

## A New Magnetic Modulation for Improving Sensitivity of DC Current Sensor

金 漢 星\*·李 煥\*\*

(Han-Sung Kim·Hwan Lee)

**Abstract**—Current sensor using Hall device is an instrument of detecting a current by Hall effect. The existing current sensor is ordinarily worked by concentrating electromagnetism produced around the conducting wire turned iron core. The tiny current, however, could not be accurately detected by the instrument owing to influence of residual magnetism existing in iron core, and the result of detecting is also somewhat on the large side. Accordingly, We fabricated a new type of instrument minimizing the influence of residual magnetism existing in iron core and detected the tiny DC current accurately by taking advantage of magnetic modulation. The range of measuring DC current is 0[mA]–100[mA] and the maximum linearity tolerance by the result of detecting current, can be reduced less than 3 percent.

**Key Words** : Hall Device, Current Sensor, Magnetic Modulation

### 1. 서 론

전기회로에서 도체에 흐르는 전류를 검출하는 기기는 여러 가지 종류가 있으나, DC전류를 검출하는데 전기적으로 절연시키면서 전류를 검출할 수 있는 방법으로, 홀소자를 이용한 방법을 많이 사용하고 있다.[1-4]

홀소자를 이용한 전류검출기는 측정 전류의 크기에 따라 홀전압이 변하는 반도체의 홀효과를 [5-7] 이용한 것으로, 기존의 전류검출기보다 취급이 간단하고, 도체와 검출기간의 전기적 절연이 좋기 때문에, 최근에는 홀소자를 이용한 전류검출기에 대하여 연구가 활발히 진행되고 있다.

홀소자를 이용한 전류 검출방법은 직접검출법과 영자속법(Zero Magnetic Flux Method)을 이용하고 있으나, 이 두 방법은 모두 도체에 전류가 흐를 때 도체 주위에 나타나는 자기를 집중시키는 방법으로 철심을[8, 9] 사용하였다. 그러면, 철심의 잔류자기

영향 때문에 감도를 높일 수 없어 수 밀리암페어 단위의 전류는 검출하기가 어렵고, 또, 검출이 되어도 피측정 도체의 전류가 50[mA] 이하가 되면 직선성 오차가 갑자기 수십 퍼센트 정도로 증가한다. 그래서, 본 연구에서는 기존의 방법에서는 0.12[mV/mA]인 감도를 자기변조법을 이용하여 50[mV/mA] 이상으로 개선하여 수 밀리암페어 단위의 DC 전류를 검출하고, 직선성 오차도 3퍼센트 이하로 감소 시키고자 한다. 자기변조법은 철심에 권선을 감고 적절한 크기의 교류방송파(이하 이 논문에서는 반송파라 부른다.) 전류를 흘려주고, 이 반송파에 검출하려는 DC전류를 변조시킨후 홀소자에 가하여 준다. 이때, 홀소자에 나타난 신호 전압을 증폭시킨 다음, 복조기로 복조하여 직류 전압의 크기로 나타내는 방법이다. 이렇게 하면, 철심에서 잔류자기의 영향이 훨씬 감소하게 되므로, DC전류가 0[mA]에서 증가할 때와 0[mA]로 감소할 때의 차이가 더욱 줄어들게 되어, 오차를 감소시킬 수 있다. 전류 검출시 피측정 도체의 전류가 수 밀리암페어 단위일때, 이 전류에 의하여 생성된 자기는 철심에 남아 있는 잔류자기의 영향을 많이 받고, 백 밀리암페어 단위 이상의 전류에서는 그 영향을 적게 받았다. 그러므로, 이 연

\*正 會 員 : 建國大 工大 電氣工學科 教授·工博

\*\*正 會 員 : 大山産業大 制御計測工學科·副教授

接受日字 : 1993年 7月 31日

1次修正 : 1993年 10月 28日

구에서 DC전류의 검출 범위는, 수 밀리암페어에서 일백 밀리암페어의 범위로 정하였다. 이 때, 조건으로 피측정 도체와 검출기 사이에는 전기적으로 절연 상태를 유지시키고, 철심의 잔류자기가 전류 검출에 미치는 영향을 기존의 전류 검출방법보다 개선한다는 목표를 잡고, 이에 적합한 DC전류 검출 방법을 제시하고, 그 방법의 타당성을 입증하고자 한다.

### 2. 홀전압 발생

전류가 흐르는 반도체에 자계를 가하면, 반도체내의 전자, 정공 즉, 하전 입자가 자기력에 의해 한쪽 면으로 편향되어 불균일한 공간 전하 분포가 발생하므로, 이에 의해 전위차가 발생한다. 이 원리를 이용하여 자기의 강약을 전압의 크기로 바꾸어 주도록 만들어진 것이 홀소자이다.

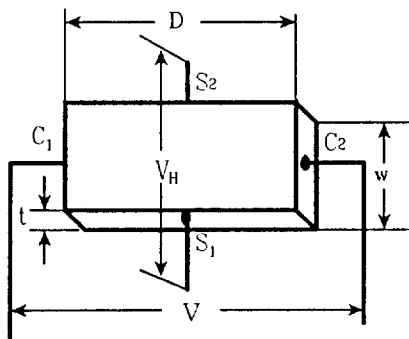
홀소자의 일반적인 구조는 그림 1과 같으며, 여기에 바이어스 전류  $i(C_1-C_2$  단자)를 흘리고, 이에 수직으로 자계  $B(Z$  축방향)를 가하면, 바이어스 전류  $i$  및 자계  $B$ 에 대해 수직 방향으로 전압  $V_H(S1-S2$  단자)가 발생한다. 이 때 발생한 전압  $V_H$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$V_H = \frac{R_H}{t} i B F_H \tag{1}$$

한편, 홀소자를 구성하는 반도체 소자의 크기에 관계되는 요소들, 즉, 비례 계수를  $K_H$ 라 하면 다음과 같은 관계가 있다.

$$V_H = K_H i B \tag{2}$$

$$K_H : \frac{R_H}{t} F_H$$



S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> : 출력 단자      C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> : 바이어스 전류 단자  
 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> : output terminal  
 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> : Bias current terminal

그림 1 홀소자의 구조

Fig.1 Structure of hall device

$i$ 는 홀소자의 바이어스 전류로 일정해야 하므로 정수로 보고

$$V_H = K_H B \tag{3}$$

$$K_H : K_H i = F_H R_H \text{ it 가 된다.}$$

### 3. 자기회로

이상적인 자기회로는 철심에 공극이 없고, 누설자속이 전혀 없는 회로로 간주하고, 자기회로의 식을 쓰면

$$\Phi R = NI \tag{4}$$

$$NI = \frac{C}{\mu S} \Phi \text{로 된다.} \tag{5}$$

따라서

$$\frac{\Phi}{S} = B = \frac{NI}{C} \mu \tag{6}$$

로 되어 자기회로의 자기저항은 철심내의 자기 저항만이 존재하기 때문에, 같은 기자력에 의해서도 철심의 재료에 따라 자속밀도를 높일 수 있다.

그러나, 실재는 홀소자에 자기를 가하기 위하여는 철심에 공극을 만들고, 그곳에 홀소자를 장착해야 하기 때문에, 공극이 있는 경우를 고려하여야 한다.

철심에 공극이 존재할 경우, 자기회로 전체의 자기저항은 철심의 자로  $C$ 에서보다 공극  $C_k$ 의 자기저항이 거의 수배에 해당한다. 그러므로 같은 기자력  $NI$ 에서 자속밀도  $B$ 를 높이려면 자기회로 전체의 자기저항을 줄이기 위해, 철심의 자로  $C$ 의 길이도 짧게 해야 하지만, 공극의 길이를 가능한 한도까지 줄여야 전체의 자기저항을 줄일 수 있다. 그러면 같은 피측정 도체의 전류에서도 자속밀도  $B$ 가 높아져서 홀전압이 높아지므로 검출 감도를 높일 수 있다. 여기에서, 피측정 도체의 전류  $I_{DC}$ 가 자속밀도  $B$ 로 변환될 때까지의 과정을 살펴볼 것이다.

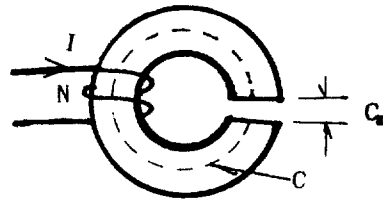


그림 2 철심에 공극이 있을 때의 모양

Fig.2 Configuration of iron core with air gap.

그림 2에서와 같이 자로에 공극이 있는 경우를 생각하고 (이 때, 공극 이외에서는 누설자속이 없다고

가정 한다) 자기회로 전체의 자기저항을 구해보면

$$R_i = R_c + R_k \tag{7}$$

$$R_c = \frac{C}{\mu_0 \mu_r S} \tag{8}$$

$$R_k = \frac{C_k}{\mu_0 S} \tag{9}$$

$$R_i = \frac{C}{\mu_0 \mu_r S} + \frac{C_k}{\mu_0 S} = \frac{1}{\mu_0 S} \left( \frac{C}{\mu_r} + C_k \right) \tag{10}$$

가 되고, 이 때, 철심의 자속밀도를 구해보면

$$\Phi R = NI \text{에서}$$

$$\Phi = \frac{NI}{R_i} = \frac{NI}{\frac{C}{\mu S} + \frac{C_k}{\mu_0 S}} \tag{11}$$

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{NI}{\frac{C}{\mu} + \frac{C_k}{\mu_0}} = \frac{NI}{\frac{C}{\mu_0 \mu_r} + \frac{C_k}{\mu_0}} \tag{12}$$

$$= \frac{NI}{\frac{1}{\mu_0} \left[ \frac{C}{\mu_r} + C_k \right]}$$

가 되어, 피측정 도체의 전류 I에 비례하여 자속밀도 B가 나타나서, 홀소자에 자속밀도 B로 가해질 수 있게 된다.

### 4. 감 도

감도는 측정기가 어느 정도의 미약한 신호까지 검출할 수 있나 하는 검출기의 성능을 나타내는 척도로서 측정기의 능력을 판정할 때 필요한 특성이다.

측정기로 측정물의 양을 측정하는데, 그 측정량은 측정기에 의해서 얼마나 작은 양까지 측정할 수 있나 하는 최소의 측정 가능 범위가 있다.

계기에서는 지시값이, 지침 또는 눈금상의 길이가 같을 때 측정량의 단위가 작을수록 감도가 높다고 한다. 즉, 감도가 높을수록 더 작은 양까지 측정할 수 있게 된다. 이 연구에서 감도는 홀전압 증폭기의 출력전압/피측정 도체의 전류 (mV/mA)로 정의한다. 전류검출기는 감도가 높을수록 피측정 도체의 약한 전류도 잘 검출하여 출력전압으로 나타낼 수 있다. 감도의 크기를 정하는 데는 홀소자와 증폭기부 등에서 나오는 잡음이 증폭되어 출력에 같이 나오게 되므로, 원하는 신호의 크기와 잡음의 크기의 비율을 어떻게 정하여 주느냐 하는 기준이 있어야 한다. 감도를 높이자고 증폭부에서 증폭도만 높이면, 미약한 신호일 때는 신호의 크기가 작아서 잡음에 묻히게 되므로, 증폭기로 증폭하여도 증폭의 의미가 없게 된다. 그래서, 감도를 정할 때 신호와 잡음의 비를 정하는데, 여러 가지 방법이 있을 수 있어 이 방법을 생각해 보면,

첫째, S/N(Signal/Noise) 비를 최대 허용 입력값으로 억제하고 규정의 출력 전압을 얻는데 필요한 입력 전류값으로 정하는 방법, 둘째, 검출기의 모든 조건을 최량의 상태로 하고, 기준 출력전압을 얻는데 요하는 입력레벨로 측정하는 방법, 셋째, 잡음제한 감도와 이득제한 감도 측정법이 있을 수 있는데, 이 논문에서는 출력에 나오는 잡음의 크기를 어느 값 이하로 일정하게 억제하는 잡음제한 감도법을 택하였다.

### 4.1 감도 개선 방법

이 실험에서 검출기의 감도를 높이려면 식(3)의

$$V_H = K_B B \text{에 식 (12)의 B를 대입 하면}$$

$$V_H = K_B \frac{NI}{\frac{C}{\mu} + \frac{C_k}{\mu_0}} = K_B \frac{NI}{\frac{1}{\mu_0} \left[ \frac{C}{\mu_r} + C_k \right]} \tag{13}$$

가 된다. 이 때, 식(13)의

$$K_B \frac{NI}{\frac{1}{\mu_0} \left[ \frac{C}{\mu_r} + C_k \right]} \text{에서 [ ]안의 식을 생각하여 보}$$

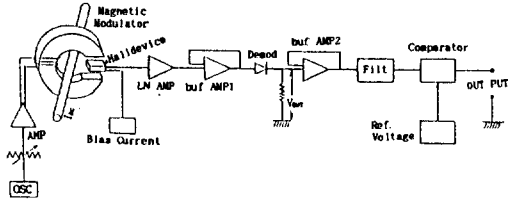
면,

공극의 길이가 1mm만 변하여도 자기회로 전체의 자기저항에 상당히 많은 영향을 준다. 고로 자기회로 전체의 자기저항을 감소시키려면 공극의 길이를 짧게 하여야 한다. 그렇게 하면 자속밀도가 증가하여 홀전압이 높아지게 된다.

이 식(13)에서 공극과 홀전압  $V_H$ 와의 관계는,  $V_H$ 가 커지려면, 다른 항은 모두 정수로 보고  $C_k$ 가 작을수록  $V_H$ 가 커진다. 그러나, 기존의 방식에서는  $C_k$ 를 줄였을 때, 잔류자기가 소자에 영향을 주기 때문에, 잔류자기의 영향을 줄이기 위하여, 공극  $C_k$ 를 작게 하지 못 하였다. [10] 그러면, 도체 전류에 의한 자속밀도를 높일 수 없게 된다. 그래서, 자기변조법을 사용하면, 반송파 전류에 의해 철심내 잔류자기의 영향을 감소시킬 수 있으므로, 공극  $C_k$ 를 가능한 한도까지 줄일 수 있게 된다. 따라서 홀소자에서 검출되는 홀전압의 검출감도를 높일 수 있으므로, 증폭기로 홀전압을 증폭하여 전체의 이득을 높일 수 있어 검출기의 감도를 개선할 수 있다.

### 5. 자기변조

변조란 전기신호를 반송파라고 하는 다른 주파수에 옮기거나, 반송파에 변조파를 중첩시키는 것이다. 변조의 잇점은 반송파에 어느 신호가 변조되면, 반송파가 전송되는 한 신호화도 따라서 같이 전송될 수 있다.[11]



**그림 3** 자기변조 검출기의 개략도  
**Fig.3** Block diagram of the magnetic modulation Sensor

이 논문에서 자기변조라 하는 것은 전압이나 전류를 변조시키는 것과 원리는 같으나, 차이점은 반송파 전류에 의해 생성된 자기에 DC 전류에 의해 생성된 자기를 변조시키므로, 반송파자기의 파형은 본래의 파형을 유지하면서 DC전류에 의한 자기의 크기만큼 중심축이 이동하게 되는 것이 다른점이다. 즉, DC전류에 의한 자기 때문에 반송파 자기의 중심축이 이동하는 현상을 자기변조라 하고, 이 때 반송파 자기는 DC자기에 의해 변조되었다고 한다.

그림 3에 자기변조법에 의한 DC 전류검출기 전체의 개략도를 그려놓았다. 기존의 홀소자를 이용한 DC전류검출 방식은 철심의 잔류자기 현상 때문에 수십 밀리암페어 단위 이하의 DC전류는 검출하기가 어렵다.

그래서, 이곳에서는 자기변조를 이용하여 철심의 잔류자기 영향을 감소시켜, 수 밀리암페어 단위의 DC 미소전류도 검출하고자 한다.

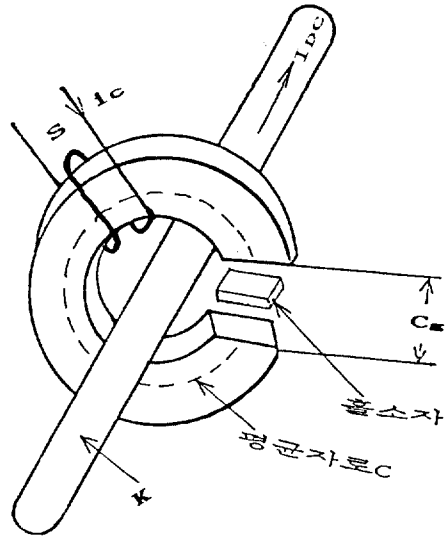
이 논문에서 자기변조의 동작은 그림 4와 같이 철심에 반송파가 흐를 S 권선을 감고, 반송파 전류  $i_c$ 를 흘려주면, 홀소자에는 이  $i_c$ 에 의한 자기가 가해지게 되어, 홀소자에서  $i_c$ 에 비례한 홀전압이 나타나게 된다.

이 때, 도체 K에 검출하려는 DC전류가 흐르면,  $i_c$ 에 의한 자기파는 DC전류에 의하여 생성된 자기에 의해 중심축이 이동되어 홀소자에 가해지므로 홀소자에서 나오는 홀전압은 DC전류에 의해 중심축이 이동된 교류자기( $I_{DC} + i_c$ )에 의한 전압값이 되므로, 도체에 흐르는 DC미소전류를 변조시킬 수 있다.

**5.1 자기변조의 도해**

그림 4에서 S권선에 흐르는 반송파전류  $i_c$ 는  $i_c = I_m \sin(\omega t)$  (14)의 교류 전류이다.

식 (12)에서 I 대신에 식 (14)의  $i_c$ 를 대입하고, 또, S권선을 N회 감았다고 하면 이 때의 자속밀도  $B_1$ 은



**그림 4** 자기변조기의 구조  
**Fig.4** Structure of magnetic modulator.

$$B_1 = \frac{N}{\frac{C}{\mu} + \frac{C_k}{\mu_0}} I_m \sin(\omega t)$$
 (15)

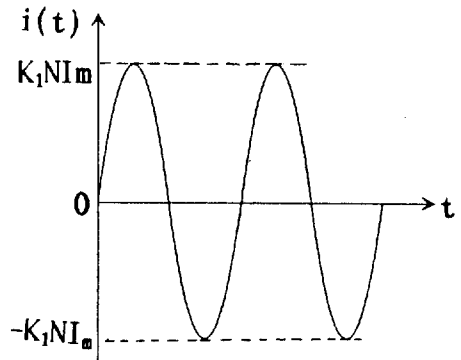
가 된다.

이 때의 파형은 변조되지 않은 파형으로 그림 5와 같이 된다.

이 때에 도체 K에 검출하려는  $I_{DC}$ 가 흐르면 철심의 자속은  $I_{DC}$ 에 의하여 변조되어 나타나게 된다.

이 때의 자속밀도를  $B_2$ 라 하면

$$B_2 = \frac{1}{\frac{C}{\mu} + \frac{C_k}{\mu_0}} [N I_m \pm I_{DC}] \sin(\omega t)$$
 (16)



**그림 5** 무변조된 반송파의 모양  
**Fig.5** Unmodulated carrier waveform.

로 표현할 수 있으므로

$$=K_s N I_m$$

$$(1 \pm \frac{I_{DC}}{N I_m}) \sin(\omega t) = K_s N I_m (1 \pm m) \sin(\omega t)$$

$$m = \frac{I_{DC}}{N I_m} \times 100 [\%] \text{ 를}$$

변조도라 하고  $N I_m < I_{DC}$ 가 되면 반송파에 의한 잔류자기의 감소작용은 되지 않는다. 그래서,  $N I_m = I_{DC}$ 가 철심의 잔류자기의 영향을 적게 받으며 검출할 수 있는 한계값이 된다.

이 곳에서 반송파의 +극성과  $I_{DC}$ 의 방향이 같을 때는 반송파의 0점축이  $I_{DC}$ 의 크기 만큼 +방향쪽으로 이동하였으므로, +방향으로 변조되어 나타나게 되고, 반송파의 -극성과  $I_{DC}$ 의 방향이 같을 때는 반송파의 0점축이  $I_{DC}$ 의 크기만큼 -방향으로 이동하여 나타나므로,  $I_{DC}$ 에 의해 -방향으로 변조되어 나타나게 된다.

그림 6(a)는 +방향으로  $I_{DC}$ 에 의해 자기변조 되었을 때를 예상한 반송파의 그림이고, 그림 6(b)는 -방향으로  $I_{DC}$ 에 의해 자기변조 되었을 때를 예상한 반송파의 그림을 나타내고 있다.

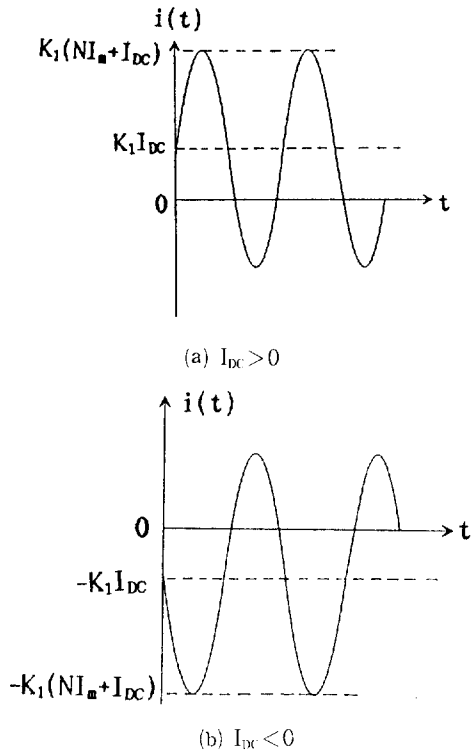


그림 6  $I_{DC}$ 에 의해 자기변조된 파형

Fig. 6 Magnetic modulated waveform by  $I_{DC}$ .

그러면, 홀소자에 가해지는 자계의 크기도 식(16)으로 표현할 수 있게 되므로, 홀소자에서 나타나는 홀전압  $V_H$ 는 식(3)의 B에 식(16)의  $B_z$ 를 대입하면

$$V_H = K_B B_z = K_B \frac{1}{\frac{C}{\mu} + \frac{C_s}{\mu_0}} [N I_m \pm I_{DC}] \sin(\omega t) \quad (17)$$

로 나타낼 수 있다.

이것을 간단히

$$V_H = K_C [N I_m \pm I_{DC}] \sin(\omega t) \quad (18)$$

$$K_C : K_B \frac{1}{\frac{C}{\mu} + \frac{C_s}{\mu_0}}$$

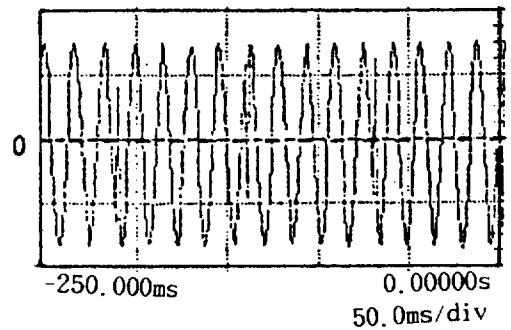
로 표시하여 본다.

이렇게 식(18)에 의해 나타난 홀전압을 연산증폭기에 의해 증폭시킨 다음 복조기에 보내지게 된다.

그림 7은 DC전류에 의해 변조되지 아니한 반송파가 홀소자에 의해 검출된 파형이다. 이 파형은 DC전류에 의하여 변조되지 않았으므로, 순수한 반송파에 의한 것으로 윗쪽과 아래쪽의 진폭의 크기가 같다.

이 때, 철심에 남아 있는 잔류자기도 이 반송파의 자기에 의해 영향력이 상당히 감소하므로, DC미소전류를 검출하기가 훨씬 쉬워진다.(공극의 간격을 줄일 수 있어서)

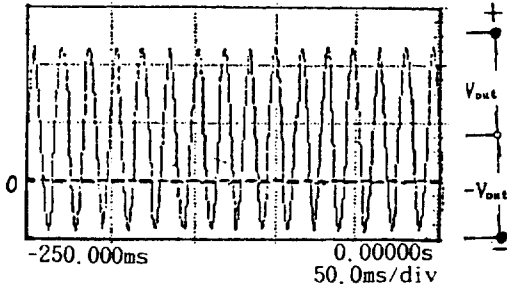
그림 8은  $I_{DC}$ 에 의해 변조된 실제의 파형이다. 이 때, 반송파의 주파수와 최대치 대 최대치(Peak to Peak)의 값은 변화가 없지만, DC전류에 의한 자기 때문에 반송파의 +극성과 DC전류에 의한 자기의 방향이 같을 때이므로, 파형의 +축의 최대치가 더욱



Channel I Sensitivity Offset Prove  
5.00 V/div 0.00000 V 1.000:1

그림 7 2000Hz의 무변조된 반송파

Fig. 7 Unmodulated carrier wave frequency of 2000 Hz.



Channel I Sensitivity Offset Prove  
5.00 V/div 0.00000 V 1.000:1

그림 8  $I_{DC}$ 에 의해 자기변조된 파형

Fig.8 Waveform magnetic modulated by  $I_{DC}$

커져서 K도체에  $I_{DC}$ 가 없어 자기변조되지 아니한 파형과  $I_{DC}$ 에 의해 자기변조된 파형과 비교하여 볼 때, 반송파의 0점의 위치가 변하여 있는 것을 알 수 있다. 이 파형을 Diode에 의해 복조시키면 +극성의 값이 나타나기 때문에, 파형의 최대값은 DC전류가 0[mA]인 무변조일 때보다는 더 커지게 된다.

### 6. 복 조

외변조파로부터 원래의 신호를 재생하는 과정을 복조(demodulation) 또는 검파(detection)라고 한다.

복조방식이 좋지 않으면 직선성이 안되고, 또 검출된 신호와 오차도 크게된다.

그래서, 이 연구에서는 자기변조된 반송파를 복조하는데 구조가 간단하고, 반도체 소자중에서 거의 직선동작영역이 큰 Diode를 이용한 복조방식을 택하기로 하였다.

#### 6.1 복조신호의 검출

복조기의 출력 단자중  $+V_{out}$  일때만 고려해 보면  
 $r_f$  : Diode와 신호원의 내부저항

$m$  : 변조도

$$i_b = \frac{E_c(1+m)}{2\pi(r_f+R)} \int_0^\pi \text{Sin}(\omega t) d(\omega t)$$

$$= \frac{E_c(1+m)}{\pi(r_f+R)} \quad (19)$$

복조된 출력 전압  $+V_{out}$ 는,

$$V_{out} = i_b R = \frac{R E_c}{\pi(r_f+R)} (1+m) \quad (20)$$

로 된다.

그림 9는 복조회로를 나타내고 있다.

$D_1, D_2$ 의 Diode에서  $D_1$ 은 반송파의 +극성과  $I_{DC}$ 의

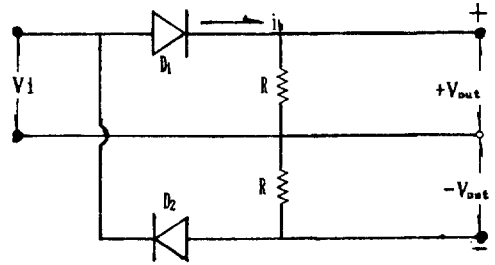


그림 9 복조회로

Fig.9 Demodulation Circuit.

극성이 합하여 졌을 때, 즉 그림 6(a)의 파형일 때 복조하고,  $D_2$ 는 반송파의 -극성과  $I_{DC}$ 의 극성이 합하여 졌을 때, 즉 6(b)의 파형일 때 복조한다. 이 논문에서는  $D_1$ 에 의한 복조 실험으로 통일한다.

$V_i$ 는 변조된 반송파의 전압이고  $V_{out}$ 는 Diode D에 의해서 복조된 출력 전압을 표시한다. 이 때, 복조기의 출력전압  $V_{out}$ 은 반송파의 진폭이 크면 클수록 진폭에 비례하여 커지게 되고, 반송파의 진폭이 작아지면 작아질수록 진폭에 비례하여 작아지게 된다. 이렇게 DC전류에 변조되어 홀전압으로 나타난 신호의 최대치를 검출하면, DC자기에 변조되었을 때와 변조되지 않았을 때의 차이가 나타나고, 또 DC자기의 크기에 따라 교류자기의 중심축이 비례하여 이동하므로, 이 자기에 의해서 나타난 홀전압의 모양도 변조된 교류자기의 모양과 크기가 같게 된다. 이 변조된 신호를 복조기에서 복조하면  $V_{out}$ 의 모양이 반파정류한 것과 같은 파형이 되어, DC전류의 크기에 따라 자기의 크기가 변화된 양이 그대로 비례하여 나타나게 되므로 DC전류를 검출할 수 있다. 또 반송파 전류에 의한 자기의 철심에 남아 있는 잔류 자기의 영향을 감소, 또는 제거시키는 역할도 할 수 있다.

그림 10은 복조기 출력  $V_{out}$ 의 파형을 예상한 그림으로 이 때는 무변조시의 파형이다.

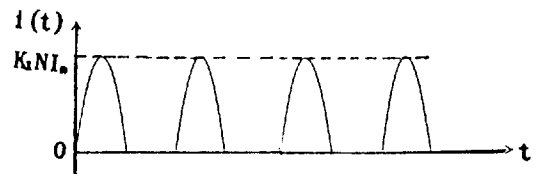
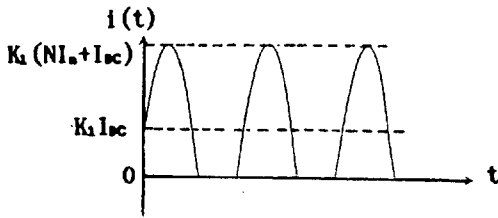
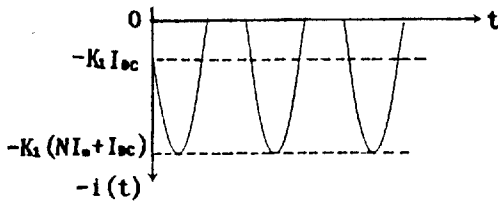


그림 10 무변조시의 복조파형

Fig.10 Demodulation waveform of unmodulated



**그림 11**  $-I_{DC}$ 에 의한 자기변조파의 복조파형  
**Fig.11** Demodulation waveform of magnetic modulated by  $-I_{DC}$ .



**그림 12**  $-I_{DC}$ 에 의한 자기변조파의 복조파형  
**Fig.12** Demodulation waveform of magnetic modulated by  $-I_{DC}$ .

그림 11은 DC전류에 의해서 변조된 [그림6(a)]반송파를 복조했을 때 나와야 할 복조기 +Vout 단자의 출력전압 파형이다.

이 때는 DC전류에 의해서 변조되었던 파형이므로, 무변조시의 전압보다 +쪽으로 더높다.

그림 12는 그림 11에 비해  $I_{DC}$ 가 반대 방향일 때 변조된 [그림6(b)]반송파를 복조한  $-V_{out}$  단자의 출력전압 파형으로 전압의 극성은 반대 방향으로 나타난다.

**7. 자기변조의 실험 결과 및 고찰**

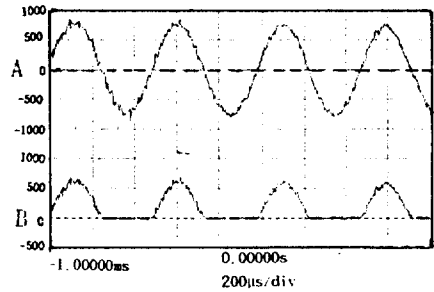
실험에 사용한 철심재료는 구조강판과 웨라이트 철심에서 특성이 다른 몇개의 종류를 이용하였으나, 모두 반송파에  $I_{DC}$ 를 변조시키는 동작에는 차이가 없었다.

그림 4의 S권선에 공급하는 반송파전류  $i_c$ 는 2000Hz의 교류로 파형은 정현파, 삼각파, 구형파를 사용하여 실험을 하였을 때, 복조된 파형의 최대치는 같았으나, 삼각파와 구형파는 불필요한 고조파를 발

생시켜 전자회로에 잡음을 유도시킬 우려가 있어, 반송파로는 정현파를 사용하였다.

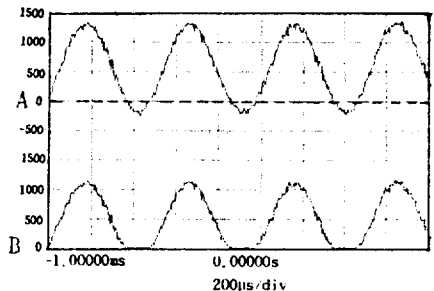
그림 13의 A그림은 무변조시 반송파의 모양으로, 그림 7의 파형을 수평축으로 확대시킨 그림이고, B 그림은 A그림을 복조한 파형이다.

그림 14의 A그림은 그림 8의 파형을 수평축으로 확대시킨 것으로  $I_{DC}$ 에 의해서 변조되어 있으므로, 중심축이 아래로 내려와 있어 변조파형의 +쪽 최대값이 변조가 안 되었을 때보다 더 커진 것을 알 수 있다. 이 값은 피출정도체에 흐르는  $I_{DC}$ 에 의해서 변조가 되었으므로,  $I_{DC}$ 의 크기에 비례하여 변조파의 +



A : 무변조된 반송파      B : 복조된 파형  
 A : Unmodulated carrier waveform.  
 B : Demodulated waveform.

**그림 13** 정현파  
**Fig.13** Sinewave.



A :  $I_{DC}$ 에 의해 자기변조된 파형      B : 복조된 파형  
 A : Waveform magnetic Modulated by  $I_{DC}$ .  
 B : Demodulated waveform.

**그림 14** 정현파  
**Fig.14** Sinewave.

극성쪽으로 더 커지게 된다. B그림은 A그림의 파형을 복조한 파형으로, 변조되지 않은 반송파를 나타내고 있다. 그림 13과, 14에서 A파형보다 B파형의 최대치가 약간 낮은 것을 볼 수 있는데, 이것은 Demodulation의 Diode에서 0.2[V]의 순방향 전압강하가 있기 때문이다. 그림 15는 자기변조에 의하여 검출된 출력전압과 도체전류의 관계를 나타낸 그림이다. 가로축의 수치는 피측정 도체에 흐르는 DC전류의 값이고, 세로축의 수치는 검출기 출력단의 전압이다. 피측정 도체의 전류가 0[mA]인 데도 검출기의 출력전압이 0[V]가 되지 않는 것은 비교기를 0[V]에 맞추어 놓으면, 어떤 원인에 의해 비교기의 입력 전압이 기준전압(Rdf.Voltage)보다 낮아졌을 때, 피측정도체에 미약한 전류가 흘러도 출력단자(OUTPUT)에 나오지 않을 우려가 있어서, 검출기의 동작 상태를 확인하기 위해서 0[V]에 맞추지 않았다.

그림에서 알 수 있는 것 같이 잔류자기의 영향이 많이 감소되어 있으며, 검출된 전압도 피측정 도체의 전류에 비례하여 직선적으로 변하는 것을 알 수 있으며, 잔류자기의 영향이 감소되고, 출력전압도 안정되어 있음을 알 수 있으며, 검출된 전압의 수치도 계산값과 거의 같은 값이 되었다.

그림 16은 피측정도체의 전류를 0~10[mA]까지 변화시키면서 측정한 값이다. 즉, 그림 15의 0~10[mA]까지의 범위를 확대한 그림이다. 이 때는 잡음과 드리프트의 영향이 있기 때문에 정확한 값을 검출하기는 어려웠다.

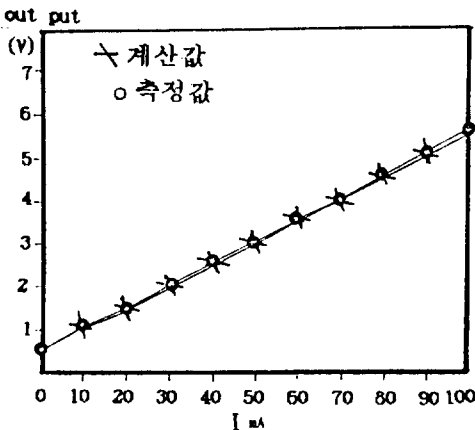


그림 15 DC전류 대 검출기 출력 전압  
Fig.15 DC Current vs. output voltage of current sensor.

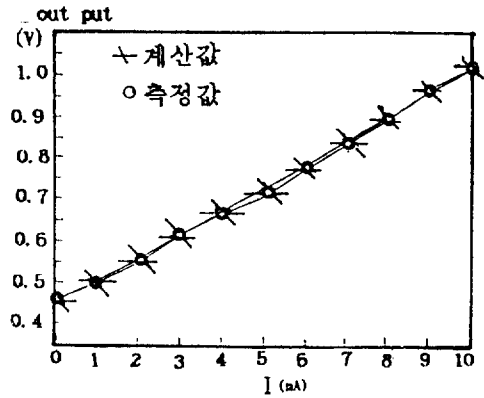


그림 16 DC미소전류대 검출기 출력전압  
Fig.16 Tiny DC current vs. out put voltage of current sensor

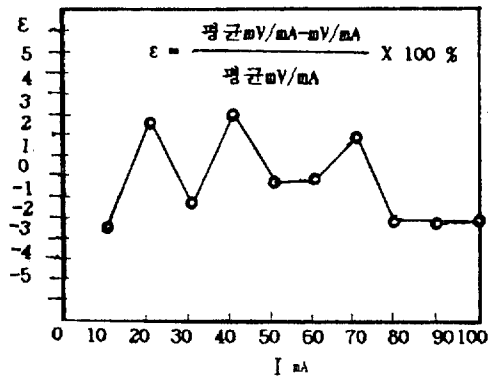


그림 17 직선성 오차 곡선  
Fig.17 Linearity tolerance graph

그림 17은 직선성 오차의 곡선으로 도체의 전류를 0[mA]에서 100[mA]까지 변화시켜가면서 측정한 값이다. 직선성 오차의 크기가 최대 2.8퍼센트에서 최소 0.2퍼센트까지 접근하여, 적은 전류에서는 오차가 컸으나, 전류가 증가하면서 오차가 줄어들고, 검출전압도 안정되고 있음을 알 수 있다.

그림 18은 자기변조를 이용한 전류검출기의 감도 곡선이다. 기존의 방법에서는 감도가 0.12[mV/mA]이기 때문에, 미약한 DC전류, 즉 10[mA]미만의 전류는 잡음의 신호가 너무 커서 검출하기가 어려웠다. 그러나, 본 연구에서 실험된 자기변조를 이용한 검출기는 감도가 50[mV/mA]로 감도가 상당히



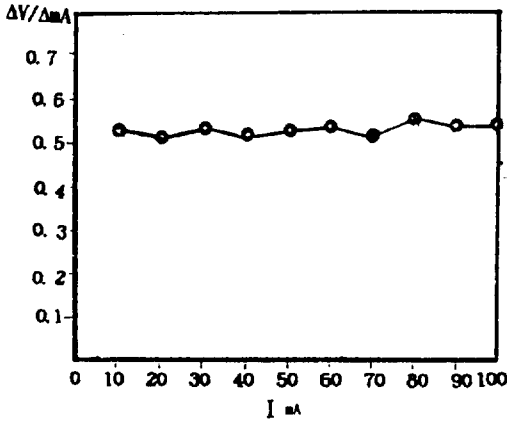


그림 18 감도곡선  
Fig.18 Sensitivity graph

향상되었으므로, 10[mA]미만의 미약한 도체전류도 검출이 잘 되었다.

### 8. 결 론

이 논문에서는 자기변조에 의하여 DC전류 검출기의 감도 개선 문제를 실험적 고찰을 통하여 연구하였다.

피측정 도체의 전류에 의하여 나타나는 자기를 반송파 자기에 변조시킨후 검출하므로 철심내 잔류자기의 영향을 줄일 수 있었다.

이 때, 홀소자에서는 이에 비례하는 홀전압이 나타나므로 종래의 방법에서는 0.12[mV/mA]인 감도를 50[mV/mA]까지 높여 수 밀리암페어 단위의 전류와 미소전류의 변화를 검출 할 수 있었다. 이 때 피측정 도체와 검출기 간에는 전기적으로 분리시킬 수 있어 절연문제를 해결할 수 있었고, 피측정 도체의 전류를 보다 안정되게 검출할 수 있었다. 또한 직선성 오차를 3퍼센트 이내로 줄일 수 있었으며, 검출 전압도 피측정도체의 전류에 비례하여 직선적으로 변화되었다. 이 검출기를 응용할 수 있는 분야를 생각하여 보면 전자장치의 과전류검출 및 회로의 전류 검출, 불평형전류 검출, 비교기의 오차전류 검출 등, DC전류를 검출하는데 다양하게 이용할 수 있을 것

로 예상된다. 앞으로, 홀소자와 전자회로의 잡음에 대한 분석과, 잡음 경감 대책 및 드리프트의 경감대책에 관하여는 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Thoro Hara, "Highly Linear GaAs Hall Devices Fabricated by Ion Implation", IEEE Trans Electron Dev, Vol.Ed-29, No.1, pp. 78-82, 1982.
- [2] Arokia Nathan, "The Hall Effect in Intergrated Magnetotransistors", IEEE Trans Electron Dev, Vol.36, No.1, pp. 108-117, 1989.
- [3] Steven W Smith, "Low-noise Hall prove pre-amplifier," Rev. Sci,Inst.,pp. 1440-1441, 1986.
- [4] Saburo Takamiya, "Differential Amplification Magnetic Sensor", IEEE Trans Electron Devices, Vol.ED-19, NO.10, pp. 1085-1090, 1972.
- [5] 김한성, 이 환, "교·직류의 전류 검출기에 관한 연구", 전력전자 연구회 학술연구 발표회 제14회, pp. 109-112, 1993. 5.
- [6] Paul Galluzzi, "Current monitor uses Hall sensor", Design Ideas, pp. 205, 1987.
- [7] D.Wedlake, "Hall-effect magneic field detection", Wireless World, pp. 85-86, 1979.
- [8] R.S.Popovic, "A New Carrier-Domain Magnetometer" Sensors and Actuators, No.4, pp. 229-230, 1983.
- [9] T.G.Mkleninpenning, "Design of an A,C. Micro-Gauss Sensor", Sensors and Actuators, No.4, pp. 3-9, 1983.
- [10] Alarn M.Ferendeci, "Hall probe for mesuring high currents in superconduction coils", american Sci.Inst., pp. 1163-1164, 1936.
- [11] 김한성, 이 환, "DC전류 검출기의 감도 개선을 위한 자체변조," 1993년도 하계학술대회 논문집(B), pp. 791-793, 1993.