전류미러회로를 이용한 직류전류센서의 비직성의 특성조사

유수엽***, 하재열**, 윤희상*
***(주)디에치 텔레콤, ** (주)휴링스, * 호서 대학교

A study of Current Senser Using Current Mirror Circuit

Yoo Sooyeub***, Hae Jaeyul**, Yoon Heesang*
***DH telecom Inc, * Hulinx Inc. Limited,*Hoseo University

Abstract - 전류 미러회로를 이용한 직류 전류 센서를 이용하면 간단하게 전류센서회로를 구성할 수 있다. 더우기 Shunt 저항에서 낮은 전압을 이용하므로 효율적인 전류감지회로를 구성할 수 있다. 그러나 트랜지스터의 에미터 베이스 전압을 이용하므로 비 직선성이 두드러진다. 이 회로의 전류센서, 온도특성등 여러 전기적 물리적 특성을 이해하고 이를 마이크로프로세서를 이용하여 그 특성을 상쇄하는 구성을 고려하여 보기로 한다.

1. 전류센서회로의 구성

고압쪽의 전류센서회로를 그림1과 같이 구성하였다.

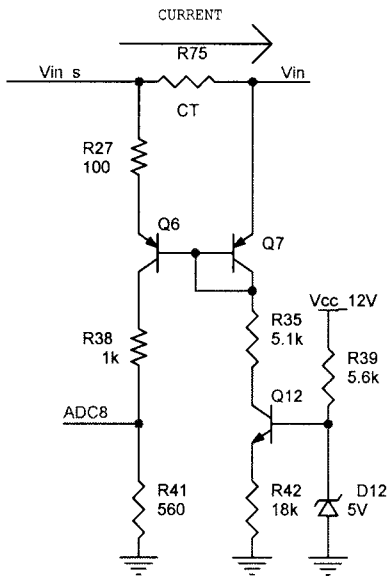

그림 1. 전류 미러 회로

직류전류센서의 회로에 별도의 전압이 인가된 OP AMP를 사용하거나 별도의 회로가 사용되었다. 본 실험은 두가지 목적을 가지고 수행되었다.

(가) 가급적 간단한 회로로 저가의 회로로 구성될 것
(나) 전류센서저항의 크기를 가급적 낮출 것 이다.

따라서 본 회로에서는 정격 전류가 흐를때 50mV의 전압이 나오는 기존의 CT를 사용하는 시스템으로 구성하기로 하였다. 이는 기존의 CT를 사용하면 전류의 대소에 관계없이 전류센서를 쉽게 구하고 정확한 전류를 측정할 수 있기 때문이다.

이 회로를 채용하려면 여러 제약이 필요하다. 회로에서는 Q6과 Q7이 별도의 칩으로 그려져 있으나, 두 트랜지스터가 한개의 칩안에 집적되어, 온도 및 여러 물리적 특성이 트랜지스터가 필요하다.

이 회로에서는 Q7의 전류가 Q12의 정 전류회로에서 일정한 전류를 흘려주고 있다. 이 회로의 전류측정값은 Q6의 콜렉터에 연결된 R41의 양단의 전압값을 측정하여 사용한다. 이 전압값과 R75를 통하여 흐르는 전류의 값과의 관계를 비선형의 트랜지스터의 모델을 통하여 구하고 그 내용을 실험을 통하여 구하는데 있다.

2. 회로의 분석

2.1 트랜지스터의 모델

그림1의 회로를 선형회로로 분석하여 예측하면 실제값과 전혀 다른 값이 나오게 된다. 그 이유는 선형 모델이 적용이 되지 않기 때문이다. 이는 트랜지스터의 베이스와 이미터간의 전압이 전류의 값에 따라 변하기 때문이다.

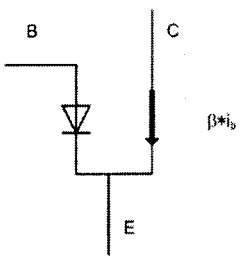

그림 2. 트랜지스터 모델

이 모델에서 필요한 사항은 다음과 같은 몇 가지 사항이 정리 필요하다.

(1) 베이스와 이미터간의 전압은 이미터 전류에 의하여 결정된다. 이 전압값은 가장 간단한 형태의 수식은 지수형으로 결정된다.

$$i_E = i_r \cdot (e^{\frac{V_{BE}}{KT}} - 1) \quad \text{---------- 식 1}$$

(2) 콜렉터 전류는 이미터 전류의 α배이다.

$$i_C = \alpha \cdot i_E \quad \text{---------- 식 2}$$

이와 같은 사항이 결정이 되면 위의 회로는 비선형 식으로 구성된다. 이 회로의 Q6의 콜렉터전류의 값을 분석적으로 구하려면 비선형 방적식을 구하여야 한다.

그 첫 번째 단계로 트랜지스터의 이미터와 베이스간의 단자 전압과 이미터전류의 관계식 식1은 식3과 4와 같이 변형된다.

$$V_{BE} = KT \cdot \ln(\frac{i_E}{i_r} + 1) \quad \text{---------- 식 3}$$

$$i_{c7} + i_{e6}(1-\alpha) = i_{c12} \quad \text{---------- 식 4}$$

이 두 관계식을 이용하여 그림 7의 회로에서 두 트랜지스터의 이미터 전류를 구하면 전류 센서의 전류측정이 가능하다. 위의 회로의 이미터의 회로에 키르히호프의 전압의 법칙을 적용하면 식 5와 같은 식이 구하여 진다.

$$R_{27} \cdot i_{e6} + V_{BE6} = R_{75} \cdot (i_e + i_s) + V_{BE7} \quad \text{--- 식5}$$

식3을 각 트랜지스터에 인가하고 식4와 식5를 연동하여 전류를 구하여 보면 매우 비선형의 방정식이 나온다. 이 방정식은 선형적으로 구할 수 없으며 동작점마다 비선형의 방정식을 컴퓨터를 이용한 수치해석법으로 구하여야 한다.

이 때 구한 트랜지스터 Q6의 이미터의 전류에 α와 R41의 값을 곱하면 전류값에 따라 변하는 출력값을 구할 수 있다.

2.1.1 트랜지스터의 특성

트랜지스터의 이미터 전류를 변화시키면서 이미터, 베이스전압을 측정하면 그림3과 같은 형태의 특성을 가진다.

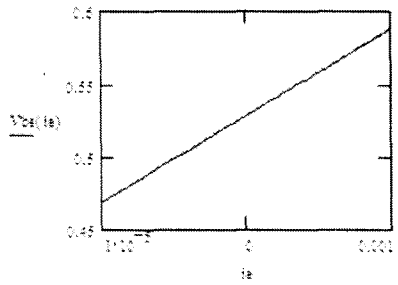

그림 3. 이미터 전류에 따른 베이스-이미터 단자전압

이 그림 3의 전류 그림에서 X축은 log스케일이므로 전압의 변화는 매우 비선형적이 특성을 가진다. 이러한 특성을 가진 회로의 이 전류센서의 회로를 구성하고 응용하면 그 값이 계산값에 부응한 값이 출력되는 것을 관찰할 수 있다.

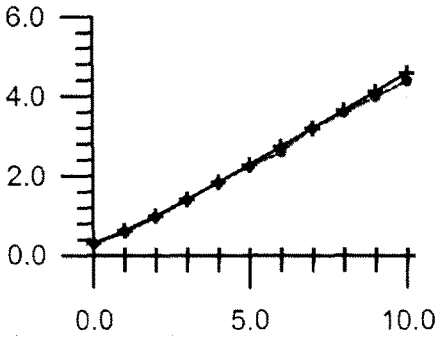

그림4. 전류 센서의 전류값에 따른 출력전압
(+ : 계산값, o ; 측정값)

이 회로의 측정값은 측정오차를 포함하고 있다. 오차는 측정기의 측정값이 미소하게 변동하므로 그 측정값을 읽을때 생긴 오차이다. 이 값은 전체 측정값의 1%이내에 속한다.

2.2 응용회로

이 회로의 응용은 그림5와 같이 전원회로에 쉽게 응용할 수 있다.

즉 현재 대부분의 1 chip으로 구성된 SMPS의 부품의 경우 거의 전류의 제한이 일정하지 않다. 즉 내부의 전류제한 회로가 정확하지 않다. 따라서 과부하가 인가되는 경우에는 많은 회로가 전류 제한이 안 되어 소손이 되거나 전류 제한 회로가 되지 않아 연결된 회로가 손상이 가해지기도 다. 이때 전류가 정확하게 제어되는 회로를 연결하여 회로를 보완하면 정전류특성에 가까운 전류 보호회로 (1특성의 전원회로)가 구성된다.

이 회로에 사용되는 전류센서는 매우 그 크기가 작아 회로에 영향을 주지 않는다. 보통 이를 OP amp를 사용하려면 별도의 전원이 필요한 것이 보통이다.

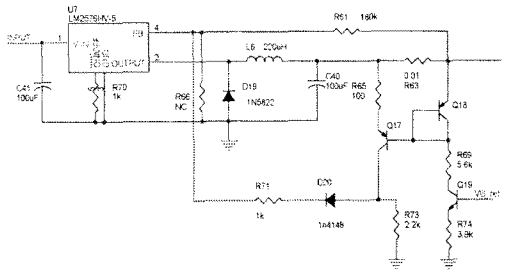

그림5. 전류 제한 응용회로

2.3 마이크로 프로세서적용

마이크로 프로세서의 회로에 이 회로를 적용하면 간단하게 이 회로의 측정값을 계산할 수 있다.

본 회로의 적용에 2차 근사식을 적용하면 비교적 정확하게 전류값을 변환하는 회로가 된다. 이 근사식은 식6과 같이 정리하면 된다.

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 \quad \text{-------- 식 6}$$

여기에서 a_0와 a_2가 음수가 되고, x가 마이크로 프로세서의 입력 디지탈 값이고 y는 계산된 전류값이다.
이 측정방법을 사용하면 1%이내의 정확한 값을 구할 수 있고 측정값이 단조증가함수이므로 그 오차는 매우 작게 전류를 측정할 수 있다.

3. 결 론

이 특성은 비 직선성이 두드러지고 초기의 전류값에 따른 Offset이 존재하는 등 여러 개선할여지가 많다. 그러나 특정값의 전류에서 보호회로가 동작하는 목적에는 매우 유용한 회로이다. 특히 직류 전류센서의 간단한 회로가 필요로 하고 전류 센서의 회로의 영향이 적어야 하는 경우에 유용한 것을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 오창록외, PSPICE를 활용한 전기전자회로, p121-150, 설계, 기전연구사, 2002년
[2] Sedra, Microelectronic Circuits 5/E, Oxford, 2003년