



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0057230
(43) 공개일자 2013년05월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02P 9/04 (2006.01) *H02K 7/18* (2006.01)

F03D 11/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2011-0123044

(22) 출원일자 2011년11월23일

심사청구일자 2011년11월23일

(71) 출원인

한밭대학교 산학협력단

대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)

(72) 발명자

임채욱

대전광역시 서구 월평동로 83, 110동 1506호 (월평동, 다모아아파트)

김상균

충청북도 청원군 현도면 노산리 571-4번지

(74) 대리인

특허법인 신지

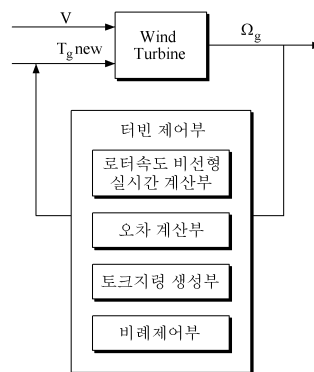
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 풍력터빈의 응답속도를 빠르게 하고 출력과워를 향상시키기 위해 공기역학적 토크의 로터속도에 대한 비선형성 파라미터를 실시간으로 계산하여 이를 이용하는 토크제어방법 및 그 장치에 관한 것으로, 발전기의 회전속도를 제공하여 최적모드 계인에 곱함으로써, 토크지령을 생성하는 토크지령생성부와, 현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력 사이 오차를 계산하는 오차계산부와, 실시간으로 계산된 로터속도의 비선형 파라미터를 계산하는 로터속도 비선형 실시간 계산부 및 상기 오차계산부에서 계산된 오차값과 상기 로터속도 비선형 실시간 계산부에서 계산된 로터속도 비선형 파라미터 값에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 비례제어부를 포함하는 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어장치 및 이를 이용한 토크제어방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20110004862
부처명	교육과학기술부
연구사업명	일반연구자지원사업
연구과제명	풍력발전기의 공기역학적 비선형성 제거 보상기 개발
주관기관	한밭대학교 산학협력단
연구기간	2011.05.01 ~ 2012.04.30이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	20093021020030
부처명	지식경제부
연구사업명	신재생에너지기술개발사업
연구과제명	풍력발전 제어시스템
주관기관	광운대학교 산학협력단
연구기간	2009.06.01 ~ 2012.05.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	2009-H-1-B-Y0-A-042
부처명	지식경제부
연구사업명	광역경제권선도산업육성사업
연구과제명	MW급 풍력발전기 출력제어 및 운영장치 개발
주관기관	(주)엘시스
연구기간	2009.12.01 ~ 2012.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

토크제어를 사용하여 풍속의 변화에 따른 응답속도를 빠르게 하여 최대 출력을 생산하기 위한 풍력터빈의 토크 제어장치에 있어서,

발전기의 회전속도를 제어하여 최적모드 계인에 곱함으로써, 토크지령을 생성하는 토크지령생성부;

현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력 사이 오차를 계산하는 오차계산부;

실시간으로 계산된 로터속도의 비선형 파라미터를 계산하는 로터속도 비선형 실시간 계산부; 및

상기 오차계산부에서 계산된 오차값과 상기 로터속도 비선형 실시간 계산부에서 계산된 로터속도 비선형 파라미터 값에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 비례제어부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어장치.

청구항 2

토크제어를 사용하여 풍속의 변화에 따른 응답속도를 빠르게 하여 최대 출력을 생산하기 위한 풍력터빈의 토크 제어방법에 있어서,

발전기의 회전속도를 제어하고 최적모드 계인에 곱하여 토크 지령을 생성하는 단계;

현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력 사이에 오차를 계산하는 단계;

실시간적으로 계산된 로터속도의 비선형 파라미터를 계산하는 단계; 및

상기 오차계산부에서 계산된 오차값과 상기 로터속도 비선형 실시간 계산부에서 계산된 로터속도 비선형 파라미터 값에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 발전기 회전속도 기준입력은 최적 주속비(λ_{opt})의 정보를 이용하여 생성되는 것을 특징으로 하는 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 생성된 발전기 회전속도 기준입력(Ω_{ref})은 발전기 정격속도 값을 갖는 최대값($\Omega_{ref, max}$)과, 발전기 특성에 의해 좌우되는 값으로 발전기 정격속도의 약 50 ~ 70%정도의 값을 갖는 최소값($\Omega_{ref, min}$)사이에 포화되는 것을 특징으로 하는 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법.

청구항 5

제 2항에 있어서,

상기 계인상수는 1보다 큰 값을 사용하는 것을 특징으로 하는 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어장치 및 방법에 관한 것으로, 로터속도

의 비선형성 파라미터를 실시간으로 계산하고 로터속도의 비선형 파라미터를 계인으로 사용하여 풍력터빈의 발전기 응답속도를 빠르게 하여 출력파워를 향상시키는 비선형성 파라미터를 이용한 로터속도의 풍력터빈의 토크 제어장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 풍력터빈은 바람이 가진 운동에너지를 블레이드 회전을 통하여 기계적인 에너지로 변환시키고, 변환된 기계적인 에너지를 발전기를 이용하여 전기에너지로 변환하는 장치이다.

[0003] 상기와 같은 풍력터빈의 제어에 있어서 중요하게 고려되어야 할 사항은 바람과 블레이드의 상호작용에 의한 공기역학적 토크의 비선형성의 영향이다. 공기역학적 토크의 비선형성으로 인해 블레이드, 로터, 회전축, 기어박스, 타워, 발전기 등 풍력터빈의 각 구성요소들을 선형모델로 가정하더라도 풍력터빈의 전체 거동은 비선형적인 거동을 보이게 된다. 풍력터빈의 비선형성과 제어는 밀접한 연관성을 갖는다.

[0004] 풍력터빈 제어에 있어서 비선형적인 3가지의 요인이 존재하게 된다. 입력이 되는 풍속, 토크제어에 영향을 주는 로터속도, 피치제어에 영향을 주는 피치각이 존재하게 된다. 토크제어는 발전기 회전속도를 제어하기 위해서 발전기 토크크기를 조절하여 최적의 발전기 속도를 제어하게 된다. 종래에 많이 사용해오던 토크제어 방법으로 최적모드 계인방법이 있다.

[0005] 도2는 종래에 사용되는 풍력터빈의 토크제어 방법을 도시한 블록선도이다. 도시된 바와 같이 종래에는 발전기 속도를 되먹임하고 제공한 후 최적모드계인인 K_{opt} 를 곱하여 풍력터빈에 토크입력으로 사용하였다. K_{opt} 는 시스템이 결정되면 고정된 계인값을 사용하게 된다. 이 방법을 사용할 때 한계가 발생하게 된다. 첫째, 고정된 계인값으로 인하여 발전기 회전속도의 응답속도를 빠르게 향상시킬 수 없다. 둘째, 풍력터빈이 대형화되는 추세와 함께 블레이드 길이는 증가한다. 이와 같이 로터 관성모멘트도 증가하게 되어 발전기 응답속도를 향상시킬 수 없다. 이런 단점을 극복하기 위해 다른 제어 방법들이 많이 거론되고 있는 추세이다.

[0006] 풍력터빈의 관성모멘트를 줄여주기 위해서 발전기 회전가속도를 이용한 토크제어방법, 발전기에 발생하는 토크와 공기역학적 생성되는 토크와의 오차를 줄여주기 위해서 공기역학적 토크를 이용한 토크제어 방법 등이 제시되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 상기와 같은 종래 문제점을 해결하기 위한 본 발명에서는 풍력터빈의 응답속도를 빠르게 하고 출력파워를 향상시킬 수 있도록 공기역학적 토크의 로터속도에 대한 비선형성 파라미터를 실시간으로 계산하여 이를 이용하는 토크제어방법 및 그 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은 발전기의 회전속도를 제공하여 최적모드 계인에 곱함으로써, 토크 지령을 생성하는 토크지령생성부와, 현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력 사이 오차를 계산하는 오차계산부와, 실시간으로 계산된 로터속도의 비선형 파라미터를 계산하는 로터속도 비선형 실시간 계산부 및 상기 오차계산부에서 계산된 오차값과 상기 로터속도 비선형 실시간 계산부에서 계산된 로터속도 비선형 파라미터 값에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 비례제어부를 포함하는 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어장치를 제공한다.

[0009] 또한, 발전기의 회전속도를 제공하고 최적모드 계인에 곱하여 토크 지령을 생성하는 단계와, 현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력사이에 오차를 계산하는 단계와, 실시간적으로 계산된 로터속도의 비선형 파라미터를 계산하는 단계 및 상기 오차계산부에서 계산된 오차값과 상기 로터속도 비선형 실시간 계산부에서 계산된 로터속도 비선형 파라미터 값에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 단계를 포함하는 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법을 제공한다.

[0010] 또한, 상기 발전기 회전속도 기준입력은 최적 주속비(λ_{opt})의 정보를 이용하여 생성된 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법을 제공한다.

- [0011] 또한, 상기 생성된 발전기 회전속도 기준입력(Ω_{ref})은 발전기 정격속도 값을 갖는 최대값($\Omega_{ref, max}$)과, 발전기 특성에 의해 좌우되는 값으로 발전기 정격속도의 약 50 ~ 70%정도의 값을 갖는 최소값($\Omega_{ref, min}$)사이에 포함되는 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법을 제공한다.
- [0012] 또한, 상기 계인상수는 1보다 큰 값을 사용하는 로터속도의 비선형성 파라미터를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0013] 본 발명에 따르면, 로터속도의 비선형성 파라미터를 실시간 계산하고 이를 이용하는 방법을 통해 발전기의 응답속도를 빠르게 하고 출력과위를 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 본 발명에 따른 토크제어의 구간에서 예를 표시하는 (최대 출력의 피치각이 0, 최적 주속비 8.1, 최대 출력계수가 0.4662) 그래프,
- 도 2는 종래의 토크제어 방법인 최적모드계인 방법의 블록선도,
- 도 3은 본 발명에 따른 로터속도의 비선형 파라미터를 계인으로 사용한 토크방법의 제어장치 블록선도,
- 도 4는 로터속도의 비선형 파라미터를 실시간으로 계산하기 위한 일 예를 Simulink 모델로 구현한 도면,
- 도 5는 로터속도의 비선형 파라미터를 이용한 토크제어 방법의 블록선도,
- 도 6은 발전기 회전속도의 기준입력을 만드는 방법의 블록선도,
- 도 7은 8m/s에서 6m/s로 급격하게 변하는 계단풍속을 나타낸 도면,
- 도 8은 8m/s에서 6m/s로 급격하게 변하는 계단풍속 일때의 로터속도의 비선형파라미터를 계인으로 사용하고 계인상수 1을 사용한 토크제어에 대한 풍속, 발전기 회전속도, 발전기 토크, 출력과위, 출력계수, 로터속도의 비선형 파라미터 결과를 나타낸 도면,
- 도 9는 8m/s에서 6m/s로 급격하게 변하는 계단풍속일 때의 로터속도의 비선형파라미터를 계인으로 사용하고 계인상수 2를 사용한 토크제어에 대한 풍속, 발전기 회전속도, 발전기 토크, 출력과위, 출력계수, 로터속도의 비선형 파라미터 결과를 나타낸 도면,
- 도 10은 8m/s에서 6m/s로 급격하게 변하는 계단풍속 일때의 로터속도의 비선형 파라미터의 추세를 나타낸 도면,
- 도 11은 평균풍속 7 m/s이고 난류강도가 10%인 난류 풍속을 나타낸 도면,
- 도 12는 난류풍속에 로터속도의 비선형파라미터를 계인으로 사용하고 계인상수 2를 사용한 토크제어에 대한 발전기 회전속도, 발전기 토크, 출력과위, 출력계수를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하에서 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 로터속도의 비선형성을 이용한 풍력터빈의 토크제어방법 및 그 장치에 대해 상세하게 설명한다.
- [0016] 본 발명에 따른 풍력터빈의 토크제어장치는 토크제어를 사용하여 풍속의 변화에 따른 응답속도를 빠르게 하여 최대 출력을 생산하기 위한 것으로, 발전기의 회전속도를 제어하여 최적모드 계인에 곱함으로써, 토크지령을 생성하는 토크지령생성부와, 현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력 사이 오차를 계산하는 오차계산부와, 실시간으로 계산된 로터속도의 비선형 파라미터를 계산하는 로터속도 비선형 실시간 계산부 및 상기 오차계산부에서 계산된 오차값과 상기 로터속도 비선형 실시간 계산부에서 계산된 로터속도 비선형 파라미터 값에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 비례제어부를 포함한다.
- [0017] 한편, 본 발명에 따른 풍력터빈의 토크제어방법은 토크제어를 사용하여 풍속의 변화에 따른 응답속도를 빠르게 하여 최대 출력을 생산하기 위한 것으로, 발전기의 회전속도를 제공하고 최적모드 계인에 곱하여 토크 지령을 생성하는 단계와, 현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력사이에 오차를 계산하는 단계와, 실시간적으로 계산된 로터속도의 비선형 파라미터를 계산하는 단계 및 상기 오차계산부에서 계산된 오

차값과 상기 로터속도 비선형 실시간 계산부에서 계산된 로터속도 비선형 파라미터 값에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 단계를 포함하여 구성된다.

수학식 1

[0018]

$$P_r = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_p(\lambda(t), \beta(t)) V^3(t)$$

수학식 2

[0019]

$$T_r = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 \frac{C_p(\lambda(t), \beta(t))}{\lambda(t)} V^2(t)$$

[0020]

여기서 λ 는 주속비($TSR, R\Omega_r/V$), Ω_r 은 로터 회전속도, ρ 는 공기밀도, R 은 블레이드 길이, C_p 는 출력계수, V 는 풍속, β 는 피치각이다. 공기역학적 출력은 수학식 1로 공기역학적 토크는 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다. 출력계수 $C_p(\lambda, \beta)$ 는 주속비와 피치각의 함수이고 토크제어 구간에선 피치각이 고정됨으로 $C_p(\lambda)$ 로 나타낼 수 있다. 블레이드의 길이는 시스템이 결정되면 고정되는 값이다.

수학식 3

[0021]

$$T_g(t) = K_{opt} \Omega_g^2(t)$$

여기서 최적모드계인 $K_{opt} = \frac{1}{2\lambda_{opt}^3 N_{gb}^3} \pi \rho R^5 C_{p,max}$ 이다.

[0022]

N_{gb} 는 기어박스의 기어비이다.

[0023]

도1은 토크제어 구간에서 사용되는 출력계수의 일 예 그래프이다. 토크제어 구간에서의 출력계수는 피치각이 고정됨으로 $C_p(\lambda)$ 로 나타낼 수 있다. 토크제어 구간에서는 최대 출력계수가 나오는 지점인 최적주속비인 λ_{opt} 를 만들어 주는 것이 중요하다. 발전기 회전속도를 제어하기 위해 발전기 토크를 제어 함으로써 최적주속비를 유지하여 최대출력계수가 생산될 수 있게 만들어 준다.

[0024]

도2은 종래에 사용되는 풍력터빈의 토크제어 방법을 도시한 블록선도이다. 발전기 속도를 되먹임하고 제공한 후 최적모드계인인 K_{opt} 를 곱하여 풍력터빈에 토크입력으로 사용하였다. K_{opt} 는 시스템이 결정되면 고정된 계인값을 사용하게 된다. 이 방법을 사용할 때 한계가 발생하게 된다. 첫째, 고정된 계인값으로 인하여 발전기 회전속도의 응답속도를 빠르게 향상시킬 수 없다. 둘째, 풍력터빈이 대형화되는 추세와 함께 블레이드 길이는 증가한다. 이와 같이 로터 관성모멘트도 증가하게 되어 발전기 응답속도를 향상시킬 수 없다. 이를 개선하기 위하여 로터속도의 비선형 파라미터를 계인계인으로 사용한 방법은 도 3과 같이 제시하였다.

[0025]

도 3은 로터속도의 비선형 파라미터를 계인으로 이용한 토크제어의 방법이다. 종래의 방법으로 토크를 생성시킨 토크지령 생성부, 로터속도를 실시간으로 계산하는 로터속도 비선형 실시간 계산부, 발전기 회전속도와 발전기 회전속도 기준입력간의 오차를 계산하는 오차계산부 및 상기 오차계산부에서 계산된 오차값($\delta\Omega_g$)과 상기 로터속도 비선형 실시간 계산부에서 계산된 로터속도 비선형 파라미터 값(B_{Ω_r})에 계인상수(α_g)를 곱하여 추가적으로 공급하는 토크를 계산하는 비례제어부를 포함하고 있다.

수학식 4

[0026] $O_p = \Omega_{ro}, \beta_o, V_o$

수학식 5

[0027] $T_r(t) = T_{ro}(t) + \delta T_r(t)$

수학식 6

[0028]
$$\delta T_r(t) = \left. \frac{\partial T_r(t)}{\partial \Omega_r(t)} \right|_{O_p} \cdot \delta \Omega_r(t) + \left. \frac{\partial T_r(t)}{\partial \beta(t)} \right|_{O_p} \cdot \delta \beta(t) + \left. \frac{\partial T_r(t)}{\partial V(t)} \right|_{O_p} \cdot \delta V(t)$$

[0029] 공기역학적 토크를 로터속도, 피치각, 풍속에 대한 동작점 O_p 를 수학식 4와 같이 두고, 이들의 동작점 근처에서의 발전기 속도, 피치각, 풍속의 변화를 각각 $\delta \Omega_r, \delta \beta, \delta V$ 로 두면 비선형적인 공기역학적 토크는 수학식 5와 같이 선형화된다. 여기에서 T_{ro} 는 동작점에서의 공기역학적 토크이고 δT_r 은 동작점 근처에서 토크의 변화로 수학식 6과 같이 비선형성 파라미터로 표현할 수 있다.

수학식 7

[0030]
$$N_{\Omega_r}(t) = - \left. \frac{\partial T_r(t)}{\partial \Omega_r(t)} \right|_{O_p}$$

수학식 8

[0031]
$$\frac{\partial \lambda(t)}{\partial \Omega_r(t)} = \frac{R}{V(t)}$$

수학식 9

[0032]
$$\frac{\partial C_p(t)}{\partial \Omega_r(t)} = \frac{\partial C_p(t)}{\partial \lambda(t)} \frac{\partial \lambda(t)}{\partial \Omega_r(t)} = \frac{R}{V(t)} \frac{\partial C_p(t)}{\partial \lambda(t)}$$

수학식 10

[0033]
$$\frac{\partial T_r(t)}{\partial \Omega_r(t)} = \frac{\pi R^2}{2} \left[- \frac{V^3(t)}{\Omega_r^2(t)} C_p(t) + \frac{R V^2(t)}{\Omega_r(t)} \frac{\partial C_p(t)}{\partial \lambda(t)} \right]$$

[0034] 여기서 N_{Ω_r} 은 로터속도의 비선형 파라미터이다. 토크제어 구간에선 한 값으로 고정되기 때문에 피치각에 대한

비선형성 파라미터는 토크제어에 영향을 미치지 않게 된다. 토크제어 구간에서 특성을 파악하기 위해서는 수학적 식 7의 로터속도의 비선형성 파라미터(N_{Ω_r})를 알아야 하는데, 이는 공기역학적 토크를 로터속도에 대하여 편미분하면 구할 수 있다. 로터속도의 비선형 파라미터는 물리적으로 감쇠역할을 함으로 이 편미분한 값에 마이너스 부호를 붙여서 표현한다. 출력계수를 로터속도로 편미분한 값은 수학적 식 8과 같다. 로터속도의 비선형성 파라미터는 수학적 식 8과 9를 적용하면 수학적 식 10과 같이 구할 수 있다.

수학적 식 11

[0035]

$$T_{\epsilon}(t) = \frac{T_r(t)}{N_{\Omega_b}}$$

수학적 식 12

[0036]

$$J_{\epsilon}\dot{\Omega}_g(t) + B_{\epsilon}\Omega_g(t) = T_{\epsilon}(t) - T_g(t)$$

수학적 식 13

[0037]

$$J_{\epsilon}\dot{\Omega}_g(t) + (B_{\epsilon}(t) + \frac{1}{N_{\Omega_b}^2} \frac{\partial T_r(t)}{\partial \Omega_r(t)} \Big|_{\Omega_g}) \delta \Omega_g(t) = -\delta T_g(t) + \frac{1}{N_{\Omega_b}} \frac{\partial T_r(t)}{\partial \beta(t)} \Big|_{\Omega_g} \cdot \delta N_{\beta}(t) + \frac{1}{N_{\Omega_b}} \frac{\partial T_r(t)}{\partial V(t)} \Big|_{\Omega_g} \cdot \delta N_V(t)$$

수학적 식 14

[0038]

$$B_{\Omega_g}(t) = \frac{1}{N_{\Omega_b}^2} \frac{\partial T_r(t)}{\partial \Omega_r(t)} \Big|_{\Omega_g}$$

수학적 식 15

[0039]

$$\frac{\delta \Omega_g(s)}{\delta T_g(s)} = \frac{-1}{J_{\epsilon}s + B_{\epsilon} + B_{\Omega_g}}$$

[0040]

T_{ϵ} 는 기어박스가 있는 경우 발전기측에서 등가의 공기역학적 토크이다. 풍력터빈의 질량 모델을 발전기측에서 운동방정식을 세우면 수학적 식 12 같은 1차 미분 방정식으로 표현된다. 여기서 J_{ϵ} 는 등가 관성모멘트, B_{ϵ} 는 등가감쇠, T_{ϵ} 는 등가의 토크, T_g 는 발전기의 토크, 발전기 가속도의 동작점($\dot{\Omega}_{ao}$)근처에서의 변화를 $\delta \dot{\Omega}_g$, 발전기 속도의 동작점(Ω_{ao})근처에서의 변화를 $\delta \Omega_{ao}$, 등가의 공기역학적 토크와 발전기토크의 동작점 근처에서의 변화를 각각 $\delta T_{\epsilon}, \delta T_g$ 로 두고 동작점에서의 특성을 이용하면 수학적 식 13과 같이 표현된다. 로터속도 비선형 파라미터(N_{Ω_r})은 발전기측에서 수학적 식 14와 같이 기어비를 이용하여 발전기 속도 비선형 파라미터(B_{Ω_2})로 표현

된다. 수학적식 13으로부터 발전기 토크입력에 발전기 회전속도의 전달함수를 구하면 수학적식 15와 같다.

[0041] 도 4는 Simulink를 이용하여 로터속도의 비선형 파라미터를 실시간적으로 계산한 도면이다.

[0042] 수학적식 10과 같이 로터속도의 비선형 파라미터를 실시간적으로 계산하기 위해선 풍속과 로터속도, 출력계수가 필요하다. 로터속도와 풍속을 입력신호를 주어 로터속도의 비선형 파라미터를 계산할 수 있다. 발전기 회전속도(Ω_g)를 되먹임 받아 이를 기어비만큼 나누어 로터 회전속도(Ω_r)를 계산한다. 풍속(V)는 측정 또는 추정하여 알 수 있다. 로터속도와 풍속을 알면, 출력계수(C_p)와 발전기 속도 비선형 파라미터(B_{Ω_r})를 계산할 수 있다. 출력계수(C_p)는 도 1로부터 계산할 수 있고, 발전기속도 비선형 파라미터(B_{Ω_r})는 수학적식 7과 10으로부터 로터속도 비선형 파라미터(N_{Ω_r})을 계산한 후 기어비를 이용하면 수학적식 14와 같이 계산된다. 수학적식 10을 보면 출력계수를 주속비로 편미분한 값은 Matlab의 편미분 함수를 이용해 미리 계산된값을 Look-up Table을 이용하였다. 로터속도의 비선형 파라미터(B_{Ω_r})를 실시간적으로 구현함으로써 과도상태응답이 향상된 응답특성을 기대할 수 있다.

[0043] 도 5는 로터 회전속도의 비선형성 파라미터를 이용한 토크제어 방법을 계산한 블록선도이다. 풍속과 로터 회전속도를 되먹임 받아 실시간으로 계산된 로터속도의 비선형 파라미터(B_{Ω_r})에 계인상수(α_g)을 곱하여 발전기의 추가적인 제어입력을 계산하는 방법이다. α_g 는 양의 값으로 1보다 큰 값을 사용할 때 출력파워의 응답특성을 향상시키는 효과를 갖는다.

[0044] 도 6은 발전기 회전속도 기준입력(Ω_{ref})방법을 보여주는 블록선도이다. 주속비(λ)의 공식으로부터 최적 주속비(λ_{opt})값을 이용하여 발전기 회전속도의 기준입력을 생성한다. 생성된 발전기 회전속도 기준입력은 포화되도록 한다. 이때 포화 최대값($\Omega_{ref, max}$)은 발전기 정격속도이고 포화 최소값($\Omega_{ref, min}$)은 발전기 특성에 의해 좌우되는 값으로 발전기 정격속도의 약 50 ~ 70%정도의 값을 갖는다.

[0045] 도 7은 8 m/s에서 6m/s로 급격하게 변하는 계단풍속을 나타낸 도면이다. 급격하게 변하는 풍속은 제어성능 평가와 시스템 특성을 파악할 수 있다.

[0046] 도 8 및 도 9는 α_g 의 변화에 따른 제어 방법의 성능을 비교한 도면이다. 실선은 도2에 도시된 제어방법의 성능을 나타내며, 일점쇄선은 도3에 도시된 제어방법의 성능을 나타낸다. 도 8과 도 9의 세로축은 발전기 회전속도, 발전기 토크, 출력파워, 출력계수, 로터 비선형 파라미터를 나타낸다.

[0047] 도 8 및 도 9를 참조하면, 풍속이 8 m/s에서 6 m/s로 급격히 변화했을 때 발전기 출력계수값을 살펴보면 더 빨리 최대출력계수에 도달하고 발전기 속도가 빠르게 응답함을 알 수 있고, 발전기 토크와 출력파워의 과도응답이 생성되면서 더 많은 출력파워를 생산할 수 있다. 계인상수인 α_g 가 2인 경우 α_g 가 1인경우보다 응답속도 빠르고 도 8과 같이 더 빨리 최대출력계수에 도달하고, 발전기 토크와 출력파워의 더 큰 과도응답을 생성시킬 수 있다.

[0048] 도 10은 8 m/s에서 6m/s로 급격하게 변하는 계단풍속 일때의 로터속도 비선형 파라미터의 실시간적인 변화이다. 계인상수인 α_g 를 크게 사용할수록 비선형 파라미터의 응답이 빨라지는 것을 알 수 있다.

[0049] 도 11는 평균풍속이 7m/s이고 난류강도가 10%를 함유하고 있는 풍속이다.

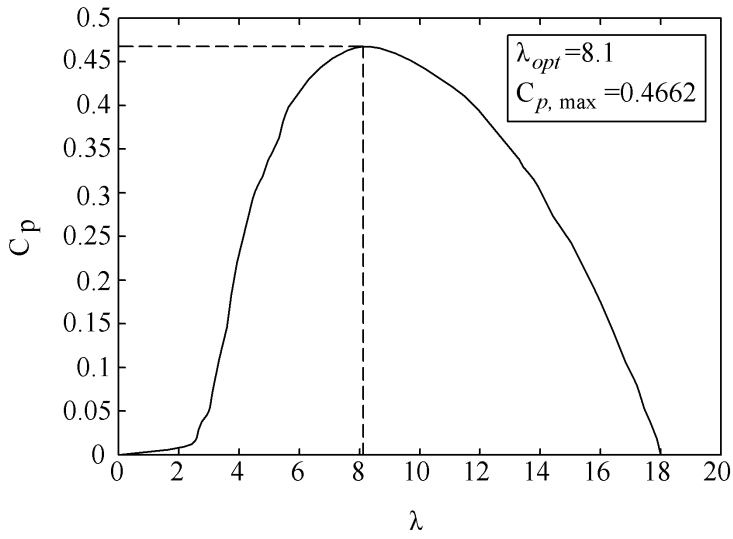
[0050] 도 12는 평균풍속이 7m/s이고 난류강도가 10%를 함유하고 있는 풍속의 입력신호로 하고 계인상수인 α_g 를 2의 값으로 사용하였을 때의 결과이다. 더 빠른 시간 내에 최대출력계수를 도달하며 발전기 회전속도와 토크 응답을 빠르게 하여 더 많은 출력파워를 생산함을 알 수 있다.

[0051] 상기와 같은 본 발명에 따르면, 로터속도의 비선형성 파라미터를 실시간 계산하고 이를 이용하는 방법을 통해 발전기의 응답속도를 빠르게 하고 출력파워를 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

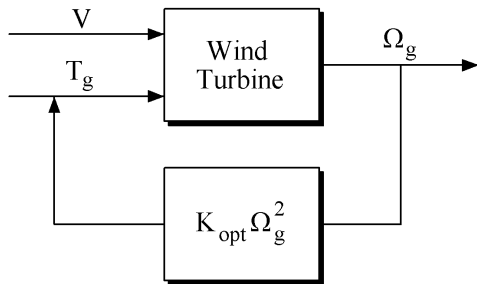
[0052] 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시 예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 쉽게 이해할 수 있을 것이다.

도면

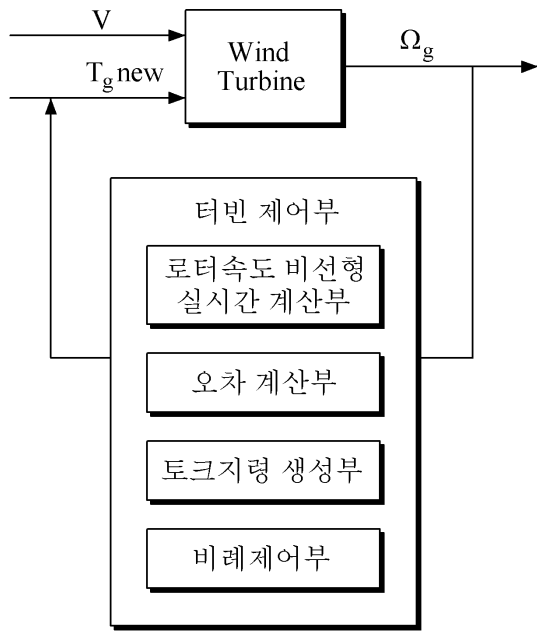
도면1



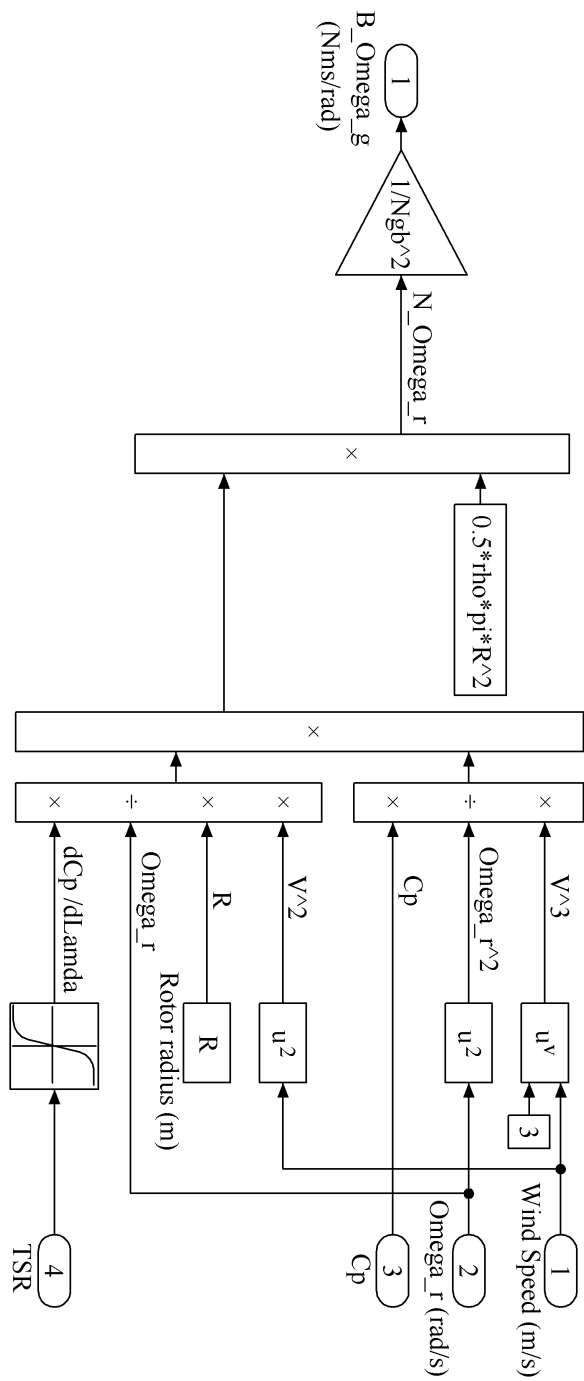
도면2



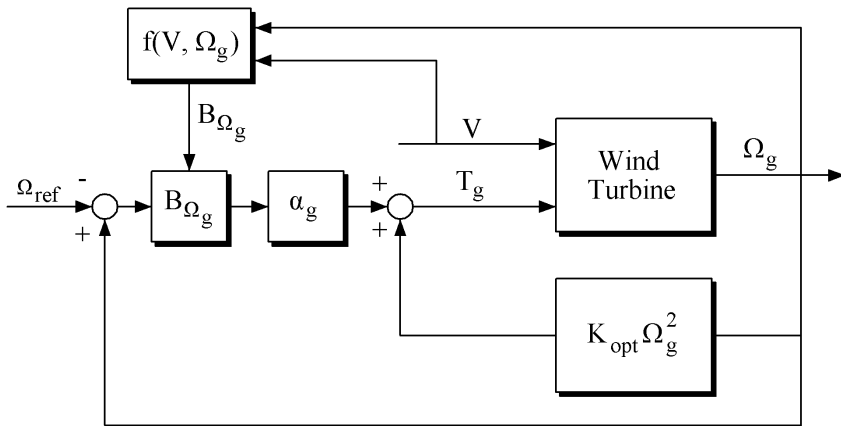
도면3



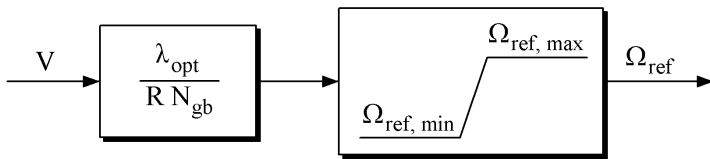
도면4



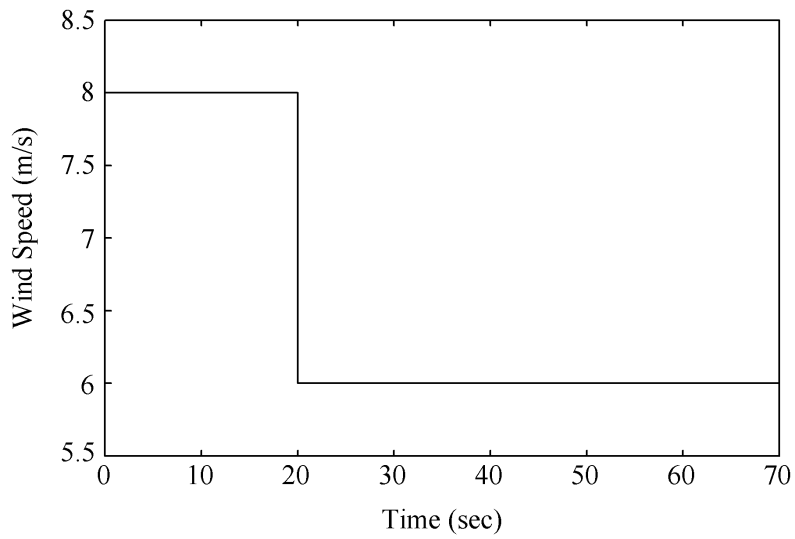
도면5



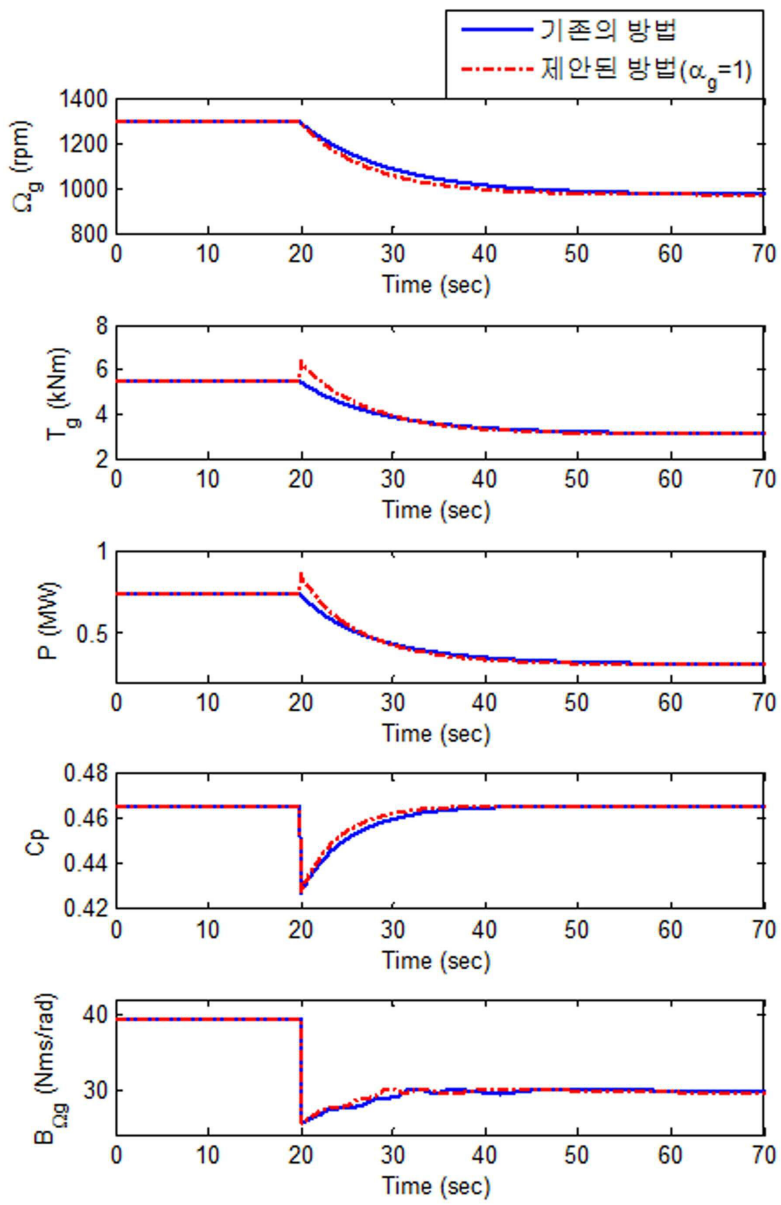
도면6



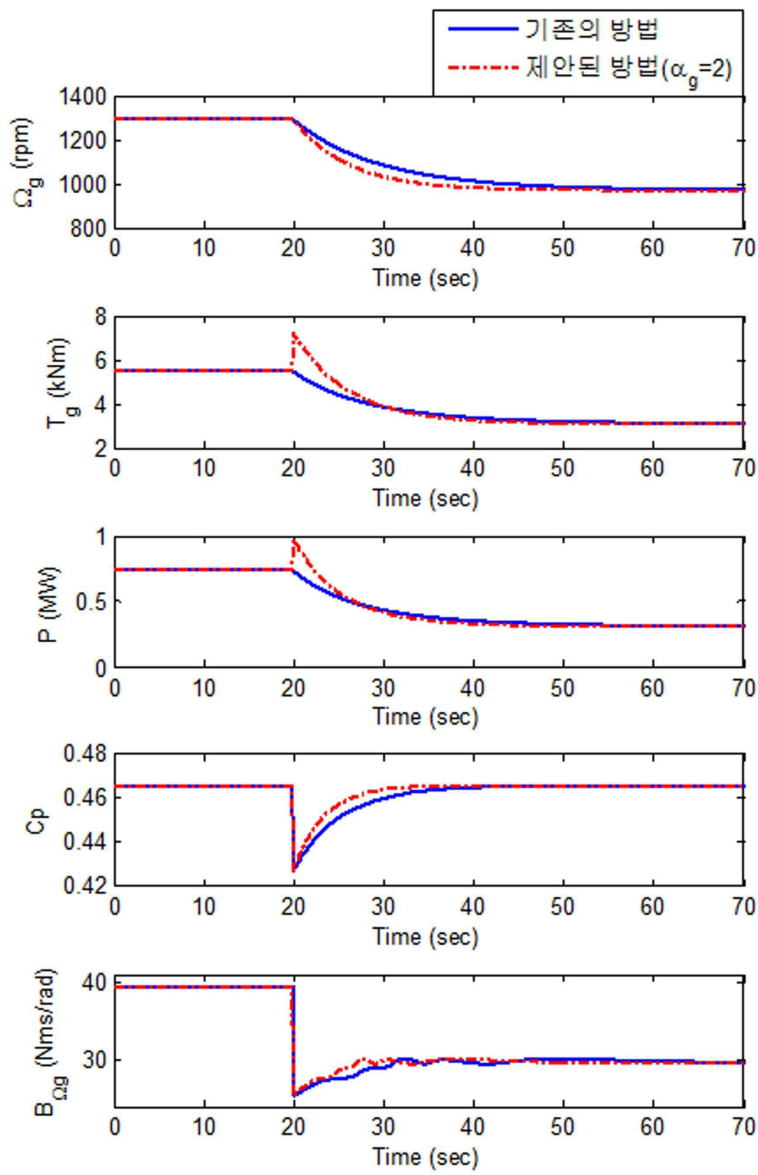
도면7



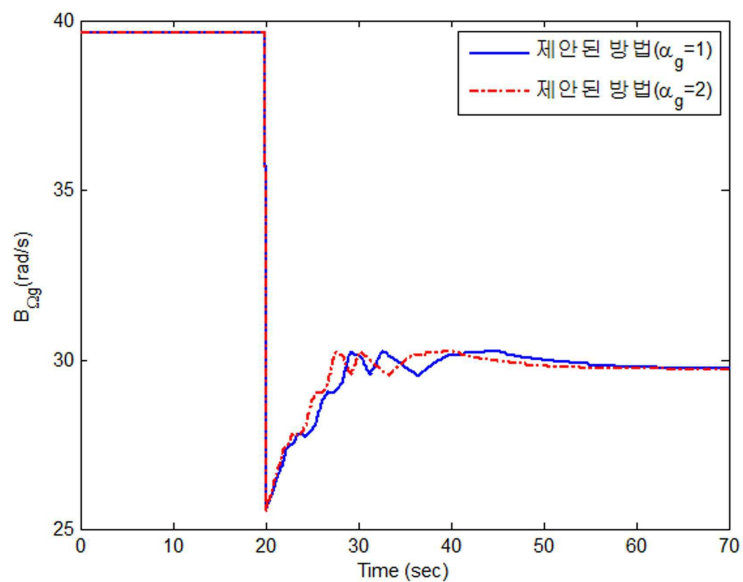
도면8



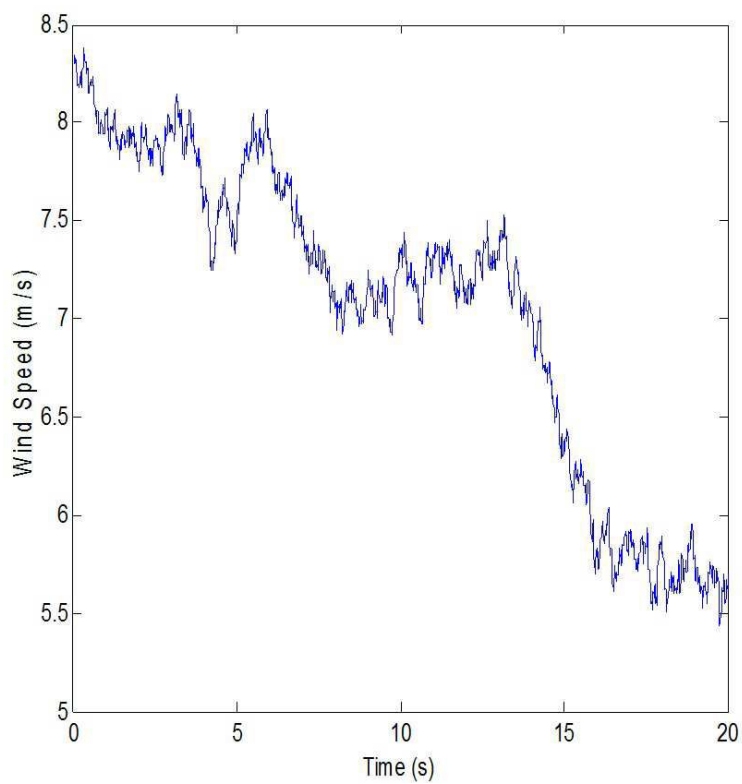
도면9



도면10



도면11



도면12

