

고효율 하이브리드 영구자석 발전기의 설계 및 제어

조영준, 박준휘, 김승준, 이동희
경성대학교 메카트로닉스공학과

Design and Control of a high efficiency hybrid PM generator

YeongJun Jo, JunHwi Park, Seungjun Kim, Dong Hee Lee
Dept. of Mechatronics Engineering, Kyungsung University

ABSTRACT

This paper proposes a high efficiency hybrid generator which has a winding and PM(Permanent Magnet) field together. The PM field can supply the enough flux to generate the no load output voltage, and the field winding current can supply the flux to compensate the voltage drop from the load. Furthermore, the PM exciter can supply the enough power for the field of the generator.

The detailed design and the FEM analysis are presented to verify the proposed hybrid generator. Then the experimental results shows the effectiveness of the proposed system.

1. 서론

본 논문에서는 발전기의 계자자속을 계자권선과 영구자석을 혼용하여 사용하는 고효율 하이브리드 발전기를 제안하고 있다. 제안된 발전기에서 회전자의 영구자석은 무부하상태의 발전기가 충분한 정격전압을 출력할 수 있는 공극자속을 제공하고, 부하상태에서는 계자권선의 전류에 의해 부족한 자속을 공급함으로써, 발전기 전체의 효율을 개선할 수 있다. 특히, 계자전류는 영구자석 여자기에서 발전된 전력을 통해 공급함으로써, 여자기와 발전기의 효율이 동시에 증가하는 장점이 있다 [1][2]. 제안된 발전기는 FEM 해석과, 실제 제작된 모델의 실험을 통해 그 성능을 검증하였다. [1][2]

2. 하이브리드 영구자석 발전기의 구조

그림 1은 제안된 하이브리드 영구자석 발전기의 구조를 나타낸다. 제안된 발전기의 발전전압은 디젤 엔진의 회전으로부터 동일 축으로 연결된 영구자석 여자기와 권선발전기, 영구자석 발전기가 회전하고 생성된 여자전압이 ED AVR(Embedded Digital AVR)을 통해 정류되고 PWM 제어를 통해 계자전류는 권선 발전기에 인가되어 발전기 발전전압을 생성한다. 영구자석 발전기에서 회전속도에 따라 발전전압이 발생되고 정격속도에서 정격출력전압을 생성한다. 발전전압은 외부 제어기에서 측정하여 정격출력전압에 수렴하도록 계자전류 지령치를 ED AVR로 인가한다. 이후 여자전압으로 생성된 계자전류는 초기 구동 시에 설정된 낮은 전류로 권선발전기의 발전전압을 생

성하고 부하 인가시 외부제어기의 전류 지령치에 따라 계자전류가 지령된다.

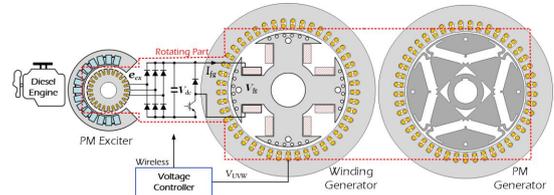


그림 1 제안된 하이브리드 영구자석 발전기
Fig. 1 Proposed Hybrid PM Generator

3. 하이브리드 영구자석 발전기의 설계

표 1 발전기 사양
Table 1 Specifications of Generator

| | Exciter | Generator |
|---------------|-----------|-----------|
| Rated Power | 150[W] | 10[kW] |
| Rated Voltage | 135[V] | 380[V] |
| Rated Speed | 1800[rpm] | → |
| Pole Number | 8 | 4 |

표 1은 발전기와 설계 사양을 나타낸다. 발전기의 프레임은 용량을 높여 사용할 시 스택길이를 변경하여 높은 용량에 대응하도록 설계하였다. 발전기 정격출력은 10[kW] 이고 여자기는 엔진의 정격속도 1800[rpm]에서 135[V] 출력전압 발생하도록 설계하였다. 발전기 내부제어기 동작 전압이 85[V]이상 인가시 동작하므로 정격속도보다 65% 낮을 때에도 동작된다.

그림 2와 3은 설계된 영구자석 여자기와 권선형 발전기, 영구자석 발전기의 자속 분포도를 나타낸다.

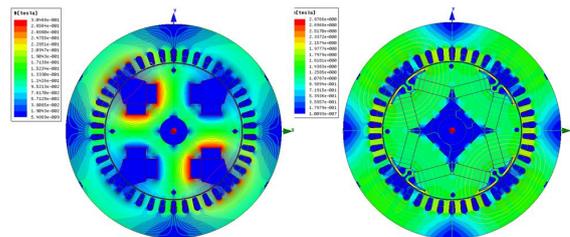


그림 2 설계한 Winding 발전기와 PM 발전기 자속분포도
Fig. 2 Flux distribution of the field winding PM of the generator

5. 실험결과

그림 8은 본 논문에서 설계된 발전기의 실험환경을 나타낸다. 엔진 구동을 대신하여 인버터로 제어한 유도기가 발전기를 정격속도까지 기동시킨다. 발전기 내부엔 ED AVR이 위치하고 외부 제어기에서 발전전압을 측정하여 계자전류를 지령한다. 그림 9는 부하 상태에서의 발전전압 출력파형이다. 정격전압 380[V] 출력을 확인할 수 있다.

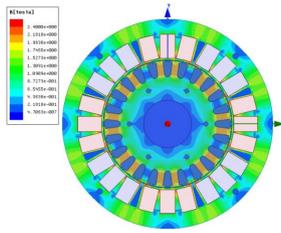


그림 3 여자기 자속분포도
Fig. 3 Flux distribution of the exciter

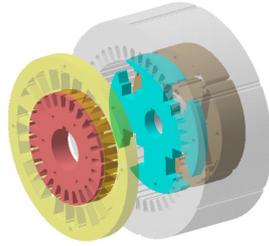


그림 4 발전기 3D 모델
Fig. 4 Design generator 3D Model

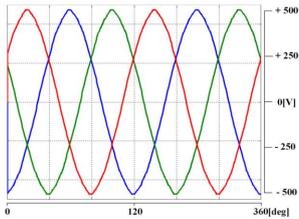


그림 5 출력전압(영구자석)
Fig. 5 Output voltage(PM flux)

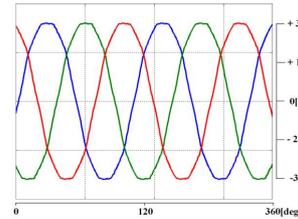


그림 6 발전기 출력전압(Field winding)
Fig. 6 Output voltage(Field winding)

그림 4는 설계된 발전기 모델의 3D모델링이다. 그림 5와 6은 영구자석 자속과 계자권선 전류에 의한 제한된 발전기의 출력전압을 나타내고 있다. 실제 발전기의 전압은 두 자속의 합에 의해 발전기 출력전압이 결정된다. 영구자석 발전기의 경우 정격속도에서 356[V]의 출력전압을 생성하도록 설계하였고, 권선형 발전기는 계자전류 2[A]인까지 226[V]의 전압을 출력하며 전류에 따른 자계를 더하도록 설계하였다.

4. 하이브리드 영구자석 발전기의 제어

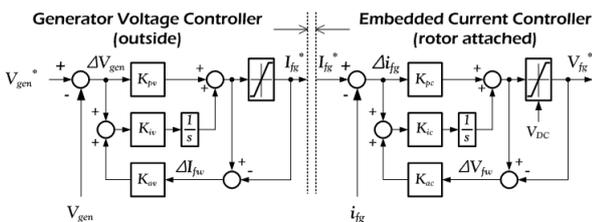


그림 7 발전기 제어 블록도
Fig. 7 Control block diagram of the proposed generator system

그림 7은 제안된 발전기의 전체 시스템 블록도이다. 하이브리드 영구자석 발전기는 내부제어기와 외부제어기 2개의 제어기를 가지며 초기 기동시 영구자석 발전기로 정격출력전압까지 상승시키고 부하시 계자전류를 인가하여 부하에 대응한다. 외부제어기에서 발전전압을 측정하여 기준치와 비교한 뒤 PI 제어기에 의해 선정된 계자전류 지령치 I_{fg}^* 를 ED AVR로 인가한다. ED AVR에선 적외선 통신을 통해 받은 계자전류 지령치와 전류 실측정치 I_{fg} 로 PWM 제어를 통해 계자권선에 전류를 인가한다. 그 식은 다음과 같다.

$$\Delta I_{fg} = I_{fg}^* - I_{fg} \quad (1)$$

$$V_{cmd}^* = K_p \cdot \Delta I_{fg} + \int K_i \cdot (\Delta I_{fg} = K_a \cdot (V_{tmp} - V_{cmd}^*)) dt \quad (2)$$

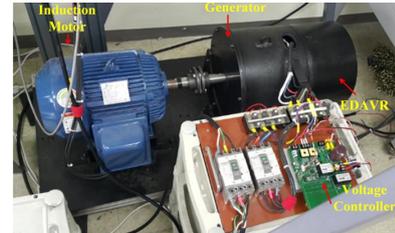


그림 8 실험환경
Fig. 8 Experimental configuration

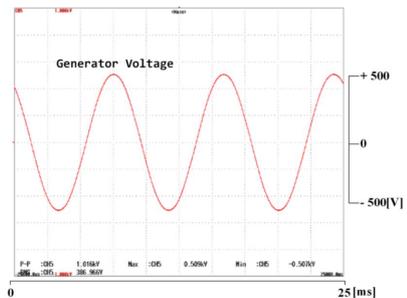


그림 9 정격부하시 발전전압
Fig. 9 Output voltage(Rated load)

6. 결론

본 논문에서는 하이브리드 영구자석 발전기를 설계 및 제작하여 특성을 시험하였다. 제안된 발전기는 영구자석 여자기에서 계자전류를 공급하여 발전전압을 제어하였으며 초기 기동시 영구자석 발전기만으로 구동이 가능하여 기존 발전기보다 높은 효율을 가지고 발전기 전체효율은 정격 부하시 91.5%의 효율을 가진다.

이 논문은 한국전력공사의 재원으로 기초전력연구원의 2015년 선정 기초연구개발과제의 지원을 받아 수행된 것임. (과제번호 : R15XA03 19)

참고 문헌

- [1] T. F. Chan, L. L. Lai and Lie Tong Yan, "Performance of a three phase AC generator with inset NdFeB permanent magnet rotor", IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 19, No. 1, pp. 88 94, 2004, Sept.
- [2] Yuan Cao, Jin Ma "Research on PID parameters optimization of synchronous generator excitation control system", CRIS Conf., pp. 1 5, 2010, Sept.