

자유 피스톤 엔진용 단상 선형 발전시스템을 위한 전력제어시스템

곽봉우^{*,**}, 김종훈^{**}, 김명복^{*}
*한국생산기술연구원 동력부품소재그룹
**충남대학교 전기공학과

Power Conditioning System for Single Phase Linear Generation System of Free Piston Engine

Bongwoo Kwak^{*,**}, Jonghoon Kim^{**} and Myungbok Kim^{*}

^{*}Automotive Components & Materials Group, Korea Institute of Industrial Technology

^{**}Electrical Engineering, Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문은 자유 피스톤 엔진에 적용되는 단상 선형발전기용 전력제어시스템에 관한 연구이다. 자유 피스톤 엔진 선형발전 시스템은 피스톤의 움직임을 구속하는 기구가 없기 때문에 기계적 마찰 손실이 적고 상사점 도달 시간이 짧아 에너지 효율 측면에서 기존의 피스톤 엔진보다 유리한 기술이다. 하지만, 자유 피스톤 엔진의 경우 초기 기동 할 수 있는 동력원이 필요하며, 단상 선형 발전기의 경우 짧은 스트로크 및 낮은 속도로 인해 인덕턴스가 크게 설계 되어, 높은 인덕턴스로 인한 전류의 위상 지연으로 역률이 낮아지게 되고, 응답성이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 역률 보상 및 응답성을 높일 수 있는 자유피스톤 엔진용 단상선형발전기용 전력제어시스템을 제안한다.

1. 서 론

최근 신재생 에너지 분야의 관심이 급격하게 높아지고 있으며, 에너지 손실을 최소화하기 위한 대체 에너지원을 통한 효율 향상에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 에너지 이용 효율을 높일 수 있는 자유 피스톤 엔진은 주요 선진국을 중심으로 개발이 진행 중에 있다.[1]

자유 피스톤엔진용 단상 선형 발전 시스템은 엔진 구동을 위한 초기 동력원이 없기 때문에, 전력변환시스템을 통하여 초기 구동이 필요하다. 단상 선형 발전기의 경우 스트로크가 짧고 낮은 속도로 인해 인덕턴스가 크게 설계되는데 발전모드에서 높은 인덕턴스로 인하여 역률이 낮아지고 응답성이 떨어지는 문제를 가지고 있다.

본 논문에서는 자유 피스톤 엔진에 적용되는 단상 선형 발전기용 전력제어시스템에 대해 제안한다. 자유 피스톤 엔진의 초기 구동을 위한 시스템 및 발전모드에서 역률 및 응답성을 높일 수 있는 전향 보상 전압제어기를 제안한다. 제안한 시스템에 대해 시뮬레이션을 통해서 타당성을 검증하였다.[1]

2. 본 론

2.1 단상 선형 발전시스템용 전력제어시스템 설계

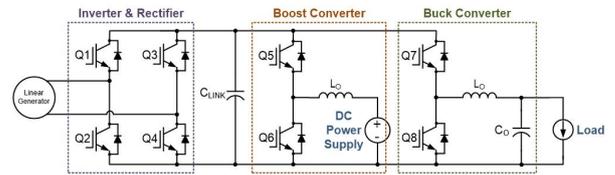


그림 1 단상 선형 발전시스템용 전력제어시스템
Fig. 1 Power Conditioning System for Single Phase Linear Generation

그림1은 단상 선형 발전시스템 회로를 나타낸 것이다. 자유 피스톤 엔진의 초기 구동 및 발전기 출력 제어를 위한 인버터 및 정류기 회로를 사용하였다. 초기 인버터 구동을 위한 안정적인 DC 전압 공급을 위해서 승압형 컨버터 회로를 적용 하였으며, 발전되는 전력은 벡 컨버터 회로를 적용하여 부하단에 공급하도록 회로를 설계하였다

2.2 단상 선형 발전시스템 동작 모드

단상 선형 발전시스템 동작 모드는 초기 구동 모드, 공진 모드, 발전 모드로 동작한다.

초기 구동 모드 : 자유 피스톤 엔진 구동을 위한 전압 크기, 주파수, 펄스 수를 제어하여 자유 피스톤 엔진에 교류 전압을 공급하는 모드이다.

공진 모드 : 자유피스톤 엔진의 자가 발전 모드로 출력이 정상상태에 도달할 때까지 공진하는 모드이다.

발전 모드 : 발전 모드로 벡 컨버터를 사용하여 전력을 부하단에 공급한다.

2.3 전향 보상 제어기 설계

자유 피스톤 엔진용 단상 선형 발전기는 스트로크가 짧고 낮은 속도로 인해 인덕턴스가 크게 설계된다. 이를 기존의 통상적인 출력전압 및 상전류 제어를 위한 이중 루프의 전류제어기를 사용하여 제어 할 경우 높은 인덕턴스로 인해 Inner loop의 전류제어기의 응답성이 떨어지고, 전류의 왜곡 발생 및 위상 지연으로 인한 역률 저하시키는 문제가 발생한다.

따라서, 본 논문에서는 단상 선형 발전시스템 제어를 위해 전향 보상 전압제어기를 제안한다. 전향 보상제어기는 전류제어기에 비해 빠른 응답성을 가지고 정상상태 오차를 줄일 수 있는 장점을 가진다.



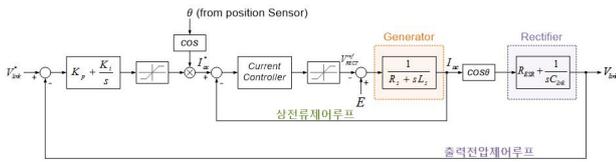


그림 2 전향보상 전압제어 블럭도

Fig. 2 Block-diagram of Feedforward Voltage Control

단상 선형 발전기의 매개변수 보상을 통한 정류기 전압 지령치는 다음과 같이 계산된다.

$$V_{RECT}^{ref} = E_m \cos\theta + \omega_e L_s I_m^{ref} \sin\theta - R_s I_m^{ref} \cos\theta \quad (1)$$

여기서, $\omega_e L_s I_m^{ref} \sin\theta - R_s I_m^{ref} \cos\theta$ 매개변수 보상 부분

2.4 모의실험 회로 설계 및 검증

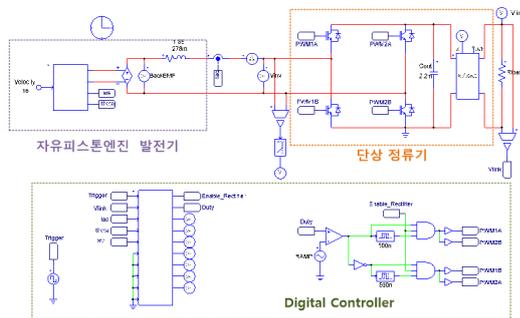


그림 3 선형발전시스템 모의실험 회로

Fig. 3 Simulation Circuit of Linear Generation System

표 1 선형발전시스템 사양

Table 1 Specification of Linear Generation System

Parameter	Value	Unit
Output Power	1	kW
Operating Frequency	50	Hz
Induced Voltage	416.07	Vmax
Inductance	277.9	mH
Resistance	1.85	Ω
Switch Frequency	20	kHz

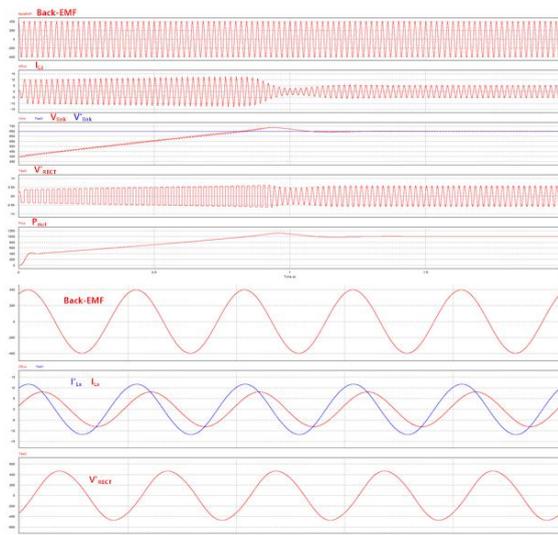


그림 4 모의실험 결과 - 출력:1kW(Current Control)

Fig. 4 Simulation result - Output:1kW(Current Control)



그림 5 모의실험 결과 - 출력:1kW(Feedforward voltage Control)

Fig. 5 Simulation result - Output:1kW(Feedforward voltage Control)

모의실험 결과는 그림4는 기존의 전류제어기 특성 파형이며 그림 5는 전향보상 전압제어기를 사용한 특성 파형이다. 기존 전류제어기에 비해 전향보상 전압제어기의 경우 제어 응답성이 빠르며, 전류의 지연이 없이 상전류가 잘 제어됨을 확인하였다.

3. 결론

본 논문은 자유피스톤 엔진용 단상 선형 발전시스템을 위한 전력제어시스템에 대해 제안하였다, 전력제어시스템 회로 및 동작 모드를 분석하고, 선형 발전기의 높은 인덕턴스에 따른 전향 보상 전압제어기의 필요성에 대해 기술하였다. 제안하는 전력제어시스템의 특성을 분석하기 위해 모의실험 회로를 구성하였다, 이를 이용하여 제어 성능 및 전력제어시스템을 검증하였으며, 향후 모의실험 결과를 바탕으로 실제 시스템에서의 성능 검증을 수행할 예정이다.

이 논문은 한국생산기술연구원의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Luca Dall'Ora, "Analysis and Design of a Linear Tubular Electric Machine for Free piston Stirling Micor cogeneration System" Doctor's thesis, Padova University, 2014