

차량용 발전기 역률제어를 위한 Hall signal SVPWM 알고리즘

손동혁*, 조창흠*, 이상건*, 조윤현*
 동아대학교*

DC-link Control of IPMSG for vehicle using Hall signal SVPWM

Dong-Hyeok Son*, Chang-Hum Jo*, Sang-Geon Lee*, Yun-Hyun Cho*
 Dong-A University*

Abstract - 본 연구는 영구자석형 동기발전기의 DC-link 정전압 제어에 대하여 연구하였다. 영구자석형 동기발전기에서 발생하는 순간전압은 발전기의 회전속도에 따라 크기가 달라지기 때문에, 일반적으로 정속도 운전을 통해 정전압 출력을 한다. 그러나, 차량용 발전기의 회전자 위치검출 센서는 먼지, 온도, 진동 등에 강한 특성을 지녀야 한다. 홀 센서를 이용한 회전자 위치 검출 알고리즘을 제안하여 발전기에 기계적인 부하가 쉽고, 사용환경에 강인하기 때문에 회전자 검출 센서로 홀 센서를 사용하고자 한다. 홀 센서는 매우 낮은 분해능을 지닌 위치 검출 방식이기 때문에, 본 논문에서는 홀센서는 낮은 분해능을 보완한 새로운 알고리즘을 제안하였다.

1. 서 론

일반적인 콘테이너 차량이나 특수 장비차량의 발전기는 별도의 발전용 엔진을 설치하여 발전에 필요한 회전력을 얻는다. 발전용 엔진이 설치되었기 때문에 발전기는 전압출력에 필요한 회전수 만큼 회전하므로 발전기를 전압을 제어할 제어장치가 필요없고, 전기 시스템이 간단하다는 장점이 있다. 그러나, 엔진 설치에 따른 공간적인 제약과 효율성이 떨어지는 단점이 생긴다.

하이브리드 차량과 같이 발전기에 필요한 동력을 차량 엔진으로부터 얻는다면, 차량용 발전시스템이 소형화되고 고효율성을 얻을 수 있다. 이를 달성하기 위해서는 발전기의 광범위한 회전영역에 대하여 정전압 출력을 얻어야 한다. 이는 벡터제어를 바탕으로 발전기제어를 통해 이를 수 있다. 발전기에 생성되는 역기전력과 D-Q축 전류 위상제어를 통해 역률제어가 가능하며, 발전기의 속도가변에 따른 DC-link의 정전압 제어를 수행한다.

벡터 제어를 기반으로 한 역률제어는 발전기의 회전자 정보를 필요로 한다. 회전자 위치 검출 센서는 엔코더, 리졸버등이 있으나, 본 논문에서는 Hall 센서를 사용한 SVPWM을 제안한다. Hall 센서는 전기각 분해능이 60°이므로 일반적으로 BLDC 제어에 사용되며 벡터제어와 같이 정밀한 위치 분해능이 요구되는 제어환경에는 적합하지 않다. 그러므로 본 논문에서는 Hall signal이 고 분해능을 가지도록 하는 알고리즘을 제안하며, 실험을 통해 입증하였다.

2. 본 론

차량용 발전시스템에 적용된 영구자석형 동기발전기의 제원을 표1에 나타내었다. 영구자석형 동기발전기는 DC-link 전압 제어기와 d-q 전류 제어기를 가진다. DC-link 전압 제어기를 통해 DC-link 정전압 출력 필요한 전류지령을 연산하며, d-q 전류 제어기와 SVPWM 알고리즘을 통해 전류제어에 필요한 PWM 스위칭 시간을 연산한다. d축 q축 지령전류를 계산하기 위해서는 d축과 a상 축 사이의 각 θ 에 대한 값이 필요하지만 3개의 홀센서는 각 θ 에 대해 60°의 회전자 위치 정보만을 얻을 수 있다. 이러한 홀센서의 신호만으로는 발전기의 벡터제어를 기반으로 한 역률제어를 구현할 수 없다. 하지만 홀신호와 회전속도를 이용하면 각 θ 에 대해 연산 할 수 있고 이를 통해 벡터 제어를 구현할 수 있다.

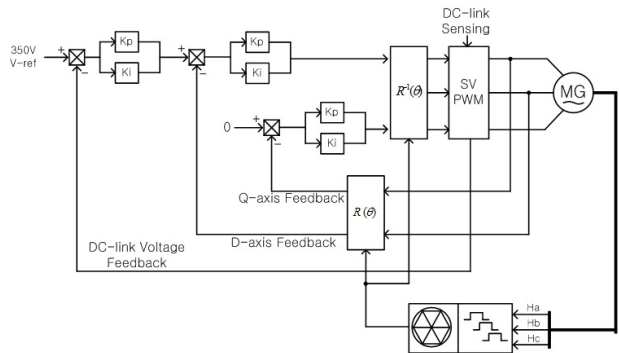
〈표 1〉 영구자석형 동기발전기 제원

사양	단위	
정격출력	kW	3.5
정격전압	V(dc)	350
극 수	poles	10
정격속도	rpm	2000
정격토크	N·m	16

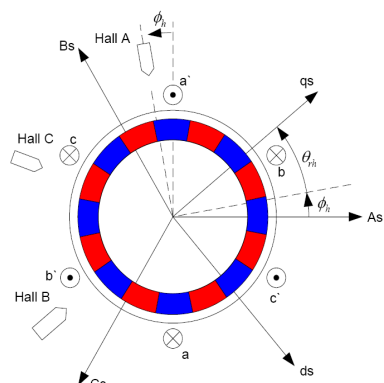
2.1 회전자 위치 검출

2.1.1 홀센서의 위치

3개의 홀센서는 그림 1과 같은 위치에 있다. 홀센서의 간격은 60도이다. 그림 1은 3상 abc 축, d-q축 그리고 홀센서의 관계를 도시하였다. 3개의 홀센서 A, B, C는 고정자 권선 a, b, c에 정렬되어야 한다. 만약 홀센서 A의 위치가 고정자 권선 a와 ϕ_h 만큼 어긋나 있다면, 3상 abc 축과 d-q축은 ϕ_h 만큼 어긋나게 된다. ϕ_h 의 각도가 크게 되면 전동기는 구동을 못하게 된다. 홀센서 위치는 Hall A edge 상승신호가 전동기의 역기전력보다 전기각 90도 앞선 곳에 고정한다. Hall B, Hall C에 대해서도 이와 같은 방법으로 위치시킨다. 그림 2에서 보는 것과 같이 $\sin(\theta)$ 에 대해 전기각 90도 앞선 곳에서 Hall edge 신호가 상승되는 것을 알 수 있다.



〈그림 1〉 제어 블록 다이어그램



〈그림 2〉 홀센서의 위치

2.1.2 홀센서 신호를 이용한 좌표변환

회전자의 전기적 각도를 θ 라고 한다면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\theta = \theta_h + \phi_h \tag{1}$$

θ_h 는 〈그림 1〉의 홀 위치에 생성되는 고유값이고, ϕ_h 는 회전자의 변위값으로 정의할 수 있다. θ_h 는 3개의 홀신호에 대해 초기값을 설정하여 얻을 수 있다. θ_h 는 홀신호 패턴에 대한 고유값이기 때문에 회전자

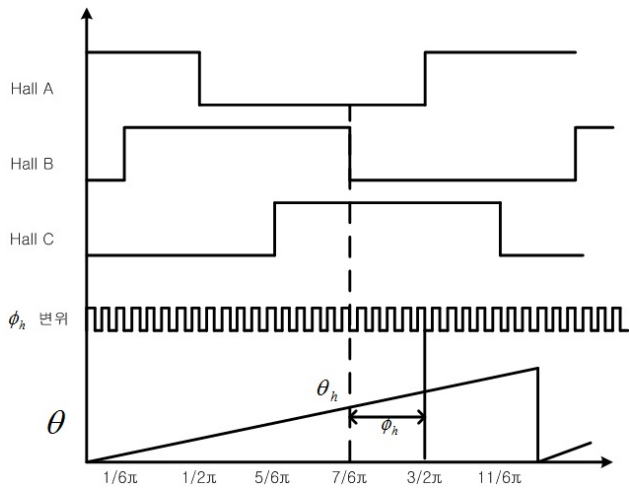
와 홀센서의 기계적 위치가 매우 중요하다. ϕ_h 는 회전자의 변위값이며, 마이크로프로세서 연산에 의해 얻어지는 추종 값이다.

$$\omega \times \Delta t = \Delta\theta \quad (2)$$

식 (2)에서와 같이 $\Delta\theta$ 와 ϕ_h 은 같은 것으로 생각할 수 있다. ϕ_h 은 고유값 θ_h 에 대해 범위 값을 가지며 그 크기는 60° 이다. ϕ_h 의 변위량은 회전자 속도에 의해 결정된다. 또한 ϕ_h 의 변위량은 고유값 θ_h 가 변하는 전기각 60° 마다 갱신된다. 홀신호, θ_h , ϕ_h 과의 관계를 다음 그림과 같이 나타내었다. ϕ_h 은 제어주기마다 적분되어진다.

<표 2> 홀센서 신호에 따른 초기값

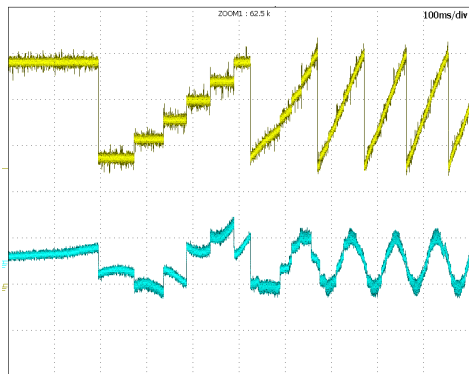
홀센서 신호			초기값
Hall A	Hall B	Hall C	θ
0	0	1	$4\pi/3$
0	1	0	$2\pi/3$
0	1	1	π
1	0	0	0
1	0	1	$5\pi/3$
1	1	0	$\pi/3$



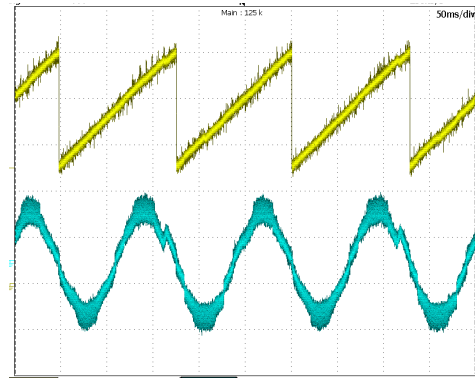
<그림 3> 홀신호와 변위각

2.2 발전기의 운전

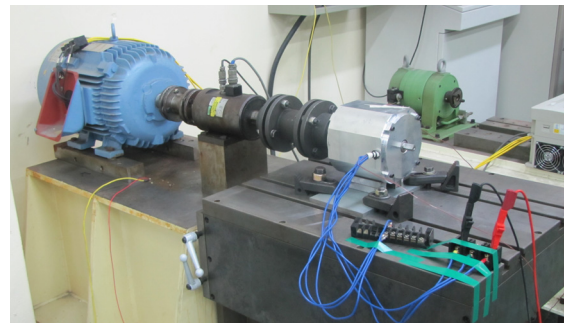
발전기가 정지되어 있을 때는 회전자의 회전속도를 계산할 수 없으므로 ϕ_h 는 연산할 수 없다. 회전자 속도를 계산할 수 있을 때까지 회전자 각은 $\theta = \theta_h$ 이 된다. 회전속도가 계산되는 전기각 1회전 후에는 ϕ_h 이 계산되며, 60° 마다 ϕ_h 가 갱신되어 시간이 지날수록 정확한 θ 을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그림 4는 발전기의 초기기동 때의 θ 와 전류파형이며 그림 5는 발전기 운전 시 θ 와 전류파형이다.



<그림 4> 발전기 기동 시 θ 와 전류파형



<그림 5> 발전기 운전 시 θ 와 전류파형



<그림 6> 차량용 발전기의 기동 및 운전 실험

3. 결 론

본 논문은 차량용 영구자석형 동기발전기의 역률제어를 위한 회전자 위치 검출 알고리즘을 제시하였다. 초기 회전자 위치의 기준을 정하기 위해 홀센서의 위치와 초기값을 정하였다. 이를 바탕으로 발전기 기동시 Six-step의 회전자 각에서 회전자가 회전함에 따라 백터제어에 필요한 제어각을 연산하였다. 홀센서를 이용하기 때문에 회전자 위치 센서 칩부나 사용에 대해 간편한 이점이 있지만, 급격한 부하변동이 생기거나 속도가 변하는 부분에서는 회전자 위치에 대한 오차가 발생하는 단점이 있다. 회전자 오차에 대해 발생하는 발전기 제어 특성에 대한 연구는 추후에 진행할 것이며, 발전기 역률제어에 미치는 부분도 진행할 것이다.

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구결과임.

[참 고 문 헌]

- [1] K. A. Corzine, "A Hybrid Observer for high performance brushless dc motor drives", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 2, June 1996
- [2] J. X. Shen, Z. Q. Zhu, D. Howe, "PM Brushless Drives with Low-Cost and Low-Resolution Position Sensors",
- [3] A. Lidozzi, L. Solero, F. Crescimbeni, A. Di Napoli, "SVM PMSM Drive with Low Resolution Hall-Effect Sensors"