

직류 전동기의 저손실 구동을 위한 일정 주파수 제어형 영전압 스위칭 변환기의 구현

고문주\*, 박진홍\*\*, 한완옥\*\*, 이성백\*  
 \*광운대학교 전자공학과, \*\*여주대학 전자과

Implement of Constant-Frequency-Controlled Zero-Voltage-Switching Converter-fed DC Motor Drive for Low Power Loss

Ko Moon Ju\*, Park Jin Hong\*\*, Han Wan Ok\*\*, Lee Sung Paik\*  
 \*KwangWoon University, \*\*YeooJoo Institute of Techonology

**Abstract** - This paper proposes a constant frequency controlled zero voltage switching method that can reduce switching losses caused by emf on inductance in DC motor. The zero voltage switching method is used more than a zero current switching method because of reducing switching losses by capacitance of depletion region of MOSFET. To simplify the controller circuit, we propose constant frequency controlled zero voltage switching method in the paper. The control method is more stable than a variable frequency control method because it can optimize bandwidth of a closed-loop and reactances. Therefore, we construct a constant frequency controlled zero voltage switching converter and improve zero switching losses in high switching frequency. In the process, we can control low-losses in full range on variable voltage and load. We simulate the proposed converter with P-SPICE and compare results obtained through the experiment.

1. 서론

전력 변환기의 허용할 수 있는 범위 안에서 전류 리플을 유지하기 위해서는 전력 변환기가 높은 스위칭 주파수에서 동작될 필요가 있다. 기존의 하드 스위칭 기술에 의해 실현할 수 있는 스위칭 주파수의 증가는 스위칭 손실과 스위칭 스트레스의 증가를 가져온다. 이러한 스위칭 손실을 제거하기 위하여 변환기에 소프트 스위칭 기술을 적용하게 되었다. 최근의 소프트 스위칭 기술은 모터 드라이브의 전력 변환기에 대해서도 역시 발전되어 왔다. 직류 모터 드라이브를 위한 소프트 스위칭 변환기는 SMPS를 직접 적용할 수 있게 하기 위한 것들을 예측할 뿐만 아니라 가정되어져 왔다.

이 소프트 스위칭 변환기의 공통적인 특징은 영 전압 스위칭 이거나 영 전류 스위칭을 하기 위한 전력 장치의 전류와 전압 파형을 형성하는데 사용되는 공진 탱크가 존재한다는 것이다. 영전압 스위칭 방식은 MOSFET의 공핍층 커패시턴스로 인한 스위칭 손실을 제거할 수 있기 때문에 일반적으로 영전류 스위칭 방식보다 많이 사용된다.

가변 주파수 제어는 자기 성분을 최대한으로 이용하기 힘들기 때문에 바람직하지 않다. 더욱이, 전도되고 방사되는 잡음을 조절하기는 더욱 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 일정 주파수 제어로 실험하였다.

본 논문에서는 두 개의 스위치를 사용하여 직류전동기에 사용되는 일정 주파수 제어형 영전압 스위칭 변환기를 구현하였다. 제시한 변환기의 주요한 특징은 전 전압 변환과 전 부하 범위에 사용되고, 단락회로 동작의 수행

능력이 우수하고, 최소의 전압과 전류 스트레스를 가지며, 최소한의 하드웨어와 간단한 제어를 가진다.

2. 본론

2.1 제안한 변환기

그림 1은 두 개의 스위치를 사용한 일정 주파수 제어형 영전압 스위칭 변환기를 나타낸다.

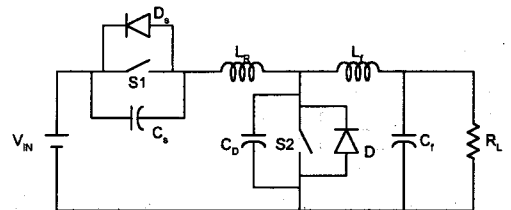


그림 1. 일정 주파수 제어형 영전압 스위칭 변환기

2.2 동작 원리

CF-ZV 변환기에 있어서, 두 스위치는 모두 영 전압에서 스위칭 한다. CF-ZV-MR 변환기는 부하 전 범위 내에서 영전압 스위칭이 가능하도록 제어하기 위한 각각의 모드를 설정할 수 있다. 이 각각의 모드에 대한 스위치 S1과 S2의 스위칭 알고리즘은 4가지 동작 모드로 분리할 수 있는데 다음과 같다.

- MODE 1 : . . . . . → 1-1 → 1-0 → 0-0 → 0-1 → . . . . .
- MODE 2 : . . . . . → 1-1 → 1-0 → 0-0 → 1-0 → . . . . .
- MODE 3 : . . . . . → 1-1 → 0-1 → 0-0 → 0-1 → . . . . .
- MODE 4 : . . . . . → 1-1 → 0-1 → 1-1 → 1-0 → . . . . .

여기에서 1은 스위치의 온, 0은 스위치의 오프 상태를 가리킨다.

각 모드 중 정격 부하에서 제어 가능한 모드 3에 대한 분석을 위하여 그림 2와 같이 CF-ZV-MR 변환기의 동작을 등가회로 할 수 있다.

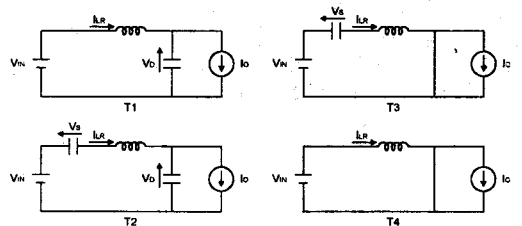


그림 2. CF-ZV-MRC의 모드3의 동작 등가회로

그림 2에서 보인 각각의 동작 상태의 출력특성은 그림 3과 같다. CF-ZV-MR 변환기는 모드 3의 (1-1)상태에서 초기화된다. S1이  $\theta = \theta_1$  인 영 전압에서 턴오

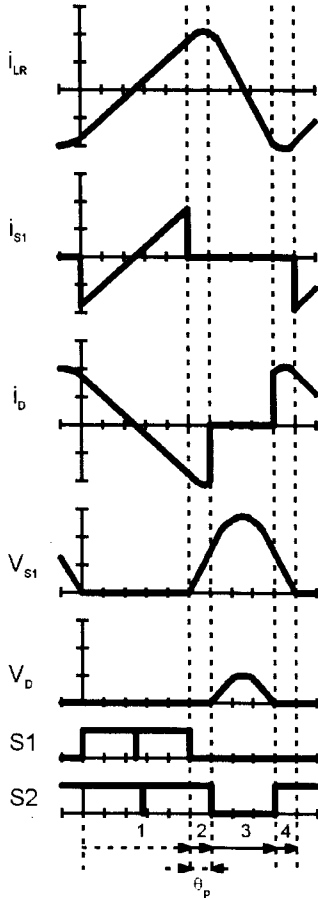


그림 3. MODE 3에서의 이론적인 파형

프될 때 (0-1)상태가 된다. 이때 커패시터  $C_R$  과 인덕터  $L_R$  은 공진 한다. S1 스위치 전압은 영에서 시작되고 준 정현적으로 증가한다. 변환기는 S2 스위치가  $\theta = \theta_2$  일 때 영전압에서 오프될 때까지 (0-1)상태를 유지하고, 그 이후 (0-0)상태가 된다. (0-0)상태는 세 공진 요소인  $C_R$ ,  $C_D$ ,  $L_R$  모두 공진을 발생시키는 요소가 되어 다중 공진 상태이다. (0-1)상태로부터 초기조건인  $V_{S1} > 0$ ,  $V_D = 0$  에 의해 다음 상태에서는 영으로 하강하는 S2 스위치 전압은 필수적이고, S2 스위치에서 역방향 평형 다이오드가 동작을 시작한다. (0-1)상태에서, S1 스위치 전압  $V_{S1}$  이 영에 가까이 감소하기 위해  $C_R$  과  $L_R$  이 계속 공진 하는 동안, S2 스위치 전압  $V_{S2}$  는 영으로 클램프된다. 스위칭 주기는 전압  $V_{S1}$  가 영에 도달할 때  $\theta = \theta_4$  에서 완료되고, 역방향 평형 다이오드가 S1 스위치에서 동작을 시작한다. (1-1)상태가 들어온 뒤에, S1 스위치 안의 트랜지스터는 S1 스위치 전류  $i_{S1}$  가 반대로 되기 전에 꺼지게 된다.

### 2.3 시뮬레이션 및 검토

일정 주파수 제어형 영전압 스위칭 변환기의 토폴로지는 모든 주요한 회로 기생요소에 영향을 받지 않고, 모든 스위칭 전이는 영 전압에서 일어나고, 전 부하범위와 전 전이범위에서 다루어 질 수 있어서 결국, 전압과 전류 스트레스는 저감된다. 이것이 일정 주파수 제어형 영전압 스위칭 변환기가 실험적 평가로 선택되어지는 이유이다.

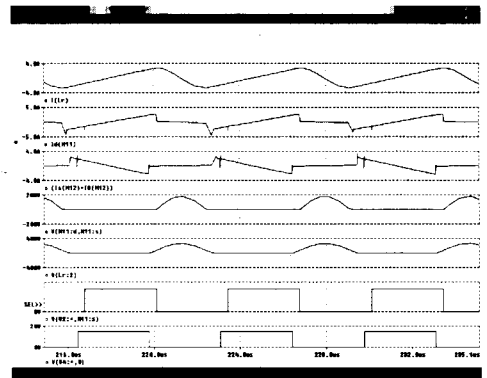


그림 4. MODE 1

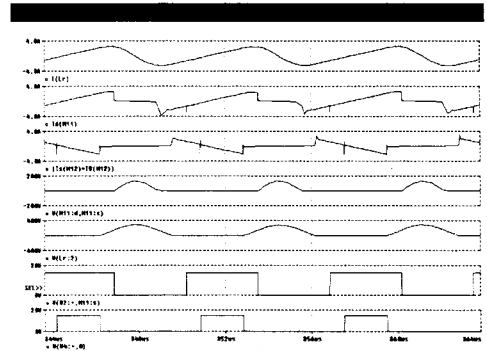


그림 5. MODE 2

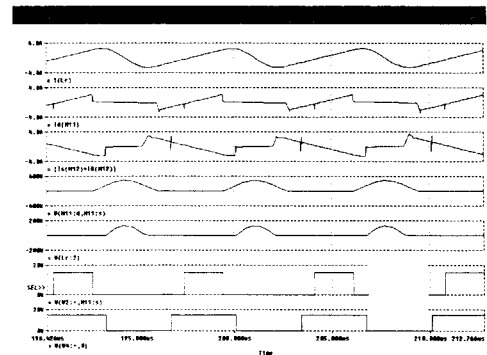


그림 6. MODE 3

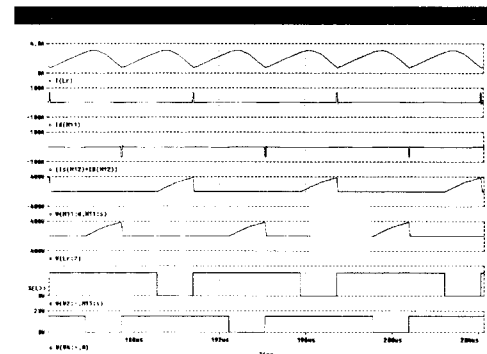


그림 7. MODE 4

그림 4, 5, 6, 7에서 나타난 MODE 1, 2, 3, 4의 동작으로부터 다음과 같은 사실을 알 수 있다. 변환기는 무부하에서 최대치 부하까지의 공칭 출력 전압에서 동작된다. 회로에서의 전체 전력 손실은 전 부하 범위에서 일정하므로, 최대치 효율은 최대치 부하에서 얻어진다. 양 스위치의 듀티비는 공칭 출력 전압에서의 최대치 출력 전류에 기인하는 값에서 일정하게 유지된다. 그렇게 되면, 출력 부하는 개방 회로에서 단락 회로로 바뀌게 된다. 최대치 출력 전류가 초과된 이후에 일정 전류원과 같이 동작한다. 그래서, 출력 단락 회로 전류는 최대치 공칭 부하 전류보다 단지 조금 더 높을 뿐이다. 변환기에서의 전력 손실은 부하범위 전체에 걸쳐 거의 일정하다. 그래서, 출력이 잘리게 되면, 입력원으로부터 얻은 전력은 무부하 조건에서 얻은 전력과 거의 비슷하다.

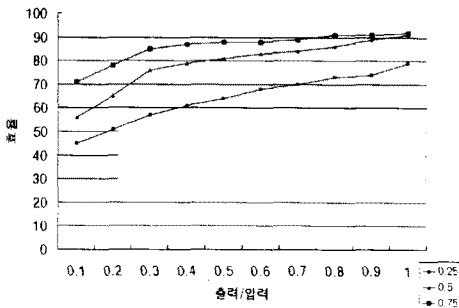


그림 8. 효율 상태도

그림 8에서 보여지는 것처럼, 일정 주파수 제어형 영전압 스위칭 변환기의 동작 효율은 직류 모터의 다른 부하 전류를 가진 전압 변환에 반대로 설계되어진다. 따라서, 효율은 주요한 동작 범위에 대해서 높고, 특별히 높은 부하에서 출력 전압이 낮은 곳인 낮은 속도 범위에 대해서 낮은 관계가 있다.

시뮬레이션 파형이 이론적 파형과 일치한다는 것을 알 수 있다. 또한, 두 전력 스위치가 다른 전압 변환기, 다른 부하, 높은 전압 높은 전류, 높은 전압 낮은 전류, 낮은 전압 높은 전류, 낮은 전압 낮은 전류, 무 부하(개방회로)와 고정된 회전자(단락회로) 조건에 대해 일정 주파수 영전압 스위칭 동작을 유지할 수 있다는 것이 검증되었다.

### 3. 결 론

일정한 주파수 준 공진 변환기는 다이오드 스위치를 제어 가능한 정류기로 대체함으로써 어떠한 준 공진 토폴로지에서도 구성되어진다. 제어 가능한 정류기는 전 부하범위에서 일정한 주파수 동작을 위해 필요한 추가적인 독립 제어기로 제공된다. 제안된 변형은 모든 준 공진 변환기의 종류에 적용할 수 있고, 실용적인 관심이 모아지는 많은 수의 새로운 동작모드가 있다.

이 변환기는 실용적인 영점 스위칭 손실과 가변 주파수 동작을 하지 않으며 높은 스위칭의 일정 주파수 수행의 장점을 가질 뿐만 아니라, 전압 및 부하 변화의 전 범위에 걸쳐 제공된다. 최대치 출력 전류에 이른 후에는 일정한 전류원처럼 동작하므로, 변환기는 어떠한 추가적인 보호 장치 없이도 무 부하와 단락회로 조건에서 제어가 가능하다.

#### [참 고 문 헌]

[1] K.T.Chau, T.W.Ching and C.C.Chan, "Constant Frequency Multi Resonant Converter Fed DC Motor Drives", Proc. IEEE IECON, pp.78-83.

1996.

[2] M.M.Jovanovic, "resonant, quasi resonant, multi resonant and soft switching techniques merits and limitations," J Electron., vol. 77, 1994, pp. 537-554.

[3] D.Maksimovic and S.Cuk, "Constant frequency control of quasi resonant converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 6, 1991, pp. 141-150, 1991

[4] K.T.Chau, "A new class of pulsewidth modulated multi resonant converters using resonant inductor freewheeling," J Electron., vol. 77, 1994, pp. 703-714.