



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0107877  
(43) 공개일자 2016년09월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02J 3/28 (2006.01) H02J 3/38 (2006.01)  
H02J 9/00 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H02J 3/28 (2013.01)  
H02J 3/386 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2015-0031373  
(22) 출원일자 2015년03월06일  
심사청구일자 2015년03월06일

(71) 출원인  
군산대학교산학협력단  
전라북도 군산시 대학로 558 (미룡동,  
군산대학교)  
(72) 발명자  
주영훈  
서울특별시 서초구 서운로 221 래미안서초스위트  
아파트 102동 604호  
(74) 대리인  
특허법인 다해

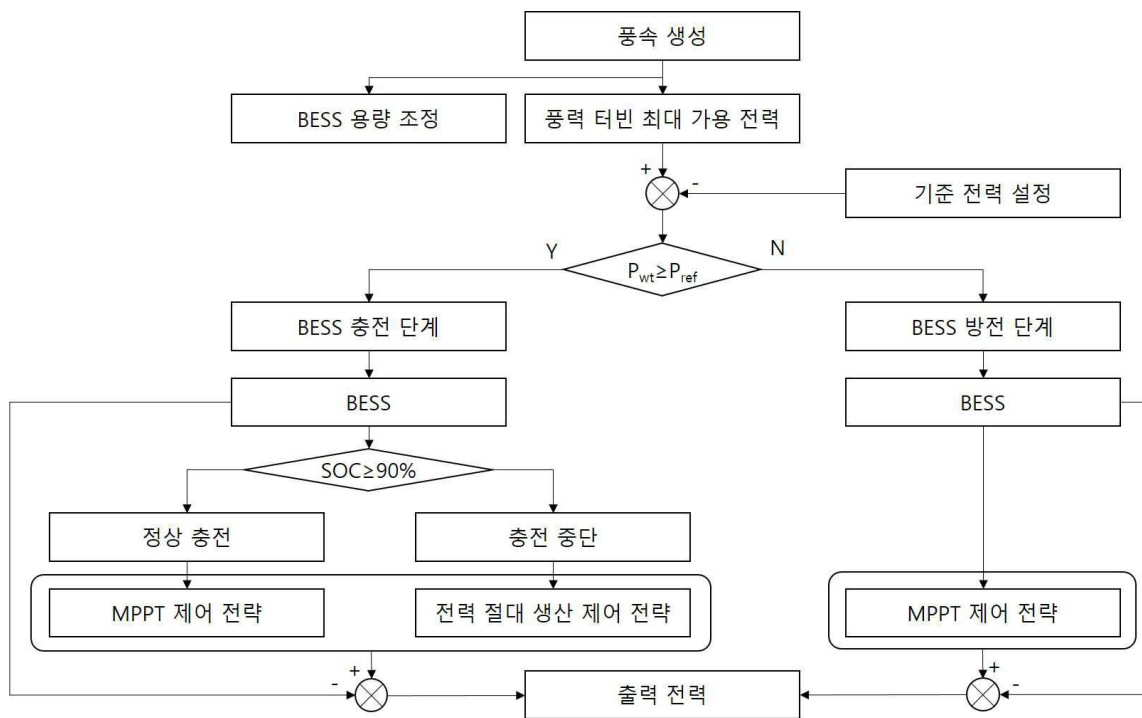
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 풍력발전단지에서의 배터리 에너지 저장 시스템에 기반한 풍력 발전 변동의 평활화 방법

**(57) 요약**

본 발명의 일 실시예에 따른 풍력발전단지에서의 배터리 에너지 저장 시스템에 기반한 풍력 발전 변동의 평활화 방법은, 배터리 에너지 저장 시스템(BESS)이 통합된 복수의 풍력 터빈을 포함하는 풍력발전단지에서 풍력발전 출력전력 변동을 평활화하기 위한 방법으로서, 상기 풍력발전단지에서 전력계통 운영자로부터 기준 전력을 수신하 (뒷면에 계속)

**대표도 - 도4**



는 단계, 상기 풍력발전단지가 전력계통에 연결되기 위해 상기 복수의 풍력 터빈이 공통으로 접속되는 공통접속점(Point of Common Coupling; PCC)으로부터 상기 복수의 풍력 터빈에 의한 출력 전력을 측정하는 단계, 상기 배터리 에너지 저장 시스템의 충전 및 방전을 제어하는 단계, 및 상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계를 포함한다.

본 발명에 따른 풍력발전단지에서의 배터리 에너지 저장 시스템에 기반한 풍력 발전 변동의 평활화 방법은, 배터리 에너지 저장 시스템이 통합된 풍력 터빈을 이용한 것으로 배터리 에너지 저장 시스템의 배터리 충/방전을 통해 풍력 발전량의 변동에 신속하게 대응하고 전력망의 기준 전력을 추종할 수 있도록 함으로써, 풍력 변동에 의한 풍력 발전단지의 전력망으로의 출력 전력 변동을 평활화할 수 있으며, 이에 따라 발전소와 전력망 간의 균형을 유지할 수 있고, 전력계통의 안정적인 운용을 달성할 수 있는 효과가 있다.

(52) CPC특허분류

*H02J 9/00* (2013.01)

*Y02E 10/70* (2013.01)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

배터리 에너지 저장 시스템(BESS)이 통합된 복수의 풍력 터빈을 포함하는 풍력발전단지에서 풍력발전 출력전력 변동을 평활화하기 위한 방법으로서,

상기 풍력발전단지에서 전력계통 운영자로부터 기준 전력을 수신하는 단계;

상기 풍력발전단지가 전력계통에 연결되기 위해 상기 복수의 풍력 터빈이 공통으로 접속되는 공통접속점(Point of Common Coupling; PCC)으로부터 상기 복수의 풍력 터빈에 의한 출력 전력을 측정하는 단계;

상기 배터리 에너지 저장 시스템의 충전 및 방전을 제어하는 단계; 및

상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계를 포함하는, 풍력발전 출력전력 변동 평활화 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 배터리 에너지 저장 시스템의 충전 및 방전을 제어하는 단계는,

상기 측정되는 상기 복수의 풍력 터빈에 의한 출력 전력을 상기 기준 전력과 비교하는 단계; 및

상기 비교의 결과에 따라 상기 배터리 에너지 저장 시스템을 충전하거나 또는 방전하는 단계를 포함하는, 풍력발전 출력전력 변동 평활화 방법.

#### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 기준 전력값이 상기 복수의 풍력 터빈에 의한 출력 전력보다 작은 경우, 상기 배터리 에너지 저장 시스템을 충전하여 여분의 에너지를 저장하고,

상기 기준 전력값이 상기 복수의 풍력 터빈에 의한 출력 전력보다 큰 경우, 상기 배터리 에너지 저장 시스템을 방전하여 에너지를 제공하는, 풍력발전 출력전력 변동 평활화 방법.

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계는,

상기 배터리 에너지 저장 시스템을 충전하는 동안 상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계; 및

상기 배터리 에너지 저장 시스템을 방전하는 동안 상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계를 포함하는, 풍력발전 출력전력 변동 평활화 방법.

#### 청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 배터리 에너지 저장 시스템을 충전하는 동안 상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계는, 상기 배터리 에너지 저장 시스템의 과충전을 방지하기 위해 배터리 충전량(state of charge; SOC)을 제한하는, 풍력발전 출력전력 변동 평활화 방법.

#### 청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 SOC가 상기 SOC의 상한값 미만인 경우, 상기 풍력 터빈을 MPPT(maximum power point tracking) 제어 전략으로 제어하고,

상기 SOC가 상기 SOC의 상한값 이상인 경우, 상기 배터리 에너지 저장 시스템의 충전을 중단하고 전력 절대 생산 제어 전략을 이용하여 상기 풍력 터빈을 제어하는, 풍력발전 출력전력 변동 평활화 방법.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 MPPT(maximum power point tracking) 제어 전략은,

풍속이 정격풍속 미만인 경우, 상기 풍력 터빈의 출력전력이 최대출력계수(maximum power coefficient)를 추종하고,

풍속이 정격풍속 이상인 경우, 상기 풍력 터빈의 출력전력을 상기 풍력 터빈의 정격전력으로 제한하는, 풍력발전 출력전력 변동 평활화 방법.

**청구항 8**

제 6 항에 있어서,

상기 전력 절대 생산 제어 전략은,

상기 풍력 터빈의 전력 생산을 최대전력점(maximum power point)으로 제한하여, 측정되는 풍력터빈의 출력전력이 상기 기준 전력을 추종하도록 하는, 풍력발전 출력전력 변동 평활화 방법.

**청구항 9**

제 4 항에 있어서,

상기 배터리 에너지 저장 시스템을 방전하는 동안 상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계는, 상기 풍력 터빈을 MPPT(maximum power point tracking) 제어 전략으로 제어하는, 풍력발전 출력전력 변동 평활화 방법.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 MPPT(maximum power point tracking) 제어 전략은,

풍속이 정격풍속 미만인 경우, 상기 풍력 터빈의 출력전력이 최대출력계수(maximum power coefficient)를 추종하고,

풍속이 정격풍속 이상인 경우, 상기 풍력 터빈의 출력전력을 상기 풍력 터빈의 정격전력으로 제한하는, 풍력발전 출력전력 변동 평활화 방법.

**발명의 설명**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 풍력발전단지에서의 배터리 에너지 저장 시스템에 기반한 풍력 발전 변동의 평활화 방법에 관한 것이다. 보다 상세하게는 배터리 에너지 저장 시스템을 갖는 풍력 터빈을 이용하여 배터리 에너지 저장 시스템의 배터리 충/방전을 통해 풍력 발전량의 변동에 신속하게 대응하고 전력망의 기준 전력을 추종할 수 있도록 하여 풍력 변동에 의한 풍력 발전단지의 전력망으로의 출력 전력 변동을 평활화할 수 있도록 하는 풍력 발전 변동의 평활화 방법에 관한 것이다. 이로써, 전력망에 평활화된 안정한 전력을 공급할 수 있는 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 풍력 발전은 기존 화석 연료에 의한 에너지의 폐해를 극복할 수 있는 신재생 에너지로서 최근 크게 각광받고 있다. 그러나, 풍력의 간헐적 속성은 이러한 신재생 에너지로 활용함에 있어 풍력 발전의 안정성 면에서 문제점을

야기하고 있다. 따라서, 이러한 풍력 발전의 안정성을 확보하기 위한 노력이 이어지고 있다.

[0003] 한편, 에너지 저장 시스템은 이러한 풍력 발전의 안정성 문제를 해결하기 위한 방안으로 대두되고 있다. 에너지 저장 시스템은 풍력 발전량이 많은 경우 전기를 저장할 수 있는 한편 풍력 발전량이 적은 경우 방전할 수 있어, 필요시 전기를 제공할 수 있다. 따라서, 이러한 에너지 저장 시스템을 이용하여 풍력발전단지의 안정적인 운영을 도모하는 방법이 유용할 수 있다.

[0004] 풍력발전단지의 안정화를 위한 기존 방법으로서 피치각을 제어함으로써 풍력 발전량의 변동을 평활하는 방법이 있다. 그러나, 이러한 기존 방법은 피치각이 풍력발전단지의 출력 전력이 신속한 조정을 요할 때 그에 따라 신속하게 반응하지 못하는 문제가 있다. 따라서, 풍력발전단지가 신속히 기준 전력을 추종하지 못하게 된다. 한편, 에너지 저장 시스템을 이용하여 풍력발전단지의 안정을 도모하는 방법이 제안되었으나, 이는 풍속이 가변하는 경우 에너지 저장 시스템이 풍력발전단지의 출력 전력을 평활화할 수는 있으나 전력망의 기준 전력을 추종하지 못하는 문제가 있다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0005] 전술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명은, 배터리 에너지 저장 시스템이 통합된 풍력 터빈을 이용한 것으로 배터리 에너지 저장 시스템의 배터리 충/방전을 통해 풍력 발전량의 변동에 신속하게 대응하고 전력망의 기준 전력을 추종할 수 있도록 함으로써, 풍력 변동에 의한 풍력 발전단지의 전력망으로의 출력 전력 변동을 평활화할 수 있으며, 이에 따라 발전소와 전력망 간의 균형을 유지할 수 있고, 전력계통의 안정적인 운용이 가능한, 풍력 발전단지에서의 배터리 에너지 저장 시스템에 기반한 풍력 발전 변동의 평활화 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

#### 과제의 해결 수단

[0006] 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력발전단지에서의 배터리 에너지 저장 시스템에 기반한 풍력 발전 변동의 평활화 방법은, 배터리 에너지 저장 시스템(BESS)이 통합된 복수의 풍력 터빈을 포함하는 풍력발전단지에서 풍력발전 출력전력 변동을 평활화하기 위한 방법으로서, 상기 풍력발전단지에서 전력계통 운영자로부터 기준 전력을 수신하는 단계, 상기 풍력발전단지가 전력계통에 연결되기 위해 상기 복수의 풍력 터빈이 공통으로 접속되는 공통접속점(Point of Common Coupling; PCC)으로부터 상기 복수의 풍력 터빈에 의한 출력 전력을 측정하는 단계, 상기 배터리 에너지 저장 시스템의 충전 및 방전을 제어하는 단계, 및 상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계를 포함한다.

[0007] 상기 배터리 에너지 저장 시스템의 충전 및 방전을 제어하는 단계는, 상기 측정되는 상기 복수의 풍력 터빈에 의한 출력 전력을 상기 기준 전력과 비교하는 단계, 및 상기 비교의 결과에 따라 상기 배터리 에너지 저장 시스템을 충전하거나 또는 방전하는 단계를 포함한다.

[0008] 상기 기준 전력값이 상기 복수의 풍력 터빈에 의한 출력 전력보다 작은 경우, 상기 배터리 에너지 저장 시스템을 충전하여 여분의 에너지를 저장하고, 상기 기준 전력값이 상기 복수의 풍력 터빈에 의한 출력 전력보다 큰 경우, 상기 배터리 에너지 저장 시스템을 방전하여 에너지를 제공한다.

[0009] 상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계는, 상기 배터리 에너지 저장 시스템을 충전하는 동안 상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계, 및 상기 배터리 에너지 저장 시스템을 방전하는 동안 상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 배터리 에너지 저장 시스템을 충전하는 동안 상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계는, 상기 배터리 에너지 저장 시스템의 과충전을 방지하기 위해 배터리 충전량(state of charge; SOC)을 제한한다.

[0011] 상기 SOC가 상기 SOC의 상한값 미만인 경우, 상기 풍력 터빈을 MPPT(maximum power point tracking) 제어 전략으로 제어하고,

[0012] 상기 SOC가 상기 SOC의 상한값 이상인 경우, 상기 배터리 에너지 저장 시스템의 충전을 중단하고 전력 절대 생산 제어 전략을 이용하여 상기 풍력 터빈을 제어한다.

[0013] 상기 배터리 에너지 저장 시스템을 방전하는 동안 상기 풍력 터빈의 출력전력을 제어하는 단계는, 상기 풍력 터빈을 MPPT(maximum power point tracking) 제어 전략으로 제어한다.

[0014] 상기 MPPT(maximum power point tracking) 제어 전략은, 풍속이 정격풍속 미만인 경우, 상기 풍력 터빈의 출력 전력이 최대출력계수(maximum power coefficient)를 추종하고, 풍속이 정격풍속 이상인 경우, 상기 풍력 터빈의 출력전력을 상기 풍력 터빈의 정격전력으로 제한한다.

[0015] 상기 전력 절대 생산 제어 전략은, 상기 풍력 터빈의 전력 생산을 최대전력점(maximum power point)으로 제한하여, 측정되는 풍력터빈의 출력전력이 상기 기준 전력을 추종하도록 한다.

**발명의 효과**

[0016] 본 발명에서 개시된 기술은 다음과 같은 효과를 가질 수 있다. 다만, 특정 실시예가 다음의 효과를 전부 포함하여야 한다거나 다음의 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.

[0017] 본 발명에 따른 풍력발전단지에서의 배터리 에너지 저장 시스템에 기반한 풍력 발전 변동의 평활화 방법은, 배터리 에너지 저장 시스템이 통합된 풍력 터빈을 이용한 것으로 배터리 에너지 저장 시스템의 배터리 충/방전을 통해 풍력 발전량의 변동에 신속하게 대응하고 전력망의 기준 전력을 추종할 수 있도록 함으로써, 풍력 변동에 의한 풍력 발전단지의 전력망으로의 출력 전력 변동을 평활화할 수 있으며, 이에 따라 발전소와 전력망 간의 균형을 유지할 수 있고, 전력계통의 안정적인 운영을 달성할 수 있는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0018] 도 1은 풍력 터빈의 구성을 나타낸 것이다.
- 도 2는 풍력 터빈의 간헐적 출력 전력을 보상하는데 BESS가 사용되는 것을 나타낸 것이다.
- 도 3은 복수의 풍력 터빈으로 구성되는 풍력발전단지의 망 배치를 나타낸 것이다.
- 도 4는 BESS가 결합된 풍력터빈의 제어 흐름도를 나타낸 것이다.
- 도 5는 시뮬레이션에 사용된 3개의 풍력 터빈이 설치된 풍력발전단지를 나타낸 것이다.
- 도 6은 풍력발전단지의 시뮬레이션 구조를 나타낸 것이다.
- 도 7은 풍력발전단지의 4-성분 합성 풍속 모델의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.
- 도 8은 BESS가 없는 풍력발전단지 망측에서의 출력 전력을 나타낸 것이다.
- 도 9는 BESS가 있는 풍력발전단지 망측에서의 출력 전력을 나타낸 것이다.
- 도 10은 BESS의 전력 변화를 나타낸 것이다.
- 도 11은 DC 버스의 전압을 나타낸 것이다.
- 도 12는 전력망측 변환기의 3상 전압을 나타낸 것이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0019] 본문에 개시되어 있는 본 발명의 실시예들에 대해서, 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본문에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 된다.

[0020] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0021] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

[0022] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이

해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0023] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0024] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미이다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미인 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0025] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.

[0026] 현재, 풍력 발전 시스템에서 풍속을 생성하기 위한 모델로서, 와이블 분포 모델(Weibull distribution model), 4-성분 합성 풍속 모델(4-component composite wind speed model), 등가 풍속 모델(equivalent wind speed model) 등과 같은 다양한 모델이 있다. 본 발명에서는 4-성분 합성 풍속 모델을 이용하여 풍속을 생성한다.

[0027] 4-성분 합성 풍속  $V_{wt}$ 는 다음의 수학식 1로 나타낼 수 있다.

**수학식 1**

[0028] 
$$V_{wt} = V_{wb} + V_{wg} + V_{wc} + V_{wr}$$

[0029] 여기서,  $V_{wb}$ 는 기본 바람,  $V_{wg}$ 는 돌풍,  $V_{wc}$ 는 점진적으로 변하는 바람, 그리고  $V_{wr}$ 은 확률적 바람이다.

[0030] 풍력 터빈은 바람으로부터의 운동 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 장치로서, 풍력 터빈 회전 날개, 기어 박스, 이중여자 유도발전기(Doubly Fed Induction Generator; DFIG), 및 변환기로 구성된다. 도 1은 이러한 풍력 터빈의 구성을 나타낸 것이다.

[0031] 풍력 터빈 변환 전력  $P$ 는 다음 수학식 2로 나타낼 수 있다.

**수학식 2**

[0032] 
$$P = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_{wt} C_p(\lambda, \beta)$$

[0033] 여기서,  $\rho$ 는 공기 밀도,  $R$ 은 회전자 반경,  $V_{wt}$ 는 풍속,  $C_p$ 는 전력효율계수,  $\lambda$ 는 깃끝 속도비(tip speed ratio), 그리고  $\beta$ 는 회전날개 피치각(blade pitch angle)이다.

[0034] 에너지 저장 시스템은, 예를 들어, 배터리 에너지 저장 시스템(Battery Energy Storage System; BESS), 양수발전시스템(Pumped Hydro-System; PHS), 플라이휠 에너지 저장 시스템(Flywheel Energy Storage System), 초전도 자기에너지 저장 시스템(Superconducting Magnetic Energy Storage System; SMES), 압축공기 에너지 저장(Compressed Air Energy Storage; CAES) 등과 같은 다양한 종류가 있다.



[0035] PHS, CAES, FESS 등은 대규모의 설비나 발전소의 복합적 균형을 필요로 하지만, 배터리는 고효율이며 용기화될 수 있고 분산되고 집중화된 시스템에 쉽게 적용가능한 등의 장점이 있다. 또한, BESS 기술은 이미 성숙한 단계에 와 있으며, 수명이 크게 향상되었다. 따라서, 본 발명은 BESS를 이용하여 풍력발전단지에서 변동이 큰 풍력 에너지를 평활화하는 방법에 관한 것이다.

[0036] 배터리 모델은 보통 실험적 모델, 전기화학적 모델, 및 등가회로 모델 등으로 나눌 수 있는데, 이 중 등가회로 모델이 동적 시뮬레이션에 가장 적합한다.

[0037] 동적 시뮬레이션에서 제어되는 전압원 E는 다음 수학적 식 3과 같이 나타낼 수 있다.

**수학적 식 3**

$$E = E_0 - K \frac{Q}{Q - \int i_b dt} + A \exp(-B \cdot \int i_b dt)$$

[0038]

[0039] 여기서, E는 무부하 전압, E<sub>0</sub>는 배터리 정전압(constant voltage), K는 분극전압(polarization voltage), Q는 배터리 용량(Ah), A는 지수 영역 진폭(V), 그리고 B는 지수 영역 역시상수(Ah<sup>-1</sup>)이다.

[0040] 바람의 간헐적 속성은 풍력 발전과 관련된 가장 큰 문제이며, 이에 따라, 본 발명에서는 배터리 에너지 저장 시스템(Battery Energy Storage System; BESS)을 이용하여 전력 변동을 감소시킨다. 도 2는 풍력 터빈의 간헐적 출력 전력을 보충하는데 BESS가 사용되는 것을 나타낸 것이다.

[0041] 도 2를 참조하면, 이중여자 유도발전기(Doubly Fed Induction Generator; DFIG)가 풍력 터빈 및 기어 박스에 의해 구동되며, 풍속과 회전날개의 피치 각에 관한 함수인 풍력 터빈의 기계적 동력의 출력이 도시되었다. BESS는 DC/AC 변환기와 AC/DC 변환기 사이에서 풍력 터빈으로 연결된다. 또한, BESS는 출력 전력을 평활화하기 위하여 충/방전될 수 있다.

[0042] BESS 용량 구성은 매우 중요하다. BESS 용량 구성이 충분하지 않은 경우, 안정된 출력 전력의 효과를 보장할 수 없다. 반대로, BESS 용량 구성이 지나치게 큰 경우에는, 출력 전력은 상대적으로 안정하지만 경제적 비용이 증가하게 된다. 따라서, BESS 용량을 적절히 구성할 필요가 있다.

[0043] 풍력 터빈에 대해 풍속과 풍속-전력 특성 곡선을 도출한 다음, BESS 용량을 이하에 기술하는 바와 같이 계산한다.

[0044] 풍속 모델과 풍력 터빈 모델에 의해 풍속과 풍속-전력 특성 곡선을 도출한 다음, 풍력 터빈의 1시간 예상 전력 E는 다음 수학적 식 4에 의해 계산된다.

**수학적 식 4**

$$E = \int_{v_{cut-in}}^{v_{rated}} P(v) \cdot q(v) dv + \int_{v_{rated}}^{v_{cut-out}} q(v) dv$$

[0045]

[0046] 여기서, E는 풍력 터빈의 1시간 예상 전력, P(v)는 풍력 터빈의 풍속-전력 곡선, q(v)는 풍속의 확률분포, v<sub>cut-in</sub>은 시동풍속(cut-in wind speed), v<sub>rated</sub>은 정격풍속(rated wind speed), v<sub>cut-out</sub>은 중단풍속(cut-out wind speed)이다.

[0047] BESS의 용량 S는 다음 수학적 식 5와 같이 계산된다.

**수학적 식 5**

$$S = E * H$$

[0048]



- [0049] 여기서, H는 풍력 터빈이 안정적인 출력 전력을 유지하는 시간이다.
- [0050] 다음은 풍력발전단지 배치에 관해 기술한다.
- [0051] 풍력발전단지는 복수의 풍력 터빈으로 구성되며, 그 망 배치는 도 3에 도시한 바와 같다. 풍력발전단지는 하나의 집중화된 유닛과 같이 동작하며, 이는 시스템 운영자로부터 입력 요구를 받고 공통접속점(Point of Common Coupling; PCC)으로부터 출력을 측정한다. 실제 망 상황에 따라, 시스템 운영자는 풍력발전단지에 특정한 운용, 즉, 정상적 생산 또는 절대적 생산을 요구한다.
- [0052] 도 4는 BESS가 결합된 풍력터빈의 제어 흐름도를 나타낸 것이다. 도 4를 참조하면, 본 발명에 따른 제어 방법은 두 부분으로 나눌 수 있는데, 이는 BESS의 충/방전 제어와 풍력 터빈의 제어이다.
- [0053] 먼저, BESS의 충/방전 제어에 대해 이하 설명한다. 풍력 에너지 자원의 주요 과제는 간헐적인 전력 출력을 평활화하는 것이다. 따라서, 이러한 간헐적 전력 출력을 평활화하기 위하여 BESS를 충전 또는 방전하는 방법이 문제가 된다. 또한, BESS의 충전 한계 상태가 고려되어야 한다. 이러한 목적으로 본 발명에서는 BESS의 충전 또는 방전을 제어하기 위하여 풍력 터빈의 측정 전력과 기준 전력과의 차이를 이용한다. BESS의 상태는 다음과 같이 충전 단계와 방전 단계로 나눌 수 있다.
- [0054] 충전 단계는 전력 피크(power peak)라고 하며, 기준 전력이 풍력 터빈의 측정 전력보다 작은 경우, 배터리가 여분의 에너지를 저장한다. 이는 다음 수학적 식 6으로 표현될 수 있다.

**수학적 식 6**

[0055] 
$$P_{wt} - P_{ref} = P_{com} \geq 0$$

- [0056] 그리고, 방전 단계는 전력 밸리(power valley)이라고 하며, 기준 전력이 풍력 터빈의 측정 전력보다 큰 경우, 배터리가 에너지를 제공한다. 이는 다음 수학적 식 7로 표현될 수 있다.

**수학적 식 7**

[0057] 
$$P_{wt} - P_{ref} = P_{com} \leq 0$$

- [0058] 상기 수학적 식 6과 수학적 식 7에서,  $P_{wt}$ 는 풍력 터빈의 측정 전력,  $P_{ref}$ 는 풍력 터빈의 기준 전력,  $P_{com}$ 은 BESS의 전력 명령이다.

- [0059] 다음은, 풍력 터빈의 제어에 대해 기술한다. 출력 전력의 변동을 평활화하고 BESS를 보호하기 위하여, 본 발명에서는 풍력 터빈 제어를 두 부분으로 구분한다. 첫번째는 풍력 터빈이 배터리 충전 단계 동안 제어되는 것이며, 두번째는 풍력 터빈이 배터리 방전 단계에서 제어되는 것이다. 그리고, 배터리의 충전량(state of charge; SOC)은 풍력의 평활 제어에 중요한 영향을 미친다. 배터리 SOC는 용량 Q의 백분율로 정의되며, 다음 수학적 식 8과 같이 계산된다.

**수학적 식 8**

[0060] 
$$SOC = \frac{E_m - \int_0^t U_b * I_b}{E_b}$$

- [0061] 여기서,  $E_m$ 은 배터리의 초기 용량,  $E_b$ 는 배터리의 정격 용량,  $U_b$ 는 배터리의 전압, 그리고  $I_b$ 는 배터리의 전류이다.

- [0062] 먼저, 배터리 충전 단계에서, 배터리 저장 시스템은 여분의 에너지를 저장한다. 이러한 배터리 충전

단계에서는, BESS의 과충전을 방지하기 위해 SOC를 제한한다. 따라서, SOC를 고려한 배터리 충전 단계는 다음의 두 단계로 나뉜다.

- [0063] 첫번째는  $SOC \leq SOC_{max}$  단계로서, SOC가 배터리 용량의 백분을 상한인  $SOC_{max}$  보다 작은 경우, 풍력 터빈의 MPPT(maximum power point tracking) 제어 전략을 사용한다. 두번째는  $SOC \geq SOC_{max}$  단계로서, 배터리의 과충전을 방지하기 위해, SOC가  $SOC_{max}$ 보다 큰 경우, 충전이 중단되며, 따라서, 이 단계에서는 전력 절대 생산 제어 전략을 사용하여 풍력 터빈을 제어한다.
- [0064] 다음, 배터리 방전 단계에서는, 풍력 에너지의 이용을 최대화하기 위하여 MPPT 제어 전략을 이용한다.
- [0065] MPPT(maximum power point tracking) 및 전력 절대 생산 제어 전략을 이하에 기술한다.
- [0066] MPPT 제어 전략은 최대출력계수(maximum power coefficient)를 추종함으로써 에너지 포획이 최대화되는 전력 최적화 전략(정격풍속 미만)과 전력이 터빈의 정격 전력으로 제한되는 전력의 정격전력으로의 제한 전략(정격풍속 이상)으로 구성된다.
- [0067] 전력 절대 생산 제어 전략은 전력 생산을 설정 최대전력점(maximum power point)으로 제한한다. 그러면, 측정 출력 전력은 기준 전력으로 추종할 것이다. 본 발명에서는 풍력 터빈 피치각을 이용하여 출력 전력을 제한한다.
- [0068] 풍력발전단지는 출력 전력을 평활하기 위해 BESS가 풍력 터빈에 통합된 복수의 풍력 터빈으로 구성된다. 풍력발전단지의 기준 전력은 작동자에 의해 각 풍력 터빈에 분배된다. 그러면 각 풍력 터빈은 BESS에 의해 각 풍력 터빈의 기준 전력으로 추종하게 된다.
- [0069] 이하에서는 BESS의 실효성을 검증하기 위한 Matlab/Simulink를 이용한 시뮬레이션 결과에 대해 기술한다. 풍력발전단지는 공통접속점에 의해 전송선의 중단에 연결된다. 풍력발전단지의 망 배치는 도 5에 도시한 바와 같다. 3개의 풍력 터빈 WT1, WT2, WT3는 각각 단자에 연결되며, 풍력발전단지의 발전소로의 연결과 발전소 자신은 실제 물리적 요소(변압기, 선로, 버스바(bus bar) 등)에 의해 모델링된다. BESS는 각 풍력 터빈의 백투백(back-to-back) 변환기로 DC 버스를 통해 연결된다. 따라서, BESS는 각 풍력 터빈의 출력 전력 변동을 보상할 수 있다.
- [0070] 풍력발전단지는 30km 25kV 급전선(feeder)을 통해 120kV 망으로 전력을 송출하는 25kV 배전 시스템에 연결된다. 풍력 터빈은 DFIG를 사용한다. 고정자 권선은 공통접속점(PCC)로 직접 연결되고 회전자는 가변 피치 제어 풍력 터빈에 의해 구동된다. 풍력발전단지 시뮬레이션 구조는 도 6에 나타난 바와 같다.
- [0071] 풍속은 4-성분 합성 풍속 모델에 의해 생성된다. 4-성분 합성 풍속 모델에서, 기본 바람은 9m/s, 돌풍 및 점진적으로 변하는 바람은 각각 0초 에서 1초, 1초에서 2.5초까지로 설정된다. 최대 경도풍은 1초에서 1.7초로 가정하고 가변 경도풍은 1.7초에서 2.5초로 가정한다. 확률적 바람은 0초에서 5초까지로 설정된다. 풍력발전단지의 4-성분 합성 풍속 모델의 시뮬레이션 결과는 도 7에 나타난 바와 같다.
- [0072] 도 8은 BESS가 없는 풍력발전단지 망측에서의 출력 전력을 나타낸 것이며, 도 8로부터, 풍력발전단지의 출력 전력 변동이 풍속의 변동에 의한 것임을 알 수 있다. BESS가 없는 풍력발전단지에서는, 풍력발전단지의 출력 전력에 큰 변동이 있으며, 풍력발전단지의 출력 전력이 풍력발전단지의 기준 전력을 추종할 수 없다. 이에 따라, 불안정한 전력 출력이 전력망에 큰 영향을 끼칠 것이다.
- [0073] 도 9는 BESS가 있는 풍력발전단지의 출력 전력을 나타낸 것으로, 이로부터 풍력발전단지의 전력 변동이 신속히 평활화될 수 있으며, 여분의 전력이 흡수되거나 또는 부족한 전력이 BESS에 의해 보상된다.  $P_{com} \geq 0$  인 경우, BESS는 여분의 전력을 흡수하고,  $P_{com} < 0$  인 경우, BESS는 기준 전력을 추종하기 위하여 전력을 전력망에 제공한다.
- [0074] 도 10은 BESS의 전력 변화를 나타낸 것이다. 또한, 제어에서 배터리 수명을 고려하여,  $SOC_{max} = 90\%$ 로 설정한다. 풍력발전단지의 출력 전력이 풍력발전단지의 기준 전력보다 큰 경우, BESS는 여분의 전력을 저장한다. 반대로, 풍력발전단지의 출력 전력이 풍력발전단지의 기준 전력보다 작은 경우, BESS는 전력을 제공한다.
- [0075] 도 11은 DC 버스의 전압을 나타낸 것으로, 발전기측 변환기의 전압 페루프제어를 통해 각 풍력 터빈의 DC 링크 전압이 1150V 근처로 유지될 수 있음을 보여 준다.
- [0076] 도 12는 전력망측 변환기의 3상 전압을 나타낸 것으로, 각 풍력 터빈의 3상 전압을 보여 주며, DC 링크 전압이

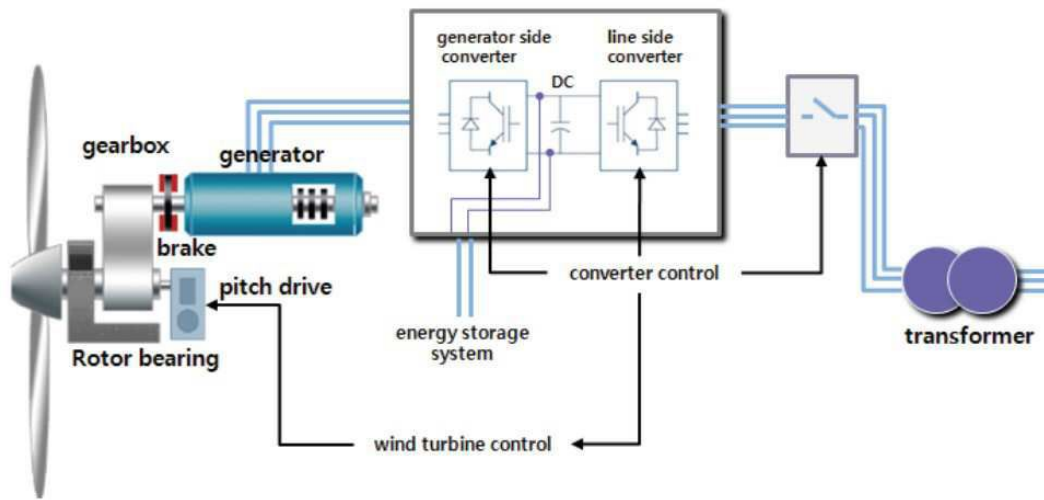
전력망측 변환기에 의해 변환된다.

[0077] 이상에서 기술한 바와 같은 본 발명에 따른 풍력발전단지에서의 배터리 에너지 저장 시스템에 기반한 풍력 발전 변동의 평활화 방법은, 배터리 에너지 저장 시스템이 통합된 풍력 터빈을 이용한 것으로 배터리 에너지 저장 시스템의 배터리 충/방전을 통해 풍력 발전량의 변동에 신속하게 대응하고 전력망의 기준 전력을 추종할 수 있도록 함으로써, 풍력 변동에 의한 풍력 발전단지의 전력망으로의 출력 전력 변동을 평활화할 수 있으며, 이에 따라 발전소와 전력망 간의 균형을 유지할 수 있고, 전력계통의 안정적인 운용을 달성할 수 있는 효과가 있다.

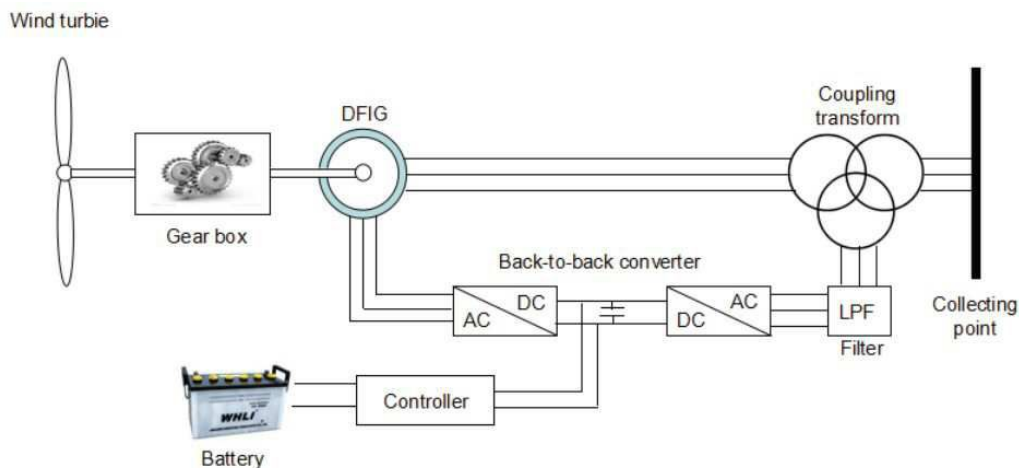
[0078] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

**도면**

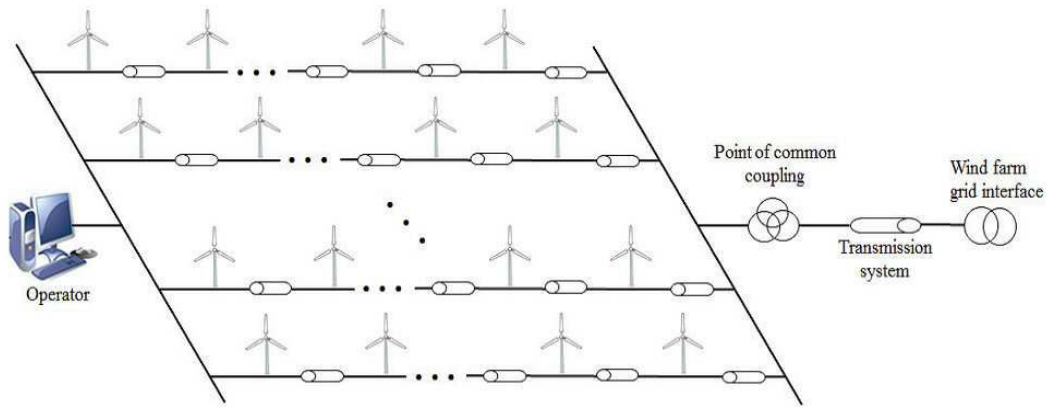
**도면1**



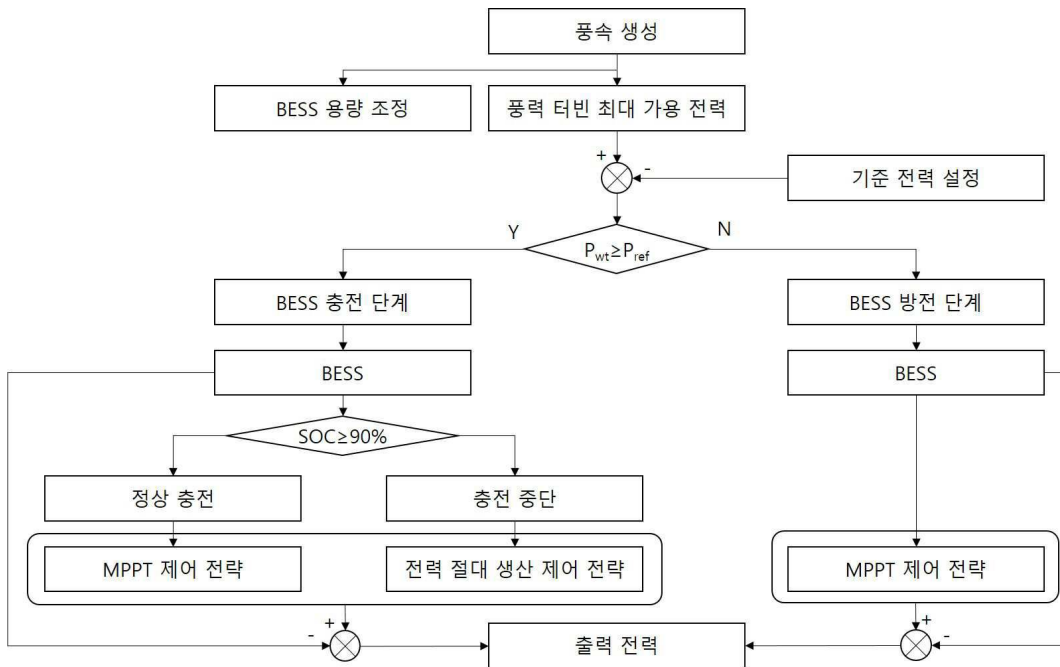
**도면2**



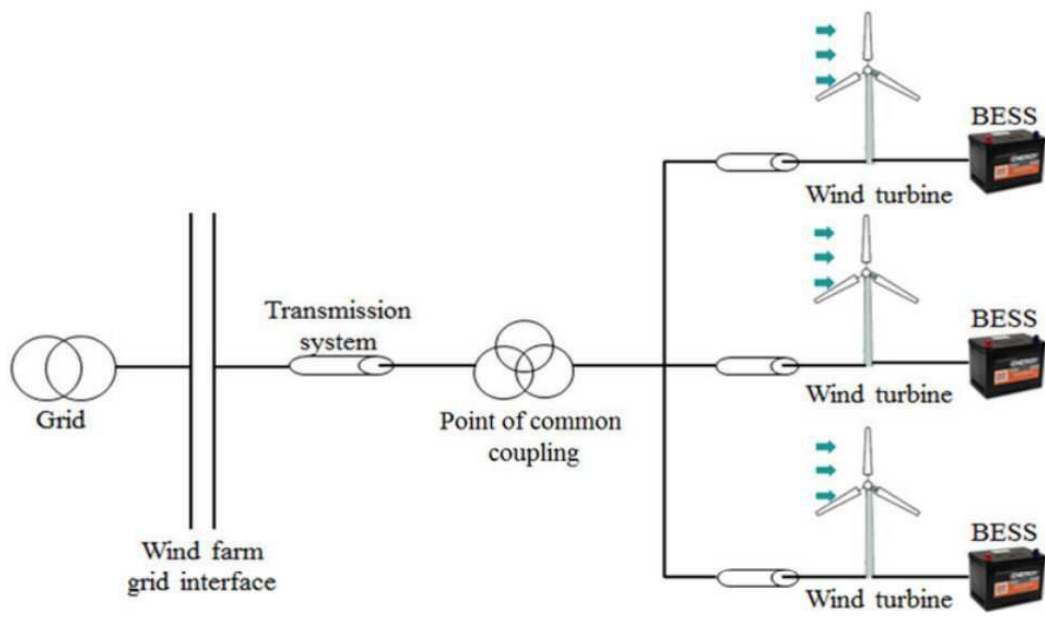
도면3



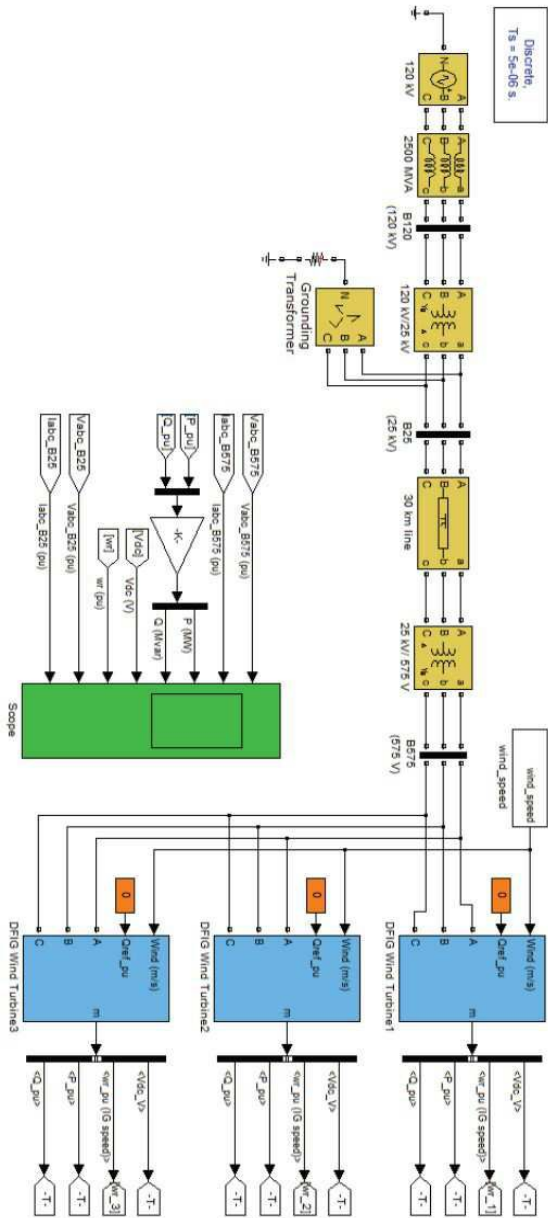
도면4



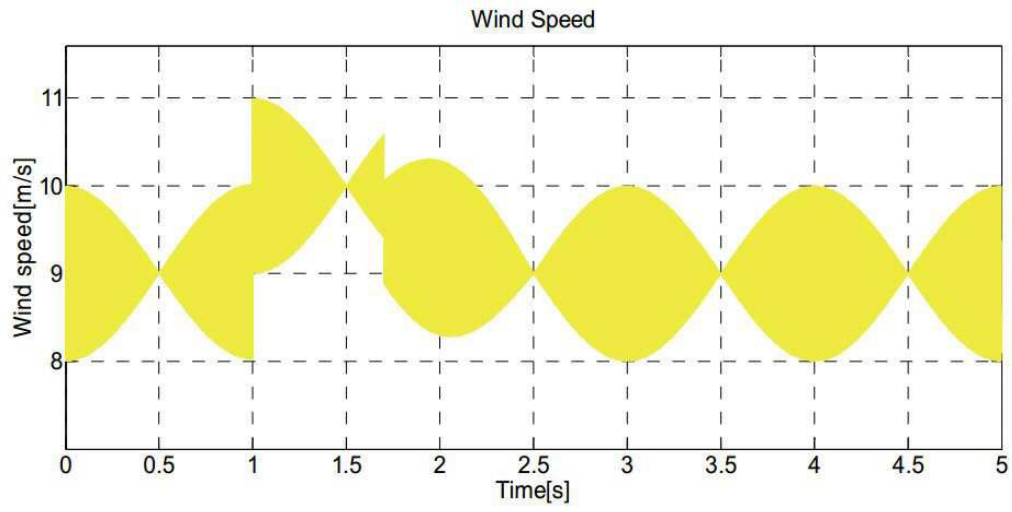
도면5



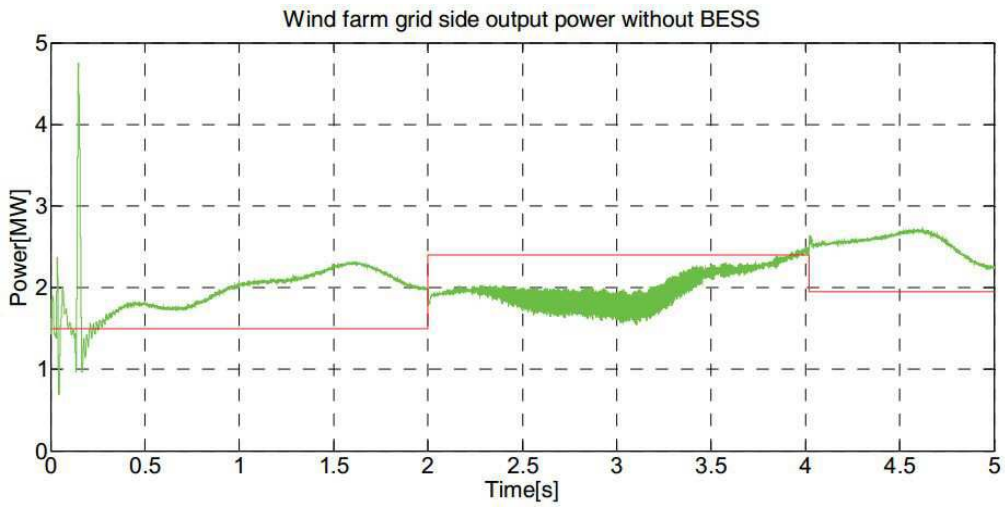
도면6



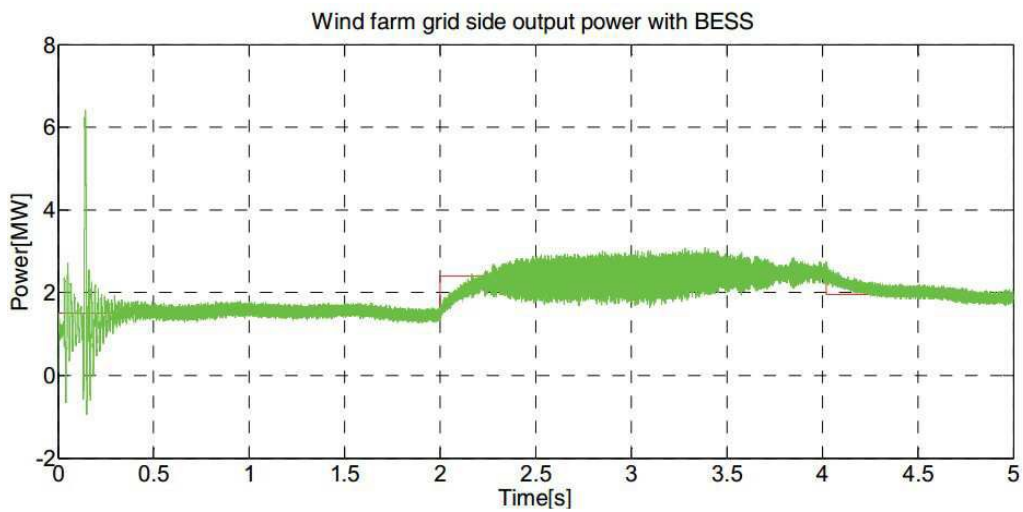
도면7



도면8

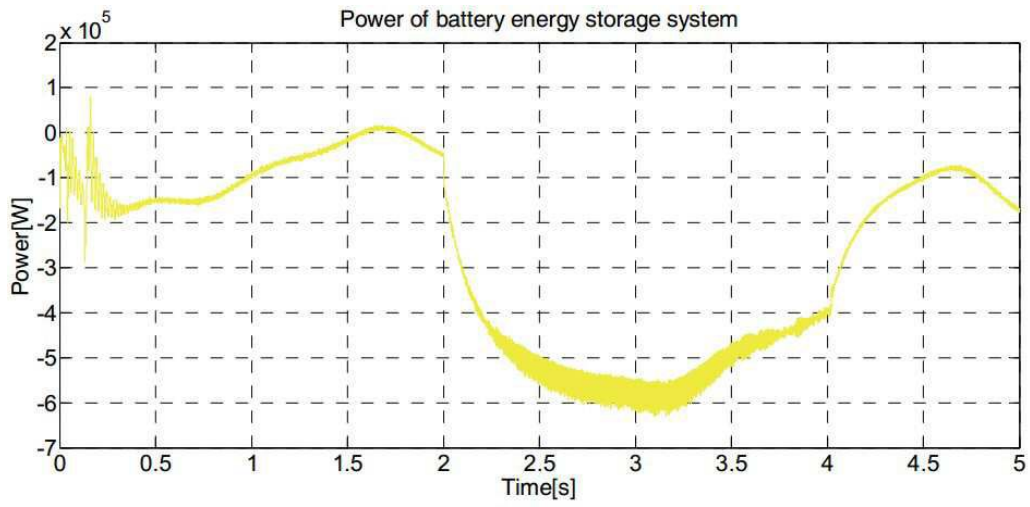


도면9

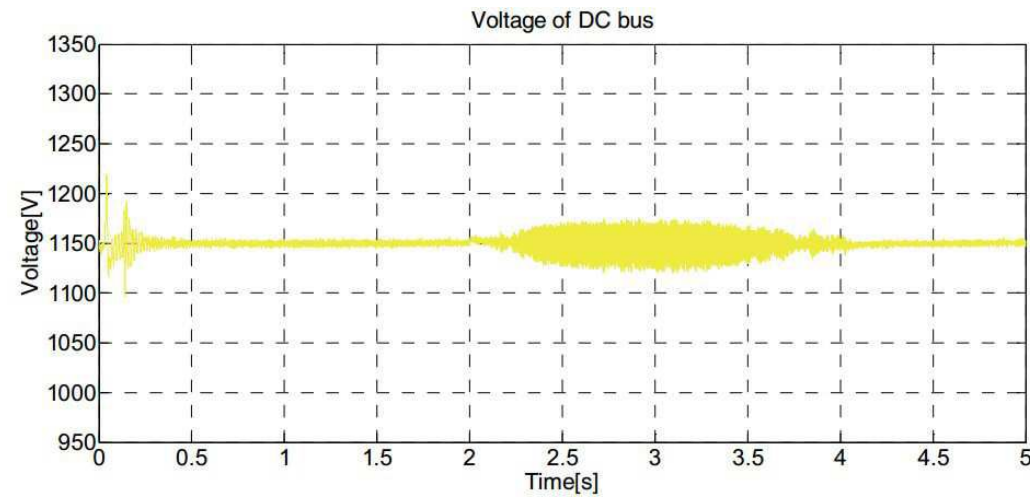




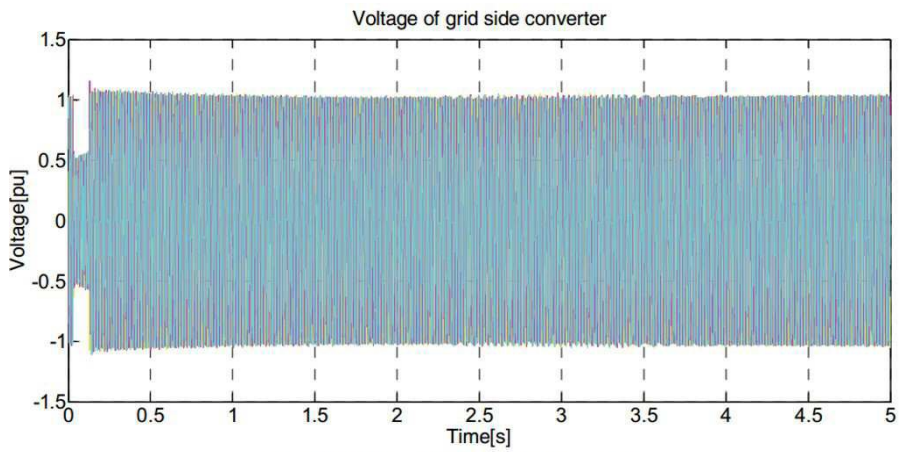
도면10



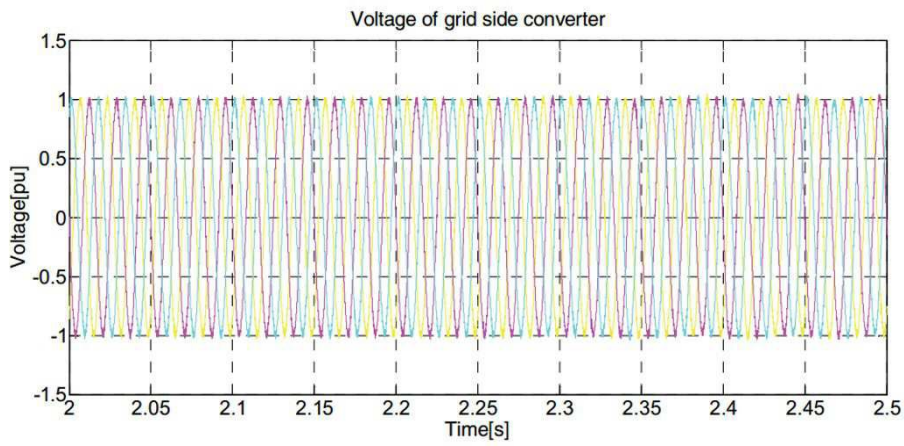
도면11



도면12



(a) 전력망측 변환기 전압(0s-5s)



(b) 전력망측 변환기 전압(2s-2.5s)