

전자기 에너지 하베스트용 전력변환기 손실 모델링

정가준, 배형진, 안현성, 차한주
충남대학교 전기공학과

Loss Modeling of Power Converter Stage for Electromagnetic Energy Harvester

Jiajun Ding, Hyungjin Bae, Hyunsung An, Hanju Cha
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문은 타이어에 적용되는 전자기 에너지 하베스팅 시스템에서 손실 요소를 포함하여 전력변환장치 모델링 하였고, 시뮬레이션과 실험 결과를 비교 분석하여 모델을 검증하였다. 전자기 발전기의 AC 출력은 풀브리지 정류기를 이용해 DC로 변환하였으며, DC DC 부스트 컨버터를 이용해 전압을 승압하여 배터리를 충전하였다. 전력변환에서 미소 전력을 배터리로 전달하기 위해 에너지 관점에서 해석하였고, 간헐적인 에너지 전달을 이용해 에너지 하베스팅을 구현하였다. 설계된 모델은 전류 제어를 통해 실험과 유사한 입력 및 출력 조건에서 시뮬레이션하였고, 컨버터의 데이터 시트 정보와 비교하여 3% 이내의 오차를 확인하여 제안된 손실 모델을 검증하였다.

1. 서론

최근 전력전자 기술의 발전으로 무선센서 및 마이크로 전자 기계 시스템(MEMS: Micro Electro Mechanical System)과 같은 기술이 급속도로 발전하고 있다. 하지만 기존의 전력 공급 방식이 소형화 및 경량화의 한계성을 갖기 때문에 새로운 전력 공급 방식으로써 에너지 하베스팅이 주목을 받고 있다. 에너지 하베스팅이란 일상 속에 존재하지만 의식하지 못했던 열, 진동 등과 같은 에너지를 전기 에너지로 변환하여 수확하는 기술이다. 에너지 하베스팅의 미소 전력은 작은 전력 손실에도 큰 영향을 받기 때문에, 전력 손실 모델링에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 전자기 발전기(Electromagnetic Generator)^[1]를 이용하여 타이어의 진동에너지를 전기에너지로 변환하였다. 또한, 에너지 하베스트용 전력변환기의 전력 손실을 고려하여 시뮬레이션으로 모델링하였고^[2], 실험 결과와 비교하여 전력변환기 손실 모델을 검증하였다.

2. 에너지 하베스트용 전력변환기

그림 1은 타이어 내부에 부착된 전자기 발전기의 기계적 구조이며 질량 M, 댐핑 상수 D, 스프링 상수 K 등으로 표현된다. 타이어와 지면이 접촉하는 순간 가해지는 힘에 따라 질량 M의 변위가 발생하게 된다. 그 결과 코일과 자석의 움직임은 패러데이 법칙에 의해 코일에 전류를 흐르게 하며, 이 원리를 이용하여 진동에너지를 전기에너지로 수확한다.

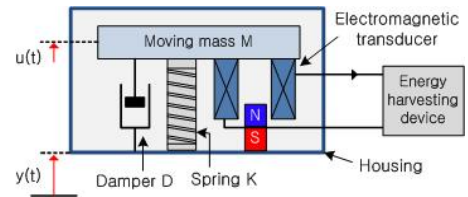


그림 1 전자기 발전기의 기계부 구조
Fig. 1 Mechanical structure of electromagnetic generator

2.1 에너지 하베스트용 전력변환기 구조

그림 2는 에너지 하베스트용 전력변환기의 구조를 나타내며 전력변환기는 풀브리지 정류회로, DC DC 부스트 컨버터, 배터리로 구성된다. 전자기 발전기의 AC 출력전압은 정류회로를 통해 DC로 만들어지며, DC DC 부스트 컨버터를 통해서 전압을 승압시키고 배터리를 충전하였다. 배터리는 타이어 내부의 센서 모듈과 연결되어 전원을 공급하는 역할을 해준다.

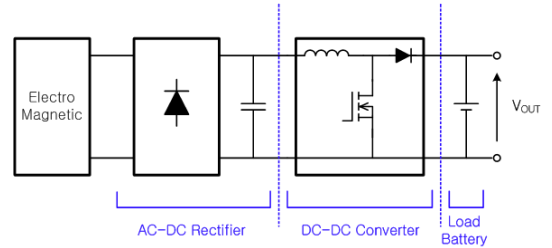


그림 2 에너지 하베스트용 전력변환기 구조
Fig. 2 Structure of power converter stage for energy harvester

2.2 간헐적 에너지 하베스팅 기법

전자기 발전기의 미소 출력은 전력변환기의 손실 요소에 의해 배터리를 충전시키지 못하고 전력을 변환 손실로써 소모하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 부스트 컨버터의 동작과 동작 정지 전압레벨을 이용하여 일정 에너지가 확보됐을 때 컨버터를 동작시켜 배터리를 충전시키는 간헐적인 에너지 하베스팅 기법을 사용하였다.

그림 3은 간헐적 에너지 하베스팅 기법에서 입력 커패시터 전압을 나타낸다. 전압이 계단식으로 증가하는 구간은 부스트 컨버터가 동작하지 않고 전자기 발전기가 입력 커패시터를 충

전하는 구간이며, 전압이 선형적으로 감소하는 구간은 부스트 컨버터가 동작하여 배터리를 충전하는 구간이다. 이때, 커패시터의 전압 기울기가 일정하기 때문에 부스트 컨버터에 입력되는 전류는 일정하다. 본 논문에서는 전류가 일정한 구간에서 전력변환기 손실 요소를 모델링하였다.

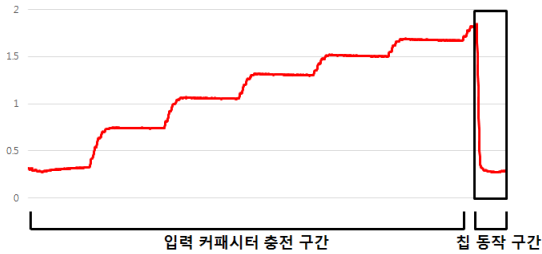


그림 3 간헐적 에너지 하베스팅 기법에서 입력 커패시터 전압
Fig. 3 Input capacitor voltage on intermittent energy harvesting method

2.3 전력변환기 손실 모델 구현

에너지 하베스팅 시스템의 소형화 및 경량화를 위해서 SMD 타입의 인덕터와 부스트 컨버터를 사용하였다. SMD 타입의 인덕터는 큰 내부 저항을 갖으며, 부스트 컨버터는 입력되는 전압에 따라 스위칭 손실이 다르다. 이 점을 고려하여 전력변환기 손실 모델을 그림 4와 같이 설계하였다. R_L 은 인덕터의 저항 성분이며, R_D 는 다이오드의 저항, R_S 는 MOSFET 온 상태에서의 저항이다.

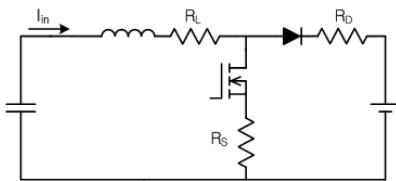


그림 4 전력변환기 손실 모델링
Fig. 4 Loss modeling of power converter

2.4 전력변환기 손실 모델링 비교

부스트 컨버터의 출력 전압이 3.3V일 때, 입력 전압이 1.2V, 1.8V, 2.4V인 세 가지 조건을 설계된 전력변환기 손실 모델에 적용하여, 부스트 컨버터(LTC3526L) 데이터 시트의 손실 데이터와 비교하였다. 표 1은 부스트 컨버터의 손실/효율 데이터이며 표 2는 손실 모델이 적용된 전력변환기 손실/효율 시뮬레이션 결과이다.

표 1 부스트 컨버터 손실/효율 데이터
Table 1 Loss/efficiency data of boost converter(LTC3526L)

입력 전압	전력 손실	효율
1.2 V	20mW	85%
1.8 V	22mW	90%
2.4 V	21mW	92%

표 2 전력변환기 손실/효율 시뮬레이션 결과
Table 2 Result of loss/efficiency simulation for power converter

입력 전압	전력 손실	효율
1.2 V	20.63mW	85.2%
1.8 V	21.56mW	89.7%
2.4 V	21.9mW	92.13%

2.5 실험과 전력변환기 손실 모델링 비교

실험에서 타이어는 40km/h의 속도에 돌리며, 배터리의 전압은 3.7V이다. 그림 5는 입력 커패시터 전압을 나타낸다. 부스트 컨버터는 입력 커패시터 전압이 1.8V 때 동작하며, 0.3V 때 동작 정지한다.

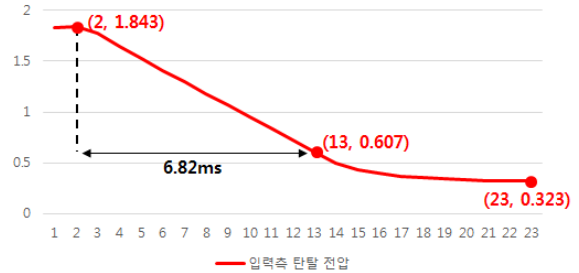


그림 5 컨버터 동작 구간에서 입력 커패시터 전압
Fig. 5 Input capacitor voltage on converter enable region

그림 5의 전압 선형 구간에서 커패시턴스와 전압변화로 컨버터 입력되는 전류를 계산하였고, 전력변환기 손실 모델을 구현하였다. 그림 6은 실험과 동일한 조건의 시뮬레이션 결과이다. 전력 손실은 50.0mW 정도이며, 입력 전압에 따라 효율은 56.3%로 떨어진다.

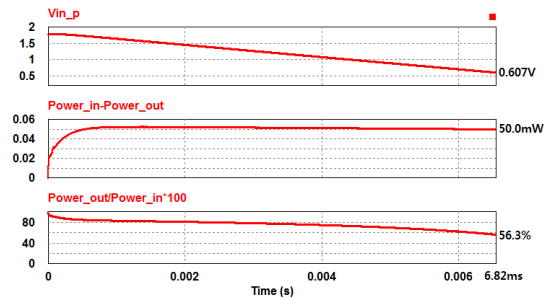


그림 6 배터리 부하의 경우에 시뮬레이션의 결과
Fig. 6 Result of simulation for battery load

3. 결론

본 논문에서는 타이어에 적용되는 전자기 에너지 하베스팅 시스템의 전력변환기 손실 요소를 모델링하고 검증하였다. 전력변환기 손실 모델링 에너지 전달의 전력 손실은 3.3V 출력 전압 조건에서 실험에 이용된 컨버터의 데이터 시트 정보와 비교하여 3% 이내의 오차 범위를 갖는 것을 확인하여 제안된 손실 모델을 검증하였다. 또한 전력변환기 손실 모델을 실험 조건과 맞추고 간헐적인 에너지 하베스팅을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] E.Arroyo, A.Badel, "Electromagnetic vibration energy harvesting device optimization by synchronous energy extraction", *Sensors and Actuators A: Physical*, A 171, 266 273, 2011
- [2] Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic, "Fundamentals of Power Electronics. Second Edition", Secaucus, NJ, USA: Kluwer Academic Publishers, 42 56, 2000