

차량용 현가장치 적용 에너지 하베스팅을 위한 전력변환 시스템에 관한 연구

이진규¹⁾²⁾, 안민혁²⁾, 박병건^{*1)2)}

과학기술연합 대학원대학교¹⁾, 한국전기연구원^{*2)}

A study on Power Conversion System for Energy Harvesting applied to Vehicle Suspension

JinKyu Lee¹⁾²⁾, MinHyuk An²⁾, Byounggun Park^{*1)2)}

University of Science and Technology¹⁾, Korea Electrotechnology Research Institute^{*2)}

ABSTRACT

본 논문에서는 자동차가 주행 시 노면에서 발생하는 충격을 흡수하는 현가장치에서 전기에너지를 얻기 위한 에너지 하베스팅 기술에 적용 가능한 전력변환 시스템에 관하여 연구하였다. 제안된 전력변환장치는 2상 AC DC 다이오드를 직렬로 구성하여 선형 발전기의 서로 다른 주파수와 크기를 갖는 출력 전압에 대해 효과적으로 전기에너지로 변환하도록 하였다. 제안된 전력변환시스템의 가능성을 확인하기 위해 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증하였다.

1. 서론

진동에너지를 이용한 차량용 에너지 하베스팅 기술은 주행 시 서스펜션의 쇼크업소버에서 발생하는 진동에너지를 전기에너지로 얻는 기술을 말한다. 이러한 전기에너지는 차량의 전기 에너지원으로 사용하거나 이차 전지에 충전하여 다른 전기에너지원으로 활용할 수 있다.^[1]

본 논문에서는 선형 전자식 에너지 하베스팅 발전 시스템에서 발전되는 교류 전압을 직류로 변환하여 이차전지에 충전하기 위한 2상 직렬형 AC DC 다이오드 정류기로 구성된 전력변환장치를 제안한다. 제안된 전력변환장치는 전류센서 혹은 발전기의 이동에 따른 위치센서 등을 필요로 하지 않기 때문에 간단하게 교류전원을 직류전원으로 변환할 수 있다. 또한 저손실, 고효율을 얻을 수 있는 SiC 다이오드를 적용하여 시스템을 구성하였고, 다양한 환경에서 기존의 Si 다이오드와 비교를 통해 효율관점에서 성능을 확인하였다. 제안된 전력변환 장치의 타당성은 PLECS를 이용한 시뮬레이션과 실험결과를 통하여 검증하였다.

2. 에너지 하베스팅 선형 발전기

2.1 2상 선형 발전기 구조

본 논문에서 대상으로한 선형 발전기는 그림 1과 같이 2중 영구자석 구조로 기계적 쇼크업소버와 같이 하이브리드 형태로 구성되어 있다.

2.2 2상 선형 발전기 출력전압 주파수 특성

한 코일의 순간전압은 0° 와 90° 일 때 각각 식 (1)과 (2)로 나타난다. 이는 선형 발전기에서 회로 전압을 시간, 위치, 자기장도, 속도 및 주파수 함수로 나타낼 때 평형위치 z_0 에서 한 코일의 순간전압 주파수는 2배 차이가 발생한다.^[2]

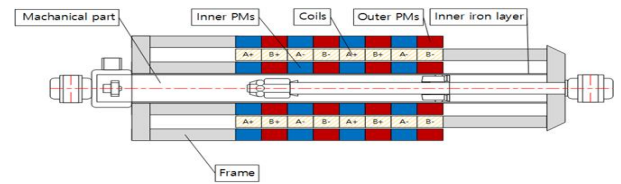


그림 1 에너지 하베스팅 선형 전자식 발전기
Fig. 1 Linear Electromagnetic Generator for Energy Harvesting

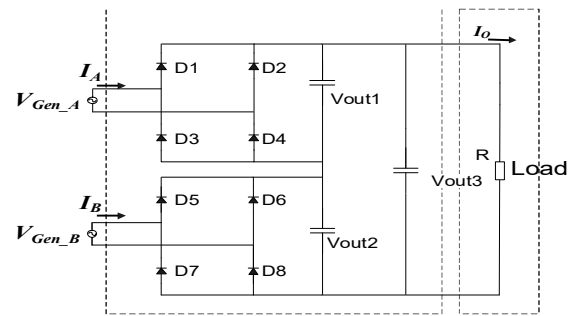


그림 2 제안된 2상 직렬형 AC-DC 다이오드 정류기
Fig. 2 Proposed 2-Phase series AC-DC diode rectifier

$$V_{0^{\circ}} = B_0 L \cos \frac{\pi v_{\max}}{H \omega} \cos \omega t v_{\max} \sin \omega t \quad (1)$$

$$V_{90^{\circ}} = B_0 L \frac{\pi V_{\max}^2}{2 H \omega} \sin 2 \omega t \quad (2)$$

3. 제안한 2상 직렬형 AC-DC 다이오드 정류기

3.1 2상 직렬형 AC-DC 다이오드 정류기

이러한 2상 발전기의 출력전압은 크기와 주파수가 다른 형태로 나타나게 되며, 효과적으로 전기에너지를 회수하기 위해서는 그림 2와 같이 직렬형의 다이오드 정류기로 구성하였다.

2상의 다이오드 정류기가 병렬로 구성되었을 때는 전압이 상대적으로 낮은 상의 정류기는 DC Link 전압보다 낮게 되어 다이오드의 도통이 이루어지지 않기 때문에 직렬형의 AC DC 정류기 형태로 구성하였다.

3.2 동작 모드 분석

본 논문에서 제안한 직렬형 2상 AC DC 정류기는 그림 3과 같이 4개의 도통모드가 형성되며, 각 도통 모드의 조건은 표 1과 같이 분석되어진다.

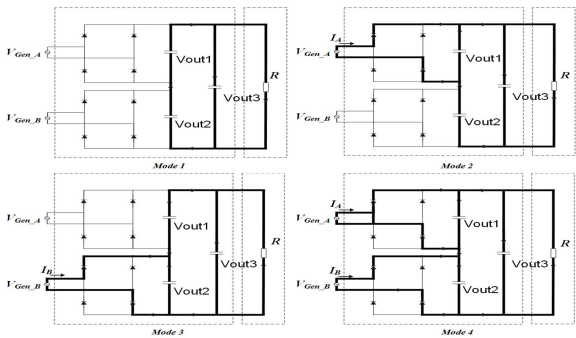


그림 3 2상 AC-DC 다이오드 정류기 도통모드

Fig. 3 Conduction modes by 2-Phase series AC-DC diode rectifier

표 1 2상 AC-DC 다이오드 정류기 동작모드 분석

Table 1 2-phase AC-DC diode rectifier operating mode analysis

	전압 상태 및 충전전류 흐름
모드1	$V_a < V_{o1}, V_b < V_{o2} \quad R//C$
모드2	$V_a > V_{o1}, V_b > V_{o2}$ (C1:충전, C2:방전, C3:방전) $V_A \rightarrow D1 \rightarrow R//C \rightarrow D4 \rightarrow V_A$
모드3	$V_a < V_{o1}, V_b > V_{o2}$ (C1:방전, C2:충전, C3:방전) $V_B \rightarrow D5 \rightarrow R//C \rightarrow D8 \rightarrow V_B$
모드4	$V_a > V_{o1}, V_b > V_{o2}$ (C1:충전, C2:방전, C3:방전) $V_A (V_B) \rightarrow D1 (D5) \rightarrow R//C \rightarrow D4 (D8) \rightarrow V_A (V_B)$

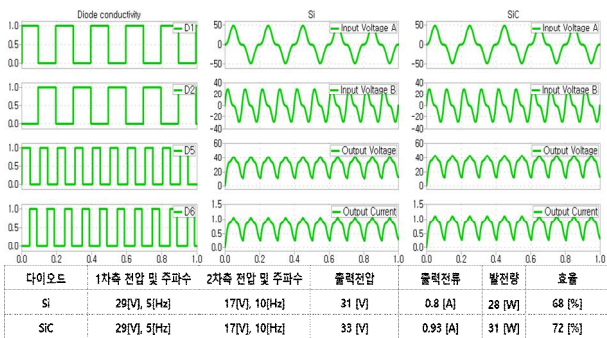


그림 4 다이오드 도통신호 및 Si, SiC 소자 입출력 파형 시뮬레이션
Fig. 4 Diode conduction signal and Si, SiC device input/output Simulation waveform

3. 시뮬레이션

제안된 2상 AC DC 다이오드 정류기의 동작을 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 그림4와 같이 도통신호, 입/출력 전압, 전류 및 발전량과 효율을 확인할 수 있었고 이때 부하로 인한 파형왜곡이 나타났다. 정격기준 Si로 구성된 회로는 31V, 0.8A의 출력 전압, 전류와 28W 발전량을 나타냈고, SiC로 구성된 회로는 33V, 0.93A의 출력 전압, 전류와 31W 발전량을 나타냈다. 또한 부하 조건별 출력 전력 및 효율을 비교하고자 20Ω (50%), 29Ω(75%), 39Ω(100%), 49Ω(125%), 59Ω(150%)조건에서도 시뮬레이션을 수행하였다.

4. 실험 결과

제안된 전력변환장치를 검증하기 위한 실험의 전체 시스템은 그림 5와 같다. Si, SiC소자는 각각 ROHM사의 RFUHI0NS6S, SCS210AJ를 사용하였고 부하는 전자부하기로 구동하였다.

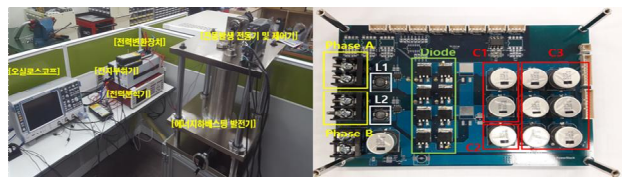


그림 5 2상 직렬형 AC-DC 다이오드 정류기 시스템 실험장비
Fig. 5 Test set of 2-Phase series AC-DC diode rectifier system

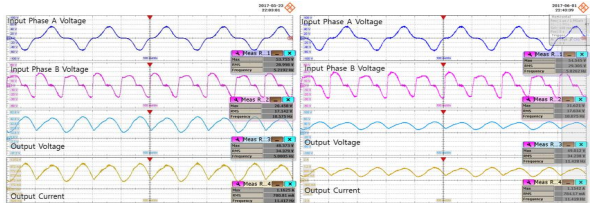


그림 6 Si, SiC 정격기준 유도 전압과 출력 전압 및 전류 실험결과 파형
Fig. 6 Test result of Induced voltage, Output voltage and current in Rated state at Si, SiC device

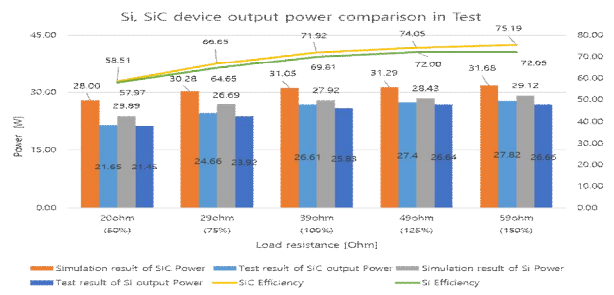


그림 7 Si, SiC 소자 출력 전력 및 효율 비교
Fig. 7 Si, SiC device output Power and Efficiency comparison

그림 6과 7을 통해 전체적인 실험 결과가 시뮬레이션을 수행한 결과와 유사한 것을 볼 수 있으며 효율로 환산 시 SiC소자가 정격기준 71.92%로 Si 소자 대비 2.1% 높았다.

5. 결론

본 논문에서는 발전된 전기에너지를 효과적으로 변환할 2상 직렬형 AD DC 다이오드 정류기로 구성된 전력변환장치를 제안 하였으며 그림 7과 같이 Si와 SiC 소자 비교로 고효율 다이오드로 정류기 설계 시 그 가능성을 확인할 수 있었다. 이는 실험장비 한계를 고려한 저전압, 저전류 조건으로 보다 높은 전압, 전류 및 온도 조건에서는 그 효율차이가 클 것으로 예상된다.

본 연구는 민군기술협력사업(16 CM EN 17)의 연구비 지원을 받음

참고 문헌

- [1] Seong Jin Cho and Jin Ho Kim "A Study on Optimal Design for Linear Electromagnetic Generator of Electricity Sensor System using Vibration Energy Harvesting", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.16, No.2, pp.7-15, 2017, April.
- [2] Lei Zu, Brian Scully, Jurgen Shestani and Yu Zhou "Design and characterization of an electromagnetic energy harvester for vehicle suspensions", ICP Publishing, Volume, 19, No, 4, pp, 10, 2010, February.