(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년06월14일
(11) 등록번호 10-1041300
(24) 등록일자 2011년06월07일

(51) Int. Cl.
H02J 3/00 (2006.01) *H02J 3/38* (2006.01)
F03D 9/00 (2006.01) *H02P 9/04* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2005-7011306
(22) 출원일자(국제출원일자) 2003년12월18일
심사청구일자 2008년11월10일
(85) 번역문제출일자 2005년06월17일
(65) 공개번호 10-2005-0120624
(43) 공개일자 2005년12월22일
(86) 국제출원번호 PCT/US2003/041385
(87) 국제공개번호 WO 2004/059814
국제공개일자 2004년07월15일
(30) 우선권주장
10/687,795 2003년10월17일 미국(US)
60/435,643 2002년12월20일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2000078896 A*
JP2002078205 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
하와이언 일렉트릭 컴퍼니 인크.
미국 96813 하와이주 호놀룰루 리챠드 스트리트 900
(72) 발명자
스탤코프, 칼, 이.
미국 96813 하와이주 호놀룰루 리차드 스트리트 900 하와이언일렉트릭 컴퍼니 인크 내
(74) 대리인
주성민, 이중희, 백만기

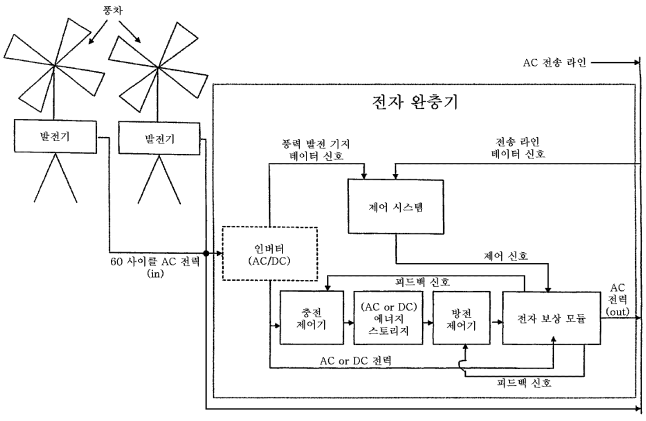
전체 청구항 수 : 총 16 항 심사관 : 공정이

(54) 풍력 발전 기지와 전력 전송 시스템 간의 전력 제어인터페이스

(57) 요 약

풍력 발전 기지 등의 불안정한 전력원과 전력 전송 라인 간의 전력 제어 인터페이스는 전기 에너지 스토리지, 제어 시스템, 전력 발생이 증가하는 기간 동안에는 과잉 전력을 저장하고 바람의 변동에 의해 전력 발생이 감소하는 기간 동안에는 저장된 에너지를 방출하기 위한 "전기 완충기"와 같이 동작하는 전자 보상 모듈을 채용한다. 제어 시스템은 전력 출력(풍속 상태)을 예측하고 짧은 기간 동안의 변동을 무시하고 "협대역" 범위에 걸쳐 에너지 저장 또는 방출을 유지하는 "룩 어헤드(look ahead)" 기능을 구비한다. 제어 시스템은 풍력 발전 기지 전력 출력 및 전력 전송 라인을 감시하여 얻은 데이터를 사용하고, 협 대역의 풍속 상태를 예측하기 위한 시스템-모델링 알고리즘을 채용한다. 전력 제어 인터페이스는 또한 주입시 전력 전송 시스템 내로 전압 지원을 제공하기 위한 에너지 저장 능력뿐아니라 전력 전송 라인에서 발생하는 과도 고장 상태를 "극복(riding out)"하기 위한 고장 해결 능력을 사용할 수 있다.

대 표 도



특허청구의 범위

청구항 1

평균 동작 조건 동안 예상되는 정상 출력 레벨의 전력 출력을 갖는 풍력 발전 기지(wind farm)와 같은 불안정한 전력원의 전력 출력과 전력 전송 라인 간의 전력 제어 인터페이스로서,

(a) 상기 불안정한 전력원과 상기 전력 전송 라인 간에 연결되어, 상기 불안정한 전력원의 전력 출력이 정상 출력 레벨을 초과하는 경우에는 초과 전력 출력을 저장하고, 상기 불안정한 전력원의 전력 출력이 정상 출력 레벨에 미달하는 경우에는 저장된 전기 에너지를 방출하여 전력 출력에 추가하는 전기 에너지 스토리지; 및

(b) 불안정한 전력원 감시 수단,

전송 라인 감시 수단, 및

상기 불안정한 전력원 감시 수단 및 상기 전송 라인 감시 수단으로부터의 신호들에 따라, 초과 전력 출력을 저장된 전기 에너지로서 저장하고, 저장된 전기 에너지를 추가되는 전력 출력으로서 방출하도록 상기 전기 에너지 스토리지를 동작시키기 위해 상기 전기 에너지 스토리지에 연결되는 전자 보상 모듈을 포함하는 제어 수단

을 포함하는 제어 시스템 - 상기 전기 에너지 스토리지는 상기 불안정한 전력원의 협대역 변동 범위 내에서 발생할 것으로 통상적으로 예상되는 전력 변동을 수용할 정도의 비교적 작은 스토리지 용량을 갖도록 구성됨 - 을 포함하고,

(c) 상기 전자 보상 모듈은 상기 불안정한 전력원의 협대역 범위의 변동에 응답하여, 상기 불안정한 전력원의 전력 출력이 정상 출력 레벨에 미달하는 경우에는 상기 전기 에너지 스토리지에 저장된 전기 에너지를 방출하여 상기 전력 전송 라인으로의 전력 출력에 추가하고, 상기 불안정한 전력원의 전력 출력이 정상 출력 레벨을 초과하는 경우에는 상기 불안정한 전력원으로부터의 초과 전력 출력을 상기 전기 에너지 스토리지에 저장하도록 동작하고, 상기 협대역 변동 범위에서의 상기 전자 보상 모듈의 동작은 비교적 작은 스토리지 용량을 갖는 전기 에너지 스토리지의 사용을 가능하게 하여 에너지 스토리지 비용을 절감하는

전력 제어 인터페이스.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전력원은 AC 전력 출력을 제공하는 풍력 발전 기지이고, 상기 전력 출력은 울트라캐패시터(ultra capacitor)들, 캐패시터들, 및 배터리들로 구성되는 전기 에너지 스토리지 디바이스 그룹 중 선택된 하나에 저장되는 전력 제어 인터페이스.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 전력원은 AC 전력 출력을 제공하는 풍력 발전 기지이고, 상기 AC 전력 출력은 ac-dc 인버터에 의해 DC 캐패시터 어레이 또는 배터리에 저장하기 위한 직류(DC)로 변환되는 전력 제어 인터페이스.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 전자 보상 모듈은, 협대역 변동 범위에 걸쳐 상기 불안정한 전력원의 가능성 있는 전력 출력을 계산하고 상기 계산된 협대역 변동 범위에 걸쳐 상기 전기 에너지의 방출을 유지함으로써 동작되는 전력 제어 인터페이스.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전력원은 풍력 발전 기지이고, 상기 제어 시스템은 상기 풍력 발전 기지의 상기 전력 출력을 감시하여 얻은 데이터 신호들 및 상기 전송 라인에서의 상태를 감시하여 얻은 데이터 신호들을 수신하고, 상기 제어 시스템은 상기 데이터 신호들에 기초하여 협대역 바람 변동 상태를 예측하기 위해 시스템-모델링 알고리즘을 채용하는 전력 제어 인터페이스.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제어 시스템의 알고리즘은 풍력 발전 기지 출력의 현재 데이터 및 풍력 발전 기지 출력의 이력 데이터에 기초한 예측을 포함하는 전력 제어 인터페이스.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 전기 에너지 스토리지는 에너지 스토리지 회로, 상기 에너지 스토리지 회로의 입력 측에 있는 충전 제어기, 및 에너지 방출을 위해 상기 에너지 스토리지 회로의 출력 측에 있는 방전 제어기를 포함하는 전력 제어 인터페이스.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 충전 제어기 및 상기 방전 제어기는 상기 전자 보상 모듈로부터의 신호들에 의해 제어되는 복동식의 게이트(double-action gate)와 유사하게 동작하는 전력 제어 인터페이스.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 전력원은 AC 전력 출력을 제공하는 풍력 발전 기지이고, 상기 전력 출력은 울트라캐패시터들, 캐패시터들, 및 배터리들로 구성되는 전기 에너지 스토리지 디바이스들의 그룹 중 선택된 하나에 저장되는 전력 제어 인터페이스.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 전력 전송 라인 상의 전력 교란(power disturbance)에 적응하기 위해 상기 전력 전송 라인과 상기 풍력 발전 기지의 접속 순간에 전압 지원을 제공하는 전력 전자 회로를 더 포함하는 전력 제어 인터페이스.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 전기 스토리지 용량은 상기 불안정한 전력원에 대해 통상의 예상되는 최대 전력 변위의 1.5배로 사이징되는 전력 제어 인터페이스.

청구항 12

풍력 발전 기지와 같은 불안정한 전력원의 전력 출력과 전력 전송 라인 간에 연결되는 전력 제어 장치를 동작시키는 방법으로서,

(a) 상기 불안정한 전력원의 전력 출력을 감시하는 단계;

(b) 상기 불안정한 전력원의 전력 출력이 예상되는 출력 레벨을 초과하는 경우를 판정하고, 상기 예상되는 출력 레벨을 초과하는 상기 불안정한 전력원으로부터의 초과 전력 출력이 전기 에너지 스토리지에 전기 에너지로서 저장되어야 함을 나타내는 제1 제어 신호를 생성하는 단계;

(c) 상기 불안정한 전력원의 전력 출력이 예상되는 출력 레벨에 미달하는 경우를 판정하고, 상기 전기 에너지 스토리지에 저장된 전기 에너지가 방출되어 상기 전력 전송 라인으로의 전력에 추가되어야 함을 나타내는 제2

제어 신호를 생성하는 단계; 및

(d) 협대역 범위에 걸쳐 상기 불안정한 전력원의 가능성 있는 전력 출력을 계산하고, 짧은 기간 동안의 전력 변동에도 불구하고 상기 협대역 범위에 걸쳐 상기 전기 에너지 스토리지로부터의 전기 에너지의 방출 또는 상기 전기 에너지 스토리지로의 전기 에너지의 저장을 유지하기 위한 적절한 제어 신호를 생성하는 단계

를 포함하는, 전력 제어 장치 동작 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 전력원은 풍력 발전 기지이고, 상기 풍력 발전 기지의 가능성 있는 전력 출력을 계산하고 적절한 제어 신호를 생성하는 단계는, 상기 풍력 발전 기지의 현재 전력 출력을 감시하고, 이력 풍력 발전 기지 데이터를 이용하고, 이에 기초하여 협대역 풍력 발전 기지 출력을 예측하기 위한 시스템-모델링 알고리즘을 채용하는 것에 기초하는, 전력 제어 장치 동작 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 전력원은 풍력 발전 기지이고, 상기 풍력 발전 기지의 가능성 있는 전력 출력을 계산하고 적절한 제어 신호를 생성하는 단계는, 전력 출력 변동이 설계된 레이트의 풍속 범위로부터 크게 증가 또는 감소하고 설계 레이트의 시간 윈도우를 초과하여 연장하는 경우, 자동적으로 상기 전력 출력 변동을 평활화하여, "동기하지 않는(out-of-sync)" 조건에서의 동작을 방지하도록 수행되는, 전력 제어 장치 동작 방법.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 전력원은 풍력 발전 기지이고, 상기 풍력 발전 기지의 가능성 있는 전력 출력을 계산하고 적절한 제어 신호를 생성하는 단계는, "룩-어헤드(look ahead)" 기능을 제공하여 상기 협대역 범위 내에서의 가능성 있는 풍속 상태를 예측하고 급격한 기간 또는 작은 풍속 변화에도 불구하고 상기 예측된 풍속 상태와 일치하는 모드로 상기 전기 에너지 스토리지로부터 방출되거나 또는 상기 전기 에너지 스토리지에 저장되는 전력 출력을 유지하도록 수행되는, 전력 제어 장치 동작 방법.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 전력원은 풍력 발전 기지이고, 상기 풍력 발전 기지의 가능성 있는 전력 출력을 계산하고 적절한 제어 신호를 생성하는 단계는, 상기 전력 전송 라인의 상태를 감시함으로부터 도출되는 신호들을 처리하는 전송 라인 제어 신호 계산기로 수행되고, 현재의 발전 조건이 상기 풍력 발전 기지에 대한 정상 전력 출력 범위를 초과 또는 미달할지 여부를 판단하기 위하여 풍속 감시 데이터 및 이력 바람 프로파일 데이터에 기초하여 바람 예측 제어 신호가 생성되는, 전력 제어 장치 동작 방법.

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 전력원과 전력 전송 시스템 간의 전력 제어 인터페이스에 관한 것으로 좀 더 구체적으로는, 풍력 발전 기지 등의 불안정한 전력원의 전력 출력과 전력 전송 그리드 간의 인터페이스에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 풍력으로 구동되는 풍차(터빈)를 사용하는 전력 발생은 바람이 순조롭게 공급되는 영역에서 사용가능하고 로컬 전력 전송 시스템(종종 "그리드"라고 함) 내로 바람에 의해 발생된 전력을 추가함으로써 유리하게 된다. 그러나, 풍차는 바람 상태에 따라 변동하는 비교적 불안정한 전력원이고 그리드 내로 불안정성을 미치는 것을 회피하기 위해서는 적절하게 인터페이스되어야 한다. 전송 라인의 지원이 미약하거나 또는 비교적 작은 전송 시스템(격리된 지역 또는 아일랜드와 같은)에 접속된 풍력 발전 기지는 바람의 진원지로부터의 돌풍이나 난기류 특성 때문에 중요 전송 시스템의 전압 및 주파수 둘다에 불안정성을 주입할 수 있다. 이러한 불안정성은 좀 더 견고하게 상호접속된 전송 시스템에서 조차도 시스템을 통해 전파하는 혼란을 발생시킬 수 있다.

[0003] 시간 주기 변화에 따라 풍력 발전 기지 영역에 걸쳐 풍속이 변화되고 각 풍차와 인터랙트하며, 및/또는 기상 시스템의 간과에 따라 난기류 흐름이 생성됨에 따라, 풍력 발전 기지의 에너지 출력은 1초 미만의 주기로 급격하게 변할 수 있다. 풍력 발전 기지의 에너지 출력에서의 이러한 변화는, 풍력 발전 기지가 접속되는 전송 그리드에서의 주파수 및 전압 둘다의 변화에 의해 나타난다. 극단적인 상황들에서, 이러한 변동들은 전송 시스템으로부터 풍력 발전 기지의 접속을 해제할 필요가 있을 만큼 충분히 커서 풍력 에너지를 낭비하게 된다. 이러한 상태들은 풍력 발전 기지에 경제적으로 강한 손상을 줘서 전기가 발생되고 있는 경우에만 비용을 회수한다. 좀 덜한 상황에서는, 바람이 바뀌면 낮은 레벨의 전압에서는 에너지 서지 현상이 나타나고 전송 시스템에 주파수 혼란이 1~ 2분의 기간에 걸쳐 야기된다.

[0004] 이러한 환경에서 전송 시스템 안정성을 유지하기 위해서, 통상적으로는 불안정한 전력원의 로드를 연료에 의한 연소(fuel-fired) 또는 "써멀(termal)" 발전기 등의 대용량의 좀 더 안정한 발전기로 부가한다. 그러나, 이러한 로드 부가(load-following)로 장시간에 걸쳐 시스템 내의 변동을 흡수하게 함에 따라 다른 유닛들의 내부 기계적 및 열적 피로를 과도하게 한다. 이러한 피로는 동작 및 유지 비용을 높이고 전체적인 유닛 수명을 감소시킨다.

[0005] 또한, 상호접속시 전력 전송 그리드에 전압 지원을 제공하는 전력원을 갖는 것이 바람직하다. 이러한 전압 지원은 전력원으로 하여금 전력 주입 시 전송 라인에서의 전압 또는 주파수 변동의 감쇠에 기여한다. 최근, 전력 플로 제어기들은 전압 및/또는 위상각의 변화를 상쇄하는 전력을 전송 시스템 내로 주입시킴으로써 전송 변동을 보상하도록 개발되어 왔다. 전력 플로 제어기의 일예가 Gyugyi 등에 의한, 전송 라인에 단락하여 접속된 제1 정적 인버터에 의해 생성된 dc 전압을 사용하는 dc/dc 컨버터를 채용하여, 전송 라인 내로 주입된 직렬 보상 전압의 크기를 제2 정적 인버터에 의해 설정하도록 하는 병렬 반응성 보상(parallel reactive compensation)을 제공하는 미국특허 5,808,452호에 개시되어 있다. 그러나, 연속적인 보상 제어를 위한 다영한 기술들은 통상 다음과 같은 실용적인 단점들 즉, 회로 복잡도 및 비용이 증가하고, 손실이 증가하고, 고조파 콘텐트(harmonic content)가 증가하는 단점들과 연관된다.

[0006] 전력 전송 그리드의 변동은 또한 그리드와 전력원과의 상호접속에도 영향을 미칠 수 있다. 전송 라인에서의 일시적인 전원 정전 또는 플래시오버(flashover)와 같은 과도 현상들은 그리드에 접속된 전력원들이 안전 회로에 의해 자동적으로 접속 해제되게 하고 따라서, 일단 과도 현상이 지나면 전력원을 그리드에 다시 재접속하려는 재폐로기(recloser) 또는 다른 계전기 타입(relay type)의 디바이스를 필요로 하게 된다. 풍력 발전 기지와 같은 소형의 전력원에, 재폐로기 또는 계전기 디바이스를 추가하게 되면 시스템에 바람직하지 않은 추가 비용을 발생시킨다. 아일랜드 그리드 또는 풍력 발전 기지가 주요 발생 소스인 상호접속된 그리드가 미약하게 지원된 소형 전력 시스템에서, 고장이 해결된('고장 극복') 이후 풍력 발진 기지를 그리드에 바로 재접속될 수 없다면, 전체 그리드를 저주파에 기인한 셧 다운 상태로 만들기에 충분한 정도의 발전/로드 불균형이 있을 수 있다.

발명의 상세한 설명

[0007] 따라서, 본 발명의 주요 목적은 풍력 발전 기지와 같은 불안정한 전력원의 전력 출력과 전력 전송 라인 간의 전력 제어 인터페이스를 제공하여, 풍력 발전 기지의 전력 변동을 격리시키고, 바람의 상태가 변하는 동안에는 그

리드 내로 불안정한 전압 또는 주파수를 주입하는 것을 방지하는 데 있다. 이것은 특히 비교적 간단하고 저비용으로, 풍력 발전 기지의 전력 전송 시스템에서의 단기간 및 장기간의 전력 변동 둘다의 영향을 제어하는 데 아주 효율적으로 달성될 수 있다. 본 발명의 다른 목적은 전력원으로부터의 전력 출력의 주입시 전력 전송 라인으로 유효 전압 지원을 제공하는 전력 제어 인터페이스를 갖는데 있다. 본 발명의 또 다른 목적은 전력 전송 라인에서의 과도 고장 상태를 "극복(ride through)"하는 고장 해결 능력 즉, 과도 고장 상태 동안 재폐로기 또는 계전기 회로를 시스템에 추가할 필요없이 전력 출력을 여전히 그리드에 접속된 채로 유지하는 능력을 제공하는 전력 제어 인터페이스를 제공하는 데 있다.

[0008] 본 발명에 따르면, 풍력 발전 기지(wind farm)와 같은 불안정한 전력원의 전력 출력과 전력 전송 라인 간의 전력 제어 인터페이스로서,

[0009] (a) 상기 불안정한 전력원과 상기 전력 전송 라인 간에 결합되고, 상기 불안정한 전력원의 상기 전력 출력이 정상 출력 레벨을 초과할 경우 초과 전력 출력을 저장하고, 상기 불안정한 전력원의 상기 전력 출력이 정상 출력 레벨 미만인 경우 전력 출력에 추가하기 위해 저장된 전기 에너지를 방출하는 전기 에너지 스토리지;

[0010] (b) 상기 불안정한 전력원의 상기 전력 출력을 감시하여 얻은 전력원 데이터 신호와, 상기 전력 전송 라인을 감시하여 얻은 전송 라인 데이터 신호를 수신하고, 상기 불안정한 전력원에 의해 야기된 전력 발생의 감소 상태에 대한 보상을 위해 상기 전력 전송 라인으로의 전력 출력에 추가하기 위해 상기 전기 에너지 스토리지에 저장된 전기 에너지를 언제 방출할 것인지를 결정하거나 또는, 상기 불안정한 전력원에 의해 야기된 전력 발생의 증가 상태 동안 발생된 과잉 전기 에너지를 상기 전기 에너지 스토리지에 언제 저장할 것인지를 결정하는 제어 시스템; 및

[0011] (c) 상기 제어 시스템으로부터의 결정에 대응하는 제어 신호를 수신하고, 상기 결정에 따라, 상기 전기 에너지 스토리지에 저장된 전기 에너지를 방출하여 상기 전력 전송 라인으로의 전력 출력에 추가하여 감소된 전력원 출력을 보상하고, 증가된 전력원 출력으로부터의 과잉 전기 에너지를 상기 전기 에너지 스토리지에 저장하도록 동작하는 전자 보상 모듈을 포함하는 전력 제어 인터페이스를 제공한다.

[0012] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 풍력 발전 기지의 AC 전력 출력은 ac/dc 인버터에 의해, DC 캐패시터 어레이, 울트라캐패시터, 또는 배터리에 저장하기 위해 직류(DC)로 변환될 수 있다. 전기 에너지 스토리지는, 풍력 발전 기지의 전력 출력이 정상 범위 이하로 일시적으로 감소하는 경우 에너지 원(energy source)으로서 기능하고, 풍력 발전 기지로부터의 전력 출력이 정상 범위를 초과하여 일시적으로 증가하는 경우 에너지 싱크(energy sink)로서 기능하는 "전자 완충기(electronic shock absorber)"와 유사하게 동작하는 전자 보상 모듈에 의해 제어된다. 이러한 "완충" 기능은 풍력 발전 기지의 전력 출력 변동을 전반적으로 평활화하고, 전력 전송 시스템 내로 주파수 및 전압 불안정성이 주입되는 것을 방지하는 효과를 갖는다. 전자 보상 모듈은 풍력 발전 기지의 전력 출력이 정상 범위 이하로 일시적으로 감소하는 경우 전기 전력을 저장하고, 전력 출력이 상기 정상 범위를 초과하여 일시적으로 증가하는 경우 전력 전송 시스템 내로 전기 전력을 방출하기 위해, 피드백 신호를 상기 에너지 스토리지의 입력단 및 출력단에 있는 한 쌍의 보상 "게이트"에 발행함으로써 제어 시스템으로부터의 제어 신호에 응답한다.

[0013] 제어 시스템은 또한 실시간 상태로 시스템에 응답하여 시간 지연에 기인한 동기를 벗어난 응답을 회피하기 위해, 풍속 상태를 예측하고, 짧은 기간의 "협 대역"에서 바람이 변동하거나 또는 풍속 변화가 작은 경우에는 그것과 일치하는 모드로 에너지 스토리지를 유지하는 "룩 어헤드" 능력이 구비된다. 제어 시스템은 풍력 발전 기지의 전압, 전류, 전력 및 주파수 출력에 대한 정보를 나타내는 풍력 발전 기지 전력 출력으로부터 얻은 데이터 신호들과, 전송 라인을 감시하여 얻은 유사 정보를 수신한다. 제어 시스템은 풍력 발전 기지 출력의 이력 데이터, 사이트로부터 취한 기상 데이터, 및 바람의 상태를 미리 예측하는 기상 예측에 기초한 시스템-모델링 알고리즘을 채용하고, 풍력 발전 기지로부터의 현재 전력 출력 정보를 알고리즘의 계산과 비교하여 협대역 풍속 상태를 예측한다. 이러한 정보에 기초하여, 제어 시스템은 전력 전송 라인 내로 주입되는 전력 출력을 증가시키기 위해 에너지 스토리지로부터 에너지를 방출하는 모드로 유지하고, 또는 협대역에서 풍속이 변화하는 동안에는 전송 라인으로의 전력 출력의 추가 없이 상기 에너지 스토리지에 에너지를 저장하는 모드로 유지하기 위한 제어 신호를 전자 보상 모듈에 송신한다.

[0014] 전력 제어 인터페이스는 또한, 전송 시스템의 안정화 필요에 따라 실제 또는 반응성 전력(real or reactive power)을 제공하기 위해, DC 전력을 AC로 변환한 다음 이것을 전송 라인 내로 적절한 전압과 위상각으로 주입하는 전력 전자 제품을 사용함으로써 전력 전송 시스템에 대한 전압 지원을 제공할 수 있다. 전력 제어 인터페이스는 또한, 에너지 스토리지의 크기를 적절하게 정하고 이것을 제어하여 전력 전송 라인에서 발생하는 과도 고

장 상태를 "극복"할 수 있도록 함으로써 고장 해결 능력을 제공할 수 있다. 이것은 특히, 풍력 발전 기지 출력이 실질적인 전력 소스 기여자일 수 있고, 또는 과도 정전 동안 다른 전력 소스 기여자들은 약하게 상호접속되고 접속 해제될 수 있는 총 용량이 작은 아일랜드 그리드 시스템에 유용할 수 있다.

[0015] 본 발명의 다른 목적, 특성, 및 장점들은 첨부된 도면들을 참조한 발명의 이어지는 상세한 설명에서 설명될 것이다.

실 시 예

[0020] 이하, 풍력 발전 기지와 같은 불안정한 전력원의 전력 출력과, 불안정한 전력원이 접속되는 전력 전송 라인 간의 전력 제어 인터페이스의 바람직한 실시예를 설명한다. 예시적인 실시예는 전기 에너지 스토리지와 전력 전자 제품을 조합하여 사용하여 전력 전송 시스템을 풍력 발전 기지 에너지 변동으로부터 격리시키는 한편, 풍력 발전 기지로 하여금 전력 전송 시스템 내로의 주입시 라인 상의 전력 혼란을 보상가능하게 하는 "전자 완충기(Electronic Shock Absorber)"로서 동작하는 전력 제어 인터페이스의 기능을 설명한다. 따라서, 전자 완충기 시스템은 그리드에 기여하는 풍력 발전 기지 전체 캐패시터 계수를 증가시켜, 주입시 전압 지원을 제공하고, 전체 전송 시스템 안정도를 개선한다. 본 발명은 갱신가능한 전기 발생 소스로서 풍력 에너지를 널리 사용함에 따라 손상되는 3가지 주요 문제들에 대한 고유한 솔루션을 제공한다.

[0021] 도 1을 참조하면, 본 발명의 전력 제어 인터페이스(도면에서 점선 내에 "전자 완충기"로 표시됨)가 풍력 발전 기지의 풍차 발전기로부터의 통상의 60 Hz(사이클)의 AC 전력 출력(전력 출력 in)과 상기 풍차 발전 기지로부터 전력 전송 그리드로 전력 출력(out)을 전달하는 AC 전송 라인 간에 결합된다. 전자 완충기의 3가지 주요 구성요소를 "에너지 스토리지", "제어 시스템", 및 "전자 보상 모듈"로서 표시한다. 에너지 스토리지는 풍력 발전 기지의 전력 출력과 전력 전송 라인 간에 결합된다. 제어 시스템은 풍력 발전 기지 출력을 감시하여 얻은 풍력 발전 기지의 전압, 전류, 전력 및 주파수 출력에 대한 정보를 제공하는 풍력 발전 기지 데이터 신호(Wind Farm Data Signal)와, 전송 라인에 유사한 정보를 제공하고 전송 라인 사태를 감시하여 얻은 전송 라인 데이터 신호(Transmission Line Data Signal)를 수신한다. 풍력 발전 기지 데이터 신호와 전송 라인 데이터 신호에 기초하여, 제어 시스템은 풍력 발전 기지 전력 발생이 정상보다 높을 때 과잉 에너지를 저장하게 하거나 풍력 발전 기지 전력 발생이 정상보다 낮을 때 전력 전송 라인으로 에너지를 방출하게 하는 제어 신호를 전자 보상 모듈에 제공한다. 전자 보상 모듈은, 에너지 스토리지의 입력 및 출력 단부들에 있고, 도면에서 "충전 제어기" 및 "방전 제어기"로서 표시된 한 쌍의 보상 "게이트들"에 피드백 신호를 발행함으로써 제어 시스템으로부터의 제어 신호에 응답한다. 이것들은 저장된 에너지를 에너지 스토리지로부터 보상기로 방출하여 풍력 발전 기지 전력 발생의 감소를 보상하거나, 또는, 전력 발생이 증가하는 기간 동안에는 전기 에너지를 에너지 스토리지에 추가하는 기능을 갖는다. 제어 시스템은 전력 변동이 "협대역"의 짧은 기간에 변하는 경우 에너지 스토리지에 전력을 저장하거나 에너지 스토리지로부터 전력을 방출하도록 제어하기 위해, 풍력 발전 기지의 예상 전력 출력 변동을 예측하기 위한 "룩-어헤드(look-ahead)" 기능(이하에서 설명됨)의 시스템-모델링 알고리즘을 채용한다.

[0022] 에너지 스토리지의 용량은 어떤 풍력 발전 기지에서 전형적으로 발생하는 전력 변동을 수용하기에 충분한 용량을 가질 뿐아니라 과도 고장 상태의 "극복" 및 보존을 위한 추가의 용량을 갖도록 비용 대비 고려하도록 정해진다. 스토리지 용량에 비교적 비용이 많이들고, 용량은 풍력 발전 기지가 접속되는 전력 시스템의 안정성을 위한 조건을 제한하기 위한 전형적인 예상 최고 전력 진폭(편차)의 대략 1.5배로 정해진다. 그리드 안정도, 수용가능한 램프 레이트(상승 및 하강), 고장 극복의 필요성, 좀 더 미세한 전력 변동 허용오차, 및 시스템의 저장 컴포넌트의 크기를 정확하게 정하기 위한 상세한 바람 상황의 특성들에 대한 고려와 함께 전자 완충기의 각 특정 애플리케이션에 대해 상세한 계산이 행해질 것이다.

[0023] 전자 보상 모듈에 의해 제어되는 에너지 스토리지는 풍력 발진 기지 출력의 전압 및 주파수 변화를 상쇄하고, 다음과 같은 방법으로 전송 시스템에 대한 전력 출력의 변동을 감소시킨다. 예를들어, 풍력 발전 기지의 전력 출력에 급격한 강하가 발생한다면 에너지 스토리지는 풍력 발전 기지의 에너지 출력에서의 어떤 부족분을 보상하기 위해 에너지 방전하도록 전자 보상 모듈에 의해 동작될 것이다. 반대로, 풍력 발전 기지의 전력 출력이 증가하면, 제어 시스템은 에너지 스토리지가 충전되게 하고 따라서 에너지 스토리지로부터 전송 시스템으로의 풍력 발전 기지 전력 출력에 대한 어떠한 부가도 차단한다. 이러한 보상은 전송 시스템의 주파수 및 전압의 변동을 전반적으로 평평하게 하는 효과를 갖는다. 전력 제어 인터페이스의 목적은 전송 시스템으로의 풍력 발전 기지의 전력 출력을 평평하게 하는 것이지, 에너지 스토리지를 많은 풍력 발전 시스템들에 정상인 오프-피크(off-peak) 시간들에서 사용하기 위해 제공하고자 하는 것은 아니다. 이러한 에너지 스토리지 시스템의 고유 특성, 목적 및 제어 때문에, 그 용량은 수십 초 동안의 풍력 발전 기지 에너지 출력과 등가인 에너지 스토리지

로 제한될 수 있다. 이러한 비교적 작은 저장 용량이 전자 완충기의 전체 크기와 자본 비용을 상당히 감소시킨다.

[0024] 정상적으로 설계된 레이트의 풍속 범위에서 변동이 상당히 증가하거나 감소(예를들어, 10% 이상)하는 경우 그리고, 설계 레이트의 시간 윈도우(예를들어, 6 ~ 10초)를 초과하여 연장하는 경우에는 전력 출력 변동을 평평하게 하기 위해 전자 완충기가 자동적으로 동작되는 한편, 바람 변동이 급격하거나(예를들어, 5초 기간 미만) 또는 작은 변화라면(정상 전력 출력 범위의 10% 미만) 전자 완충기를 자동으로 동작시키기에는 덜 효율적으로 된다. 이것은 제어 시스템의 응답이 실제 시간 조건과 관련하여 소정 시간 지연(예를들어, 0.1 ~ 0.2 초)를 갖고, 실제 풍속 상태를 지연시키는 자동적인 에너지 방출/저장 변화에 의한 동작이 결과적으로 전자 보상 모듈이 에너지 스토리지로 하여금 실제 풍속이 하강할 때 에너지를 저장하게 하고 실제 풍속이 상승할 때 에너지를 방출하게 하기 때문이다. 이와같이 조건이 동기하지 않는 타입은 시스템의 전반적인 효율을 감소시키고 및/또는 전송 시스템 내로 전력 변동을 유입시킬 수도 있다. 이러한 협대역 변동을 평평하게 하기 위해, "룩-어헤드" 기능을 갖는 전력 제어 인터페이스가 제공되어 협대역 범위 내의 알맞은 풍속 조건을 예측하고, 급격한 기간 또는 작은 풍속 변화를 무시하고 예측된 풍속 상태와 일치하는 모드로 에너지 스토리지를 유지한다.

[0025] 도 2에 좀 더 상세히 도시되어 있는 바와 같이, 제어 시스템의 바람직한 실시예는 고장 감시기, 전압 크기, 전류 크기, 및 VARs 변동(전압-암페어 리액티브)를 포함한 AC 전송 라인의 상태를 감시하여 얻은 신호들을 처리하고, 전송 라인 데이터 신호를 주 제어 계산기로 제공하는 전송 라인 제어 신호 계산기를 갖는다. 풍력 발전 기지 데이터 신호는 풍력 발전 기지 출력을 감시하는 좀 더 미세한 로드 리미트 계산기 및 램프 레이트 리미트 계산기와, 풍속 감시 데이터 및 이력 바람 프로파일 데이터에 기초하는 바람 예측 제어 신호가 혼합된 것이다. 본원에 사용된, "계산기(calculator)"는 대응하는 출력 신호를 결정하고 발행하기 위해, 프로그램된 규칙, 단계 및/또는 알고리즘에 따라 입력 신호들을 처리하기 위한 어떤 수단(예를들어, 마이크로프로세서)를 말한다. 이러한 입력들에 기초하여, 제어 계산기는 제어 시스템 출력에 대한 적절한 제어 신호를 결정한다. 바람 예측 제어 신호는 단기간의 풍력 발전 기지 전력 출력의 변동에 대한 시스템 응답을 감소시키기 위해, 현재의 전력 발생 조건들이 풍력 발전 기지에 대한 정상 전력 출력 범위를 초과하여 상승하거나 또는 그 범위 미만으로 떨어지는 지 여부를 판정하기 위한 예측 알고리즘(이하에 예들이 설명됨)에 따라 결정된다. 제어 시스템 출력은, 협대역 변동 범위 내의 예측된 전력 출력과 일치하는 모드로 에너지 스토리지를 유지하기 위해 전자 보상 모듈로 제공된다.

[0026] 협대역 변동 동안의 전력 출력 분석 모듈의 "룩-어헤드" 기능에 대한 관련 입력들의 예를 아래 표1에 제공한다.(실제 데이터는 장소에 특정한 것임.)

[0027] [표 I]

[0028] 현재 풍력 발전 기지 데이터:

[0029] 일자: 월:_ 일:_ 년:_

[0030] 현재의 풍속: _mph

[0031] 현재 온도: _° F

[0032] 현재 기압계 압력: _mbar

[0033] 기상 일 특성: 맑음/흐름/바람많음/바람적음/돌풍

[0034] 온라인 터빈 수 _터빈

[0035] 전체 현재 전력 출력 _MW

[0036] 시스템 비교 데이터:

[0037] 터빈 설계 레이팅, 정상 범위: _KVA

[0038] 풍속 설계 레이팅, 장상 범위: _mph

[0039] 온라인으로 레이트된 터빈 수: _turbines

[0040] 총 설계 레이트된 전력 출력, 정상 범위: _MW

[0041] 시간당 풍속 이력 _mph

[0042] 일 평균 풍속 이력 _mph(ave)

[0043] 온도 이력 _° F

[0044] 기압계 압력 이력: _mbar

[0045] 기상 일 특성 이력: 맑음/흐름/바람많음/바람적음/돌풍

[0046] 전력 출력 룩-어헤드 예측:

[0047] 정상으로부터의 시간당 예상 풍속 편차: _mph 정상 이상/이하

[0048] 일 평균 정상으로부터의 시간당 예상 풍속 편차: _mph 정상 이상/이하

[0049] 정상으로부터의 시간당 예상 전력 편차: _MW 정상 이상/이하

[0050] 일 평균 정상으로부터의 예상 전력 편차: _MW 정상 이상/이하

[0051] 제어 시스템은 협대역 변동의 범위 내에서 전력 출력을 예측하기 위한 "룩-어헤드" 기능을 제공하기 위해, 현재의 풍력 발전 기지 상태와 AC 전송 라인 상태에서의 상기 타입의 정보를 수신한다. 일 예로서, 제어 시스템은 상태 추정기로서 동작하는 어떤 시스템 모델링 알고리즘을 채용하여 협대역에서 풍속이 변화는 동안 과잉 발생된 에너지를 저장할 것인지 또는 저장된 에너지를 전송 시스템으로 방출할지 여부를 판정할 수 있다. 이러한 상태 판정은 전자 보상 모듈에 적절한 제어 신호를 제공하기 위해 사용된다. "룩 어헤드" 기능에 대한 예측 판정을 위해 사용될 수도 있는 시스템 모델링 알고리즘의 예가 아래 표 Ⅱ에 주어진다.

[0052] 표Ⅱ

[0053] 1. IF: 오늘 평균 풍속> 정상 (설계 레이트) 풍속 범위의 110%

[0054] 또는

[0055] 오늘 평균 풍속< 정상 풍속 범위의 90%

[0056] 이면,

[0057] 에너지 스토리지로 하여금 자동적으로 방출/저장 동작하게 함.

[0058] 2. IF: 90% <오늘 평균 풍속< 정상 풍속 범위의 110%

[0059] 이고,

[0060] 오늘 타입 = 이력일 타입이고, 풍속 이력> 정상 범위

[0061] 이면,

[0062] 에너지 스토리지 게이트를 저장 모드로 함.

[0063] 3. IF: 90% <오늘 평균 풍속< 정상 풍속 범위의 110%

[0064] 이고,

[0065] 오늘 타입 = 이력일 타입이고, 풍속 이력< 정상 범위

[0066] 이면,

[0067] 에너지 스토리지 게이트를 방출 모드로 함.

[0068] 4*. IF: 전송 라인 데이터에서 고장상황이 검출 (*고장 해결을 위한 것)

[0069] 되면,

[0070] 에너지 스토리지 게이트를 방출 모드로 함.

[0071] 도 3에, 전력 제어 인터페이스에서의 "완충기"로서 사용된 에너지 스토리지 회로의 간략화된 예가 도시되어 있다. 에너지 스토리지 회로는 제어 시스템으로부터 수신된 제어 신호에 응답하여 전자 보상 모듈로부터의 신호들에 의해 제어된 복동식 게이트들과 같이 동작하는 충전 및 방전 제어기들로부터의 신호들에 의해 제어된다. 도시된 에너지 스토리지 회로는 AC 전력을 내부에 저장하고 AC 전력을 외부로 방출할 수 있는 울트라캐패시터 어레이를 포함한다. 인터버들로 동작하는 다수의 보상 싸이리스터 스테이지(여기서 3 스테이지)는 스테이지들에서 초캐패시터들에 전력을 저장하기 위해 사용된다. 싸이리스터는 게이트 구동기 GD에 의해 제어된다. 에너지 스토리지 회로가 충전 제어기로부터의 "충전" 신호를 수신하면, 입력 전력이 입력 LC 회로를 통과하여 저장을 위한 에너지로 상승한다. 보상 싸이리스터의 일 스테이지는 초캐패시터로부터 전력을 방출하기 위해 사용된다. "방전" 신호는 방전 제어기로부터 수신되고, 에너지는 출력 트랜스포머 회로를 통해 출력 싸이리스터에 의해 방출된다. 에너지 스토리지로부터의 전력 방출은 제어 시스템으로부터의 제어 신호가 방출 모드를 규정하는 한 계속된다.

[0072] 이 회로에 포함된 울트라캐패시터들의 수와 용량은 원하는 완충 용량 대 저장 비용의 거래에 기초하여 결정된다. 에너지 스토리지의 충전 레벨이 그 총 용량에 도달하면, 충전 제어기는 초과 전력을 다시 주 전력 출력 노드로 수송한다(에너지 스토리지가 다 채워짐). 시스템에 어떤 변형을 야기시키지 않고 전력 저장 및 방출에의 평탄한 전환이 이루어지도록 하는 에너지 스토리지 회로 컴포넌트가 선택된다. 대안적인 에너지 스토리지 회로로서, AC 풍력 발전 기지 출력이 ac/dc 인버터에 의해 직류 전류(DC)로 변환될 수 있고, 에너지 스토리지는 DC 캐패시터 또는 배터리 스토리지 유닛의 어레이에 의해 제공된다.

[0073] 본 발명의 전력 제어 인터페이스의 완충 기능은 초과 전력 발생 기간 동안에는 풍력 발전 기지 출력을 저장할 수 있게 하고, 전압 발생이 감소하는 기간 동안에는 AC 전송 라인으로 주입된 전력을 보충하기 위해 방출할 수 있게 한다. 풍력 발전 기지 출력(풍속 및 바람 상태)은 짧은 기간 동안에 걸쳐 상당히 변할 수 있기 때문에, 전력 제어 인터페이스는 짧은 기간 변동을 무시하고 에너지 저장 또는 에너지 방출 모드를 유지하기 위한 전력 출력 예측 기능을 사용한다. 전형적인 풍력 발전 기지의 전력 출력의 높은 변화의 예가 도 4에 도시되어 있다(초 단위의 시간눈금, 3600 초는 1시간과 동일함).

[0074] 전자 완충기는 또한 풍력 발전 기지로 하여금 전송 시스템을 보강할 수 있게 하는 데 즉, 전송 시스템 어디에서도 발생하는 전력 문제들에 대항하여 전압 지원을 제공한다. 열적으로 제한된 즉, 안정적이고, 연료에 의해 발화된 전력원 기여를 갖는 비교적 약한 전송 시스템에서, 적절한 전압과 위상각을 유지하는 것은 종종 어려울 수 있다. 정상적인 방향으로의 전력 플로를 보장하는 것은, 주입시 전압을 지원하기 위해 임계점에서의 반응성 전력의 적시 주입에 기초할 수있다. 전자 완충기는 에너지 스토리지에 저장된 에너지를 사용하여 풍력 발전 기지의 상호접속시 전력 출력을 조정할 수 있어, 영역에서 전송 시스템 전압을 지원하는 데 필요되는 더 많은 VAR을 지원하게 된다. 마찬가지로, 상호접속 전송 시스템의 다른 곳에서 전력 혼란이 발생한다면, 전자 완충기는 실제 전력(Watt로 측정된)의 갑작스러운 버스트(short burst)에 빠르게 반응하여 혼란을 감소시키는 데 도움이 될 수 있다.

[0075] 전압 지원을 제공하기 위해, 전력 제어 인터페이스는 상호접속시, 저장된 전력을 전송 라인 내로 주입하기 위해 전류 또는 위상각 오프셋으로 변환하는 선택적인 전력 전자 모듈을 포함할 수 있다. 전력 제어 인터페이스가 전송 시스템의 안정성 요구에 따라 실제의 또는 반응성 전력을 제공할 수 있게 한다. 이러한 능력은, 전력 혼란을 보상하기 위해 적절한 위상각에서의 전류를 전력 라인으로 주입하는 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(IGBT) 기술에 기초한 다중 극 인버터인 "배전 정적 보상기"(D-STATCOM)으로서 전력 산업 분야에서 공지된 것과 유사한 전력 전자 회로에 의해 제공될 수 있다. D-STATCOM 기술은 John Douglas에 의해, EPRI 저널 1996년 5월/6월호에 Vol.21, No.3, 페이지 6-15에 개재되고 전기 전력 조사 위원회(EPRI)에 의해 발행된 "Custom Power: Optimizing Disturbance Services"에 좀 더 상세히 기술되어 있다. 전압 지원 능력은 전송 라인 데이터 신호로부터 얻은 데이터 입력 신호들을 전송 라인에서의 현재의 전압 레벨 및 위상각을 나타내는 D-STATCOM 전력 전자 회로로 발행하는 제어 시스템을 가짐으로써 용이하게 구현될 수 있고, 따라서 D-STATCOM 전력 전자 회로로 하여금 전력 혼란을 보상하기 위해 전송 라인에 주입하기 위해 필요한 오프셋을 발생시킬 수 있게 한다.

[0076] 전자 완충기에 저장된 에너지는 또한 풍력 발진 기지가 전송 시스템에서의 고장을 해결할 수 있게 하는 고장 극복 능력을 제공할 수 있다. 전형적으로는, 전송 시스템에 접지 오류가 발생하면 서지로부터 기계적 시스템을 보호하기 위해 미리 정한 간격(일반적으로 6-36 사이클)으로 전송 라인으로부터 전력 소스 기여자의 접속을 개방한 다음 재폐로(reclose)하기 위한 보호 계전기가 사용된다. 나무 가지가 전력 라인을 건드리는 것과 같은

대부분의 접지 고장은 상기 간격내의 플래시오버에 의해 해결된다. 그러나, 그 기간 동안 계전기 및 재폐로기를 구비한 풍력 발전 기지는 자신의 보호 디바이스에 의해 전송 시스템으로부터 접속해제됨으로써, 소형(아일랜드) 전송 시스템에서의 전력 손실 문제를 잠재적으로 약화시키고 전력 손실을 커스토머들에게 초래한다. 전자 완충기는 에너지 저장 능력을 사용하여 플래시오버 간격을 극복하도록 구성될 수 있다. 이것은 풍력 발전 기지 상호접속시 계전기 및 재폐로기를 구비할 필요성을 배제하고, 대신 전송 시스템에서의 순간 전력 손실을 보상할 수 있게 한다. 고장 해결 능력은 과도 고장 상태가 전송 라인 데이터 신호로부터 검출되면 방출 모드를 위한 제어 신호를 발행하는 제어 시스템을 가짐으로써 구현될 수 있다(표 Ⅱ의 아이템 4* 참조).

[0077] 당업자라면 본 발명의 원리를 설명하는 상기 실시예에 다양한 변경 및 변형이 이루어질 수 있음이 가능함을 알 것이다. 이러한 모든 변경 및 변형은 첨부하는 청구범위에 한정된 바와 같은 발명의 사상 및 범위 내에서 고려된다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명에 따른, 풍력 발전 기지와 같은 불안정한 전력원의 전력 출력과 전력 전송 라인 간의 전력 제어 인터페이스의 바람직한 실시예를 도시하는 시스템 도면.

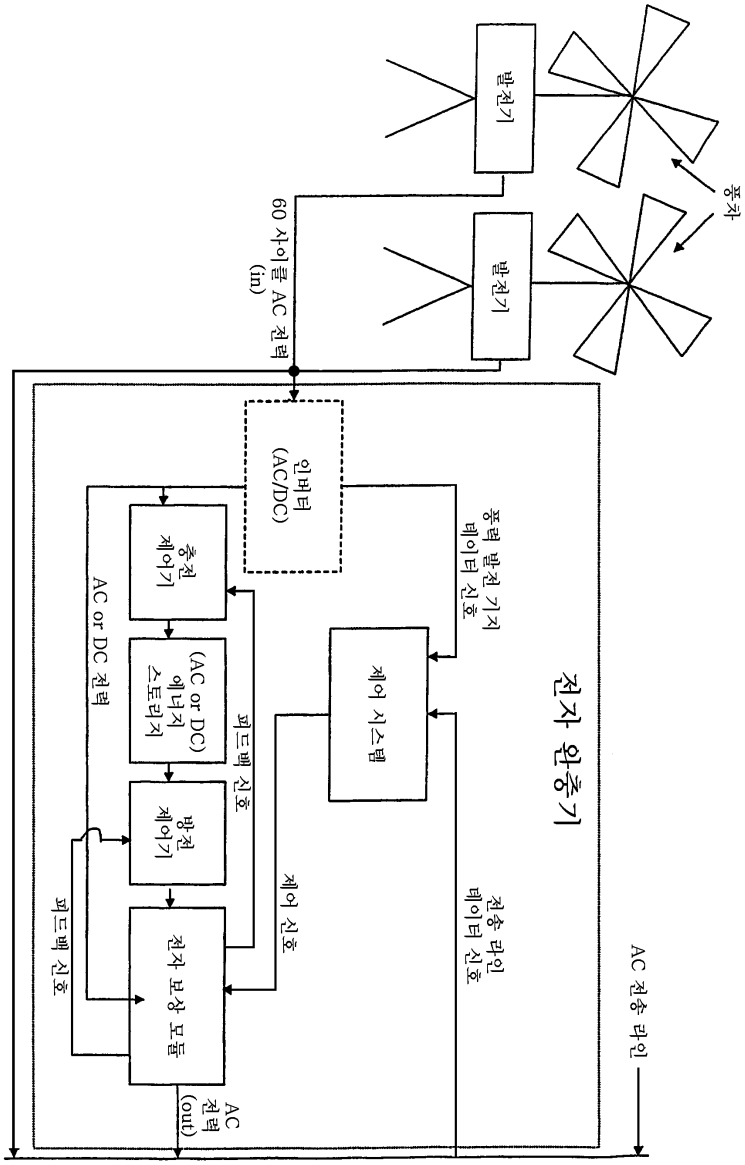
[0017] 도 2는 전력 제어 인터페이스에 대한 제어 시스템의 일 예를 도시하는 블록도.

[0018] 도 3은 전력 제어 인터페이스에 대한 에너지 스토리지 회로의 간략화된 도면.

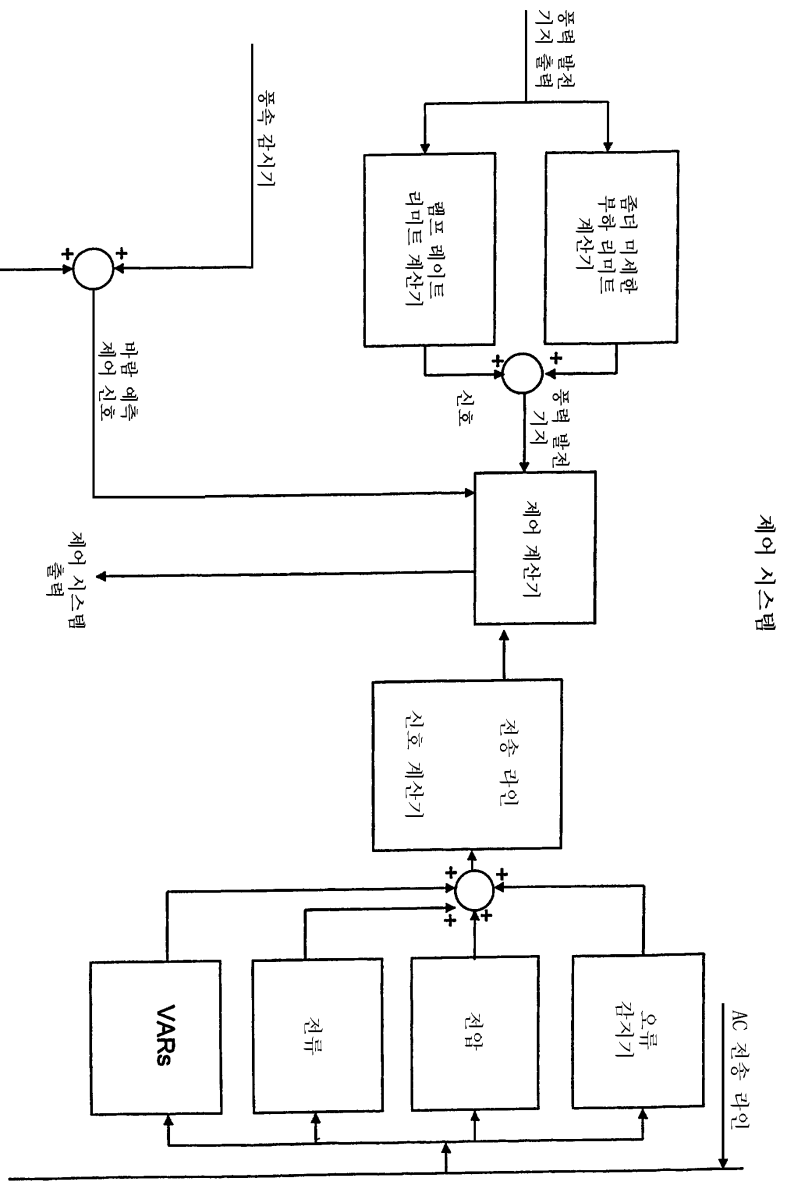
[0019] 도 4는 대용량의 전력 변동에 의해 특징지어지는 전형적인 풍력 발진 기지의 출력을 도시하는 표.

도면

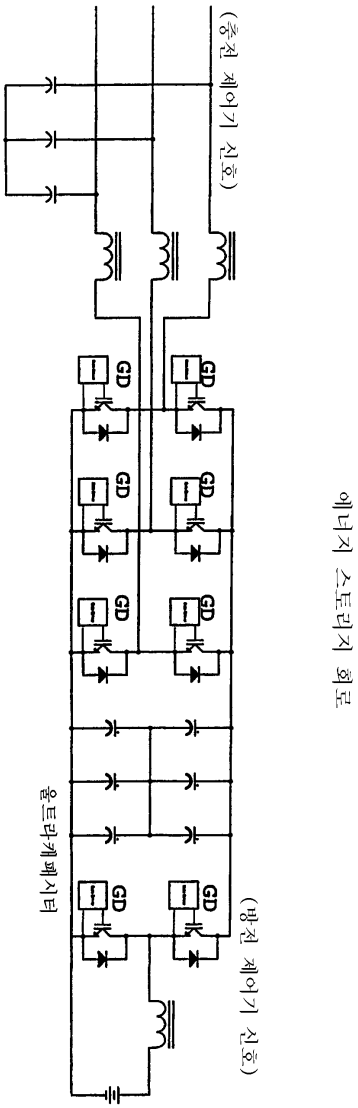
도면1


풍차
발전기
발전기
60 사이클 AC 전력 (in)
전자 완충기
인버터 (AC/DC)
충전 제어기
(AC or DC) 에너지 스토리지
방전 제어기
전자 보상 모듈
AC or DC 전력
피드백 신호
피드백 신호
제어 신호
제어 시스템
풍력 발전 기지 데이터 신호
전송 라인 데이터 신호
AC 전송 라인
AC 전력 (out)

도면2

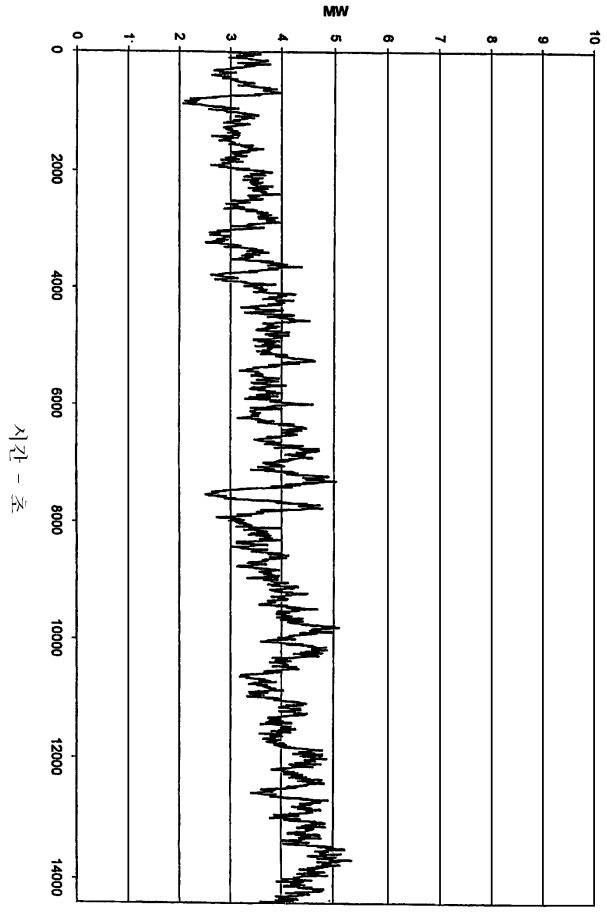

풍력 발전기지 출력
이력 바람 프로파일 데이터
풍속 감시기
쥬티 미세한 부하 리미트 계산기
램프 레이트 리미트 계산기
바람 예측 제어 신호
신호
풍력 발전기지
제어 계산기
제어 시스템 출력
제어 시스템
전송 라인 신호 계산기
VARs
전류
전압
오류 감지기
AC 전송 라인

도면3



에너지 스토리지 회로

도면4


전형적인 풍력 발전 기지의 출력
Kamaoa Wind Farm 12:00 to 16:00, 02-18-2003
MW
시간 - 초
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000