

위성 자세제어용 RLG 전류 안정화 회로 설계

김의찬[†], 최재동

한국항공우주연구원 통신해양기상위성사업단 체계종합그룹

DESIGN OF THE RLG CURRENT STABILIZER CIRCUIT FOR ATTITUDE CONTROL IN THE SATELLITE

Eui-Chan Kim and Jae-Dong Choi

Communication Satellites Dept., COMS Program Office, KARI, Daejeon 305-333, Korea

E-mail: eckim@kari.re.kr

(Received July 5, 2005; Accepted March 8, 2006)

요 약

이 논문에서는 위성 자세제어용으로 사용되는 RLG(Ring Lager Gyroscope) 전류 안정화 회로에 대해서 설명한다. RLG는 헬륨-네온레이저의 공진기 내에서 샷나효과를 이용한다. 두 방전전류의 차이는 자이로 바이어스 오차의 한 부분을 차지한다. 전류 안정화회로의 이론적 배경과 설계과정에 대해서 기술하고, 입력전압 시험, 온도시험을 통하여 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper, we describe the RLG current stabilizer circuit for attitude control in the satellite. The RLG makes use of the Sagnac effect within a resonant of a HeNe laser. The difference between two discharge currents causes one of the gyro bias errors. The theoretical background and current stabilizer are introduced. It is verified that the circuit designed is applicable to the test of input voltage and temperature.

Keywords: RLG, attitude control, current stabilizer, bias error

1. 서 론

위성에는 자세제어를 위하여 광학식 자이로가 사용되고 있다. 여러 종류의 자이로중 RLG는 정밀도는 높으나 레이저 방전현상을 이용하므로 방전과 전극의 수명이 곧 자이로의 수명이 될 수 있다. 그래서 현재는 비교적 짧은 4년의 수명을 목표로 하는 저궤도 위성의 자세제어를 위하여 사용되고 있는 추세이다(김의찬과 이흥호 2005). 헬륨-네온 레이저를 발진하기 위해서는 초기 방전에 필요한 점화전압(+2.5kV)와 방전을 유지하는 방전유지전압(-1kV)가 필요하지만, 자이로의 성능을 내기 위해서는 방전전류를 일정하게 제어해야 한다(김의찬 2005). 그림 1은 레이저를 방전시키기 위해 필요한 고전압 전원과 전류 안정화 회로로 구성된 시스템을 보여준다. 직류로 방전되는 레이저 자이로에서 양쪽으로 흐르는 방전전류의 차가 생길 때, 광경로에 형성되는 흐름은 영점이동, 바이어스 오차를 일으키는데 이 흐름들은 Langmuir Flow라 하고 이온, 전자, 수동원자들로 구성되어 있어 방전

[†]corresponding author

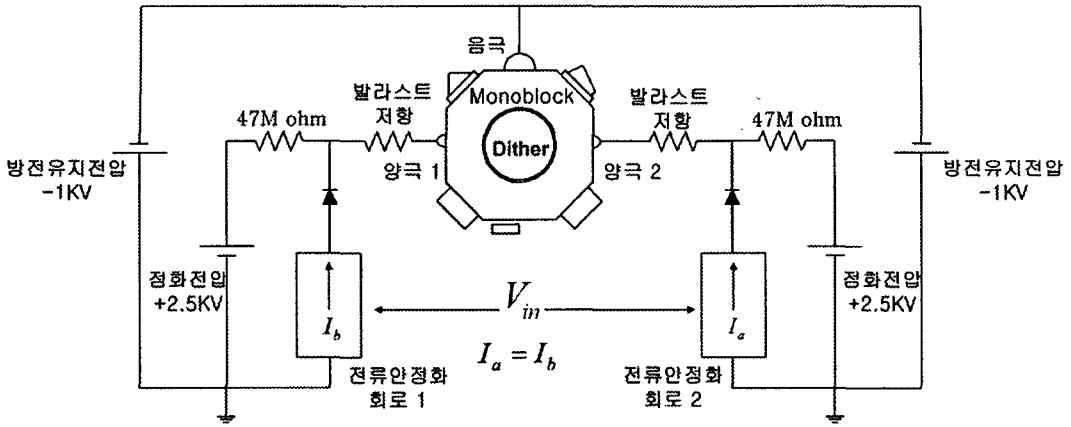


그림 1. 레이저 방전 시스템.

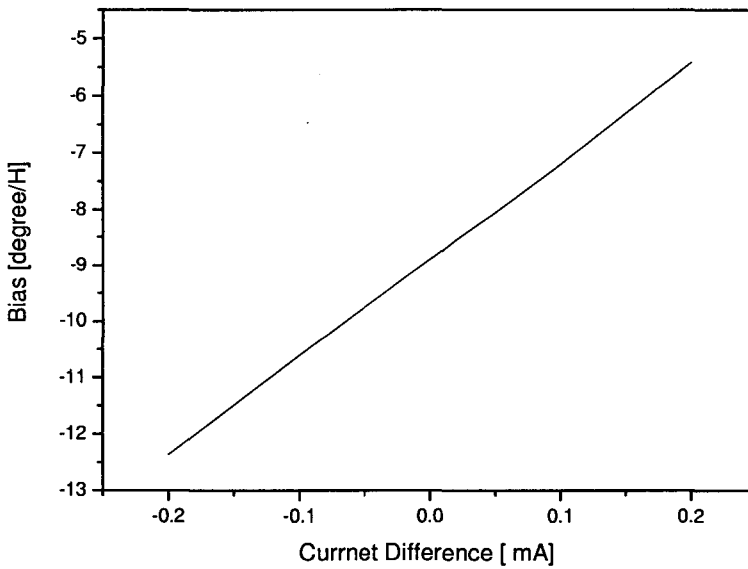


그림 2. 전류차에 대한 바이어스 변화.

관 내부에 벽을 형성하여 양방향으로 회전하는 빔이 경로차를 일으키게 되어 RLG가 정지하고 있을 때 오차를 나타내게 된다(Aronowitz 1971). 그림 2에서 양쪽의 전류차가 없을 때, 즉 전류차가 영일 때 바이어스가 9deg/h를 나타내지만 양쪽의 전류차가 발생할 때 선형적으로 바이어스가 증가하거나 감소한다(Scully 1974). 그러므로, RLG의 방전전류가 양방향으로 오차 없이 제어하는 것이 RLG의 성능향상에 필수적이다. 이 논문에서는 양방향의 방전전류가 오차가 없도록 구현한 전류 안정화 회로에 대해서 기술내용과 설계과정을 기술한다.

표 1. 전류 안정화 회로의 종류.

흡입형 전류원	토출형 전류원	양방향(Bilateral) 회로
장점 회로가 간단 정밀도는 저항 하나로 정해진다. 출력전류를 크게 할 수 있다.	회로가 간단 정밀도는 저항 하나로 정해진다. 출력전류를 크게 할 수 있다.	흡입/토출이 가능
단점 출력은 흡입만	출력은 토출만	정밀도는 저항 5개로 정해진다. 출력전류가 OP 앰프의 출력전류로 제한된다.

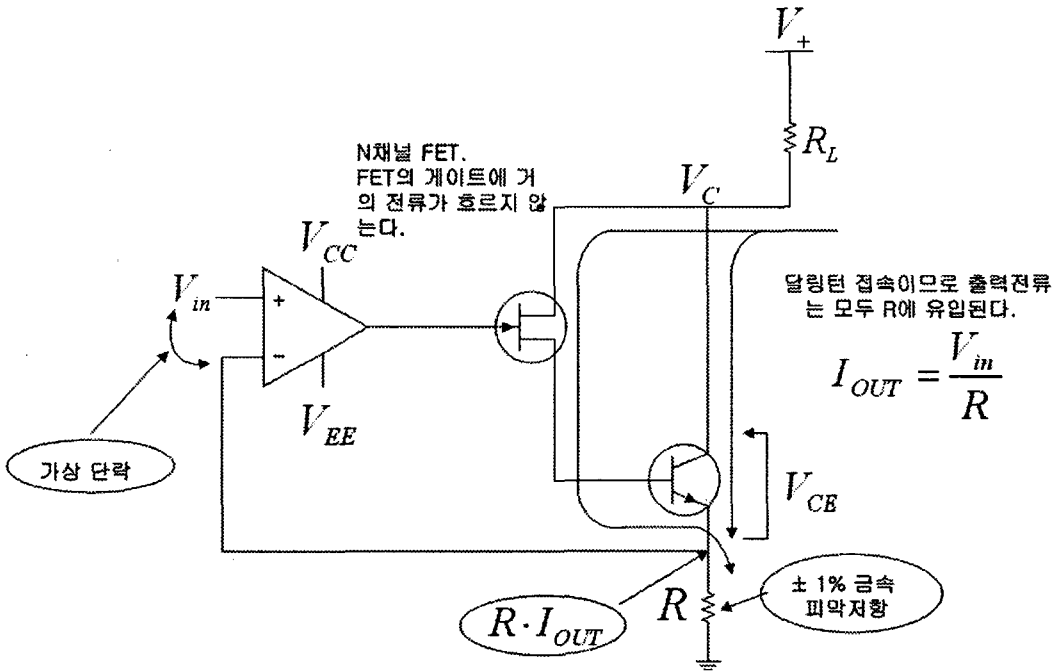


그림 3. 전류 흡입형 안정화 회로.

2. 전류 안정화 회로

2.1 동작원리

입력전압에 대해서 그것에 비례한 전류를 출력하는 회로이다. 일반적으로 전류 값을 출력하는 정 전류 회로에서는 부하 임피던스가 변동하여도 출력 전류 값이 변동하지 않는 것이 필요하다. 그렇게 하기 위해서는 OP 앰프를 사용하여 전류를 피드백 시켜 정전류화한다. 회로는 출력전류의 방향에 따라 3종류로 나누어진다. 전류를 흡입 하는 것, 전류를 토출하는 것, 그리고 흡입/토출하는 양방향 인 것이다. 표 1에 전압-전류 변환회로의 종류 및 비교를 나타내었다. 일반적으로 전압-전류 변환회로로서는 양방향(Bilateral) 회로가 많이 사용되고 있다. 입력전압이 양전압, 음전압에 따라 흡입/토출의 양출력이 얻어지기 때문이다. 단, 흡입이나 토출 어느 한쪽만의 경우는 흡입형과 토출형의 단순

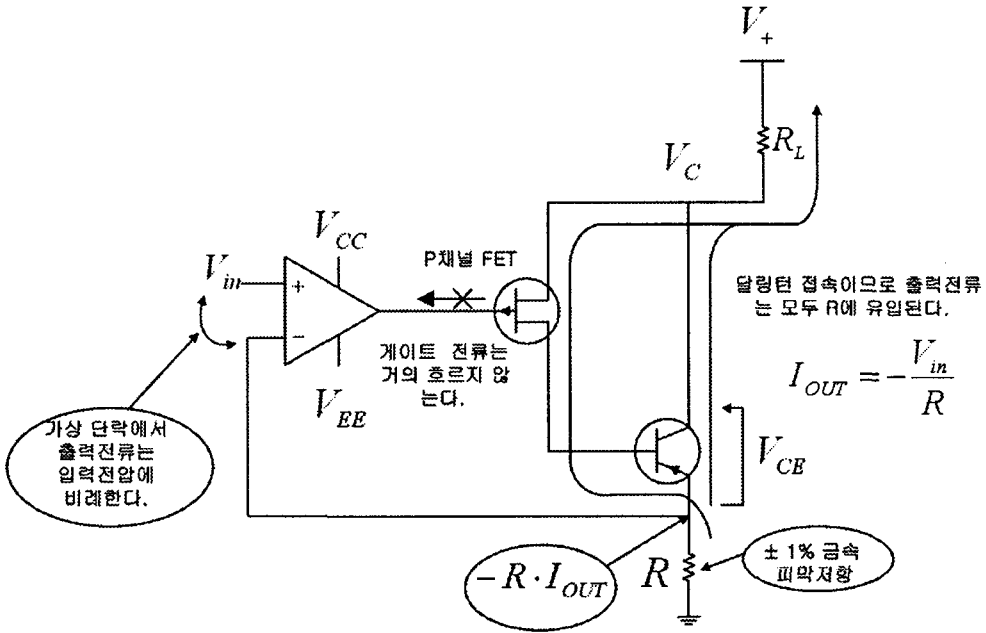


그림 4. 전류 토출형 안정화 회로.

한 전류원 쪽의 회로가 간단하며, 출력전류 크기도 자유로이 선택할 수 있는 이점이 있다. 양방향 회로에서는 출력전류의 크기가 OP 앰프의 출력에 따라 제한된다.

2.2 전류 흡입형

그림 3은 전류 흡입형 회로를 보여준다. 입력전압 V_{in} 이 가해지면 OP 앰프의 입력단자 사이는 가상 단락이므로 동전위로 되기 때문에 $V_{in} = V_1$ 이다. 출력 트랜지스터의 전류증폭률이 충분히 크면 트랜지스터의 컬렉터 전류는 이미터 전류와 같으므로 $V_{in} = V_1 = R \cdot I_{out}$ 이고, 부하 R_L 에 흐르는 전류 $I_{out} = V_{in}/R$ 로 된다. 전류증폭률이 작으면 오차가 커지므로 출력전류를 크게 하기 위해서는 트랜지스터 2개를 사용하여 달링턴 접속하여 사용하거나 MOS-FET를 사용하여 전류오차를 줄인다.

2.3 전류 토출형

그림 4는 전류 토출형 회로를 나타낸다. 동작원리는 흡입형과 같지만, FET를 P채널로, 트랜지스터를 PNP로 바꾸고 회로의 입력전압을 음전압으로 인가한다. 입력전압과 출력전류의 관계식은 $I_{out} = -V_{in}/R$ 이 된다.

3. 회로 설계

3.1 전류 안정화 회로 설계

방전하는 방전전압이 음전압을 사용하므로, 전류 토출형의 회로를 사용하였다. 전류 토출형 회로이므로 입력전압이 음의 값을 가져야 한다. 각 방전관의 방전전류가 상이하므로 방전 전류값을 보

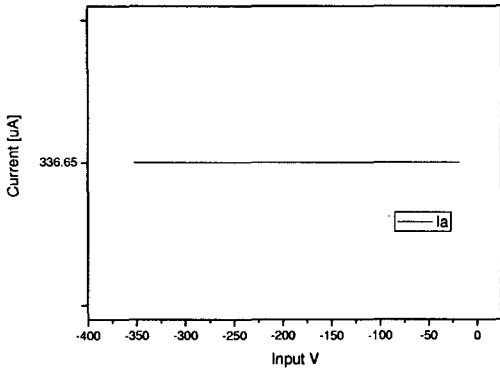


그림 5. 입력전압변화에 대한 Ia 전류변화.

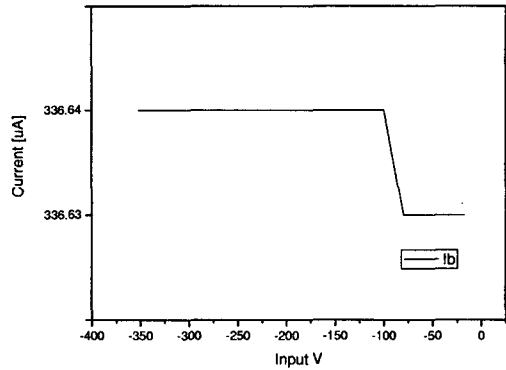


그림 6. 입력전압변화에 대한 Ib 전류변화.

다 편리하게 제어하기 위하여 외부에서 방전전류값을 제어할 수 있도록 설계하였다. 또한, 외부에서도 아날로그 전압으로 제어할 수 있다. 헥사 인코더 스위치와 DA 컨버터인 AD7533을 사용하여 방전전류값을 입력할 수 있다. 전형적인 방전관의 방전전류 값은 0.2 ~ 1mA이므로 AD7533의 출력전압 값이 0 ~ -5V범위의 출력을 갖고, 방전전류를 결정하는 저항은 메탈필름 고정밀 저항 5.11K를 사용하였다. 두개(Ia, Ib)의 전류차를 적게 하기 위하여 h_{FE} 가 큰 MOSFET 2N4352와 달링턴접속으로 PNP고전압 트랜지스터 2N4620의 조합을 적용하였다. 2N4620은 내압이 -350V이므로 고전압 전원의 인가에 충분한 내압을 가지고 있다.

3.2 전류 안정화 회로 동작 모니터회로 설계

전류 안정화회로가 정상동작하면 레이저가 방전한다. 그러므로, 전류 안정화 회로의 동작여부는 실제로 레이저의 방전여부를 결정한다. 전류 안정화회로의 조건은 전원전압과 입력전압의 범위의 조건을 포함한다. 전류 안정화회로는 전원전압이 30 ~ 207V, 전류 설정 입력전압은 -1.09 ~ 5V에서 정상 동작한다. 입력전압이 -1.09 ~ 5V 사이에서 정상동작할 때 OP 앰프의 출력은 -4.9 ~ -9.3V의 값을 갖고, 전류 안정화 회로가 이상시에는 +전압 값을 갖는다. 이 데이터와 로직(7400)을 이용하여 동작 모니터회로를 설계하였다. 정상동작일때 TTL7400의 출력은 Low가 되며, Low 신호를 인버터시켜 Ia.ON(동작확인) 신호를 Control Logic 보드로 보내고 Control Logic 보드는 IGN(Ignition Voltage enable signal) 신호를 발생하여 HVPS(High Voltage Power Supply) 보드로 보내주어서 Ignition 전압(+2.5kV)을 OFF한다.

4. 회로 시험

4.1 전원전압에 따른 전류 변화 측정

시험조건은 상온이며, 전류 측정 장비는 HP3458A를 사용하였다. 회로의 인가된 전압범위는 -350V ~ -20V이다. 허용되는 전원전압 범위 내에서는 전류변화 및 전류차가 허용오차를 포함하면 측정 불가능할 정도로 차이가 발생하지 않는걸 알 수 있다. 그림 5는 입력전압에 따른 Ia채널의 전류변화이며, 그림 6은 입력전압에 따른 채널 Ib의 전류변화이다.

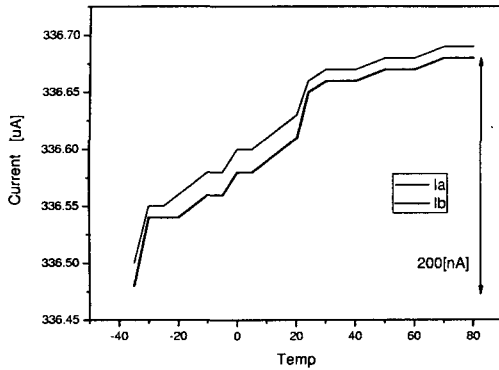


그림 7. 온도변화에 대한 각 전류의 변화.

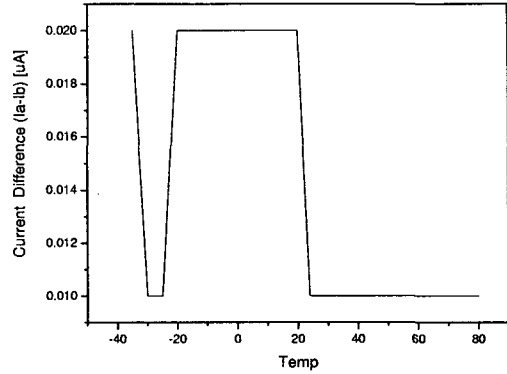


그림 8. 온도변화에 대한 채널간의 전류차.

4.2 온도변화에 대한 전류변화측정

전류측정 장비로는 HP3458A를 사용하였고, 전원전압은 -100V로, 온도범위는 -40 ~ +80°C로 설정하였다. 회로 기판은 챔버 내에 있고, 전원과 전류계는 챔버 밖에 위치하고 측정하였다. 그림 7에서 온도변화에 따라 Ia, Ib가 200nA 변화하나, 동시에 변화하므로 자이로의 성능에 영향을 주지 않고 Ia와 Ib의 전류차(Ia-Ib)는 그림 8에서 최대 20nA이다. 이 전류차에 대한 바이어스 변화량은 그림 2에서 17deg/h/mA로 계산되며, 따라서 설계된 전류 제어회로에 따른 바이어스 오차는 $17\text{deg/h/mA} \times 20\text{nA} = 0.00034\text{deg/h}$ 이다.

5. 결론

이 연구에서는 RLG와 방전전류 차에 의한 바이어스 오차를 보여주고, 방전 전류차가 발생하지 않도록 전류 안정화 회로의 필요성과 설계개념과 과정을 기술하였다. 또한, 온도시험과 입력전압 시험을 통하여 검증하였다. 이 회로의 도입은 0.01도급 자이로를 개발하는데 있어서 바이어스 오차를 줄일 수 있다고 판단된다.

참고문헌

김의찬 2005, 한국항공우주학회 춘계 학술대회 논문집, 721
 김의찬, 이흥호 2005, 한국우주과학회보, 14(1), 101
 Aronowitz, F. 1971, The Laser Gyro Application (NewYork: Academic Press)
 Scully, M. O. 1974, Laser Physics (NewYork: Addison-Wesley)