

## 스퀴드 센서 이몰레이터 회로

안창범, 박호중, 오승준  
 광운대학교 VIA 멀티미디어센터

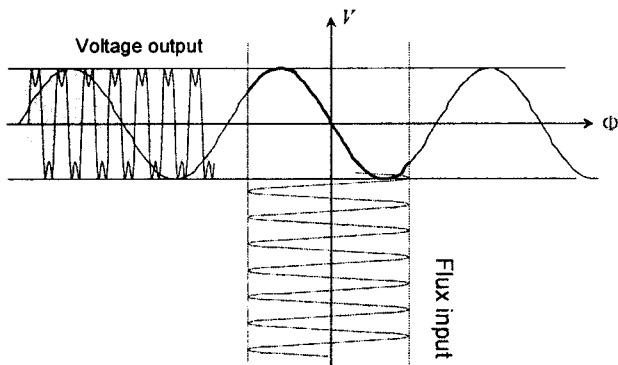
### Emulator Circuit for SQUID Sensor

Chang-Beom Ahn, Hochong Park, Seung-Jun Oh  
 VIA-Multimedia Center, Kwangwoon University

**Abstract** - FLL 회로는 측정된 신호를 voltage to current converter를 거쳐 feedback coil에 인가함으로써 외부 자장을 상쇄하여 SQUID의 동작점을 원점으로 회귀시켜 선형 구간을 유지하도록 하는 역할을 한다. FLL회로의 동작 범위와 특성을 분석하기 위해서는 일반적인 time-delayed feedback 회로와 사용된 OP amp의 slew rate, filter 의 amplitude 및 위상 특성, SQUID의 critical current, pickup coil 및 SQUID의 inductance 등 다양한 파라미터를 고려하여야 한다. 이러한 SQUID 회로의 복잡한 특성을 SQUID 에뮬레이터를 사용함으로써 FLL 회로를 손쉽게 설계할 수 있고, 또한 회로의 최적화도 쉽게 이룰 수 있다. 또한 초전도에서 동작하는 SQUID 나 자기 차폐실이 없어도 FLL 회로 등을 개발할 수 있기 때문에 생체자기시스템의 개발 초기 단계에 널리 활용될 수 있다. 따라서 이 논문의 목적은 FLL을 포함한 SQUID 제어 회로를 SQUID 센서와 분리하기 위한 방법을 제안하는 것으로 자기적으로 coupling되어 있는 feedback 회로를 회로적으로 addition을 수행하게 함으로써 SQUID와 분리하여 회로의 동작 및 특성을 측정할 수 있다.

#### 1. 서 론

심자도 신호는 심장의 운동과 관련하여 발생하는 자계 신호이다. 심자도 신호의 크기는 pico Tesla 정도로 매우 작기 때문에 보통 초전도양자간섭소자(Superconducting QUantum Interference Device:SQUID)를 이용하여 측정한다. SQUID는 측정하고자 하는 자속을 전압으로 변환해주는 일종의 transducer 인데, SQUID 의 자속에 대한 전압 변환 특성이 그림 1에서 보인바와 같이 선형적이지 않고, sine 함수적인 특성을 갖기 때문에 아주 작은 영역에서만 입력자장에 비례하는 출력 전압 특성을 보인다. 예를 들면 측정하고자 하는 자장이 큰 경우, 출력 전압은 입력 자장과 다른 왜곡이 발생한다. SQUID 의 한정된 선형 범위를 극복하기 위하여 보통 flux locked loop (FLL) 이라는 feedback 회로를 사용한다. FLL 회로는 측정된 신호의 극성을 반전시킨 후 전류로 변환하여 SQUID 인근의 feedback coil에 인가함으로써 SQUID 센서가 느끼는 자장을 거의 0 으로 만들어 선형 구간을 벗어나지 않도록 한다. SQUID 에뮬레이터는 외부 자장과 feedback coil의 자기적 결합을 전자회로를 통하여 에뮬레이션함으로써 FLL 회로를 손쉽게 설계할 수 있다. 따라서 초전도에서 동작하는 SQUID 나 자기 차폐실이 없어도 FLL 회로 등을 개발할 수 있기 때문에 생체자기시스템의 개발 초기 단계에 활용도가 높을 것으로 기대된다.

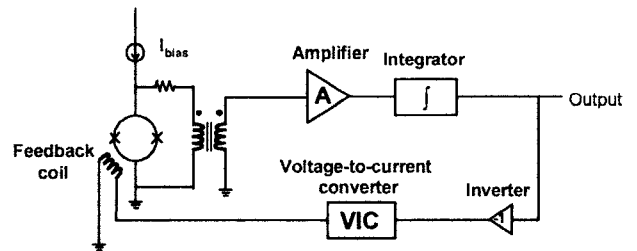


<그림 1> 입력 자장이 SQUID 센서의 선형 구간을 벗어 났을때 생기는 출력 전압의 왜곡

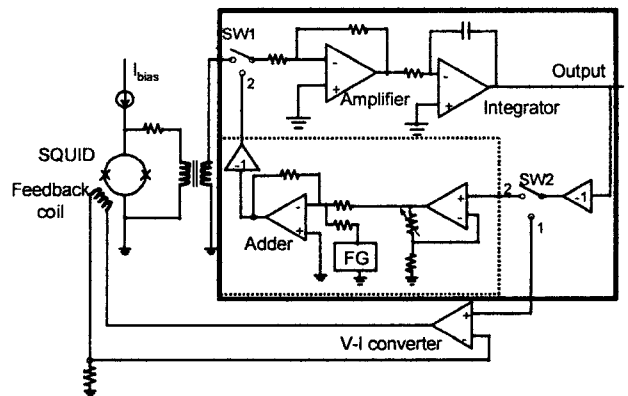
#### 2. 본 론

그림2는 FLL의 간단한 블록도이다. SQUID에 의하여 수신된 신호는 증폭기와 적분기를 거쳐 출력이 되며, 이 신호는 다시 반전되어 전압-전류 변환기를 거쳐 케환 코일에feedback 된다. 케환 코일에 의하여 만들어진 역 자장은 원래의 자장을 상쇄함으로써 SQUID 가 느끼는 자장은 영(zero)이 되며, SQUID의 출력도 영이 된다. 그러나 FLL 의 출력은 적분기를 통과하기 때문에 과거의 출력이 누적되어 있어 현재 의 SQUID 출력이 영이어도 원래의 자장에 비례하는 출력을 얻을 수 있다. 따라서 SQUID에 가해지는자장은 변화될 때를 제외하고는 거의영에 가깝기 때문에 선형 범위를 유지할 수 있다.

제안된 FLL 에뮬레이션 회로의 블록도를 그림3에 보였다. 그림 3의 회로도에서 SW1과 SW2의 스위치로 실제 측정 모드와 에뮬레이션모드를 선택할 수 있도록 하였다. 위치를 1에 놓으면 SQUID 센서와 연결되어 정상 시스템으로 동작하며, 스위치 SW1과 SW2의 위치를 2에 놓으면 emulator 모드로 동작하게 된다. 스위치를 1에 놓았을 때 bias 전류가 SQUID 센서에 인가되면, SQUID 센서는 외부 자계를 측정하게 되고, SQUID 센서의 출력은 전단증폭기에서 증폭된 후, 적분기를 거쳐 FLL의 출력이 된다. 이 출력 파형은 다시 반전증폭기와 전압-전류 변환기를 거쳐서 케환 코일에 가해지면 측정된 자계를 상쇄시키는 자계를 발생하게 된다. 스위치를 2에 놓았을 때는 SQUID 센서 대신에 파형 발생기(FG)가 미세한 전압을 발생하게 된다. 가산기는 외부자장과 케환 자장의 자기적 커플링을 대신하여 입력 파형과 케환된 신호를 합치는 역할을 한다.



<그림 2> FLL 블록도

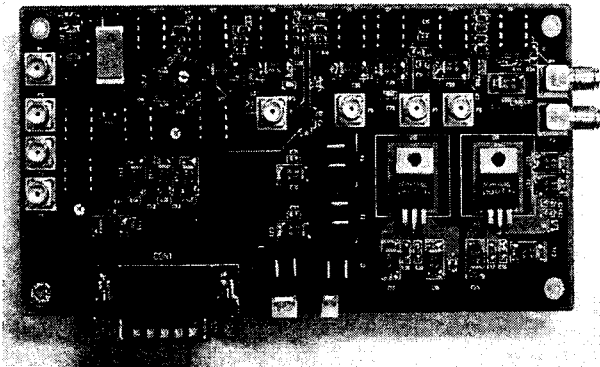


<그림 3> FLL 에뮬레이터

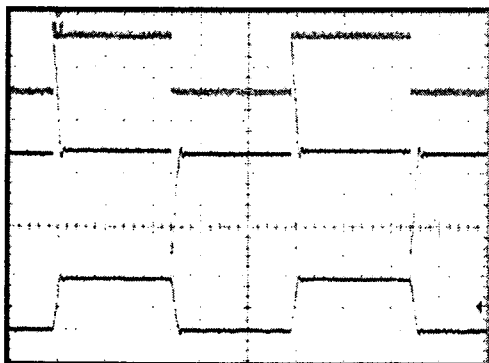
그림 4는 개발된 에뮬레이터 기능을 포함한 FLL 보드이다. 이 회로로 측정된 실험 결과를 그림 5와 6에 나타내었다. 그림 5는 에뮬레이션 모드에서 측정된 파형으로 입력 파형으로 사각파를 사용하였다. 그림 5에서 상단 파형은 입력으로 사용한 함수발생기 파형이고, 가운데 파형은 adder의 출력 파형으로 급격히 변화하는 부분을 제외하고는 feedback에 의하여 거의 0이 되는 것을 알 수 있다. 하단 파형은 integrator 출력 파형으로 (SQUID 센서 output) 입력 파형과 동일한 파형이 얻어짐을 알 수 있다. 그림 6은 실제 모드에서 측정된 파형으로, 실험을 위하여 loop coil에 사각파의 전류를 흘려 자장을 발생시켰다. 그림 6에서 상단 파형은 integrator 입력파형으로 외부 자장과 feedback coil에 의한 자장의 coupling으로 거의 0임을 알 수 있다. 하단 파형은 integrator 출력 파형으로 (SQUID 센서 output) 가해진 외부 자장과 동일한 파형이 얻어짐을 알 수 있다.

### 3. 결 론

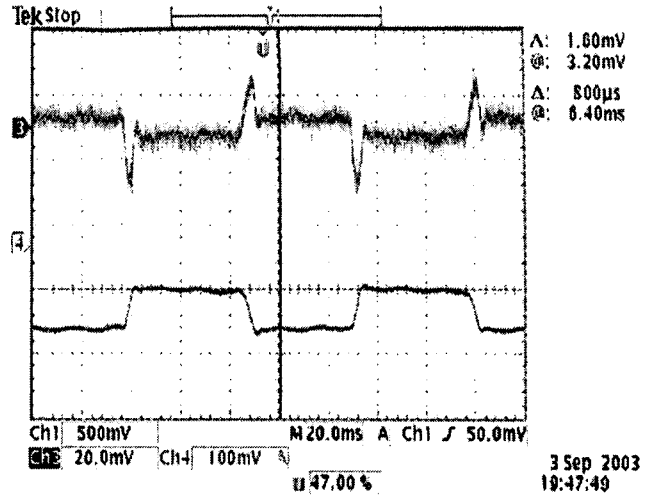
본 논문에서는 SQUID와 feedback coil (SQUID sensor assembly)을 FLL 회로와 분리가 가능하도록 emulator를 제안하였다. Emulator를 사용할 경우, FLL 회로의 개발 및 특성 측정이 SQUID 센서 없이도 진행할 수 있고, 또한 FLL 회로와 SQUID 센서의 특성을 분리하여 회로 설계 및 최적화가 가능하다. 제안된 emulator 회로를 제작하여 다양한 입력 신호에 대하여 적분기의 출력이 동일하게 얻어지는 것을 확인하였다. emulator는 테스트 시그널로 사용할 수 있어 시스템의 동작 확인이나 gain 조절, 시스템의 성능 유지 보수에 사용할 수 있다.



〈그림 4〉 개발된 에뮬레이터를 포함한 FLL 보드



〈그림 5〉 에뮬레이터 모드에서 측정된 파형



〈그림 6〉 실제 모드에서 측정된 파형

### [참 고 문 헌]

- [1] Wilfried Andra and Hannes Nowak (eds.), Magnetism in Medicine: A Handbook, Wiley-VCH, Berlin, 1998.
- [2] C.B. Ahn, D.H. Lee, H.J. Park, and S.J. Oh, "Emulation Circuit for Flux Locked Loop in Magnetocardiography System," Proc. Intl. Tech. Conf. Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2005) pp.1093-1094 (2005).