

자기증폭기를 이용한 포스트단 안정화 플라이백 컨버터의 특성분석

김철진*, 이관용*, 홍대식*, 조영래*
한라대학교*

A Study on the Characteristics of Flyback Converter used Magamp Post Regulation

Cherl-Jin Kim*, Kwan-Yong Lee*, Dae-Shik Hong*, Young-Rae Cho*
Halla University*.

Abstract - The continuing need for more compact and reliable switching power supplies have aroused a renewed interest in a well founded control technique the Magnetic Amplifier(Magamp). Magamp have some advantages of higher power density, simple control circuit, good regulation, high frequency and high performance. The control method with magamp become attractive solutions for high current post regulated output applications.

In this study, it is proposed that the magamp technique in flyback converters with multiple output windings. Operation principle of the proposed approach is described and design guidelines are provided. Experimental verifications on 50W multiple output flyback converter are conducted. Simulations and experimental results show that the proposed approach is high efficiency and voltage regulation of the auxiliary output is excellent.

플라이백 컨버터에서 트랜스포머는 전압원의 역할을 하며, 이 컨버터는 포워드형 컨버터에 비해 적은 수의 부품과 간단한 회로로 구성된다.

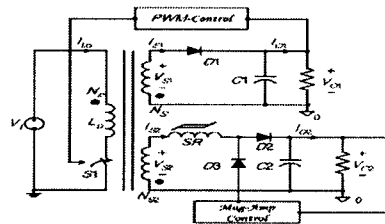


그림 1. 자기증폭기를 이용한 플라이백 컨버터의 회로

자기증폭기를 이용한 플라이백 컨버터의 출력동작은 스위치 S1의 On모드, Off모드로 구분된다. 스위치가 On 모드에서 자기증폭기는 차단상태이며, 트랜스포머는 에너지를 축적한다. 반면 스위치가 Off 모드에서 에너지는 자기증폭기가 포화될 때까지만 주출력으로 전달되고, 그 이후부터는 보조출력에 동시에 전달된다. 이때 주출력은 PWM 제어에 의해 안정화되고, 보조출력은 TL431의 출력에 따른 자기증폭기의 제어에 의해 안정화된다.

1. 서론

최근, 스위칭 전원 공급 장치의 소형 경량화 및 출력 안정화를 위한 지속적인 연구가 진행되고 있다. 이것은 전력용 반도체 소자의 발전과 제어 방식의 진보에 따라 스위칭 주파수를 고주파화 시킴으로써 충족할 수 있지만, 이에 따른 스위칭 손실이 비례적으로 증가하는 문제점을 가지게 된다. 이에 따라 고주파대역에서 특성이 좋은 저손실, 고투자율의 재료가 개발되고, 일반화됨으로써 자기증폭기를 이용한 2차단 안정화 기술이 주목을 받기 시작하였다. 이 기술은 소형, 고효율을 필요로 하는 전원 공급 장치에서 대전류를 이용한 2차단의 출력을 안정화 시키는 응용 분야에서 적합하게 사용되고 있다. 또한, 100W 이하 저전력 응용분야에서 포워드형 컨버터의 방식보다 적은 수의 부품과 회로 구성이 간단한 플라이백 컨버터의 이용이 늘고 있다. 따라서 자기증폭기를 이용한 플라이백 컨버터는 입력전압 및 부하 변동에 따른 2차단 안정화를 이룰 수 있고, 효율적인 제어가 가능하다.

본 연구에서는 PWM제어로 주출력단을 안정화시킨, 다출력 플라이백 컨버터의 보조 출력단에 가변정밀 병렬안정기인 TL431을 이용하여 출력전압 변동에 따른 자기증폭기의 동작 특성과 보조 출력단의 안정화를 확인하였다. 이것은 부하변동에 따른 자기증폭기의 포화 상태를 시뮬레이션을 통해 제시하였고, 50W 다출력 플라이백 컨버터의 실험 결과로 타당성을 제시하였다.

2. 회로 해석

2.1 자기증폭기를 이용한 플라이백 컨버터의 동작원리

그림 1은 자기증폭기를 이용한 플라이백 컨버터의 회로이다.

2.2 모드별 해석

그림2와 3은 자기증폭기를 이용한 플라이백 컨버터의 동작파형 및 각 모드에서의 동작을 나타내고 있다.

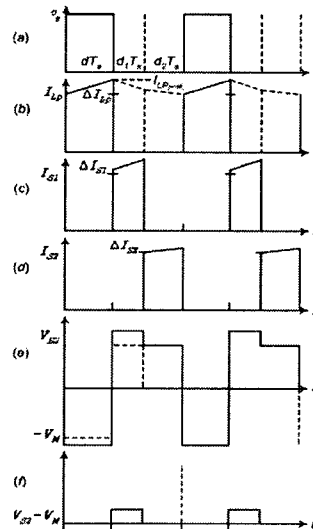


그림 2. 자기증폭기를 이용한 플라이백 컨버터의 동작파형

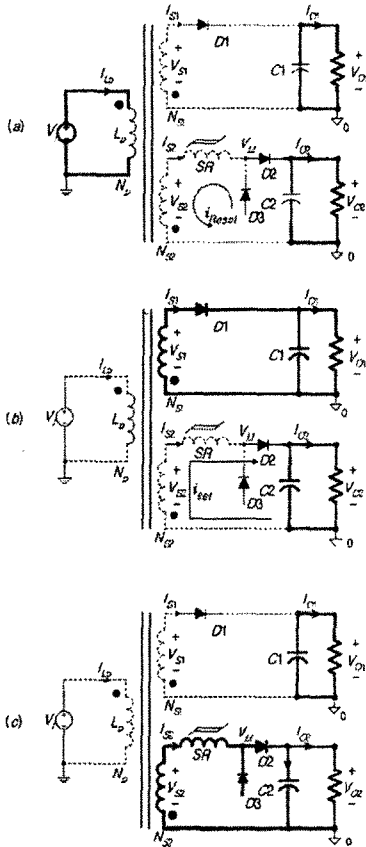


그림 3. 자기증폭기를 이용한 플라이백 컨버터의 동작 모드

1. (a) Mode

a_1T_s 구간에서 스위치는 On 되고, 입력전압 V_i 은 트랜스포머의 자화인덕턴스 L_p 를 축적하고, C_1 에 충전된 에너지가 V_{O1} 으로 전달되게 된다. 이 때 트랜스포머는 인덕터와 트랜스포머로써 작용한다. 또한 자기증폭기는 역 2차 권선전압 V_{S2} 와 자기증폭기의 제어전압 V_m 의 전압차에 의해서 Reset된다.

2. (b) Mode

a_1T_s 구간에서 스위치는 Off되고, 트랜스포머의 자화인덕턴스는 V_{S1} 이 축적될 때까지 주출력 V_{O1} 으로만 에너지를 방출한다. D1은 도통되고, 자기증폭기는 차단 상태이고, 2차권선 전압 V_{S2} 와 보조출력 전압 V_m 사이의 전압차에 의해 Set된다. 이상적인 경우 트랜스포머에 저장된 에너지는 주출력으로만 전달된다.

3. (c) Mode

a_2T_s 구간에서 스위치는 Off되고, V_{S1} 이 축적된 이후부터 자기증폭기는 포화되고, D2는 도통되어 보조출력 V_{O2} 로 전달된다. 보조출력 V_{S2} 에 의한 역기전력으로 인해 V_{S1} 의 전압이 V_{O1} 보다 더 작게 된다. 따라서 D1에는 역 바이어스가 인가되어 D1은 차단되고, C_1 에 충전된 에너지가 V_{O1} 으로 전달된다. 스위칭 구간의 끝부분에서 스위치는 다시 On되어 자기증폭기는 다음 스위칭 구간에서 Reset 된다.

결과적으로 자기증폭기를 이용한 플라이백 컨버터는 스위치가 Off시에 시비할 방식으로 주출력과 보조출력에 전압이 공급되고, 트랜스포머는 전류원으로서 작용한다.

2.3 TL431을 이용한 자기 증폭기 제어회로

보조출력의 안정화를 위한 제어기는 TL431, 자기증폭기, 그리고 능동트랜지스터로 구성된다. 그림 4는 자기증폭기를 이용한 플라이백 컨버터의 회로도를 나타낸다.

기준 전압을 2.5V에서 36V까지 설정할 수 있는 TL431을 사용하였으며, 이것은 가변저항의 역할을 하며 출력전압을 검출하여 경부하시 더미전류가 상승하여 출력전압 상승을 억제한다. 반면, 과부하시에는 더미전류가 감소하여 출력전압 하강을 억제하는 고정밀도의 정전압 특성을 갖는다.

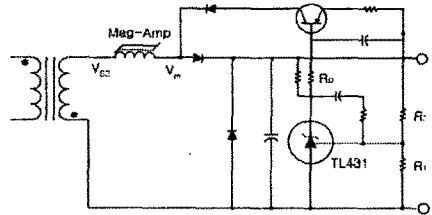


그림 4. TL431을 이용한 자기증폭기 제어회로

$$E_0 = V_{ref} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (1)$$

(E_0 = 출력 전압, V_{ref} = TL431 내부 기준전압)

식(1)에서 출력전압이 상승시 R_1 과 R_2 에서 검출된 전압이 TL431의 ref 단자에 인가되고, 기준전압(V_{ref})과 비교하여 증폭된 오차만큼 TL431 내부의 NPN 트랜지스터에 전압이 인가되어 R_D 전류의 증가로 PNP트랜지스터의 베이스단에 전류가 증가하여 컬렉터전류가 증가한다. 이에 따라 V_m 의 전압이 상승하여 결국 V_{S2} 와 V_m 의 전압차가 줄어 자기증폭기는 Off되어 출력전압의 상승을 억제한다. 출력 전압이 하강시 이와 반대의 작용으로 정전압이 유지된다.

3. 자기증폭기의 설계 및 해석

그림 5는 자기 증폭기에 적용되는 자성체의 B·H곡선을 나타내고 있다. 자성체는 반도체의 On/Off의 스위칭 동작을 함으로써 출력단의 평균전압을 제어하기 때문에 보자력(H_c)이 적고 포화속밀도(B_m)가 크고, 고각형비의 특성이 요구된다. 자기증폭기의 동작은 Reset전압이 인가되지 않은 a-b 구간은 영에 가까운 저임피던스로 자기증폭기가 On 상태이고, Reset전압이 인가된 b-c구간은 고임피던스로 Off상태이다.

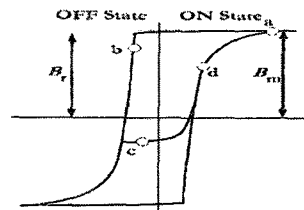


그림 5. 자기증폭기의 B·H 곡선

그림 6(a)은 부하 변동에 따른 자기증폭기의 상태변화를 시뮬레이션을 통해 얻은 B·H곡선으로써 보조출력 회로에서 자기증폭기의 양단전압 차에 따라 자기증폭기의 T_{on} 시비율(그림 6(b))이 변화되어 보조출력이 안정화 되는 것을 나타낸다.

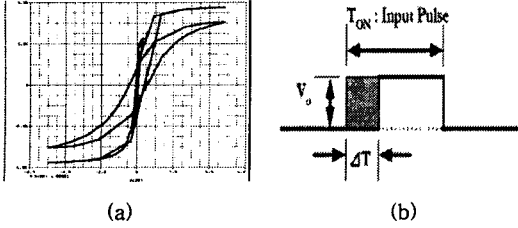


그림 6. (a) 부하변동시 시뮬레이션 B·H 곡선
(b) 자기증폭기의 시비율 제어

자기증폭기의 설계시 파라미터 관련 수식은 아래와 같다. 자성체를 선정 후 출력전압, 최대 출력전류, 입력전압 파형, 그리고 최대 전압·시간 평형조건(Δ)을 바탕으로 다음의 과정에 따라 진행 된다. 최대 출력전류로부터 선정된 권선의 선경과 자속변동분(ΔB)으로부터 자성체의 크기는 식(2)에 의해 결정된다.

$$A_w A_e = \frac{A_x \cdot \Delta \cdot 10^8}{\Delta B \cdot K} \quad (2)$$

(A_e =유효단면적(cm^2), A_w =창면적(cm^2), A_x =단일도체의 권선면적(cm^2), K =충만계수)
자성체의 크기가 결정된 다음 턴수(N)는 식(3)에 의해 계산한다.

$$N = \frac{\Delta \cdot 10^8}{\Delta B \cdot K} \quad (3)$$

또한 자기증폭기의 제어전류(I_c)는 식(4)와 같이 계산한다.

$$I_c \approx \frac{Hl_e}{0.4\pi N} \quad (4)$$

(l_e = 자성체 자로의 길이)

4. 실험 결과 및 고찰

실험을 위하여, 그림 1에 제시한 자기 증폭기를 이용한 플라이백 컨버터를 기본으로 회로를 설계·제작하였으며 설계사양은 다음의 표1과 같다.

표 1. 설계 파라미터

입력전압(V)	90~220 [Vac]
입력주파수(f)	60 [Hz]
스위칭 주파수(f_s)	125 [kHz]
주 출력(V_o)	5 [V]/0~5 [A]
보조 출력(V_{o2})	12 [V]/0~2 [A]
부하(load)	0.3~2 [A]

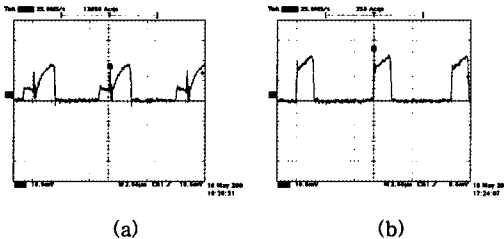


그림 7. (a) 주출력전류 I_{s1} (1A/div)
(b) 보조출력전류 I_{s2} (1A/div)

그림 7(a)와 (b)는 주출력 I_{s1} 과 보조출력 I_{s2} 의 전류파형이다. 측정결과 실험파형과 이론파형이 유사함을 확인하였다.

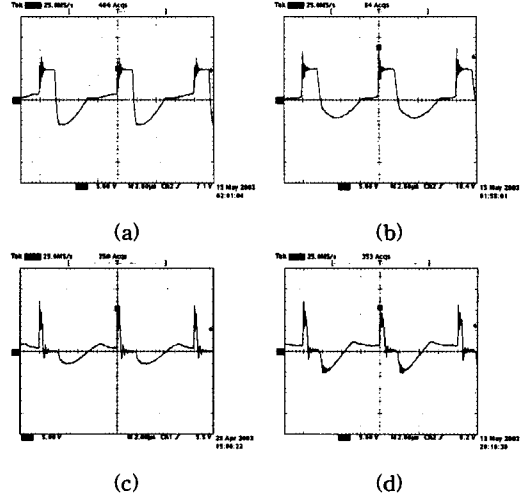


그림 8. (a) 0.3A인 경우 보조출력전압 V_{s2} (5V/div)
(b) 2.0A인 경우 보조출력전압 V_{s2} (5V/div)
(c) 12V 0.3A인 경우 자기증폭기의 양단전압(5V/div)
(d) 12V 2.0A인 경우 자기증폭기의 양단전압(5V/div)

그림 8(a)는 보조출력단 부하가 0.3A인 경우 V_{s2} 의 출력전압이고, (b)는 2A인 경우 V_{s2} 의 출력전압을 나타낸다. 그림 8(c),(d)는 자기증폭기의 양단전압을 측정함으로써 보조출력단의 부하가 0.3A(a)->2A(b)로 변동함에 따른 자기증폭기의 T_{on} 구간이 $0.4 \mu s(c)$ -> $0.7 \mu s(d)$ 로 변화되어 리액터 양단의 전압강하($V_{s2}-V_m$)가 변화되고 출력전압 V_{o2} 는 설정값에 추종하게 되어 보조출력단이 안정화 되는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 입력전압 220[V], 주출력 5[V]/5[A], 보조출력 12[V]/2[A], 스위칭 주파수 125[KHz]인 플라이백 컨버터를 설계하고, TL431을 이용하여 자기증폭기를 제어함으로써 도통손실을 줄여 효율을 높이고, 플라이백 컨버터에 자기증폭기를 적용하여 부품을 줄임으로써 경제성 및 소형·경량화 요구에 부합하였다. 또한, 분석의 타당성을 확인하기 위하여 Pspice를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 설계된 자기증폭기를 이용한 플라이백 컨버터 회로의 실험파형을 통하여 부하단의 안정화가 이루어지는 것을 확인하였다.

[참고 문헌]

- [1] Chau-Chun Wen, Chen-Lin Chen, Wei Chen and Jian Jiang, "Magamp post Regulator in Fly-Back Converter", Power Electronics Specialties Conference, PP. 333-338, 2001
- [2] Milan M. Jovanovic, Laszlo Huber, "Small-Signal Modeling of Magamp PWM Switch", Applied Power Electronics Conference, PP 922-928, 1997.
- [3] B. Mammano, "Magnetic Amplifier Control for Low-Cost, Secondary Regulation, Topic 7", Unitrode SEM-500, 1986.
- [4] C. Jamerson, A. Hosseini, "Techniques for Reduction of Control-Loop Interaction in Magamp Supplies", Magnetics Inc, Application Note, 1995.