

Digital Sample and Hold 증폭기를 사용한 드리프트 자체 보상형 자속계의 제작

가은미 · 손대락*

한남대학교 광·전자 물리학과, 대전광역시 대덕구 오정동 133, 306-791

(2005년 12월 3일 받음, 2005년 12월 20일 최종수정본 받음)

자속계의 경우 입력전압을 적분하여야 되기 때문에 연산증폭기의 입력 바이어스 전류가 있으면 적분기의 출력이 드리프트하게 된다. 본 연구에서는 이 드리프트를 자동으로 측정하고 보상하기 위하여 전압변동이 없는 디지털 sample and hold 증폭기를 자속계에 도입하여 제작하였다. 개발한 자속계의 경우 적분기의 시간상수 $RC=10^{-3}$ s에서 드리프트가 5×10^{-8} Wb/s 이하였다.

주제어 : 적분기, 전자 적분기, 자속계, 입력 바이어스 전류, 드리프트, 드리프트 전압

I. 서 론

연산증폭기를 사용하는 Miller형 전자 적분기 원리의 자속계인 경우에는 연산증폭기의 입력 바이어스 전류에 의하여 자속계의 입력 전압이 없어도 출력 전압이 드리프트하게 된다 [1, 2]. 이를 보상하기 위하여 수동으로나 Sample and Hold (S/H) 증폭기로 입력 바이어스 전류를 측정하여 보상하는 방법을 택하고 있다. S/H 증폭기를 사용할 경우 드리프트를 자체적으로 자동으로 보상할 수는 있으나 [3, 4] S/H 증폭기 자체의 드리프트 때문에 자속계의 드리프트가 발생하게 된다. 본 연구에서는 ADC(Analog to Digital Converter)와 DAC(Digital to Analog Converter)를 사용하여 드리프트가 없는 디지털 S/H 증폭기를 구성하여 드리프트 자체 보상형 자속계를 구성하고 그 특성을 조사하였다.

II. 자속계의 원리

연산증폭기를 사용한 Miller형 전자적분기의 원리는 Fig. 1과 같다. 이상적인 연산증폭기의 경우 입력 전압 $V_i(t)$ 와 출력 전압 $V_o(t)$ 의 관계는

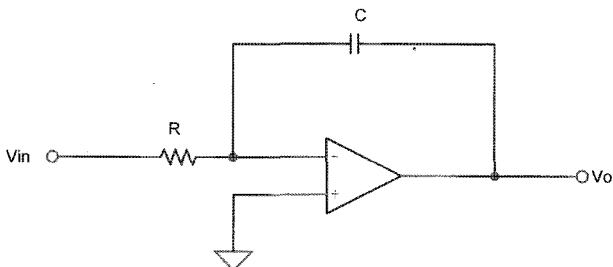


Fig. 1. Principle of the Miller type integrator.

$$V_o(t) = -\frac{1}{RC} \int V_i(t) dt \quad (1)$$

과 같으며 여기서 RC는 적분기의 시간 상수이다.

그러나 실제 연산증폭기는 입력 바이어스 전류를 i_b 가 존재하게 되며, 이 입력 바이어스 전류가 다음과 같이 적분되어 적분기의 출력 $V_o(t)$ 이 변화하게 되는데 이를 적분기의 드리프트라 한다.

$$V_o(t) = -\frac{1}{C} \int i_b dt \quad (2)$$

이 드리프트에 의한 전자 적분기의 측정오차를 줄이기 위해서는 입력 바이어스 전류 i_b 가 매우 작은 연산 증폭기를 선택하여야 되고 또한 이를 보상하여 가능한 전자 적분기의 드리프트를 줄여야 한다.

본 연구에서 개발하고자 하는 자속계의 경우 핵융합 연구(KSTAR)에서와 같이 수백채널이 동시에 사용되는 경우 연산 증폭기의 입력 바이어스 전류를 수동으로 보상하는 것은 불가능하기 때문에 자동으로 보상하여야 한다. 이를 위하여 전자적분기를 Fig. 2와 같이 구성하였다. 입력 바이어스 전류를 측정하기 위하여 S/W를 S_2 를 위치에 하고 S_1 과 S_4 는 개방하고 S_3 는 공통 접지하여 저항 R_g 를 이용하여 출력전압 V_g 를 측정하면 입력 바이어스 전류를 알 수 있게 된다.

$$V_o = -i_b \cdot R_g \quad (3)$$

이 전압을 S/H 증폭기에 입력하여 저항 R_c 를 통하여 연산증폭기에 입력하게 되면 연산증폭기에 흘려주는 입력 전류 즉 입력 바이어스 전류에 대한 보상전류 i_c 는 다음과 같다.

$$i_c = -\frac{R_g}{R_c} i_b \quad (4)$$

여기서 R_g 와 R_c 가 같게 되면 $i_c = -i_b$ 이기 때문에 연산증폭기의

*Tel: (042) 629-7512, E-mail: Deracson@mail.hannam.ac.kr

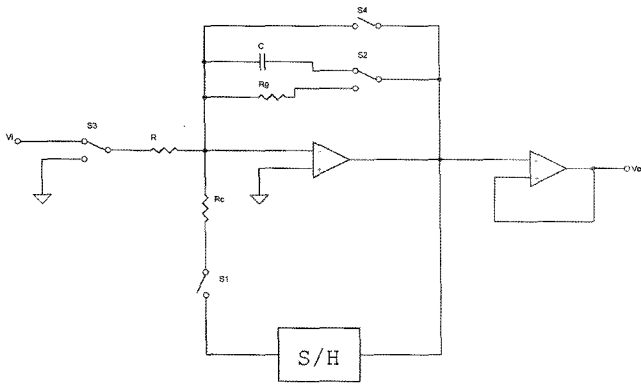


Fig. 2. Circuit diagram of the drift self-compensating type flux-meter using sample and hold amplifier.

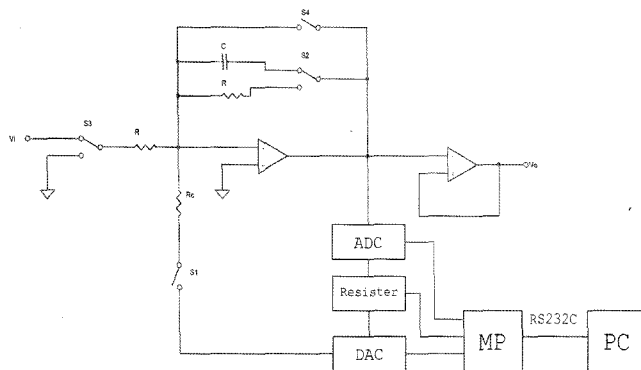


Fig. 3. Schematic diagram of the drift self-compensating type flux-meter using ADC and DAC.

입력바이어스 전류를 보상시킬 수 있다.

기존의 S/H 증폭기는 연산증폭기와 캐패시터를 사용 입력 전압을 캐패시터에 전하로 대전시키는 방법을 사용하고 있기 때문에 시간이 경과함에 따라 S/H 증폭기 출력 전압이 변하게 된다. 결과적으로 적분기의 특성 향상에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 기존의 아날로그 방식의 S/H 증폭기를 ADC와 DAC를 사용하여 연산증폭기의 입력 바이어스 전류를 피드백 저항 R_f 를 이용하여 전압으로 변환하고, 이를 ADC를 사용하여 디지털 값으로 변환시킨 다음 이 값을 레지스터에 저장한 후 DAC를 이용하여 아날로그 전압을 출력함으로써 전압변화가 0인 디지털 방식의 S/H 증폭기를 전자적분기에 도입하였다.

III. 지속계의 제작 및 특성측정

앞에서 기술한 디지털 방식의 S/H 증폭기를 사용한 전자적분기를 제작하기 위하여 ADC와 DAC는 레지스터가 내장된 16bit을 사용하였다. Fig. 4는 제작된 디지털 S/H 증폭기를 사용한 드리프트 자체 보상형 적분기의 사진으로 PCB의

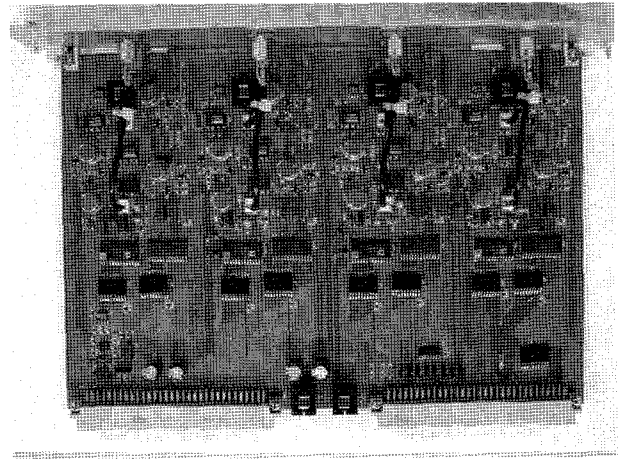


Fig. 4. Photograph of the 4-channel integrator board.

크기는 200 mm×160 mm로 6 U의 크기를 사용하였고 4개의 채널을 한 PCB에 넣어서 제작하였다. 적분기의 구동을 위한 기능인 입력 바이어스 전류의 측정, 입력 바이어스 전류의 보상, 적분기의 reset 및 적분기능이 되게 스위치를 구동시키고 ADC의 입력을 DAC에 출력하고 또한 적분된 값을 ADC를 통하여 컴퓨터로 가져오는 기능을 수행하기 위하여 8bit 마이크로컨트롤러(89C51)를 사용하였다. PC와의 데이터 통신은 RS-232C로 할 수 있게 마이크로컨트롤러를 어셈블리 언어로 프로그램 하였다. Baud rate는 38400 bps로 설정하였다. 통신 프로토콜은 다음과 같이 정하였다. 우선 PR(Power on Reset)은 처음 전원을 켰을 때 상태로 만들어 주며, S_3 은 접지에 연결되고 적분기는 reset상태가 된다. OM(Offset Measurement)은 연산증폭기의 오프셋 드리프트 전압을 측정하는 단계이며, S_2 가 R_f 에 연결되어 오프셋 드리프트 전압을 수천 배 증폭시켜 ADC로 측정하게 한다. CM(CoMensation)은 OM 상태에서 ADC로 측정한 값을 DAC로 출력시켜주고 S_1 을 연결하여 입력 바이어스 전류를 보상해 주는 단계이다. RS(ReSet)는 S_4 를 연결하여 캐패시터에 있는 전하를 방전시켜서 드리프트 전압을 측정하기 위한 준비 단계로 만들어 준다. MS(MeaSurement)는 S_4 를 단락시켜서 적분 하도록 하는 단계이다. 한편 AD(Analog to Digital conversion)는 적분된 디지털 값을 ASCII 데이터 형식으로 컴퓨터로 가져오는 명령어이다. Fig. 5는 제작된 적분기 제어용 컨트롤러 보드의 사진이다.

한편 PC를 사용하여 개발된 적분기를 제어하기 위하여 Agilent사의 VEE 윈도우 응용프로그램을 사용하여 개발하였으며, Fig. 6과 같다. 측정방법은 manual 측정 모드와 automatic 측정 모드 의 두 가지로 나뉜다. 우선 manual 측정 모드에서는 적분기의 입력 바이어스 전류를 ADC로 읽어들이는 첫 단계로 "Offset Meas." 버튼을, ADC에서 측정하

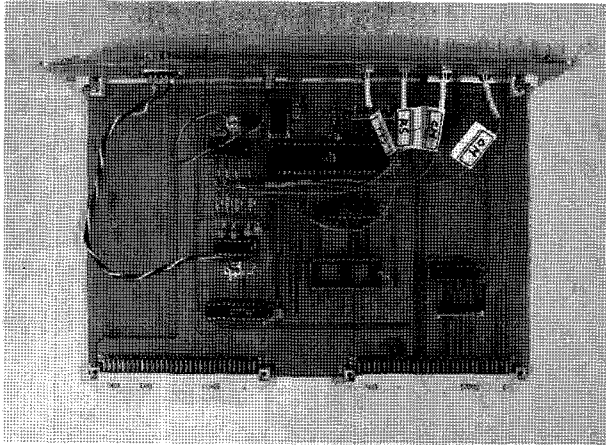


Fig. 5. Photograph of the integrator controller board.

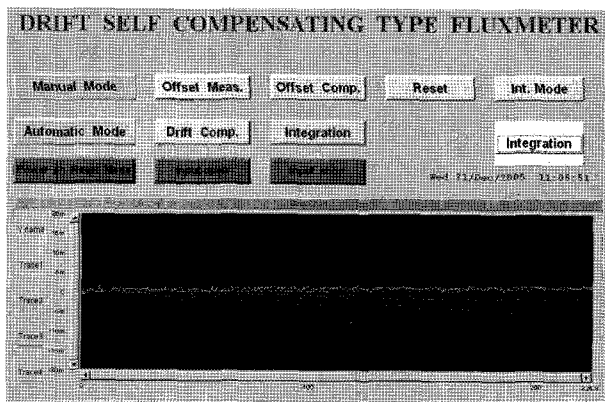


Fig. 6. Developed flux-meter controlling software using VEE.

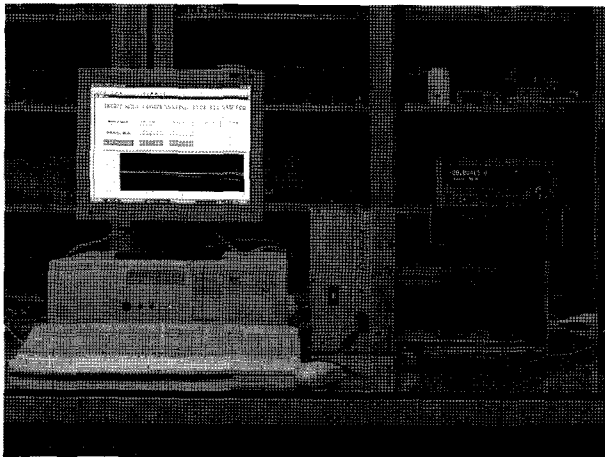


Fig. 7. Photograph of the developed microprocessor controlled drift self-compensating type flux-meter and PC including controlling software.

값을 DAC로 내보내서 드리프트를 보상해주는 두 번째 단계는 "Offset Comp." 버튼을, 그리고 "Reset", 및 드리프트 보상을 해준 후의 적분하기 직전의 단계는 "Int. Mode" 버튼을

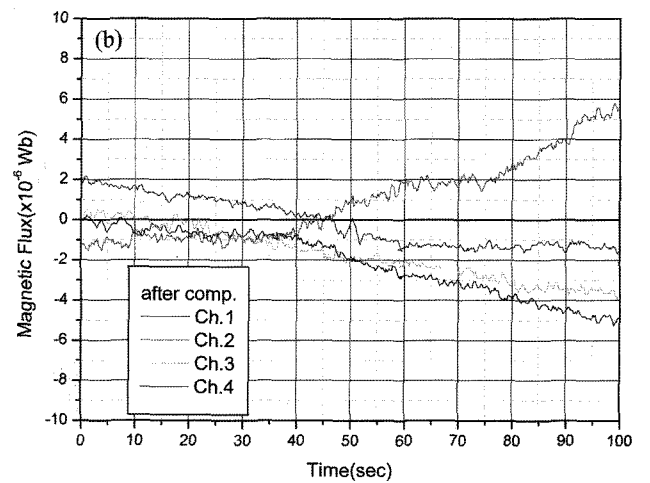
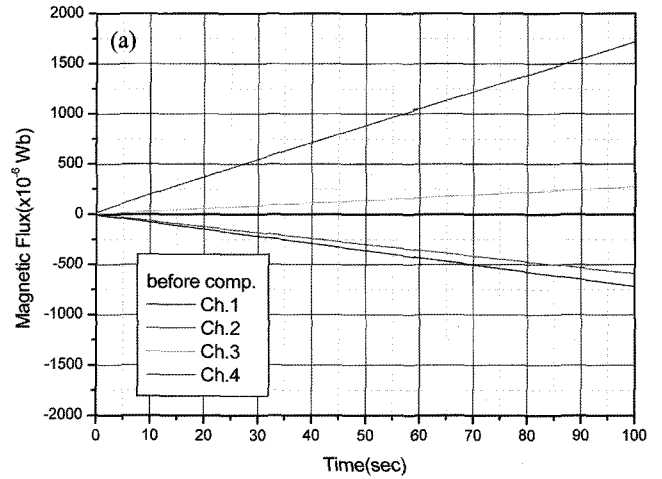


Fig. 8. Output drift depending on the time; (a) before drift compensation and (b) after drift compensation.

마우스로 클릭하여 설정하여 주고, "Integration(적분 모드)" 선택하였을 경우에는 적분기의 출력 값이 컴퓨터 화면에 strip chart 형태로 표시되도록 하였으며, 동시에 엑셀 창에 측정 데이터가 들어와 수치적 확인을 할 수 있게 하였고, 또한 측정 데이터를 저장 할 수 있게 하였다. automatic 측정 모드에서는 "Drift Comp." 버튼을 마우스로 클릭하면 manual 측정 모드에서의 "Offset Meas.", "Offset Comp.", "Reset"의 세단계의 과정을 순차적으로 실행하여 주도록 하였고 "Integration" 버튼의 기능은 manual 측정 모드에서와 동일한 기능을 수행하도록 프로그램 하였다. Fig. 7은 4채널 적분기와 적분기 컨트롤러 및 컨트롤 S/W를 포함한 측정시스템의 사진이다.

개발된 디지털 S/H 증폭기를 사용한 드리프트 자체 보상형 적분기의 드리프트를 확인하기 위하여 적분기의 시간상수를 10^{-3} s로 $R=1\text{ k}\Omega$ 및 $C=1.0\text{ }\mu\text{F}$ 을 사용하였다. 적분기의 입력 바이어스 전류를 보상하기 전과 보상해준 후 적분기의 출력을 측정하였으며, 그 결과는 각각 Fig. 8(a)와 Fig. 8(b)와

같다. 100초 동안의 적분시간 동안 적분기의 드리프트는 입력 바이어스 전류를 보상하기 전의 데이터 보다 보상해준 후의 데이터가 약 100배 이상 개선됨을 확인 할 수 있었다. Fig. 8(b)의 그래프를 통해서 단위시간당 적분기의 드리프트가 5×10^{-8} Wb/s 이하인 디지털 S/H 증폭기를 사용한 드리프트 자체 보상형 적분기를 제작하였음을 알 수 있었다.

IV. 결 론

연산증폭기를 사용한 Miller형 자속계인 경우 연산증폭기의 입력바이어스 전류에 의하여 자속계의 출력이 드리프트 하는데 이를 자동으로 보상하기 위하여 sample and hold 증폭기를 사용하여 입력 바이어스 전류를 측정하고 보상하는 방법을 택하였다. 아날로그 sample and hold 증폭기의 경우 증폭기 자체의 전압 변동에 의하여 자속계의 출력이 드리프트하게 되어 성능 향상에 한계가 있었다. 본 연구에서는 전압변동이 없는 디지털 sample and hold 증폭기를 사용하여 자속

계의 입력 바이어스 전류를 보상하는 자속계를 개발하였으며, 개발제작한 자속계의 경우 시간상수 $RC=10^{-3}$ s일 경우 드리프트가 5×10^{-8} Wb/s 이하였다.

감사의 글

본 연구는 기초과학지원연구원의 한빛 이용자 육성 프로그램 연구비로 일부 지원 되었음.

참고문헌

- [1] E. T. Strait et al., Rev. Sci. Instrum. **68**(1), 381(1997).
- [2] K. Kurihara and Y. Kawamata, 17th IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering, San Diego California(1997).
- [3] S. G. Lee et al., Fusion Technology, Elsevier Science B.V. pp. 861-864(1996).
- [4] D. Son, E. M. Ga, J. B. Bak, and S. G. Lee, **8**(4), 160-163(2003).

Drift Self-compensating Type Flux-meter Using Digital Sample and Hold Amplifier

Eunmie Ka and Derac Son*

Dept. Physics, Hannam University, Ojung-dong133 Daeduk-gu, Daejeon 306-791, Korea

(Received 3 December 2005, in final form 20 December 2005)

Output voltage of the flux-meter has always drift due to the input bias current of non-ideal operational amplifier. In this study we have employed a digital sample and hold amplifier which has no voltage drop to compensate drift of the flux-meter automatically. The drift of the developed flux-meter was smaller than 5×10^{-8} Wb/s for the integration time constant of $RC=10^{-3}$ s.

Key words : integrator, electronic integrator, fluxmeter, input bias current, drift