



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년11월16일  
(11) 등록번호 10-1676968  
(24) 등록일자 2016년11월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
F03D 7/02 (2006.01) G01P 5/00 (2006.01)  
G06F 17/10 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
F03D 7/028 (2013.01)  
G01P 5/00 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2015-0176174  
(22) 출원일자 2015년12월10일  
심사청구일자 2015년12월10일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR101402307 B1  
KR1020130057230 A  
KR1020120103966 A  
KR1020130074260 A

(73) 특허권자  
한밭대학교 산학협력단  
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
(72) 발명자  
임채욱  
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
(74) 대리인  
특허법인 아이퍼스

전체 청구항 수 : 총 12 항

심사관 : 박종오

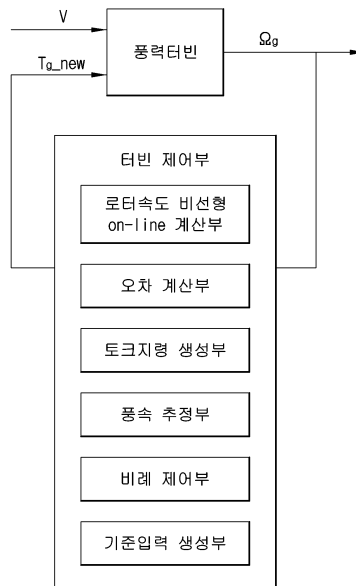
(54) 발명의 명칭 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법 및 그 장치

(57) 요약

본 발명은 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법 및 그 장치에 대한 것이다. 보다 상세하게는 토크제어를 사용하여 풍속의 변화에 따른 응답속도를 빠르게 하여 최대출력을 생산하기 위한 풍력터빈의 토크제어 장치에 있어서, 발전기 회전속도를 제공하여 최적모드 계인에 곱함으로써, 토크지령을 생성하는 토크지령 생성부; 풍속

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



관측기를 이용하여 풍속을 직접 추정하는 풍속 추정부; 상기 추정된 풍속을 이용하여 발전기 회전속도 기준입력을 생성하는 기준입력 생성부; 현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력간의 오차를 계산하는 오차 계산부; 로터속도 비선형 파라미터를 계산하기 위한 로터속도 비선형 계산부; 상기 오차계산부에서 계산된 오차값과 로터속도 비선형 파라미터에 게인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산할 비례 제어부를 포함하고, 상기 토크지령 생성부에서 생성한 상기 토크지령과, 상기 비례 제어부에서 계산한 상기 추가적으로 공급될 토크값을 기반으로 발전기 토크를 제어하는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 장치에 관한 것이다.

(52) CPC특허분류

- G06F 17/10 (2013.01)
- F05B 2270/1032 (2013.01)
- F05B 2270/32 (2013.01)
- F05B 2270/327 (2013.01)
- F05B 2270/335 (2013.01)
- Y02E 10/723 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2015R1D1A3A01019361
부처명	교육부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	지역대학우수과학자지원사업
연구과제명	MW급 대형 풍력터빈의 센서리스 개별피치제어기 개발
기여율	1/1
주관기관	한밭대학교 산학협력단
연구기간	2015.06.01 ~ 2018.05.31

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

토크제어를 사용하여 풍속의 변화에 따른 응답속도를 빠르게 하여 최대출력을 생산하기 위한 풍력터빈의 토크제어 장치에 있어서,

발전기 회전속도를 제공하여 최적모드 계인에 곱함으로써, 토크지령을 생성하는 토크지령 생성부;

풍속 관측기를 이용하여 풍속을 직접 추정하는 풍속 추정부;

상기 추정된 풍속을 이용하여 발전기 회전속도 기준입력을 생성하는 기준입력 생성부;

현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력간의 오차를 계산하는 오차 계산부;

로터속도 비선형 파라미터를 계산하기 위한 로터속도 비선형 계산부;

상기 오차계산부에서 계산된 오차값과 로터속도 비선형 파라미터에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산할 비례 제어부;를 포함하고,

상기 토크지령 생성부에서 생성한 상기 토크지령과, 상기 비례 제어부에서 계산한 상기 추가적으로 공급될 토크값을 기반으로 발전기 토크를 제어하며,

상기 풍속추정부는, 상기 발전기 토크와, 상기 발전기 회전속도를 입력 신호로 되먹임 받아 풍속을 추정하고,

상기 추정된 풍속은 이하의 수학적 식 1로부터 얻을 수 있는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 장치:

[수학적 식 1]

$$\hat{V}(t) = V_0(t) + \delta \hat{V}(t)$$

$\hat{V}(t)$ 는 추정된 풍속이고,  $\delta \hat{V}(t)$ 는 풍속 관측기에서 관측된 동작점 근처의 풍속이며,  $V_0(t)$ 는 동작점에서의 풍속이다.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

제 1항에 있어서,

상기 발전기 회전속도 기준입력( $\Omega_{ref}$ )은, 이하의 수학적 식 2로부터 얻을 수 있는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 장치:

[수학식 2]

$$\Omega_{ref}(t) = \frac{\lambda_{opt} \hat{V}(t)}{R}$$

[수학식 3]

$$\lambda(t) = \frac{\Omega_r(t)R}{V(t)}$$

상기 수학식 2,3에서,  $\Omega_{ref}$ 는 발전기 회전속도 기준입력이고, R은 블레이드 길이이고,  $\hat{V}$ 는 추정된 풍속이며,  $\lambda$ 는 주속비이고, V는 풍속이고,  $\Omega_r$ 는 발전기 회전속도이다.

**청구항 5**

제 1항에 있어서,

상기 로터속도 비선형 계산부는 온라인(on-line) 또는 오프라인(off-line)으로 로터속도 비선형 파라미터를 계산하는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 장치.

**청구항 6**

제 5항에 있어서,

상기 로터속도 비선형 계산부는,

상기 추정된 풍속과, 되먹임된 발전기 회전속도로부터, 온라인(on-line) 또는 오프라인(off-line)으로 로터속도 비선형 파라미터를 계산하는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 장치.

**청구항 7**

제 4항에 있어서,

상기 생성된 풍속추정을 이용한 회전속도 기준입력( $\Omega_{ref}$ )은 발전기 정격속도 값을 갖는 최대값( $\Omega_{ref,max}$ )과, 발전기 특성에 의해 좌우되는 값으로 발전기 정격속도의 50 ~ 70%정도의 값을 갖는 최소값( $\Omega_{ref,min}$ )사이에 포함되도록 설정된 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 장치.

**청구항 8**

제 1항에 있어서,

상기 계인상수는 0과 같거나 큰 값을 사용하는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 장치.

**청구항 9**

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

발전기의 회전속도를 제공하고 최적모드 계인에 곱하여 토크 지령을 생성하는 단계;

풍속 관측기를 이용하여 풍속을 직접 추정하는 단계;

상기 추정된 풍속을 이용하여 발전기 회전속도 기준입력을 생성하는 단계;

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

로터속도의 비선형 파라미터를 계산하는 단계; 및

상기 계산된 오차값과 로터속도 비선형 파라미터에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 단계;를 포함하여,

상기 토크지령과, 상기 추가적으로 공급될 토크값을 기반으로 발전기 토크를 제어하고,

상기 풍속을 추정하는 단계에서, 상기 발전기 토크와, 상기 발전기 회전속도를 입력 신호로 되먹임 받아 풍속을 추정하며,

상기 추정된 풍속은 이하의 수학적 식 1로부터 얻을 수 있는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 방법:

[수학적 식 1]

$$\hat{V}(t) = V_0(t) + \delta \hat{V}(t)$$

$\hat{V}(t)$ 는 추정된 풍속이고,  $\delta \hat{V}(t)$ 는 풍속 관측기에서 관측된 동작점 근처의 풍속이며,  $V_0(t)$ 는 동작점에서의 풍속이다.

**청구항 10**

삭제

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

제 9항에 있어서,

상기 발전기 회전속도 기준입력을 생성하는 단계에서,

상기 발전기 회전속도 기준입력( $\Omega_{ref}$ )은, 이하의 수학적 식 2로부터 얻을 수 있는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 방법:

[수학적 식 2]

$$\Omega_{ref}(t) = \frac{\lambda_{opt} \hat{V}(t)}{R}$$

[수학적 식 3]

$$\lambda(t) = \frac{\Omega_r(t)R}{V(t)}$$

상기 수학적 식 2,3에서,  $\Omega_{ref}$ 는 발전기 회전속도 기준입력이고, R은 블레이드 길이이고,  $\hat{V}$ 는 추정된 풍속이며,  $\lambda$ 는 주속비이고, V는 풍속이고,  $\Omega_r$ 는 발전기 회전속도이다.

**청구항 13**

제 9항에 있어서,

상기 로터속도 비선형 계산부는 온라인(on-line) 또는 오프라인(off-line)으로 로터속도 비선형 파라미터를 계산하는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 방법.

**청구항 14**

제 13항에 있어서,

상기 로터속도 비선형 계산부는,

상기 추정된 풍속과, 되먹임된 발전기 회전속도로부터, 온라인(on-line) 또는 오프라인(off-line)으로 로터속도 비선형 파라미터를 계산하는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 방법.

**청구항 15**

제 9항에 있어서,

상기 생성된 풍속추정을 이용한 회전속도 기준입력( $\Omega_{ref}$ )은 발전기 정격속도 값을 갖는 최대값( $\Omega_{ref,max}$ )과, 발전기 특성에 의해 좌우되는 값으로 발전기 정격속도의 50 ~ 70%정도의 값을 갖는 최소값( $\Omega_{ref,min}$ )사이에 포화되도록 설정된 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 방법.

**청구항 16**

제 9항에 있어서,

상기 계인상수는 0과 같거나 큰 값을 사용하는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법 및 그 장치 관한것으로, 더욱 상세하게는 풍속의 정보를 직접적으로 추정하여 로터속도의 비선형 파라미터를 온라인 또는 오프라인으로 계산하고, 이를 제어 계인으로 사용하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어방법 및 그 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

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

[0003] 상기와 같은 풍력터빈의 제어에 있어서 중요하게 고려되어야 할 사항은 바람과 블레이드의 상호작용에 의한 공력토크 비선형의 영향이다. 공력토크의 비선형으로 인해 블레이드, 로터, 회전축, 기어박스, 타워, 발전기 등 풍력터빈의 각 구성 요소들을 선형모델로 가정하더라도 풍력터빈의 전체 거동은 비선형적인 거동을 보이게 된다. 풍력터빈의 비선형성과 제어는 밀접한 연관성을 갖는다.

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

[0005] 도 2는 종래에 사용되는 풍력터빈의 토크제어 방법을 도시한 블록선도이다. 상기와 같은 종래 최적모드 계인방법은 고정된 계인값인 최적모드계인( $K_{opt}$ )에 발전기 회전속도( $\Omega_g$ )의 제곱을 곱하여 토크입력을 제어하는 방법이다. 그러나 최적모드계인( $K_{opt}$ )을 이용한 토크제어 방법을 사용할 때 다음과 같은 한계가 발생하게 된다.

[0006] 근래 들어 풍력터빈은 더 많은 출력을 얻기 위해서 대형화되는 추세이며, 이에 따라 블레이드의 반경도 길어지게 되고, 블레이드의 길이 증가와 동시에 로터의 관성모멘트 또한 증가하여 토크시스템의 응답이 느려지게 된다. 최적모드계인은 풍력터빈의 블레이드의 공력특성 및 기어박스의 증속비가 결정되면 이에 따라 한 값으로 고정되므로 응답특성을 향상 시킬 수 없는 단점을 갖게 된다.

[0007] 이런 단점을 극복하기 위해 다른 제어 방법들이 많이 거론되고 있는 추세이며, 풍력터빈의 관성모멘트를 줄여주기 위해서 발전기 회전가속도를 이용한 토크제어방법, 발전기에 발생하는 토크와 공기역학적 생성되는 공력토크와의 오차를 줄여주기 위해서 공력토크를 이용한 토크제어 방법 등이 제시되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 일본 등록특허 JP4120304호  
(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제1251285호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 따라서 본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 일실시예에 따르면, 풍속의 정보를 풍속 관측기를 이용하여 로터속도 비선형 파라미터를 온라인(on-line) 또는 오프라인(off-line)으로 계산하고, 이를 제어 계인으로 이용하여 풍력터빈의 발전기 응답속도를 빠르게 하고 출력과위를 향상시키는 풍속관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 방법 및 그 장치를 제공하는 데 그 목적이 있다.
- [0010] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 목적은, 토크제어를 사용하여 풍속의 변화에 따른 응답속도를 빠르게 하여 최대출력을 생산하기 위한 풍력터빈의 토크제어 장치에 있어서, 발전기 회전속도를 제어하여 최적모드 계인에 곱함으로써, 토크지령을 생성하는 토크지령 생성부; 풍속 관측기를 이용하여 직접 풍속을 추정하는 풍속 추정부; 상기 추정된 풍속을 이용하여 발전기 회전속도 기준입력을 생성하는 기준입력 생성부; 현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력간의 오차를 계산하는 오차 계산부; 로터속도 비선형 파라미터를 계산하기 위한 로터속도 비선형 계산부; 상기 오차계산부에서 계산된 오차값과 로터속도 비선형 파라미터에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산할 비례 제어부;를 포함하고, 상기 토크지령 생성부에서 생성한 상기 토크지령과, 상기 비례 제어부에서 계산한 상기 추가적으로 공급될 토크값을 기반으로 발전기 토크를 제어하는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 장치로서 달성될 수 있다.
- [0012] 또한, 풍속추정부는, 상기 발전기 토크와, 상기 발전기 회전속도를 입력 신호로 되먹임 받아 풍속을 추정하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0013] 그리고, 상기 추정된 풍속은 이하의 수학식 1로부터 얻을 수 있는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0014] [수학식 1]

$$\hat{V}(t) = V_0(t) + \delta \hat{V}(t)$$

[0015]

[0016]  $\hat{V}(t)$ 는 추정된 풍속이고,  $\delta \hat{V}(t)$ 는 풍속 관측기에서 관측된 동작점 근처의 풍속이며,  $V_0(t)$ 는 동작점에서의 풍속이다.

[0017] 또한, 발전기 회전속도 기준입력( $\Omega_{ref}$ )은, 이하의 수학식 2로부터 얻을 수 있는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0018] [수학식 2]

$$\Omega_{ref}(t) = \frac{\lambda_{opt} \hat{V}(t)}{R}$$

[0019]

[0020] [수학식 3]

$$\lambda(t) = \frac{\Omega_r(t)R}{V(t)}$$

[0021]

[0022] 상기 수학식 2,3에서,  $\Omega_{ref}$ 는 발전기 회전속도 기준입력이고, R은 블레이드 길이이고,  $\hat{V}$ 는 추정된 풍속이며,  $\lambda$ 는 주속비이고, V는 풍속이고,  $\Omega_r$ 는 발전기 회전속도이다.

[0023] 그리고, 상기 로터속도 비선형 계산부는 온라인(on-line) 또는 오프라인(off-line)으로 로터속도 비선형 파라미터를 계산하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0024] 또한, 상기 로터속도 비선형 계산부는, 상기 추정된 풍속과, 되먹임된 발전기 회전속도로부터, 온라인(on-line) 또는 오프라인(off-line)으로 로터속도 비선형 파라미터를 계산하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0025] 그리고, 상기 생성된 풍속추정을 위한 회전속도 기준입력( $\Omega_{ref}$ )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 포화되도록 설정된 것을 특징으로 할 수 있다.

[0026] 또한, 상기 계인상수는 0과 같거나 큰 값을 사용하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0027] 또 다른 카테고리로서 본 발명의 목적은, 토크제어를 사용하여 풍속의 변화에 따른 응답속도를 빠르게 하여 최대 출력을 생산하기 위한 풍력터빈의 토크제어방법에 있어서, 발전기의 회전속도를 제공하고 최적모드 계인에 곱하여 토크 지령을 생성하는 단계; 풍속 관측기를 이용하여 풍속을 직접 추정하는 단계; 상기 추정된 풍속을 이용하여 발전기 회전속도 기준입력을 생성하는 단계; 현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력 사이에 오차를 계산하는 단계; 로터속도의 비선형 파라미터를 계산하는 단계; 및 상기 계산된 오차 값과 로터속도 비선형 파라미터에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 단계;를 포함하여, 상기 토크지령과, 상기 추가적으로 공급될 토크값을 기반으로 발전기 토크를 제어하는 것을 특징으로 하는 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 방법으로서 달성될 수 있다.

**발명의 효과**

[0028] 본 발명의 일실시예에 따르면, 풍속 관측기를 이용하여 풍속정보를 추정하고 로터속도 비선형 파라미터를 온라인 또는 오프라인으로 계산하고, 이를 제어 계인으로 이용하여 보다 정확한 풍력터빈의 제어가 이뤄질 수 있는 효과가 있다.

[0029] 또한, 본 발명의 일실시예 따르면 로터속도의 비선형성 파라미터를 온라인(On-line) 또는 오프라인(Off-line)으로 계산하고 이를 이용하는 방법을 통해 발전기의 응답속도를 빠르게 하고 출력과위를 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[0030] 한편, 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**도면의 간단한 설명**

[0031] 본 명세서에 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 일실시예를 예시하는 것이며, 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석 되어서는 아니 된다.

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 블록선도를 도시한 도면,

도 3은 풍속 관측기를 이용하여 로터속도 비선형 파라미터를 on-line으로 계산하고 이를 제어 계인으로 사용한 토크 제어장치의 블록선도를 도시한 도면,

- 도 4는 풍속 관측기를 이용하여 로터속도 비선형 파라미터를 off-line으로 계산하고 이를 제어 계인으로 사용한 토크 제어장치의 블록선도를 도시한 도면,
- 도 5는 풍속 관측기를 이용하여 풍속을 추정하기 위한 일 예를 Simulink 모델로 구현한 도면,
- 도 6은 풍속 관측기를 이용하여 회전속도 기준입력 생성하는 알고리즘을 설명한 도면,
- 도 7은 로터속도 비선형 파라미터를 on-line 계산하기 위한 일 예를 Simulink모델로 구현한 도면,
- 도 8은 로터속도 비선형 파라미터를 off-line 계산하기 위한 일 예를 Simulink 모델로 구현한 도면,
- 도 9는 off-line으로 계산하기 위한 발전기속도 비선형 파라미터 값을 설명한 도면,
- 도 10은 풍속 관측기를 이용하여 풍속정보를 추정한 다음 로터속도 비선형 파라미터를 on-line으로 계산하고, 이를 제어 계인으로 사용한 블록선도의 도면,
- 도 11은 풍속 관측기를 이용하여 풍속정보를 추정한 다음 로터속도 비선형 파라미터를 off-line으로 계산하고, 이를 제어 계인으로 사용한 블록선도의 도면,
- 도 12는 풍속 추정을 위한 평균풍속 7m/s이고 난류강도 10%인 난류풍속을 구현한 일 예를 도시한 도면,
- 도 13은 풍속 관측기를 이용하여 실제의 풍속과 추정된 풍속을 나타낸 도면,
- 도 14는 제어 성능 평가를 위한 평균풍속 6m/s이고 난류강도 26.97%인 난류풍속을 구현한 도면,
- 도 15는 평균풍속 6m/s이고 난류강도가 26.97%인 난류 풍속일 때의 결과로 풍속의 정보를 직접적으로 추정하고 off-line으로 로터속도 비선형 파라미터를 계산하고 계인상수 2를 사용한 토크제어에 대한 발전기 회전속도, 발전기 토크, 출력과워를 나타낸 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0032] 이상의 본 발명의 목적들, 다른 목적들, 특징들 및 이점들은 첨부된 도면과 관련된 이하의 바람직한 실시예들을 통해서 쉽게 이해될 것이다. 그러나 본 발명은 여기서 설명되는 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 통상의 기술자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.
- [0033] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한 도면들에 있어서, 구성요소들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.
- [0034] 본 명세서에서 기술하는 실시예들은 본 발명의 이상적인 예시도인 단면도 및/또는 평면도들을 참고하여 설명될 것이다. 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다. 따라서 제조 기술 및/또는 허용 오차 등에 의해 예시도의 형태가 변형될 수 있다. 따라서 본 발명의 실시예들은 도시된 특정 형태로 제한되는 것이 아니라 제조 공정에 따라 생성되는 형태의 변화도 포함하는 것이다. 예를 들면, 직각으로 도시된 영역은 라운드지거나 소정 곡률을 가지는 형태일 수 있다. 따라서 도면에서 예시된 영역들은 속성을 가지며, 도면에서 예시된 영역들의 모양은 소자의 영역의 특정 형태를 예시하기 위한 것이며 발명의 범주를 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서의 다양한 실시예들에서 제1, 제2 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 여기에 설명되고 예시되는 실시예들은 그것의 상보적인 실시예들도 포함한다.
- [0035] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 '포함한다(comprises)' 및/또는 '포함하는(comprising)'은 언급된 구성요소는 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0036] 아래의 특정 실시예들을 기술하는데 있어서, 여러 가지의 특정적인 내용들은 발명을 더 구체적으로 설명하고 이해를 돕기 위해 작성되었다. 하지만 본 발명을 이해할 수 있을 정도로 이 분야의 지식을 갖고 있는 독자는 이러한 여러 가지의 특정적인 내용들이 없어도 사용될 수 있다는 것을 인지할 수 있다. 어떤 경우에는, 발명을 기술하는 데 있어서 흔히 알려졌으면서 발명과 크게 관련 없는 부분들은 본 발명을 설명하는데 있어 별 이유 없이

혼돈이 오는 것을 막기 위해 기술하지 않음을 미리 언급해 둔다.

[0037] 도 3은 풍속 관측기를 이용하여 로터속도 비선형 파라미터를 on-line으로 계산하고 이를 제어 계인으로 사용한 토크 제어장치의 블록선도를 도시한 도면이고, 도 4는 직접 풍속 관측기를 이용하여 로터속도 비선형 파라미터를 off-line으로 계산하고 이를 제어 계인으로 사용한 토크 제어장치의 블록선도를 도시한 도면이다.

[0038] 상기 도 3 내지 도 4에 도시된 바와 같은 본 발명의 일실시예에 따른 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 장치는 발전기 회전속도를 제공하여 최적모드 계인에 곱함으로써, 토크지령을 생성하는 토크지령 생성부와, 관측기를 이용하여 풍속을 추정하는 풍속 추정부와, 상기 추정된 풍속을 이용하여 발전기 회전속도 기준입력을 생성하는 기준입력 생성부와, 현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력간의 오차를 계산하는 오차 계산부와, 로터속도 비선형 파라미터를 계산하기 위한 로터속도 비선형 계산부와, 상기 오차계산부에서 계산된 오차값과 로터속도 비선형 파라미터에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산할 비례 제어부를 포함한다.

[0039] 본 발명의 일실시예에 따르면, 상기 로터속도 비선형 계산부는 온라인(online) 또는 오프라인(off-line)으로 로터속도 비선형 파라미터를 계산한다.

[0040] 풍속 관측기를 이용한 풍력터빈의 토크제어 방법은 발전기의 회전속도를 제공하고 최적모드 계인에 곱하여 토크 지령을 생성하는 단계와, 풍속 관측기를 이용하여 풍속을 추정하는 풍속 추정하는 단계와, 상기 추정된 풍속을 이용하여 발전기회전속도 기준입력을 생성하는 단계와, 현 풍력터빈의 발전기 회전속도와 생성된 발전기 회전속도 기준입력 사이에 오차를 계산하는 단계와, 로터속도의 비선형 파라미터를 계산하는 단계 및 상기 계산된 오차값과 로터속도 비선형 파라미터에 계인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 단계를 포함한다.

[0041] 본 발명의 일실시예에 따르면, 상기 로터속도의 비선형 파라미터는 온라인(on-line) 또는 오프라인(off-line)으로 계산된다.

[0042] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 생성된 풍속추정을 위한 회전속도 기준입력( $\Omega_{ref}$ )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 포화되도록 설정된다. 본 발명의 일실시예에 따르면, 상기 계인상수는 0과 같거나 0과 같거나 큰 값을 사용한다.

[0043] 도 1은 토크제어 구간에서 사용되는 출력계수의 일 예를 도시한 그래프이다. 토크제어 구간에서의 출력계수는 피치가 고정됨으로  $C_p(\lambda)$  로 나타낼 수 있다.

[0044] 토크제어 구간에서는 최대 출력계수가 나오는 지점인 최적주속비인  $\lambda_{opt}$  를 만들어주는 것이 중요하다. 발전기 회전속도를 제어하기 위해 발전기 토크를 제어함으로써 최적 주속비를 유지하여 최대 출력계수가 생산될 수 있게 만들어 준다.

[0045] [수학식 1]

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

[0046]

[0047] [수학식 2]

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

[0048]

[0049] [수학식 3]

$$\lambda(t) = \frac{\Omega_r(t)R}{V(t)}$$

[0050]

[0051] [수학식 4]

$$\Omega_g(t) = \Omega_r(t)N_{gb}$$

[0052]

[0053] 여기서  $\lambda$  는 주속비,  $\Omega_r$  은 로터 회전속도,  $\rho$  는 공기밀도,  $R$  은 블레이드 길이,  $C_p$  는 출력계수,  $V$  는 풍속,  $\beta$  는 피치각이다. 출력은 수학식 1로 공력 토크는 수학식 2와 같이 나타낸다. 출력계수  $C_p(\lambda, \beta)$  는 주속비와 피치각의 함수이고 토크제어 구간에선 피치각이 고정됨으로  $C_p(\lambda)$  로 나타낼 수 있다. 주속비는 수학식 3과 같이 정의된다. 기어박스가 적용된 풍력터빈의 경우 기어박스의 증속비( $N_{gt}$ )를 곱한 값으로 된다.

[0054] 도 2는 종래에 사용되는 풍력터빈의 토크제어 방법을 도시한 블록선도이다. 즉, 발전기 회전속도를 되먹임하고 공급한 후 최적모드게인인  $K_{opt}$  를 곱하여 풍력 터빈에 토크입력으로 사용하였다.  $K_{opt}$  는 수학식 5와 같이 정의된다.

[0055] [수학식 5]

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

[0056]

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

[0057]

[0058] 하지만, 최적모드게인( $K_{opt}$ )을 이용한 토크제어 방법을 사용할 때 다음과 같은 한계가 발생하게 된다. 풍력터빈의 더 많은 출력을 얻기 위해서 대형화되는 추세인데, 이에 따라 블레이드의 반경도 길어지게 된다. 블레이드의 길이 증가와 동시에 로터의 관성모멘트 또한 증가하여 토크시스템의 응답이 느려지게 된다. 최적모드게인 값은 풍력터빈의 블레이드의 공력특성 및 기어박스의 증속비가 결정되면 이에 따라 한 값으로 고정되므로 응답특성을 향상시킬 수 없는 단점을 갖게 된다. 이를 개선하기 위하여 풍속 관측기를 이용하여 풍속정보를 추정하고 로터속도 비선형 파라미터를 온라인(on-Line) 또는 오프라인(off-line)으로 계산하고 이를 제어 게인으로 사용한 장치 및 방법을 도 3 내지 도 4와 같이 제시하였다.

[0059] 도 3은 풍속 관측기를 이용한 로터속도 비선형 파라미터를 on-line으로 계산하고 이를 제어 게인으로 사용한 토크방법이다. 종래의 방법으로 토크를 생성시킨 토크지령 생성부, 풍속 관측기를 이용하여 풍속을 추정하는 풍속 추정부와, 추정된 풍속을 이용하여 발전기 회전속도 기준입력을 생성하는 기준입력 생성부, 발전기 회전속도와 발전기 회전속도 기준입력간의 오차를 계산하는 오차 계산부, on-line으로 계산된 로터속도 비선형 파라미터를 게인으로 사용한 로터속도 비선형 online 계산부, on-line으로 계산된 로터속도 비선형 파라미터 값에 게인상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 비례제어부를 포함하고 있다.

[0060] 도 4는 직접 추정된 풍속을 이용하여 로터속도 비선형 파라미터를 off-line으로 계산하고 이를 제어 게인으로 사용한 토크방법이다. 종래의 방법으로 토크를 생성시킨 토크지령 생성부, 풍속 관측기를 이용하여 풍속을 추정

하는 풍속 추정부와, 추정된 풍속을 이용하여 발전기 회전속도의 기준입력을 생성하는 기준입력 생성부, 발전기 회전속도와 발전기 회전속도 기준입력간의 오차를 계산하는 오차 계산부, off-line으로 계산된 로터속도 비선형 파라미터를 계인으로 사용한 로터속도 비선형 off-line 계산부, off-line으로 계산된 로터속도 비선형 파라미터 값에 계인 상수를 곱하여 추가적으로 공급될 토크를 계산하는 비례제어부를 포함하고 있다.

[0061] [수학식 6]

$$O_p = \Omega_{ro}, \beta_o, V_o$$

[0062]

[0063] [수학식 7]

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

[0064]

[0065] [수학식 8]

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

[0066]

[0067] 공력토크를 로터속도, 피치각, 풍속에 대한 동작점  $O_p$ 를 수학식 6과 같이 두고, 이들의 동작점 근처에서의

발전기 회전속도, 피치각, 풍속의 변화를 각각  $\delta \Omega_g, \delta \beta, \delta V$  로 두면 비선형적인 공력토크는 수학식 7과 같이

선형화된다. 여기에서  $T_{ro}$ 는 동작점에서의 공력토크이고  $\delta T_r$ 은 동작점 근처에서 토크의 변화로 수학식 8과 같이 비선형 파라미터로 표현할 수 있다.

[0068] 도 5는 Matlab/Simulink를 이용하여 풍속을 직접 추정하기 위한 풍속 관측기를 구현한 도면이다.

[0069] 도 6은 풍속 관측기를 통하여 풍속정보를 추정하고 발전기 회전속도 기준입력을 생성하는 알고리즘이다. 풍속

관측기는 센서를 통하여 취득 가능한 값인 발전기 토크( $T_g$ )와 발전기 회전속도( $\Omega_g$ )의 입력 신호로 사용한

다. 추정된 풍속은 수학식 3의 주속비를 이용하면 풍속 추정을 위한 회전속도 기준입력( $\Omega_{ref,v}$ )을 생성할 수 있

다. 풍속 추정을 위한 회전속도 기준입력( $\Omega_{ref,v}$ )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 포화되

게 설정을 하여 발전기 회전속도 기준입력( $\Omega_{ref}$ )을 생성한다.

[0070] [수학식 9]

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

[0071]

[0072] [수학식 10]

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

[0073]

[0074] [수학식 11]

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

[0075]

[0076] [수학식 12]

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

[0077]

[0078] 여기서  $N_{\Omega_r}$  은 로터속도 비선형 파라미터이다. 토크제어 구간에선 한 값으로 고정되기 때문에 피치각에 대한 비선형 파라미터는 토크제어에 영향을 미치지 않게 된다. 토크제어 구간에서 특성을 파악하기 위해서는 수학식

9의 로터속도 비선형 파라미터( $N_{\Omega_r}$ )를 알아야 하는데, 이는 공력토크를 로터속도에 대하여 편미분 하면 구할 수 있다. 로터속도 비선형 파라미터는 물리적으로 감쇠역할을 함으로 마이너스 부호를 붙여서 표현한다. 로터속도의 비선형 파라미터를 구하기 위해서는 주속비와 로터속도에 대하여 편미분한 값과 출력계수를 로터속도에 대하여 편미분한 값은 수학식 10, 수학식 11과 같이 두어 표현하였다. 로터속도 비선형 파라미터는 수학식 10과 11을 적용하면 수학식 12 같이 구할 수 있다.

[0079] [수학식 13]

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

[0080]

[0081] [수학식 14]

$$J_{eg} = \frac{J_r}{N_{gb}^2} + J_g$$

[0082]

[0083] [수학식 15]

$$T_{eg}(t) = \frac{T_r(t)}{N_{gb}}$$

[0084]

[0085] [수학식 16]

$$B_{eg} = \frac{B_r}{N_{gb}}$$

[0086]

[0087] 풍력터빈을 드라이버-트레인의 축강성을 고려하지 않고 1-질량 모델은 수학식 13과 같다. 발전기측에서 보면 수

학식 14와 같이 등가 관성모멘트( $J_{eq}$ )는 로터 관성모멘트( $J_r$ )의 기어비 제곱을 나누고 발전기 관성모멘트( $J_g$ )를 더 한 만큼, 수학적 15와 같이 등가의 공력토크( $T_{eq}$ )는 공력토크( $T_r$ )를 기어비 만큼, 수학적 14와 같이 등가의 감쇠( $B_{eq}$ )는 로터감쇠( $B_r$ )를 기어비 만큼 차이가 발생된다.

[0088] [수학적 17]

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

[0090]

[0091] [수학적 18]

$$B_{\Omega_g}(t) = \frac{1}{N_{gb}^2} \frac{\partial T_r(t)}{\partial \Omega_r(t)} \Big|_o, N_{\beta_g}(t) = \frac{1}{N_{gb}} \frac{\partial T_r(t)}{\partial \beta(t)} \Big|_o, N_{V_g}(t) = \frac{1}{N_{gb}} \frac{\partial T_r(t)}{\partial V(t)} \Big|_o$$

[0092]

[0093] [수학적 19]

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

[0094]

발전기 가속도의 동작점( $\dot{\Omega}_{gs}$ ) 근처에서의 변화를  $\delta \dot{\Omega}_g$ , 발전기 회전속도의 동작점( $\Omega_{gs}$ ) 근처에서의 변화를  $\delta \Omega_{gs}$ , 등가의 공력과 발전기 토크의 동작점 근처에서의 변화를 각각  $\delta T_e$ ,  $\delta T_g$ 로 두고 동작점에서의

[0095]

특성을 이용하면 수학적 17과 같이 표현된다. 수학적 18은 각각의 로터속도 비선형 파라미터( $N_{\Omega}$ )와 피치각

비선형 파라미터( $N_\beta$ ), 풍속 비선형 파라미터( $N_V$ )은 발전기측에서와 같이 기어비를 이용하여 발전기속도

비선형 파라미터( $B_{\Omega_g}$ ), 피치각 비선형 파라미터( $N_{\beta_g}$ ), 풍속비선형 파라미터( $N_{V_g}$ )로 표현된다 선형화

된 전달함수를 구하면 수학적 19와 같이 된다. 발전기속도 비선형 파라미터는 토크시스템에서 등가감쇠항을 크게하고 시상수를 작게하여 시스템의 응답특성을 향상시켜주는 역할을 한다.

[0096] [수학적 20]

$$\begin{cases} \delta \dot{\Omega}_g(t) = -\frac{B_{eg} - B_{\Omega_g}}{J_{eg}} \delta \Omega_g(t) - \frac{1}{J_{eg}} \delta T_e(t) - \frac{N_{V_g}}{J_{eg}} \delta N_V(t) \\ \delta \dot{V}(t) = -\frac{1}{T_V} \delta V(t) - \epsilon_2(t) \end{cases}$$

[0097]

[0098] [수학식 21]

$$y(t) = \Omega_g(t) + \eta_2(t)$$

[0099]

[0100] [수학식 22]

$$\begin{aligned} \partial T_g(t) &= T_g(t) - T_{g0}(t) \\ \partial \Omega_g(t) &= \Omega_g(t) - \Omega_{g0}(t) \end{aligned}$$

[0101]

[0102] [수학식 23]

$$\hat{V}(t) = V_0(t) + \delta \hat{V}(t)$$

[0103]

[0104] 여기서  $T_V$  는 풍속의 시상수,  $\varepsilon_2$  은 입력 프로세스 노이즈,  $\eta_2$  은 출력 신호 노이즈이다. 풍속을 직접적으로 추정하기 위해서는 수학식 13에 풍속에 관한 정보가 없음으로 선형화된 운동방정식 수학식 17을 이용한다. 풍력터빈의 선형화된 운동 방정식과 추정 대상인 풍속을 1차의 Markov 과정을 이용하여 미분 방정식으로 수학식

20와 같이 표현 가능하다. 피치각 비선형 파라미터( $N_{\beta_g}$ )는 토크제어 구간에서 한 값으로 고정됨으로 고려하지 않았다. 그리고 출력은 발전기 회전속도와 출력신호의 잡음신호로 수학식 23과 같이 두었다. Luenberger 관측기 또는 Kalman Filter 관측기를 이용하면 동작점 근처의 풍속( $\delta \hat{V}$ )을 추정할 수 있다.

[0105] 입력이 되는 발전기 토크, 피치각, 발전기 회전속도는 동작점 근처에서 선형화된 값( $\delta T_g, \delta \beta_g, \delta \Omega_g$ )이므로 수학식 24와 같이 동작점의 값을 뺀 오차의 값들이 필요하게 된다. 추정된 풍속은 동작점 근처에서의 풍속이기 때문에 동작점에서의 풍속( $V_0$ )을 더하면 수학식 25과 같이 추정된 풍속( $\hat{V}$ )을 얻을 수 있다.

[0106] 도 7은 Matlab/Simulink를 이용하여 on-line으로 로터속도 비선형 파라미터를 계산한 도면이다. 수학식 10과 같이 로터속도 비선형 파라미터를 on-line으로 계산하기 위해서는 풍속, 로터속도, 출력계수, 출력계수를 주속비로 편미분한 값들의 정보가 필요하다. 이 정보중에 풍속의 정보는 풍속 관측기를 이용하여 추정된 풍속의 정보를 사용한다. 출력계수와 주속비로 편미분한 값은 Matlab의 편미분 함수를 이용하여 미리 계산된 값을 순람표(Look-up Table)를 이용하였다. 발전기속도 비선형 파라미터( $\hat{B}_{\Omega}$ )는 수학식 9와 12로부터 로터속도 비선형 파라미터( $\hat{\lambda}_{\Omega}$ )을 계산한 후 기어비의 제곱을 나누면 계산된다.

[0107] 도 8은 Matlab/Simulink를 이용하여 off-line으로 발전기속도 비선형 파라미터를 구현한 도면이다. 풍속의 입력을 주어 수학식 10과 같이 순람표를 이용하여 발전기속도 비선형 파라미터를 off-line으로 구현하였다.

[0108] 도 9는 순람표의 입력이 되는 풍속이 0.5m/s의 간격으로 4.5~9m/s일 때 발전기속도 비선형 파라미터를 각각의 포인트를 찍어 Off-line 계산에 이용하였다.

[0109] 도 10은 최적모드제인을 이용한 토크제어방법에 추가적인 토크를 공급 해주기 위해서 풍속 관측기를 이용하고 추정된 풍속을 이용하여 on-line으로 계산된 로터 속도 비선형 파라미터를 계인으로 사용한 토크제어방법의 블록선도이다. 풍속을 추정하기 위해서 발전기 토크와 발전기 회전속도를 입력 신호로 되먹임 받아 사용하였다. 추정된 풍속은 주속비 수학식 3을 이용하면 발전기 회전속도 기준입력을 구할 수 있다. 추정된 풍속과 되먹임된 발전기 회전속도로부터 로터속도 비선형 파라미터를 on-line으로 계산하기 위해서 이용된다. 발전기 회전속도와 발전기 회전속도 기준입력의 오차가 발생될 때, On-line으로 계산된 로터속도 비선형 파라미터를 계인으로 사용

하여 발전기의 추가적인 토크를 공급해주는 방법이다. 계인 상수( $\alpha_g$ )를 양의 값을 사용하면 발전기 응답을 더 가속화하여 출력과위의 응답특성을 향상시키는 효과를 갖는다.

[0110] 도 11은 최적모드제인을 이용한 토크제어방법에 추가적인 토크를 공급 해주기 위해서 풍속 관측기를 이용하고 추정된 풍속을 이용하여 off-line으로 계산된 로터속도 비선형 파라미터를 계인으로 사용한 토크제어방법의 블록선도이다. 풍속을 추정하기 위해서 발전기 토크와 발전기 회전속도를 입력 신호로 되먹임 받아 사용하였다. 추정된 풍속은 주속비 수학적식을 이용하면 발전기 회전속도 기준입력을 구할 수 있다. 추정된 풍속과 되먹임된 발전기 회전속도로부터 로터속도 비선형 파라미터를 off-line으로 계산하기 위해서 이용된다. 발전기 회전속도와 발전기 회전속도 기준입력의 오차가 발생될 때, Off-line으로 계산된 로터속도 비선형 파라미터를 계인으로

사용하여 발전기의 추가적인 토크를 공급해주는 방법이다. 계인상수( $\alpha_g$ )를 양의값을 사용하면 발전기 응답을 더 가속화하여 출력과위의 응답특성을 향상시키는 효과를 갖는다.

[0111] 도 12는 평균풍속 7m/s이고 난류강도가 10% 풍속을 구현하였다. 직접 풍속을 추정하는데 이용한 풍속을 나타내는 도면이다. 실제의 풍속과 유사한 성질을 갖고 있는 난류풍속을 구현함으로써 상태 풍속 관측기의 성능평가를 할 수 있다.

[0112] 도 13은 풍속 추정을 위한 상태 관측기를 설계하고 추정된 풍속과 실제의 풍속의 결과를 비교한 것이다. 전체적인 주파수 성분을 좌우하는 저주파 성분은 추정 잘 됨을 확인하였다. 최대 풍속의 오차가 약 0.4m/s의 오차가 발생되었다. 상태 관측기 계인을 높이면 고주파성분이 추정됨을 확인해 볼 수 있었지만 센서의 노이즈 민감성을 고려하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

[0113] 도 14는 IEC(International Electrotechnical Commission) 61400-1에서 규정하고 있는 Class A급에 적용하는 평균풍속이 6m/s이고 난류강도가 26.97%인 난류 풍속을 구현하였다. 구현된 난류 풍속은 실제의 풍속과 유사한 주파수 성질을 갖고 있는 난류풍속을 구현함으로써 풍속 관측기를 이용하여 추정된 풍속을 이용한 로터속도 비선형 파라미터를 On-line 또는 Off-line으로 계산하고, 이를 제어 계인으로 사용하는 토크제어 방법의 성능평가를 할 수 있다.

[0114] 도 15는 평균풍속이 6m/s이고 난류강도가 26.97%인 풍속을 입력신호로 하고 계인상수( $\alpha_g$ )의 2를 사용하였을 때의 결과이다. 추가적인 토크의 공급으로 발전기 회전속도와 토크의 과도 상태 응답이 향상시킴을 확인해 볼 수 있다. 정량적인 값으로 확인해 보면 계인상수 2를 사용하였을 때 약 0.89%의 평균값을 향상시켰고, 계인상수 4를 사용하였을 때 1.01%의 출력과위 향상시킴을 확인하였다.

[0115] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 수정, 변경 및 치환이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시 예 및 첨부된 도면들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시 예 및 첨부된 도면에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

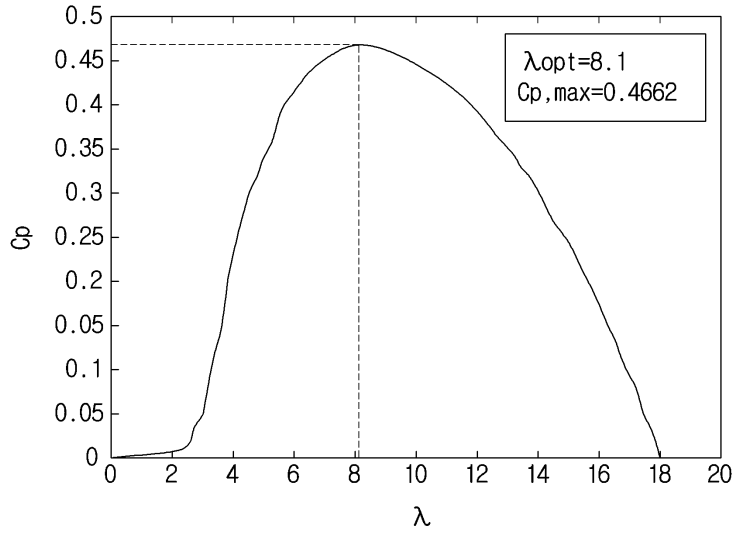
[0116] 한편, 본 발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의해 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다. 그리고, 본 발명을 구현하기 위한 기능적인(functional) 프로그램, 코드 및 코드 세그먼트들은 본 발명이 속하는 기술분야의 프로그래머들에 의해 용이하게 추론될 수 있다.

[0117] 또한, 상기와 같이 설명된 장치 및 방법은 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조

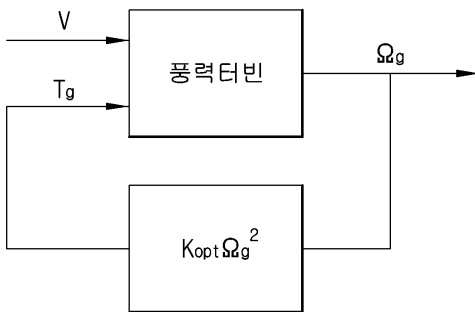
합되어 구성될 수도 있다.

도면

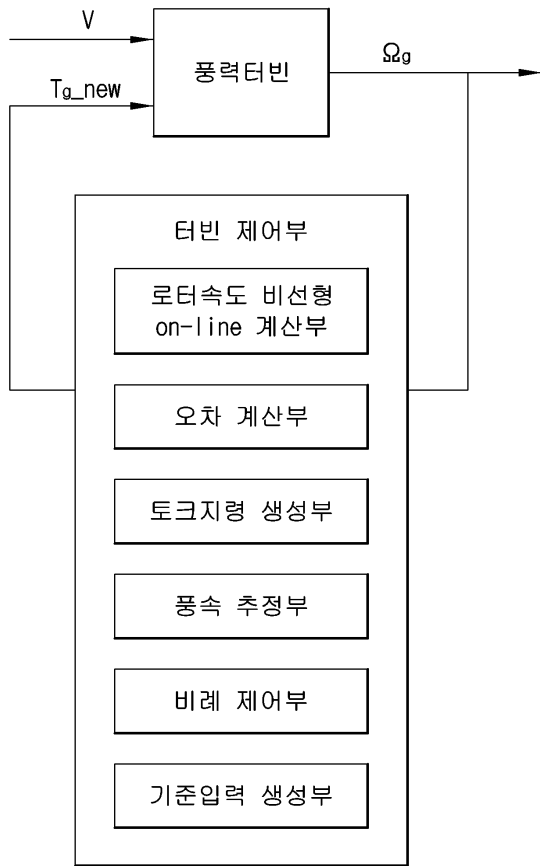
도면1



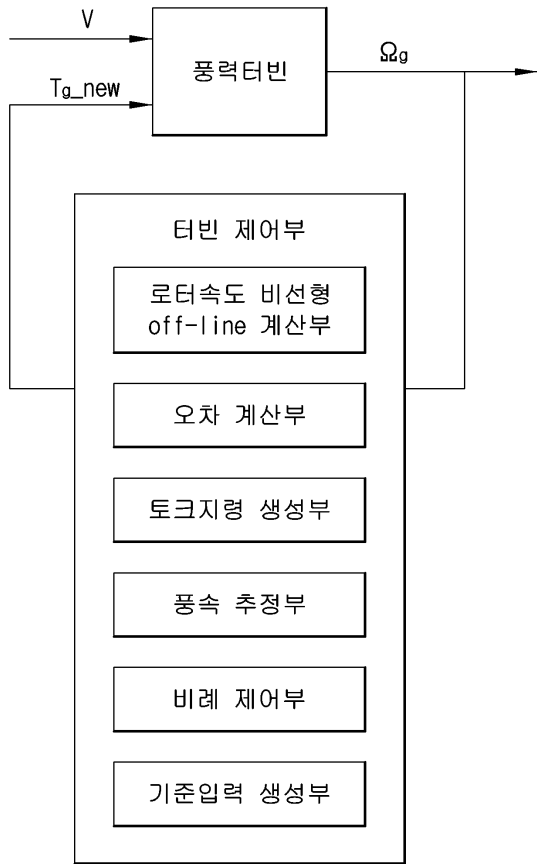
도면2



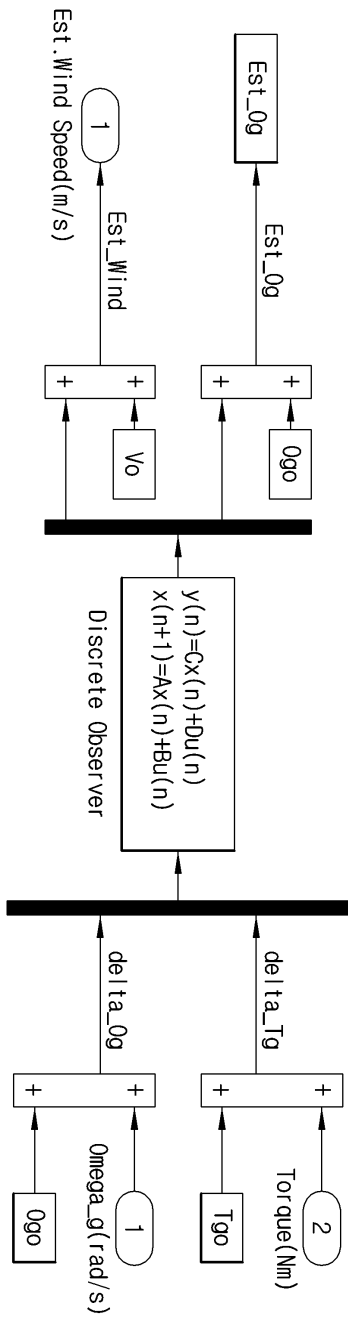
도면3



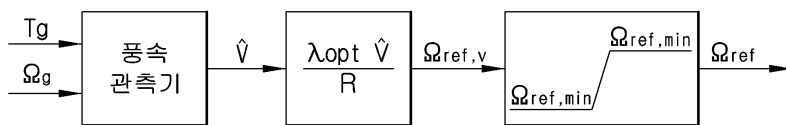
도면4



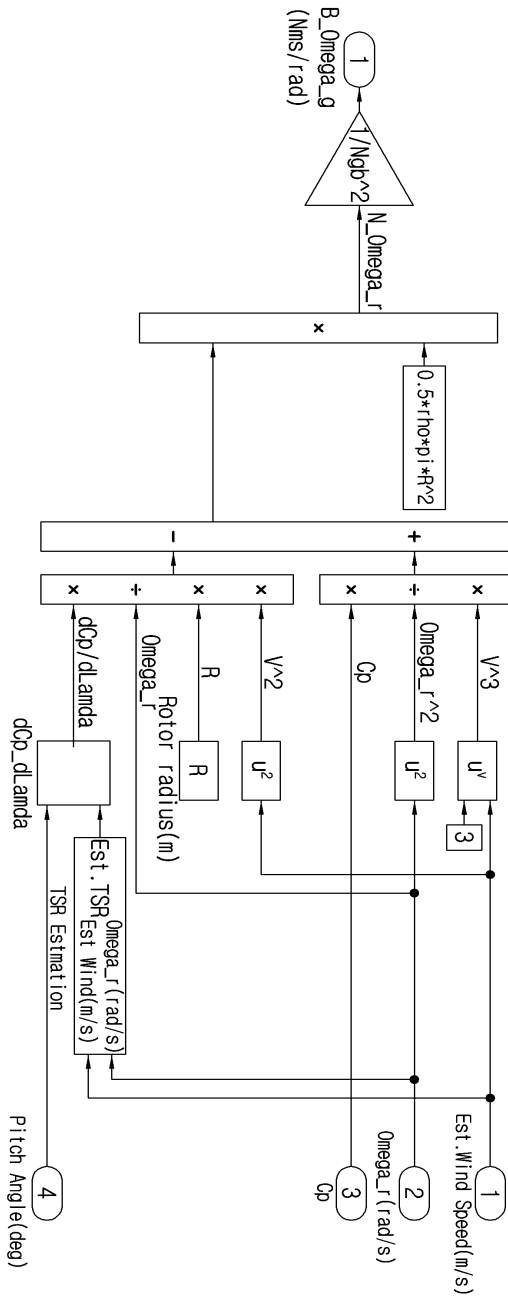
도면5



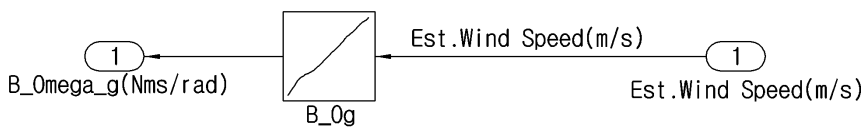
도면6



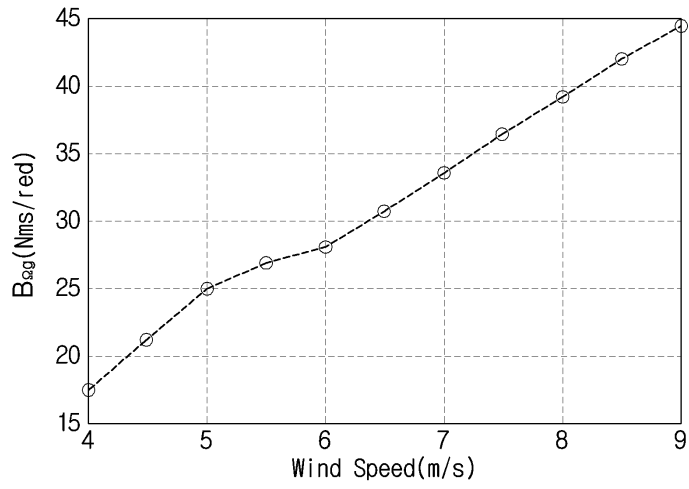
도면7



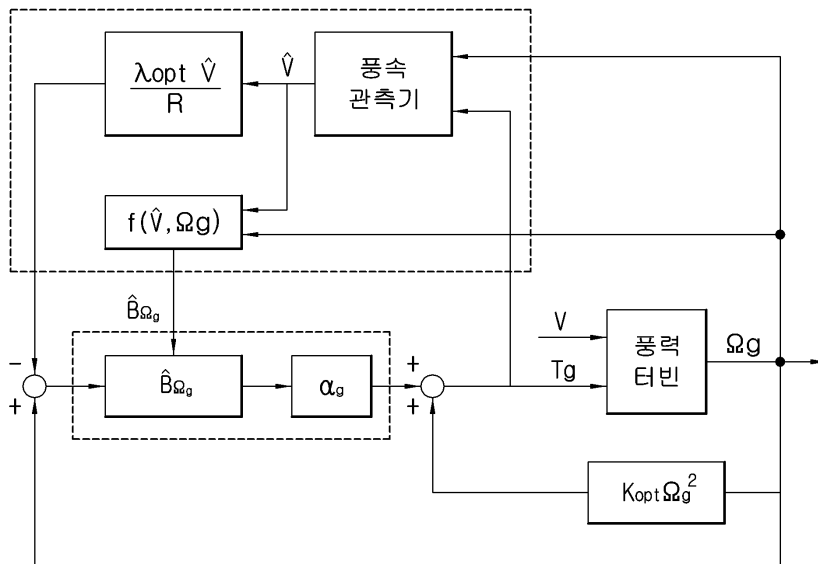
도면8



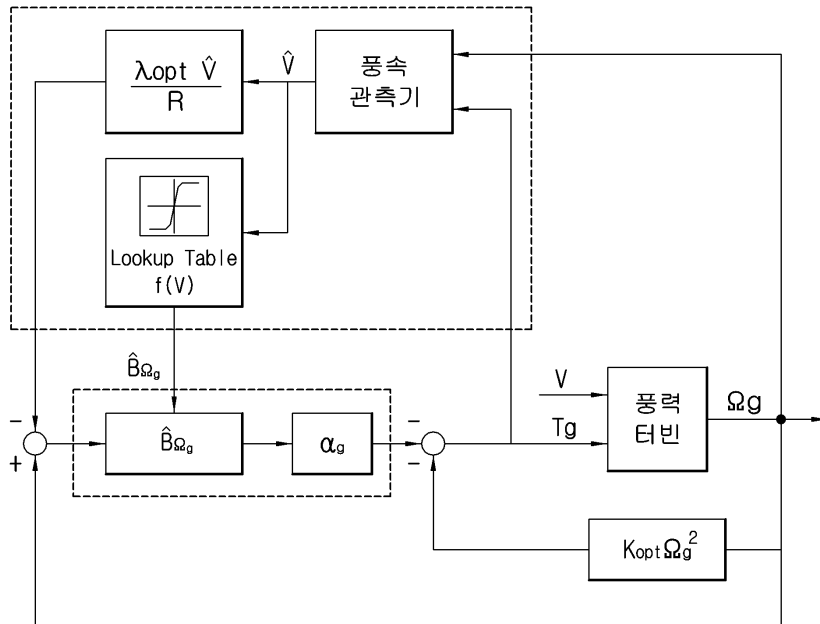
도면9



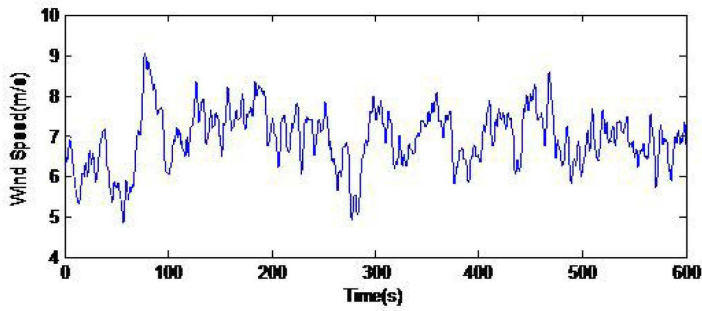
도면10



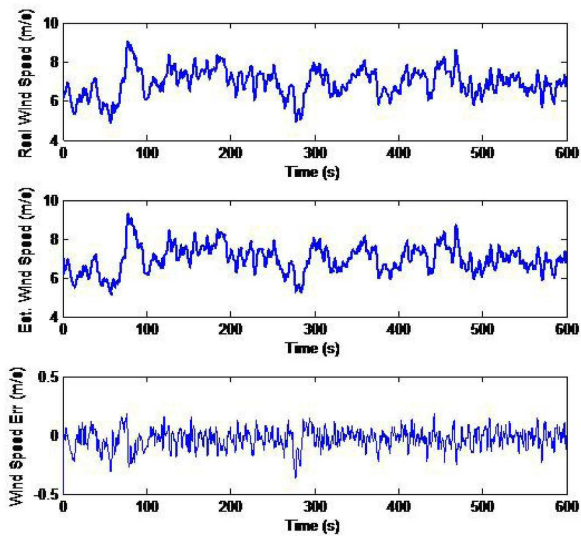
도면11



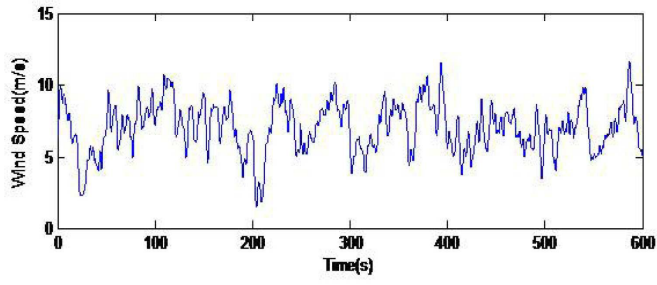
도면12



도면13



도면14



도면15

