

# 운동레벨 조절이 가능한 간단한 자가발전 운동기구용 DCM 플라이백 컨버터

최윤석, 유혜미, 이정준, 김상연, 강경수, 노정욱  
국민대학교 전자공학과

## A Simple DCM Flyback Converter For Self Generation Exercise Machine Having Exercise Level Control Function

Youn-Seok Choi, Hye-Mi Yoo, Jeong-Jun Lee, Sang-Yeon Kim, Kyung-Soo Kang, Chung-Wook Roh

Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

### ABSTRACT

기존 자가발전 운동기구용 컨버터의 경우, 운동레벨을 조절하기 위한 입력임피던스 조절기능이 없거나, 조절기능을 추가하는 경우 복잡한 topology를 동반되는 경우가 일반적이다. 또한 복잡한 회로를 추가하게 되면 회로의 전체적인 부피가 증가하고, 원가가 상승할 뿐만 아니라, 회로의 신뢰성도 현저하게 저하시키는 등 회로 상용화를 어렵게 만든다.

본 논문에서는 입력 전압 및 전류 제어 방식을 이용하지 않고, 컨버터 구조 자체로 입력 임피던스를 제어하는 방식을 제안한다. 제안 방식은 입력전압, 입력전류 두 가지의 제어를 실행하지 않음으로써 복잡한 피드백 제어 단의 삭제가 가능하며, 이를 통해 회로의 높은 신뢰성 및 부피, 원가 감소 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 Flyback 컨버터를 이용하여, 이론적 특성 분석과 200W급 시작품을 통한 실험적 분석을 통해 그 타당성을 검증한다.

### 1. 서론

기존의 페달형 운동기구는 가변 저항을 사용하고 그 크기에 따라 운동 레벨을 조절한다. 이 경우 발생한 모든 에너지는 열 에너지로 소모된다. 이를 해결하기 위해 컨버터를 이용하여 입력 전압/전류를 제어하여 가변저항 대신 입력 임피던스를 증가적으로 보이게 하여 컨트롤 하는 그림 1의 방식이 개발되었지만 복잡한 제어구조로 인해 신뢰성이 저하되고 원가가 상승되는 부작용이 발생한다.

본 논문에서는 입력 전압 및 전류 제어 방식을 이용하지 않아 추가적인 복잡한 제어단이 필요 없는, DCM Flyback 컨버터 전달식을 이용한 입력 임피던스를 컨트롤 하는 방식을 제안한다. 따라서 제안된 방식은 기존의 topology에 비해 높은 신뢰성을 보장하며 부피 및 원가는 저감되는 장점을 갖는다.

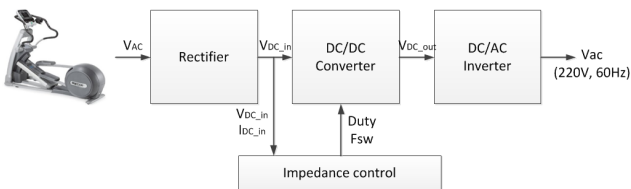


그림 1. 기존 임피던스 제어 자가발전 운동기구의 블록도

### 2. 제안된 DCM 플라이백 컨버터 구현 방안

그림 2은 제안된 플라이백 컨버터를 포함한 계통 연계형 자가발전 운동기구의 블록도이다. 제안 회로는 Rectifier를 지나 정류된 전압 및 전류를 저항에 의한 전력소모 없이 인버터로 전달한다. 이 과정에서 플라이백 컨버터의 입력 임피던스를 조절하기 위해 입력 전압과 입력 전류 센싱과 Close loop 제어를 하지 않고 스위칭주파수 Fsw와 Duty를 통해 Open loop로 간단하게 제어한다.

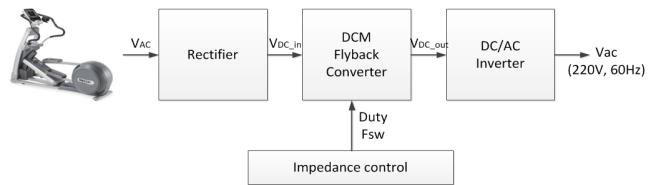


그림 2. 제안 플라이백 컨버터를 포함한 자가발전 운동기구의 블록도

#### 2.1 제안된 DCM 플라이백 컨버터의 입력 임피던스 제어 원리

그림 3의 플라이백 컨버터회로에서 입력전압  $V_{IN}$ 에 의해 입력된 에너지는 자화인덕턴스  $L_m$ 에 흐르는 DCM(discontinuous Conduction Mode)형태 전류로  $L_m$ 에 저장된다. DCM에서 이상적으로 모든 입력전력은  $L_m$ 에 저장되어 2차 측으로 전달되기 때문에 입력전력과  $L_m$ 에 저장된 전력은 같기 때문에 이를 임피던스로 식 (1)와 같이 표현할 수 있다. 이 때  $L_m$ 은 설계 과정에서 결정되는 인덕턴스이기 때문에 Duty  $D$ 와 주기  $T_s$ 를 조절하여 피드백 제어 없이 원하는 입력 임피던스  $R_e$  값을 만들어 낼 수 있다.

$$R_e = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} = \frac{2L_m}{D^2 T_s} \quad (1)$$

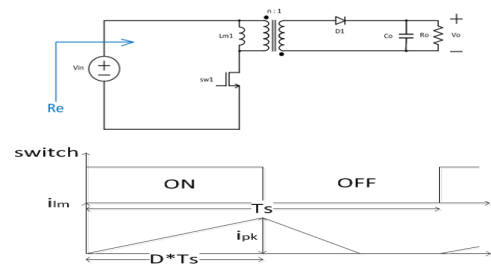


그림 3. DCM 플라이백 컨버터 회로도 및  $i_{Im}$  파형

## 2.2 DCM 인터리브드 플라이백 컨버터의 입력 임피던스 제어 원리

인터리브드 플라이백 컨버터는 일반 플라이백 컨버터와 다르게 두 개의 트랜스와 스위치, 다이오드를 사용하며, 스위치 두 개가 정확히 180도의 위상차를 갖으며 온오프를 반복한다. 이를 통해 스위치, 인덕터, 트랜스, 다이오드 등에 흐르는 전류의 크기가  $\sqrt{2}$  배 줄어드는 이점이 있다. 따라서 소자 스펙이 낮아지기 때문에 소형화가 가능하고 가격적인 이득을 볼 수 있다. 단, 두 개의 플라이백이 병렬로 보이며 입·출력을 공유하는 형태와 같아서 입력 임피던스는 식 (1)로 제어된다. 또한 전압 증폭률은 일반 Flyback converter의  $\sqrt{2}$  배인 식 (2)가 된다.

$$R_e = \frac{L_m}{D^2 T_s} \quad (1)$$

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{D\sqrt{2}}{\sqrt{\frac{2L_m}{R_o T_s}}} \quad (2)$$

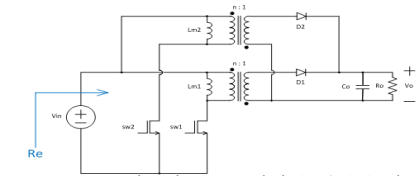


그림 4. DCM 인터리브드 플라이백 컨버터 회로도

## 3. 실험 결과

DCM 인터리브드 플라이백 컨버터의 입력 임피던스 제어 성능을 검증하기 위해 300W급 회로에 대한 시뮬레이션과 시작품을 제작하여 실험하였다. 설계를 위한 입출력 사항 및 주요 파라미터는 아래와 같다.

- Input voltage Range : 10~30V, 100Hz
- Max Output Voltage : 70V
- 300W급
- Switching Frequency fsw : 5KHz~50kHz
- Transformer : Lm=50uH, 권선비 1 : 1
- Output Capacitor : 100uF
- PWM IC : TL494
- Control method : Open loof control

그림 5는 DCM 인터리브드 플라이백 컨버터의 입력 임피던스 제어 회로 시뮬레이션 파형이다. 흔들리는 입력 전압에서도 일정하게 입력 임피던스를 유지하며 Fsw에 따라 원하는 입력 임피던스 2, 5, 10ohm을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

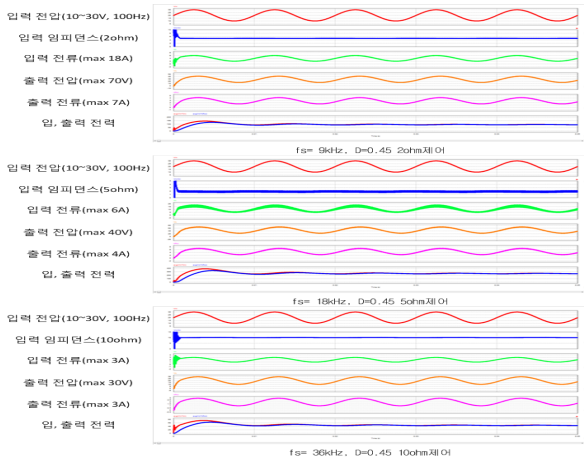


그림 5. DCM 인터리브드 플라이백 컨버터의 입력 임피던스 제어 시뮬레이션 파형

그림 6는 DCM 인터리브드 플라이백 컨버터 시작품과 폐달형 자가발전 운동기구를 연동하여 실험한 파형이다. 시뮬레이션과 마찬가지로 폐달형 자가발전 운동기구의 흔들리는 입력을 받아 원하는 2, 5 10ohm의 입력 임피던스를 유지함을 검증하였다.

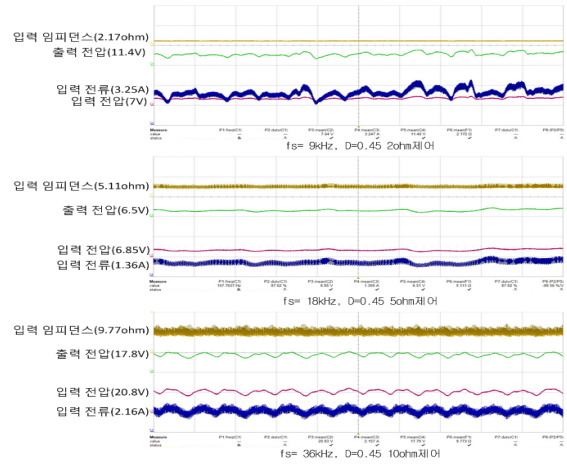


그림 6. DCM 인터리브드 플라이백 컨버터 시작품의 입력 임피던스 제어 실험 파형

## 4. 결론

본 논문에서는 입력 전압 및 전류 제어 방식을 이용하지 않고, DCM 플라이백 컨버터의 전달식을 이용하여 입력 임피던스를 제어하는 방식을 제안한다. 기존 입력 임피던스 제어 컨버터의 경우 복잡한 제어방식과 높은 회로 복잡도로 인해 신뢰성이 낮고 원가가 상승되는 단점이 존재한다. 반면, 제안 방식의 경우 입력 전압, 전류 제어를 실행하지 않음으로써 복잡한 피드백 제어 단의 삭제가 가능하며, 이를 통해 회로의 높은 신뢰성 및 부피, 원가 감소의 장점이 있다.

따라서 계통연계형 자가발전 운동기구를 더욱 간단하고 저렴하게 구현 가능하며 생산된 전력을 단순히 열로써 소모하는 것이 아닌 계통에 연계하여 높은 회수율로 전력을 회수할 수 있게 된다. 이를 통해 생체정보 측정 및 운동 상태를 모니터링하여 전문 트레이너와 같이 스포츠 과학 기반의 평가 및 처방을 제공할 수 있으며 지구 온난화와 석유 자원 고갈 문제에 직면한 현대사회에서 화석연료 사용을 줄이고 환경 친화적이고 지속 가능한 인간 동력 에너지원을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

이 논문은 국민대학교의 교내 연구비 지원과 중소기업청 연구과제 지원(과제번호 C0277364)에 의하여 연구되었음

## 참고 문헌

- [1] Byungcho Choi, Fundamentals of PWM DC-to-DC Power Conversion, Second Edition, Guardianbook Publishing Company, Inc. pp. 143-152, 2015.