

운동강도 조절이 가능한 계통연계 자가발전 운동기구용 DC/DC 컨버터

이정준, 강경수, 김다솜, 김세민, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Possible controlled Exercise intensity DC/DC converter for grid-interconnected Exercise equipment of private power generation

Jeongjun Lee, Kyung-Soo Kang, Dasom Kim, Semin Kim, Chung-Wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

기존 자가발전 운동기구의 경우, 가변저항을 사용하여 운동 강도를 조절하기 때문에 Generator에서 생성된 에너지가 모두 소모되는 문제점이 있다. 또한 계통연계형 자가발전 운동기구의 경우에는 에너지 회수는 가능하지만 운동 강도 조절이 불가능한 단점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 계통연계를 통해 에너지 회수가 가능하고, 운동 강도 조절이 가능한 자가발전 운동기구용 DC/DC 컨버터를 제안한다. 제안회로는 가변저항을 사용하지 않고 입력임피던스를 통해 운동 강도를 조절하기 때문에 높은 에너지를 생성할 수 있고 계통연계를 통해 에너지 회수도 가능한 장점이 있다. 본 논문에서는 제안된 회로의 이론적 특성을 분석하고 모의실험을 통해 확인하였으며, 계통연계형 자가발전 운동기구에 적용하여 실험을 통해 우수성을 검증하였다.

1. 서론

지구 온난화와 석유 자원 고갈 문제에 직면한 현대에서는 화석연료 사용을 줄이고 환경 친화적이고 지속 가능한 에너지를 확보하기 위한 노력이 전 방위적으로 이루어지고 있다. 태양광 패널이나 풍력과 같은 재생에너지 기술의 연구는 활발히 진행되고 있으나, 인간 동력을 이용한 에너지 발전 기술에 대한 연구는 미비한 실정이다. 헬스장 등에서 흔히 볼 수 있는 페달형 운동기구는 인간 동력 에너지로 비교적 많은 회전 에너지를 생산하나, 기구 동작 원리상 대부분의 에너지는 열에너지로 버려지는 상황이므로 버려지는 에너지를 회수하기 위해 자가발전 운동기구용 DC/DC 컨버터의 개발이 필요하다.

2. 제안 입력임피던스 조절이 가능한 부스트 컨버터

2.1 입력 임피던스 제어기능

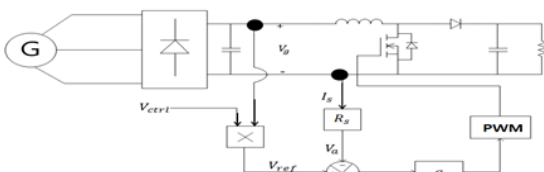


그림 1 Boost converter 입력임피던스 세부제어 회로도

그림1은 Boost converter 입력임피던스 세부제어 회로도이다. 그림에서 보이듯이 입력 전압 V_g 와 입력 전류 I_S 를 받는다. 입력 임피던스는 입력전류와 입력전압의 관계식에 의해 다음과 같다.

$$R_e = \frac{V_g}{I_S} \quad (1)$$

외부에서 제어신호 V_{ctrl} 을 받아들이면 입력전압 V_g 와 비교하여 V_{ref} 를 생성한다. 입력전류 I_S 는 저항 R_S 를 통과하면서 전압 V_a 를 생성한다. 생성된 V_{ref} 와 V_a 는 비교기로 들어가 서로의 값을 비교 한 후 출력 G_S 를 만들고 이 신호가 sawtooth 파형과 비교되어 PWM출력을 Gate로 보내 입력전압에 의해 입력전류를 제어한다.^[2]

$$V_{ref} = k_x V_g V_{ctrl} \quad (2)$$

$$V_a = I_S R_S \quad (3)$$

$$V_a = V_{ref} \quad (4)$$

$$R_e = \frac{R_s}{k_x V_{ctrl}} \quad (5)$$

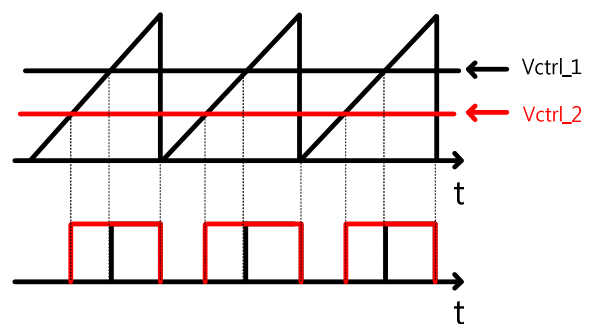


그림 2 sawtooth 비교 파형

그림2는 앞서 말한 출력 G_S 가 외부입력 V_{ctrl} 에 영향을 받을 때를 나타낸 비교파형이다. V_{ctrl} 이 High신호가 들어오게 되면 PWM신호는 그래프에서 검은색 파형을 생성하며 Duty 신호가 작게 나간다. 이 때 같은 V_g 조건에서 I_S 가 작으므로 입력임피던스가 커지게 된다. 반대로 V_{ctrl} 이 Low신호가 들어오게 되면 PWM신호는 붉은색 파형을 생성한다. 이 때 같은 V_g 조건에서 I_S 가 크게 되므로 임피던스가 작아지게 된다.

실제 회로조건에서 기본 입력임피던스는 1ohm으로 설정하였다. 위 설계식에 맞춰서 대입하면

$$I_s R_s = V_g \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (6)$$

$$R_e = \frac{V_s}{I_s} = R_s \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = 1 \quad (7)$$

$R_s = 0.1\Omega$ 로 설정하여 $R_1 = 9R_2$ 가 되므로 R_1 이 R_2 의 9배가 되도록 설계한다.

2.2 출력전압 제어 기능

계통연계형 자가발전 운동기구는 계통연계형 인버터를 사용하기 때문에 Boost의 출력전압은 인버터의 동작조건 범위에 있어야 한다. 하지만 인버터가 동작하기전 무부하상태가 되면 출력전압이 상승하게 된다. 따라서 Boost의 출력전압이 인버터의 동작조건 범위에서 있도록 하기 위해 TL494를 이용하여 Boost의 출력전압을 제어하는 방법을 제안한다.

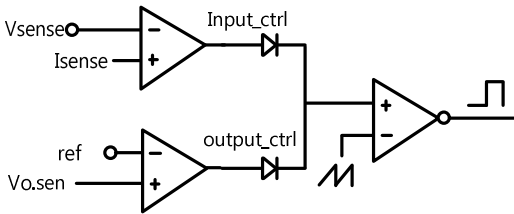


그림 4 input, output 비교 모형

그림4는 input impedance 비교와 output voltage 비교 과정을 나타낸 그림이다. 위 그림에서 보이듯이 TL494를 이용하여 입력 임피던스, 출력전압을 모두 센싱받는다. 입력 임피던스의 비교 결과를 Input_ctrl이라고 하고, 출력전압의 센싱결과를 Output_ctrl이라고 한다. 출력전압이 설정한 값보다 낮을 경우 Output_ctrl의 출력이 Input_ctrl의 출력보다 낮게 되고 이 결과는 Or연산을 통해 PWM생성 신호의 +단자로 들어가게 된다. 본 실험에서는 V_o 를 55V로 설정하였다

3. 실험 결과

본 논문에서는 제안된 Impedance control boost converter를 검증하기 위해 최대 200W동작이 가능한 boost converter 시작품을 제작하여 실험하였다.

표 1. Impedance boost 동작조건 및 인버터 동작조건

Boost 동작		인버터 동작	
Input voltage	5~50V	Input voltage	22~60Vdc
Output power	10~200W	Max power	300W
Output voltage	10~70V	Output voltage	190~260Vac
inductor	200mH		
Switching frequency	50kHz		

그림 5-a는 운동기구를 이용하여 직접 회로를 동작시켰을 경우 최초 운동 강도 조건에서의 실험 파형이다. 기본 동작조건에서 입력 임피던스는 1ohm조건으로 제어하도록 설계하였다.

그림 5-b는 V_{ctrl} 을 이용하여 제어 조건을 변화를 시켰을 때 입력 임피던스가 조절되는 지를 확인한 실험 파형이다. V_{ctrl} 이

커질수록 입력 임피던스는 커짐을 실험을 통해 확인하였다.

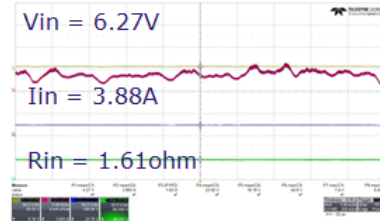


그림 5-a 임피던스 제어 부스트 컨버터 기본 동작시 입력전압, 입력전류, 입력 임피던스 실험 파형

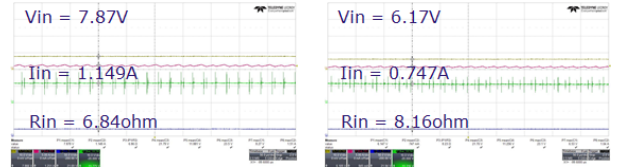


그림 5-b 임피던스 제어 부스트 컨버터 V_{ctrl} 조건 변화 시 입력전압, 입력전류, 입력 임피던스 실험 파형

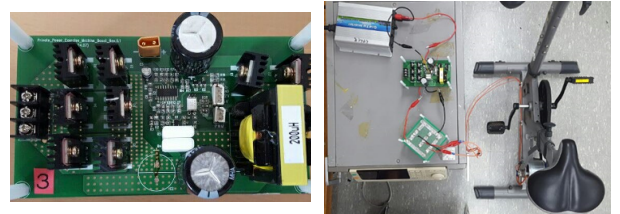


그림 6 Impedance control boost converter 회로 보드와 실제 운동기구와 연동 실험

그림 6은 입력임피던스를 제어하는데 사용된 부스트컨버터와 계통에 연동하여 전력을 회수하는데 사용된 인버터이다. 입력 임피던스를 제어하기 위하여 PWM IC인 TL494와 전류를 센싱을 위해 INA168을 사용하였다.

4. 결론

본 논문에서는 임피던스 조절이 가능한 Boost converter를 제안하였다. 시작품을 통하여 V_{ctrl} 을 통해 입력임피던스의 조절이 가능함을 검증하였다. 또한 인버터를 이용하여 전력이 회수되는 것도 실험을 통해 확인하였다.

이 논문은 중소기업청의 기술개발사업 (C0277364)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] Kristian Lindberg-Poulsen, Michael A. E. Andersen, Arnold Knott, Thomas Andersen, "Energy harvesting from an exercise bike using a switch-mode converter controlled generator", IEEE ICSET 2010, 6-9 Dec 2010 pp1-3
- [2] Nicholas Keith Lovgren. ENERGY HARVESTING FROM EXERCISE MACHINES: FORWARD CONVERTERS WITH A CENTRAL INVERTER, In Partial Fulfillment, Inc. pp. 99-102, June 2011.