

위성 자세제어용 자이로 HVPS 설계

김의찬*, 구자춘**

Gyro HV Power Supply Design for Attitude Control in the Satellite

Eui-Chan KIM*, Ja-Chun KOO**

Abstract

In this paper, the design process of the High Voltage Power Supply for RLG(Ring Laser Gyroscope) is described. The specification for High Voltage Power Supply(HVPS) is proposed. Also, The analysis of Flyback converter topology is explained. The Design for the HVPS is composed of the inverter circuit, feedback control circuit, high frequency switching transformer design, and voltage doubler circuit.

초 록

위성에는 자세제어를 위하여 광학식 자이로가 사용되고 있다. 여러 종류의 자이로중 타자이로에 비해 RLG는 정밀도는 높으나 레이저 방전현상을 이용하므로 방전관 전극의 수명이 곧 자이로의 수명을 결정짓는 요소이다. 그래서 현재는 비교적 짧은 4년의 수명을 목표로 하는 저궤도 위성의 자세제어를 위하여 장착되어 사용되고 있다. 링 레이저 자이로(RLG)의 전자모듈 전원은 크게 레이저를 발진시키기 위한 전압과(Discharge 전압), Lock-in을 보상하는 Dither를 구동하는 전압(Dither 구동 전압)과 광경로를 일정하게 유지하기 위해 미러를 구동하는 전압(PLC 구동 전압)인 고전압계통의 전원과 로직회로와 아날로그 회로를 구동하는 저전압 계통의 전원으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 Flyback Converter를 이용하여 헬륨-네온 레이저의 플라즈마를 생성하고 발진을 유지하는 Discharge전압을 포함하는 자이로 전력계 설계과정을 제시한다.

키워드 : 링 레이저 자이로스코프 (Ring Lager Gyroscope),
플라이백 컨버터(Flyback Converter)

1. 서 론

위성에는 자세제어를 위하여 광학식 자이로가

사용되고 있다. 여러 종류의 자이로중 타자이로에 비해 RLG는 정밀도는 높으나 레이저 방전현상을 이용하므로 방전관 전극의 수명이 곧 자이로의 수명을 결정 짓는 요소이다. 그래서 현재는

* 통해기 체계팀/eckim@kari.re.kr

** 통해기 체계팀/jckoo@kari.re.kr

비교적 짧은 4년의 수명을 목표로 하는 저궤도 위성의 자세제어를 위하여 장착되어 사용되고 있다. 링 레이저 자이로(RLG)의 전자모듈 전원은 크게 레이저를 발진시키기 위한 전압과 (Discharge 전압), Lock-in을 보상하는 Dither를 구동하는 전압 (Dither 구동 전압)과 광경로를 일정하게 유지하기 위해 미러를 구동하는 전압 (PLC 구동 전압)인 고전압계통의 전원과 로직회로와 아날로그 회로를 구동하는 저전압 계통의 전원으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 Flyback Converter를 이용하여 헬륨-네온 레이저의 플라즈마를 생성하고 발진을 유지하는 Discharge 전압을 포함하는 자이로 전력계 설계과정을 제시한다.

2. 본 론

2.1 Dischare 전원

2.1.1 Discharge 전원 specification

플라즈마를 형성하기 위해서는 튜브 양극간의 600V정도의 전압이 걸려야 하므로, 발라스트 저항의 전압강하와 전류 안정화 회로를 고려하여 약 -930V가 필요하다. 방전 전류는 제작과정에 의하여 상이할 수 있으나 한 개의 튜브가 최대 1mA이고 LSE는 두개의 방전관으로 구성되어 있으므로 최대 2mA가 흐른다. 또한, 각 LSE의 방전전류가 동일하지 않으므로 일정한 전압을 공급하기 위해서는 load regulation이 필요하며, 입력 전압에 대해서는 line regulation이 필요하다. 또한, 출력전압 리플은 10V 이상이 되면 레이저 방전의 광출력의 요동이 발생하여 바이어스에 영향을 주므로 10V 이내로 결정하였다.

입력전압 : DC15V

출력전압 : -930V

출력전류 : 5mA

출력전력 : 5W

출력리플전압 : 최대 10V 이내

스위칭 주파수 : 50 kHz

동작온도범위 : -40 ~ 80 °C

Non-isolation

Flyback Converter 방식

2.1.2 Flyback Converter

소용량의 HVPS(High Voltage Power Supply)를 설계하기 위하여 Flyback 컨버터를 선정하였다. Flyback 컨버터는 트랜스포머가 인덕터의 역할을 하므로, 인덕터가 필요 없으며, 적은수의 부품으로 회로를 구성할 수 있다. 또한 소용량에 적합하며, 고전압을 쉽게 얻을 수가 있다.

2.1.3 Flyback Converter의 회로 해석

그림 1은 각 모드의 동작 파형을 보여준다. 먼저 스위칭 FET의 게이트에 ON전압이 인가되면, 스위칭 FET는 도통 상태가 된다. 그 결과, 변압기의 1차 권선에 전압이 유기되고, 2차 권선의 전압은 정류기 D 에 대하여 역방향으로 첨가되므로 변압기의 2차권선에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서, 1차 권선을 흐르는 전류는 변압기의 여자 전류뿐이다. 이 여자전류는 1차 권선의 인덕턴스를 L_p , 시간을 t 로 하면, $I_C = \frac{V_I}{L_p}t$ 가 되고, 시간에 비례하여 증대한다. 스위칭 FET가 ON되기 직전의 1차 권선의 전류를 I_p , 1차 권선의 권수를 N_p 로 하면 이때의 암페어 턴은 $I_p N_p$ 가 된다. FET가 OFF한 순간도 이 자계는 동일하게 유지되므로, 2차 권선의 감는 횟수를 N_s , 권선의 전류를 I_{ps} 로 하면,

$$I_p N_p = I_{ps} N_s$$

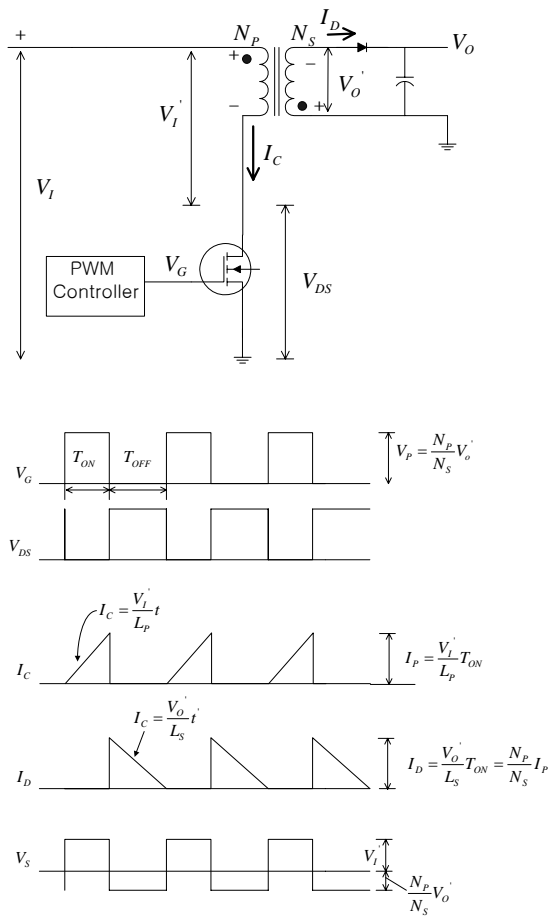


그림1. 각 모드의 동작 파형

가 되고, $I_{PS} = \frac{N_p}{N_s} I_p$ 가 된다. FET가 ON에서 OFF한 순간은 자계의 방향도 동일하게 유지된다. 따라서, 1차 권선으로 흐르고 있던 전류의 방향이 감기시작에서 감기끝 방향으로 흐르고 있던 경우, 2차 권선의 전류의 방향도 감기시작에서 감기끝 방향으로 흘러서 다이오드 D 가 도통한다. 이 경우, 출력전압을 V_o 로 하고, 정류기의 전압강하를 V_D 로 하면, 변압기의 2차 권선은 V_o' 는 $V_o - V_D$ 가 된다. 따라서, 2차 권선의 인덕턴스를 L_s 로 하면, 정류기를 흐르는 전류 I_D 는

그림1과 같이 $\frac{V_o'}{L_s}$ 의 속도로 저하되면서 변압기에 축적되어 있던 에너지를 출력측으로 공급한다. 변압기에 축적되어 있던 에너지가 모두 출력측으로 이동되면, 정류기 D 의 전류는 제로가 되고, 다이오드는 OFF되고 이 순간, 변압기의 각 권선 전압은 제로가 된다. 그림2는 FET의 ON/OFF모드의 분석을 보여준다.

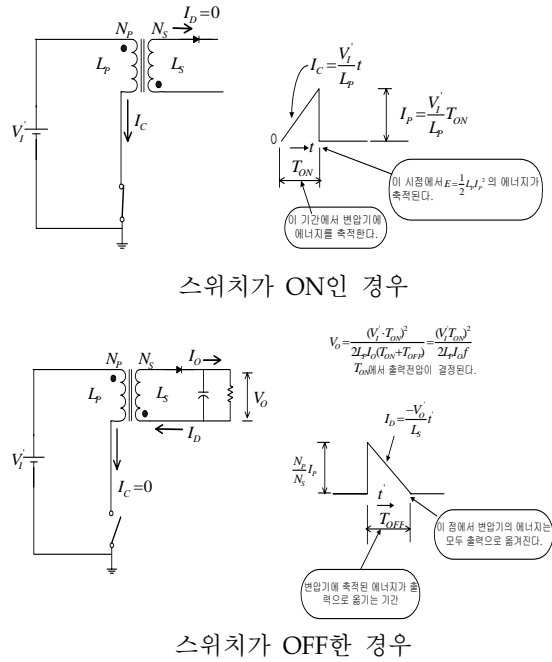


그림 2. Flyback 회로의 각 모드 에너지 상태

스위칭 FET가 OFF하기 직전이 컬렉터 전류를 I_p 라 하면, 이때 변압기의 축적되어 있던 에너지 E 는 1차 권선의 인덕턴스를 L_p 로 하여 다음 식 같이 된다.

$$E = \frac{1}{2} L_p I_p^2$$

여기서, 스위칭 주파수를 f 라 하면 1초 동안에 공급되는 전력 P 는 Ef 가 되는데, 이 전력은 출력전력에 상당한다.

$$P = \frac{1}{2} L_P I_{OP}^2 f$$

출력전압, 전류를 V_O 및 I_O 으로 하면, 출력 전력은 $I_O V_O$ 가 되어 $I_O V_O = \frac{1}{2} L_P I_P^2 f$ 가 된다. 여기서, $I_P = \frac{V_I' \cdot T_{ON}}{L_P}$, $f = \frac{1}{T_{ON} + T_{OFF}}$ 로 하면, $V_O = \frac{(V_I' \cdot T_{ON})^2}{2L_P I_O (T_{ON} + T_{OFF})}$ 이 된다.

2.2 설계

2.2.1 제어기 설계

본 회로는 RCC방식이 아닌 전용 컨트롤러 사용한 타러형 방식을 선정하였다. 자러형에 비하여 출력잡음 저감이 가능하고 저온시에도 기동의 문제가 일어나지 않고, 펄스폭제어가 용이하며, 충분한 보증을 할 수 있다는 장점이 있다. 컨트롤러는 UC1526을 사용하였다. 이는 전원전압이 7~35V이므로 별도로 파위를 공급하지 않고 전원의 회로 전압을 사용해도 된다. UC1526은 출력단이 컴플리멘트리 트랜지스터를 사용한 전력 증폭기로 구성되어 있어서 FET을 구동하는데 부가적인 회로가 필요 없다. 또한, 동작 온도가 5~125°C이므로 전원 조건에 만족한다.

2.2.2 Inverter단 설계

Inverter를 설계하기 위하여 앞에서 언급한 플라이백 컨버터를 적용하였다. 보통의 토폴로지에서 변압기의 리키지 인덕턴스로 인하여 스위칭 오프시에 스파이크 전압이 발생하므로 FET주변에 스너버 회로를 사용하지만, 스너버 회로내의 저항은 전력효율을 감소시킨다. 따라서 전원전압보다 10배 이상 높은 내압을 가진 IRF840을 사용하고, 트랜스모퍼의 제작과정에서 리키지 인덕턴스를 최소화하여 스너버 회로를 사용하지 않고 전력효율을 개선시켰다.

2.2.3 2차측 정류회로 설계

1kV의 고전압을 얻기 위해 변압기의 증간절연을 위하여 2차 출력전압을 500V로 제한하고 2차 정류회로를 2배 더블링하고 DC로 변환하는 회로를 선정하였다. 다이오드는 t_{rr} 이 짧은 FRD(Fast Recovery Diode) 1000V, 500ns인 UF4007을 선정하였다.

2.2.4 Feedback 설계

부하의 증가나 입력전압의 변동은 안정한 출력전압을 얻어내는데 외란으로 작용하므로, 출력전압의 안정화를 위해 시스템 negative feedback을 걸어주어 출력전압을 안정화시킬 수 있다. 오차전압은 오차 증폭기(Error Amplifier)를 거쳐 증폭되고, 이 증폭된 오차전압은 삼각파의 램프 시그널과 비교되어 PWM제어를 하게 되며, 제어된 게이트 펄스전압은 메인스위칭 소자로 전달된다.

2.2.5 고주파 트랜스포머 설계

파워 용량에 근거하여 고주파트랜스를 EI19 코어를 선정하였다.

Switching Frequency : 50KHz

Primary turns : 15 turns

Secondary turns : 550 turns

Core material : Ferrite PC40

Core Configuration : EI19

스너버 회로를 사용하지 않기 때문에 트랜스퍼머는 최소의 리키지 인덕턴스를 가져야 한다. 1차 권선에서 발생한 자속을 가급적 많이 2차 권선속으로 통과시키려면 즉 결합이 좋은 트랜스퍼머를 만들기 위해 권선을 평균적으로 감아야 한다. 평균적으로 감기위해 1차측 와이어의 지름을 보다 굵은 것으로 해서 보빈에 가득 차도록 하여야 한다. 또한, 1차 권선이 2차 권선사이에 삽입하는 sandwich감기를 적용하였다. 1차권선과 2차

권선사이의 절연을 위하여 절연지를 삽입하였으며 2차권선의 중간 턴 수가 될 때 절연지를 삽입하여서 변압기내부의 절연을 향상시킬 수 있다.

2.3 시험

그림3은 부하 레귤레이션에 대한 그래프이며, 그림4는 라인 레귤레이션에 대한 그래프이다.

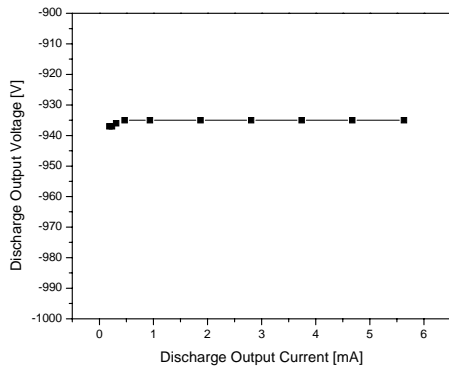


그림3. 부하 레귤레이션

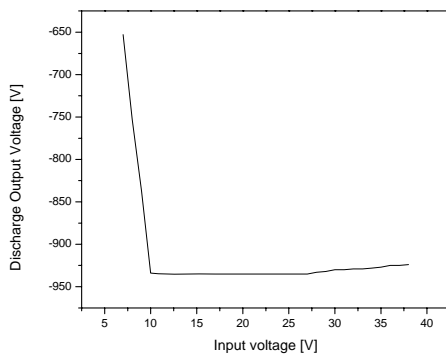


그림4. 라인 레귤레이션

3. 결 론

본 논문에서는 위성용 자이로인 RLG Discharge 전원 설계를 제안하였다. 여러 가지

토폴로지중 Flyback Converter를 선정하였고, Controller, inverter단, 정류회로, feedback, 고주파 트랜스포머 설계를 제시하였다. 향후 수명이 짧은 저궤도 위성에 RLG가 장착될 경우 이 설계 과정이 적용될 수 있다. 그러나, 전력계의 출력이 고전압이기때문에 우주공간에서는 절연이 악화되고 코로나 방전이 생길 수 있으므로 우주 환경 시험중 코로나 아킹 시험을 만족하기 위해서는 몰딩, Artwork등 부가적인 설계가 요구된다.

참 고 문 헌

1. Frederick F.Mobley,Wade E.Radford, and Lawrence R. Kennedy "MSX Attitude Determination and Control Hardware", Johns Hopkins Apl Technical Digest, Volume 17, Number 2(1996).
2. Aronowitz, F., "The Laser Gyro Application " NewYork ; Academic Press, 1971, pp.133-200.
3. Keith Billings "Switchmode Power supply Handbook" McGraw-Hill, Inc.