풍력발전기용 최대전력점 추종제어기에 관한 연구

강주성*, 고강훈, 한호동, 이현우
경남대학교 전기공학과

The Study of Maximum Power Point Tracking Controller for the Wind Power Generator

Ju sung Kang*, Kang hoon Koh, Ho dong Han, Hyun woo Lee
Division of Electrical Engineering, Kyungnam University

Abstract - 현재 화석연료에만 의존하는 에너지 시장을 변화시키고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있는 가운데 신재생에너지(연료전지, 풍력, 태양광 등)를 복합적으로 활용한 분산전원시스템에 관한 관심이 증가하고 있다. 이 가운데 풍력 발전시스템은 발전효율, 가격측면 등에 있어 많이 연구되고 있다. 그러나 풍력발전시스템의 경우 난류가 되기 쉽고, 풍향이나 풍속이 수십초의 간격으로 변화하기 때문에, 바람의 에너지를 최대한 이용하는 최대전력점추종(MPPT)제어기의 역할이 가장 중요하다.
본 논문에서는 소형풍력발전기를 활용하여 풍속, 풍차 회전속도, 전력 등의 정보를 이용한 기존 방식에 비하여 아주 간단한 제어기법을 구현하고자 한다.

1. 서 론

풍력발전시스템 원천기술은 해외 기술에 의존하고 있고, 실증사업에 활용된 설비 또한 수입된 풍력발전설비를 활용하고 있는 등 자체 기술 개발이 시급한 과제로 제기되고 있다. 또한, 풍력발전시스템에 대한 연구는 막대한 연구비 부담으로 인하여 연구가 원활히 진행되지 않는 점과 다양한 종류의 풍력터빈, 발전기 및 전력변환장치 등을 쉽게 모의할 수 있는 풍력발전시스템 시뮬레이터 개발도 부족한 실정이다.
내지형적으로 평지가 많아 풍향이나 풍속이 비교적 안정되어 있는 유럽이나 미주의 환경조건과 비교해 볼 때, 산이 많은 우리나라의 바람은 난류가 되기 쉽고 풍향이나 풍속이 수 십초 간격으로 변화되기 때문에 바람의 에너지를 항상 최대한 이용하는 최대전력점추종(MPPT : Maximum Power Point Tracking)제어가 중요하다. 기존의 풍력발전 제어 시스템은 피치(Pitch)제어 시스템 및 스톨(Stall)제어 시스템 기법이 사용되고 있다. 이 방법은 제어 방법이 복잡하며 출력전력을 정출력으로 제어하는 방법이 아니라 기계적인 방법으로 제어하기 때문에 부가적인 전력변환장치가 필요하게 된다.
따라서, 본 논문에서는 간단한 제어기법을 적용하여 항상 정출력을 얻을 수 있는 최대전력제어기법을 제안한다. 이 기법은 출력단의 전압 리플을 일정값 이내로 제한함으로써 출력변동이 발생했을 경우에도 안정적으로 최대전력을 출력할 수 있도록 한다. 단 이 기법의 단점은 부하와 바로 직결되어 사용하는 시스템이 아니라 출력을 보상하기 위한 배터리 및 플라이 휠과 같은 시스템을 혼용하여 계통과 연계한 시스템일 경우 원활한 효과를 발휘 할 수 있다.

2. 본 론

2.1 풍력발전의 기본이론

2.1.1 풍속의 운동에너지

풍속 $V\omega$ [m/s]의 바람이 풍차를 통과했을 때, 단위시간 당에 그 바람이 가지는 운동 에너지는 식(2-1)과 같이 나타내어진다.

$$E_{IN} = \frac{1}{2} \cdot M \cdot V_{\omega}^2$$
$$= \frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot A \cdot V_{\omega}) \cdot V_{\omega}^2$$
$$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_{\omega}^2 [W] \qquad (2\text{-}1)$$

여기서, ρ : 공기 밀도 [kg/㎥]
A : 수풍 면적 [㎡]
V_{ω} : 같은 세기의 풍속 [㎧]
M : 공기의 무게 [kg]

여기서, 1초 사이에 풍차를 통과한 공기의 무게 M는, 1초간에 풍차를 통과한 공기의 체적과 공기 밀도의 적이며, 그 체적은 풍차의 중심축 부분을 제외한 도너츠상의 원주가 된다.

2.1.2 주속비

주속비와는 풍차의 성능을 나타내는 파라미터의 하나로 "유입 풍속에 대한 풍차의 주속의 비" 로서 정의되어 식(2-2)와 같이 나타내어진다. 예를 들면, 풍속 5[㎧]에 대해서 풍차의 주속이 25[㎧]일때, 그 주속비는 5이다.
식(2-3)은 ω[rad/sec]는 풍차의 기계 각속도, r[m]는 풍차반경, V_{ω}[m/sec]는 풍차에 유입하는 한결같은 풍속을 나타낸다.

$$\lambda = \frac{\omega_m R}{v} \qquad (2\text{-}2)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{P} \qquad (2\text{-}3)$$

여기서 λ : 주속비, ω_m : 풍차의 회전속도
R : 풍차의 반지름, v : 풍속

2.1.3 파워계수

파워 계수와는 "유입하는 바람이 가지는 운동 에너지 중에서 풍차를 이용해 꺼내는 일을 할 수 있는 파워의 비율" 로서 정의되어 식(2-4)과 같이 나타낸다. 다만, E_{out}는 실제로 얻을 수 있는 파워 [W], E_{IN} 는 유입하

는 바람이 가지는 운동에너지이다.

또, 이 파워계수에는 뱃츠의 한계로 불리는 공기역학적인 이론 한계치가 존재해, 그 값은 59.3[%]이다. 그러나 실제의 상한으로서는 최적 설계를 해도 45[%]정도라고 하고 있다.

$$C_P = \frac{E_{out}}{E_{IN}} \qquad (2\text{-}4)$$

2.2 제안하는 MPPT제어기

2.2.1 일반적인 풍력발전기용 제어이론

피치제어기 (Pitch Controller)

풍력 발전기의 출력을 일정하게 제어하는 방법으로 날개의 회전면에 대해 각 날개의 피치각을 조절하여 터빈에 가해지는 입력을 기계적으로 제한한다. 피치각이 커지면 날개의 회전속도가 줄어들게 되어 발전기에 전해지는 힘이 약해진다. 피치각의 범위는 0. ~ 90. 이며 날개의 접합부에 리미트 스위치가 있어 이 범위를 넘지 않도록 한다.

피치 제어 방식은 정격 풍속일때 최대 양력이 발생하도록 회전익의 피치각을 유지하다가 정격풍속 이상의 풍속에 대해서는 회전익의 피치각을 변화시켜 일정 회전수를 유지하도록 제어하는 방식으로서 기계적인 복잡성은 있으나 제어 성능이 양호하기 때문에 널리 이용되고 있다.

전체 시스템의 제어를 위해서는 회전익의 피치각을 제어할 수 있도록 유압제어기의 설계와 회전익의 속도를 제어하여 출력을 제어할 수 있도록 컨트롤하는 출력 제어기의 설계가 필요하다.

피치제어 시스템의 목적은 풍속이 정격 이상일 경우 풍차가 항상 정격출력을 흡수하도록 하는 것인데, 풍속이 정격이상이 되면 풍차날개의 피치각을 조절하여 풍차가 흡수하는 전력을 제어하는 것을 말한다.

이 방법은 가장 많이 사용되는 방법이지만 유압제어기, 출력제어기등 사용하기 까다롭고 기계적으로 복잡하다.

2.2.2 제안하는 MPPT제어

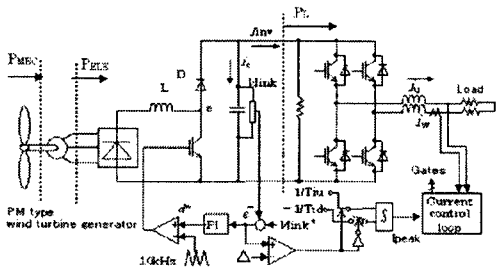

그림 2.1 소형풍력발전기를 위한 간이 최대전력점 추종시스템의 구성

제안하는 소형 풍력 발전기를 위한 간이 최대 전력점추종시스템의 구성을 그림 2.1에 나타낸다. PWM 인버터로 구동되는 송풍기에 의해 영구자석형 동기 발전기의 축으로 직결한 풍차를 구동한다. 사용한 발전기의 최대 출력은 내부 손실도 부하 전력의 일부라고 생각해 출력으로 환산하는 것으로, 최대 회전 속도에 대해 약 50 [W]이다. 교류로 얻을 수 있던 발전 전력은 발전기 내부의 다이오드 브리지에 의해 정류 되고 승압 초퍼를 개입시켜 직류 링크부의 콘덴서에 공급된다. 직류 링크부는, 승압 초퍼부에서의 PI (비례 적분) 전압 피드백 제어의 기능에 의해 항상 일정전 60 [V] 로 유지된다. 여기에서는, 그 전압 제어의 완화시간을 τ_{π}[s] 라고 정의한다.

2.2.3 동작해석

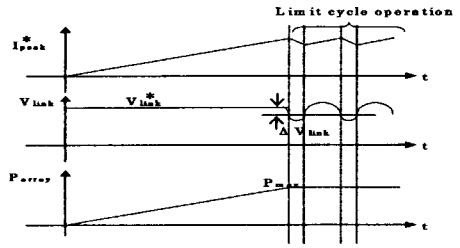

그림 2.2 리미트 사이클 MPPT 기법의 이상적인 동작 파형

그림 2.2는 리미트 사이클 MPPT 법의 동작원리를 나타낸 것이다. 초퍼부, 인버터부는 공통의 직류 링크 전압 오차 ϵ_V에 의해 제어된다. 출력 전력이 최대치에 이르기 않을 때에는 전류 지령치를 램프장에 천천히 증가시킨다. 이 동작은 적분기에 정의 일정치 $1/T_{iu}$ 를 입력하는 것으로써 실현되어 그 시간 변화의 비율은 완화시간 T_{iu} [s]에 의해 조절된다. 그리고, 출력 전력이 그 풍속에 대해 출력 가능한 최대치를 넘으면, 전력의 수급 밸런스가 무너져 이미 승압 초퍼부에서의 전압 제어가 효과가 없게 되어 직류링크 전압은 급격하게 저하한다. 거기서 전압 오차가 있는 일정한 값에 이르면, 전류 지령치의 기울기를 정의로부터 부의 $-1/T_{id}$ 에 새로 바꾸어 전류 지령치를 감소시키는 것으로 직류링크 전압은 다시 상승한다. 여기서, 부의 기울기의 크기는 완화시간 T_{id} [s]에 의해 조절된다.

2.3 시뮬레이션 결과 분석

PSIM 의해, 풍력 발전에 있어서의 리미트 사이클 방식 MPPT 법의 시뮬레이션을 행한다. 그림 2.3에 시뮬레이션 회로도를 나타낸다.

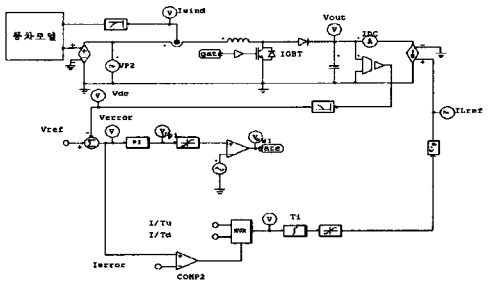

그림 2.3 시뮬레이션 회로도

리미트 사이클 방식 MPPT제어 블록에서는 링크부 전압 오차가 0.5[V]이상이 되었을 때, 전류를 5[A]의 기울기로 감소시켜, 링크부의 전압 오차가 1.0[V]미만 일 때, 전류를 0.5[A]로 증가 시킨다.

그림 2.4는 풍속 13.1[%]의 정상 상태의 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 링크부 전압으로부터 지령치 60[V]에 진동이 유지되고 있는 것을 알 수 있다. 이 진동은 리미트 사이클이 동작하고 있는 것을 알 수 있고 링크부 전류의 파형으로부터 링크부 전압의 파형으로 전압오차가 1[V]를 넘으면 전류의 지령치가 증가로부터 감소로 변하고 있는 것을 알 수 있다.

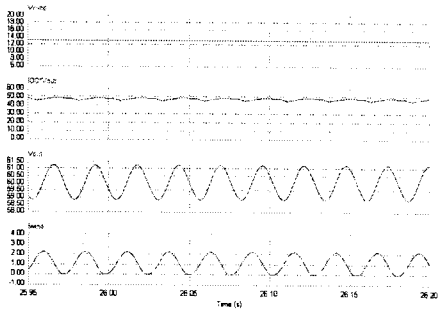

그림 2.4 등가풍속 13.1[%]일때 각 파형

그림 2.5는 풍속 12[%]의 정상 상태의 시뮬레이션 파형을 나타낸다.

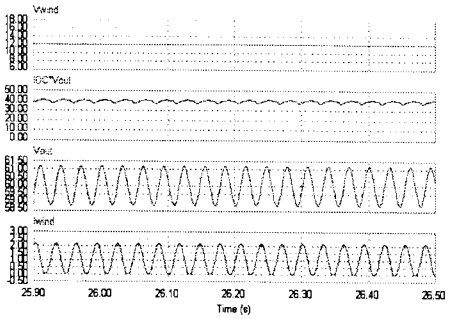

그림 2.5 등가풍속 12[%]일때 각 파형

그림 2.6 는 풍속 11.1[%]의 정상 상태의 시뮬레이션 파형을 나타낸다.

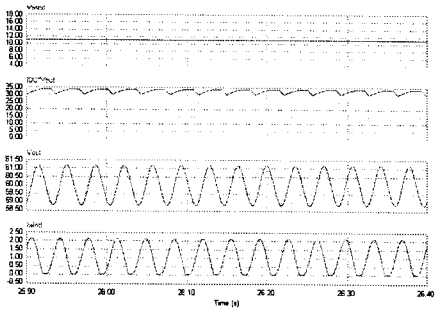

그림 2.6 등가풍속 11.1[%]일때 각 파형

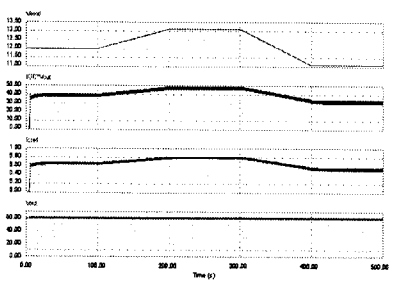

그림 2.7 풍속을 변화했을 때의 파형

그림 2.7은 풍속을 12[%]에서 13.1[%]로 또 11.1[%]로 변화 했을 때의 파형을 나타낸다. 링크부의 파형으로부터 항상 60[V]로 유지되고 있는 것을 알 수 있었으며, 출력 전압은 각 각 풍속에서 11.1[%]일 때는 출력이 33[W]로 나타냄을 알 수 있었고, 풍속이 12[%]일 때는 약 39[W]로 알 수 있었으며, 풍속이 13.1[%] 일 때는 약 48[W]로 나타남을 알 수 있었다. 이 파형으로부터 출력이 풍속에 따라 높고 낮음을 나타내는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

이상과 같이 본 논문에서는 풍속센서, 회전속도센서, 입출력 전력의 연산이 필요 하지 않는 간단한 MPPT 제어기법을 제안하였다. 제안한 기법의 타당성을 검증하기 위하여 PSIM을 통한 풍력발전기 모델 및 회로로 시뮬레이션 하였다. 그 결과 계통연계 인버터 링크 전압 센서와 계통측 전류 센서만을 필요로 하기 때문에 간단한 MPPT 동작 한다는 것을 시뮬레이션으로써 확인하였다.

향후, 실험회로를 구성하여 계통과 연계시의 특성을 분석함으로 보다 폭넓은 분야에서 활용가능성을 분석하고자 한다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축 지원 사업으로 수행된 논문입니다.

[참 고 문 헌]

[1] Sang-Geun Han, Min-won Park, In-Keun Yu : "Syudy on the simulation for synchronous generator type wind power system using PSCAD/EMTDC", ICEE, Vol. 1, pp. 161-165, 2002.

[2] Sachin Jain, Vivek Agarwal : "A New Algorithm for Rapid Tracking of Approximate Maximum Power Point in Photovoltaic Systems", IEEE POWER ELECTRONICS LETTERS, VOL. 2, NO.1, pp. 16-19, 2004. 3.

[3] Mohammad A.S. Masoum, Hooman Dehbonei, and Ewald F.Fuchs : "Theoretical and Experimental Analysis of Photovoltaic Systems With Voltage-and Current-Based Maximum Power Point Tracking", IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 17, NO.4, pp. 514-522, 2002. 12.

[4] E.Muljadi and C.P. Butterfield : "Pitch-controlled Variable Speed Wind Turbine Generation", IEEE Transactions on Industry Application, Vol. 37, No. 1. pp. 240-246, Jan./Feb. 2001.

[5] Siegfried Heier : "Grid Integration of Wind Energy Conversion System", John Wiley & Sons Ltd, pp. 17-19, 120-121, 1998.

[6] Ju-Sung Kang, Nabil A. Ahmed, Kwang-Joo Choi, Hyun Woo Lee and Mutsuo Nakaoka : "Pulse Modulated AC Voltage Regulator Using Bidirectional Active Switches with Different Control Strategies" ICEMC2005(the eighth International Conference on Electrical Machines and system), pp. 1107-1111 , 2005. 09. 27-29, 2005. Nanjing, China

[7] Ju-Sung Kang, Khairy Fathy, Doo Sung Hong, Ki-Young Suh, Hyun Woo Lee, Mutsuo Nakaoka : "A New High Frequency Linked Soft-Switching PWM DC-DC Converter with High and Low Side DC Rail Active Edge Resonant Snubbers for High Performance Arc Welder" 2006 년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계학술대회 논문집, pp. 281 -283, 2006.