



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년04월03일
(11) 등록번호 10-1249939
(24) 등록일자 2013년03월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02M 1/00 (2007.01) H02M 7/155 (2006.01)
H02M 7/48 (2007.01) H02P 9/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0144093
(22) 출원일자 2011년12월28일
심사청구일자 2011년12월28일
(56) 선행기술조사문헌
국제 컨퍼런스 Power System Technology 2010 논문, "Wind farm output power regulation based on EDLC energy storage technology" (2010.10.28.)*
JP2002325461 A*
JP2004282872 A
KR200397499 Y1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 사림동 9 창원대학교
(72) 발명자
박민원
경상남도 김해시 장유면 관동리 팔판마을6단지푸르지오아파트 603-1202
유인근
경상남도 창원시 성산구 대암로77번길 12 (대방동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이형석, 김종선

전체 청구항 수 : 총 4 항

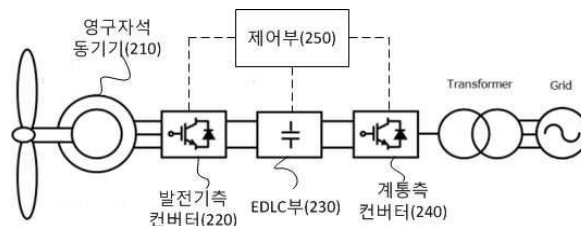
심사관 : 객인구

(54) 발명의 명칭 EDLC를 포함하는 백 투 백 컨버터 및 이를 적용한 풍력발전시스템

(57) 요약

본 발명은 EDLC(Electric double layer capacitor)를 포함하는 백 투 백 컨버터 및 이를 적용한 풍력발전시스템에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 백 투 백 컨버터 내의 DC 링크에 EDLC가 위치하여, 풍력발전시스템의 출력변동을 안정화하는 백 투 백 컨버터 및 이를 적용한 풍력발전시스템에 관한 것이다.

대표도 - 도5



(72) 발명자

김경훈

경상남도 창원시 성산구 창원천로210번길 5-1 (반지동)

김남원

경상남도 창원시 마산합포구 월영동11길 42, 204동 1201호 (해운동, 두산아파트)

특허청구의 범위

청구항 1

발전 시스템과 연결되어, 상기 발전 시스템에 의해 생성된 다상 AC 전력을 일정한 주파수 성분을 갖는 AC 전력으로 변환하는 백 투 백 컨버터에 있어서,

발전 시스템에서 생성된 다상 AC 전력을 DC 전력으로 변환하는 발전기측 컨버터;

상기 발전기측 컨버터에서 변환된 DC 전력의 전부 또는 일부를 저장하고, 설정된 크기 범위 내의 DC 전력을 출력하는 EDLC부;

상기 EDLC부로부터 전달된 DC 전력을 AC 전력으로 변환하는 계통측 컨버터; 및

상기 계통측 컨버터로 전달되는 계통측 기준전력을 통해 얻어진 계통측 기준유효전력 및 계통측 기준무효전력을 이용하여 계통측 컨버터를 제어하는 제어부를 포함하고,

상기 계통측 컨버터로 전달되는 계통측 기준전력은,

상기 발전 시스템에서 생성된 전력이 상기 EDLC부의 충전 상태에 의해 제한되는 전력인 것을 특징으로 하는 백 투 백 컨버터.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제어부는,

발전기측 기준유효전류 및 발전기측 기준무효전류를 이용하여 발전기측 컨버터를 제어하는 것을 특징으로 하는 백 투 백 컨버터.

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 계통측 컨버터로 전달되는 계통측 기준전력은,

상기 발전 시스템에서 생성된 전력에 LPF(Low Pass Filter)를 적용한 전력인 것을 특징으로 하는 백 투 백 컨버터.

청구항 5

삭제

청구항 6

회전력을 전기 에너지로 전환하는 적어도 3상인 영구자석 동기;

상기 동기기와 연결되어, 상기 동기기에 의해 생성된 다상 AC 전력을 DC 전력으로 변환하는 발전기측 컨버터;

상기 발전기측 컨버터에서 변환된 DC 전력의 전부 또는 일부를 저장하고, 변동성이 완화된 DC 전류를 출력하는 EDLC부;

상기 EDLC부로부터 전달된 DC 전력을 AC 전력으로 변환하는 계통측 컨버터; 및

발전기측 기준유효전력 및 발전기측 기준무효전력을 이용하여 상기 발전기측 컨버터를 제어하고, 상기 계통측 컨버터로 전달되는 계통측 기준전력을 통해 얻어진 계통측 기준유효전력 및 계통측 기준무효전력을 이용하여 계통측 컨버터를 제어하는 제어부를 포함하고,

상기 계통측 컨버터로 전달되는 계통측 기준전력은,

상기 영구자석 동기기에 의해 생성된 전력이 LPF(Low Pass Filter)를 거치고, 상기 EDLC부의 충전 상태에 의해 제한되는 전력인 것을 특징으로 하는 풍력발전시스템.

청구항 7

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 EDLC(Electric double layer capacitor)를 포함하는 백 투 백 컨버터 및 이를 적용한 풍력발전시스템에 관한 것이다. 보다 상세하게는, EDLC를 에너지 저장 장치로 사용하는 풍력발전시스템에 있어, 백 투 백 컨버터 내의 DC 링크에 EDLC가 위치하여, 상기 전체 시스템을 간소화하는 백 투 백 컨버터 및 이를 적용한 풍력발전시스템에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 풍력은 자연상태의 무공해 에너지원으로서 대체에너지원 중 가장 경제성이 좋은 에너지원이다. 풍력발전시스템은 다양한 형태의 풍차를 이용하여 바람 에너지를 기계적 에너지로 변환하고, 이 기계적 에너지로 발전기를 구동하여 전력을 얻어내는 발전 시스템을 말한다. 이러한 풍력발전시스템은 무한정의 청정에너지인 바람을 동력원으로 하므로 기존의 화석연료나 우라늄 등을 이용한 발전방식과 달리 발열에 의한 열공해나 대기오염 그리고 방사능 누출 등과 같은 문제가 없는 무공해 발전방식이다. 이에 따라 풍력 발전은 현재 가장 유력한 대체 에너지원으로 인정받고 있는 상태이다. 또한, 풍력발전시스템은 구조나 설치가 간단하고 운영 및 관리가 용이하여 무인화 및 자동화 운전이 가능하기 때문에 전 세계적으로 그 활용이 증가하고 있는 추세에 있다.

[0003] 다만, 풍력발전시스템에서 활용하는 바람 에너지는 일기상황에 따라 많은 변동성을 갖는다. 풍속의 변화 정도가 커지게 되면, 풍력발전시스템에서 생성되는 전력의 주파수 변동 문제를 야기한다. 이러한 문제를 갖고 있는 풍력발전시스템을 기존 전력망에 연계하기 위해서는 직류단이 공유된 2세트의 전압원 컨버터로 구성된 백 투 백 컨버터를 필요로 한다.

[0004] 백 투 백 컨버터는 크게 발전기측 컨버터, DC 링크 커패시터 및 계통측 컨버터로 구성된다. 발전기측 컨버터는 발전 시스템을 통해 생성되는 유효전력을 제어하는 역할을 수행하며, DC 링크 커패시터는 상기 발전기측 컨버터와 계통측 컨버터 사이에 배치되어 일정 DC 전압이 인가되도록 하며, 상기 계통측 컨버터는 DC 링크 커패시터 양단에 걸리는 DC 전압을 이용하여 계통에 알맞게 일정한 주파수 성분을 갖는 AC 전력으로 변환한다.

[0005] 도 1은 별도의 에너지 저장부를 가지는 종래의 풍력발전시스템을 나타낸 도면이다.

[0006] 도 1에 도시된 바와 같이, 종래의 풍력발전시스템에 있어, 영구자석형 동기발전기는 백 투 백 컨버터에 연결되어 바람으로부터 발생하는 전력을 계통으로 전달하며, 별도의 에너지 저장부는 충/방전 과정, 계통 연계를 수행하기 위하여 DC/DC 컨버터와 인버터와 함께 연결되었다. 이때, 상기 별도의 에너지 저장부의 연계 및 운전을 위한 전력변환장치인 별도의 DC/DC 컨버터와 인버터를 연결하여 이를 통한 전력 손실이 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국 공개특허 제 10-2010-001594호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, EDLC를 에너지 저장 장치로 사용하는 풍력발전 시스템의 구성을 간소화할 수 있는 백 투 백 컨버터 및 이를 적용한 풍력발전시스템을 제공하고자 한다.

[0009] 또한, 상기 풍력발전시스템의 간소화를 통해, 별도의 전력변환장치가 필요하지 않게 되어 전력 손실량을 감소시키는 백 투 백 컨버터 및 이를 적용한 풍력발전시스템을 제공하고자 한다.

[0010]

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 일 측면에 따른 백 투 백 컨버터는 발전 시스템과 연결되어, 상기 발전 시스템에 의해 생성된 다상 AC 전력을 일정한 주파수 성분을 갖는 AC 전력으로 변환하는 백 투 백 컨버터에 있어서, 발전 시스템에서 생성된 다상 AC 전력을 DC 전력으로 변환하는 발전기측 컨버터; 상기 발전기측 컨버터에서 변환된 DC 전력의 전부 또는 일부를 저장하고, 변동성이 완화된 DC 전력을 출력하는 EDLC부; 및 상기 EDLC부로부터 전달된 DC 전력을 AC 전력으로 변환하는 계통측 컨버터를 포함한다.

[0012] 이때, 발전기측 기준유효전류 및 발전기측 기준무효전류를 이용하여 발전기측 컨버터를 제어하는 제어부를 더 포함할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 계통측 컨버터로 전달되는 계통측 기준전력을 통해 얻어진 계통측 기준유효전력 및 계통측 기준무효전력을 이용하여 계통측 컨버터를 제어부를 더 포함할 수 있다.

[0014] 이때, 상기 계통측 컨버터로 전달되는 계통측 기준전력은, 상기 발전 시스템에서 생성된 전력에 LPF(Low Pass Filter)를 적용한 전력일 수 있다.

[0015] 또는, 상기 계통측 컨버터로 전달되는 계통측 기준전력은, 상기 발전 시스템에서 생성된 전력이 상기 EDLC부의 충전 상태에 의해 제한되는 전력일 수 있다.

[0016] 본 발명의 다른 측면에 따른 풍력발전시스템은 회전력을 전기 에너지로 전환하는 적어도 3상인 영구자석 동기기; 상기 영구자석 동기기와 연결되어, 상기 영구자석 동기기에 의해 생성된 다상 AC 전력을 DC 전력으로 변환하는 발전기측 컨버터; 상기 발전기측 컨버터에서 변환된 DC 전력의 전부 또는 일부를 저장하고, 변동성이 완화된 DC 전류를 출력하는 EDLC부; 및 상기 EDLC부로부터 전달된 DC 전력을 AC 전력으로 변환하는 계통측 컨버터를 포함한다.

[0017] 이때, 발전기측 기준유효전류 및 발전기측 기준무효전류를 이용하여 발전기측 컨버터를 제어하고, 상기 계통측 컨버터로 전달되는 계통측 기준전력을 통해 얻어진 계통측 기준유효전력 및 계통측 기준무효전력을 이용하여 계통측 컨버터를 제어하는 제어부를 더 포함하고, 상기 계통측 컨버터로 전달되는 계통측 기준전력은, 상기 발전 시스템에서 생성된 전력이 LPF(Low Pass Filter)를 거치고, 상기 EDLC부의 충전 상태에 의해 제한되는 전력일 수 있다.

발명의 효과

[0018] 본 발명에 따른 백 투 백 컨버터 및 이를 적용한 풍력발전시스템은 EDLC를 백 투 백 컨버터 내의 DC 링크에 위치하여, DC/DC 컨버터와 인버터 같은 전력변환장치가 별도로 필요하지 않게 되어 전력 손실량을 감소시키고, 전체 시스템 비용을 감소시키는 효과가 있다.

[0019]

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 별도의 에너지 저장부를 가지는 종래의 풍력발전시스템을 나타낸 도면,
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 백 투 백 컨버터를 나타낸 도면,
 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기측 컨버터의 제어 블록선도,
 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 계통측 컨버터의 제어 블록선도,
 도 5는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 풍력발전시스템을 나타낸 도면,
 도 6은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 풍력발전시스템에 있어서, 발전기측 컨버터의 제어 블록선도, 및
 도 7은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 풍력발전시스템에 있어서, 계통측 컨버터의 제어 블록선도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.

- [0022] 도 2는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 백 투 백 컨버터를 나타낸 도면이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 백 투 백 컨버터는 발전 시스템(10)과 연결되어, 상기 발전 시스템(10)에 의해 생성된 다상 AC 전력을 일정한 주파수 성분을 갖는 AC 전력으로 변환하는 백 투 백 컨버터에 있어서, 발전 시스템(10)에서 생성된 다상 AC 전력을 DC 전력으로 변환하는 발전기측 컨버터(20); 상기 발전기측 컨버터(20)에서 변환된 DC 전력의 전부 또는 일부를 저장하고, 변동성이 완화된 DC 전력을 출력하는 EDLC부(30); 상기 EDLC부(30)로부터 전달된 DC 전력을 AC 전력으로 변환하는 계통측 컨버터(40); 상기 발전기측 컨버터(20) 및 계통측 컨버터(40)의 작동을 제어하는 제어부(50)를 포함한다.

- [0023] 발전기측 컨버터(20)는 발전 시스템(10)에 의해 생성된 다상 AC 전력을 DC 전력으로 변환한다. 본 발명에 적용 가능한 일 실시예에서, 상기 발전 시스템(10)은 적어도 3상인 다상 교류형 발전기인 영구자석형 동기발전기를 갖는 풍력발전시스템이 될 수 있다. 풍력발전시스템의 경우, 바람 에너지를 활용하여 전기 에너지를 생산하므로, 일기상황에 따라 많은 변동성을 갖는다. 특히, 상기 풍력발전시스템이 설치된 장소의 풍력의 변화 정도가 커지게 되면, 풍력발전시스템에서 생성되는 전력의 양은 큰 변동성을 갖게 된다. 이는 풍력발전시스템에서 생성되는 전력의 주파수 변동 문제를 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 발전기측 컨버터(20)는 상기 변동성 있는 전력을 일정하게 하는 작업을 수행하기에 앞서, 발전 시스템(10)에서 생성된 AC 전력을 DC 전력으로 변환한다.

- [0024] 제어부(50)는 상기 발전 시스템(10)에서 생성된 전력의 유효전력을 최대화하고 무효전력을 최소화하는 작업을 수행하고, 상기 작업을 통해 획득한 발전기측 기준유효전류(i_{qr_ref}) 및 발전기측 기준무효전류(i_{dr_ref})를 이용하여 최대 전력을 얻을 수 있도록 발전기측 컨버터(20)를 제어한다. 보다 상세하게는, 상기 제어부(50)는 하기 수학적 식 1에 의해 발전기측 기준전력량(P_{max})을 얻을 수 있다.

수학적 식 1

$$P_{max} = \frac{1}{2} \frac{\rho \pi R^5 C_{pmax}}{\lambda_{opt}^3} w_{opt}^3$$

[0025]

- [0026] (R: 블레이드의 반경, w_{opt} 최적 각속도, ρ : 공기 밀도, C_{pmax} : 풍력터빈 최대 전력 계수, λ_{opt} : 최적 주속비)

- [0027] 상기 제어부(50)는 발전기측 기준유효전류(i_{qr_ref})를 통해 발전 시스템(10)의 유효전력이 최대가 되도록 제어한다. 또한, 발전기측 기준무효전류(i_{dr_ref})를 통해 발전 시스템(10)의 무효전력이 최소가 되도록 제어한다. 상기

발전기측 기준유효전류(i_{qr_ref}) 및 발전기측 기준무효전류(i_{dr_ref})는 선형 적분제어기인 PI(Proportional Integral) 제어기에 의해 제어되고, 상기 PI 제어기를 통해 얻어진 발전기측 기준전압은 PWM(Pulse Width Modulation) generator를 거쳐 발전기측 컨버터(20)를 제어한다. 이하 도 3을 통해, 발전기측 컨버터(20)의 제어 알고리즘을 상세히 후술한다.

[0028] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기측 컨버터(20)의 제어 블록선도이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 바람직한 일 실시예에서 제어부(50)는 발전 시스템(10)에서 생성된 전력의 유효전력을 최대화하고 무효전력을 최소화하는 작업으로서, MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어를 수행할 수 있다. 풍력발전시스템의 경우 난류가 되기 쉽고, 풍향이나 풍속이 수십초의 간격으로 변화하기 때문에, 바람의 에너지를 최대한 이용하기 위해 MPPT 제어를 수행할 수 있다. 본 발명에 적용가능한 일 실시예에 따른 MPPT 제어를 통해 얻을 수 있는 발전기측 기준전력량은 상기 수학식 1과 같다.

[0029] 제어부(50)는 상기 MPPT 제어를 통해 얻은 발전기측 기준전력량(P_e^*)과 유효전력(P_e)에 대해 PI 제어기를 적용하여 발전기측 기준유효전류(i_{qr_ref})를 얻을 수 있다. 또한, 상기 제어부(50)는 발전기측 기준무효전력량(Q_{ref}^*)과 고정자의 무효전력(Q_{stator})에 대해 PI 제어기를 적용하여 발전기측 기준무효전류(i_{dr_ref})를 얻을 수 있다.

[0030] 여기서, 상기 PI 제어기는 상기한 목적을 수행하기 위하여 공지된 기술을 이용하여 다양하게 구성될 수 있음은 본 발명의 기술적 사상에 비추어 당업자에게 자명하다.

[0031] 제어부(50)는 발전기측 기준유효전류(i_{qr_ref})와 발전기측 유효전류(i_{qr})에 대해 PI 제어기를 적용한 값과 발전기측 설정전압(v_{qr})과 $\omega_r * L_{dr} * i_{dr}$ 를 이용하여 발전기측 기준유효전압값을 산출할 수 있다. 이때, ω_r 는 발전기측 주파수로 미리 설정되거나, 외부로부터 입력될 수 있다. 또한, L_{dr} 는 d축 인덕턴스 값으로, 발전기측 리액터의 유도계수로부터 얻을 수 있다.

[0032] 또한, 제어부(50)는 발전기측 기준무효전류(i_{dr_ref})와 발전기측 무효전류(i_{dr})에 대해 PI 제어기를 적용한 값과 $\omega_r * L_{qr} * i_{qr}$ 를 이용하여 발전기측 기준무효전압값을 산출할 수 있다. 이때, ω_r 는 발전기측 주파수로 미리 설정되거나, 외부로부터 입력될 수 있다. 또한, L_{qr} 는 q축 인덕턴스 값으로, 발전기측 리액터의 유도계수로부터 얻을 수 있다.

[0033] 상기 제어부(50)는 위와 같은 방법을 통해 얻어진 발전기측 기준유효전압값 및 발전기측 기준무효전압값을 이용하여 PWM generator를 거쳐 발전기측 컨버터(20)를 제어한다.

[0034] EDLC부(30)는 발전기측 컨버터(20)와 계통측 컨버터(40) 사이의 DC링크에 위치한다. 본 발명에 적용가능한 EDLC부(30)는 표면적이 매우 큰 다공질 도체의 집전극(collector) 두 개 사이에 전해액(electrolyte)을 넣는 구조이다. 상기 집전극 봉(electrodes)의 도체에 전해액을 담그면 도체에 접하는 경계면에는 도체에 억눌려진 분자에 의한 내충이 생기고, 그 바깥쪽(전해액 측)에는 충전전하에 의해 확산운동을 하고 있는 외충이 생성된다. 이러한 EDLC부(30)는 외부에서의 인가전압이 전해액에서 전기분해가 일어나는 전압보다 낮은 범위에서는 전류가 흐르지 않아 거의 완전 절연상태가 되므로, 이를 절연막으로 하여 +, -극을 가지는 캐퍼시터 두개가 직렬로 연결되어 있는 구조가 되며 이들 사이에 전해액이 미약하게 덮여져 있는 상태가 된다.

[0035] 상기 절연막은 자연적으로 얻어진 것으로 막 두께는 분자 한 개의 크기 정도로 얇아 대 정전용량의 캐퍼시터 제작이 가능하게 된다. 이러한 EDLC부(30)는 충/방전 속도가 매우 빠르고, 에너지 저장 능력 또한 다른 에너지 저장 장치보다 뛰어나다.

[0036] 상기 EDLC부(30)는 DC 링크의 전력상황에 따라 충/방전 동작이 자유롭게 이루어지며, EDLC부(30)의 용량이 한계에 이르면 계통과의 수급관계가 행해짐으로써 전체 시스템의 전력 균형을 유지한다.

[0037] 계통측 컨버터(40)는 상기 EDLC부(30)로부터 전달된 DC 전력을 AC 전력으로 변환한다. 보다 상세하게는, 상기 계통측 컨버터(40)는 상기 EDLC부(30)의 출력 전압을 계통에서 사용 가능한 AC 전압으로 변환한다. 이때, 계통

측 컨버터(40)의 출력 전압은 일정 크기 및 일정 주파수를 갖는 AC 전압이 될 수 있다. 또한, 상기 출력 전압은 필요에 따라 LPF(Low Pass Filter)에 의해 고조파가 제거될 수 있다. 본 발명의 바람직한 일 실시예에서는, 상기 출력 전압은 60Hz의 주파수를 갖는 AC 전압이 될 수 있다.

[0038] 제어부(50)는 EDLC부(30)를 통해 계통측 컨버터(40)로 전달되는 전력으로부터 계통측 기준전력량(P_u^*)을 얻고, 이를 통해 계통측 기준유효전류(i_{q_ref}) 및 계통측 기준무효전류(i_{d_ref})를 얻는다. 상기 제어부(50)는 상기 계통측 기준유효전류 및 계통측 기준무효전류를 이용하여 계통측 컨버터(40)를 제어한다. 보다 상세하게는, 상기 계통측 기준전력량(P_u^*)을 통해 얻어진 계통측 기준유효전류(i_{q_ref})를 통해 발전기 출력 변동을 안정화하고, 전력 전달을 위한 유효 전력을 제어한다. 또한, 계통측 기준무효전류(i_{d_ref})를 통해 발전기 출력 변동을 안정화하고, 전력 전달을 위한 무효 전력을 제어한다. 상기 계통측 기준유효전류(i_{q_ref}) 및 계통측 기준무효전류(i_{d_ref})는 PI 제어기에 의해 제어되고, 상기 PI 제어기를 통해 얻어진 계통측 기준전압은 PWM(Pulse Width Modulation) generator를 거쳐 계통측 컨버터(40)를 제어한다. 이하 도 4를 통해, 계통측 컨버터(40)의 제어 알고리즘을 상세히 후술한다.

[0039] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 계통측 컨버터(40)의 제어 블록선도이다. 제어부(50)는 도 4의 제어 알고리즘을 통해, 계통측 컨버터(40)를 제어하여 풍력발전시스템의 출력 변동을 안정화시킨다. 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명의 바람직한 일 실시예에서 계통측 컨버터(40)에서는 발전 시스템(10)에 의해 생성된 전력(P_e)에 대해 LPF를 이용하여 상기 전력(P_e)의 고주파 성분을 제거한다. 또한, 상기 전력(P_e)의 방향에 따라 상기 전력의 방향을 일정하게 하기 위해 -1의 스케일 변환을 수행할 수 있다.

[0040] 이후, 백 투 백 컨버터의 DC 링크에 위치한 EDLC부(30)의 충전 상태에 따라 상기 전력의 전압 및 전류가 제한된다. 보다 상세하게는, 상기 EDLC부(30)는 콘덴서 및 전해액 커패시터에 비해 월등히 많은 용량을 갖고, 충전 시에는 짧은 시간을 필요로 하지만, 에너지를 발산할 때에는 충전시보다 긴 시간동안 에너지를 발산할 수 있다. 이와 같은 특성을 이용하여, EDLC부(30)는 급격히 풍속이 변하여 풍력발전시스템을 통해 생산된 전력량이 급격히 증가하더라도, 실제 계통으로 공급되는 전력의 양을 조절할 수 있다.

[0041] 상기 EDLC부(30)의 충전 상태가 임계값 이상 충전되었을 때에는 발전기측 컨버터(20)를 통하여 공급되는 전력량은 제한되지 않고, 전부 계통측 컨버터(40)로 전달할 수 있다. 보다 상세하게는, 상기 EDLC부(30)의 과충전을 방지하기 위해, 상기 EDLC부(30)가 일정 이상 충전되었을 때는 계통측 컨버터(40)로 전달되는 전력량은 상기 EDLC부(30)에 의해 제한되지 않을 수 있다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상기 EDLC부(30)의 과충전을 방지하기 위한 EDLC부(30)의 기준 충전 상태는 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[0042] 본 발명의 적용가능한 일 실시예에서는 EDLC부(30)의 충전 상태가 임계값 미만일 경우에는 발전기측 컨버터(20)로부터 공급되는 전력의 일부를 EDLC부(30)를 재충전하는데 사용함으로써 실제 계통으로 공급되는 전력량을 일정량 제한할 수 있다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상기 발전기측 컨버터(20)를 통하여 공급되는 전력량 중 제한되는 전력량의 비율은 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[0043] 이때, 상기 EDLC부(30)의 충전 상태는 상기 제어부(50)를 통해 측정될 수 있다.

[0044] 상기 제어부(50)는 위와 같은 방법을 통해 얻은 계통측 기준전력량(P_u^*)과 계통측 유효전력량(P_u)에 대해 PI 제어를 적용하여 계통측 기준유효전류(i_{q_ref})를 얻을 수 있다. 또한, 상기 제어부(50)는 계통측 기준무효전력량(Q_{ref})과 무효전력(Q)에 대해 PI 제어를 적용하여 계통측 기준무효전류(i_{d_ref})를 얻을 수 있다.

[0045] 여기서, 상기 PI 제어기는 상기한 목적을 수행하기 위하여 공지된 기술을 이용하여 다양하게 구성될 수 있음은 본 발명의 기술적 사상에 비추어 당업자에게 자명하다.

[0046] 제어부(50)는 계통측 기준유효전류(i_{q_ref})와 계통측 유효전류(i_q)에 대해 PI 제어를 적용한 값과 계통측 설정

전압(v_{qs})과 $\omega * L_d * i_d$ 를 이용하여 계통측 기준유효전압값을 산출할 수 있다. 이때, ω 는 계통측 주파수로 미리 설정되거나, 외부로부터 입력될 수 있다. 또한, L_d 는 d축 인덕턴스 값으로, 계통측 리액터의 유도계수로부터 얻을 수 있다.

[0047] 또한, 제어부(50)는 계통측 기준무효전류(i_{d_ref})와 계통측 무효전류(i_d)에 대해 PI 제어기를 적용한 값과 $\omega * L_q * i_q$ 를 이용하여 계통측 기준무효전압값을 산출할 수 있다. 이때, ω 는 계통측 주파수로 미리 설정되거나, 외부로부터 입력될 수 있다. 또한, L_q 는 q축 인덕턴스 값으로, 계통측 리액터의 유도계수로부터 얻을 수 있다.

[0048] 상기 제어부(50)는 위와 같은 방법을 통해 얻어진 계통측 기준유효전압값 및 계통측 기준무효전압을 이용하여 PWM generator를 거쳐 계통측 컨버터(40)를 제어한다.

[0049] 도 5는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 풍력발전시스템을 나타낸 도면이다.

[0050] 도 5에 도시된 바와 같이, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 풍력발전시스템은 회전력을 전기 에너지로 전환하는 적어도 3상인 영구자석 동기기(210); 상기 영구자석 동기기(210)와 연결되어, 상기 영구자석 동기기(210)에 의해 생성된 다상 AC 전력을 DC 전력으로 변환하는 발전기측 컨버터(220); 상기 발전기측 컨버터(220)에서 변환된 DC 전력의 전부 또는 일부를 저장하고, 변동성 완화된 DC 전류를 출력하는 EDLC부(230); 상기 EDLC부(230)로부터 전달된 DC 전력을 AC 전력으로 변환하는 계통측 컨버터(240); 및 상기 발전기측 컨버터(220) 및 계통측 컨버터(240)의 작동을 제어하는 제어부(250)를 포함한다.

[0051] 풍력발전시스템은 바람 에너지를 이용하여 전기 에너지를 생산하는 시스템이다. 상기 풍력발전시스템에 있어서, 블레이드(미도시)는 바람 에너지에 의해 회전력을 갖게 되고, 영구자석 동기기(210)는 상기 블레이드의 회전력을 전기 에너지로 전환한다. 그러므로 영구자석 동기기(210)의 출력은 풍력에 종속적이게 된다. 따라서, 영구자석 동기기(210)에서 생성되는 전력량은 일정하지 않다. 상기 변동성이 있는 전력량은 발전기측 컨버터(220), EDLC부(230) 및 계통측 컨버터(240)로 구성되는 백 투 백 컨버터에 의해 계통에 적합한 AC로 변환된다.

[0052] 발전기측 컨버터(220)는 영구자석 동기기(210)에 의해 생성된 다상 AC 전력을 DC 전력으로 변환한다. 본 발명에 적용가능한 일 실시예에서, 상기 영구자석 동기기(210)는 적어도 3상인 다상 교류형 발전기인 영구자석형 동기발전기가 될 수 있다. 풍력발전시스템의 경우, 바람 에너지를 활용하여 전기 에너지를 생산하므로, 일기상황에 따라 많은 변동성을 갖는다. 특히, 상기 풍력발전시스템이 설치된 장소의 풍력의 변화 정도가 커지게 되면, 풍력발전시스템에서 생성되는 전력의 양은 큰 변동성을 갖게 된다. 이는 풍력발전시스템에서 생성되는 전력의 주파수 변동 문제를 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 발전기측 컨버터(220)는 상기 변동성 있는 전력을 일정하게 하는 작업을 수행하기에 앞서, 발전 시스템에서 생성된 AC 전력을 DC 전력으로 변환한다.

[0053] 제어부(250)는 상기 영구자석 동기기(210)에서 생성된 전력의 유효전력을 최대화하고 무효전력을 최소화하는 작업을 수행하고, 상기 작업을 통해 획득한 발전기측 기준유효전류(i_{qr_ref}) 및 발전기측 기준무효전류(i_{dr_ref})를 이용하여 최대 전력을 얻을 수 있도록 발전기측 컨버터(220)를 제어한다. 보다 상세하게는, 상기 제어부(250)는 하기 수학적 식 2에 의해 발전기측 기준전력량(P_{max})을 얻을 수 있다.

수학적 식 2

$$P_{max} = \frac{1}{2} \frac{\rho \pi R^5 C_{pmax}}{\lambda_{opt}^3} \omega_{opt}^3$$

[0054]

[0055] (R: 블레이드의 반경, ω_{opt} 최적 각속도, ρ : 공기 밀도, C_{pmax} : 풍력터빈 최대 전력 계수, λ_{opt} : 최적 주속비)

- [0056] 상기 제어부(250)는 발전기측 기준유효전류(i_{qr_ref})를 통해 영구자석 동기(210)의 유효전력이 최대가 되도록 제어한다. 또한, 발전기측 기준무효전류(i_{dr_ref})를 통해 영구자석 동기(210)의 무효전력이 최소가 되도록 제어한다. 상기 발전기측 기준유효전류(i_{qr_ref}) 및 발전기측 기준무효전류(i_{dr_ref})는 선형 적분제어기인 PI(Proportional Integral) 제어기에 의해 제어되고, 상기 PI 제어기를 통해 얻어진 발전기측 기준전압은 PWM(Pulse Width Modulation) generator를 거쳐 발전기측 컨버터(220)를 제어한다. 이하 도 6을 통해, 발전기측 컨버터(220)의 제어 알고리즘을 상세히 후술한다.
- [0057] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기측 컨버터(220)의 제어 블록선도이다. 도 6에 도시된 바와 같이, 본 발명의 바람직한 일 실시예에서 제어부(250)는 영구자석 동기(210)에서 생성된 전력의 유효전력을 최대화하고 무효전력을 최소화하는 작업으로서, MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어를 수행할 수 있다. 풍력발전시스템의 경우 난류가 되기 쉽고, 풍향이나 풍속이 수십초의 간격으로 변화하기 때문에, 바람의 에너지를 최대한 이용하기 위해 MPPT 제어를 수행할 수 있다. 본 발명에 적용가능한 일 실시예에 따른 MPPT 제어를 통해 얻을 수 있는 발전기측 기준전력량은 상기 수학식 2와 같다.
- [0058] 제어부(250)는 상기 MPPT 제어를 통해 얻은 발전기측 기준전력량(P_e^*)과 유효전력(P_e)에 대해 PI 제어기를 적용하여 발전기측 기준유효전류(i_{qr_ref})를 얻을 수 있다. 또한, 상기 제어부(250)는 발전기측 기준무효전력량(Q_{ref}^*)과 고정자의 무효전력(Q_{stator})에 대해 PI 제어기를 적용하여 발전기측 기준무효전류(i_{dr_ref})를 얻을 수 있다.
- [0059] 여기서, 상기 PI 제어기는 상기한 목적을 수행하기 위하여 공지된 기술을 이용하여 다양하게 구성될 수 있음은 본 발명의 기술적 사상에 비추어 당업자에게 자명하다.
- [0060] 제어부(250)는 발전기측 기준유효전류(i_{qr_ref})와 발전기측 유효전류(i_{qr})에 대해 PI 제어기를 적용한 값과 발전기측 설정전압(v_{qr})과 $\omega_r * L_{dr} * i_{dr}$ 를 이용하여 발전기측 기준유효전압값을 산출할 수 있다. 이때, ω_r 는 발전기측 주파수로 미리 설정되거나, 외부로부터 입력될 수 있다. 또한, L_{dr} 는 d축 인덕턴스 값으로, 발전기측 리액터의 유도계수로부터 얻을 수 있다.
- [0061] 또한, 제어부(250)는 발전기측 기준무효전류(i_{dr_ref})와 발전기측 무효전류(i_{dr})에 대해 PI 제어기를 적용한 값과 $\omega_r * L_{qr} * i_{qr}$ 를 이용하여 발전기측 기준무효전압값을 산출할 수 있다. 이때, ω_r 는 발전기측 주파수로 미리 설정되거나, 외부로부터 입력될 수 있다. 또한, L_{qr} 는 q축 인덕턴스 값으로, 발전기측 리액터의 유도계수로부터 얻을 수 있다.
- [0062] 상기 제어부(250)는 위와 같은 방법을 통해 얻어진 발전기측 기준유효전압값 및 발전기측 기준무효전압값을 이용하여 PWM generator를 거쳐 발전기측 컨버터(220)를 제어한다.
- [0063] EDLC부(230)는 발전기측 컨버터(220)와 계통측 컨버터(240) 사이의 DC링크에 위치한다. 본 발명에 적용가능한 EDLC부(230)는 표면적이 매우 큰 다공질 도체의 집전극(collector) 두 개 사이에 전해액(electrolyte)을 넣는 구조이다. 상기 집전극 봉(electrodes)의 도체에 전해액을 담으면 도체에 접하는 경계면에는 도체에 억눌려진 분자에 의한 내층이 생기고, 그 바깥쪽(전해액 측)에는 충전전하에 의해 확산운동을 하고 있는 외층이 생성된다. 이러한 EDLC부(230)는 외부에서의 인가전압이 전해액에서 전기분해가 일어나는 전압보다 낮은 범위에서는 전류가 흐르지 않아 거의 완전 절연상태가 되므로, 이를 절연막으로 하여 +, -극을 가지는 캐퍼시터 두개가 직렬로 연결되어 있는 구조가 되며 이들 사이에 전해액이 미약하게 덮여져 있는 상태가 된다.
- [0064] 상기 절연막은 자연적으로 얻어진 것으로 막 두께는 분자 한 개의 크기 정도로 얇아 대 정전용량의 캐퍼시터 제작이 가능하게 된다. 이러한 EDLC부(230)는 충/방전 속도가 매우 빠르고, 에너지 저장 능력 또한 다른 에너지 저장 장치보다 뛰어나다.
- [0065] 상기 EDLC부(230)는 DC 링크의 전력상황에 따라 충/방전 동작이 자유롭게 이루어지며, EDLC부(230)의 용량이 한계에 이르면 계통과의 수급관계가 행해짐으로써 전체 시스템의 전력 균형을 유지한다.

- [0066] 계통측 컨버터(240)는 상기 EDLC부(230)로부터 전달된 DC 전력을 AC 전력으로 변환한다. 보다 상세하게는, 상기 계통측 컨버터(240)는 상기 EDLC부(230)의 출력 전압을 계통에서 사용 가능한 AC 전압으로 변환한다. 이때, 계통측 컨버터(240)의 출력 전압은 일정 크기 및 일정 주파수를 갖는 AC 전압이 될 수 있다. 또한, 상기 출력 전압은 필요에 따라 LPF(Low Pass Filter)에 의해 고조파가 제거될 수 있다. 본 발명의 바람직한 일 실시예에서는, 상기 출력 전압은 60Hz의 주파수를 갖는 AC 전압이 될 수 있다.
- [0067] 제어부(250)는 EDLC부(230)를 통해 계통측 컨버터(240)로 전달되는 전력으로부터 계통측 기준전력량(P_u^*)을 얻고, 이를 통해 계통측 기준유효전류(i_{q_ref}) 및 계통측 기준무효전류(i_{d_ref})를 얻는다. 상기 제어부(250)는 상기 계통측 기준유효전류 및 계통측 기준무효전류를 이용하여 계통측 컨버터(240)를 제어한다. 보다 상세하게는, 상기 계통측 기준전력량(P_u^*)을 통해 얻어진 계통측 기준유효전류(i_{q_ref})를 통해 발전기 출력 변동을 안정화하고, 전력 전달을 위한 유효 전력을 제어한다. 또한, 계통측 기준무효전류(i_{d_ref})를 통해 발전기 출력 변동을 안정화하고, 전력 전달을 위한 무효 전력을 제어한다. 상기 계통측 기준유효전류(i_{q_ref}) 및 계통측 기준무효전류(i_{d_ref})는 PI 제어기에 의해 제어되고, 상기 PI 제어기를 통해 얻어진 계통측 기준전압은 PWM(Pulse Width Modulation) generator를 거쳐 계통측 컨버터(240)를 제어한다. 이하 도 7를 통해, 계통측 컨버터(240)의 제어 알고리즘을 상세히 후술한다.
- [0068] 도 7는 본 발명의 일 실시예에 따른 계통측 컨버터(240)의 제어 블록선도이다. 제어부(250)는 도 7의 제어 알고리즘을 통해, 계통측 컨버터(240)를 제어하여 풍력발전시스템의 출력 변동을 안정화시킨다. 도 7에 도시된 바와 같이, 본 발명의 바람직한 일 실시예에서 계통측 컨버터(240)에서는 영구자석 동기(210)에 의해 생성된 전력(P_e)에 대해 LPF를 이용하여 상기 전력(P_e)의 고주파 성분을 제거한다. 또한, 상기 전력(P_e)의 방향에 따라 상기 전력의 방향을 일정하게 하기 위해 -1의 스케일 변환을 수행할 수 있다.
- [0069] 이후, 백 투 백 컨버터의 DC 링크에 위치한 EDLC부(230)의 충전 상태에 따라 상기 전력의 전압 및 전류가 제한된다. 보다 상세하게는, 상기 EDLC부(230)는 콘덴서 및 전해액 커패시터에 비해 월등히 많은 용량을 갖고, 충전시에는 짧은 시간을 필요로 하지만, 에너지를 발산할 때에는 충전시보다는 긴 시간동안 에너지를 발산할 수 있다. 이와 같은 특성을 이용하여, EDLC부(230)는 급격히 풍속이 변하여 풍력발전시스템을 통해 생산된 전력량이 급격히 증가하더라도, 실제 계통으로 공급되는 전력의 양을 조절할 수 있다.
- [0070] 상기 EDLC부(230)의 충전 상태가 임계값 이상 충전되었을 때에는 발전기측 컨버터(220)를 통하여 공급되는 전력량은 제한되지 않고, 전부 계통측 컨버터(240)로 전달할 수 있다. 보다 상세하게는, 상기 EDLC부(230)의 과충전을 방지하기 위해, 상기 EDLC부(230)가 일정 이상 충전되었을 때는 계통측 컨버터(240)로 전달되는 전력량은 상기 EDLC부(230)에 의해 제한되지 않을 수 있다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상기 EDLC부(230)의 과충전을 방지하기 위한 EDLC부(230)의 기준 충전 상태는 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.
- [0071] 본 발명의 적용가능한 일 실시예에서는 EDLC부(230)의 충전 상태가 임계값 미만일 경우에는 발전기측 컨버터(220)로부터 공급되는 전력의 일부를 EDLC부(230)를 재충전하는데 사용함으로써 실제 계통으로 공급되는 전력량을 일정량 제한할 수 있다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상기 발전기측 컨버터(220)를 통하여 공급되는 전력량 중 제한되는 전력량의 비율은 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.
- [0072] 이때, 상기 EDLC부(230)의 충전 상태는 상기 제어부(250)를 통해 측정될 수 있다.
- [0073] 상기 제어부(250)는 위와 같은 방법을 통해 얻은 계통측 기준전력량(P_u^*)과 계통측 유효전력량(P_u)에 대해 PI 제어기를 적용하여 계통측 기준유효전류(i_{q_ref})를 얻을 수 있다. 또한, 상기 제어부(250)는 계통측 기준무효전력량(Q_{ref})과 무효전력(Q)에 대해 PI 제어기를 적용하여 계통측 기준무효전류(i_{d_ref})를 얻을 수 있다.

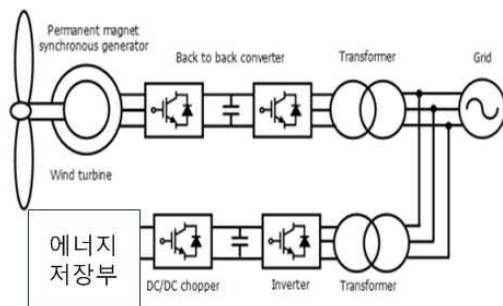
- [0074] 여기서, 상기 PI 제어기는 상기한 목적을 수행하기 위하여 공지된 기술을 이용하여 다양하게 구성될 수 있음은 본 발명의 기술적 사상에 비추어 당업자에게 자명하다.
- [0075] 제어부(250)는 계통측 기준유효전류(i_{q_ref})와 계통측 유효전류(i_q)에 대해 PI 제어기를 적용한 값과 계통측 설정전압(v_{qs})과 $\omega * L_d * i_d$ 를 이용하여 계통측 기준유효전압값을 산출할 수 있다. 이때, ω 는 계통측 주파수로 미리 설정되거나, 외부로부터 입력될 수 있다. 또한, L_d 는 d축 인덕턴스 값으로, 계통측 리액터의 유도계수로부터 얻을 수 있다.
- [0076] 또한, 제어부(250)는 계통측 기준무효전류(i_{d_ref})와 계통측 무효전류(i_d)에 대해 PI 제어기를 적용한 값과 $\omega * L_q * i_q$ 를 이용하여 계통측 기준무효전압값을 산출할 수 있다. 이때, ω 는 계통측 주파수로 미리 설정되거나, 외부로부터 입력될 수 있다. 또한, L_q 는 q축 인덕턴스 값으로, 계통측 리액터의 유도계수로부터 얻을 수 있다.
- [0077] 상기 제어부(250)는 위와 같은 방법을 통해 얻어진 계통측 기준유효전압값 및 계통측 기준무효전압을 이용하여 PWM generator를 거쳐 계통측 컨버터(240)를 제어한다.
- [0078] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

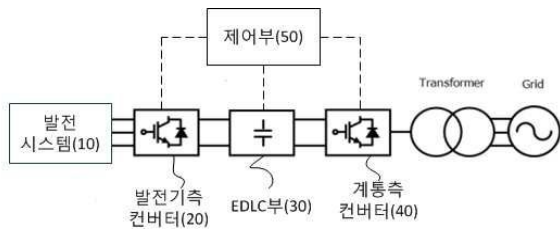
- | | |
|-------------------|---------------|
| [0079] 10: 발전 시스템 | 20: 발전기측 컨버터 |
| 30: EDLC부 | 40: 계통측 컨버터 |
| 50: 제어부 | 210: 영구자석 동기기 |
| 220: 발전기측 컨버터 | 230: EDLC부 |
| 240: 계통측 컨버터 | 250: 제어부 |

도면

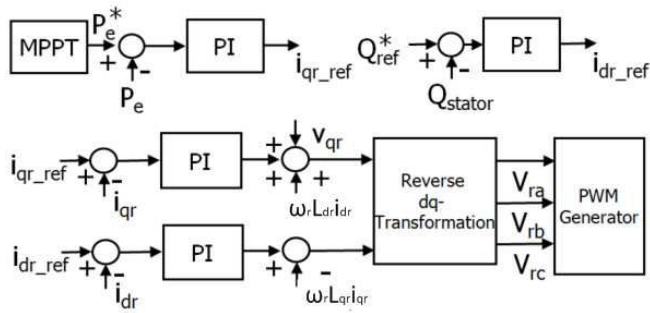
도면1



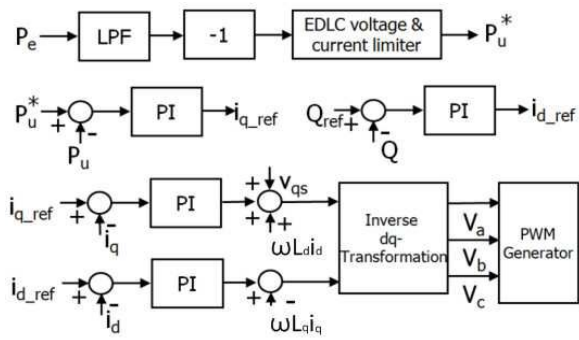
도면2



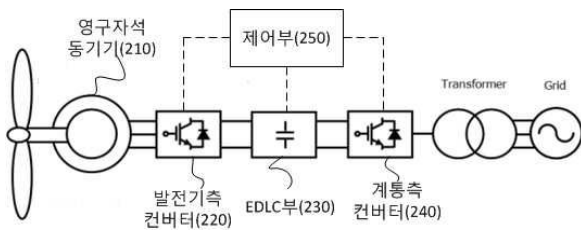
도면3



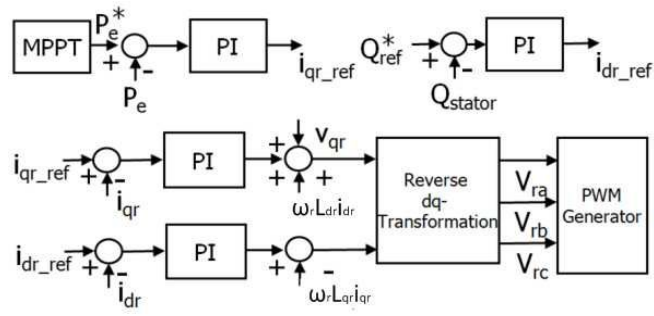
도면4



도면5



도면6



도면7

