



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2012-0024983  
(43) 공개일자 2012년03월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02P 9/00 (2006.01) H02P 9/04 (2006.01)  
F03D 9/00 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2012-7001425  
(22) 출원일자(국제) 2011년01월13일  
심사청구일자 2012년01월18일  
(85) 번역문제출일자 2012년01월18일  
(86) 국제출원번호 PCT/JP2011/050478  
(87) 국제공개번호 WO 2011/087067  
국제공개일자 2011년07월21일  
(30) 우선권주장  
JP-P-2010-008177 2010년01월18일 일본(JP)

(71) 출원인  
미츠비시 슈고교 가부시키키가이샤  
일본 도쿄도 미나토꾸 고난 2쵸메 16방 5고  
(72) 발명자  
와카사 쥬요시  
일본 1088215 도쿄도 미나토꾸 고난 2쵸메 16방 5고 미츠비시 슈고교 가부시키키가이샤 내  
야스기 아끼라  
일본 1088215 도쿄도 미나토꾸 고난 2쵸메 16방 5고 미츠비시 슈고교 가부시키키가이샤 내  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
성재동, 장수길

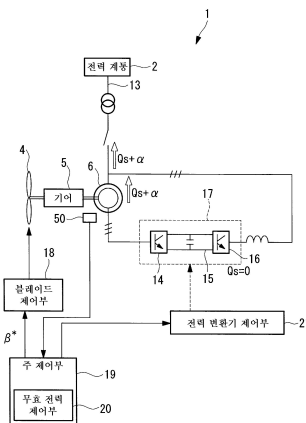
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **가변속 발전 장치 및 그 제어 방법**

**(57) 요약**

전력 계통측으로부터의 무효 전력의 공급 지령에 따른 무효 전력을 공급하면서, 권선형 유도 발전기의 가변속 범위를 확보한다. 자연 에너지를 이용하여 동력을 발생하는 원동기와, 전력 계통(2)에 접속된 1차 권선을 구비하는 스테이터 및 2차 권선을 구비하는 로터를 갖고, 원동기로부터 발생한 동력에 기초하여 발전하는 발전기(6)와, 스테이터측과 로터측에 접속되는 전력 변환기(17)를 구비하는 가변속 발전 장치(1)이며, 전력 변환기(17)는 전력 계통(2)측에 무효 전력을 공급하지 않고, 전력 계통(2)측으로부터, 전력 계통(2)측에 무효 전력을 공급시키는 무효 전력 공급 지령을 취득한 경우에, 발전기(6)를 동기 속도 이상으로 설정된 회전수로 운전시켜, 전력 계통(2)측에 공급하는 무효 전력을 증대시키는 전력 변환기 제어부(21)를 구비한다.

**대표도** - 도1



(72) 발명자

**마쯔시마 다카또시**

일본 1088215 도쿄도 미나토꾸 고난 2쵸메 16반 5  
고 미즈비시 쥬고교 가부시키키가이샤 내

**나카 다케히로**

일본 1088215 도쿄도 미나토꾸 고난 2쵸메 16반 5  
고 미즈비시 쥬고교 가부시키키가이샤 내

**나카시마 다쿠미**

일본 1088215 도쿄도 미나토꾸 고난 2쵸메 16반 5  
고 미즈비시 쥬고교 가부시키키가이샤 내

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

자연 에너지를 이용하여 동력을 발생하는 원동기와, 전력 계통에 접속된 1차 권선을 구비하는 스테이터 및 2차 권선을 구비하는 로터를 갖고, 상기 원동기로부터 발생한 동력에 기초하여 발전하는 권선형 유도 발전기와, 상기 스테이터측과 상기 로터측에 접속되는 전력 변환기를 구비하는 가변속 발전 장치이며,

상기 전력 변환기는, 상기 전력 계통측에 무효 전력을 공급하지 않고,

상기 전력 계통측으로부터, 상기 전력 계통측에 무효 전력을 공급시키는 무효 전력 공급 지령을 취득한 경우에, 상기 권선형 유도 발전기를 동기 속도 이상으로 설정된 회전수로 운전시켜, 상기 전력 계통측에 공급하는 무효 전력을 증대시키는 제어부를 구비하는, 가변속 발전 장치.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 정격 회전수로 운전되는 통상 운전 모드와, 상기 정격 회전수보다도 큰 회전수로 운전되고, 상기 권선형 유도 발전기로부터 상기 전력 계통측에 무효 전력을 공급하는 무효 전력 우선 운전 모드를 갖고,

상기 제어부는, 상기 전력 계통측으로부터 무효 전력 공급 지령을 취득한 경우에, 상기 통상 운전 모드로부터 상기 무효 전력 우선 운전 모드로 전환하는, 가변속 발전 장치.

### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 제어부는,

자연 에너지를 받아 동력을 발생시키는 상기 원동기의 날개의 피치각을 제어하여, 상기 정격 회전수보다도 큰 회전수의 회전 속도로 상기 권선형 유도 발전기를 운전시키는, 가변속 발전 장치.

### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제어부는, 상기 권선형 유도 발전기의 유효 전력을 제어하여, 상기 정격 회전수보다도 큰 회전수의 회전 속도로 상기 권선형 유도 발전기를 운전시키는, 가변속 발전 장치.

### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 권선형 유도 발전기의 온도를 소정 범위 내로 하는 냉각부를 구비하는, 가변속 발전 장치.

### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제어부는, 시간대에 따라서, 상기 전력 계통측에 공급 가능한 무효 전력 및/또는 유효 전력을 제어하는, 가변속 발전 장치.

### 청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원동기는, 풍력을 이용하여 동력을 발생하는 풍력 발전 장치로 되어 있는, 가변속 발전 장치.

### 청구항 8

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원동기는, 수력을 이용하여 동력을 발생하는 수력 발전 장치로 되어 있는, 가변속 발전 장치.

### 청구항 9

자연 에너지를 이용하여 동력을 발생하는 원동기와, 전력 계통에 접속된 1차 권선을 구비하는 스테이터 및 2차 권선을 구비하는 로터를 갖고, 상기 원동기로부터 발생한 동력에 기초하여 발전하는 권선형 유도 발전기와, 상

기 스테이터측과 상기 로터측에 접속되는 전력 변환기를 구비하는 가변속 발전 장치의 제어 방법이며,  
 상기 전력 변환기로부터 상기 전력 계통측에 무효 전력을 공급시키지 않고,  
 상기 전력 계통측으로부터, 상기 전력 계통측에 무효 전력을 공급시키는 무효 전력 공급 지령을 취득한 경우에,  
 상기 권선형 유도 발전기를 동기 속도 이상으로 설정된 회전수로 운전시켜, 상기 전력 계통측에 공급하는 무효 전력을 증대시키는, 가변속 발전 장치의 제어 방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은, 가변속 발전 장치 및 그 제어 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 최근, 예를 들어 풍력 발전 장치의 도입량은 해마다 증가하여, 기존의 전력 계통에 미치는 영향이 현저해지고 있다. 이로 인해, 유럽과 미국을 중심으로 하여 전력 계통에 연계하기 위한 기술 요건이 정비되고, 풍력 발전 장치[윈드팜(wind farm)]에 대해, 전력 계통의 안정화에 기여하도록 유효 전력 및 무효 전력을 제어하는 능력을 구비하는 것이 요구되고 있다.

[0003] 특허 문헌 1에서는, 발전기 및 발전기에 부속되는 전력 계통측의 전력 변환기 및 다른 조상(調相) 설비 등을 조합하여 조정함으로써, 무효 전력의 조정폭을 확대하는 기술이 개시되어 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0004] (특허문헌 0001) 미국 특허 출원 공개 제2005/0040655호 명세서

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0005] 그런데, 메가와트급 풍력 발전 장치에서는, 가변속도 운전하는 가변속 풍차가 주류로 되어 있다. 또한, 가변속도 운전의 방식은, 예를 들어 권선형 유도 발전기와 전력 변환기를 구비하는 Double Fed(DFIG : Double Fed Induction Generator, 2차 여자 제어) 방식이 주류로 되어 있다. Double Fed 방식은, 권선형 유도 발전기의 회전자(로터)측에 접속된 전력 변환기에 의해, 발전기 회전자의 전류(전압)를 제어함으로써, 권선형 유도 발전기의 무효 전력과 유효 전력을 제어한다. 이 경우, 공급할 수 있는 피상 전력(즉, 무효 전력 및 유효 전력의 벡터 합)은 권선형 유도 발전기의 회전 속도에 따라서 제한되어 있다. 환언하면, 전력 변환기로부터 공급시키는 무효 전력을 증대시키면 유효 전력이 저감되고, 공급시키는 유효 전력을 증대시키면 무효 전력이 저감되는 관계로 되어 있다.

[0006] 그러나 Double Fed 방식의 가변속 풍차의 가변속도 범위는, 풍력 발전 장치가 전력 계통측에 공급하는 유효 전력량으로 결정되므로, 예를 들어 전력 계통측으로부터의 무효 전력의 요구에 따라서 전력 변환기로부터 공급시키는 무효 전력을 증대시키면, 전력 변환기로부터 공급하는 유효 전력이 저감되게 되어, 결과적으로 무효 전력을 공급할 수 있었다고 해도 가변속도 범위를 충분히 확보할 수 없게 된다고 하는 문제가 있었다.

[0007] 또한, 상기 특허 문헌 1과 같이, 전력 계통측으로부터의 무효 전력의 요구에 따라서, 전력 계통측의 전력 변환기에 의해 무효 전력을 공급시키는 경우에는, 조정할 수 있는 무효 전력이 작기 때문에, 충분한 무효 전력을 공급할 수 없다고 하는 문제가 있었다.

[0008] 본 발명은 이러한 사정에 비추어 이루어진 것이며, 전력 계통측으로부터의 무효 전력의 공급 지령에 따른 무효 전력을 공급하면서, 권선형 유도 발전기의 가변속 범위를 확보할 수 있는 가변속 발전 장치 및 그 제어 방법을 제공한다.

**과제의 해결 수단**

- [0009] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 이하의 수단을 채용한다.
- [0010] 본 발명의 제1 형태는, 자연 에너지를 이용하여 동력을 발생하는 원동기와, 전력 계통에 접속된 1차 권선을 구비하는 스테이터 및 2차 권선을 구비하는 로터를 갖고, 상기 원동기로부터 발생한 동력에 기초하여 발전하는 권선형 유도 발전기와, 상기 스테이터측과 상기 로터측에 접속되는 전력 변환기를 구비하는 가변속 발전 장치이며, 상기 전력 변환기는, 상기 전력 계통측에 무효 전력을 공급하지 않고, 상기 전력 계통측으로부터, 상기 전력 계통측에 무효 전력을 공급시키는 무효 전력 공급 지령을 취득한 경우에, 상기 권선형 유도 발전기를 동기 속도 이상으로 설정된 회전수로 운전시켜, 상기 전력 계통측에 공급하는 무효 전력을 증대시키는 제어부를 구비하는 가변속 발전 장치이다.
- [0011] 이 구성에 따르면, 전력 계통측으로부터 무효 전력의 공급 지령이 있었던 경우에, 전력 변환기로부터는 무효 전력을 공급하지 않고, 권선형 유도 발전기를 정격 회전수보다도 크게 설정된 회전수로 운전시킴으로써 권선형 유도 발전기로부터 무효 전력을 공급시킨다.
- [0012] 가변속 발전 장치는, 전력 변환기와 권선형 유도 발전기의 로터 사이에 있어서 융통할 수 있는 유효 전력이 커질수록, 권선형 유도 발전기의 회전 속도를 가변으로 하는 범위를 확대한다. 한편, 전력 변환기로부터 전력 계통측에 공급시키는 무효 전력을 증가시키면, 공급 가능한 유효 전력은 저감되게 된다. 따라서, 본 발명과 같이, 전력 계통측으로부터의 무효 전력 공급 지령이 있었던 경우에, 전력 변환기로부터 전력 계통측에 무효 전력을 공급하지 않음으로써, 전력 변환기로부터 공급하는 유효 전력이 저감되는 일이 없으므로, 전력 변환기로부터 무효 전력을 공급하는 경우와 비교하여, 권선형 유도 발전기의 가변속 범위를 저감시키지 않는다.
- [0013] 또한, 권선형 유도 발전기의 회전 속도는, 동기 속도보다 커지면, 전력 계통측에 공급할 수 있는 유효 전력과 무효 전력의 벡터 합이 동기 속도의 경우의 그것보다 커지고, 동기 속도보다 작아지면, 유효 전력과 무효 전력의 총합이 동기 속도의 경우의 그것보다 작아진다. 따라서, 권선형 유도 발전기가, 동기 속도 이상으로 설정된 정격 회전수보다도 큰 회전수로 운전됨으로써, 동기 속도 및 정격 회전수로 운전되는 경우와 비교하여, 전력 계통측에 공급할 수 있는 무효 전력을 증가시킬 수 있다. 유도 발전기를 동기 회전수보다 큰 회전수로 운전시킨다고 하는 것은, 유도 발전기의 슬립이 부(負)의 방향으로 커지도록 제어되는 것을 의미한다.
- [0014] 상기 본 발명의 제1 형태에 관한 가변속 발전 장치는, 상기 정격 회전수로 운전되는 통상 운전 모드와, 상기 정격 회전수보다도 큰 회전수로 운전되고, 상기 권선형 유도 발전기로부터 상기 전력 계통측에 무효 전력을 공급하는 무효 전력 우선 운전 모드를 갖고, 상기 제어부는, 상기 전력 계통측으로부터 무효 전력 공급 지령을 취득한 경우에, 상기 통상 운전 모드로부터 상기 무효 전력 우선 운전 모드로 전환하는 구성으로 해도 된다.
- [0015] 이 구성에 따르면, 통상 운전 모드와 무효 전력 우선 운전 모드를 전환할 수 있도록 되어 있으므로, 무효 전력 공급 지령에 기초하여, 간편하게 전력 계통측에 무효 전력을 공급시킬 수 있다.
- [0016] 상기 본 발명의 제1 형태에 관한 가변속 발전 장치의 상기 제어부는, 자연 에너지를 받아 동력을 발생시키는 상기 원동기의 날개의 피치각을 제어하여, 상기 정격 회전수보다도 큰 회전수의 회전 속도로 상기 권선형 유도 발전기를 운전시키는 구성으로 해도 된다.
- [0017] 원동기의 날개의 피치각을 제어하여, 권선형 유도 발전기의 회전 속도를 정격 회전수보다도 크게 한다. 예를 들어, 원동기가 풍차인 경우에, 날개의 피치각을 파인측으로 제어함으로써, 약한 바람일 때라도 풍차를 회전시켜, 권선형 유도 발전기의 회전수를 높게 할 수 있다.
- [0018] 상기 본 발명의 제1 형태에 관한 가변속 발전 장치의 상기 제어부는, 상기 권선형 유도 발전기의 유효 전력을 제어하여, 상기 정격 회전수보다도 큰 회전수의 회전 속도로 상기 권선형 유도 발전기를 운전시키는 구성으로 해도 된다.
- [0019] 이 구성에 따르면, 날개의 피치각을 제어하지 않아도, 권선형 유도 발전기에 공급하는 유효 전력을 저감시킴으로써 부하를 저감시켜, 권선형 유도 발전기로부터 공급시키는 무효 전력을 증가시킬 수 있다
- [0020] 상기 본 발명의 제1 형태에 관한 가변속 발전 장치는, 상기 권선형 유도 발전기의 온도를 소정 범위 내로 하는 냉각부를 구비하는 구성으로 해도 된다.
- [0021] 이 구성에 따르면, 권선형 유도 발전기의 온도가 소정 범위 내로 되도록 냉각시킴으로써, 권선형 유도 발전기의 발전기 권선의 발열을 억제할 수 있다. 이에 의해, 권선형 유도 발전기의 권선의 온도가 상승함으로써, 전력

계통측에 공급할 수 있는 피상 전력의 저감을 억제할 수 있다. 냉각부라 함은, 예를 들어 냉각용 팬 및 냉각 매체(예를 들어, 공기) 등이다.

- [0022] 상기 본 발명의 제1 형태에 관한 가변속 발전 장치의 상기 제어부는, 시간대에 따라서, 상기 전력 계통측에 공급하는 무효 전력 및/또는 유효 전력을 제어하는 구성으로 해도 된다.
- [0023] 이 구성에 따르면, 시간대에 따라서 전력 계통측에 융통하는 무효 전력의 공급량을 증가 또는 저감시킨다. 예를 들어, 여름철이나 주간 등과 비교하여, 겨울철이나 야간 등과 같이 외기온이 비교적 낮은 경우에는, 공급시키는 무효 전력을 증가시키고, 겨울철이나 야간 등과 비교하여 여름철이나 주간 등과 같이 외기온이 비교적 높은 경우에는, 공급시키는 무효 전력을 저감시킨다. 이와 같이, 환경에 따라서 무효 전력의 공급 가능 범위를 증감시킬 수 있다.
- [0024] 상기 본 발명의 제1 형태에 관한 가변속 발전 장치는, 풍력을 이용하여 동력을 발생하는 상기 원동기를 구비하는 풍력 발전 장치로 되어 있어도 된다.
- [0025] 상기 본 발명의 제1 형태에 관한 가변속 발전 장치는, 수력을 이용하여 동력을 발생하는 상기 원동기를 구비하는 수력 발전 장치로 되어 있어도 된다.
- [0026] 본 발명의 제2 형태는, 자연 에너지를 이용하여 동력을 발생하는 원동기와, 전력 계통에 접속된 1차 권선을 구비하는 스테이터 및 2차 권선을 구비하는 로터를 갖고, 상기 원동기로부터 발생한 동력에 기초하여 발전하는 권선형 유도 발전기와, 상기 스테이터측과 상기 로터측에 접속되는 전력 변환기를 구비하는 가변속 발전 장치의 제어 방법이며, 상기 전력 변환기로부터 상기 전력 계통측에 무효 전력을 공급시키지 않고, 상기 전력 계통측으로부터, 상기 전력 계통측에 무효 전력을 공급시키는 무효 전력 공급 지령을 취득한 경우에, 상기 권선형 유도 발전기를 동기 속도 이상으로 설정된 회전수로 운전시켜, 상기 전력 계통측에 무효 전력을 공급시키는 가변속 발전 장치의 제어 방법이다.

**발명의 효과**

- [0027] 본 발명에 따르면, 전력 계통측으로부터의 무효 전력의 공급 지령에 따른 무효 전력을 공급하면서, 권선형 유도 발전기의 가변속 범위를 확보할 수 있다고 하는 효과를 발휘한다.

**도면의 간단한 설명**

- [0028] 도 1은 본 발명의 제1 실시 형태에 관한 풍력 발전 장치의 개략 구성을 도시하는 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 제1 실시 형태에 관한 무효 전력 제어부의 기능 블록도이다.
- 도 3은 초(超)동기 속도인 경우의 유효 전력과 무효 전력의 출력량을 나타내는 도면이다.
- 도 4는 동기 속도인 경우의 유효 전력과 무효 전력의 출력량을 나타내는 도면이다.
- 도 5는 차(次)동기 속도인 경우의 유효 전력과 무효 전력의 출력량을 나타내는 도면이다.
- 도 6은 통상 운전 모드인 경우의 회전수의 전환을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 제2 실시 형태에 관한 풍력 발전 장치의 개략 구성을 도시하는 블록도이다.
- 도 8은 본 발명의 제2 실시 형태에 관한 무효 전력 제어부의 기능 블록도이다.
- 도 9는 통상 운전 모드인 경우의 유효 전력의 설정에 대해 설명하기 위한 도면이다.
- 도 10은 본 발명의 제4 실시 형태에 관한 풍력 발전 장치에 있어서, 시간대에 따라서 제한 곡선을 규정한 일레의 도면이다.
- 도 11은 복수의 제약 곡선의 일례를 나타낸 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0029] 이하에, 본 발명에 관한 가변속 발전 장치 및 그 제어 방법 및 제어 프로그램의 일 실시 형태에 대해, 도면을 참조하여 설명한다.
- [0030] [제1 실시 형태]

- [0031] 이하, 본 발명의 제1 실시 형태에 대해, 도 1을 사용하여 설명한다.
- [0032] 또한, 본 실시 형태에 있어서의 가변속 발전 장치는, Double Fed 방식에 의해 가변속도 운전되는 풍력 발전 장치인 것으로 하여 설명한다. 또한, Double Fed 방식은, 「초동기 셀비우스 방식」 또는 「2차 여자 방식」이라고 불리는 경우도 있다.
- [0033] 도 1은, 풍력 발전 장치(1)에 구비된 발전기(권선형 유도 발전기)(6) 및 그 주변의 구성의 일례를 도시하는 블록도이다.
- [0034] 도 1에 도시되는 바와 같이, 풍력 발전 장치(1)는, 풍차 블레이드(4), 기어(5), 발전기(6), 전력 변환기(17), 전력 변환기 제어부(21), 블레이드 제어부(18) 및 주 제어부(19)를 구비하고 있다. 또한, 발전기(6)는 전력 계통(2)과 접속되어 있다. 또한, 발전기(6)의 로터는, 기어(5)를 통해 풍차 로터(도시 생략)에 접합되어 있다. 발전기(6)의 주변에는, 발전기(6)의 로터 속도를 검출하기 위한 로터 속도 검출부(50)가 설치되어 있다. 로터 속도 검출부(50)에 의해 검출된 로터 속도는, 후술하는 주 제어부에 출력되도록 되어 있다.
- [0035] 본 실시 형태에 있어서, 발전기(6)는, 발전기(6)가 발생하는 전력이 스테이터 권선(스테이터) 및 로터 권선(로터)의 양쪽으로부터 전력 계통(2)에 출력할 수 있도록 구성되어 있다. 구체적으로는, 발전기(6)는, 그 스테이터 권선이 전력 계통(2)에 접속되고, 로터 권선이 전력 변환기(17)를 통해 전력 계통(2)에 접속되어 있다.
- [0036] 전력 변환기(17)는, 컨버터(14), DC 버스(15) 및 인버터(16)를 구비하고 있고, 로터 권선으로부터 수취한 교류 전력을 전력 계통(2)의 주파수에 적합한 교류 전력으로 변환한다. 컨버터(14)는, 로터 권선에 발생한 교류 전력을 직류 전력으로 변환하고, 그 직류 전력을 DC 버스(15)에 출력한다. 인버터(16)는, DC 버스(15)로부터 수취한 직류 전력을 전력 계통(2)과 동일한 주파수의 교류 전력으로 변환하고, 그 교류 전력을 출력한다.
- [0037] 전력 변환기(17)는, 전력 계통(2)으로부터 수취한 교류 전력을 로터 권선의 주파수에 적합한 교류 전력으로 변환하는 기능도 갖고 있다. 이 경우, 인버터(16)는, 교류 전력을 직류 전력으로 변환하고, 그 직류 전력을 DC 버스(15)에 출력한다. 컨버터(14)는, DC 버스(15)로부터 수취한 직류 전력을 로터 권선의 주파수에 적합한 교류 전력으로 변환하고, 그 교류 전력을 발전기(6)의 로터 권선에 공급한다.
- [0038] 주 제어부(19)는, 무효 전력 제어부(20)를 구비하고 있다. 무효 전력 제어부(20)는, 발전기(6)의 회전수에 기초하여, 풍차 블레이드(4)의 피치각 지령  $\beta^*$ 를 결정하고, 블레이드 제어부(18)에 출력한다. 또한, 무효 전력 제어부(20)는, 전력 변환기(17)로부터 출력되는 무효 전력을 제로로 하도록 무효 전력 지령값을 전력 변환기 제어부(21)에 출력한다.
- [0039] 구체적으로는, 무효 전력 제어부(20)는, 도 2에 도시되는 바와 같이, 회전수 지령 출력부(201) 및 지령값 결정부(202)를 구비하고 있다.
- [0040] 회전수 지령 출력부(201)는, 전력 계통(2)측으로부터 취득하는 무효 전력 공급 지령에 기초하여, 운전 모드에 대응하는 발전기(6)의 회전수 지령을 지령값 결정부(202)에 출력한다. 구체적으로는, 풍력 발전 장치(1)는, 발전기(6)가 동기 속도 이상으로 설정된 정격 회전수(예를 들어, 동기 회전수의 10 내지 20% 증가)로 운전되는 통상 운전 모드와, 정격 회전수보다도 큰(높은) 회전수(이하 「무효 전력 우선 회전수」라 함)로 운전되고, 발전기(6)로부터 전력 계통(2)측에 무효 전력을 공급하는 무효 전력 우선 운전 모드를 갖고 있다.
- [0041] 회전수 지령 출력부(201)는, 통상 운전 모드로 운전시키는 경우에는, 통상 운전용 발전기(6)의 회전수 지령(정격 회전수)을 회전수 지령으로 하여 출력한다. 한편, 회전수 지령 출력부(201)는, 전력 계통(2)측으로부터 무효 전력 공급 지령을 취득하고, 무효 전력 우선 운전 모드로 운전시키는 경우에는, 무효 전력 우선 회전수를 회전수 지령으로 하여 출력한다. 또한, 무효 전력 우선 회전수는, 발전기(6)에 따라서 규정되는 허용 회전수 이내의 회전수이다.
- [0042] 여기서, 무효 전력 우선 운전 모드로 하는 경우에, 발전기(6)의 회전수를 정격 회전수보다도 높게 설정하는 근거에 대해 설명한다.
- [0043] 도 3 내지 도 5는, 횡축에 출력 가능한 유효 전력, 종축에 출력 가능한 무효 전력을 발전기(6)의 회전 속도마다 나타내고 있다. 도 3은 초동기 속도인 경우, 도 4는 동기 속도인 경우, 도 5는 차동기 속도인 경우의 각각에 있어서, 무효 전력량과 유효 전력량의 관계를 나타내는 제약 곡선의 일례를 나타내고 있다. 도 3 내지 도 5에 있어서, 실선은 로터 권선에 흐르는 전류 제한값(회전자 전류 제한), 1점 쇄선은 스테이터 권선에 흐르는 전류 제한값(고정자 전류 제한), 점선은 로터의 전압 제한값(회전자 전압 제한)이고, 전류 제한은 열적 제약, 전압

제한은 절연 내력에 의해 정해진다. 이들 각 곡선으로 둘러싸인 사선 부분이, 무효 전력 및 유효 전력을 출력할 수 있는 범위를 나타내고 있다.

- [0044] 발전기(6)는, 가변속의 유도 발전기이므로 회전수가 변화되지만, 일반적으로는 이것을 슬립이라 불리는 상대 속도로 나타낸다. 식으로 나타내면 이하와 같이 된다. 여기서,  $s$ 는 슬립,  $N_s$ 는 동기 속도,  $N$ 은 발전기(6)의 회전수로 한다.
- [0045]  $s = (N_s - N) / N_s$
- [0046] 슬립이 정(正)인 경우는 회전수가 동기 속도보다 낮은 상태(차동기 운전, sub-synchronous)이고, 부인 경우는 회전수가 동기 속도보다 높은 상태(초동기 운전, super-synchronous)이다.
- [0047] 이들 도 3 내지 도 5에 나타내어지는 바와 같이, 초동기 운전에서 슬립이 커지면 사선 부분의 영역이 커져, 즉, 무효 전력과 유효 전력을 출력하는 양이 많아지는 것을 알 수 있었다. 이것으로부터, 본 실시 형태에 있어서는, 동기 속도보다도 큰 회전수로 함으로써, 동기 속도인 경우보다도 많은 무효 전력을 공급할 수 있는 것에 착안하여, 회전수를 결정하는 것으로 하였다. 본 실시 형태에 있어서는, 통상 운전 모드에 있어서의 정격 회전수를 동기 속도보다 10% 내지 20% 증가로 하고 있으므로, 무효 전력 우선 운전 모드인 경우의 회전수는, 동기 속도 이상으로 설정된 정격 회전수(통상 운전 모드의 회전수)보다도 더욱 큰 회전수로 하고 있다.
- [0048] 지령값 결정부(202)는, 로터 속도 검출부(50)로부터 검출된 발전기(6)의 회전수와, 회전수 지령 출력부(201)로부터 출력된 회전수 지령에 기초하여, 풍차 블레이드(4)의 피치각의 지령값  $\beta^*$ 를 결정하여, 블레이드 제어부(18)에 출력한다. 구체적으로는, 지령값 결정부(202)는, 회전수 지령과 로터 속도 검출부(50)로부터 검출된 회전수의 차에 기초하여, 풍차 블레이드(4)의 피치각의 목표값을 결정하고, 피치각의 급격한 변동을 억제하는 레이트 리미터에 의해 피치각의 지령값  $\beta^*$ 를 결정한다. 또한, 피치각의 지령값  $\beta^*$ 는, 보다 페더(Feather)측으로 풍차 블레이드(4)를 제어하는 지령값이다.
- [0049] 이와 같이, 통상 운전 모드로부터 무효 전력 우선 운전 모드로 전환하여, 풍차 블레이드(4)의 피치각을 페더측으로 제어함으로써, 발전기(6)의 회전수를 통상 운전 모드의 회전 속도보다 높게 한다.
- [0050] 전력 변환기 제어부(21)는, 무효 전력 제어부(20)로부터 취득한 무효 전력 지령값 「무효 전력  $Q_s=0$  [Var]」에 기초하여 PWM(Pulse Width Modulation : 펄스폭 변조) 신호를 생성하고, 이 PWM 신호를 컨버터(14) 및 인버터(16)에 각각 부여한다. 이에 의해, 전력 변환기(17)로부터 공급되는 무효 전력은 제로로 된다.
- [0051] 블레이드 제어부(18)는, 주 제어부(19)의 무효 전력 제어부(20)로부터 취득한 피치각 지령값  $\beta^*$ 에 실제의 피치각  $\beta$ 가 일치하도록, 풍차 블레이드(4)의 피치각을 제어한다.
- [0052] 다음에, 본 실시 형태에 관한 풍력 발전 장치(1)의 작용에 대해 설명한다.
- [0053] 풍력 발전 장치(1)의 로터 속도가, 소정의 시간 간격으로 로터 속도 검출부(50)에 의해 검출되고, 이 검출값이 주 제어부(19)의 무효 전력 제어부(20)에 부여된다. 전력 계통(2)측으로부터의 무효 전력 공급 지령이, 무효 전력 제어부(20)에 입력되면, 운전 모드가 통상 운전 모드로부터 무효 전력 우선 운전 모드로 전환된다. 무효 전력 우선 운전 모드로 전환되면, 회전수 지령으로서 무효 전력 우선 회전수가, 회전수 지령 출력부(201)로부터 지령값 결정부(202)에 출력된다. 지령값 결정부(202)에 있어서, 로터 속도 검출부(50)로부터 취득한 발전기(6)의 회전수의 실측값과 무효 전력 우선 회전수가 비교되고, 풍차 블레이드(4)를 페더측으로 제어하기 위해 피치각의 지령값  $\beta^*$ 가 결정되어, 블레이드 제어부(18)에 출력된다.
- [0054] 블레이드 제어부(18)에 있어서, 전력 계통(2)측의 무효 전력 공급 지령에 대응하는 피치각 지령값  $\beta^*$ 에 실제 피치각  $\beta$ 가 일치하도록 풍차 블레이드(4)의 피치각이 제어된다.
- [0055] 또한, 주 제어부(19)로부터 전력 변환기 제어부(21)에 대해, 무효 전력 지령값으로서 무효 전력  $Q_s=0$ 으로 하는 취지가 통지된다. 전력 변환기 제어부(21)는, 무효 전력 지령값 「무효 전력  $Q_s=0$  [Var]」에 기초하여, PWM 신호에 의해 전력 변환기(17)를 제어한다.
- [0056] 그리고 전력 계통(2)측으로부터 통상 운전 모드로 전환하는 지령을 취득할 때까지, 무효 전력 우선 운전 모드로 풍력 발전 장치(1)가 운전된다.
- [0057] 이에 의해, 전력 변환기(17)로부터 무효 전력을 공급하지 않고, 또한 발전기(6)가, 통상 운전 모드인 경우보다



도 높은 회전수로 운전됨으로써, 통상 운전 모드인 경우보다, 발전기(6)로부터 전력 계통(2)측에, 무효 전력 공급 지령에 따른 무효 전력  $Q_s + \alpha$ 를 공급한다.

[0058] 이상 설명해 온 바와 같이, 본 실시 형태에 관한 가변속 발전 장치 및 그 제어 방법 및 제어 프로그램에 따르면, 전력 계통(2)측으로부터 무효 전력 공급 지령이 있었던 경우에, 전력 변환기(17)로부터는 무효 전력을 공급하지 않고, 발전기(6)를 정격 회전수보다도 크게 설정된 무효 전력 우선 회전수로 운전시켜, 발전기(6)로부터 통상 운전 모드인 경우보다도 많은 무효 전력을 공급시킨다. 이와 같이, 전력 계통(2)측으로부터의 무효 전력 공급 지령이 있었던 경우에, 전력 변환기(17)로부터 전력 계통(2)측에 무효 전력을 공급하지 않으므로, 전력 변환기(17)로부터 공급하는 유효 전력이 저감되는 일이 없다. 전력 변환기(17)로부터도 무효 전력을 공급하는 경우와 비교하여, 전력 계통(2)측에 공급 가능한 유효 전력이 저감되지 않으므로, 발전기(6)의 가변속 범위를 확보하면서, 전력 계통(2)측의 무효 전력 공급 지령에 따른 무효 전력을 공급할 수 있다.

[0059] 또한, 본 실시 형태에 있어서는, 무효 전력 우선 운전 모드인 경우에, 회전수 지령 출력부(201)로부터 출력되는 무효 전력 우선 회전수는 고정값인 것으로 하여 설명하고 있었지만, 이것에 한정되지 않는다. 예를 들어, 고정값인 것 대신에, 전력 계통(2)측으로부터의 무효 전력 요구 지령, 혹은 전력 계통(2)의 전압값에 따라서 가변으로 하는 것으로 해도 된다.

[0060] 또한, 본 실시 형태에 있어서는, 통상 운전 모드인 경우에, 회전수 지령 출력부(201)는, 정격 회전수를 발전기(6)의 회전수 지령으로 하는 것으로 하고 있었지만, 이것에 한정되지 않고, 통상 운전 모드의 회전수를, 풍차 블레이드(4)의 회전수의 실측값에 따라서 설정하는 것으로 해도 된다. 예를 들어, 도 6에 도시되는 바와 같이, 회전수 지령 출력부(201)에 있어서, 로터 속도 검출부(50)에 의해 검출된 발전기 회전수의 실측값(예를 들어, 풍속에 의해 결정되는 회전수)에 기초하여, 최소 발전기 회전수 지령(예를 들어, 풍속이 약한 경우의 회전수)과 최대 발전기 회전수 지령(예를 들어, 풍속이 강한 경우의 회전수)을 전환 가능하게 하는 것으로 해도 된다.

[0061] 또한, 본 실시 형태에 있어서의 가변속 발전 장치는, Double Fed 방식의 가변속도 운전을 하는 풍력 발전 장치인 것을 예로 들어 설명하고 있었지만, 이것에 한정되지 않는다. 예를 들어, 풍력 발전 장치 대신에, Double Fed 방식의 가변속도 운전을 하는 수력 발전 장치라도 좋은 것으로 한다.

[0062] [제2 실시 형태]

[0063] 다음에, 본 발명의 제2 실시 형태에 관한 가변속 발전 장치에 대해 도 7 및 도 8을 사용하여 설명한다. 본 실시 형태에 있어서는, 전력 계통(2)측으로부터 무효 전력 공급 지령이 있고, 발전기(6)의 회전수를 상승시키는 경우에, 전력 계통(2)측에 공급하는 유효 전력을 저감시켜, 발전기(6)에 가해지는 부하를 저감시키는 점에서 상기 제1 실시 형태와 다르다. 이하, 본 실시 형태의 가변속 발전 장치에 대해, 제1 실시 형태와 공통되는 점에 대해서는 설명을 생략하고, 다른 점에 대해 주로 설명한다. 또한, 본 실시 형태의 가변속 발전 장치는, 풍력 발전 장치(1')인 것을 예로 들어 설명한다.

[0064] 도 7은 풍력 발전 장치(1')에 구비된 발전기(권선형 유도 발전기)(6) 및 그 주변의 구성의 일례를 도시하는 블록도이다. 도 8은 무효 전력 제어부(20')의 기능 블록도이다.

[0065] 지령값 결정부(202)는, 회전수 지령 출력부(201)로부터 출력된 회전수 지령과, 로터 속도 검출부(50)로부터 취득한 발전기(6)의 회전수 실측값에 기초하여, 전력 변환기 제어부(21')의 유효 전력 지령값  $P^*$ 를 결정하고, 전력 변환기 제어부(21')에 출력한다. 구체적으로는, 지령값 결정부(202)는, 회전수 지령과 로터 속도 검출부(50)로부터 검출된 회전수의 차에 기초하여, 유효 전력의 목표값을 결정하고, 유효 전력의 급격한 변경을 억제하는 레이트 리미터에 의해 유효 전력 지령값  $P^*$ 를 결정한다. 또한, 유효 전력 지령값  $P^*$ 는, 발전기(6)를 가변속 운전시킬 수 있는 범위 내의 값이며, 통상 운전 모드인 경우의 유효 전력을 저감하는 방향으로 제어하는 지령값이다.

[0066] 여기서, 유효 전력의 목표값을 결정하는 방법에 대해 설명한다.

[0067] 도 9는 발전기(6)의 회전수 실측값에 따라서, 전력 제어기의 유효 전력 최대값  $P_{max}$ 와 유효 전력 최소값  $P_{min}$ 이 결정되는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0068] 지령값 결정부(202)는, 회전수와 유효 전력값을 대응시키는 테이블(예를 들어, 도 9의 테이블 T)을 갖고 있다. 지령값 결정부(202)는, 테이블 T에 기초하여, 로터 속도 검출부(50)로부터 취득한 발전기(6)의 회전수 실측값에 따라서 최대값  $P_{max\_opt}$ 와, 최소값  $P_{min\_opt}$ 를 출력한다.

- [0069] 도 9의 각 전환부(S)에 있어서 통상 운전 모드가 유효하게 되어 있는 경우에는, 테이블 T에 기초하여 결정된 최대값  $P_{max\_opt}$ 가 유효 전력 최대값  $P_{max}$ 로 되고, 최소값  $P_{min\_opt}$ 가 유효 전력 최소값  $P_{min}$ 으로 되어, 전력 제어기에 출력된다. 한편, 도 9의 각 전환부(S)에 있어서, 무효 전력 우선 운전 모드가 유효하게 되어 있는 경우에는, 유효 전력 제한값  $P_{Lim}$ 이 유효 전력 최대값  $P_{max}$ 로 되고, 유효 전력 최소값  $P_{min}$ 의 값이 제로로 되어, 전력 제어기에 출력된다.
- [0070] 전력 제어기는, 하한을 유효 전력 최소값  $P_{min}$ , 상한을 유효 전력 최대값  $P_{max}$ 로 하여 제한하고, 회전수의 실측값과 회전수 지령에 기초하여 유효 전력의 목표값을 출력한다.
- [0071] 또한, 지령값 결정부(202)는, 전력 변환기(17)에 공급하는 무효 전력  $Q_s$ 가 제로로 되도록 무효 전력 지령값  $Q^*$ 를 결정한다.
- [0072] 전력 변환기 제어부(21')는, 무효 전력 지령값  $Q^*$ 에 기초하여, 전력 변환기(17)로부터 출력하는 무효 전력  $Q_s=0$ 으로 하기 위해 전력 변환기(17)를 제어하는 동시에, 유효 전력 지령값  $P^*$ 에 기초하여, 발전기(6)로부터 출력하는 유효 전력을 유효 전력 지령값  $P^*$ 로 하기 위해 전력 변환기(17)를 제어한다.
- [0073] 다음에, 본 실시 형태에 관한 풍력 발전 장치(1')의 작용에 대해 설명한다.
- [0074] 풍력 발전 장치(1)의 로터 속도가, 소정의 시간 간격으로 로터 속도 검출부(50)에 의해 검출되고, 이 검출값이 주 제어부(19)의 무효 전력 제어부(20)에 부여된다. 전력 계통(2)측으로부터의 무효 전력 공급 지령이, 무효 전력 제어부(20)에 입력되면, 운전 모드가 통상 운전 모드로부터 무효 전력 우선 운전 모드로 전환된다. 무효 전력 우선 운전 모드로 전환되면, 회전수 지령으로서 무효 전력 우선 회전수가, 회전수 지령 출력부(201)로부터 지령값 결정부(202)에 출력된다. 지령값 결정부(202)에 있어서, 로터 속도 검출부(50)로부터 취득한 발전기(6)의 회전수의 실측값과 무효 전력 우선 회전수가 비교되고, 이들 회전수의 차에 기초하여, 유효 전력 지령값  $P^*$ 가 결정되어, 전력 변환기 제어부(21)에 출력된다.
- [0075] 또한, 지령값 결정부(202)로부터 전력 변환기 제어부(21)에 대해, 무효 전력 지령값으로서 무효 전력  $Q_s=0$ 으로 하는 취지가 통지된다.
- [0076] 전력 변환기 제어부(21)는, 유효 전력 지령값  $P^*$ 와, 무효 전력 지령값 「무효 전력  $Q_s=0$  [Var]」에 기초하여, PWM 신호에 의해 전력 변환기(17)를 제어한다.
- [0077] 그리고 전력 계통(2)측으로부터 통상 운전 모드로 전환하는 지령을 취득할 때까지, 무효 전력 우선 운전 모드로 풍력 발전 장치(1)가 운전된다.
- [0078] 이와 같이, 전력 변환기(17)로부터 무효 전력을 공급하지 않고, 또한 유효 전력 지령값  $P^*$ 를 통상 운전 모드인 경우보다 저감시킴으로써, 발전기(6)에 가해지는 부하가 통상 운전 모드인 경우보다도 저감된다. 이에 의해, 통상 운전 모드인 경우보다, 부하가 저감된 상태에서 풍차 블레이드(4)가 회전하게 되어, 발전기(6)는 초동기 운전으로 된다. 또한, 전력 계통(2)측에 공급하는 유효 전력을 통상 운전 모드인 경우와 비교하여 저감시키고 있으므로, 전력 계통(2)측에 무효 전력을 많이 공급할 수 있다.
- [0079] [제3 실시 형태]
- [0080] 다음에, 본 발명의 제3 실시 형태에 관한 가변속 발전 장치에 대해 설명한다.
- [0081] 도 3 내지 도 5에 나타내어지는 바와 같은, 무효 전력과 유효 전력의 관계는, 발전기(6)의 권선에 흐르는 전류 등에 의한 열적인 제약에 의해 정해져 있었다. 이 점에 착안하여, 발전기(6)의 권선을 냉각하거나, 혹은 발전기(6)의 권선의 온도 상승을 소정 범위 내로 억제하는 냉각부(도시 생략)를 설치하는 점에서, 상기 제1 실시 형태 및 제2 실시 형태와 다르다. 이하, 본 실시 형태의 가변속 발전 장치에 대해, 제1 실시 형태 및 제2 실시 형태와 공통되는 점에 대해서는 설명을 생략하고, 다른 점에 대해 주로 설명한다.
- [0082] 예를 들어, 발전기(6)의 가동에 수반하여, 냉각부로서 냉각 설비(예를 들어, 냉각팬 등)를 기동하여, 발전기(6)의 권선 온도를 소정 범위 내로 억제함으로써, 도 3 등에 나타내는 제약 곡선을, 무효 전력 및 유효 전력의 공급량의 총합을 증가시키는 방향으로 확대시킬 수 있다.
- [0083] 또한, 냉각부로서 냉각 설비와 냉각 매체를 구비하고, 발전기(6)의 가동에 수반하여 냉각 설비(예를 들어, 냉각

팬 등)를 기동하는 동시에, 냉각 매체(예를 들어, 공기)의 유량을 증가시킴으로써 열전달 효율을 향상시키는 것으로 해도 된다. 이에 의해, 발전기(6)의 권선 온도를 소정 범위 내로 억제하여, 도 3 등에 나타내는 제약 곡선을, 확대시킬 수 있다.

[0084] [제4 실시 형태]

[0085] 다음에, 본 발명의 제4 실시 형태에 관한 가변속 발전 장치에 대해서 설명한다.

[0086] 본 실시 형태에서는, 시간대에 따라서 발전기(6)의 회전수를 제어하는 점에서, 상기 제1 실시 형태, 제2 실시 형태 및 제3 실시 형태와 다르다. 이하, 본 실시 형태의 가변속 발전 장치에 대해, 제1, 제2, 제3 실시 형태와 공통되는 점에 대해서는 설명을 생략하고, 다른 점에 대해 주로 설명한다.

[0087] 구체적으로는, 겨울철이나 야간 등 외기온이 낮아, 외기와 열교환하는 경우에, 통상보다 높은 냉각 효과가 얻어질 것이라 추정되는 시간대에 따라서, 발전기(6)의 회전수를 제어하는 것으로 해도 된다. 예를 들어, 도 10에 나타내어지는 바와 같이, 0시부터 24시 중, 비교적 외기온이 낮은 시간대(예를 들어, 0시부터 8시 및 20시부터 24시)에는 도 11의 제1 제약 곡선, 비교적 외기온이 높은 시간대(예를 들어, 8시부터 20시)에는 도 11의 제2 제약 곡선이 규정되는 경우에는, 비교적 외기온이 낮은 시간대에 있어서, 외기온이 높은 시간대보다도 발전기(6)의 회전수를 높게 제어한다. 또한, 이 시간대는, 1일의 시각에 따라 구획되어 있어도 되고, 연간을 통해 계절에 따라서 구획되어 있어도 되는 것으로 한다.

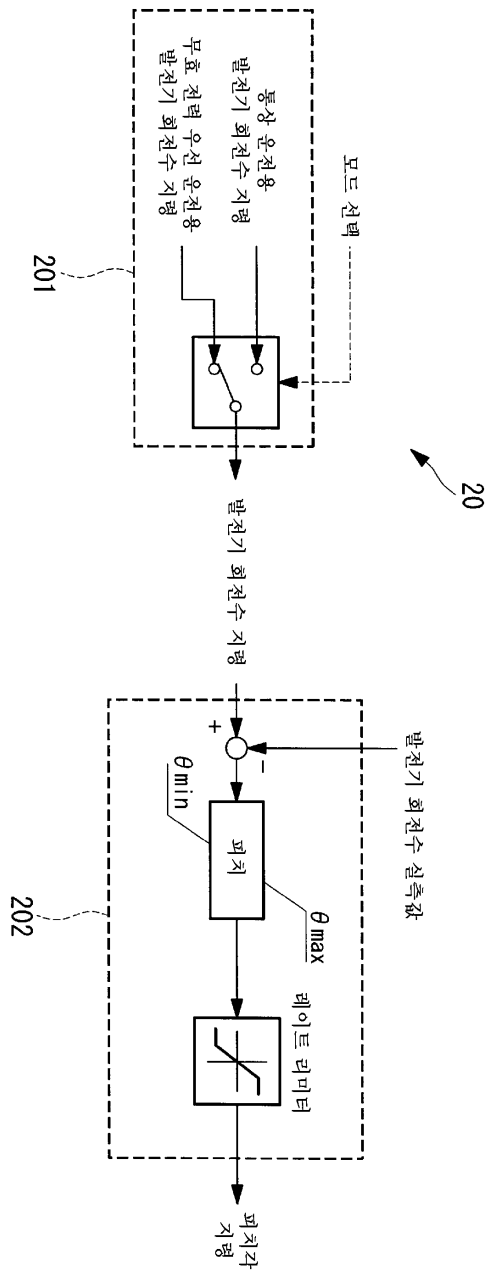
[0088] 이와 같이, 시간대에 따라서, 발전기(6)의 회전수를 제어함으로써, 냉각 설비 등을 구비하는 경우와 비교하여, 냉각 설비에 드는 비용을 저감할 수 있다.

**부호의 설명**

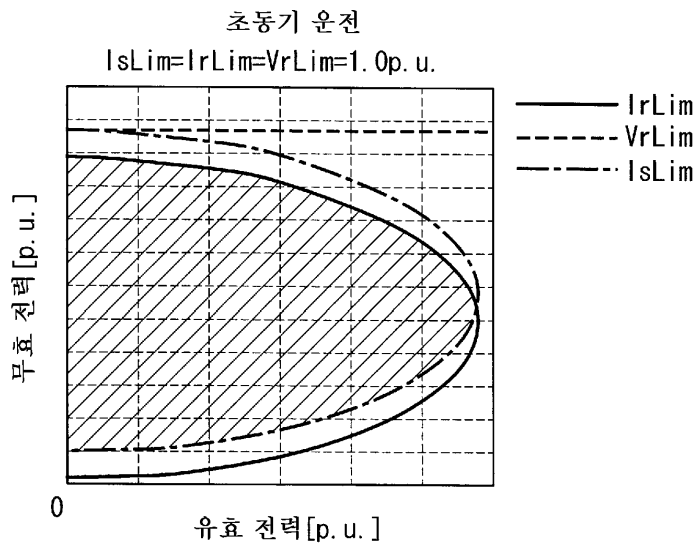
- [0089] 1 : 풍력 발전 장치(가변속 발전 장치)
- 6 : 발전기
- 17 : 전력 변환기
- 20 : 무효 전력 제어부
- 21 : 전력 변환기 제어부
- 201 : 회전수 지령 출력부
- 202 : 지령값 결정부



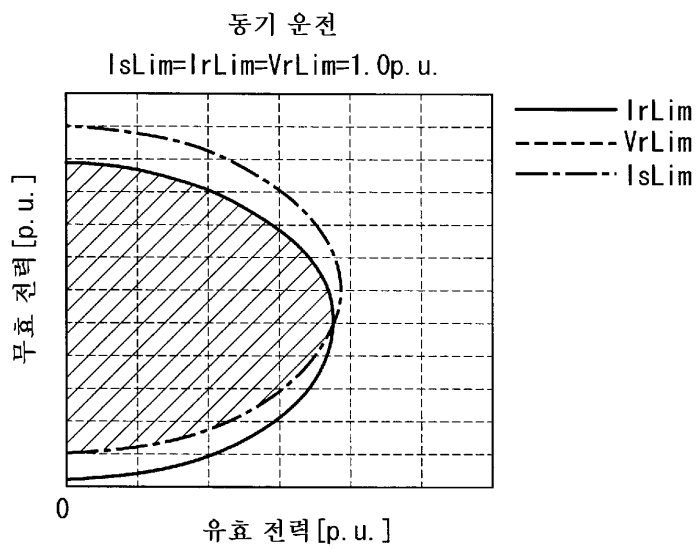
도면2



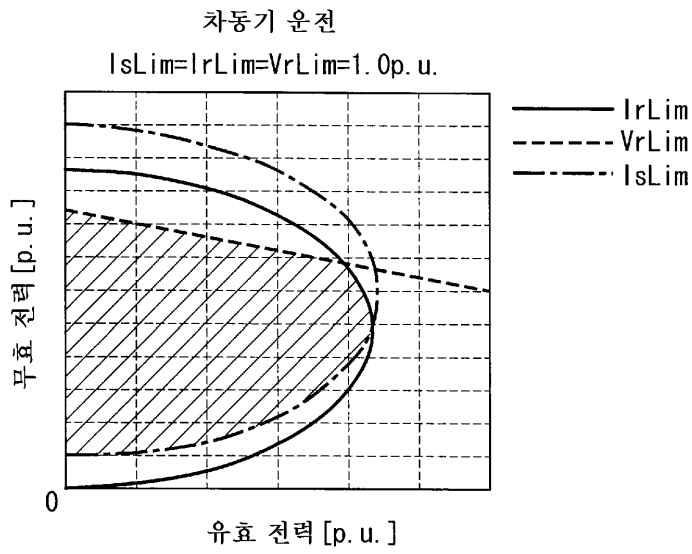
도면3



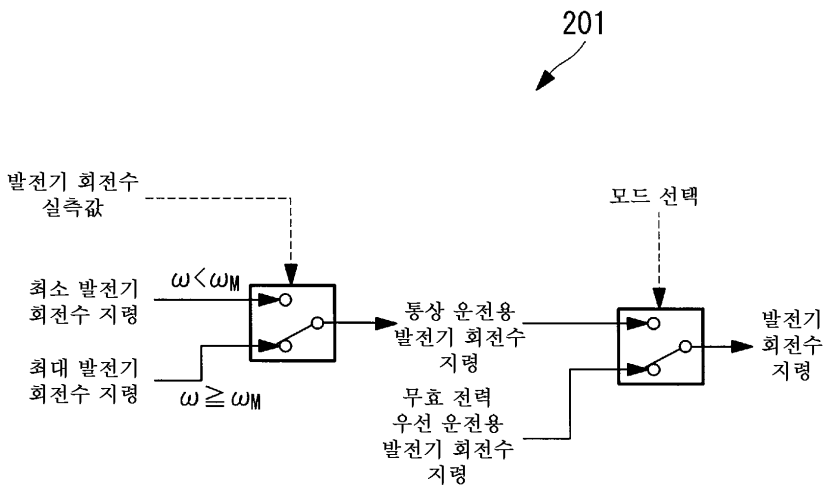
도면4



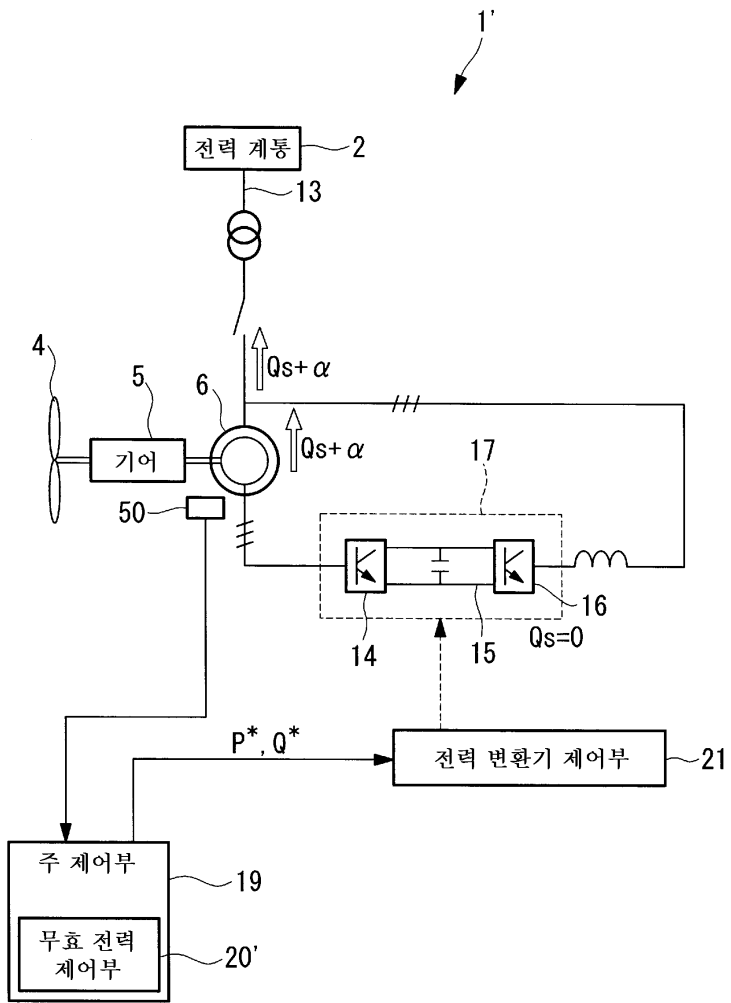
도면5



도면6

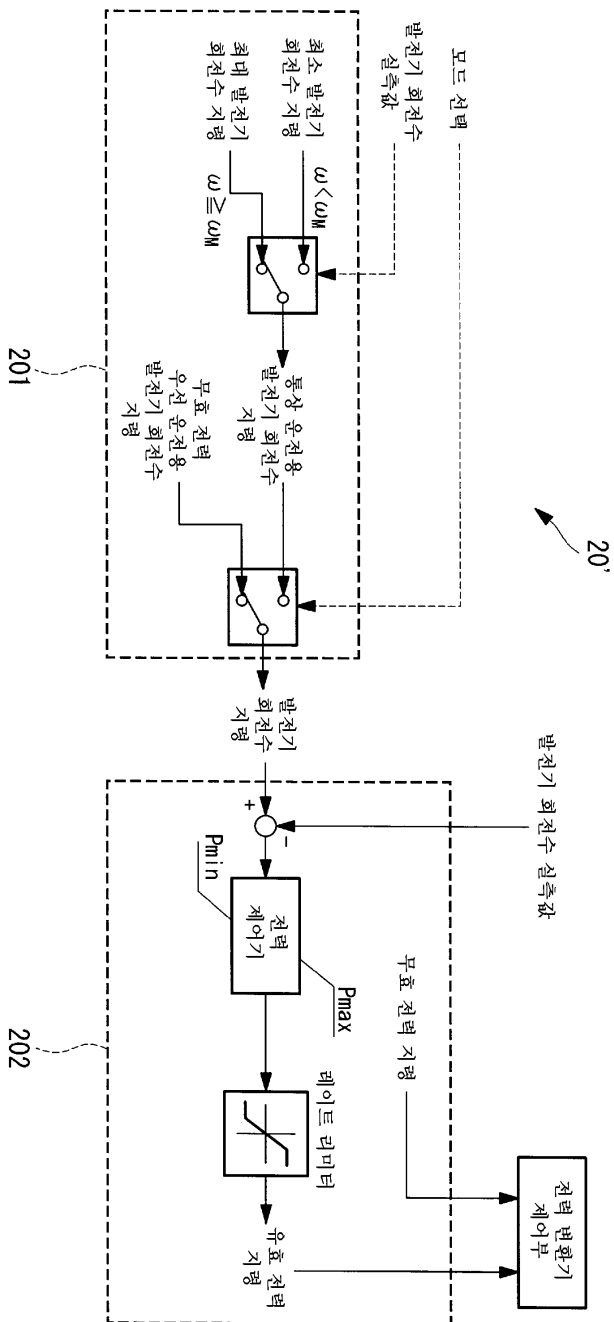


도면7

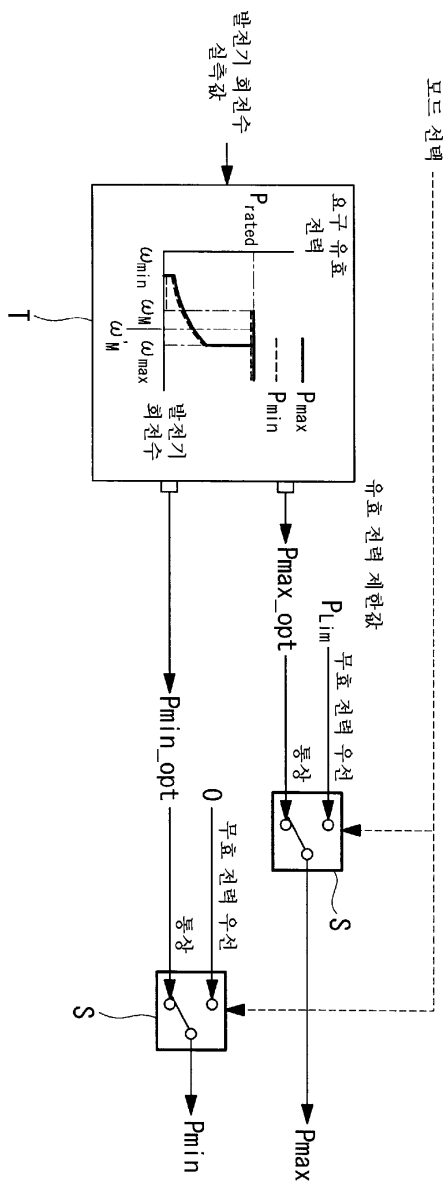




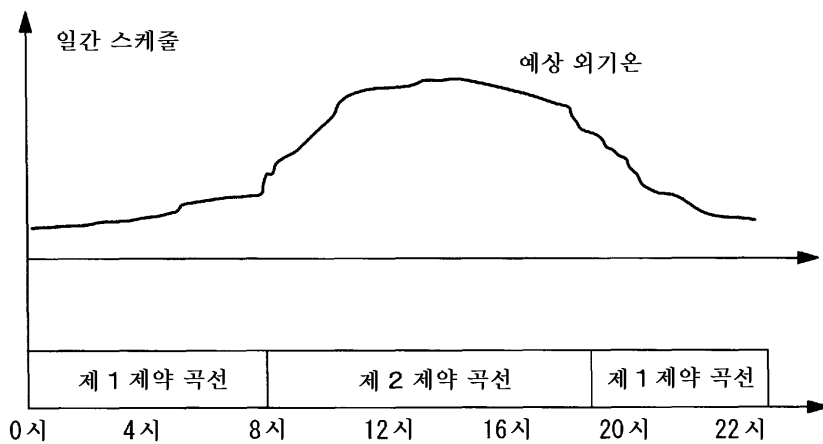
도면8



도면9



도면10



도면11

