

다출력 전원회로의 안정화를 위한 자기증폭기의 특성해석

김철진*, 이관용*, 홍대식*, 김영태**, 백수현***
 한라대학교*, 원주대학**, 동국대학교***

Analysis on the Characteristics of Magnetic Amplifier for Multi-output Postregulation

Cherl-Jin Kim*, Kwan-Yong Lee*, Dae-Shik Hong*, Young-Tae Kim **, Soo-Hyun Baek***
 Halla University*, Won-ju college**, Dongguk University***

Abstract - As a result of the recent advances in magnetic materials, the Magnetic Amplifier(Magamp) technique is one of the reliable and cost-effective postregulation method for multiple-output power supply. This is true for high-current postregulated output since at higher output current the efficiency of linear postregulation is unacceptably low, while the complexity of more efficient switch mode postregulator is associated with a significant cost. Magamp have some advantages of higher power density, simple control circuit, good regulation, high frequency and high performance.

In this paper, Operation principle of proposed approach and a performance of magamp control circuit with TL431 is described. The comparative analysis of magamp circuit and buck regulator circuit with 20W load condition is conducted. Experimental verifications on multi-output flyback converter are conducted. Simulations and experimental results show that the proposed approach is efficiency and voltage regulation of the auxiliary output is excellent.

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 충족 할 수 있지만, 이에 따른 스위칭 손실이 비례적으로 증가하는 문제점을 가지게 된다. 이에 따라 고주파대역에서 특성이 좋은 저손실, 고투자율의 재료가 개발되고, 일반화됨으로써 자기증폭기를 이용한 부하단 안정화 기술이 부각되는 추세이다. 이 기술은 다출력 전원회로의 2차단의 Cross Regulation를 고려하여 정밀한 부하단 안정화를 제공함으로써 기존의 부하단 안정기로 사용되는 선형안정기나 벽 안정기에 비해 높은 효율과 신뢰성을 갖기 때문에 다출력 전원공급 장치의 응용분야에 폭넓게 사용 되고 있다.

본 연구에서는 PWM제어로 주출력단을 안정화시킨 다출력 플라이백 컨버터의 보조 출력단에 가변정밀 병렬안정기인 TL431과 자기증폭기를 적용한 제어방식을 설계하였으며, 부하변동에 따른 자기증폭기의 동작 특성과 보조 출력단의 안정화를 확인하였다. 또한 자기증폭기의 시비를 변화를 실험과 시뮬레이션을 통해 검토하였으며, 벽 안정기와 자기증폭기를 적용한 안정기의 효율을 비교 분석하였다. 설계된 다출력 플라이백 컨버터를 통해 실험의 타당성을 제시하였다.

2. 회로 해석

2.1 다출력 플라이백 컨버터의 기본동작

그림 1은 자기증폭기를 적용한 다출력 플라이백 컨버터의 회

로를 나타낸다. 이 회로의 트랜스포머는 전압원과 필터의 역할을 하며, 포워드 컨버터에 비해 적은 수의 소자와 간단한 회로로 구성된다.

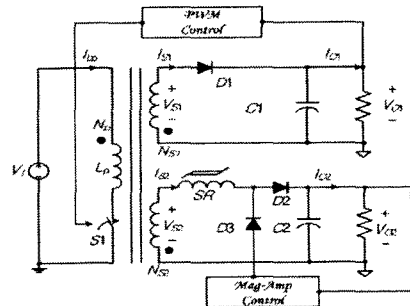


그림 1. 다출력 플라이백 컨버터의 회로

자기증폭기를 이용한 다출력 플라이백 컨버터의 출력동작은 스위치 S1의 On모드, Off모드로 구분된다. 스위치가 On 모드시 자기증폭기는 차단상태이며, 트랜스포머는 에너지를 축적한다. 스위치 Off 모드시 에너지는 자기증폭기가 포화될 때까지만 주출력(Vo1)으로 전달되며, 그 이후에 보조출력으로 동시에 전달된다. 이 회로의 주출력은 PWM 제어에 의해 안정화되고, 보조출력은 TL431의 출력에 따른 자기증폭기의 시비를 재어로 안정화된다.

2.2 자기증폭기의 동작원리 및 제어회로

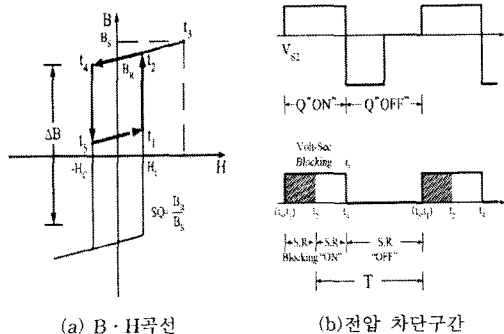


그림 2. 자기증폭기의 동작

다출력 전원회로의 부하단 안정기로 쓰이는 자기증폭기는 다음과 같은 특징을 갖는다. 그림 2(a)는 자기증폭기에 적용되는 자성체의 이상적인 B·H곡선을 나타낸다. 자기증폭기는 반도체 스위치와 같이 PWM 자기스위칭으로 스위칭 동작을 함으로써 출력단의 평균전압을 제어하기

때문에 보자력(H_2)이 적고 포화자속밀도(B_s)가 크며, 고 각형비의 특성이 요구된다. 자기증폭기의 동작은 $t_1 - t_2$ 구간은 고 임피던스로써 OFF 상태로 동작하며, $t_3 - t_4$ 구간에서 저 임피던스로써 ON 상태로 동작한다.

그림 2(b)는 자기증폭기 양단에 걸리는 차단전압을 나타낸다. 이 제어 방식은 부하 변동시 리셋전류의 변화에 따른 자기증폭기의 시비율($d = (t_4 - t_2)/T$)의 변화를 나타낸 동작 파형이다. 그림 3은 리셋 전류를 제어하기 위한 자기증폭기의 제어회로를 나타낸다. 출력의 안정화를 위한 제어회로는 TL431, 자기증폭기, PNP형 트랜지스터로 구성된다.

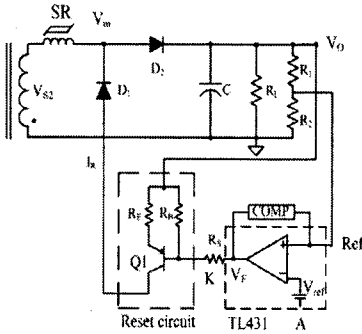


그림 3. 자기증폭기 제어회로

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

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

부하변동에 따른 출력전압은 식(1)로 산출할 수 있으며 만약 출력전압이 상승 한다면 R1과 R2에 의해 검출된 전압이 TL431의 Ref 단자에 인가되고, 내부 기준전압(V_{ref})과 비교하여 증폭된 오차만큼 TL431 내부의 NPN 트랜지스터에 인가되어 PNP트랜지스터의 베이스단에 전류의 증가로 인해 베이스 이미터간의 전위차가 증가함으로 이에 따라 컬렉터에 전류가 상승하여 V_m 의 전압이 상승한다. 결국 V_{s2} 와 V_m 의 전압차의 감소로 자기증폭기는 Off되어 출력전압의 상승을 억제한다. 출력 전압이 하강시 이와 반대의 작용으로 정전압이 유지된다.

또한 자기증폭기의 전압차단구간($t_3 - t_2 - t_1$)으로 ΔB 로 제어함으로써 부하변동에 따라 정전압을 유지할 수 있는데 이런 자기증폭기에 의해 발생하는 전압차단구간(t_3)의 전압을 페르데이의 법칙에 의해 수식(2)로 표현할 수 있다.

$$V_{sp} = N_m A_e \frac{dB}{dt} 10^{-8} \\ = N_m A_e \frac{(B_s - B_1)}{t_s} 10^{-8} \quad (2)$$

N_m = 자기증폭기의 권선수
 A_e = 자성체의 유효단면적, [cm^2]
 B_s = 포화자속밀도, [G]
 B_1 = 초기 자속밀도, [G]
 V_{sp} = 2차측 최대전압, [V]
 t_s = 차단시간[s]

여기서,

자기증폭기의 기술을 적용한 부하단 안정화방식이 기존의 선형안정기나 벽 안정기를 적용한 다출력 전원회로의 부하단 안정화방식에 비해 부하전류의 증가에 따른 응용분야의 제한과 신뢰성의 관점에서 대전류 응용분야에서 보다 효율적인 안정화를 이룰 수 있는 장점을 갖는다. 본 논문에서

는 다출력 전원회로에 자기증폭기를 적용한 사례와 벽 안정기를 사용한 회로의 입출력 전압, 전류를 실험을 통하여 비교함으로써 각 안정기별 효율을 검토하였다.

3. 시뮬레이션

자기증폭기를 적용한 회로를 Pspice를 통하여 시뮬레이션 한 회로는 그림 4이며, 파형은 그림 5(b)로 나타난다.

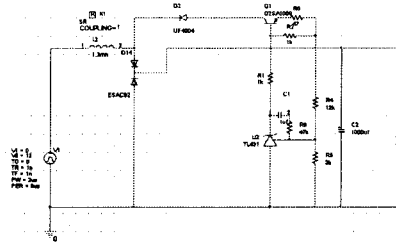
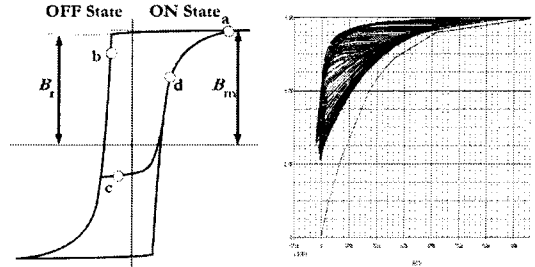


그림 4. 시뮬레이션 회로



(a) 이론적 곡선

(b) 시뮬레이션 곡선

그림 5. 자기증폭기의 B · H곡선

그림 5.(a)는 연속도통 모드시 부하 변동에 따른 자기증폭기의 이론적 자기력곡선의 이동경로를 나타낸 것이며, 그림 5.(b)는 이론적 곡선과 비교하기 위하여 시뮬레이션한 자기증폭기의 B · H곡선을 나타낸다.

4. 실험 결과 및 고찰

실험을 위하여 그림 1에 제시한 다출력 플라이백 컨버터를 기본으로 회로를 설계·제작하였으며 설계사양은 다음의 표1과 같다.

표 1. 설계 파라미터

입력전압(V_i)	90 ~ 220 [Vac]
입력주파수(f)	60 [Hz]
스위칭 주파수(f_s)	125 [kHz]
주 출력(V_{o1})	5 [V]/0 ~ 5 [A]
보조 출력(V_{o2})	12 [V]/0 ~ 2 [A]
부하(load)	0.3 ~ 2 [A]

부하 변동에 따른 자기증폭기의 양단의 전압파형은 그림 6으로 나타난다. 그림 6.(c),(d)는 자기증폭기의 양단 전압을 측정함으로써 보조출력단의 부하가 0.3A(a)에서 2A(b)로 변동함에 따른 자기증폭기의 전압차단 구간이 $0.4\mu s$ (c)에서 $0.7\mu s$ (d)로 변화함으로 리액터 양단의

전압강하($V_{S2}-V_m$)가 변동하여 출력전압 V_{O2} 는 설정 값에 추종하여 보조출력단이 안정화 되는 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 입력전압 220[V], 주출력 5[V]/5[A], 보조출력 12[V]/2[A], 스위칭 주파수 125[KHz]인 플라이백 컨버터를 설계하였다. 다출력 전원회로에 부하단 안정기로 TL431과 자기증폭기를 적용한 동작특성과 부하변동에 따른 시비율의 변화를 실험과 시뮬레이션을 통해 확인하였으며, 효율비교를 위해 동일한 부하조건(20W)으로 자기증폭기를 적용한 부하단과 벽 안정기를 사용한 회로의 실험을 통해 비교분석하였다. 이 조건에서 반도체 스위칭 방식의 벽 안정기를 적용한 회로에 비해 자기증폭기를 사용한 회로에서 자성체의 자화손실로 인해 약 5%의 효율저감이 발생함을 확인하였다. 이는 향후 고각형비의 자성체의 개발로 개선 될 것으로 사료된다. 해석의 타당성을 증명하기 위하여 Pspice를 이용한 시뮬레이션을 수행하였으며, 설계된 자기증폭기를 적용한 플라이백 컨버터 회로의 실험과형을 통해 부하단의 안정화가 이루어짐을 확인하였다.

[참고 문헌]

- [1] Chau-Chun Wen, Chem-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.
- [5] C. H. Yang, D. Y. Chen, C. Jamerson, and Y. P. Wu, "Stabilizing magamp control loop by using an inner-loop compensation.", IEEE Trans. Power Electron., vol.6, PP. 419-429, July 1991.
- [6] Abraham I. Pressman, "Switching Power Supply Design", PP. 331-412, 1998.
- [7] Keith H. Billings, "Switchmode Power Supply Handbook", PP. 2.174-2.190, 1999.
- [8] I. J. Lee, D. Y. Chen, Y. P. Wu, and C. Jamerson, "Modeling of control loop behavior of magamp post regulator." IEEE Trans. Power Electron., vol.5, PP. 476-483, Oct. 1990.

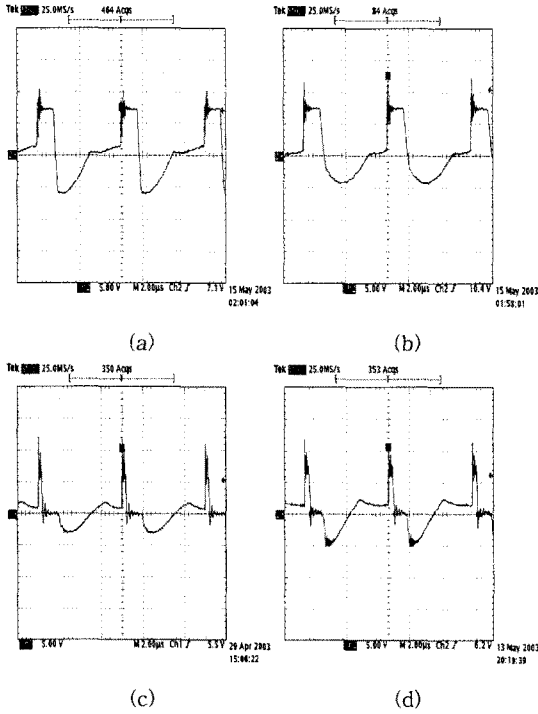


그림 6. (a) 0.3A인 경우 보조출력전압 V_{S2} (5V/div)
 (b) 2.0A인 경우 보조출력전압 V_{S2} (5V/div)
 (c) 12V 0.3A인 경우 자기증폭기양단전압(5V/div)
 (d) 12V 2.0A인 경우 자기증폭기양단전압(5V/div)

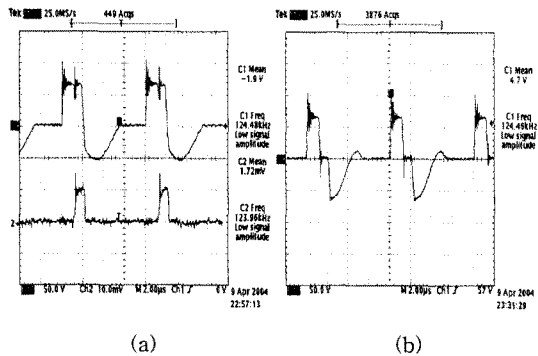


그림 7. (a) 보조출력단 입력전압, 전류(50V/div, 2A/div)
 (b) 자기증폭기 양단전압 (50V/div)

그림 7은 실험을 통해 얻은 보조출력의 입력전압과 전류 그리고 자기증폭기의 양단전압을 측정 한 결과이다. 그림 7.(a),(b)를 통해 입력전압이 자기증폭기에 차단되는 구간과 스위치로써의 역할을 확인할 수 있었다. 또한 동일 부하조건(20W)에서 부하단 안정기의 효율을 분석하기 위하여 벽 안정기를 적용한 회로와 자기증폭기를 이용한 회로의 출력력 전압과 전류를 측정하였다.

벽 안정기를 적용한 회로에 비해 자기증폭기를 사용한 회로가 자성체의 손실에 의해 약 5%의 손실이 추가로 발생하였다.