V_{BG1} 과 동일하게 동작하므로 V_{BG2} 는 수식 (7)과 같이 표현되어진다.

$$V_{BG2} = V_{DD} - V_{BE} - (R7 / R1)(2V_t \ln n) \quad (7)$$

수식 (6)과 수식 (7)에서 V_{DD} 는 공급 전압이다. 수식 (6)과 (7)에서 보면, V_{BE} 는 온도가 증가하면 감소하는 항이고, V_t 는 온도의 증가에 따라 증가하는 항이다. 그러므로 수식 (6)으로부터 V_{BG1} 의 경우 저항 R1과 R2 그리고 n을 조절하면 동작온도에 따라 원하는 기울기로 변화

하는 기준 전압을 얻을 수 있다. 그리고 수식 (7)으로부터 저항 R1과 R3 그리고 n을 조절하면 동작온도에 무관한 기준 전압을 얻을 수 있다.

MP3에서 MP9, MN10에서 MN14로 구성된 회로는 전류원 회로로서 V_{BG1} 으로부터 온도에 변화하는 기준전압을 이용하여 동작온도에 따라 변화하는 전류원을 구성한 것이다.

MP7, MP9, MP17, MN22에 흐르는 전류는 동일하며, 전류 값은 온도에 따라 변화한다. 그리고 MP10에서 MP16, MN15에서 MN22로 구성된 회로는 삼각파 발생 회로 이다. 커패시터 C1을 충전·방전하는 전류원은 MP17과 MN22로 구성되어 있다. 커패시터 C1의 전압 V_c 는 전류원 MP17에 의해 V2까지 충전하고 전류원 MN22에 의해 V1까지 방전한다.

Q6, R7, MN23은 동작온도에 무관한 기준전압 V_{BG2} 생성 회로이다. 그리고 MP19에서 MP30, MN24에서 MN31로 이루어진 회로는 동작온도에 무관한 기준전압을 이용하여 최종 PWM 신호를 생성하기 위한 회로이다.

IV. PWM 제어기 특성

설계되어진 회로는 3.3V 공급전압을 사용하였고, MOS는 P-well 공정의 0.25 μ m MOSIS사의 모델 파라미터를 사용하였다. 그리고 회로의 시뮬레이션은 HSPICE를 사용하였다[5]. 회로 시뮬레이션시 사용되어진 기준전압 V1과 V2는 각각 1.1volt와 2.5volt였으며, 삼각파의 주파수는 약 1MHz이다. 그림 4는 상온에서 시간에 따른 V_c 의 전압파형, 입력 신호 그리고 PWM 제어기의 출력 V_{out} 이다. 입력전압이 변화함에 따라 PWM 제어기의 출력신호에서 펄스폭이 변화하는 것을 알 수 있다.

그림 5는 설계되어진 그림 2의 회로에서 회로의 동작온도가 변화할 때 V_{BG1} 과 V_{BG2} 의 변화를 나타낸 것이다. V_{BG2} 의 경우 온도의 변화에 따라 변화량이 최소화 되도록 설계하였으며, V_{BG1} 의 경우 온도변화에 따라 V_c 의 출력 특성을 고려하여 변화하도록 설계하였다. 회로의 동작온도는 일반적인 반도체 칩의 온도 특성 측정을 위한 온도 범위인 0 $^{\circ}$ C에서 70 $^{\circ}$ C까지로 하였다. 회로의 동작온도가 0 $^{\circ}$ C에서 70 $^{\circ}$ C까지 변화할 때 V_{BG1} 은 약 0.4volt 정도 변화하였으며, V_{BG2} 의 변화량은 0.04volt 이하였다.

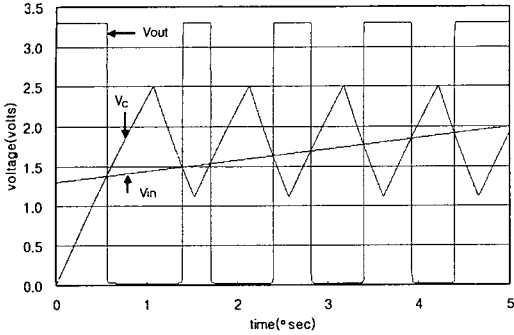


그림 4. 상온에서의 PWM 제어기 출력 특성
Fig. 4 PWM controller characteristics in room temperature

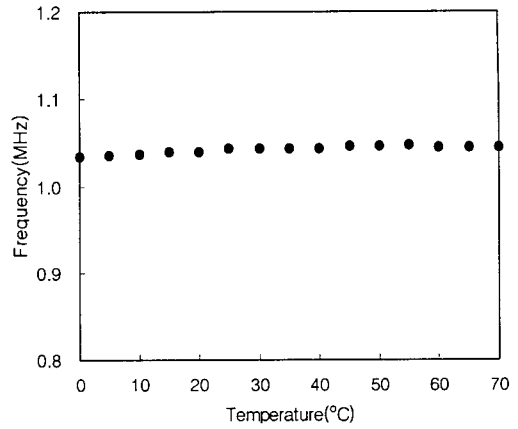


그림 5. 온도에 따른 출력주파수 변화
Fig. 6 Output frequency variation with temperature

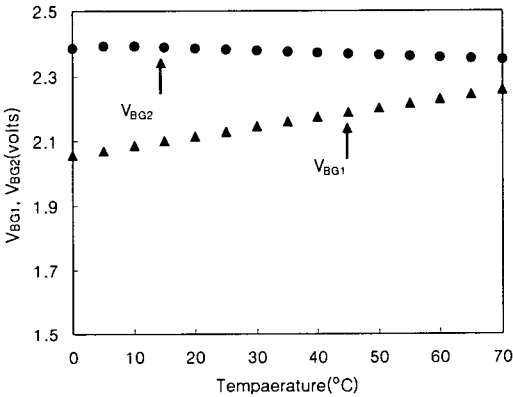


그림 5. 온도에 따른 VBG1, VBG2
Fig. 5 VBG1 and VBG2 with temperature

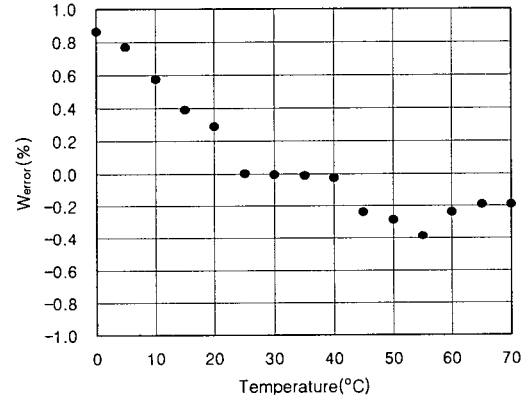


그림 7. 온도에 따른 Werror
Fig. 7 Error with temperature

그림 6은 회로의 동작온도가 변화할 때 Vout의 주파수 변화이며 그림 7은 펄스 폭 변화를 시뮬레이션 한 것이다.

그림 7에서 상온에서의 PWM 펄스폭에 대한 온도 변화에 따른 펄스폭의 변화는 수식 (8)에 따라 계산한 것이다. 출력 주파수 및 출력 펄스폭의 변화양은 회로의 동작 온도가 0°C에서 70°C까지 변화할 때 +0.86에서 -0.38% 정도였다.

$$W_{error} [\%] = \frac{W_{25^{\circ}C} - W_{temp}}{W_{25^{\circ}C}} \times 100 \quad (8)$$

수식 (8)에서 W는 펄스폭이다.

V. 결 론

계측과 통신 등의 분야에서 널리 사용되어지는 PWM 제어기를 설계하였다. 설계된 제어기의 경우 회로의 동작온도가 변화하더라도 온도변화에 안정된 특성을 얻을 수 있도록 설계하였다. 이를 위하여 두개의 밴드갭 기준전압 회로를 이용하였다. 한 개의 기준전압은 동작 온도에 따라 일정한 기울기로 변화하도록 설계하였으며, 또 한개의 기준전압은 동작 온도에 무관하도록 설계하였다. 회로의 시뮬레이션 결과 회로의 동작온도가 0°C에

서 70℃까지 변화할 때 출력 주파수의 변화 및 출력 펄스 폭의 변화는 1%이내로서 온도 변화에 매우 안정된 특성을 보여주었다.

저자소개

참고문헌

- [1] Sidney Soclof, "Applications of analog integrated circuit," *Printice-Hall*, 1985.
- [2] 전용런, 전홍우, 송성해, 정금섭, "펄스폭변조 기법을 이용한 신경망회로 설계," 한국해양정보통신학회, 제6권 1호, pp.14-24, 2002.
- [3] 권윤중, 이성창, "PWM 전압제어로 생체에 필요한 알칼리 이온수의 농도(ph) 변화에 관한 연구," 전자공학회지-SC, 제41권 6호, pp. 37-42, 2004.
- [4] 최진호, "BiCMOS를 이용한 온도센서 시스템의 설계," 대한전기학회지, 제52C권 8호, pp. 330-334, 2003.
- [5] *SPICE user's manual*



최진호(Jin Ho Choi)

1985 부산대학교 전자공학과 공학사
1987 KAIST 전기 및 전자공학과 공학석사

1992 KAIST 전기 및 전자공학과 공학박사
1996~ 부산외국어대학교 근무
※관심분야: VLSI 설계