OTA를 이용한 오차 증폭기의 특성

송 재 훈, 김 희 준, 정 원 섭*, 임 동 빈*
한양대학교 전자 · 컴퓨터 공학부, *청주대학교 전자 · 정보통신 · 반도체 공학부
전화 : 031-406-2325 / 핸드폰 : 017-620-8691

Characteristic of Error Amplifier Using OTA

Jae-Hun Song, Hee-Jun Kim, Won-Sup Chung*, Dong-Bin Im*
School of Electricl Eng. and Computer Science, Hanyang University
*School of Electronic, Information & Communication, Semiconductor Eng., Chongju University
E-mail : guysong@hanmail.net

Abstract

This paper proposes an error amplifier circuit using OTA(Operational Transconductance Amplifier) which is the main constituent element in pulse width modulation circuit. The proposed OTA error amplifier circuit is featured by simple circuit configuration, excellent high frequency characteristics and bias current controlled output. Through the experiment of pulse width modulation circuit, the validity of the operation of the OTA error amplifier circuit is verified.

I. 서론

스위칭 전원의 출력전압 제어를 위한 부궤환 제어회로의 대표적 예인 펄스폭 변조(Pulse Width Modulation : PWM) 제어회로는 그 주요 구성요소로서 오차증폭기, 비교기, 구동회로 등을 포함하고 있다. 여기서 오차증폭기(Error Amp)는 제어대상인 출력전압과 추종해야 할 참고치인 기준전압과의 오차를 증폭하는 역할 뿐만아니라, 전체 제어시스템의 안정성 및 제어성능을 결정해 주는 핵심적인 구성요소라고 할 수 있다. 오차 증폭기로 이용되는 선형 증폭기는 통상적으로 Op amp가 이용되는데 회로 설계시 전체 제어 시스템의 안정성 및 제어성능 향상에 대응하기 위하여 매우 복잡한 설계과정이 필요하고, 또한 궤환요소가 발생하므로 다소의 설계오차가 전체 시스템의 불안정으로 연결되는 경우도 발생하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 Op amp를 이용한 오차 증폭기의 단점을 개선하기 위하여 간단한 회로구조, 우수한 고주파 특성, 바이어스 전류에 의한 출력제어 등의 장점을 갖는 OTA(Operational transconductance amplifier)를 이용한 오차 증폭기를 제안하였고 이를 실제 PWM 제어회로에 적용하여 동작의 타당성을 입증하였다.

II. 오차증폭기의 동작원리

2.1 PWM 제어회로의 동작

그림 1은 스위칭전원에 적용한 PWM 제어회로를 나타낸다. PWM 제어회로는 기본적으로 출력 전압의 오차를 검출하여 증폭하는 오차 증폭기, 검출된 오차 전압과 톱니파를 비교하여 펄스를 발생시키는 비교기, DC-DC 컨버터의 스위치를 구동하는 구동회로 등으로 구성되어 있다. 그림 1의 PWM 제어 회로의 동작을 살펴보면, 우선 출력 전압과 기준 전압 V_r을 비교하여 생긴 오차를 오차 증폭기로 증폭한다. 이 증폭된 전압은 비교기에서 톱니파와 비교되어 오차에 상응한

구형파 펄스를 생성한다. 그리고 이 구형파 펄스는 구동회로를 통하여 DC-DC 컨버터의 스위치를 구동하여 출력 전압을 안정화시켜 준다.

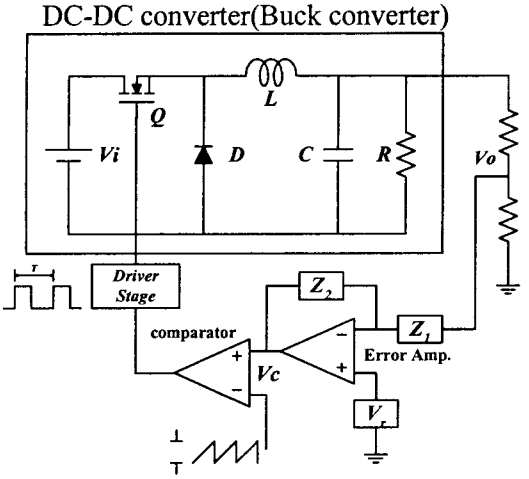


그림 1 스위칭 전원에 적용된 PWM 제어회로

출력 전압이 규정된 값보다 저하했을 때는 저하된 분만큼 오차 증폭기 및 비교기를 통하여 구형파 펄스폭을 크게 하여 출력 전압의 저하를 보상해준다. 반대로 출력 전압이 규정값보다 상승했을 때는 동일한 방법으로 구형파 펄스폭을 감소시켜 출력 전압을 내리고 규정값으로 되돌아오게 한다.

출력 전압의 오차분에 상응하여 스위칭의 구동 펄스폭을 조정하기 때문에 이러한 제어 방법을 펄스폭 변조(PWM)에 의한 제어 회로라고 한다 [1].

2.2 오차증폭기의 동작특성

그림 1의 PWM 제어회로에 있어서 오차 증폭기는 통상적으로 Op amp를 이용하여 구성하는데, 이 그림에서 Vo는 제어대상인 출력전압, Vr은 기준전압을 나타내며 Vo와 Vr과의 오차가 증폭되어 전압 Vc로 나타나게 된다. 이때 Vc는,

$$V_C=(1+\frac{Z_2}{Z_1})Vr-\frac{Z_2}{Z_1}V_O \qquad (1)$$

로 구할수 있다. 여기서 Z_1, Z_2는 앞서 언급한 바와 같이 제어시스템의 안정성 및 제어성능을 향상시키기 위한 저항 R 및 커패시터 C의 조합회로로서 영점(Zero)과 극점(Pole)을 생성하게끔 한다. 그러나 이 OP amp를 이용한 오차증폭기 회로에 있어서 Z_1 및 Z_2의 RC 회로의 설계는 전체 제어시스템의 안정성 및 제어성능 향상에 대응하기 위하여 매우 복잡한 설계과정이 필요하고, 또한 Z_2의 경우는 궤환요소가 되므로 약간의 설계오차가 전체 시스템의 불안정으로 연결되는 경우도 발생하게 된다.

그림 2는

$$Z_1=R_1\ ,\ Z_2=\frac{(1+s\,C_1\,R_2)}{s(\,C_1+\,C_2)(1+\frac{C_1\,C_2\,R_2}{C_1+\,C_2}s)}$$

로 보상된 오차증폭기 회로를 나타낸다. 이 증폭기는 원점에서의 극점, f_z=40Hz 에서 영점, f_p=1326Hz 에서 극점 등 2-pole, 1-zero의 특성을 갖는다.

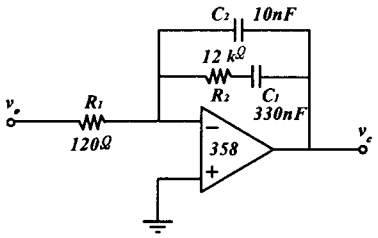


그림 2 보상된 오차 증폭기

2.3 OTA를 이용한 오차증폭기

그림3은 본 논문에서 제안하는 OTA를 이용한 오차증폭기 회로의 대표적인 예를 나타낸다. 여기서 기준전압은 표시를 생략하는 것으로 한다. 그림 2에 나타낸 Op amp.의 오차증폭기와 비교했을 경우 우선 입력저항 R_1이 생략가능함을 알 수 있다. 또한 극·영점 생성회로에서 궤환요소가 존재하지 않음으로써 안정성 설계에 있어서 매우 간편하면서 최적의 특징을 갖는다.

그림 3의 회로도로부터 이 회로의 전달함수는

$$\frac{v_c}{v_o}=g_m\cdot\frac{sC_1R+1}{s(\,C_1+\,C_2)\cdot(1+s\frac{RC_1C_2}{C_1+\,C_2})} \qquad (2)$$

로 구할 수 있다.

이로부터 극점은 원점, $s=\frac{C_1+\,C_2}{R\,C_1\,C_2}$에, 영점은 $s=\frac{1}{C_1R}$에 존재하고 있음을 알 수 있다 [2].

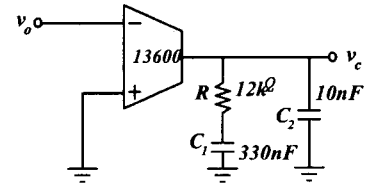


그림 3 OTA를 이용한 오차 증폭기

따라서 이 증폭기는 원점에서의 극점, f_z=40Hz에서의 영점, f_p=1326Hz 에서 극점 등 2-pole, 1-zero의 특성을 갖는다.

III. 실험 및 고찰

OTA를 이용한 오차증폭기를 실험을 통하여 동작원리 및 특성을 확인하였다. 오차증폭기의 보상회로로서는 제일 간단한 비례이득의 회로를 적용하는 것으로 하였으며 그 회로를 그림 4에 나타내었다. 또한, 실험에 사용한 OTA는 LM13600으로 그 트랜스컨덕턴스 (transconductance) g_m은 다음과 같다 [3][4].

$$g_m = K I_{BIAS} \qquad (3)$$

OTA 출력전류는 입력 전압과 바이어스 전류에 의해 조절되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{out} = g_m V_{in} = K I_{BIAS} V_{in} \qquad (4)$$

여기서 K값은 $\frac{1}{2V_T}$로써 온도의 함수로써 실온에서 26mV를 기준으로 할 때 대략 19.2 [V^{-1}]이다. 따라서 전압 증폭률 A_v는 다음과 같다.

$$A_v = g_m R_L = K\frac{V_{CC} - V_{EE} - 0.7}{R_{BIAS}} R_L \qquad (5)$$

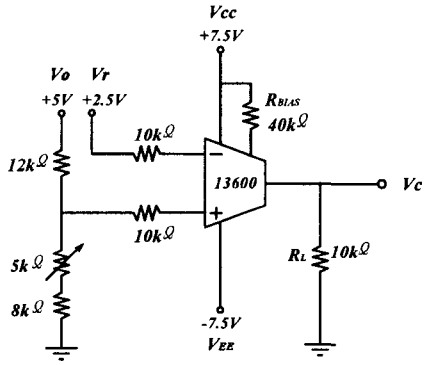
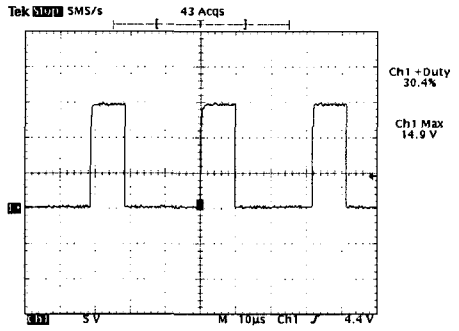


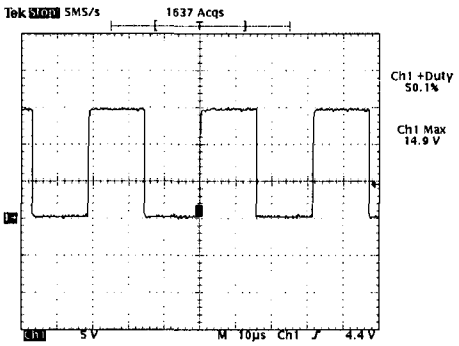
그림 4 OTA를 사용한 오차증폭기 구성

그림 4의 회로는 OTA의 좁은 차입력 전압선형 범위가 좁은것을 고려하여 설계되었으므로 전압 증폭률 (A_v)이 비교적 크며, 식 (5)로부터 A_v는 68.64로 구해진다[5].

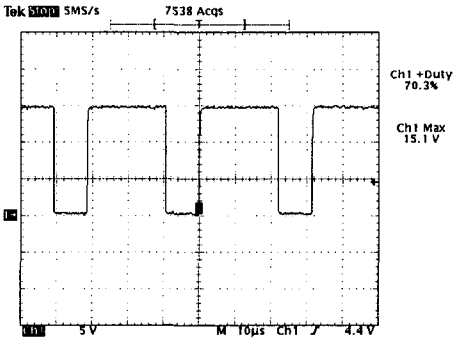
그림 5의 OTA를 이용한 오차 증폭기를 실제로 그림 1에 나타낸 PWM 제어회로에 적용하여 실험을 하였으며 그림 5에 그 실험결과를 나타내었다. 그림 5의 실험결과는 PWM 제어회로에서 스위칭전원의 스위치를 구동하는 구형파 펄스를 나타내며 오차증폭기의 출력전압 V_c의 변화에 따라 구형파 펄스의 폭이 가변하는 PWM 제어의 동작이 잘 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.



(a) V_c = 1 [V]



(b) V_c = 1.7 [V]



(c) V_c = 2.4 [V]

그림 5 OTA 오차증폭기를 이용한 PWM 제어회로의 실험결과

또다른 실험으로서 그림 1에 나타낸 스위칭전원의 한

예인 Buck 컨버터의 출력 전압을 이 PWM 제어회로를 가지고 제어를 수행하였다. Buck 컨버터의 사양은 입력전압 V_i =12 ~ 18 V_{DC} , 출력전압 V_o =5 V_{DC} , 최대출력전류 $I_{o\,max}$=3 A이다. 이 때 OTA를 이용한 오차증폭기는 출력전압의 regulatin을 포함한 제어성능을 향상시키기 위하여 그림 3에서 나타낸 2-pole, 1-zero의 회로로 극·영점 보상을 하였으며 그 이득·위상특성을 그림 6에 나타낸다.

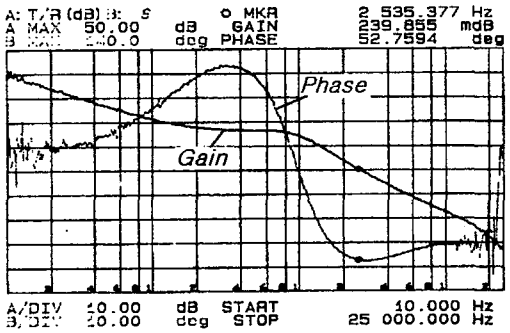


그림 6 보상을 한 오차증폭기 회로의 Gain-Phase 보드선도
(R=8kΩ, C_1=150nF, C_2=10nF)

그림 7은 이 실험에 의한 Buck 컨버터 출력전압의 Load Regulation 특성을 나타내는 실험 결과이다. 이 결과로부터 출력전압이 규정값 5 [V]에서 전부하에 걸쳐 잘 제어되고 있음을 알 수 있다.

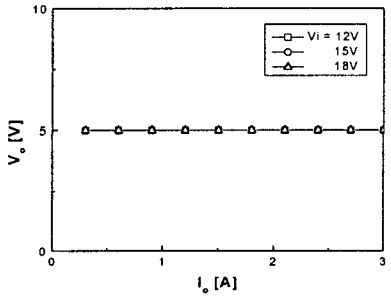


그림 7 PWM 제어회로에 의한 Buck 컨버터의 Load Regulation

그림 8은 이 실험에 의한 Line Regulation 특성을 나타내는 실험결과이다. 이 결과로부터 출력전압이 전 입력범위에 걸쳐서 규정값 5 [V]에 잘 제어되고 있음을 알 수 있다.

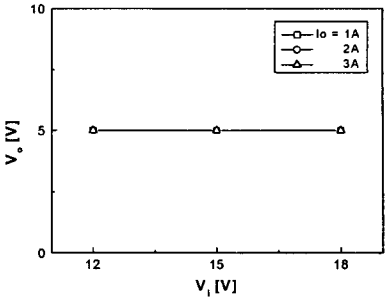


그림 8 PWM 제어회로에 의한 Buck 컨버터의 Line Regulation

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 OTA를 이용한 오차 증폭기를 실현하였고, 실현된 이 오차 증폭기를 PWM 제어회로에 적용하여 그 동작을 확인하였다. 또한 이 PWM 제어회로를 이용하여 실제 Buck 컨버터에 적용하여 그 동작을 확인함으로써 OTA를 사용한 오차증폭기의 타당성을 입증하였다.

따라서, 실현된 오차증폭기가 PWM 제어회로 및 그 외의 여러 제어응용회로에 폭넓게 이용할 수 있을것으로 기대된다.

향후 연구과제로서 OTA의 제한된 차입력 전압(differential input voltage)의 선형 범위에 대응한 회로개발의 연구가 계속되어야 할 것이다.

References

[1] 김희준, "스위치 모드 파워 서플라이", pp. 49~61 성안당, 1993

[2] Abraham I. Pressman, "Switching Power Supply Design", ch. 12, Mc-Graw-Hill, 1998

[3] Thomas L. Floyd, "Electronic Devices, Fourth Edition", ch.7, Prentice-Hall, 1996

[4] Denton J. Dailey, "Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits", ch. 7, 1994

[5] 김동룡 외, "OTA(Operatonal Transconductance Amplifier)를 이용한 회로망 합성", 한국통신학회지, 1987. 12.