

공간전압벡터 전류제어기법을 이용한 영구자석형 풍력발전기의 출력제어

최종석*, 김시경**

*공주대 공대 전기·전자·정보공학과 석사과정, **공주대 공대 전기·전자·정보공학과 교수

Output Power Control of Permanent Magnet Wind Power Generator with Space Voltage Vector Current Control Strategy

Jong-Seog Choi*, Si-Kyung Kim**

*,**Department of Electrical Engineering Kongju National University

Abstract - In this study, the system which can make the generator's output voltage more stable by using the inverter in terms of PWM method, is designed.

It is one of the method reducing velocity of the wind in the process of the wind power generation.

Thus, in this system, it is necessary to use a excellent current control inverter.

So pulse with modulation method with a high-speed switching element is introduced to control the output current.

And also, in order to get a fast response when the standard current generated by the vector control algorithm is supplied with the generator, the output control system with the fast response character and the best current control character is suggested.

In this way, the result from the introduction of the control system is that a response character to the changeable velocity of the wind is excellent, causing the remarkable reduction of the percentage of the harmonic and the outstanding stability of the variation of the output voltage.

1. 서 론

최근, 선진각국에서는 미래에너지원의 다양화 및 지구 환경문제 해결의 일환으로서 무공해 청정에너지원의 확보를 위한 각종 자연에너지 이용기술의 개발이 추진되고 있다. 그 결과 풍력을 이용한 발전 시스템의 실용화 보급이 적극 추진되고 있는 상황이다.

바람을 이용한 풍력발전은 무한정하며, 청정에너지라는 장점을 갖고 있다. 그러나 이러한 장점을 갖고 있는 반면 풍속 등의 기상조건의 변동에 따라 출력이 불안정하다는 단점 또한 상존 할 뿐만 아니라 다른 발전 시스템과는 달리 입력토크를 제어 할 수가 없다는 점이다.

이렇듯 풍력발전 시스템에서는 출력단을 조절할 수밖에 없게 된다. 하지만 축전지 대신 다른 방법으로 부하전력을 안정적으로 공급해줄 수 있다면 보다 저렴한 발전비용이 들고 그 방법이 자동적으로 제어된다면 계통의 운전이 훨씬 원활하게 이루어 질 것이다.

본 논문의 목적은 공간전압 벡터PWM 제어기법을 영구자석형 풍력 발전기의 출력단에 연결하여 풍속이 수시로 변화에 있어서 발생하는 출력값의 급격한 변화를 최대한 줄임으로써 부하단에 안정적인 전원을 공급할 수 있음을 보여주는데 목적이 있다.

2. 본 론

2.1.1 공간전압벡터 PWM이론

영구자석형 풍력 동기발전기의 출력제어를 위해서는 i_{qs} 를 제어하여야 하며 i_{qs} 를 제어하기 위해서는 다시 토크를 제어해야 한다. 여기서는 영구자석형 동기발전기의 출력제어 시스템에서 벡터제어 알고리즘에 의하여 발생된 기준전류에 의하여 바람의 양에 의해 수시로 변화하는 출력의 변화에 대해 가장 안정적인 값을 얻고자 하면 성능이 우수한 전류제어형 인버터를 사용하여야 하는데 이와 같이 인버터를 이용하여 정현파 전류를 제어하려면 고속의 스위칭 소자를 사용한 펄스폭 변조(PWM) 방법을 사용할 수밖에 없다.

종래에는 이와 같이 기본적으로 PWM 방식을 적용한 인버터의 전류제어에 히스테리시스 전류제어 방식이나 삼각파 비교방식을 주로 사용하였다. 그러나 이 방법들은 원리가 간단하고 쉽게 구현할 수 있다는 장점을 가지는 반면에 응답특성, 스위칭 주파수, 출력전류의 고조파 함유율, 제어의 선형성 등의 측면에서 부분적으로 미흡한 특징들을 가지고 있다. 그러나 최근에 제안된 공간전압 벡터 PWM(space voltage vector PWM) 방식은 제어 알고리즘이 복잡하여 많은 연산을 필요로 하고 이를 구현하는 시스템이 상대적으로 복잡한 구조를 갖는 단점이 있으나 위에서 열거한 내용들을 상당히 만족하는 우수한 특성을 가지고 있다. 여기서 연산량이 많거나 구현하기가 복잡하다는 문제는 고성능 DSP와 집적도가 높은 EPLD 등이 보편화되면서 충분히 극복되어 가고 있다.

이와 같이 영구자석형 풍력 동기발전기 출력제어 시스템에 적용이 되는 공간전압벡터 PWM 기법에 관하여 알아보았다.

2.1.1 공간전압벡터 PWM의 특성

그림 2-1과 같은 3상 전압형 인버터에서 각 상의 스위치를 SWa, SWb, SWc라고 하고 이것들을 각각 상보형(complementary)으로 동작시키면 인버터는 이들 스위치의 스위칭 상태에 따라 그림 2-2와 같은 6가지의 전압 벡터를 출력할 수 있다. 여기서 스위치가 1로 표시된 것은 각 상의 위쪽 스위치가 턴온된 것을 의미하고 0으로 표시된 것은 아래쪽 스위치가 Turn ON된 것을 의미한다. 그러나 각 상의 스위치가 모두 1이거나 모두 0이면 즉, $V(0)$ 와 $V(7)$ 의 출력은 0전압이 되어 무효벡터가 된다.

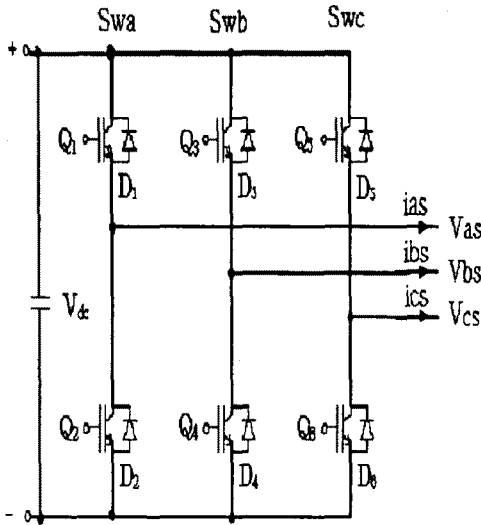


그림 2-1. 3상 전압형 인버터

2.1.3 인버터의 출력전압 벡터도

인버터의 8가지 동작모드에서의 출력전압을 벡터도로 표시하면 그림 2-2와 같이 정육각형을 형성하고, 이 6각형의 꼭지점을 형성하는 전압 벡터 $V(1) \sim V(6)$ 은 인버터의 최대 출력전압이 된다. 그러나 여기에 PWM을 수행하면 출력전압의 벡터는 평균적인 의미에서 크기가 감소되어 정육각형 내부의 어느 한 점에 놓일 수 있게 된다. 즉, 6각형 내부의 임의의 출력전압 벡터는 이것이 위치한 삼각형의 두 변에 해당되는 전압벡터를 이용하여 시간적으로 벡터 합성할 수 있고, 이 두 전압벡터의 인가시간의 합이 샘플링 주기 T_s 보다 작으면 나머지 시간동안에는 영벡터를 인가하면 된다.

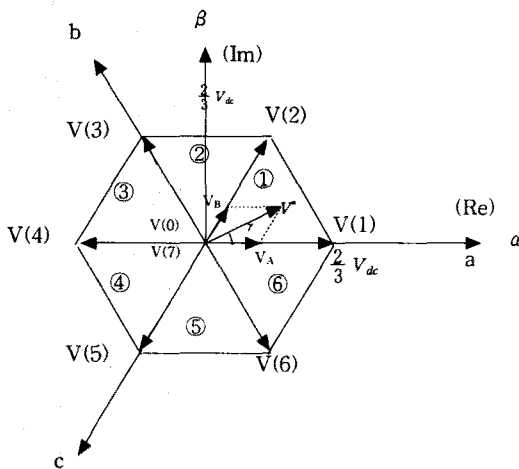


그림 3-3. 인버터의 출력전압 벡터

2.2.1 풍력발전시스템

풍력발전 시스템은 풍력에너지를 전기적 에너지로 변환하는 시스템이다. 이러한 에너지 변환을 위해서는 풍차 회전자의 회전운동을 치차장치를 통하여 증속되어 에너지가 발전기에 전달됨으로써 발전기가 구동되어 발전하게 된다.

풍차를 선정하는데는 먼저 풍속과 출력관계를 갖고서 선정하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 2.2(KW)급 풍차를 선정하여 시뮬레이션을 수행하기로 하였다.

가. 풍력발전시스템의 운전특성

현재 세계적으로 보급되어 있는 풍력발전기의 형식은 프로펠러형이 대부분이며, 3매 브레드형 풍차가 주종을 이루고 있다. 따라서 본 논문에서도 2.2(kW)급 3매 브레드형 풍차를 선정하였다.

풍력발전시스템은 일정 풍속이상 되면 발전을 개시하여 출력이 발전기의 정격 출력에 도달하여 정격풍속이상에서는 피치제어 혹은 스톱제어에 의한 출력제어하며, 풍속이 크게되면 위험 방지를 위하여 회전자의 회전을 멈추게 하여 발전을 정지하게 한다. 풍력발전에서 각각의 기준풍속을 Cut-in풍속, 정격풍속, Cut-out풍속이라고 부른다. 본 논문에서는 국내의 평균풍속은 3-7m/s가 대부분이며, 3m/s-4m/s사이의 풍속 분포가 많다는 이유로부터 아래와 특성의 풍속특성을 갖는 풍차를 선정하였다.

Cut-in 풍속 : 3~5 m/s

정격풍속 : 8~16 m/s

Cut-out 풍속 : 24~25 m/s

2.3 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 장에서는 지금까지 수식화한 영구자석형 풍력 동기발전기의 출력제어 모형을 그림 5-1의 모델계통에 적용하여 디지털 컴퓨터 시뮬레이션 함으로써 출력제어 특성을 분석하고자 한다.

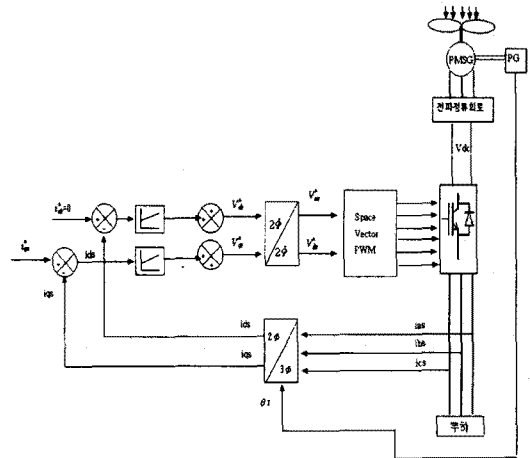
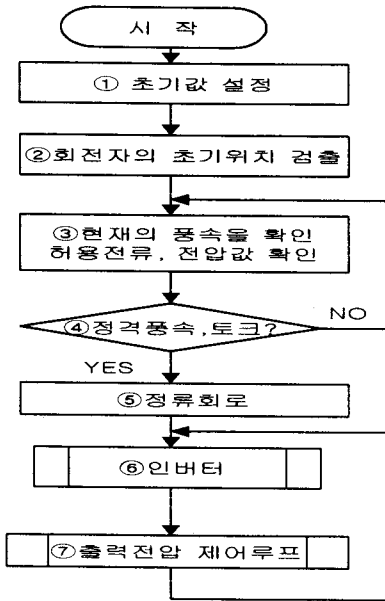


그림 2-3 출력전압 제어시스템 계통도

2.3.1 시뮬레이션 알고리즘



(a) 주 제어 프로그램

그림 2-4. 제어 프로그램 순서도

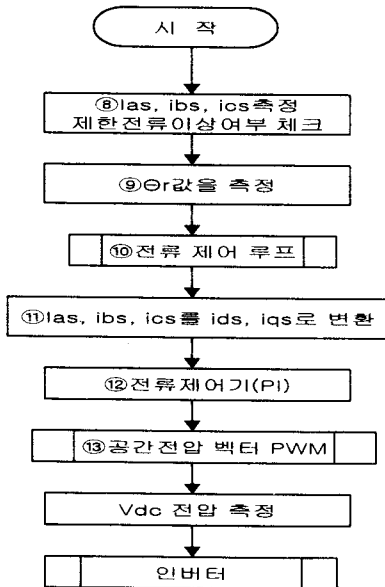


그림 2-4. (계속)

2.3.2 시뮬레이션 결과 파형

발전기에 출력제어 시스템을 부착하지 않았을 때는 그림 2-5와 같이 토크(x축)값의 변화에 의해 발전기의 출력전압(y축)이 비례관계를 갖고 증가함을 볼 수 있다. 그렇지만 발전기의 출력단에 제어를 달아 줌으로써 우리가 원하는 220V의 전압으로 고정되게 출력됨을 알 수 있다.

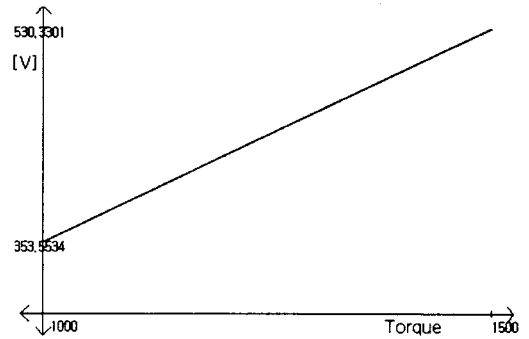


그림 2-5 제어되기 전 토크변화에 의한 출력속의 실효값

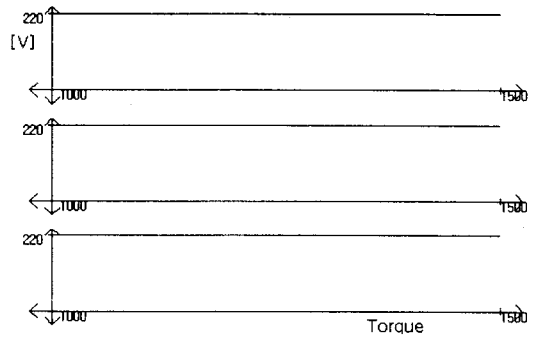


그림 5-4 제어가 된 후 토크변화에 대한 출력전압의 실효값

다음은 정격 풍속내에서 출력전압의 파형 및 부하단에서 측정된 전력 파형을 보여준다. 또한 정격풍속 이외에서의 부하단 전력 파형을 보여준다. 여기서 장착된 부하는 2.2[kW] 정도의 동기발전기이다. 부하의 출력은 속도를 통하여 측정하여 보았다. 기준 속도를 1000[rpm]으로 해주고 입력전력이 변화하면 속도가 변화하는 그러한 시스템으로 설계를 하였다. 그림으로써 속도의 변화를 부하전력의 변화로 볼 수 있을 것이다.

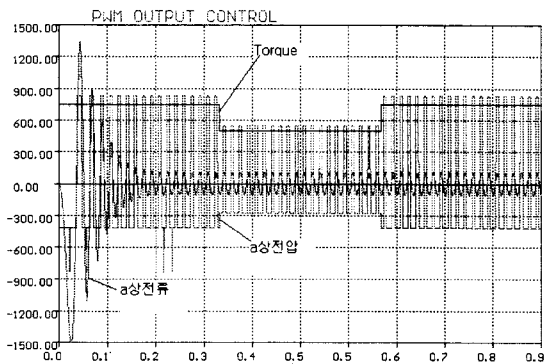


그림 5-5 입력 토크값 변화에 따른 인버터 출력측 a상전압, a상전류 파형

다음 그림에서 그림 2-7은 정격풍속의 범위에서 일정 토크의 변화에 따른 3상중 a상의 전압과 전류의 파형을 본 것이다. 그림 2-8은 토크의 변화에 따른 부하단에 걸리는 전력의 변화를 살펴본 것이다. 그림에서 보듯이 토크의 변화에 따른 부하단의 전력변화의 양은 눈으로 확인할 수 없을 정도로 일정하게 제어됨을 알 수 있다. 그림 2-9는 토크의 변화를 주었는데 정격범위 이외의 양으로 변화를 주었다. 그렇게 한 결과 출력제어 시스템이 제

대로 기능을 발휘하지 못하는 것을 알 수 있다.

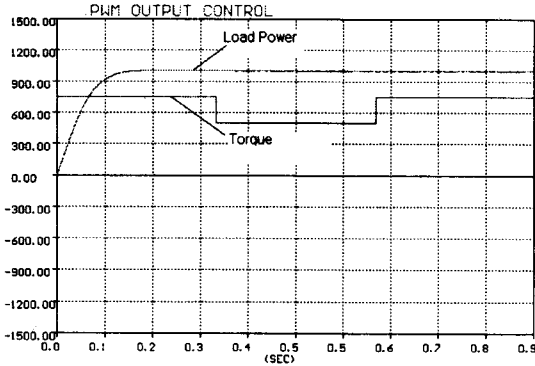


그림 2-8 입력 토크값 변화에 따른 부하 전력의 변화

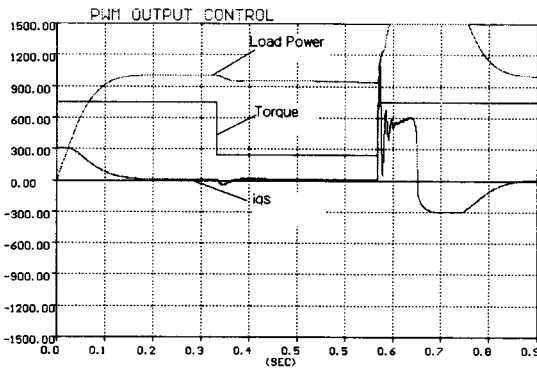


그림 2-9 정격 풍속이외의 범위에서 부하 전력의 변화

3. 결 론

본 논문에서는 효율이 높고 관성이 적으며 출력대 증량비가 큰 특성을 가지는 영구자석 표면부착형 동기발전기에 대하여 벡터제어 알고리즘 및 공간전압벡터 PWM 기법을 이용한 풍력발전기의 새로운 출력제어시스템을 제안하였다. 이를 위하여 먼저 공간벡터 표현법을 사용하여 영구자석형 동기발전기의 고정좌표계에서의 전압방정식을 유도하고 이를 dq동기 회전좌표계로 변환한 후에 이로부터 출력전압 방정식을 유도하여 발전기를 수학적으로 모델링 하였으며 이를 바탕으로 출력제어를 위한 벡터제어 알고리즘과 d축 및 q축 전류와 전압을 각각 독립적으로 제어하기 위한 전압분리제어기법을 제시하였다.

출력제어기에는 과도응답 특성이 우수한 PI제어기를 사용하였고, d축 및 q축의 전류제어기에도 역시 PI제어기를 사용하였으며, 실제로 시스템의 전류제어부를 구현하기 위하여 공간전압벡터 PWM 기법을 이용한 전류제어형 PWM 인버터를 사용하였다.

제안된 시스템을 2.2[kW] 용량의 영구자석 표면부착형 3상 동기 발전기에 적용하고 이에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과, 이 시스템이 풍속의 변화에 의한 출력전압 변동율이 제어기를 없을 때 보다 월등히 개선되었음을 확인했다. 따라서 제안된 시스템은 점점 확대될 소형 풍력발전시스템의 발생 전력을 보다 안정적으로 공급할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] H. W. van der Broeck, H. C. Skudelny and G. V. Stanke, "Analysis and Realization of a

Pulse width Modulator Based on Voltage Space Vector", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol IA-24, No. 1, pp. 142-150, Jan./Feb. 1988.
 [2] 동력자원부, 한국형 풍력발전 시스템 개발과 설치 운용에 관한 실증 연구, 1993.
 [3] 산업자원부, 농어촌 전화사업을 위한 태양광·풍력 복합발전기 시스템 개발, 1999.2
 [4] 이동춘, 김영렬, 설승기, IGBT 인버터-유도전동기 구동 시스템을 위한 전류제어기의 특성 연구, 전기학회 논문지, 제43권, 제2호, pp. 215~224, 1994. 2.
 [5] Peter Vas, Electrical Machines and Drives, A Space-Vector Theory Approach, Oxford University Press, 1992.
 [6] S. Yamamura, Spiral Vector Theory of AC Circuits and Machines, Oxford University Press, 1992.