



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0003950  
(43) 공개일자 2016년01월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02P 9/04 (2006.01) G05F 1/67 (2006.01)  
H02P 9/48 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2014-0081801  
(22) 출원일자 2014년07월01일  
심사청구일자 2014년07월01일

(71) 출원인  
인하대학교 산학협력단  
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)  
(72) 발명자  
이준민  
서울 광진구 능동로34길 98, 401호 (능동)  
김영석  
경기 부천시 원미구 중동로280번길 63, 609동 1101호 (중동, 중흥마을아파트)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
이원희

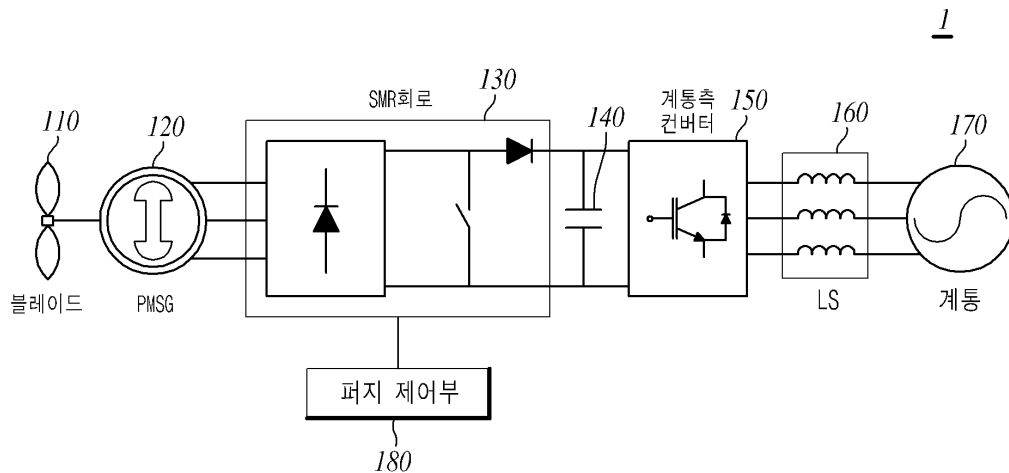
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템 및 방법

(57) 요약

SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템이 개시된다. 영구자석 동기기로부터 3상 교류전류를 수신하는 다이오드 정류기, 다이오드 정류기의 양단과 연결된 스위치 및 에노드가 스위치의 일단과 연결된 다이오드를 포함하는 SMR(Switched-mode Rectifier)회로 및 영구자석 동기기의 현재 전력값과 영구자석 동기기의 이전 전력값에 대한 차이값을 기초로 퍼지제어를 수행하여 스위치의 듀티비(duty ratio)를 가변시켜 최대전력점을 추종하는 퍼지 제어부를 포함한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

**박민기**

경기 광명시 디지털로 64, 107동 806호 (철산동, 철산한신아파트)

**홍주훈**

서울 동작구 양녕로36길 34, 501호 (상도동, 메이저빌)

**박순재**

서울 양천구 목동동로12길 60, 101동 1102호 (신정동, 목동현대아파트)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

영구자석 동기기로부터 3상 교류전류를 수신하는 다이오드 정류기, 상기 다이오드 정류기의 양단과 연결된 스위치 및 에노드가 상기 스위치의 일단과 연결된 다이오드를 포함하는 SMR(Switched-mode Rectifier)회로; 및

상기 영구자석 동기기의 현재 전력값과 상기 영구자석 동기기의 이전 전력값에 대한 차이값을 기초로 퍼지제어를 수행하여 상기 스위치의 듀티비(duty ratio)를 가변시켜 최대전력점을 추종하는 퍼지 제어부;를 포함하는 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 영구자석 동기기는,

내부의 동기임피던스를 통해 3상 부스트 컨버터의 역할을 포함하는 것을 특징으로 하는 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템.

#### 청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 퍼지 제어부는,

상기 듀티비에 따라 출력된 전류 및 전압의 측정값을 기초로 상기 영구자석 동기기의 전력을 산출하는 것을 특징으로 하는 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템.

#### 청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 퍼지 제어부는,

입력변수와 출력변수를 소속함수(membership function)로 변환하는 퍼지화부;

상기 변환된 입력변수와 출력변수를 기초로 규칙기반(rule base) 테이블을 생성하고, 상기 생성된 규칙기반 테이블을 이용하여 퍼지값을 산출하는 추론엔진부; 및

상기 산출된 퍼지값을 실제 수치로 변환하여 퍼지제어가 수행된 듀티비를 산출하는 비퍼지화부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템.

#### 청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 퍼지 제어부는,

상기 영구자석 동기기의 최대전력이 생성되도록 상기 듀티비에 퍼지제어를 수행하여 가변스텝 사이즈의 가중치를 더하거나 빼는 것을 특징으로 하는 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템.

#### 청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 퍼지 제어부는,

상기 차이값이 양수이고, 상기 듀티비가 증가하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 더하며,  
상기 차이값이 양수이고, 상기 듀티비가 감소하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 빼는 것을 특징으로 하는 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템.

#### 청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 퍼지 제어부는,

상기 차이값이 음수이고, 상기 듀티비가 증가하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 빼며,  
상기 차이값이 음수이고, 상기 듀티비가 감소하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 더하는 것을 특징으로 하는 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템.

#### 청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 퍼지 제어부는,

상기 듀티비가 가변하면서 터빈의 특성곡선 및 미분 연쇄법칙을 기초로 상기 특성곡선의 극대점을 추종하는 것을 특징으로 하는 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템.

#### 청구항 9

영구자석 동기기의 현재 전력값과 상기 영구자석 동기기의 이전 전력값에 대한 차이값을 산출하는 단계;

상기 산출된 차이값을 기초로 퍼지제어를 수행하여 스위치의 듀티비(duty ratio)를 가변시켜 최대전력점을 추종하는 단계;를 포함하고,

상기 최대전력점을 추종하는 단계는,

입력변수와 출력변수를 소속함수(membership function)로 변환하고, 상기 변환된 입력변수와 출력변수를 기초로 기 설정된 규칙기반(rule base)을 이용하여 퍼지값을 산출하며, 상기 산출된 퍼지값을 실제 수치로 변환하여 퍼지제어가 수행된 듀티비를 산출하는 것을 특징으로 하는 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전방법.

### 발명의 설명

### 기술 분야

본 발명은 소형풍력발전시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 SMR회로를 기초로 센서리스 퍼지 알고리즘을 이용하여 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템 및 방법에 관한 것이다.

[0001]

## 배경 기술

- [0002] 석유, 석탄 등 화석연료의 사용으로 인해 환경오염과 지구 온난화 문제가 대두되고 있는 현재, 세계의 에너지 수요는 점점 증가되어 왔다. 몇몇 보고서는 세계의 에너지 소비량이 2050년까지 3배가 될 것으로 예상한다.
- [0003] 이에 최근 화석에너지의 고갈에 대한 대체에너지로 풍력 및 태양광 발전시스템이 각광을 받고 있다.
- [0004] 특히, 풍력은 자연상태의 무공해 에너지원으로서 대체 에너지원 중 가장 경제성이 높은 에너지원이다. 풍력발전 시스템은 다양한 형태의 풍차를 이용하여 바람 에너지를 기계적 에너지로 변화하고, 이 기계적 에너지로 발전기를 구동하여 전력을 얻어내는 발전시스템이다. 풍력발전시스템은 무한정의 청정에너지인 바람을 동력원으로 함으로써, 기존의 화석연료나 우라늄 등을 이용한 발전방식과 달리 발열에 의한 열공해나 대기오염 그리고 방사능 누출 등과 같은 문제가 없는 무공해 발전방식이다.
- [0005] 이러한 풍력발전은 현재 가장 유력한 대체 에너지원으로 인정받고 있으며, 이러한 풍력발전시스템은 구조나 설치가 간단하고 운영 및 관리가 용이하게 무인화 및 자동운전이 가능하기 때문에 전 세계적으로 그 활용이 증가하고 있는 추세에 있다.
- [0006] 하지만 기존의 풍력발전시스템은 종래 풍속과 발전기의 회전속도 정보를 이용하여 MPPT 제어를 하는 방법을 사용하기 때문에 고가의 장비를 필요로 하고, 풍속 및 발전기의 회전속도 측정센서의 고장으로 인한 신뢰도의 문제가 존재한다는 단점이 있습니다.
- [0007] 이러한 단점을 개선하기 위해서 풍속과 발전기의 회전속도 정보를 필요로 하지 않는 센서리스 MPPT 제어기술이 제안되고 있다. 센서리스 MPPT 제어는 발전기의 출력전력 및 출력전압의 관계를 비교하여 최대전력을 출력가능하게 할 수 있다. 센서리스 MPPT 제어기법 중 P&O(Perturb and Observe) 알고리즘의 경우 추종속도가 느리고 정상상태인 최대전력점 주위에서 발전기의 회전속도가 계속 진동하는 문제가 있다. 이는 결과적으로 단순 계통에 공급되는 전압의 품질을 저하시키는 문제점을 발생시키며, 현재 이러한 문제점들을 개선하기 위한 연구가 진행중에 있다.
- [0008] 공개특허공보 제10-2013-0103909호는 전력변환장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 풍력을 이용한 풍력발전시스템에서 발전된 전압, 전류를 최대전력점 추정제어를 통해 부하로 최대전력을 전달할 수 있도록 한 풍력발전시스템의 센서리스형 MPPT 제어를 적용한 전력변환장치에 관한 것이다.
- [0009] 공개특허공보 제10-2013-0099479호는 풍력발전 제어시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 설치 및 운용부담을 줄일 수 있는 새로운 제어기법 개발을 수행하고, 온라인 신경망 제어를 설계하기 위한 풍력발전 제어시스템에 대한 센서리스 온라인 신경망 제어방법에 관한 것이다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0010] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 종래의 부스트 컨버터 풍력 발전시스템에서 영구자석 동기기의 동기 인덕턴스를 대신 사용하여 L-C 수동소자들을 제거하는 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템 및 방법을 제안한다.
- [0011] 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는 영구자석 동기기의 현재 전력값과 이전 전력값의 차이를 기초로 영구자석 동기기가 최적의 듀티비를 가지도록 퍼지제어를 이용하여 듀티비를 가변스텝 사이즈로 제어하는 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템 및 방법에 제안한다.

### 과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명에 따른 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템은 영구자석 동기기로부터 3상 교류전류를 수신하는 다이오드 정류기, 상기 다이오드 정류기의 양단과 연결된 스위치 및 에노드가 상기 스위치의 일단과 연결된 다이오드를 포함하는 SMR(Switched-mode Rectifier)회로 및 상기 영구자석 동기기의 현재 전력값과 상기 영구자석 동기기의 이전 전력값에 대한 차이값을 기초로 퍼지제어를 수행하여 상기 스위치의 듀티비(duty ratio)를 가변시켜 최대전력점을 추종하는 퍼지 제어부;를 포함한다.
- [0013] 상기 영구자석 동기기는 내부의 동기임피던스를 통해 3상 부스트 컨버터의 역할을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 상기 퍼지 제어부는 상기 듀티비에 따라 출력된 전류 및 전압의 측정값을 기초로 상기 영구자석 동기기의 전력을 산출하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 상기 퍼지 제어부는 입력변수와 출력변수를 소속함수(membership function)로 변환하는 퍼지화부, 상기 변환된 입력변수와 출력변수를 기초로 규칙기반(rule base) 테이블을 생성하고, 상기 생성된 규칙기반 테이블을 이용하여 퍼지값을 산출하는 추론엔진부 및 상기 산출된 퍼지값을 실제 수치로 변환하여 퍼지제어가 수행된 듀티비를 산출하는 비퍼지화부를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 상기 퍼지 제어부는 상기 영구자석 동기기의 최대전력이 생성되도록 상기 듀티비에 퍼지제어를 수행하여 가변스텝 사이즈의 가중치를 더하거나 빼는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 상기 퍼지 제어부는 상기 차이값이 양수이고, 상기 듀티비가 증가하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 더하며, 상기 차이값이 음수이고, 상기 듀티비가 감소하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 빼는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 상기 퍼지 제어부는 상기 차이값이 음수이고, 상기 듀티비가 증가하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 빼며, 상기 차이값이 음수이고, 상기 듀티비가 감소하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 더하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 상기 퍼지 제어부는 상기 듀티비가 가변하면서 터빈의 특성곡선 및 미분 연쇄법칙을 기초로 상기 특성곡선의 극대점을 추종하는 것을 특징으로 한다.
- [0020] 본 발명에 따른 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전방법은 영구자석 동기기의 현재 전력값과 상기 영구자석 동기기의 이전 전력값에 대한 차이값을 산출하는 단계, 상기 산출된 차이값을 기초로 퍼지제어를 수행하여 스위치의 듀티비(duty ratio)를 가변시켜 최대전력점을 추종하는 단계를 포함하고, 상기 최대전력점을 추종하는 단계는 입력변수와 출력변수를 소속함수(membership function)로 변환하고, 상기 변환된 입력변수와 출력변수를 기초로 기 설정된 규칙기반(rule base)을 이용하여 퍼지값을 산출하며, 상기 산출된 퍼지값을 실제 수치로 변환하여 퍼지제어가 수행된 듀티비를 산출하는 것을 특징으로 한다.

### 발명의 효과

- [0021] 본 발명에 따른 SMR회로를 이용한 센서리스 퍼지 최대전력점 추종제어를 하는 소형풍력발전시스템 및 방법은 종래의 부스트 컨버터 풍력 발전시스템에서 영구자석 동기기의 동기 인덕턴스를 대신 사용하여 L-C 수동소자들을 제거하여 가격절감을 하고, 유지보수가 용이하게 한다.
- [0022] 또한 영구자석 동기기의 현재 전력값과 이전 전력값의 차이를 기초로 영구자석 동기기가 최적의 듀티비를 가지도록 퍼지제어를 이용하여 듀티비를 가변스텝 사이즈로 제어함으로써, 종래의 고정스텝 사이즈 제어보다 정상상태의 응답특성이 더 안정되고 응답속도가 빨라진다.

### 도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 소형풍력발전시스템의 구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 SMR회로의 구동을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대전력점 추종제어를 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 퍼지 제어부를 설명하기 위한 블록도이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 퍼지 제어부를 설명하기 위한 블록도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 소속함수를 예시하는 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 출력 소속함수를 예시하는 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 퍼지추론규칙의 테이블을 예시하는 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 고정스텝 사이즈 P&O 최대전력점 추종제어와 가변스텝 사이즈 퍼지 최대전력점 추종제어를 비교하는 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 고정스텝 사이즈 P&O 최대전력점 추종제어와 가변스텝 사이즈 퍼지 최대전력점 추종제어의 실험을 비교하는 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하 본 발명의 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명할 수 있다. 우선 각 도면의 구성요소들에 참조 부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 할 수 있다. 또한 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 당업자에게 자명하거나 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 수 있다.

[0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 소형풍력발전시스템의 구성을 설명하기 위한 도면이다.

[0026] 도 1를 참조하면, 소형풍력발전시스템(1)은 SMR(Switched-mode Rectifier)회로의 스위치에 대한 듀티비(duty ratio)에 따라 산출된 전력을 비교하여 최대전력점을 추종한다. 즉, 소형풍력발전시스템(1)은 풍속 및 영구자석 동기기의 회전속도를 측정하는 센서가 필요하지 않기 때문에 비용절감을 할 수 있고, 유지보수가 용이할 수 있다.

[0027] 또한 소형풍력발전시스템(1)은 영구자석 동기기(Permanent Magnet Synchronous Generator, PMSG)의 현재 전력 값과 이전 전력값의 차이값을 기초로 퍼지제어를 수행하여 영구자석 동기기가 최적의 듀티비를 가지는 속도로 동작하도록 듀티비를 가변스텝 사이즈로 제어한다. 이로 인해 소형풍력발전시스템(1)은 종래의 고정스텝 사이즈 제어보다 정상상태의 응답특성이 더 안정되고, 응답속도가 빨라질 수 있다.

[0028] 소형풍력발전시스템(1)은 블레이드(110), 영구자석 동기기(120), SMR회로(130), 커패시터(140), 계통측 컨버터(150), 3상 인덕터(160), 계통(170) 및 퍼지 제어부(180)를 포함한다.

[0029] 블레이드(110)는 바람에너지를 기계적 에너지로 변환하는 날개이다. 상기 기계적 에너지는 회전되면서 발생하는 에너지일 수 있다. 블레이드(110)는 바람이 효과적으로 회전되도록 설계될 수 있다. 즉, 블레이드(110)는 최고 효율을 낼 수 있는 날개의 수 및 날개각도 등을 역학적으로 산출하여 설계될 수 있다.

[0030] 영구자석 동기기(120)는 상기 블레이드(110)에서 변환된 기계적 에너지를 전기에너지로 변환한다. 영구자석 동기기(120)는 3상 교류전류를 생성할 수 있다. 특히, 영구자석 동기기(120)는 N극과 S극이 교대로 배치된 영구자석과 전기자로 구성될 수 있으며, 회전속도(Revolution Per Minute, RPM)에 의해 발생하는 교류의 주파수를 통해 전기에너지를 생성한다.

[0031] SMR회로(130)는 SMR회로는 교류를 직류로 변환한다. SMR회로(130)는 다이오드 정류기, 스위치 및 다이오드를 포함한다.

- [0032] 보다 상세하게는, SMR회로(130)는 영구자석 동기(120)의 3상 교류전류를 수신하는 다이오드 정류기를 포함하고, 다이오드 정류기의 양단에 연결된 스위치를 포함한다. 또한 SMR회로(130)는 에노드가 상기 스위치의 일단과 연결된 다이오드를 포함한다.
- [0033] SMR회로(130)는 3상 부스트 정류기와 유사한 형태 및 동작을 할 수 있다. 즉, SMR회로(130)는 부스트 컨버터를 이용한 종래의 풍력발전시스템과 비교할 경우 더 적은 수동소자로 구성된다. SMR회로(130)는 인덕터(L) 및 커패시터(C)를 제거하여 비용절감 및 부피를 줄일 수 있다.
- [0034] 따라서, 소형풍력발전시스템(1)은 SMR회로(130)의 상기 특징을 이용하여 소형화를 시킬 수 있다.
- [0035] 커패시터(140)는 평활용 커패시터로써 임시로 전기에너지를 저장한다. 즉 커패시터(140)는 교류를 평활화시켜서 직류로 변환하는 동시에 임시로 전기에너지를 저장한다.
- [0036] 또한 커패시터(140)는 SMR회로(130)와 계통측 컨버터(150) 사이에 구비된다. 더 상세하게는 커패시터(140)는 일단이 상기 다이오드의 캐소드와 연결되고 타단이 상기 스위치의 타단과 연결된다. 또한 커패시터(140)의 양단은 계통측 컨버터(150)와 연결된다.
- [0037] 계통측 컨버터(150)는 직축(direct axis) 전류와 횡축(quadrature axis) 전류를 각각 제어함으로써 유효전력과 무효전력을 제어할 수 있다. 계통측 컨버터(150)는 내측과 외측의 두가지 제어기를 포함한다.
- [0038] 계통측 컨버터(150)의 내측 제어기는 PI(Proportional Integral) 제어기이다. 상기 PI 제어기는 d, q축 전류를 각각 제어한다. 계통측 컨버터(150)의 외측 제어기는 단위 역률제어와 최대 전력전달을 위하여 무효전력과 DC링크 전압을 듀티비값으로 일정하게 제어한다.
- [0039] 3상 인덕터(160)는 계통(170)으로 들어가는 전류를 필터링한다. 이를 통해 계통(170)은 전기에너지를 수신받는다.
- [0040] 퍼지 제어부(180)는 바람에 따라 가변되는 영구자석 동기(120)의 전력을 SMR회로(130)의 스위치에 대한 듀티비에 따라 출력된 전류 및 전압의 측정값을 기초로 산출한다. 퍼지 제어부(180)는 영구자석 동기(120)의 최대 전력이 생성되도록 SMR회로(130)의 스위치에 대한 듀티비에 퍼지제어를 수행하여 가변스텝 사이즈의 가중치를 더하거나 뺌으로써, 최대전력점을 추종한다.
- [0041] 즉, 퍼지 제어부(180)는 영구자석 동기(120)의 전력 차이값이 양수이고 스위치의 듀티비가 증가하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 더하며, 전력 차이값이 양수이고 듀티비가 감소하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 뺀다.
- [0042] 또한 퍼지 제어부(180)는 영구자석 동기(120)의 전력 차이값이 음수이고 스위치의 듀티비가 증가하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 빼며, 전력 차이값이 음수이고 듀티비가 감소하는 경향을 가지면 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 더한다.
- [0043] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 SMR회로의 구동을 설명하기 위한 도면이다.
- [0044] 도 2를 참조하면, 소형풍력발전시스템(1)은 영구자석 동기(120)를 통하여 SMR회로(130)를 사용한다. SMR회로(130)는 영구자석 동기(120)의 3상 교류전류를 수신하는 다이오드 정류기(230)를 포함하고, 다이오드 정류기(230)의 양단에 연결된 스위치를 포함한다. 또한 SMR회로(130)는 에노드가 상기 스위치의 일단과 연결된 다이오드(250)를 포함한다.
- [0045] 영구자석 동기(120)는 내부의 동기임피던스를 통해 3상 부스트 컨버터의 역할을 할 수 있다. 영구자석 동기(120)는 3상 전압원(212, 214, 216) 및 3상 인덕터(222, 224, 226)를 연결한 회로로 동작화한다. 3상 인덕터(222, 224, 226)는 블레이드(110)에서 입력받은 에너지에 전압 부스팅 역할을 수행할 수 있다. 즉, 3상 인덕터

(222, 224, 226)는 동기 임피던스가 생성하고, 생성된 동기 임피던스를 기초로 부스트 효과를 얻을 수 있다.

[0046] 3상 인덕터(222, 224, 226)는 스위치(240)의 온오프에 의해 에너지를 저장 및 공급을 한다. 스위치(240)가 스위치온(switch-on)된 경우, 3상 인덕터(222, 224, 226)는 인가되는 전류의 상승으로 에너지를 순간적으로 저장할 수 있다. 스위치(240)가 스위치오프(switch-off)된 경우, 3상 인덕터(222, 224, 226)는 저장된 에너지 및 3상 전압원(212, 214, 216)의 에너지가 더해져서 에너지를 공급할 수 있다.

[0047] 이를 통해 3상 인덕터(222, 224, 226)는 부스트 효과를 수행할 수 있다. 또한 3상 인덕터(222, 224, 226)에 해당되는 각각의 전압은 전압 방정식을 기초로 퍼지 제어부(180)에서 산출한다.

[0048] SMR회로(130)는 전압 및 전류의 관계를 [수학식 1] 과 [수학식 2]로 나타낸다.

### 수학식 1

$$V_R = (1 - D) V_{dc}$$

### 수학식 2

$$I_D = (1 - D) I_R$$

[0051] 여기서,  $D$  는 스위치(240)의 듀티비를 의미하고,  $V_R$  는 다이오드 정류기에 인가되는 전압을 의미하며,  $V_{dc}$ 는 커패시터(140)에 인가되는 전압으로 DC링크 전압을 의미하고,  $I_R$ 는 다이오드 정류기에 출력되는 전류를 의미하며,  $I_D$  는 다이오드(250)에서 출력되는 전류를 의미한다.

[0052] SMR회로(130)의 출력전압인 DC링크 전압은 계통측 인버터의 DC링크 일정 전압제어에 의해 일정하게 제어된다. 따라서, 상기 DC링크 전압이 일정한 경우, [수학식 3]과 같이 DC링크 전류의 평균치는 다이오드 전류의 평균치와 동일하다.

### 수학식 3

$$I_{dc} = I_D$$

[0054] 여기서,  $I_{dc}$  는 DC링크 전류를 의미한다.

[0055] 또한 SMR회로(130)의 듀티비가 조절되면 다이오드 평균 전류가 가변될 수 있다. [수학식 2]를 이용하면 듀티비가 커질수록 다이오드 평균 전류는 작아지게 되고 듀티비가 작아질수록 다이오드 평균 전류는 커지게 된다.

[0056] 즉, 풍속에 변화에 따라 SMR회로(130)의 듀티비 크기가 가변하면, 소형풍력발전시스템(1)은 계통(170)으로 전달되는 전력의 크기를 조절할 수 있다.

[0057] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 최대전력점 추종제어를 설명하기 위한 도면이다.

[0058] 도 3을 참조하면, 퍼지 제어부(180)는 듀티비와 전력사이의 관계를 터빈의 특성곡선 및 미분 연쇄법칙을 기초로 추종한다.

[0059] 퍼지 제어부(180)는 미분 연쇄법칙을 이용하여 [수학식 4]와 같이 전력과 듀티비의 관계를 전력과 회전수의 관계로 나타낼 수 있다.

#### 수학식 4

$$\frac{dP}{dD} = -\frac{dP}{d\omega} = 0$$

[0061] 여기서,  $P$ 는 전력을 의미하고,  $D$ 는 스위치(240)의 듀티비를 의미하며,  $\omega$ 는 영구자석 동기기기(120)의 회전수를 의미한다.

[0062] 즉, 스위치(240)의 듀티비는 영구자석 동기기기(120)의 회전수와 역부호로 인가된 값이다.

[0063] 소형풍력발전시스템(1)은 스위치(240)의 듀티비가 작아지면 영구자석 동기기기(120)의 회전수가 많아지고, 스위치(240)의 듀티비가 커지면 영구자석 동기기기(120)의 회전수가 적어진다.

[0064] 퍼지 제어부(180)는 터빈의 특성곡선 및 [수학식 4]를 이용하여 듀티비 변화에 따른 전력곡선을 나타낼 수 있다. 최대전력점은 상기 전력곡선의 극대점일 수 있다.

[0065] 도 3은 특정풍속에서 최대전력점을 기준으로 저속영역에서 듀티비가 커지면 전력이 감소하고, 듀티비가 작아지면 전력이 증가하지만 고속영역에서 듀티비는 작아지면 전력이 감소하고 듀티비가 커지면 전력이 증가한다. 퍼지 제어부(180)는 기 설정된 초기 듀티비 또는 이전 듀티비에 가변스텝 사이즈의 가중치를 증가시키거나 감소시켜서 상기 듀티비를 제어할 수 있다.

[0066] 즉, 퍼지 제어부(180)는 스위치(240)의 듀티비를 제어하여 최대전력점을 추종한다.

[0067] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 퍼지 제어부를 설명하기 위한 블록도이다.

[0068] 도 4를 참조하면, 퍼지 제어부(180)는 퍼지제어를 통하여 스위치(240)의 듀티비를 최적화한다. 즉, 퍼지 제어부(180)는 최대전력을 출력하는 스위치(240)의 듀티비를 퍼지제어를 통하여 산출한다.

[0069] 퍼지 제어부(180)는 퍼지화부(410), 추론엔진부(420), 비 퍼지화부(430) 및 저장부(440)를 포함한다.

[0070] 퍼지화부(410)는 입력변수와 출력변수를 소속함수(membership function)로 변환한다. 퍼지화부(410)는 삼각형의 형태로 소속함수를 퍼지화한다. 또한 상기 삼각형의 소속함수는 [수학식 5] 및 [수학식 6]과 같이 설정된다.

#### 수학식 5

$$\Delta P(k) = P(k) - P(k-1)$$

## 수학식 6

$$\Delta D^*(k) = D^*(k) - D^*(k-1)$$

여기서,  $\Delta P$ 는 영구자석 동기(120)의 전력 변동값을 의미하고,  $\Delta D^*$ 는 스위치(240)의 듀티비 변동값을 의미한다.

추론엔진부(420)는 퍼지화부(410)에서 변환된 입력변수와 출력변수를 기초로 규칙기반(rule base) 테이블을 생성하고 상기 생성된 규칙기반 테이블을 이용하여 퍼지값을 산출한다. 상기 규칙기반 테이블은 퍼지추론을 위한 규칙 테이블일 수 있다.

추론엔진부(420)는 퍼지화부(410)에서 변환된 소속함수를 기초로 각 규칙의 전반부 적합도를 [수학식 6]과 같이 논리 연산자 AND로 퍼지추론규칙과 관계를 맺는다. 특히, 입력되는 입력변수와 출력변수의 퍼지집합에 대한 적합도의 연산은 최소치 연산에 의해 수행된다.

## 수학식 7

$$u_{A \cap B} = u_A \wedge u_B = \min[u_A, u_B]$$

이로 인해 추론엔진부(420)는 산출된 적합도를 기초로 각 규칙의 추론 결과를 산출하고, 각 규칙의 추론결과로부터 최종적인 추론결과를 산출하여 퍼지추론규칙 테이블을 생성한다.

비 퍼지화부(430)는 추론엔진부(420)에서 산출된 퍼지값을 실제 수치로 변환하여 퍼지제어가 수행된 듀티비를 산출한다.

비 퍼지화부(430)는 비 퍼지화를 위해 무게 중심법(Center of Gravity Method)를 이용한다. 즉, 비 퍼지화부(430)는 [수학식 8]과 같이 비 퍼지화를 통해 얻어진 듀티비 변동분을 기초로 최적화된 듀티비로 SMR회로(130)을 제어하여 풍력 터빈을 최대전력을 출력하는 동작점에서 제어할 수 있다.

## 수학식 8

$$D^*(k) = D^*(k-1) + \Delta D_{Fuzzy}^*(k)$$

여기서,  $\Delta D_{Fuzzy}^*$ 는 최적화 듀티비를 의미한다.

저장부(440)는 퍼지화부(410)에서 변환된 입력변수와 출력변수를 기초로 생성된 규칙기반에 대한 테이블인 퍼지추론규칙 테이블이 저장된다. 저장부(440)는 상기 기 설정된 퍼지추론규칙 테이블을 이용하여 산출된 퍼지값이 저장된다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 퍼지 제어부를 설명하기 위한 블록도이다.

- [0084] 도 5를 참조하면, 퍼지 제어부(180)는 퍼지추론규칙을 기초로 퍼지제어를 한다.
- [0085] 퍼지 제어부(180)는 기준 듀티비 및 계통측 컨버터 출력전력을 입력받는다. 퍼지 제어부(180)는 기준 듀티비 및 계통측 컨버터 출력전력을 각각 역방향 임피던스(520, 530)와 가감산기에 적용한다. 이를 통해 퍼지 제어부(180)는 각각 기준 듀티비의 변동값과 계통측 컨버터 출력전력의 변동값을 산출한다.
- [0086] 퍼지 제어부(180)는 산출된 변동값들을 퍼지제어(540)를 하여 최적화 듀티비를 산출하며, 산출된 최적화 듀티비와 역방향 임피던스(510)을 가산기에 적용하여 스위치(240)에 적용할 듀티비를 산출한다.
- [0087] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 소속함수를 예시하는 도면이고, 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 출력 소속함수를 예시하는 도면이며, 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 퍼지추론규칙의 테이블을 예시하는 도면이다. 특히, 도 6(a)는 출력전력 변동값의 입력 소속함수를 도시한 것이고, 도 6(b)는 듀티비 변동값의 입력 소속함수를 도시한 것이다.
- [0088] 도 6 내지 도 8을 참조하면, 퍼지 제어부(180)는 입력 소속함수 및 출력 소속함수를 퍼지화한다.
- [0089] 퍼지 제어부(180)는 소속함수를 삼각형으로 선택한다. 영구전압 동기(120) 출력전력의 현재값과 이전값의 차이인 영구전압 동기(120) 출력전력 변동값은 7개, 기준 듀티비의 현재값과 이전값의 차이인 듀티비 변동값이 5개, 퍼지 제어부(180)의 출력인 퍼지제어가 수행된 듀티비는 7개의 퍼지집합을 갖도록 선정한다.
- [0090] 이는 일 실시예에 불과하며 다른 실시예도 가능함은 당연하다.
- [0091] 퍼지 제어부(180)는 퍼지추론규칙에 대한 테이블을 생성한다. 퍼지 제어부(180)는 입력  $\Delta P$ 와  $\Delta D^*$ 에 대해 출력  $\Delta D^*_{Fuzzy}$ 는 35개의 규칙을 갖는다. 즉, 퍼지 제어부(180)는 도 6 및 도 7을 기초로 퍼지추론규칙에 대한 테이블을 생성할 수 있다.
- [0092] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 고정스텝 사이즈 P&O 최대전력점 추종제어와 가변스텝 사이즈 퍼지 최대전력점 추종제어를 비교하는 도면이다. 도 8(a)는 종래의 소형풍력시스템에서 제안하는 고정스텝 사이즈 P&O 최대전력점 추종제어에 대한 실시 예이고, 도 8(b)는 본 발명에 따른 소형풍력시스템에서 제안하는 가변스텝 사이즈 퍼지 최대전력점 추종제어에 대한 실시 예이다.
- [0093] 도 9를 참조하면, 소형풍력시스템(1)은 퍼지제어를 수행하여 최대전력점 추종제어를 하는 알고리즘을 실시 예를 통해 검증할 수 있다.
- [0094] (실시 예)
- [0095] 이하, 본 발명을 실시예를 통하여 더욱 구체적으로 설명한다. 단 하기 실시예들은 본 발명의 설명을 위한 것일 뿐 본 발명의 범위가 하기 실시예에 의하여 한정되는 것은 아니다.

표 1

| 풍력 터빈   |                       |
|---------|-----------------------|
| 블레이드 반경 | 1[m]                  |
| 공기밀도    | 1.225                 |
| 회전면적    | 3.14[m <sup>2</sup> ] |
| 최적 주속비  | 8.1                   |
| 출력계수    | 0.48                  |
| 기어비     | 2                     |

[0096]

표 2

| 유도 전동기     |                                |
|------------|--------------------------------|
| 정격출력       | 7.5[kW]                        |
| 정격상 전압     | 380[V]                         |
| 정격상 전류     | 15.5[A]                        |
| 고정자 저항     | 0.464[Ω]                       |
| 회전자 저항     | 0.501[Ω]                       |
| 고정자 인덕턴스   | 79.16[mH]                      |
| 회전자 인덕턴스   | 79.16[mH]                      |
| 상호 인덕턴스    | 76.16[mH]                      |
| 정격속도       | 1755[rpm]                      |
| 자극쌍        | 2                              |
| 영구자석 동기발전기 |                                |
| 정격출력       | 3.7[kW]                        |
| 정격 상 전압    | 380[V]                         |
| 정격 상 전류    | 7.7[A]                         |
| 고정자 저항     | 0.324[Ω]                       |
| d축 인덕턴스    | 10.1[mH]                       |
| q축 인덕턴스    | 27.37[mH]                      |
| 역기전력       | 159.8[V <sub>Peak</sub> /krpm] |
| 정격속도       | 1800[rpm]                      |
| 자극쌍        | 2                              |
| 계통측 컨버터    |                                |
| DC-링크 기준전압 | 200[V]                         |
| DC-링크 커패시터 | 8200[μF]                       |
| 필터 인덕턴스    | 3[mH]                          |
| 필터 저항      | 0.05[Ω]                        |
| 필터 커패시터    | 10[μF]                         |
| 정격계통상 전압   | 60/220[V]                      |

[0097]

[0098]

[표 1]은 풍력터빈 시스템의 정수를 나타낸 것이고, [표 2]는 영구자석 동기기와 전력시스템의 정수를 나타낸 것이다.

[0099]

여기서, 소형풍력시스템(1)의 알고리즘을 검증하기 위해 PSIM 시뮬레이터를 이용하여 실시 예를 수행하였다. 실시 예는 실제 실험정수를 기초로 [표 1] 및 [표 2]의 조건에서 수행되었다. 또한 성능 검증을 위하여 고정스텝 사이즈 P&O 최대전력점 추종제어 알고리즘과 가변스텝 사이즈 퍼지 최대전력점 추종제어 알고리즘의 응답특성과 안정성을 비교 검증하였다.

[0100]

실시 예는 풍속 9(m/s) 조건이고, 전체 시스템의 스위칭 주파수는 10(kHz)이다.

[0101]

실시 예의 결과는 두 가지 최대전력점 추종제어 방식 모두 제안한 최대전력점 추종제어를 통해 파워계수는 0.48, 주속비는 8.1인 최적의 값을 추종하는 것을 보여준다. 또한 SMR회로의 듀티비도 최대전력점 추종제어를 통해 최적의 값으로 제어되는 것을 알 수 있다.

[0102]

하지만 고정스텝 사이즈 P&O 최대전력점 추종제어의 경우, 최대 전력점에서 영구자석 동기기가 운전하는 시간이 약 6초로써, 약 3초정도에 최대전력을 출력하는 제안된 퍼지 최대전력점 추종제어 방식에 비해 추종시간이 느릴 것을 확인할 수 있다.

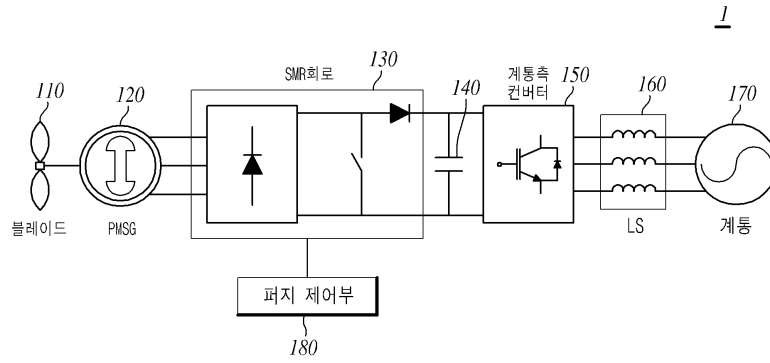
- [0103] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 고정스텝 사이즈 P&O 최대전력점 추종제어와 가변스텝 사이즈 퍼지 최대전력점 추종제어의 실험을 비교하는 도면이다. 도 9(a)는 종래의 소형풍력시스템에서 제안하는 고정스텝 사이즈 P&O 최대전력점 추종제어에 대한 실험 예이고, 도 9(b)는 본 발명에 따른 소형풍력시스템에서 제안하는 가변스텝 사이즈 퍼지 최대전력점 추종제어에 대한 실험 예이다.
- [0104] 도 10을 참조하면, 소형풍력시스템(1)은 퍼지제어를 수행하여 최대전력점 추종제어를 하는 알고리즘을 실험 예를 통해 검증할 수 있다.
- [0105] (실험 예)
- [0106] 소형풍력시스템(1)의 알고리즘에 대한 타당성을 검증하기 위해 [표 1] 및 [표 2]와 같은 정수를 기초로 실험을 수행하였다.
- [0107] 상기 두 시스템은 도 8의 실시 예에 대한 결과와 마찬가지로 최대전력점 추종제어로 인해 최적의 파워계수, 주속비 및 듀티비를 추종하며, 최대 전력점에서 동작하는 것을 확인할 수 있다.
- [0108] 다만, 고정스텝 사이즈 P&O 최대전력점 추종제어는 약 24초, 가변스텝 사이즈 퍼지 최대전력점 추종제어는 약 12초 뒤에 최대 전력점을 추종하는 것을 확인할 수 있다.
- [0109] 소형풍력발전시스템(1)은 제어가 복잡하지 않고, 가격 및 효율성에서 최우선 고려되어 설계된다. 즉, 소형풍력발전시스템(1)은 속도센서와 수동소자를 사용하지 않는 SMR회로를 사용하여 가격 경쟁력에서 우위를 점할 수 있으며, 퍼지제어를 통하여 우수한 안정성과 응답속도를 확보할 수 있다.
- [0110] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특징의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

## 부호의 설명

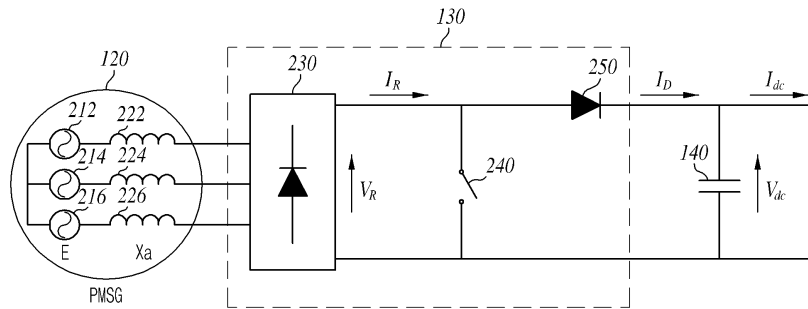
- [0111] 1: 소형풍력발전시스템 110: 블레이드  
120: 영구자석 동기기 130: SMR회로  
140: 커패시터 150: 계통측 컨버터  
160: 3상 인덕터 170: 계통  
180: 퍼지 제어부 212, 214, 216: 3상 전압원  
222, 224, 226: 3상 인덕터 230: 다이오드 정류기  
240: 스위치 250: 다이오드  
410: 퍼지화부 420: 추론엔진부  
430: 비퍼지화부 440: 저장부  
510, 520, 530: 역방향 임피던스 540: 퍼지논리 제어기

도면

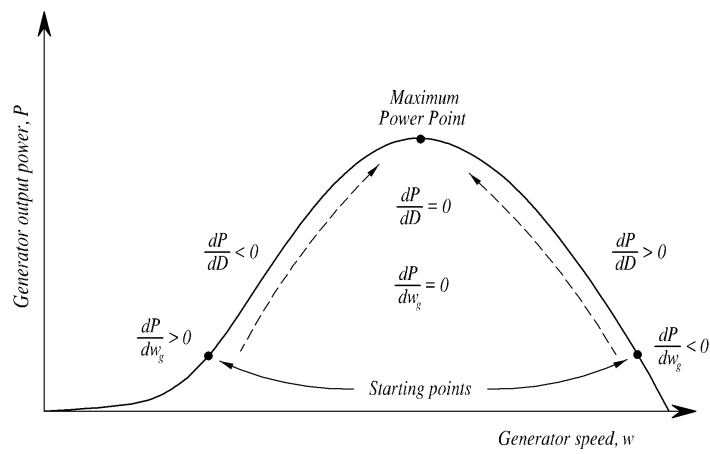
도면1



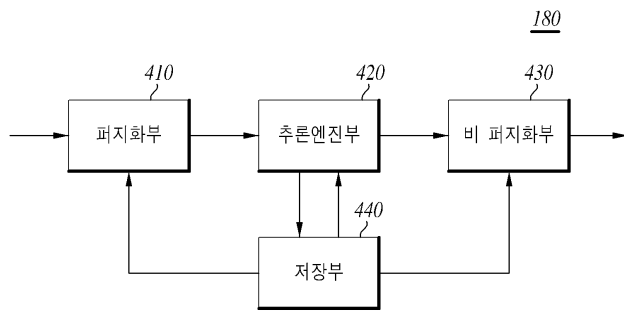
도면2



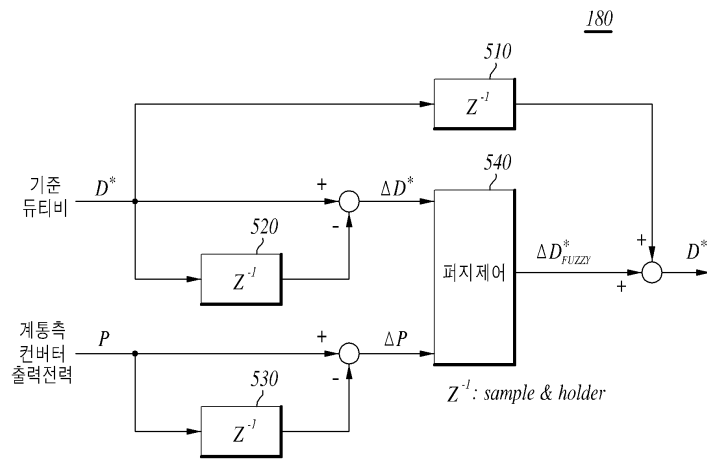
도면3



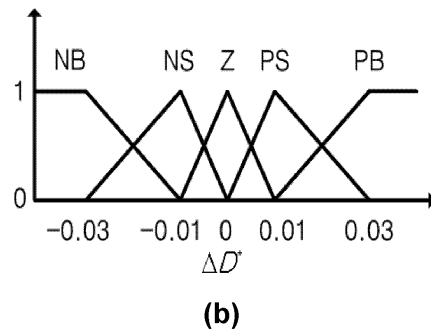
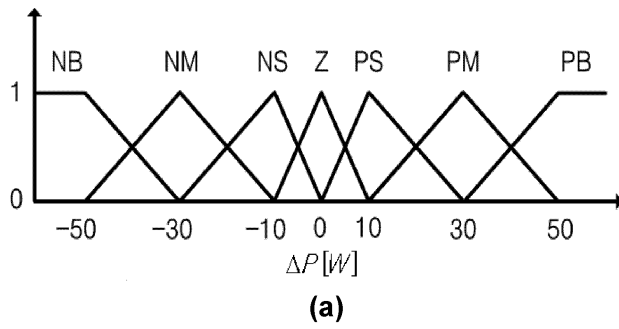
도면4



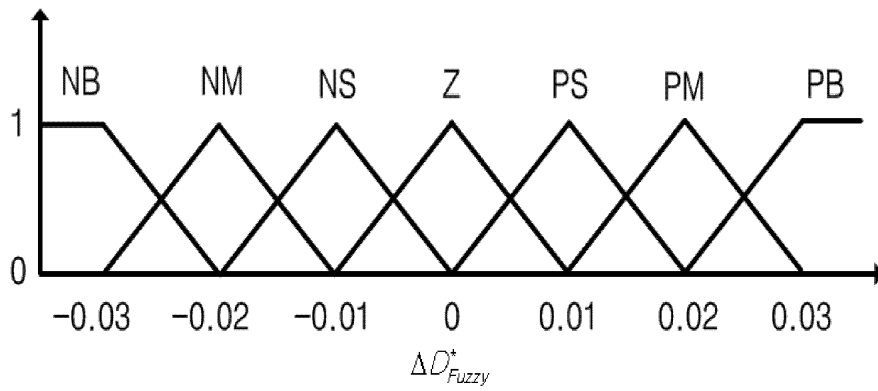
도면5



도면6



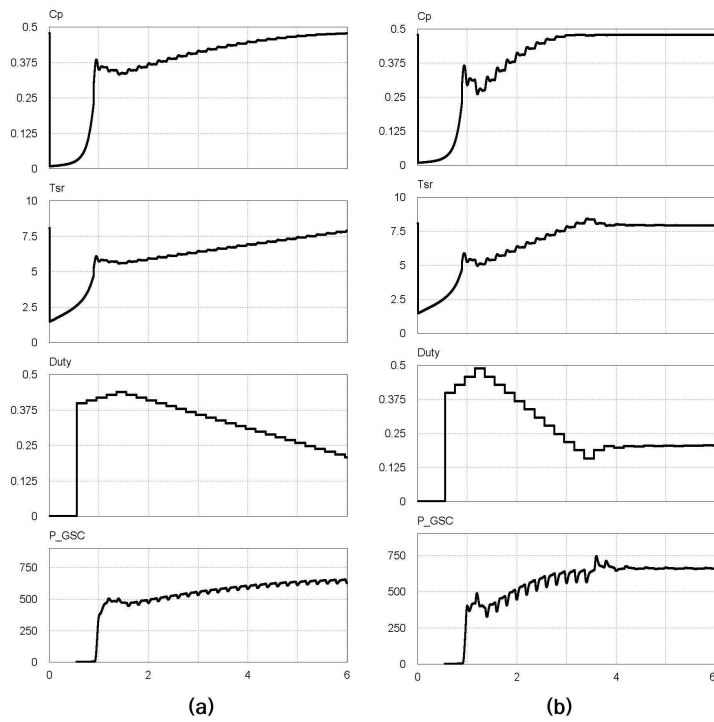
도면7



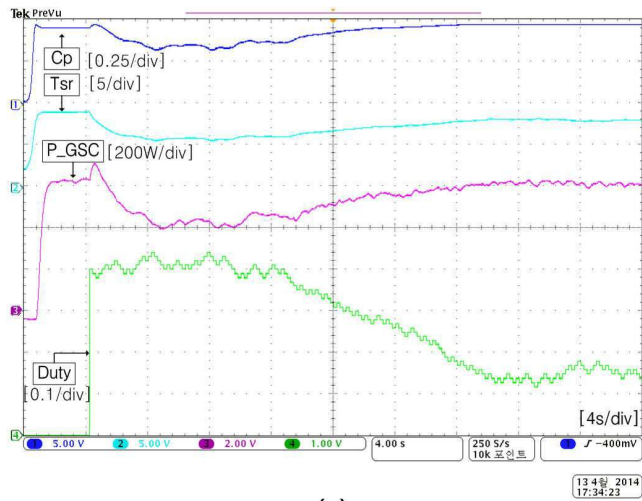
도면8

|            |    | $\Delta P$ |    |    |   |    |    |    |
|------------|----|------------|----|----|---|----|----|----|
|            |    | NB         | NM | NS | Z | PS | PM | PB |
| $\Delta D$ | NB | PB         | PM | PS | Z | NS | NM | NB |
|            | NS | PM         | PS | PS | Z | NS | NS | NM |
|            | Z  | PM         | PM | PS | Z | NS | NM | NM |
|            | PS | NM         | NS | NS | Z | PS | PS | PM |
|            | PB | NB         | NM | Z  | Z | PS | PM | PB |

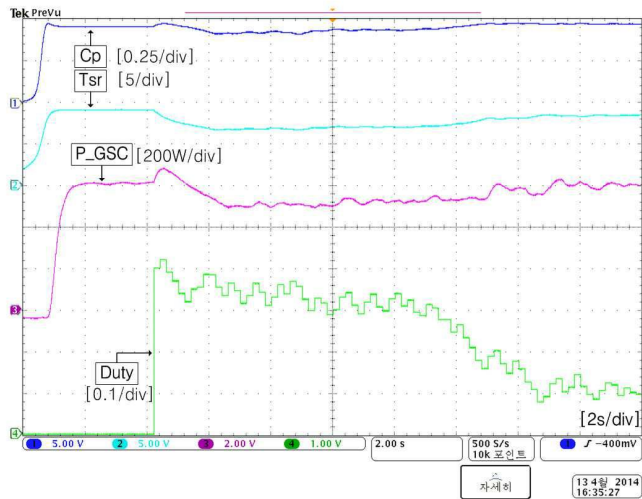
도면9



도면10



(a)



(b)