(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0051825
(43) 공개일자 2014년05월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02P 9/30 (2006.01) *H02P 9/48* (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-7021635
(22) 출원일자(국제) 2012년02월16일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2013년08월16일
(86) 국제출원번호 PCT/IB2012/050717
(87) 국제공개번호 WO 2012/110979
국제공개일자 2012년08월23일
(30) 우선권주장
11 51281 2011년02월16일 프랑스(FR)

(71) 출원인
모터스 리로이-소머
프랑스, 앙굴렘 에프-16000, 불르바드 마셀린 리로이
(72) 발명자
모레아우, 루크
프랑스, 에프-16000 앙굴렘, 25 아베뉴 데스 마레쇼
리고, 피어
프랑스, 에프-45430 체시, 8 뤼 헨리 베르손
베르체레, 토마스
프랑스, 에프-45000 오를레앙, 20 뤼 유진 슈
(74) 대리인
특허법인필앤온지

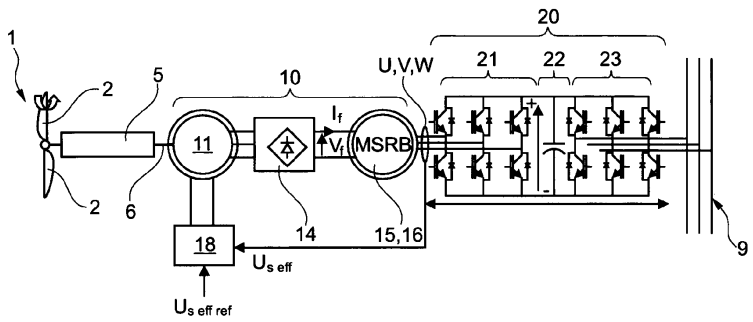
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **다양한 상황에서 동작하는 어셈블리**

(57) 요 약

본 발명은 다양한 상황, 특히 다양한 속도, 전력 또는 역률에 따라 동작하는 전기기계 어셈블리로서, 전력이 1MW 이상이고, 권선형 로터를 가지며, 특히 익사이터 또는 스프릿 링과 커뮤테이터에 의한 직접 익사이테이션에 의한, 전압을 통해 DC 전류를 제공받고, 출력 전압을 전달하는 동기식 알터네이터; 및 상기 알터네이터의 출력 전압을 정류하는 정류기를 포함하고, 상기 정류기는 펄스폭 변조 또는 다이오드기반이고, 선택적으로 DC/DC 컨버터가 수반되는 컨버터를 포함하고, 공급 전압은 상기 알터네이터의 출력 전압에 종속되는 권선형 로터에 전력을 공급한다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

다양한 상황, 특히 다양한 속도, 전력 또는 역률에 따라 동작하는 전기기계 어셈블리로서,

전력이 1MW 이상이고, 권선형 로터(15)를 가지며, 특히 익사이터(11) 또는 스프릿 링과 커뮤테이터에 의한 직접 익사이테이션에 의한, 전압(V_f)을 통해 DC 전류를 공급받고, 출력 전압(U_s)을 전달하는 동기식 알터네이터(10); 및

상기 알터네이터의 출력 전압(U_s)을 정류하는 정류기(21)를 포함하고, 상기 정류기는 가능한 펄스폭 변조 또는 다이오드기반이고, 선택적으로 DC/DC 컨버터가 수반되는 컨버터(20)

를 포함하고, 공급 전압(V_f)은 상기 알터네이터의 출력 전압(U_s)에 종속되는 권선형 로터에 전력을 공급하는 전기기계 어셈블리.

청구항 2

이전 항에 있어서,

미리 정해진 값($U_{s\ eff\ ref}$)에서 상기 알터네이터의 출력 전압(U_s)을 유지하기 위해 상기 전압(V_f)에서 작동하도록 설정된 레귤레이터(18)를 포함하는 전기기계 어셈블리.

청구항 3

이전 항에 있어서,

상기 기준 전압($U_{s\ eff\ ref}$)은 다음의 목록으로부터 적어도 하나의 로스를 최소화하기 위해 산출되는 전기기계 어셈블리: 아이언 로스, 맴돌이 전류에 의한 로스, 히스테리시스에 의한 로스, 로터에서 줄효과를 통한 로스, 스테이터에서 줄 효과를 통한 로스, 컨버터에서 전도에 의한 로스, 컨버터에서 스위칭에 의한 로스.

청구항 4

이전 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기준 전압($U_{s\ eff\ ref}$)은 속도, 전력, 역률 및 기계의 열적 상태 중 적어도 하나에 의존하는 전기기계 어셈블리.

청구항 5

이전 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기준 전압($U_{s\ eff\ ref}$)은 어셈블리의 동작 중에 실시간으로 산출되는 전기기계 어셈블리.

청구항 6

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기준 전압($U_{s\ eff\ ref}$)은 어셈블리의 동작에 앞서 어플리케이션의 함수로서 미리 산출되는 전기기계 어셈블리.

청구항 7

이전 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 알터네이터는 익사이터(11)를 포함하고, 상기 전압(V_r)은 상기 알터네이터(10)에 의해 제공되는 유효 출력 전압($U_{s\ eff}$)에 종속되는 익사이터(11)에서 필요한 익사이테이션을 발생하는 것을 가능하게 하는 전기기계 어셈블

리.

청구항 8

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 권선형 로터(15)에 전원을 공급하는 적어도 하나의 스프링 링과 커뮤테이터를 포함하는 전기기계 어셈블리.

청구항 9

이전 항 중 어느 한 항에 있어서,

정류기의 출력 전류는 DC 버스(22)에 전원을 공급하는 전기기계 어셈블리.

청구항 10

이전 항에 있어서,

일정한 버스 전압을 유지하기 위해 상기 정류기를 제어하는 레귤레이터(25)를 포함하는 전기기계 어셈블리.

청구항 11

이전 항 중 어느 한 항에 있어서,

곡선은 회전 속도(분당 회전수)의 함수로서 상기 알터네이터의 출력 전압(U_s)을 제공하고, 회전 속도가 정격 속도에 도달하면 킹크를 표시하는 전기기계 어셈블리.

청구항 12

이전 항 중 어느 한 항에 있어서,

곡선은 회전 속도(분당 회전수)의 함수로서 상기 알터네이터의 출력 전압(U_s)을 제공하고, 정격 속도 아래의 회전 속도에서 직선과 차이가 있는 전기기계 어셈블리.

청구항 13

이전 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 출력 전압(U_s)은, 정격 속도 아래의 회전 속도에서, 레귤레이션의 관점에서 정격 속도까지의 속도의 전 범위를 넘어서 상수(U/f)를 가진 레귤레이팅 전압보다 낮은 전기기계 어셈블리.

청구항 14

이전 항 중 어느 한 항에 정의된 어셈블리를 포함하는 제네레이터, 특히 풍력 터빈.

청구항 15

특히 풍력 기반의, 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 방법으로서, 특히 제1항 내지 제10항 중 적어도 어느 한 항에 따른 어셈블리에 의하고,

권선형 로터(15)를 가진 동기식 알터네이터(10)의 로터는 알터네이터의 출력 전압(U_s)에 종속되는 전압(V_f)에서 DC 전류를 공급받는 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 방법.

청구항 16

이전 항에 있어서,

상기 알터네이터의 출력 전압(U_s)은 펄스폭 변조 타입의 정류기에 의해 정류되는 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 단상 또는 다상, 예를 들어 삼상, AC 전류의 생산에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 예를 들어 풍력 터빈(wind turbine)에 의해 얻어지는 기계적 에너지의 전기적 에너지로의 전환에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 그래서 본 발명은 알터네이터, 특히 고전력의, 일반적으로는 1MW보다 크거나 같고, 예를 들어 풍력 터빈에 의한 회전에 의해 구동되는 로터를 포함하는 알터네이터 및 컨버터를 포함하는 전기기계 어셈블리에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는 권선형 로터 동기식 알터네이터(wound rotor synchronous alternators)에 관한 것이다. 이러한 구동은 조력구동, 수력 또는 해류 구동 발전기에 의해 대체할 수 있다.

[0003] 알터네이터는, 일반적으로 로터에 어느 정도 그 자체로 알려진 필드 와인딩(field winding)을 포함하고, 일반적으로 스테이터(stator)에 있는, 아마추어 와인딩(armature winding)에서, AC 전압을 발생시키기 위해 스프릿 링(split rings)과 브러시(brushes)에 의하거나, 익사이터(exciter)에 의해 DC 전류를 공급받는다.

[0004] 알터네이터로서 케이지 타입(cage-type)의 비동기식 기계를 사용하는 것이 알려져 있는데, 이러한 케이지 타입의 비동기식 기계는 간소함과 견고함의 이점이 있다. 그러나, 거의 고정된 속도에서 그것의 동작은 슬리피지(slippage) 내에서 블레이드의 방향의 반복된 수정에 의한 노이즈의 원천일 수 있고, 이는 샤프트상의 기계적인 토크의 변화를 일으킬 수 있다. 커런트 드로운(current drawn)은 중요한 변화를 겪을 수 있기 때문에, 이러한 토크 변화는 네트워크에 방해를 야기할 수 있다. 뿐만 아니라, 이론적인 전력의 최대값은 높은 풍속에는 이용될 수 없다.

[0005] 전력전자 인터페이스를 통해 네트워크에 연결된 케이지 타입의 비동기식 기계로 만들어지는 이용(use)의 경우에, 다양한 속도의 구동에 의해 다양한 속도 동작이 가능하다. 정류기(rectifier)의 존재는 DC 전압을 전달하는 것을 가능하게 하고 인버터는 이러한 네트워크에 대응하는 단위 역률을 갖는 고정된 주파수의 AC 전압을 전달하는 것을 가능하게 한다. 그러면 알터네이터의 정격 전력은 풍력 터빈에 의해 제공될 수 있는 최대 전력을 결정한다. 그러나, 사용된 컨버터는 알터네이터와 네트워크 사이에 교환된 전력의 전체에 따라 평가된다. 그러므로 그들은 중요한 비용을 나타내고, 무시할 수 없는 로스를 가지며, 전달된 에너지의 효율성과 품질에 해로운 방해를 일으킬 수 있다. 제네레이터(generator)의 정격 전력의 전체로 어쩔 수 없이 정격 초과되는(over-rated) 이러한 컨버터의 사용은, 예를 들어 정격전압의 3%까지의 손실을 일으킬 수 있다.

[0006] 사용되는 정류기는 펄스폭 변조(pulse width modulation: PWM)에 의해 제어되는 정류기일 수 있다. 이러한 경우, 무효 전력(reactive power)의 전달은 제어가능할 수 있으나, 다이오드 브리지를 포함하는 단순한 정류기가 사용될 때에는 유효전력(active power)의 전달은 동일하게 유지된다.

[0007] 이중 여자 비동기식 기계(doubly fed asynchronous machine)가 사용되는 경우, 전력전자 인터페이스가 로터와 네트워크 사이에 삽입되는 동안 스테이터는 네트워크에 직접 연결되어서 슬리피지(slippage)와 이로 인한 대략 30%의 회전속도의 변화 범위를 허용한다. 그러나, 이것은 케이지 타입의 비동기식 기계보다 더 복잡한 구조를 갖고 있어 더 비싸며 더 낮은 신뢰도를 갖는 기계이다. 네트워크에 직접적으로 연결된 기계의 스테이터, 또한 그것은 네트워크 방해가 있는 동안 전류에 있어서 큰 변화를 겪을 수 있다.

[0008] 또한 그것은 특히, 영구 자석(permanent magnet)을 포함하는, 동기식 기계를 사용하는 것으로 알려져 있다. 특히, 영구 자석 알터네이터의 사용은 풍력 에너지의 전환으로 알려진 인버터가 수반된 정류기(rectifier)를 포함할 수 있는 전력전자 인터페이스가 수반된다. 회전 속도의 변화의 범위는 통상적으로 정격 회전 속도의 30%에서 120%이다. 그러나, 이러한 알터네이터는 불량의 경우, 예를 들어 단락(short circuit)이나 과속(overspeed)의 경우, 기계를 디-익사이트(de-excite) 하는 것의 불가능성뿐만 아니라, 특히 영구자석의 존재로 인해 중요한 비용의 결점을 드러낸다.

[0009] 또한 로터에서 네트워크로부터 인버터가 수반된 정류기를 포함할 수 있는 전력전자 인터페이스를 통해 끌어낸 와인딩에 의해 익사이티드된(excited) 동기식 기계를 사용하는 것은 알려져 있다. 변화의 범위는 마그넷 타입 기계를 위한 것과 같은 자릿수(order of magnitude)를 갖는다.

[0010] EP 1 187 307 A2 출원은 컨버터에 공급하는, 클로 폴 로터(claw pole rotor)를 포함하는 전기 기계를 개시한다.

클로 폴 로터는 작은 사이즈와 저전력의 전기 기계의 특징이 있다.

[0011] US 5 083 039 A 특허는 비동기식 케이지 기계 및 토크 또는 전압을 제어하기 위하여 파라미터 i_d와 i_q에 대한 레귤레이션 동작(regulation act)을 개시한다.

[0012] US 6 239 996 B1 특허는 자동차 배터리를 충전하기 위한 기계에 관한 것이다

[0013] US 6 437 996 B1 특허는 여러 킬로미터를 넘어 최소 손실로 에너지를 전송하기 위해 무효 전력을 감소시키도록 일정한 DC 전압으로 스위칭하는 것을 목적으로 한다.

[0014] 그러므로 감소된 규모와 감소된 제조 비용을 갖는 풍력 에너지 전환 어셈블리를 이용하기 위한 요구가 존재한다.

[0015] 또한 얻어진 효율성을 최적화하는 것을 가능하게 하는 어셈블리로부터 이익을 얻기 위한 요구가 존재한다

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명은 모든 또는 일부의 전술한 요구들을 만족하게 하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0017] 따라서, 본 발명의 대상은, 일 측면에 따르면, 다양한 상황(regime), 특히 다양한 속도, 전력 또는 역률에서 동작하는 전기기계 어셈블리로서, 다음을 포함한다:

[0018] - 권선형 로터를 갖고, 특히 익사이터(exciter) 또는 스프릿 링(split ring)과 커뮤테이터(commutator)에 의한 직접 익사이테이션(excitation)에 의한, 전압(V_f)을 통해 DC 전류를 제공받고, 출력 전압(U_s)을 전달하는 동기식 알터네이터,

[0019] - 알터네이터의 출력 전압(U_s)을 정류하는(for rectifying) 정류기를 포함하되, 상기 정류기는, 가능한(possibly), 펄스폭 변조 또는 다이오드 기반(diode-based)이고, 선택적으로 DC/DC 컨버터가 수반되는 컨버터,

[0020] 상기 공급 전압(V_f)은, 알터네이터의 출력전압(U_s)에 종속되는 권선형 로터에 전력을 공급한다.

[0021] 상기 어셈블리는 미리 정해진 값($U_{s\ eff\ ref}$)에서 알터네이터의 출력전압(U_s)을 유지하기 위해 상기 전압(V_f)에서 작동하도록 설정된 레귤레이터를 포함할 수 있다. 권선형 로터에 전력을 공급하는 상기 공급 전압(V_f)은 알터네이터의 출력전압(U_s)과 기준 전압($U_{s\ eff\ ref}$)과의 차이를 최소화하도록 결정될 수 있다.

[0022] 상기 기준전압($U_{s\ eff\ ref}$)은 전기기계 어셈블리의 효율성을 수정, 특히 최대화하기 위해 선택될 수 있다.

[0023] 바람직하게는, 상기 기준전압($U_{s\ eff\ ref}$)은 다음의 목록으로부터 적어도 하나의 로스를 최소화하기 위해 산출될 수 있다: 아이언 로스, 맴돌이 전류에 의한 로스, 히스테리시스에 의한 로스, 로터에서 줄효과를 통한 로스, 스테이터에서 줄 효과를 통한 로스, 컨버터에서 전도에 의한 로스, 컨버터에서 스위칭에 의한 로스.

[0024] 상수(U/f)를 가진 레귤레이션의 경우 주파수의 함수로서 전압(U_s)의 변화는 직선이다. 본 발명에서 주파수의 함수로서 출력 전압(U_s)의 변화는 직선이 아닐 수 있고, 알터네이터의 전력이 상당히 증가하는 경향이 있는, 최소 회전 속도(예를 들어 분당 500회전 이상)부터 정격 속도(예를 들어 분당 1500회전 이상)까지 이르는 회전 속도 범위 이상에서 특히, (U/f)는 상수가 아니다. 이 속도의 범위(예를 들어 분당 500-1500회전)를 넘어서면, 주파수의 함수인 알터네이터의 출력전압의 형태는 회전 속도를 갖는 하나의 조각으로부터 다른 것까지 조금씩 증가하는 경사를 갖는 직선 조각들의 연속일 수 있다.

[0025] 출력 전압의 변화를 제공하고, 그러므로 주파수의 함수로서 전압 세트포인트의 변화를 제공하는 곡선은, 여기서 전압이 상수로 유지되는 플래토(plateau)를 연결하는 표시된 킹크(kink)에 의해 연결되는 두 부분을 표시할 수 있다. 또한 여기서 U/f가 최대값(U)까지 상수인 종래의 레귤레이션(regulation)은 U가 상수로 유지되는 경우, 플래토를 표시하지만, 킹크(kink)는 없다.

[0026] 본 발명에 따른 레귤레이션으로, U_s는 상수 U/f를 가지고, 특정 회전 속도까지 레귤레이션에서 통상적으로 접하는 전압보다 적을 수 있고, 그러면 여기서 전압은 최대값이 된다.

[0027] 바람직하게는, 최적화된 상황(regime)에서 조직적으로 동작하는 것이 추구되고, 다시 말해 주어진 동작 상황(regime)을 위해, 다시 말해 주어진 풍속에서, 최대 전력이 제공되는 것이 요구된다. 본 발명에 따른 알터네이터는 다양한 주파수에서 전기에너지를 제공하는 것을 가능하게 하는데, 그것은 네트워크에 적응되어야 하고, 이것은 전력 컨버터를 통해 얻어지고, 인버터뿐만 아니라 정류기를 포함하며, DC 버스를 경유하여 연결된다.

[0028] 너무 높은 풍속에서는, 풍력 터빈의 회전속도는 그것의 온전함을 보호하기 위한 최대값으로 제한된다

[0029] 일정한(constant) 전압에서 동작하는 영구 자석 동기식 기계 또는 권선형 로터 동기식 기계와 비교할 때, 얻어지는 컨버터/기계 어셈블리의 전체적 효율이 개선된다.

[0030] 기준전압($U_{s\ eff\ ref}$)은 어셈블리의 동작 상황(regime)에 의존할 수 있다. 기준 전압($U_{s\ eff\ ref}$)은 속도, 전력, 역률 및 기계의 열적 상태 중 적어도 하나에 의존하는데, 그것은 예를 들어 열탐침기(thermal probe)에 의해 알려질 수 있다.

[0031] “역률”이라는 표현은 전기적 리시버의 특성을 의미하는 것으로 이해되고, 그것은, 시변 전류 상황(정현파 또는 그와 다른 것)하에서 전력 공급받는 전기 다이폴을 위한 것이고, 이러한 다이폴에 의해 소비되는 유효전력을, 전류와 전압의 유효값의 곱(피상 전력: apparent power)으로 나눈 것과 동일한 것이다. 그것은 항상 0과 1사이에 있다. 특히, 만약에 전류와 전압이 시간의 사인함수라면, 역률은 전류와 전압 사이의 위상변화의 코사인값과 같다. 즉 역률은 일반적으로 "cosϕ" 로 불린다.

[0032] 주어진 동작 상황에서, 다시 말해 주어진 속도와 주어진 전력에서, 기계적인 로스는 고정된다.

[0033] 주어진 동작 상황에서, 만약 전압이 너무 높으면, 너무 큰 익사이테이션(excitation) 때문에 아이언 로스(iron losses)와 로터에서의 줄효과(Joule effect)를 통한 로스가 중요하게 된다. 반대로, 스테이터(stator)에서는 줄효과를 통한 로스가 낮게 유지된다. 실제로, 주어진 전력에서, 만약 전압이 높으면, 전류는 낮다. 반대로, 너무 낮은 전압은 스테이터에서의 줄효과를 통한 심각한 로스와 스테이터에서의 아이언 로스와 로터에서의 줄효과를 통한 낮은 로스를 야기한다. 컨버터의 로스는 스테이터 전류, 기계 전압 및 정류된 전압(recified voltage)과 관련이 있다.

[0034] 어셈블리의 로스를 최소화하고 효율을 최대화하는 것을 가능하게 하는 두 동작 상황(regime) 사이에 최적의 전압이 존재한다고 이해된다. 이 최적의 전압은 바람직하게는 기준 전압으로 선택되고 각 어플리케이션(application)에 의해 산출될 수 있다.

[0035] 그것은 어셈블리의 동작에 앞서 산출되거나 실시간으로 산출될 수 있다. 그것은 어셈블리의 동작 동안 실시간으로 산출되거나, 또는 다른 어플리케이션의 함수로 미리 산출될 수 있다. 예를 들어 어플리케이션 및/또는 동작 상황, 특히, 로터의 회전 속도의 함수로서 여러 개의 미리 저장된 값 중에서 기준 전압($U_{s\ eff\ ref}$)의 값을 선택하는 것이 가능하다. 예를 들어 어셈블리는 각각의 주어진 동작 상황에 각각 적합한 여러 개의 기준전압($U_{s\ eff\ ref}$)의 미리 저장된 값의 미리 저장된 테이블을 포함할 수 있다. 자동적으로, 하나의 동작 상황으로부터 다른 것으로 스위칭하는 것은 기준 전압을 변경하는 것을 수반한다.

[0036] 알터네이터가 익사이터(exciter)를 포함하는 경우, 전압(V_r)은 알터네이터에 의해 제공되는 유효출력전압($U_{s\ eff}$)에 종속되는 익사이터에서 필요한 익사이테이션(excitation)을 발생하는 것을 가능하게 한다.

[0037] 변형예로서, 알터네이터의 권선형 로터의 익사이테이션(excitation)은 스프릿 링(split ring)과 커뮤테이터(commutator)에 의해, 다이렉트(direct)일 수 있다. 스프릿 링(split ring)과 브러시 시스템(brush system)에 의한 로터로의 전력 공급의 경우, 전압(V_r)은 미리 정해진 기준 전압($U_{s\ eff\ ref}$)에 근거하여 직접적으로 제어된다.

[0038] 어셈블리는 정류기(rectifier)의 전자 스위치를 제어하는 레귤레이터(regulator)를 포함할 수 있다.

[0039] 정류기(rectifier)의 제어는 위상, 기계의 역률, 다이렉트 커런트(direct current)의 인텐시티(I_D) 및 쿼드러처 커런트(quadrature current)의 인텐시티(I_Q)에 종속될 수 있고, 이 모든 것은 정류기(rectifier)의 전자 스위치를 제어하는데 사용될 수 있다. 정류기(rectifier)의 출력전류는 DC 버스에 전력을 공급할 수 있다. 정류기

(rectifier)는 일정한 버스 전압을 유지하기 위해 제어될 수 있다. 어셈블리는 이러한 목적의 레귤레이터를 포함할 수 있고, 그것은 DC 버스의 단자를 가로질러 측정된 전압($U_{dc\ measured}$)과 기준전압($U_{dc\ ref}$)의 함수로서 정류기의 스위치를 제어하는 레귤레이터의 전류 기준에 종속하는 것을 가능하게 한다. 이 전류 기준은 쿼드러쳐 및/또는 다이렉트 커런트의 인텐시티(intensity)의 기준값일 수 있다.

[0040] 더욱이 본 발명의 대상은 제네레이터(generator), 특히 앞서 정의한 바와 같은 어셈블리를 포함하는 풍력 터빈이다.

[0041] 풍력 터빈은 풍력 터빈의 블레이드, 예를 들어 3개의 블레이드,에 의한 회전으로 구동되는 어셈블리의 기계적 샤프트의 속도를 증가하는 것을 가능하게 하는 멀티플라이어(multiplier)를 포함할 수 있다.

[0042] 더욱이 본 발명의 대상은, 특히 풍력 근원의, 기계적 에너지를, 특히 상기에서 정의된 바와 같은 어셈블리에 의한, 전기적 에너지로 변환하는 방법이고, 여기서 권선형 로터를 가진 동기식 알터네이터의 로터는 알터네이터의 출력 전압(U_s)에 종속되는 전압(V_f)에서 DC 전류를 공급받는다. 특히 알터네이터의 출력 전압(U_s)과 미리 정해진 기준 전압($U_{s\ eff\ ref}$) 사이의 차이를 최소화하는 것이 추구된다.

[0043] 펄스폭 변조 타입 정류기를 갖는 알터네이터의 출력전압 방법으로 정류(rectify)하는 것이 바람직할 수 있다.

발명의 효과

[0044] 본 발명에 따른 전기기계 어셈블리는 영구 자석을 가진 알터네이터와 효율성의 면에서 동일한 이점을 제공하면서, 이러한 영구 자석의 존재에 관련된 결점이 없다. 본 발명에 따른 어셈블리는 실제로 어셈블리의 비용과 유지보수의 용이함을 개선시키는 것이 가능하다. 게다가, 본 발명에 따른 어셈블리는 영구 자석 알터네이터와 대비하여 쉽게 디-익사이트될(de-excited) 수 있다.

[0045] 본 발명은 권선형 로터의 단자를 가로지르는 전압을 조정함으로써 권선형 로터 알터네이터와 다양한 상황(regime)에서 동작하는 관련된 컨버터의 효율성을 최적화할 수 있다. 그래서 전압은 로터의 익사이테이션(excitation) 방법에 의해 제어될 수 있다.

[0046] 본 발명에 따른 어셈블리는 제조하는데 덜 비싸다. 게다가, 결함, 예를 들어 네트워크의 결함이 있는 경우, 익사이테이션 전압에서 작동하는 것이 가능한데, 이것은 영구 자석 알터네이터가 있는 경우에는 가능하지 않다. 본 발명에 따른 어셈블리는 전기 네트워크의 결점을 처리하는 것이 가능하고, 이것은 특정한 규제 요구 사항을 만족시키는 것을 가능하게 할 수 있다.

[0047] 다양한 상황에서의 동작은 풍력 터빈에 의해 수집되는 에너지를 최적화하는 것을 가능하게 한다.

도면의 간단한 설명

[0048] 본 발명은 본 발명의 바람직한 실시예와 첨부된 도면을 따르는 상세한 설명을 읽음으로써 보다 잘 이해될 수 있다:

도 1은 본 발명에 따라 구현된 풍력 터빈을 개략적인 방법으로 나타내고,

도 2는 도 1의 풍력 터빈의 동기식 알터네이터의 구성을 개략적인 방법으로 도시하고,

도 3은 알터네이터와 그와 관련된 컨버터의 동작을 개략적인 방법으로 나타내고,

도 4는 익사이터의 컨트롤 체인의 개략적인 모습이고,

도 4a는 레귤레이터(18)의 동작을 도시하는 블록도이고,

도 5는 다른 알려진 어셈블리와 비교된 본 발명에 따른 어셈블리의 효율성을 나타내고,

도 6 내지 15는 어떻게 본 발명에 따른 레귤레이션 또는 레귤레이션들이 모델링될 수 있는지를 개략적인 방법으로 나타내고,

도 16은 풍력 터빈을 위한 로드 커브(load curve)를 나타내고, 그리고 그 커브는 알터네이터의 출력전압을 속도의 함수로 제공하며,

도 17은 보다 자세한 방법으로 출력전압의 커브를 속도의 함수로 나타내고,

도 18은 알터네이터의 로터의 속도의 함수로 효율성을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0049] 도 1에 도시된 것은 본 발명에 따른 풍력 터빈(1)인데, 이는 바람에 의한 회전으로 구동되도록 의도된, 고정된 블레이드(2), 예를 들어 3개의 블레이드에, 나셀(nacelle)을 포함한다. 나셀(nacelle)은 마스트(mast)의 상부에 고정되는데, 표시되지 않았다. 멀티플라이어(5)는 풍력 터빈의 기계적 샤프트(6)의 속도를 증가하는 것을 가능하게 한다

[0050] 나셀은 기계적인 샤프트(6)에 의해 받은 풍력 에너지를 전기 에너지로 컨버팅하고 네트워크(19)에 공급하는 컨버터(20)뿐만 아니라 동기식 알터네이터(10)를 수용한다. 알터네이터는 이 목적을 위해 출력 전압($U_{s\ eff}$)을, 예를 들어 3상 전압을 전달하는데, 3상은 통상적으로 U,V 및 W로 지정된다.

[0051] 설명한 예에서, 알터네이터는 스테이터(12)에 익사이터 로터(13)의 익사이터 아마추어 와인딩(exciter armature winding)에서 AC 전류를 발생하기 위해 DC 전류를 공급받는 익사이터 필드 와인딩(exciter field winding)을 갖는 익사이터를 포함하고, 그 후 그것은 정류된 전류(I_F)를 가진 알터네이터의 권선형 로터(15)의 메인 필드 와인딩을 공급하고 알터네이터의 스테이터(16)에 있는 메인 아마추어에서 전류를 생산하기 위해 정류기 브릿지(14)에 의해 정류된다. 메인 아마추어(main armature)의 각 상은 하나 또는 그 이상의 와인딩(winding)을 포함할 수 있다.

[0052] 도 1 및 2에 도시된 바람직한 실시예는 반전된(inverted) 알터네이터로 이루어지는 동기식 익사이터(11)를 사용하고, 여기서 익사이테이션(excitation) 회로는 고정된 자기장을 발생시키기 위해, 스테이터(12) 상에 위치하고, 전압 레귤레이터(18)를 통한 전압(V_r)에서 DC 전류를 공급받는다. 익사이터(11)의 로터(13)는 메인 인덕터를 공급하기 위해 회전하는 다이오드 브리지 정류기(14)에 의해 전류가 정류된 3상 와인딩 시스템을 포함한다. 익사이터는 기계적 샤프트(6) 상에 장착되고 메인 로터(15)처럼 같은 속도에서 구동된다.

[0053] 도시된 바람직한 실시예에서, 그리고 전력에 유념하면, 그것은 대략 몇 MWs 일 수 있고, 높은 전력 알터네이터일 수 있는데, 익사이테이션 전류(excitation current)를 제공하기 위해 샤프트(6)에 사용될 수 있는 기계적인 전력을 사용하는 것이 유리하다. 알터네이터의 로터로서 동일한 샤프트에 장착된 익사이테이션 시스템은 이와 같이 사용되었다. 그것은 변형예처럼 다를 수 있다.

[0054] 많은 수의 폴의 쌍(pairs of poles)을 포함하고, 그러므로 큰 직경인, 낮은 속도와 높은 토크의 동기식 알터네이터를 사용하는 것이 가능하다. 유리하게, 이와 같은 알터네이터는 속도 멀티플라이어를 사용하는 것을 피하는 것을 가능하게 한다. 이것은 로스와 결함을 제공할 수 있는 속도 멀티플라이어가 복잡한 기계적 아이템인 한 유리할 수 있다.

[0055] 익사이터(11)의 것뿐만 아니라 컨버터(20)와 권선형 로터의 전력공급 전압의 레귤레이션은, 도 3을 참조하면서 상세하게 설명될 것이다.

[0056] 컨버터(20)는 알터네이터에 의해 전달되는 AC 전압($U_{s\ eff}$)과 AC 전류(I_s)를 DC 전압과 DC 전류로 변환하는 것을 가능하게 하는 펄스폭 변조(pulse width modulation: PWM) 타입의 정류기(21)를 포함한다.

[0057] 정류기(21)는 이러한 DC 전압과 이러한 DC 전류를 회복하는 인버터(23)에 커패시터(C)를 포함하는 DC버스(22)에 의해 연결된다. 인버터의 제어는 네트워크(9)에 적합한 진폭과 주파수를 가진 신호를 인버터의 출력에서 조절하고 얻기 위해 레귤레이트된다.

[0058] 본 발명에서, 펄스폭 변조 정류기(21)와 인버터(23)는 DC 버스(22)를 통해 서로 디커플(decouple)된다. DC 버스(22)를 통한 경로는 인버터(23)가 진폭과 주파수를 레귤레이트하는 것을 허용한다.

[0059] 사용되는 정류기(21)는 전력에서 양방향성(bidirectionl)일 수 있다. 적절한 제어를 통해 높은 주파수에서의 고조파를 제거함으로써 정현파 전류를 얻는 것이 가능하다. 이러한 목적을 위해서, 전류는, 디커플링 알고리즘(29)과 함께 다이렉트 커런트(I_{Dref})와 쿼드러처 커런트(I_{Qref})의 기준 인텐시티의 함수로서, 알터네이터의 스테이터(16)의 전압과 전류 사이의 위상 변위(ϕ)를 제어하기 위해 정류기(21)의 스위치를 제어함으로써 28에서 레귤레이트되는데, 이는 가능한 대로 역률($\cos\phi$)의 수정을 허용한다. 기준 위상변위(ϕ_{ref})와 측정된 쿼더러처 인텐시티($I_{qmeasured}$)의 함수로서, 24에서 위상 변위의 레귤레이션(regulation)은 줄효과를 통한 스테이터 로스를 감소

하는 것을 가능하게 하는데, 역률 1을 위해서 스테이터와 컨버터의 전도 줄 로스는 최소이다. 그래서 어셈블리의 전체적 능률은 만족스럽다.

[0060] 다양한 실시예에서 그리고 도시된 것처럼, 그것의 단자를 가로질러 측정된 전압($U_{dc\ measured}$)과 기준 전압($U_{dc\ ref}$)의 함수로서, 25에서 정류기(21)의 출력 전력을 레귤레이트하는 것이 가능한데, 그렇게 함으로써 전력의 더 나은 지역 제어를 허용한다.

[0061] 레귤레이터의 예로, 시장에서 규격화된 레귤레이터를 사용하는 것이 가능하다. 인용될 수 있는 것 중에서: 리로이 소머 모델(Leroy Somer models), 예를 들어 D600, R449, the BASLER DECS 100, 200 모델, ABB Unitrol 100 모델 등.

[0062] 레귤레이팅 어셈블리(24,25 및 28)를 구현하기 위해, 전력 컨버터 모듈(전압 및/또는 cosφ 레귤레이션), 예를 들어 ABB ACS800 타입을 사용하는 것이 가능하다.

[0063] 본 발명에 따른 레귤레이션의 예는 도 6 내지 15의 도움을 통해 자세한 방식으로 설명될 것이다.

[0064] 자세히 기술한 예에서, 정류기(21)는 PWM타입이고 그것은 도 6에 나타난 것처럼 모델링될 수 있다. 자세히 기술된 예에서, 정류기(21)는 전력에서 양방향성(bidirectional)이다. 정류기의 적절한 제어는 알터네이터에서 높은 주파수에서 고조파를 제거함과 함께 정현파 전류를 얻는 것을 가능하게 할 수 있다.

[0065] 알터네이터의 스테이터의 전압과 전류 사이의 위상 변위(φ)의 제어가 수행될 수 있고, 기계의 역률(cosφ)의 수정을 허용한다.

[0066] 그래서 아이언 로스를 최소화하는 정현파를 얻는 것이 가능하다. 또한 위상 변위(φ)의 제어는 줄효과를 통한 로스에 영향을 주는 것을 가능하게 할 수 있는데, 이는 1과 동일한 cosφ에 대한 최소값이다.

[0067] 그럼에도 불구하고, 이러한 제어는 전도와 컨버터의 스위칭에 의한 로스를 만족 값(satisfactory value)으로 감소시키는 것을 가능하지 못하게 할 수 있는데, 이는 정격 전력의 대략 1.5%가 남는다.

[0068] 정류기(21)는 DC 버스(22)의 전압(U_{dc})의 25에서 레귤레이션에 참여할 수 있는데, 이러한 레귤레이션은 인버터(23)의 정격 이상(over-rating)을 피하는 것이 가능할 수 있다.

[0069] 본 발명의 여기에서 자세히 기술된 바람직한 실시예에서, 정류기(21)의 구성요소(100)는 다음의 불 행위(Boolean behaviour)를 갖는 완벽한 스위치로 간주된다:

[0070] - 0: 개방,

[0071] - 1: 단락.

[0072] 정류기(21)의 기본 구조는 도 7에 나타난다.

[0073] 스위치는 이상적이고 전류에서 양방향인 것으로 고려된다.

[0074] 정류기(21)의 구성을 나타내는 이 행렬은 다음과 같이 정의된다:

[0075] $$[MC] = \begin{bmatrix} T_1 & T_2 & T_3 \\ T_4 & T_5 & T_6 \end{bmatrix}$$

[0076] 여기서, 도 7에 나타난 것처럼, T1, T2 및 T3은 각각 상보되는 것으로 스위치 T4, T5 및 T6를 갖는 3개의 스위치이다. 행렬 MC는 제어규칙의 함수로서 실시간으로 변화한다.

[0077] DC 버스의 단자를 가로지르는 전압(U_{dc})이 안정하고, 인버터 컨벤션(convention)을 사용한 것에 의한다고 가정하면, m 포인트(전압 U_{dc}의 접지)에 대한 각 위상의 기준 퍼텐셜 A, B, C는

$$\begin{bmatrix} v_{am} \\ v_{bm} \\ v_{cm} \end{bmatrix} = [Mc]^t . \begin{bmatrix} U_{dc} \\ 0 \end{bmatrix}$$

[0078]

[0079] 이다.

[0080] 스타 커플링되고(being coupled as a star) 정류기(21)의 입력과 연결되는 알터네이터, 그것은 스테이터에서 메인 아마추어 와인딩(main armature winding)의 각 상의 단자를 가로지르는 퍼텐셜(potentials)을 산출하는 것이 가능하다. 따라서, 알터네이터의 스타 커플링(star coupling) 지점은 "n"에 의해 정의되고 각 상을 위한 동일한 임피던스와 안정된 전압이 고려된다.

[0081] 상기의 조건과 함께, 아래의 방정식 세트를 세우는 것이 가능하다:

$$v_{an} + v_{bn} + v_{cn} = 0 \quad v_{an} = -(v_{bn} + v_{cn})$$

$$3.v_{an} = -3.(v_{bn} + v_{cn})$$

$$3.v_{an} = 2.v_{an} - v_{bn} - v_{cn}$$

$$3.v_{an} = (v_{an} - v_{bn}) + (v_{an} - v_{cn}) = v_{ab} + v_{ac}$$

$$3.v_{an} = (v_{ax} - v_{bx}) + (v_{ax} - v_{cx})$$

$$3.v_{an} = (v_{am} - v_{bm}) + (v_{am} - v_{cm})$$

$$3.v_{an} = 2.v_{am} - v_{bm} - v_{cm}$$

$$v_{an} = \frac{1}{3}.(2.v_{am} - v_{bm} - v_{cm})$$

[0082]

[0083] V_{bn}과 V_{cn}을 위해 동일한 방식에서 진행하면, 다음의 행렬 방정식이 얻어진다.

$$\begin{bmatrix} v_{an} \\ v_{bn} \\ v_{cn} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}.\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} v_{am} \\ v_{bm} \\ v_{cm} \end{bmatrix}$$

[0084]

[0085] 그러므로 Matlab-Simulink® 소프트웨어를 통해 모델링함으로써 도 8에 나타난 순간 크기에서 정류기 모델(21)은 다음과 같다:

$$\begin{bmatrix} v_{an} \\ v_{bn} \\ v_{cn} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}.\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}.[MC]^t.\begin{bmatrix} U_{dc} \\ 0 \end{bmatrix}$$

[0086]

[0087] 정류된 전류(i_{rec})는 다음과 같이 된다.

$$i_{rec} = \begin{bmatrix} i_a & i_b & i_c \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix}$$

[0088]

[0089] 도 9에 나타난 바와 같이, 알터네이터와 정류기(21)를 포함하는 전자기계 어셈블리가 R//C회로에 의해 로드된(loaded) 경우, DC 버스(22)의 작용(behaviour)이 지금 검토될 것이다.

[0090] 버스(22)의 전압(U_{dc})과 부하 전류(i_{1d})는 다음의 방정식에 의해 관련된다.

$$i_c = C.\frac{dU_{dc}}{dt} = i_{rec} - i_{ld} = (i_a.T_1 + i_b.T_2 + i_c.T_3) - i_{ld}$$

[0091]

[0092] 여기서 Tj(j=1,2,3)는 스위칭 함수이다.

[0093] 자세히 기술된 예에서, 인버터와 네트워크를 대표하는 부하(R)는 3.15MW의 정격 전력 하에서 800V의 DC 전압(U_{dc})을 갖도록 선택된다.

[0094] 저항(R)은 부하 효과를 시뮬레이션하거나 시스템의 행동을 보기 위해 사용될 수 있다.

$$P_{dc} = \frac{U_{dc}^2}{R}$$

[0095] 버스의 전압(U_{dc})는 부하 전력 및 저항과 관련된다:

[0096] 자세히 기술된 예에서, R은 0.2(Ω)과 같게 선택된다.

[0097] 자세히 기술된 예에서, 전압(U_{dc})은 800V(±5%)의 값으로 레귤레이트되어야 한다.

$$\Delta U_{dc} = 5\% \times U_{dc} = 40\ V$$

[0098]

[0099] DC 버스(22)의 커패시터(C)의 값은, 첫번째 근사(approximation)에서, 커패시터는 정격 부하 전류의 10%를 제공할 수 있어야 한다는 가정을 세움으로써 결정될 수 있다. 더욱이, DC버스(22)의 전압은, 자세히 기술된 예에서, 그것의 정격 값에 대하여 5%를 넘어서 변화해서는 안된다.

$$i_c = C.\frac{dU_{dc}}{dt}$$

[0100] 라는 것을 알고 있으므로, 그래서

$$C = i_c.\frac{\Delta t}{\Delta U_{dc}} = 10\%.2700\ .\frac{50.10^{-3}}{5\%.800}$$

우리는

$$\Delta t = 5.T = \frac{5}{f_{machine}} = \frac{5}{97} \approx 0.050\ s$$

으로 생각하고,

[0101] 그러므로 $C \approx 250\ mF$ 이다.

[0102] 전자기 어셈블리의 레귤레이션을 연구하기 위해, 안정 상태(steady state) 동작이 고려되고, 반면에 알터네이터의 스테이터 저항값은 무시한다.

[0103] 다음 방정식이 얻어질 수 있다:

$$\begin{cases} V_d = -\omega.L_q.I_q \\ V_q = \omega.L_d.I_d + \omega.\phi_f \end{cases}$$

[0104] 그리고 다이렉트 커런트(I_d)를 0으로 고려함으로써

$$P = I_d.V_d + I_q.V_q = \omega.\phi_f.I_q$$

.

[0105] 그래서 기계의 유효전력은 쿼더러처 전류(I_Q)에 의존한다.

[0106] 정류기(21)의 효율성 이내에서, 기계의 유효전력은 DC버스(22)의 전력에 대응한다.

[0107] 마그넷 타입의 동기식 기계(magnet-type synchronous machine)의 경우, 다이렉트 커런트(I_D)의 인텐시티와 쿼더러처 커런트(I_Q)의 인텐시티의 레귤레이션을 수행하기 위한 자유도(degrees of freedom) 2가 가능하다.

[0108] 전류(I_Q)는 DC버스(22)를 레귤레이트하는데 사용될 수 있고 전류(I_D)는 알터네이터의 스테이터(16)의 전류와 전압 사이의 위상 변위(ϕ)를 레귤레이트하기 위해 사용될 수 있으며, 그렇게 함으로써 $\cos\phi=1$에서 동작 가능성을 제공한다.

[0109] DQ평면에서 전류의 레귤레이션을 허용하기 위해, I_D와 I_Q축 차이의 커플링을 제거하는 것이 바람직하다. 이것은 도 10에 보여질 수 있는 것처럼, 디커플링 알고리즘(29)을 사용함으로써 수행될 수 있다.

[0110] 이 디커플링 알고리즘에서 재분류의 목적은 D와 Q의 2개의 축을 따라 2개의 RL 회로를 제거하는 것인데 이는 사용되는 레귤레이터의 계산이 보다 간단하도록 하기 위해서이다.

[0111] 두 축 사이에서 변수의 디커플링 이후, 다음의 행렬 방정식이 얻어진다.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_d & 0 \\ 0 & L_q \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} \frac{di_d}{dt} \\ \frac{di_q}{dt} \end{bmatrix}$$

[0112]

[0113] 그러면 전류와 관련된 방정식은 PI 콜렉터를 통해 레귤레이트될 수 있는 1차 시스템의 형태이다.

[0114] V_d와 V_q 신호는 스위치 DQ->abc를 허용하는 블록으로, 그리고 나서 정류기(21)의 스위치(100)의 제어를 만드는 단계로 보내진다.

[0115] 스테이터(16)의 전류와 전압 사이의 위상 변위(ϕ)의 레귤레이션의 테두리 안에서, 모터 컨벤션과 파크 참조 프레임에서의(in the Park reference frame with motor convention) 전압의 다이어그램은 도 11에 나타나 있다:

[0116] $\overrightarrow{i_s} = \overrightarrow{i_d} + \overrightarrow{i_q}$ 그러므로 $\left\{\begin{matrix} i_d = i_s.\sin\psi \\ i_q = i_s.\cos\psi \end{matrix}\right\}$

$$\psi = \tan^{-1}\left[\frac{i_d}{i_q}\right]$$

[0117] 따라서 그러므로 전류(I_d)의 도움으로 내부 위상 변위각(ϕ)을 조절하는 것이 가능하다.

[0118] cosϕ가 1과 같은 상태로 동작하는 것이 가능하다고 알려져 있다.

[0119] 도 12는 cosϕ가 1인 상태에서 모터 컨벤션과 파크 참조 프레임에서의(in the Park reference frame with motor convention) 전압 다이어그램을 나타낸다. 도 12에 나타난 방법은 단위 역률을 가지고 동작을 허용하는 내부 위상 변위각을 추정하는데 사용될 수 있다.

[0120] 스테이터(16)의 전압과 전류 사이의 위상 변위 차이가 0과 같은 경우, 그러면 우리는 스테이터 전류 벡터와 동상의(in phase) 스테이터 전압 벡터를 가진다.

[0121] 무효전력이 0이고, 결과적으로 $Q = v_d.i_q - v_q.i_d = 0$ 따라서 $v_d.i_q = v_q.i_d$

[0122] 그러므로:

$$\frac{i_d}{i_q} = \frac{v_d}{v_q} = \frac{R_s.i_d - w_r.\Phi_q}{R_s.i_q + w_r.\Phi_d}$$

[0123]

[0124] 이것은 다음 관계를 이끈다 $\Phi_d.i_d + \Phi_q.i_q = 0$

[0125] 전류 I_d와 I_q를 그들의 각 프로젝션 $\boxed{i_s.\sin\psi}$ 및 $\boxed{i_s.\cos\psi}$ 으로 교체하면, 우리는

$\boxed{L_d.i_s^2.\sin^2\psi + L_q.i_s^2.\cos^2\psi - M.i_f.i_s.\sin\psi = 0}$ 을 얻는다.

[0126] $\cos^2\psi = 1 - \sin^2\psi$ 라는 것을 알고 있으므로, 우리는 변수 $x = \sin\psi$ 의 변화를 만들고 2차 방정식을 풀이한다. 우리는 다음과 같은 식을 얻는다:

$$\psi = \sin^{-1}\left[\frac{\Phi_f - \sqrt{\Phi_f{}^2 - 4.i_s^2.(L_d - L_q).L_q}}{2i_s.(L_d - L_q)}\right]$$

[0127] Φ_f 는 익사이테이션 플럭스.

[0128] 전류(I_Q)를 아는 것은 DC 버스(22)를 레귤레이트하는 것에 사용될 것이고, 그러므로 전류(I_D)는 이전 방정식으로부터 산출된다.

[0129] cosϕ=1을 이용하여 기계의 동작에 대응하는 내부의 위상 변위각이 결정하는 것이 가능하다

[0130] 그리고 이 각도에 기초하여, 전류(I_D)의 기준이 산출된다.

[0131] 위상 변위의 레귤레이션은 Matlab-Simulink® 소프트웨어의 도움으로 모델링될 수 있다. 이러한 모델링은 도 13에 나타나 있다.

[0132] 레귤레이션을 위해 DC 버스(22)의 전압(U_{dc})의 25에서, 다음의 가정이 사용될 것이다: 알터네이터는 안정 상태(steady state)이고, 스테이터 저항값은 무시되며 전류(I_D)는 0이다.

[0133] 아래의 행렬 방정식이 얻어질 수 있다:

$$\begin{bmatrix} -v_d \\ -v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & -L_d.w \\ L_q.w & R_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_d & 0 \\ 0 & L_q \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{di_d}{dt} \\ \frac{di_q}{dt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ e_q = \Phi_f.w \end{bmatrix}$$

$$P_{machine} = v_d i_d + v_q i_q = v_q i_q = \Phi_f.w.i_q$$

$$P_{dc} = \eta_{converter}.P_{machine} = \eta_{converter}.w.\Phi_f.i_q = U_{dc}.i_{ld}$$

[0134]

[0135] 그래서 전류(I_Q)의 도움을 통해 DC 버스(22)의 전압(U_{dc})를 레귤레이트하는 것이 가능하다.

[0136] 이 전압은 PI 레귤레이터의 도움을 통해 대략 기준 값 정도로 레귤레이트될 수 있다.

[0137] 도 14는 종속된 시스템의 블록도를 나타내고 여기서 값(U_{dc})은 기준값($U_{dc\ ref}$)에 종속된다. C(p)는 라플라스 도메인에서 PI 레귤레이터를 나타내는 전달함수를 표시한다.

$$\begin{cases} C(p) = K_p.(1 + \frac{1}{T_i.p}) \\ F(p) = \frac{1}{C.p} \end{cases}$$

[0138]

[0139] 이 결과:

$$\left\{ U_{dc}(p) = \underbrace{\frac{\frac{K_p}{CT_i}}{p^2 + \frac{K_p}{C}.p + \frac{K_p}{CT_i}}}_{A(p)}.U_{dcref}(p) + \underbrace{\frac{\frac{p}{C}}{p^2 + \frac{K_p}{C}.p + \frac{K_p}{CT_i}}}_{B(p)}.(K_p.U_{dcref}(p) - i_{ld}(p)) \right\}$$

[0140]

[0141] 위의 방정식의 항 B(p)는 t->+∞ 인 경우 0인 경향이 있고 항 A(p)는 PI 레귤레이터의 파라미터를 산출하는 것을 가능하게 한다

$$A(p) = \frac{W_n^2}{p^2 + 2.z.W_n.p + W_n^2}$$

[0142]

[0143] 라 두면,

[0144] 여기서 Wn 은 고유 각주파수(natural angular frequency)이고 z는 댐핑 계수(damping coefficient)이다.

[0145] A(p) 내의 항을 비교하는 것은

$$\begin{cases} K_p = 2.z.W_n.C \\ T_i = \dfrac{2.z}{W_n} \end{cases}$$

[0146]

[0147] 을 제공한다.

[0148] 자세히 기술된 예에서, 낮은 오버슈트(overshoot)를 가진 빠른 응답을 얻기 위해 전압 레귤레이션의 통과대역은 15Hz i.e. Wn = 2.π.15=94.3 rd/s의 일반적인 값으로 고정되고 z는 0.707과 같게 설정된다.

[0149] C=250mF이기 위해, 25에서 PI 레귤레이터의 파라미터는

$$\begin{cases} K_p = 33.3 \\ T_i = 0.112 \end{cases}$$

[0150] 이다.

[0151] 스테이터(16)의 전류의 종속과 유사한 방식으로, PI 레귤레이터를 가진 스테이터(16)의 출력전압을 종속하게 하는 것이 가능하다.

[0152] 자세히 기술된 예에서, 예를 들어 10 대 100의 비율과 같이, 종속하는 전류의 통과대역(passband)은 전압의 그것보다 높다.

[0153] 이제 인버터(21)의 28에서 PWM 제어의 Matlab-Simulink® 소프트웨어의 도움을 통한 바람직한 모델링은 도 15를 참조하여 설명될 것이다

[0154] 여기서 도 15에 나타난 바와 같이 이것은 사인-삼각 PWM 제어를 수반하는데, 그 원리는 캐리어(고주파수 삼각신호)와 전류의 레귤레이터로부터 발생하는 낮은 주파수의 정현파 신호를 비교하는 것이다.

[0155] 자세히 기술된 예에서 사용되는 샘플링 주파수는 5kHz이다.

[0156] 입력 신호 mod a, mod b, mod c는 디커플링 알고리즘에 의해 바로 보내진다. 출력에서, 스위치(100)를 위한 제어신호가 회복된다.

[0157] 이러한 PWM 제어는 캐리어의 주파수에 의해 고정되는, 일정한 스위칭 주파수의 장점을 드러낸다.

[0158] 본 발명에서, 특히 펄스폭 변조 타입의, 정류기를 갖는 권선형 로터 동기식 알터네이터의 결합에 의해, 알터네이터의 전류의 2개의 인텐시티, 다이렉트(I_D) 와 쿼더러처(I_Q), 그리고 알터네이터 익사이테이션 전류(I_F)와 같이 자유도(degrees of freedom) 3을 사용하는 것이 가능하다. 자세히 기술된 앞의 예에 설명된 것처럼, 쿼더러처 전류(I_Q)는 DC버스(22)를 레귤레이트하기 위해 사용된다. 다이렉트 커런트(I_D)는 위상 변위(ϕ)를 레귤레이트하기 위해 사용된다. 익사이테이션 전류(I_F)는 익사이테이션의 정도를 조절하는 것을 가능하게 할 수 있는데, 이 전류는 컨버젼 체인의 효율성을 최적화하기 위한 알고리즘을 위해 입력 정보로 사용될 수 있다. 익사이테이션 전압을 통해 로스를 최소화하기 위한 이 조사는 체계적인 연구에 의하거나 결정론적인 알고리즘에 의하거나 확률적인 타입에 의해 수행될 수 있다.

[0159] 마지막으로, 알터네이터(10)에 의해 제공되는 전압($U_{s\ eff}$)은 레귤레이터(18)에 의해 종속하기 위해 사용되는데 전압(V_r)은 익사이터(11)에서 필요한 익사이테이션을 발생시키는 것을 가능하게 만들고, 도 4에 도시된 바와 같이, 같은 방법으로 산출된 미리 정해진 기준 전압($U_{s\ eff\ ref}$) 차이는 최소이다.

[0160] 레귤레이터(18)의 다른 바람직한 실시예는 도 4a에 도시되어 있다. 세트포인트 필터가 수반된 PID 타입의 레귤레이터가 사용된다.

[0161] 도 4a 레귤레이터의 계수(기계의 각 타입을 위해 다시 산출된)의 계산 차수(order of magnitude):

[0162] Kpr [0..1500]

[0163] Kir [0..200]

[0164] Kdr [0..12000]

[0165] Tdr [0..0.1] 초(seconds)

[0166] Ka [0..100]

[0167] Tda [0..0.05] 초(seconds)

[0168] 영구 자석 동기식 알터네이터의 파크 모델링(Park modelling)과 비교하면, 파크 모델(a Park model)에 의한 본 발명에 따른 어셈블리의 모델링은 분당 회전수인 알터네이터의 회전 속도의 함수로 주어진, 도 5에 도시된 계수 A, B, B' 를 얻는 것을 가능하게 한다. 모델링에서, 도 3에 도시된 것처럼, 인버터 부분(23)과 네트워크(9)는 저항부하(R_{ld})로 간주될 수 있다.

[0169] 풍력 터빈 생산 존(zone)에 대응하는 속도의 범위, 다시 말해 실질적으로 1080와 실질적으로 1440rpm(정격 속도) 사이에서, 본 발명에 따른 어셈블리의 효율성B는 최적화되는데, 이는 영구 자석 동기식 알터네이터의 A와 매우 가깝다. 효율성B' 는 본 발명에 따른 어셈블리로 얻어지고, 어떠한 효율성 최적화 전략 없이 사용된다(전압 $U_{s\ eff\ constant}$).

[0170] 사용되는 효율성 최적화 전략은 전반적인 시스템 로스를 나타내는 기능을 최소화함으로써 효율성을 최대화하기 위한 것이다.

[0171] 예를 들어 몇 가지의 접근방법(approaches)이 사용될 수 있다. 예를 들어 온라인 최적화를 사용하는 것이 가능하고, 여기서 손실은 실시간 수치기법(real-time numerical scheme)에 의해 최소화된다. 또한 매핑에 의해 최적화를 사용하는 것이 가능하고, 여기서 메모리 매핑이 로스를 최소화하는 물리적인 양의 기준값(reference)을 산출하기 위해 사용된다. 마지막으로, 대수적 연산(algebraic calculation)을 사용하는 것이 가능하다.

[0172] 대수적 접근(algebraic approach)으로써 알터네이터와 컨버터의 손실을 고려하는 전형적인 어플리케이션은 아래에서 자세히 설명된다.

[0173] 기계의 손실은 다음과 같이 모델링될 수 있다.

[0174] 스테이터에서의 줄 로스: $P_{js} = 3.R_1.I_s^2$: (컨벤셔널 + 애디셔널 로스)

[0175] 로터에서의 줄 로스: $P_{jr} = R_f.I_f^2$,

[0176] 아이언 로스: $P_{iron} = Losses_{Eddy} + Losses_{Hysteresis}$ 이는 가장 일반적으로 사용되는 모델에 대응되는데, 그러므로 $P_{iron} = k.\Phi^2 = \{k_h.w + k_f.w^2\}.\Phi^2$

[0177] K_f: 맴돌이 전류에 의한 로스에 관한 계수.

[0178] k_h: 히스테리시스에 의한 로스에 관한 계수,

[0179] w: 전기적인 각 주파수.

[0180] $v_s = \frac{d\Phi}{dt}$ 과 $\bar{v}_s = j.w.\Phi$ 을 고려하면, 따라서 $\Phi = \frac{V_s}{w}$

[0181] $P_{iron} = k.\Phi^2 = \left\{k_h.w + k_f.w^2\right\}\Phi^2 = k_1.V_s^2$ 여기서 $k_1 = \left(\frac{k_h}{w} + k_f\right)$

[0182] 기계의 시험과 아이언 로스의 측정에 근거하면, 계수 k_1을 산출하는 것이 가능하다.

[0183] 그러므로 $P_{iron} = k_1 V_s^2$

[0184] 컨버터에서의 로스: 문헌에서, 여러 연구는 파워 컨버터의 로스를 모델링하는 것을 다룬다. 단순화하기 위해, 쵸핑(chopping)과 전류(I_s)의 제곱에 비례하는 로스 때문에 컨버터에서 로스를 일정한 로스(constant loss)로 평가하는 것이 가능하다.

[0185] 제공된 어셈블리에서 시험을 수행함으로써, 동작 곡선이 얻어진다. 각 동작 포인트에서, 다양한 전압값에 대한 어셈블리의 로스와 효율성이 산출된다. 각 동작 포인트에서, 전압 값은, 최적의 전압이라고 일컫는, 효율성은 최대이고, 그러므로 최소의 손실이 기록된다. 그러면 에너지 최적화는 풍력 터빈의 각 동작 포인트에서, 이러한 최적의 전압($U_{s\ eff\ ref}$)을 선택함으로써 수행된다. 그러면 최적화된 전압은 레귤레이터(18)에 적용되는 세트포인트($U_{s\ eff\ ref}$)처럼 사용된다.

[0186] 에너지 최적화는 효율성 측면에서 전력과 관련된 더 유리하고 더 중요한 모든 이득(gain)을 얻는 것을 가능하게 하고, 연간 생산시간을 고려할 때, 이는 아마 대략 1에서 11MW 정도 가능할 것이다.

[0187] 속도가 제3의 정격속도까지 변화할 수 있는 존(zone)에서, 효율성의 최적화는 매우 효율적인 것으로 나타나는데, 이것은, 바람이 약할 때 바람으로부터 추출된 전력을 최대화하려고 할 때 이점이 있을 수 있다.

[0188] 권선형 로터 동기식 기계의 효율성을 최적화하기 위한 전략을 채택함으로써, 영구 자석 동기식 기계의 성능을 근사화하는 것이 가능하고, 동시에 관련된 영구자석의 현재 결점을 피한다.

[0189] 다이렉트 및 쿼터러처 전류는 DC 버스의 전압, 토크, 유용한 전력 및 위상 변위(ϕ)를 레귤레이트하는데 사용될 수 있다.

[0190] 마지막으로, 익사이테이션(excitation)은 효율성을 최대화하고 과속도를 관리하기 위해 쓰일 수 있다.

[0191] 반대로, 영구 자석 기계는 익사이테이션을 조절하는 것을 할 수 없다. 기전력이 회전 속도에 따라 선형적으로(linearly) 변화하는 한, 과속도의 경우 과전압의 위험이 존재한다.

[0192] 도 16은 알터네이터의 회전 속도에 대한 함수로서(P곡선) 풍력 터빈의 전력의 변화를 KW단위로 나타낸다. 속도는 분당 회전수로 표시된다.

[0193] 도 17뿐만 아니라, 도 16에도 또한 표시된 것은, 상수(U/f)를 가진 종래기술에 따라 레귤레이트된 종래의 기계에 대한 회전 속도의 함수로서 전압의 변화(곡선 A)와, 본 발명에 따른 바람직한 기계에 대한 회전 속도의 함수로서 전압의 변화(곡선 V)이다.

[0194] 최적화된 레귤레이팅 전압(U)은 손실을 최소화하기 위해 전력과 속도의 함수로서 산출되었다. 특히, 아이언 로스 및 줄 로스의 균형을 유지하기 위해 용이하게 선택되고, 이는 그것의 합을 최소화하기 위한 것이다.

[0195] 특히 도 17을 더 참조하면, 전력이 감소하는 경우, 불필요하게 기계를 자화(magnetize)하지 않고 과도한 아이언 로스를 발생시키지 않기 위해 전압이 감소하는 것이 보인다. 그래서 특정 속도까지, 특히 정격 속도까지, 최적화된 전압은 최적화되지 않은 전압에 비해 낮을 수 있다.

[0196] 최적화된 전압을 위해 회전속도의 함수로서, 출력 전압(및 그러므로 기준 전압)을 제공하는 곡선은 정격 속도 아래의 직선과 차이가 있을 수 있고, 반대의 경우에는 정격 속도까지 상수(U/f)로 레귤레이션이 수행된다.

[0197] 상수(U/f)를 가진 레귤레이션에 따른 전압이 최대가 되는 경우, 본 발명에 따른 최적화된 U의 속도의 함수로서 전압의 변화는 최대 동작 전압을 얻기 위한 전압 급증 덕분에 킹크(kink)를 보여줄 수 있는데, 이것은 도시된 예에서 분당 1600회전에서, 정격 속도의 수준에서 곡선상에 킹크(kink)가 보인다.

[0198] 도 18에서 나타난 것은 분당 회전수로 표시되는 속도의 함수로서, 본 발명에 의해 얻어지는 효율성(B 곡선)과 상수(U/f)를 가진 본 발명이 아닌 효율성(C 곡선)이다.

[0199] 도 18은 본 발명에 의해 얻어진 효율성에서의 개선을 도시한다. 효율성 면에서 이득(G)은, 낮은 속도에서 더 중요한 것으로 보여지는데, 풍력 터빈은 약한 바람에서 더 효과적이다.

[0200] 다른 의미로 명시되지 않는다면, “포함하는”이라는 표현은 “적어도 하나를 포함하는”과 같은 의미로 이해되어야 한다.

부호의 설명

[0201] 10: 알터네이터 11: 익사이터 12, 16: 스테이터

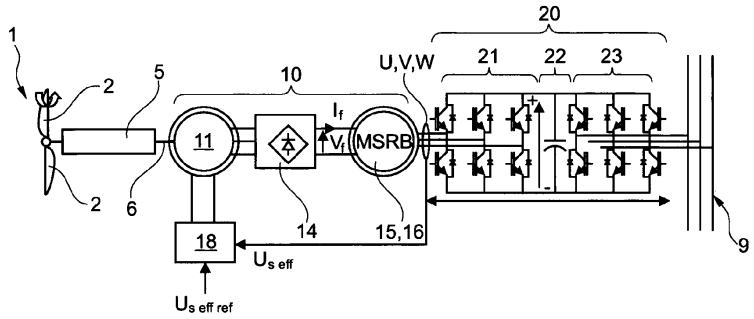
13, 15: 로터 18, 25: 레귤레이터 9, 19: 네트워크

20: 컨버터 21: 정류기 22: DC 버스

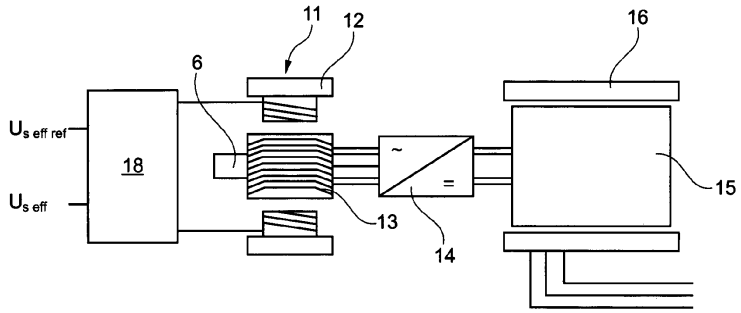
23: 인버터

도면

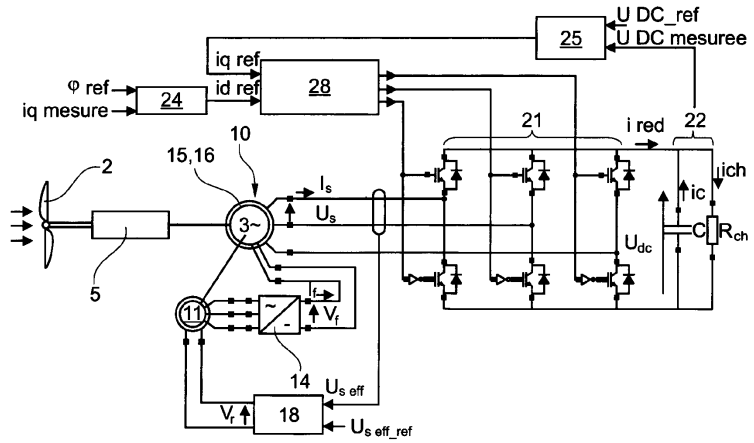
도면1



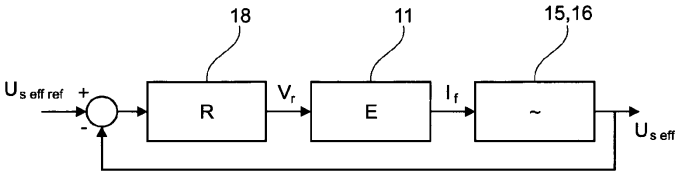
도면2



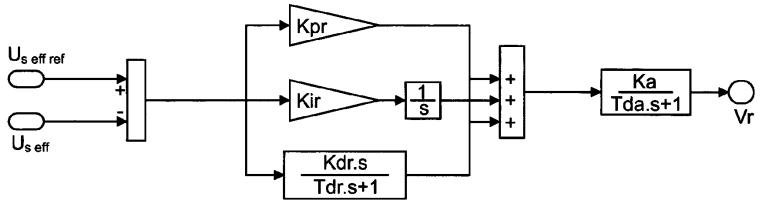
도면3



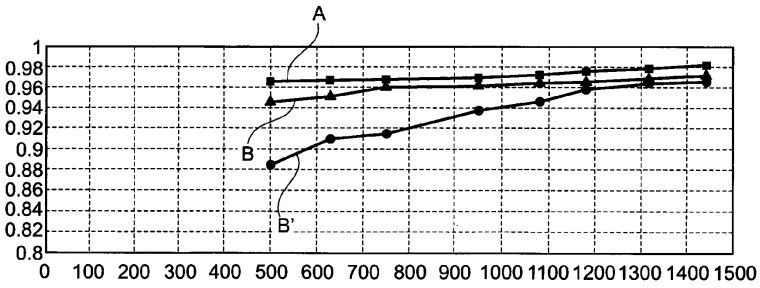
도면4



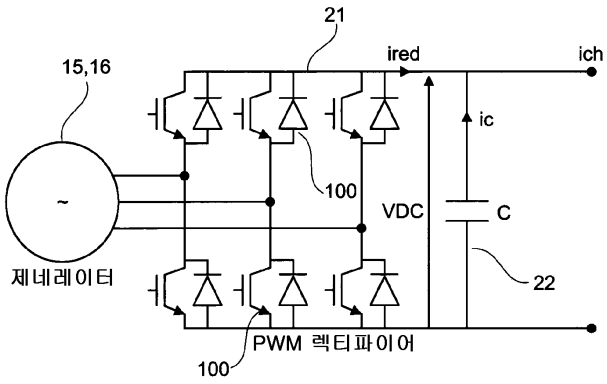
도면4a



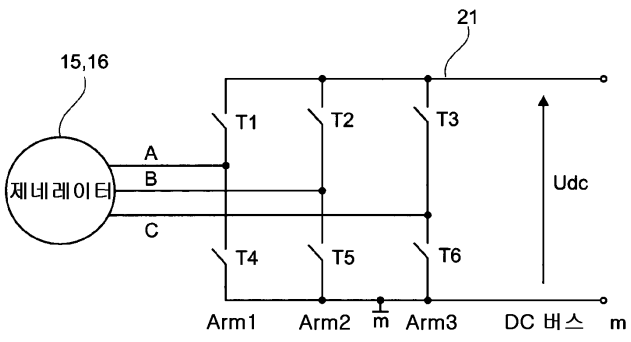
도면5



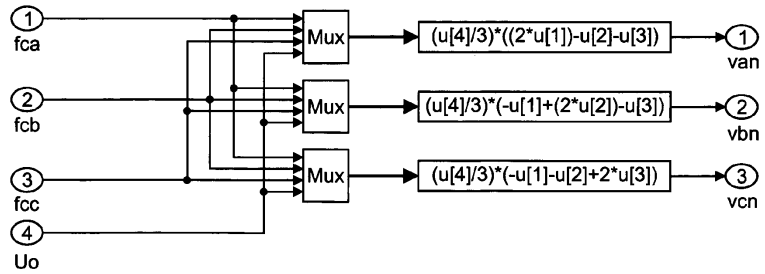
도면6



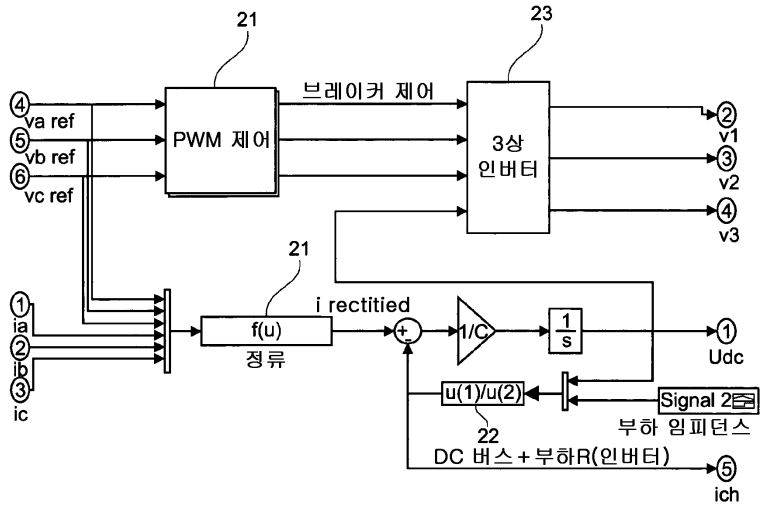
도면7



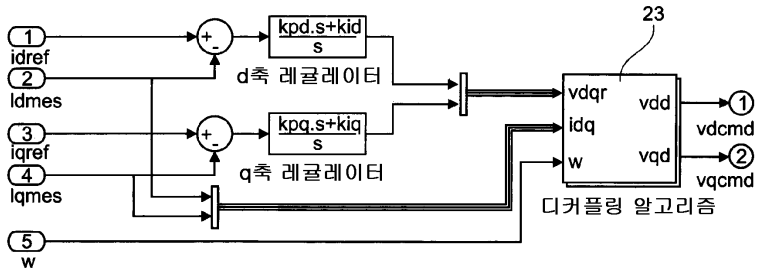
도면8


1
fca
2
fcb
3
fcc
4
Uo
Mux
Mux
Mux
(u[4]/3)*((2*u[1])-u[2]-u[3])
(u[4]/3)*(-u[1]+(2*u[2])-u[3])
(u[4]/3)*(-u[1]-u[2]+2*u[3])
1
van
2
vbn
3
vcn

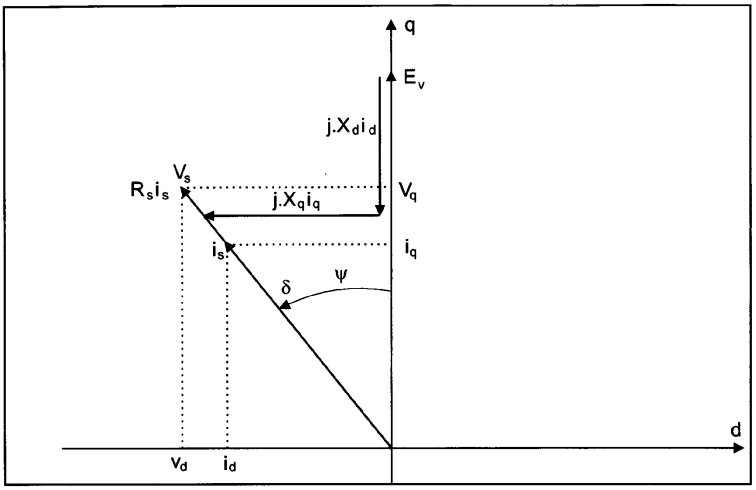
도면9


21
23
브레이커 제어
4
va ref
5
vb ref
6
vc ref
PWM 제어
3상
인버터
2
v1
3
v2
4
v3
21
i rectitied
1
ia
2
ib
3
ic
f(u)
정류
1/C
1
s
1
Udc
u(1)/u(2)
Signal 2
부하 임피던스
22
DC 버스+부하R(인버터)
5
ich

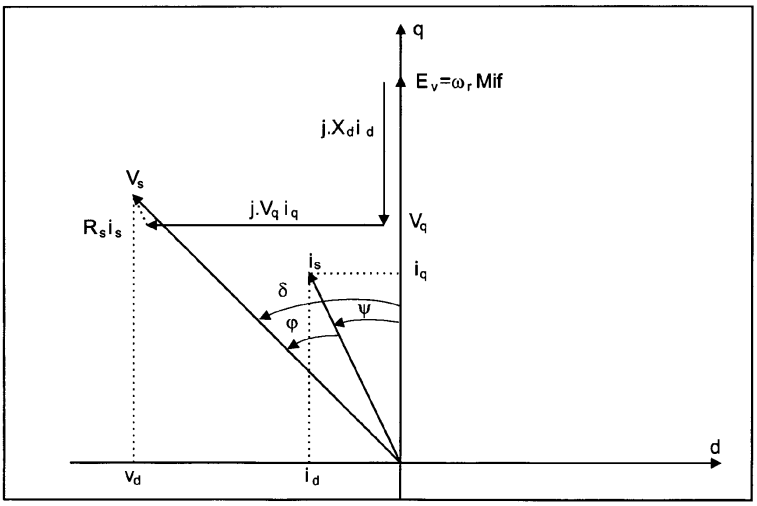
도면10


23
1
idref
2
ldmes
3
iqref
4
lqmes
5
w
kpd.s+kid
s
d축 레귤레이터
kpq.s+kiq
s
q축 레귤레이터
vdqr
idq
w
vdd
vqd
디커플링 알고리즘
1
vdcmd
2
vqcmd

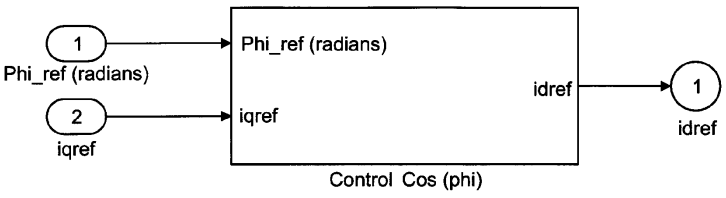
도면11



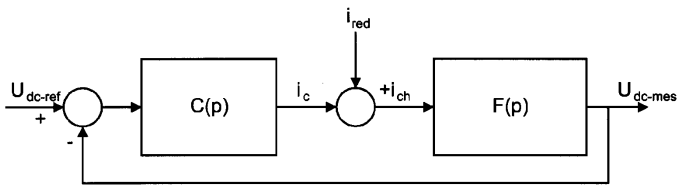
도면12



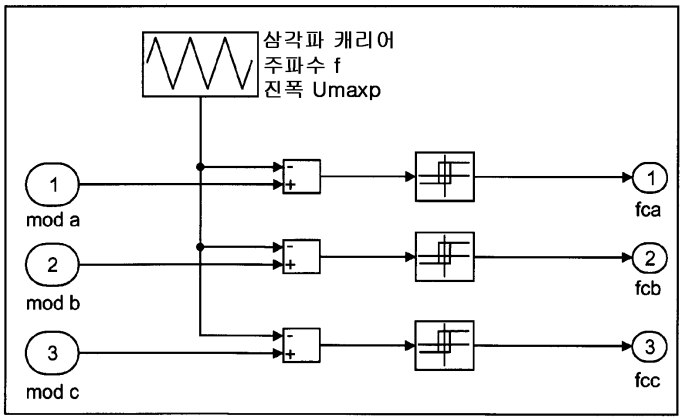
도면13



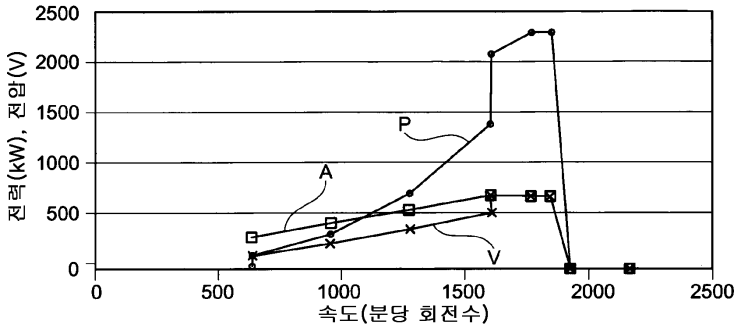
도면14



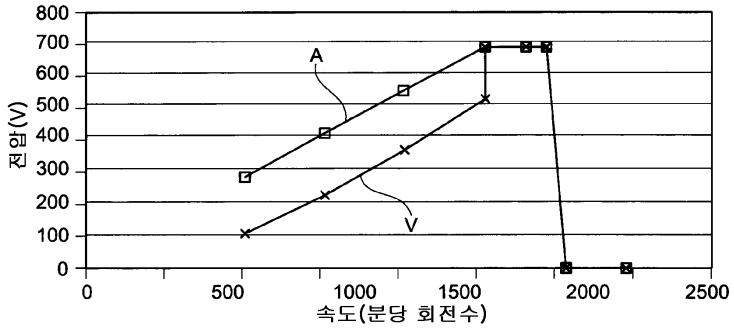
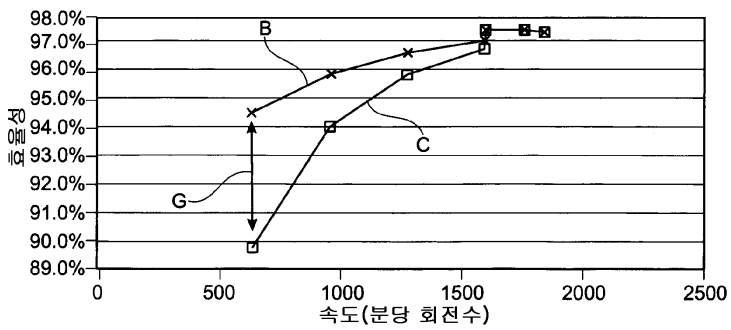
도면15



도면16



도면17



도면18