



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년06월18일  
(11) 등록번호 10-2676733  
(24) 등록일자 2024년06월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02P 21/04 (2006.01) H02P 21/22 (2016.01)  
H02P 29/60 (2016.01)  
(52) CPC특허분류  
H02P 21/04 (2013.01)  
B60L 15/20 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0054359  
(22) 출원일자 2019년05월09일  
심사청구일자 2022년05월09일  
(65) 공개번호 10-2020-0129644  
(43) 공개일자 2020년11월18일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR101694213 B1\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
현대자동차주식회사  
서울특별시 서초구 현릉로 12 (양재동)  
기아 주식회사  
서울특별시 서초구 현릉로 12 (양재동)  
(72) 발명자  
유태일  
경기도 안양시 동안구 시민대로159번길 62, 202동  
102호 (비산동, 은하수백산아파트)  
(74) 대리인  
특허법인 신세기

전체 청구항 수 : 총 15 항

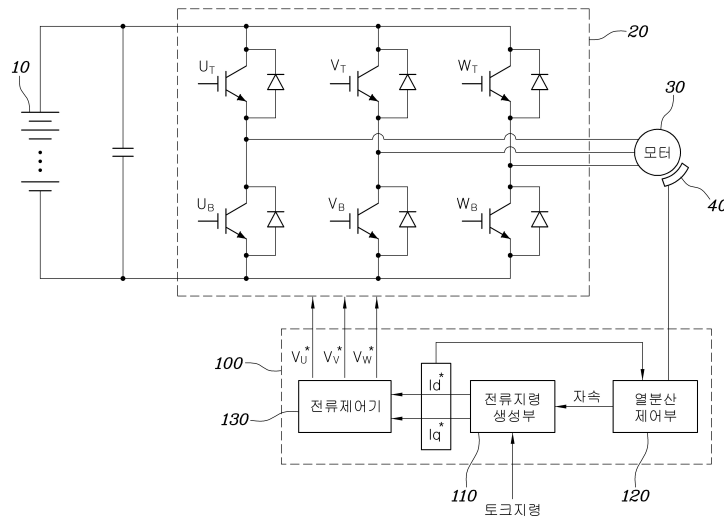
심사관 : 박태근

(54) 발명의 명칭 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템 및 방법

(57) 요약

직류 전력을 복수의 상을 갖는 교류 전력으로 변환하도록 복수의 스위칭 소자를 포함하는 인버터; 상기 인버터에서 변환된 교류 전력을 제공받아 구동되는 모터; 및 상기 모터의 토크 지령을 기반으로 상기 모터의 운전점을 결정하고 상기 운전점에 대응되는 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령을 생성하며, 상기 스위칭 소자가 과열되는 경우 상기 운전점을 토크 지령과 동일한 크기의 토크에 해당하는 다른 운전점으로 변경하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령을 변경하는 컨트롤러를 포함하는 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템이 개시된다.

대표도



(52) CPC특허분류

*H02P 21/22* (2016.02)

*H02P 29/60* (2016.02)

*B60L 2240/423* (2013.01)

*B60Y 2200/90* (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

직류 전력을 복수의 상을 갖는 교류 전력으로 변환하도록 복수의 스위칭 소자를 포함하는 인버터;

상기 인버터에서 변환된 교류 전력을 제공받아 구동되는 모터; 및

상기 모터의 토크 지령을 기반으로 상기 모터의 운전점을 결정하고 상기 운전점에 대응되는 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령을 생성하며, 상기 스위칭 소자가 과열되는 경우 상기 운전점을 토크 지령과 동일한 크기의 토크에 해당하는 다른 운전점으로 변경하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령을 변경하는 컨트롤러;

를 포함하되,

상기 컨트롤러는, 상기 스위칭 소자가 과열되는 경우, 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령에 따른 3상 전류를, 3상 전류의 피크치인  $I_{m_x}$  및 변수  $\rho$ 에 따른 값으로 변환하고, 사전 설정된 간격으로 구분된 복수의 각도 구간에서 상기 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간을 변경하기 위한 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 찾아 상기 모터의 운전점을 변경하되,

상기 변수  $\rho$ 는 회전자 각도와 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 하나의 변수로 표현한 값인 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서, 상기 컨트롤러는,

상기 스위칭 소자가 과열되는 경우, 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 변경하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템.

**청구항 3**

청구항 1에 있어서, 상기 컨트롤러는,

상기 스위칭 소자가 과열되는 경우, 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등자속 선이 아닌 다른 등자속 선이 교차하는 점으로 상기 운전점을 변경하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템.

**청구항 4**

청구항 1에 있어서, 상기 컨트롤러는,

상기 스위칭 소자가 과열되는 경우, 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령에 따른 3상 전류를 식

$$\rho = \theta + 270^\circ - \beta_x$$

$$I_U = I_{m_x} \cdot \sin \rho$$

$$I_V = I_{m_x} \cdot \sin(\rho + \frac{2}{3}\pi)$$

$$I_W = I_{m_x} \cdot \sin(\rho - \frac{2}{3}\pi)$$

( $\rho$ 는 회전자 각도와 전류 위상각을 하나의 변수로 치환한 값,  $\theta$ 는 회전자 각도,  $I_{m_x}$ 는 3상 전류의 피크치,  $\beta_x$ 는 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각)

을 이용하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템.

**청구항 5**

청구항 4에 있어서,

상기 복수의 각도 구간에는 삼상 전류의 공급이 최대로 인가되는 스위칭 소자가 지정되며,

상기 컨트롤러는 상기 변수  $p$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템.

**청구항 6**

청구항 5에 있어서, 상기 컨트롤러는,

상기 변수  $p$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경하기 위한  $d$ 축 전류 지령 및  $q$ 축 전류 지령의 위상각을 연산하고, 상기 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기  $d$ 축 전류 지령 및  $q$ 축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점으로 모터의 운전점을 변경하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템.

**청구항 7**

청구항 5에 있어서, 상기 컨트롤러는,

상기 변수  $p$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경하기 위한  $d$ 축 전류 지령 및  $q$ 축 전류 지령의 위상각을 연산하고, 상기 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기  $d$ 축 전류 지령 및  $q$ 축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점에 해당하는 모터의 운전점과 이전의 모터 운전점을 번갈아 상기 모터의 운전점으로 적용하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템.

**청구항 8**

청구항 5에 있어서, 상기 컨트롤러는,

상기 변수  $p$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간과 현재 변수  $p$ 가 속하는 각도 구간의 경계로 변경하기 위한  $d$ 축 전류 지령 및  $q$ 축 전류 지령의 위상각을 연산하고, 상기 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기  $d$ 축 전류 지령 및  $q$ 축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점으로 상기 모터의 운전점을 변경하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템.

**청구항 9**

청구항 1의 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템을 이용한 모터 구동 방법에 있어서,

상기 컨트롤러가 상기 스위칭 소자의 과열 여부를 판단하는 단계; 및

상기 스위칭 소자가 과열된 것으로 판단된 경우, 상기 운전점을 토크 지령과 동일한 크기의 토크에 해당하는 다른 운전점으로 변경하여 상기  $d$ 축 전류 지령 및  $q$ 축 전류 지령을 변경하는 단계;

를 포함하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법.

**청구항 10**

청구항 9에 있어서,

상기 판단하는 단계는, 상기 컨트롤러가 상기 스위칭 소자의 온도를 센싱한 온도 센싱값과 사전 설정된 과열 여부를 판단을 위한 기준값을 서로 비교하고 상기 온도 센싱값이 상기 기준값보다 큰 경우 상기 스위칭 소자가 과열인 것으로 판단하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법.

**청구항 11**

청구항 9 에 있어서, 상기 변경하는 단계는,

상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령에 따른 3상 전류를 식

$$\rho = \theta + 270^\circ - \beta_x$$

$$I_U = I_{m_x} \cdot \sin \rho$$

$$I_V = I_{m_x} \cdot \sin(\rho + \frac{2}{3}\pi)$$

$$I_W = I_{m_x} \cdot \sin(\rho - \frac{2}{3}\pi)$$

( $\rho$  는 회전자 각도와 전류 위상각을 하나의 변수로 치환한 값,  $\theta$  는 회전자 각도,  $I_{m_x}$  는 3상 전류의 피크치,  $\beta_x$  는 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각)을 이용하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령에 따른 3상 전류를 변환하는 단계;

사전 설정된 간격으로 구분된 복수의 각도 구간에서 변수  $\rho$  가 속하는 각도를 확인하는 단계; 및

상기 변수  $\rho$  가 속하는 각도 구간을 변경하기 위한 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 찾아 상기 모터의 운전점을 변경하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법.

#### 청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 복수의 각도 구간에는 삼상 전류의 공급이 최대로 인가되는 스위칭 소자가 지정되며,

상기 변경하는 단계는 상기 변수  $\rho$  가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법.

#### 청구항 13

청구항 12에 있어서, 상기 변경하는 단계는,

상기 변수  $\rho$  가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경하기 위한 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 연산하는 단계; 및

상기 연산하는 단계에서 연산된 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점으로 모터의 운전점을 변경하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법.

#### 청구항 14

청구항 12에 있어서, 상기 변경하는 단계는,

상기 변수  $\rho$  가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경하기 위한 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 연산하는 단계; 및

상기 연산하는 단계에서 연산된 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점에 해당하는 모터의 운전점과 이전의 모터 운전점을 번갈아 상기 모터의 운전점으로 적용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법.

#### 청구항 15

청구항 12에 있어서, 상기 변경하는 단계는,

상기 변수  $\rho$  가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간과 현재 변수  $\rho$  가 속하는 각도 구간의 경계로 변경하기 위한 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 연산하는 단계; 및

상기 연산하는 단계에서 연산된 상기 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점으로 상기 모터의 운전점을 변경하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 모터 구동 시스템 및 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 모터의 저속 운전 시 하나의 상으로 전류가 집중되는 것을 회피함으로써 과온으로 인한 인버터 내 전력 반도체 소자 및 모터 코일의 소손을 방지할 수 있는 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템 및 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0003] 일반적으로 전기 자동차, 하이브리드 자동차, 플러그인 하이브리드 자동차 및 수소전기 자동차 등과 같은 친환경 차량은 전기동력 모터를 동력원으로 하는 자동차이다. 특히, 이들 중 전기 자동차나 수소전기 자동차와 같이 구동모터를 주 동력원으로 하는 차량들은 다단 변속기 대신 감속기만 채용하고 있는 경우가 많으며 회전력 전달 효율을 높이기 위해 대부분 토크 컨버터를 생략하고 있다. 이러한 차량의 경우 구동 모터의 속도와 차량의 속도는 일정한 감속비로 동기 되므로 차량의 속도가 '0'에 가까운 저속의 경우 모터의 속도도 '0'에 가까운 상태가 되고 이 상태에서 최대 구동력(토크)를 발생시키도록 작동하여야 한다. 회전 속도가 '0'인 상태에서 구동 토크를 발생 시키는 경우에는 교류 모터라고 하더라도 모터의 권선에는 직류의 형태를 갖는 전류가 흘러야 하며, 모터에 전류를 공급하는 인버터 내 전력 반도체 소자에도 직류의 전류가 흘러야 한다.

[0004] 인버터의 전력 반도체와 모터에 직류 형태의 전류가 흐르게 되면, 전력 반도체의 도통 손실과 모터 권선 코일의 저항 손실이 특정한 상에 집중되어 열이 발생하며 충분한 냉각이 이루어지지 않을 경우 과도한 열이 발생하여 한계 최고 온도 이상 온도가 상승하는 경우 전력 반도체와 모터의 코일에 과온에 의한 파손이 발생할 수 있다.

[0005] 종래에는, 인버터의 전력 반도체 소자나 모터의 코일 등의 과온 파손을 방지하기 위해 전류의 크기를 제한하는 방법을 사용하였으나, 이는 과온 파손을 방지하는 대신 모터의 출력 토크도 함께 감소시켜 차량의 성능, 특히 경사로 등판 성능을 크게 저하시키는 문제가 발생하였다.

[0007] 상기의 배경기술로서 설명된 사항들은 본 발명의 배경에 대한 이해 증진을 위한 것일 뿐, 이 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 이미 알려진 종래기술에 해당함을 인정하는 것으로 받아들여져서는 안 될 것이다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0009] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2010-0113241호  
 (특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2018-0080771호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0010] 이에 본 발명은, 모터의 회전 속도가 거의 '0'에 가까운 저속 상태에서 토크를 발현하는 경우 하나의 특정 상에 전류가 집중되는 것을 방지하여 온도 상승에 따른 인버터나 모터 소손을 예방할 수 있는 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템 및 방법을 제공하는 것을 해결하고자 하는 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

[0012] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 수단으로서 본 발명은,  
 [0013] 직류 전력을 복수의 상을 갖는 교류 전력으로 변환하도록 복수의 스위칭 소자를 포함하는 인버터;  
 [0014] 상기 인버터에서 변환된 교류 전력을 제공받아 구동되는 모터; 및

- [0015] 상기 모터의 토크 지령을 기반으로 상기 모터의 운전점을 결정하고 상기 운전점에 대응되는 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령을 생성하며, 상기 스위칭 소자가 과열되는 경우 상기 운전점을 토크 지령과 동일한 크기의 토크에 해당하는 다른 운전점으로 변경하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령을 변경하는 컨트롤러;
- [0016] 를 포함하는 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템을 제공한다.
- [0017] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 컨트롤러는, 상기 스위칭 소자가 과열되는 경우, 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 변경할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 컨트롤러는, 상기 스위칭 소자가 과열되는 경우, 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등자속 선이 아닌 다른 등자속 선이 교차하는 점으로 상기 운전점을 변경할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 컨트롤러는, 상기 스위칭 소자가 과열되는 경우, 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령에 따른 3상 전류를 식
- [0020] 
$$\rho = \theta + 270 - \beta_x$$
- [0021] 
$$I_U = I_{m_x} \cdot \sin \rho$$
- [0022] 
$$I_V = I_{m_x} \cdot \sin(\rho + \frac{2}{3}\pi)$$
- [0023] 
$$I_W = I_{m_x} \cdot \sin(\rho - \frac{2}{3}\pi)$$
- [0024] ( $I_{m_x}$ 는 3상 전류의 피크치,  $\beta_x$ 는 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각)을 이용하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령에 따른 3상 전류를 변환하고, 사전 설정된 간격으로 구분된 복수의 각도 구간에서 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간을 변경하기 위한 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 찾아 상기 모터의 운전점을 변경할 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 복수의 각도 구간에는 삼상 전류의 공급이 최대인 스위칭 소자가 지정되며, 상기 컨트롤러는 상기 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경할 수 있다.
- [0026] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 컨트롤러는, 상기 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경하기 위한 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 연산하고, 상기 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점으로 모터의 운전점을 변경할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 컨트롤러는, 상기 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경하기 위한 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 연산하고, 상기 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점에 해당하는 모터의 운전점과 이전의 모터 운전점을 변하여 상기 모터의 운전점으로 적용할 수 있다.
- [0028] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 컨트롤러는, 상기 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간과 현재 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간의 경계로 변경하기 위한 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 연산하고, 상기 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점으로 상기 모터의 운전점을 변경할 수 있다.
- [0030] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 다른 수단으로서 본 발명은,
- [0031] 전술한 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템을 이용한 모터 구동 방법에 있어서,
- [0032] 상기 컨트롤러가 상기 스위칭 소자의 과열 여부를 판단하는 단계; 및
- [0033] 상기 스위칭 소자가 과열된 것으로 판단된 경우, 상기 운전점을 토크 지령과 동일한 크기의 토크에 해당하는 다

른 운전점으로 변경하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령을 변경하는 단계;

[0034] 를 포함하는 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법을 제공한다.

[0035] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 판단하는 단계는, 상기 컨트롤러가 상기 스위칭 소자의 온도를 센싱한 온도 센싱값과 사전 설정된 과열 여부를 판단을 위한 기준값을 서로 비교하고 상기 온도 센싱값이 상기 기준값보다 큰 경우 상기 스위칭 소자가 과열인 것으로 판단할 수 있다.

[0036] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 변경하는 단계는, 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령에 따른 3상 전류를 식

[0037] 
$$\rho = \theta + 270 - \beta_x$$

[0038] 
$$I_U = I_{m_x} \cdot \sin \rho$$

[0039] 
$$I_V = I_{m_x} \cdot \sin(\rho + \frac{2}{3}\pi)$$

[0040] 
$$I_W = I_{m_x} \cdot \sin(\rho - \frac{2}{3}\pi)$$

[0041] ( $I_{m_x}$ 는 3상 전류의 피크치,  $\beta_x$ 는 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각)을 이용하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령에 따른 3상 전류를 변환하는 단계;

[0042] 사전 설정된 간격으로 구분된 복수의 각도 구간에서 변수  $\rho$ 가 속하는 각도를 확인하는 단계; 및

[0043] 상기 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간을 변경하기 위한 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 찾아 상기 모터의 운전점을 변경하는 단계를 포함할 수 있다.

[0044] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 복수의 각도 구간에는 삼상 전류의 공급이 최대인 스위칭 소자가 지정되며, 상기 변경하는 단계는 상기 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경할 수 있다.

[0045] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 변경하는 단계는, 상기 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경하기 위한 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 연산하는 단계; 및 상기 연산하는 단계에서 연산된 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점으로 모터의 운전점을 변경하는 단계를 포함할 수 있다.

[0046] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 변경하는 단계는, 상기 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간으로 변경하기 위한 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 연산하는 단계; 및 상기 연산하는 단계에서 연산된 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점에 해당하는 모터의 운전점과 이전의 모터 운전점을 번갈아 상기 모터의 운전점으로 적용하는 단계를 포함할 수 있다.

[0047] 본 발명의 일 실시형태에서, 상기 변경하는 단계는, 상기 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간을 최대 공급의 삼상 전류가 인가되는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 각도 구간과 현재 변수  $\rho$ 가 속하는 각도 구간의 경계로 변경하기 위한 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령의 위상각을 연산하는 단계; 및 상기 연산하는 단계에서 연산된 위상각에 대응되는 등자속 선을 선택하여 상기 d축 전류 지령 및 q축 전류 지령이 결정된 운전점의 등토크 선과 선택된 등자속 선이 교차하는 점으로 상기 모터의 운전점을 변경하는 단계를 포함할 수 있다.

**발명의 효과**

[0049] 상기 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템 및 방법에 따르면, 전기 구동 모터 기반의 차량에서 저속 주행의 경우 모터에 삼상 교류 전력을 공급하기 위한 인버터의 특정 스위칭 소자에 전류가 집중되어 스위칭 소자의 온도가 급격히 상승하는 현상을 방지할 수 있어 과열에 따른 스위칭 소자 파손 및 모터 코일 파손을 예방할 수 있다.

[0051] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은



아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- [0053] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템을 도시한 블록 구성도이다.
- 도 2는 통상의 MTPA 방식의 모터 제어 기법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 통상의 터의 회전자 위치 및 그에 따른 모터 3상 전류를 도시한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시형태에 따른 본 발명의 일 실시형태에 따른 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템의 전류지령 생성부를 구성하는 전류 지령맵의 일례를 도시한 도면이다.
- 도 6은 도 5에 도시된 것과 같은 전류 지령맵을 이용하여 모터의 운전점을 변경하는 전류 지령을 결정하는 기법을 설명하는 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시형태에 따른 본 발명의 일 실시형태에 따른 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템의 열분산 제어부의 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 8 내지 도 10은 본 발명의 여러 실시형태에 따른 본 발명의 일 실시형태에 따른 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법을 도시한 흐름도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0054] 이하, 첨부 도면을 참조하여 다양한 실시 형태에 따른 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템 및 방법을 상세하게 설명하기로 한다.
- [0055] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템을 도시한 블록 구성도이다.
- [0056] 일반적으로, 모터(30)를 구동하기 위한 시스템은, 모터(30)를 구동하기 위한 전력을 저장하는 에너지 저장 장치인 배터리(10)와 배터리(10)에 저장된 직류 전력을 3상의 교류로 변환하여 모터(30)로 제공하는 인버터(20)를 포함할 수 있다. 인버터(20)는 배터리(10)의 양단에 상호 병렬 관계로 연결되는 세 개의 레그를 가지며, 각 레그에는 두 개의 스위칭 소자( $U_T, U_B / V_T, V_B / W_T, W_B$ )가 서로 직렬 연결되고 두 스위칭 소자( $U_T, U_B / V_T, V_B / W_T, W_B$ )의 연결 노드에서 모터(30)로 한 상의 구동 전력이 제공된다. 이러한 모터 구동을 위해서는, 모터(30)의 구동을 통해 얻고자 하는 모터(30)의 토크에 해당하는 전류 지령 만큼 모터(30)로 전류를 제공할 수 있도록 인버터(20) 내 스위칭 소자(S1-S6)의 펄스폭 변조 제어가 수행될 수 있다.
- [0057] 컨트롤러(100)는 모터(30)의 회전자의 위치를 검출하는 회전자 위치 센서(40)에서 검출된 회전자 위치 정보와 외부의 상위 제어기나 센서에서 제공되는 토크 지령 및 자속 정보를 제공받고 그에 따라 발열 억제가 가능한 전류 지령( $I_d^*, I_q^*$ )를 생성하며, 인버터(20)가 생성된 전류 지령( $I_d^*, I_q^*$ )에 대응되는 전류를 출력하도록 모터(20)의 각 상의 전압 지령( $V_U^*, V_V^*, V_W^*$ )을 생성하여 인버터(20) 내 스위칭 소자( $U_T, U_B / V_T, V_B / W_T, W_B$ )의 온/오프 상태를 제어할 수 있다.
- [0058] 본 발명의 여러 실시형태에서, 컨트롤러(100)는 모터(30)의 저속 운전시 특정 상에 직류 전류가 집중되어 열이 과도하게 발생하는 것을 방지하기 위해 열분산 제어를 수행한다. 이를 위해, 컨트롤러(100)는 입력되는 토크 지령과 자속에 기반하여 전류 지령을 생성하는 전류 지령 생성부(110)와, 생성된 전류 지령과 동일한 토크를 출력하면서 다른 위상각을 갖는 전류 지령을 생성하기 위한 자속 변동분을 연산하는 열분산 제어부(120)를 포함한다.
- [0059] 열분산 제어부(120)는 입력되는 토크 지령과 동일한 토크를 출력하면서 dq 좌표 상에서 다른 위상각을 갖는 위치로 모터(30)의 운전점을 변경하게 하는 제어를 수행함으로써 특정 상에 집중되는 전류를 분산시켜 열분산 효과를 달성하게 할 수 있다. 열분산 제어부(120)는 이후의 설명을 통해 그 동작이 더욱 명확하게 이해될 수 있을 것이다.
- [0060] 통상적으로, 교류 전력으로 동작하는 모터(30)를 제어하는 데는 단위 전류당 최대 토크(Maximum Torque Per

Ampere: MTPA) 방식을 주로 사용하고 있다.

[0061] 도 2는 통상의 MTPA 방식의 모터 제어 기법을 설명하기 위한 도면이다.

[0062] 도 2를 참조하면, MTPA 방식의 모터 제어 기법은, 모터의 d축 전류와 q축 전류에 따른 동일 토크를 나타내는 등 토크 선(21)과 MTPA 선(22)이 만나는 점(A)를 운전점으로 하는 전류 지령을 결정하여 모터를 제어하는 방식이다. 등토크 선(21)은 외부에서 입력되는 토크 지령에 의해 결정될 수 있으며, MTPA 선(22)은 모터의 특성 등을 고려하여 사전에 설정되는 선이다.

[0063] 도 3은 모터의 회전자 위치 및 그에 따른 모터 3상 전류를 도시한 도면이다.

[0064] 도 3의 상부에 도시된 것과 같이 모터(30)의 회전자 위치가 변화하면 도 3의 하부에 도시된 것과 같이 모터(30)의 각 상 전류(3상 전류)는 주기적으로 변화하게 된다. 3상 전류의 피크치를  $I_{m0}$ 라고 하고,  $\theta$ 는 회전자의 위치(회전자와 고정자의 위상차)라고 하고,  $\beta_0$ 는 d-q 좌표계에서 전류 지령의 위상각이라고 할 때, 각 상 전류는 다음의 식 1과 같이 결정될 수 있다.

[0065] [식 1]

[0066] 
$$I_U = I_{m0} \cdot \sin(\theta + 270 - \beta_0)$$

[0067] 
$$I_V = I_{m0} \cdot \sin(\theta + 270 - \beta_0 + \frac{2}{3}\pi)$$

[0068] 
$$I_W = I_{m0} \cdot \sin(\theta + 270 - \beta_0 - \frac{2}{3}\pi)$$

[0069] 동기 dq 좌표계에서 MTPA 방식의 전류 제어를 사용하는 모터 구동 시스템에서, 모터가 회전하여 회전자 위치( $\theta$ )가 변화하더라도 일정한 토크를 출력하기 위해 MTPA 선 상의 전류 지령을 유지하여 전류 위상각( $\beta$ )를 일정하게 가져감으로써 모터의 출력 토크를 일정하게 유지시키게 된다. 다만, d-q 전류의 크기와 위상각( $\beta$ )는 고정되더라도 모터 회전자 위치( $\theta$ )가 시간에 따라 변화하기 때문에 3상 전류의 크기 역시 시간에 따라 변화하게 된다.

[0070] 만약, 모터 회전자가 회전하지 않아 모터 회전자 위치( $\theta$ )가 변화하지 않으면(회전 속도가 실질적으로 '0'인 경우), 3상 전류의 크기는 변하지 않고 일정한 값으로 유지되어 결국 직류 전류가 흐르는 것과 같은 상태가 된다. 이 경우 3상 전류 중에서 가장 큰 전류가 흐르는 상의 부품들은 상대적으로 집중된 전류로 인해 많은 열을 발생시키며 적절한 냉각이 이루어지지 않는 경우 급격한 온도 상승으로 인한 파손이 발생할 수 있다.

[0071] 도 4는 등토크 선 상에서 전류 위상각이 다른 운전점을 도시한 도면이다.

[0072] 전술한 것과 같이 특정 상에 전류가 집중되는 상태에서, 도 4에 도시된 것과 같이, MTPA 라인 상의 전류 지령과 등토크 선(21)에 위치하면서 위상각이 다른 운전점으로 전류 지령을 변경하면 3상에 흐르는 전류의 크기를 변경할 수 있어 열을 분산시킬 수 있게 된다.

[0073] 도 3의 'B'에 해당하는 운전점의 삼상 전류는 다음의 식 2와 같고, 도 3의 'C'에 해당하는 운전점의 삼상 전류는 다음의 식 3과 같다.

[0074] [식 2]

[0075] 
$$I_U = I_{m1} \cdot \sin(\theta + 270 - \beta_1)$$

[0076] 
$$I_V = I_{m1} \cdot \sin(\theta + 270 - \beta_1 + \frac{2}{3}\pi)$$

[0077] 
$$I_W = I_{m1} \cdot \sin(\theta + 270 - \beta_1 - \frac{2}{3}\pi)$$

[0078] [식 3]

[0079] 
$$I_U = I_{m2} \cdot \sin(\theta + 270 - \beta_2)$$

[0080] 
$$I_V = Im_2 \cdot \sin(\theta + 270 - \beta_2 + \frac{2}{3}\pi)$$

[0081] 
$$I_W = Im_2 \cdot \sin(\theta + 270 - \beta_2 - \frac{2}{3}\pi)$$

[0082] 본 발명의 여러 실시형태에서, 열분산 제어부(120)는 전술한 것과 같이, 모터(30)의 운전점을 dq 좌표 상의 동일 토크를 나타내는 위치로 전류 지령의 위상각을 변화시켜 삼상 전류를 변경함으로써 하나의 상에 전류가 집중되는 것을 방지할 수 있다.

[0083] 한편, 전류지령 생성부(110)는 입력되는 토크지령에 기반하여 MTPA 선과 토크지령에 해당하는 등토크 선이 만나는 지점을 찾아 전류 지령을 결정하는 요소이다. 전류지령 생성부(110)는 dq 좌표 상에 등토크 선, MTPA 선 및 단위 전압당 최소 토크(Minimum Torque Per Voltage: MTPV) 선 등을 포함하는 형태로 그 일례가 도 5에 도시된다. 도 5는 본 발명의 일 실시형태에 따른 본 발명의 일 실시형태에 따른 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템의 전류지령 생성부를 구성하는 전류 지령맵의 일례를 도시한 도면이다.

[0084] 일반적으로, 전류 지령맵은 MTPA 선(22)로부터 MTPV 선(23) 사이의 등토크 선들을 포함하는 형태로 구현되지만, 본 발명의 여러 실시형태에서는 MTPA 선에 의해 결정되는 전류 지령보다 위상각이 작은 전류 지령도 생성할 필요가 있으므로 MTPA 선(22)의 우측에 해당하는 영역에도 등토크 선이 나타나는 확장된 형태의 전류 지령맵을 적용할 수 있다.

[0085] 도 6은 도 5에 도시된 것과 같은 전류 지령맵을 이용하여 모터의 운전점을 변경하는 전류 지령을 결정하는 기법을 설명하는 도면이다.

[0086] 전류 지령맵은 등토크 라인 뿐만 아니라 등자속 라인도 포함할 수 있다. 도 5 및 도 6에서 등자속 라인은 참조부호 '24'로 지시된다.

[0087] 도 6을 참조하면, 컨트롤러(100)의 열분산 제어부(120)가 MTPA 선(22)에 의해 결정되는 모터의 운전점에 해당하는 전류 지령보다 위상각이 더 크거나 작은 운전점을 찾기 위해서는 등자속 선(24)을 이용할 수 있다. 외부에서 입력된 토크 지령에 의해 결정된 전류 지령에 해당하는 점(A), 즉 MTPA 선(22)에 의해 결정되는 모터의 운전점(A)을 지나는 등토크 선(211)과 교점을 이루는 여러 등자속 선 중에서 MTPA 선(22)과 교점을 형성하는 등자속 선(241)보다 큰 자속에 해당하는 등자속 선(242) 또는 작은 자속에 해당하는 등자속 선(243)을 선택하고, 선택된 등자속 선과 등토크 선의 교점(B, C)을 모터의 운전점으로 결정하면 각각 MTPA 선(22)에 의해 결정되는 전류 지령보다 위상각( $\beta$ )이 작은 전류 지령 또는 위상각( $\beta$ )이 큰 전류 지령을 결정할 수 있다.

[0088] 도 7은 본 발명의 일 실시형태에 따른 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 시스템의 열분산 제어부의 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0089] 열분산 제어부(120)는 회전자 각도와 전류 위상각을 하나의 변수( $\rho$ )로 치환하는 다음의 식 4를 이용하여 크기(피크치)가  $Im_x$ 이고 위상각이  $\beta_x$ 인 임의의 삼상 전류를 다음의 식 5와 같이 표현할 수 있다.

[0090] [식 4]

[0091] 
$$\rho = \theta + 270 - \beta_x$$

[0092] [식 5]

[0093] 
$$I_U = Im_x \cdot \sin \rho$$

[0094] 
$$I_V = Im_x \cdot \sin(\rho + \frac{2}{3}\pi)$$

[0095] 
$$I_W = Im_x \cdot \sin(\rho - \frac{2}{3}\pi)$$

[0096] 식 5로 표현된 3상 전류를  $\rho$  축으로 표현하면 도 7의 가장 상부에 도시된 것과 같은 파형이 도출될 수 있다.

[0097] 저항 손실에 직접 영향을 미치는 인자인 전류의 제곱을 도시하면 도 7의 중간에 도시된 것과 같은 파형이 도출될 수 있다. 이 파형을 이용하여  $\rho$ 의 위치에 따라 전류의 제곱값이 가장 큰 스위칭 소자를 도시하면 도 7의 가

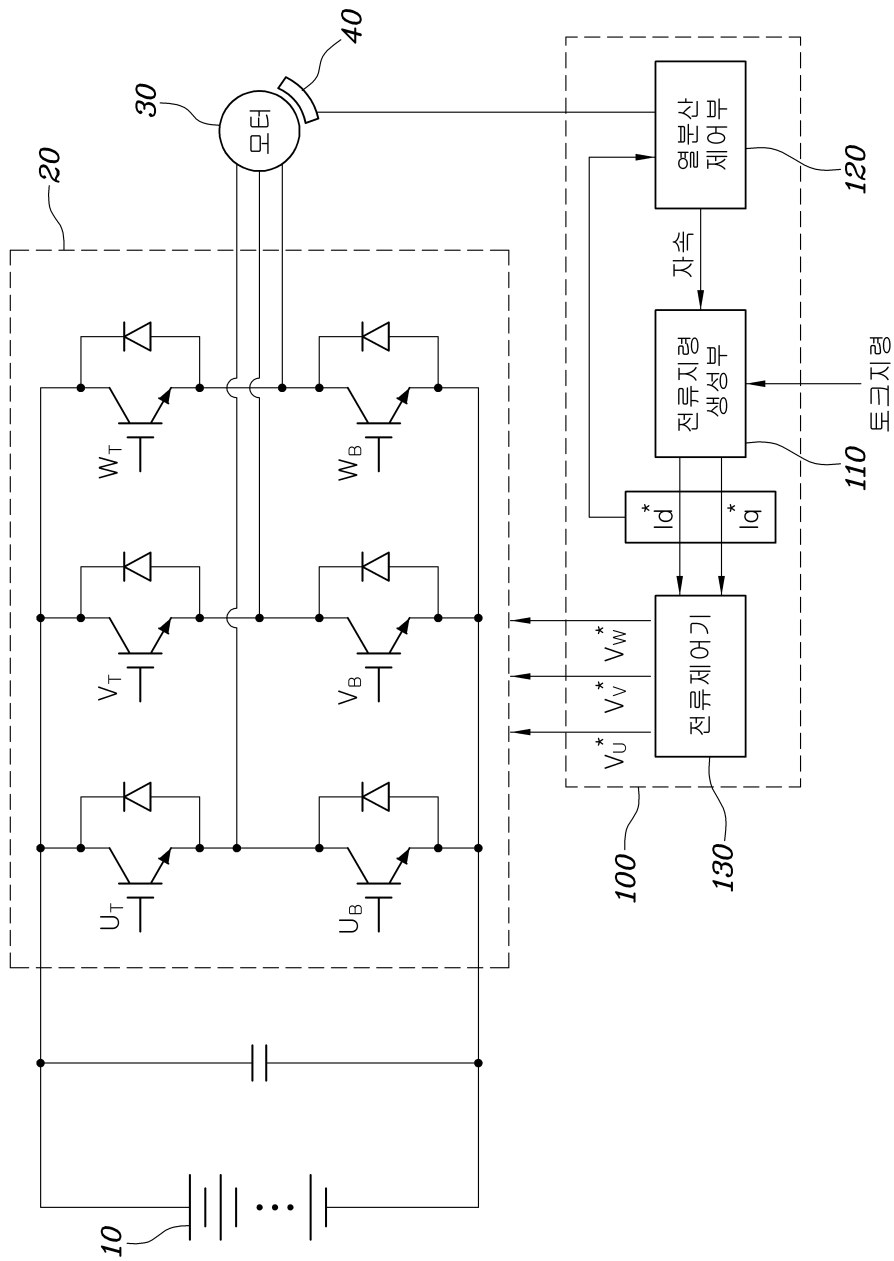
장 하부에 도시된 것과 같다. 도 7에 표시한 ' $U_T, U_B, V_T, V_B, W_T, W_B$ '는 도 1에 도시된 인버터(20) 내 스위칭 소자를 나타낸다.

- [0098] 예를 들어,  $\rho$ 가 ㉠ 영역에 존재하는 경우 가장 큰 전류가 흐르는 스위칭 소자는 ' $U_T$ '이다. 이 경우, 토크는 동일하지만 전류의 위상각이 더 큰 전류지령이 되도록 모터(30)의 운전점을 변경하도록  $\rho$ 를 ㉡ 영역으로 이동시킬 수 있으면 가장 큰 전류가 흐르는 스위칭 소자는 ' $V_B$ '가 될 수 있다. 다른 예로,  $\rho$ 가 ㉢ 영역에 존재하는 경우 가장 큰 전류가 흐르는 스위칭 소자는 ' $U_T$ '이다. 이 경우, 토크는 동일하지만 전류의 위상각이 더 작은 전류지령이 되도록 모터(30)의 운전점을 변경하도록  $\rho$ 를 ㉣ 영역으로 이동시킬 수 있으면 가장 큰 전류가 흐르는 스위칭 소자는 ' $W_B$ '가 될 수 있다.
- [0099] 물론,  $\rho$ 가 ㉠ 영역에 존재하는 경우 위상각을 더욱 작게 하여 ㉣ 영역으로 이동시켜도 가장 큰 전류가 흐르는 스위칭 소자를 ' $W_B$ '로 변경할 수 있지만 이 때에는 전류 위상각의 크기를 30보다 큰 값으로 변경하여야 하므로 MTPA를 이용하여 결정된 전류 지령 대비 상 전류의 크기가 비약적으로 증가할 수 있기 때문에 손실 측면에서 유리하지 못하다.
- [0100] 따라서, 위상각을 변경하여 전류가 집중된 스위칭 소자를 변경하는 기법은  $\rho$ 를 30도 간격으로 구분한 12 구역에서 현재 운전점에 해당하는  $\rho$ 가 속한 영역을 인접해 있는 영역 중 전류가 집중되는 스위칭 소자가 달라지는 영역으로 변경하는 것이 바람직하다.
- [0101] 도 8 내지 도 10은 본 발명의 여러 실시형태에 따른 본 발명의 일 실시형태에 따른 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법을 도시한 흐름도이다.
- [0102] 도 8 내지 도 10에 도시된 모터 구동 방법은, 전술한 모터 구동 시스템에 의해 구현될 수 있다.
- [0103] 먼저, 도 8을 참조하면, 본 발명의 일 실시형태에 따른 본 발명의 일 실시형태에 따른 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법은, 컨트롤러(100)가 열분산 제어가 필요한지의 여부를 판단하는 단계(S11)로부터 시작될 수 있다. 열분산 제어가 필요한지 여부를 판단하는 것은, 인버터(20)에 설치된 온도 센서(미도시)로부터 센싱된 스위칭 소자의 온도가 사전 설정된 기준 온도보다 높은지 여부를 판단하는 방식으로 구현될 수 있다. 기준 온도는 스위칭 소자의 과온을 판단하기 위한 온도로서 사전에 미리 설정될 수 있다.
- [0104] 단계(S11)에서 열분산 제어가 필요한 것으로 판단된 경우, 컨트롤러(100)의 열분산 제어부(120)는, 회전자 위치 센서(40)에서 검출된 회전자 위치각( $\theta$ )과 현재 전류 지령 생성부(110)에서 출력되는 전류 지령( $I_d^*, I_q^*$ )에 해당하는 위상각( $\beta$ )을 전술한 식 4에 적용하여 새로운 변수인  $\rho$ 를 연산하고(S12) 도 7을 통해 설명한 것과 같이  $\rho$ 가 속한 구간을 확인할 수 있다(S13).
- [0105] 이어, 열분산 제어부(120)는  $\rho$ 가 속한 구간을 최대 전류가 흐르는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 구간으로 변경하기 위한 위상각 변화량을 연산하고(S14), 도 6에 도시된 것과 전류 지령맵을 이용하여 연산된 위상각 변화량에 해당하는 등자속 선을 결정할 수 있다(S15).
- [0106] 단계(S15)에서 전류 지령 생성부(110)는 전류 지령맵에서 현재 토크 지령에 대응되는 등토크 선과 열분산 제어부(120)에서 결정된 등자속 선의 교차 점을 새로운 모터의 운전점으로 결정하고 결정된 운전점에 대응되는 토크 지령을 출력하여 모터(30)를 제어할 수 있다.
- [0107] 한편, 단계(S11)에서 열분산 제어가 필요하지 않은 것으로 판단된 경우에는 이전에 운전점을 변경하여 모터를 제어하였는지 판단하고(S16), 운전점이 변경된 경우에는 원래의 운전점, 즉 MTPA 선을 이용하여 결정된 운전점에서 모터(30)가 운전될 수 있도록 운전점을 변경하여 전류 지령을 생성할 수 있다(S17).
- [0108] 다음으로, 도 9를 참조하면, 본 발명의 다른 실시형태에 따른 저속 운전 시 발열 억제가 가능한 모터 구동 방법은, 전술한 도 8의 실시형태와 같이, 열분산 제어가 필요한 것으로 판단한 경우(S21), 열분산 제어부(120)는, 회전자 위치 센서(40)에서 검출된 회전자 위치각( $\theta$ )과 현재 전류 지령 생성부(110)에서 출력되는 전류 지령( $I_d^*, I_q^*$ )에 해당하는 위상각( $\beta$ )을 전술한 식 4에 적용하여 새로운 변수인  $\rho$ 를 연산하고(S22) 도 7을 통해 설명한 것과 같이  $\rho$ 가 속한 구간을 확인할 수 있다(S23).
- [0109] 이어, 도 8의 실시형태와 같이, 열분산 제어부(120)는  $\rho$ 가 속한 구간을 최대 전류가 흐르는 스위칭 소자를 변경할 수 있는 인접 구간으로 변경하기 위한 위상각 변화량을 연산할 수 있다(S24).

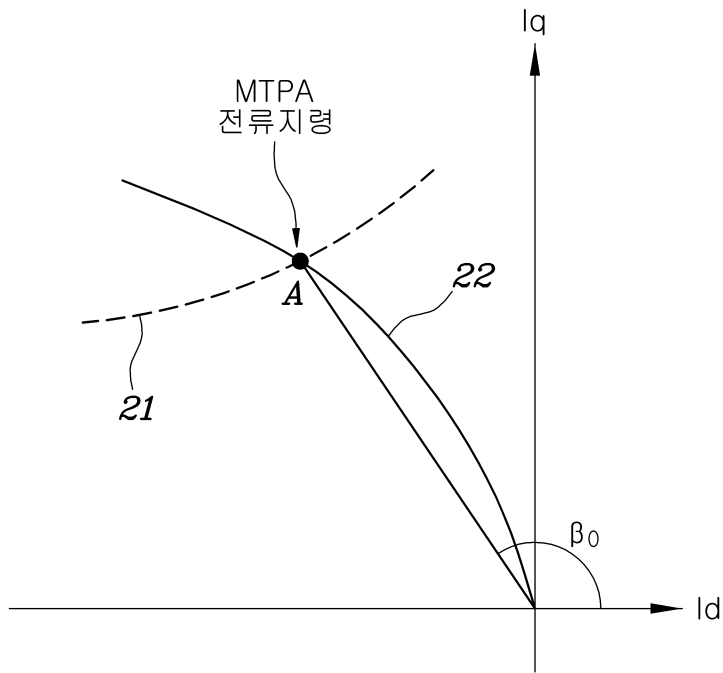


도면

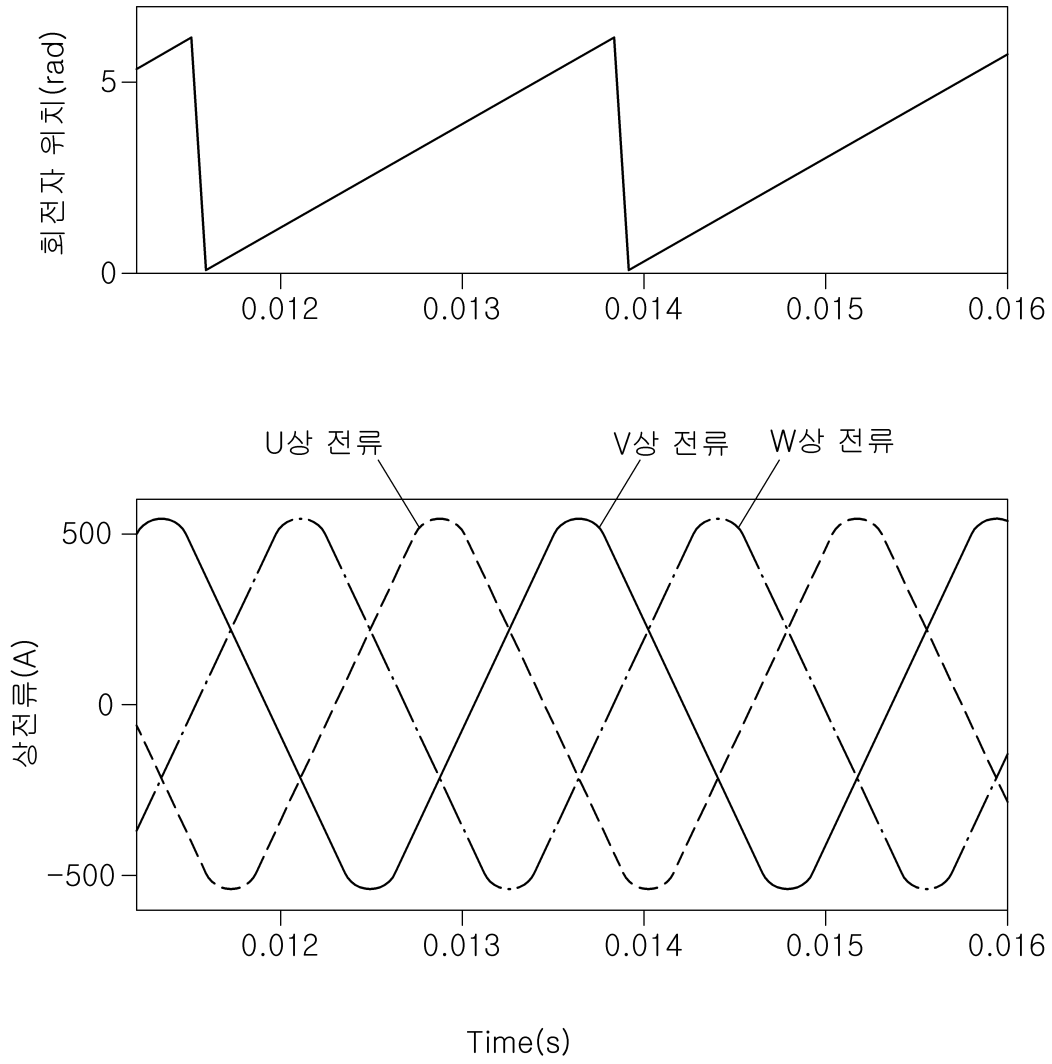
도면1



도면2

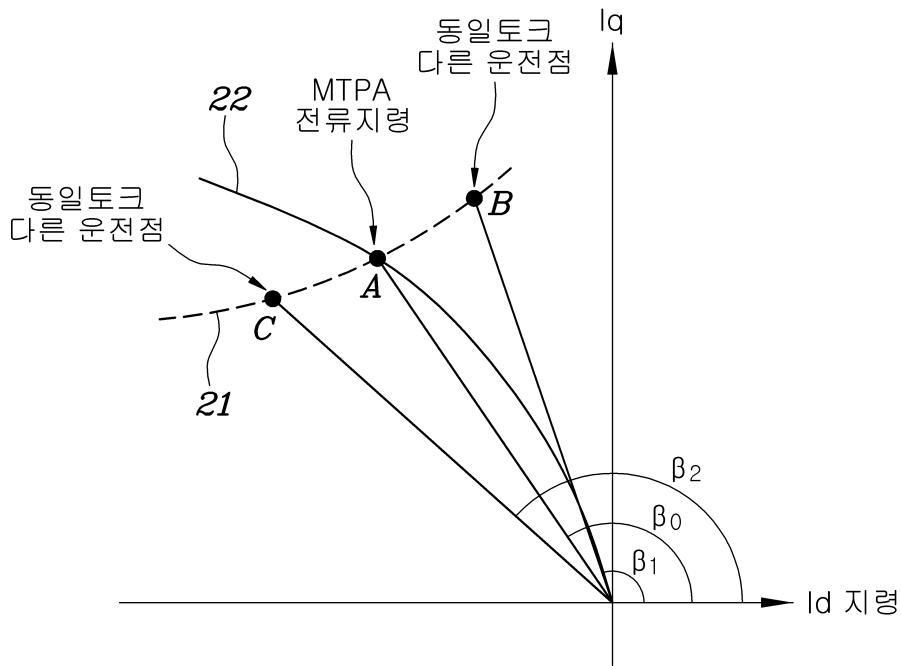


도면3

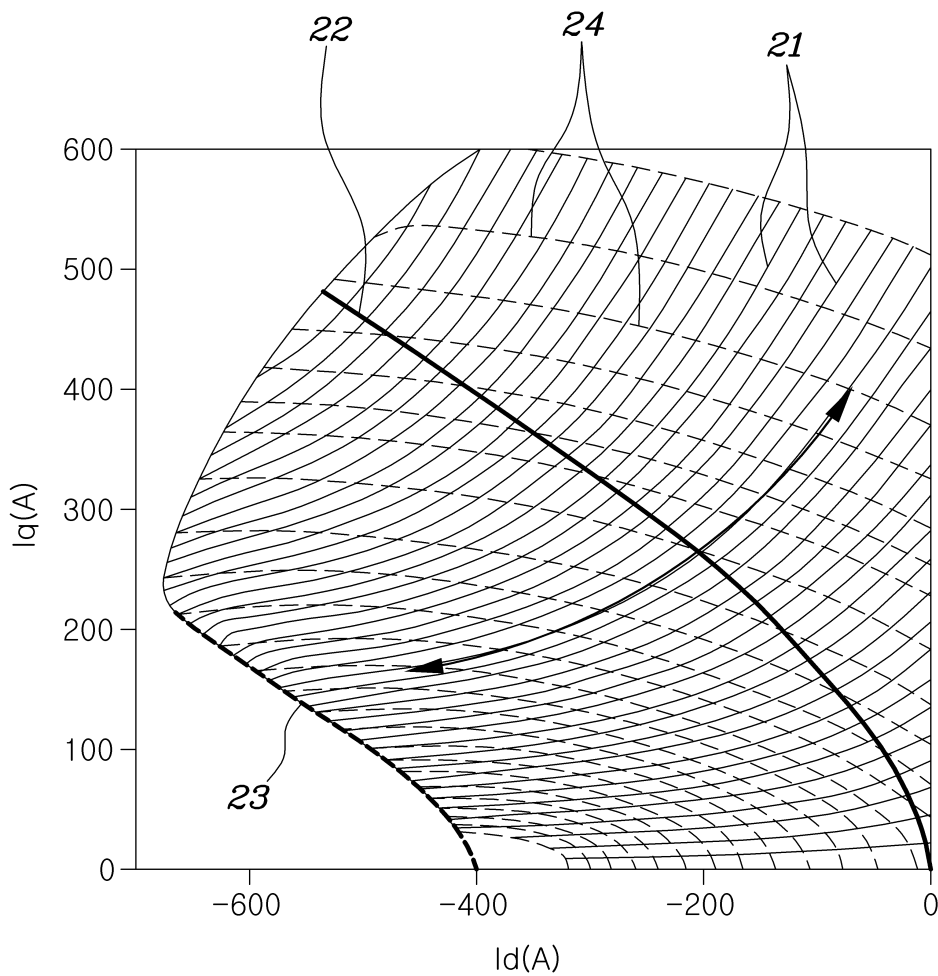




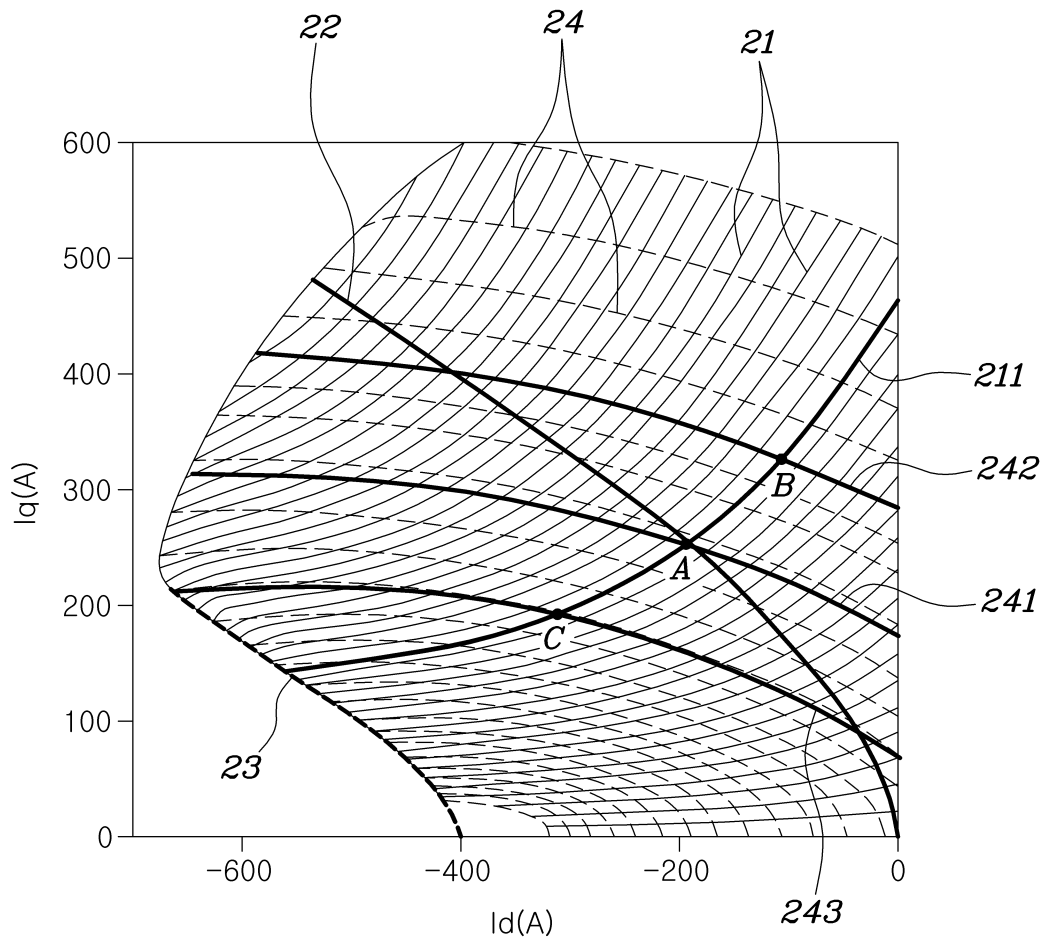
도면4



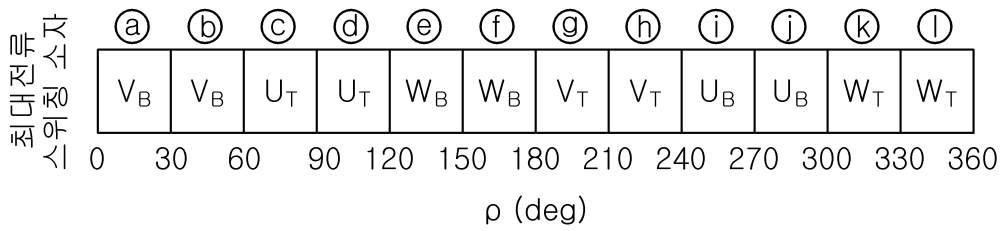
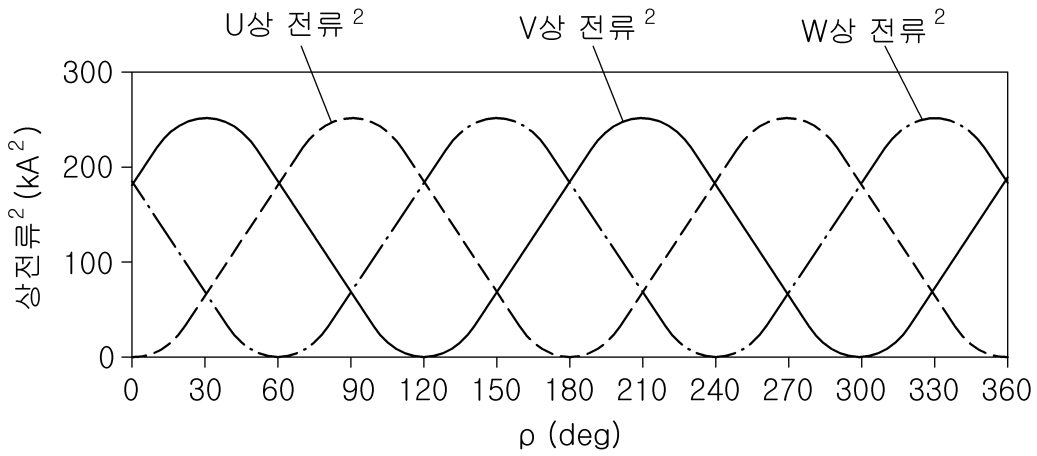
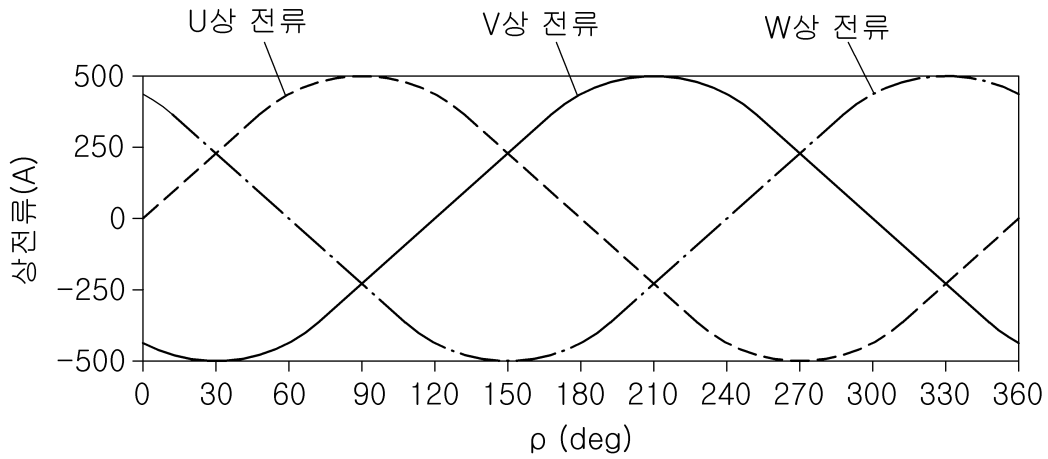
도면5



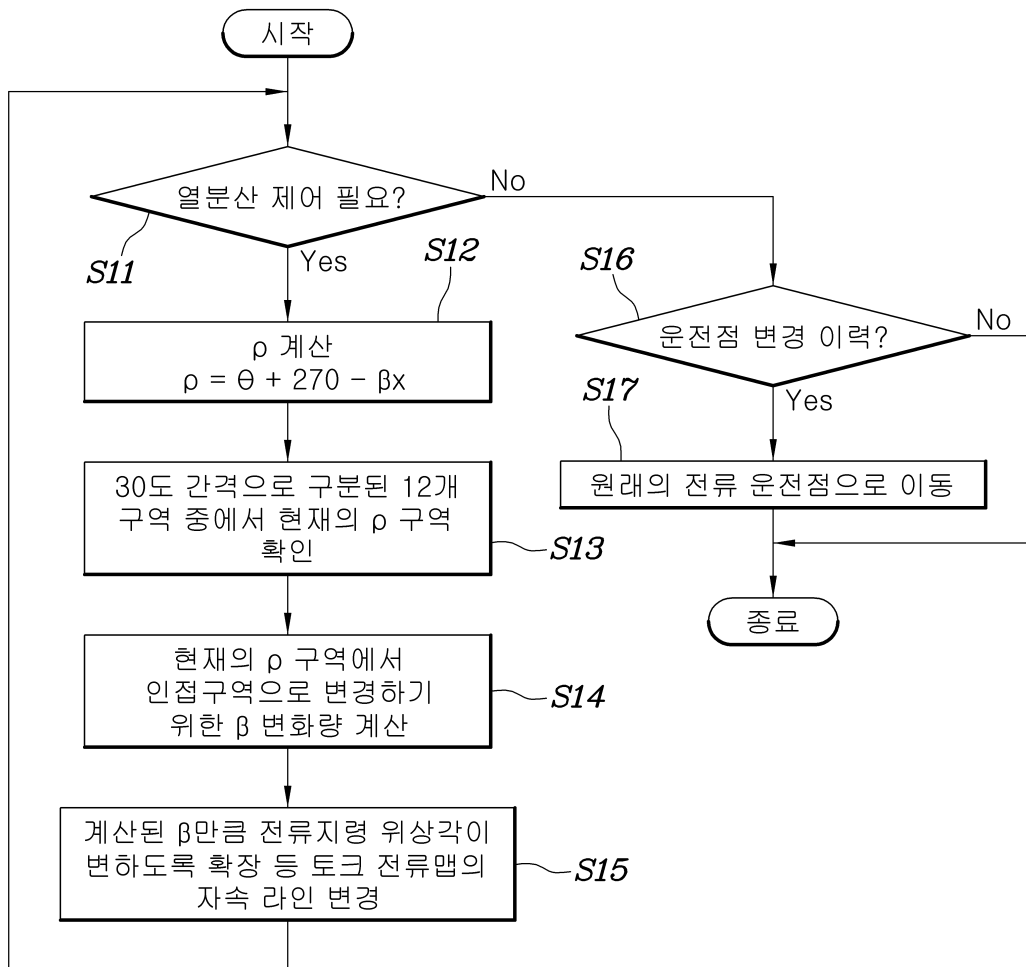
도면6



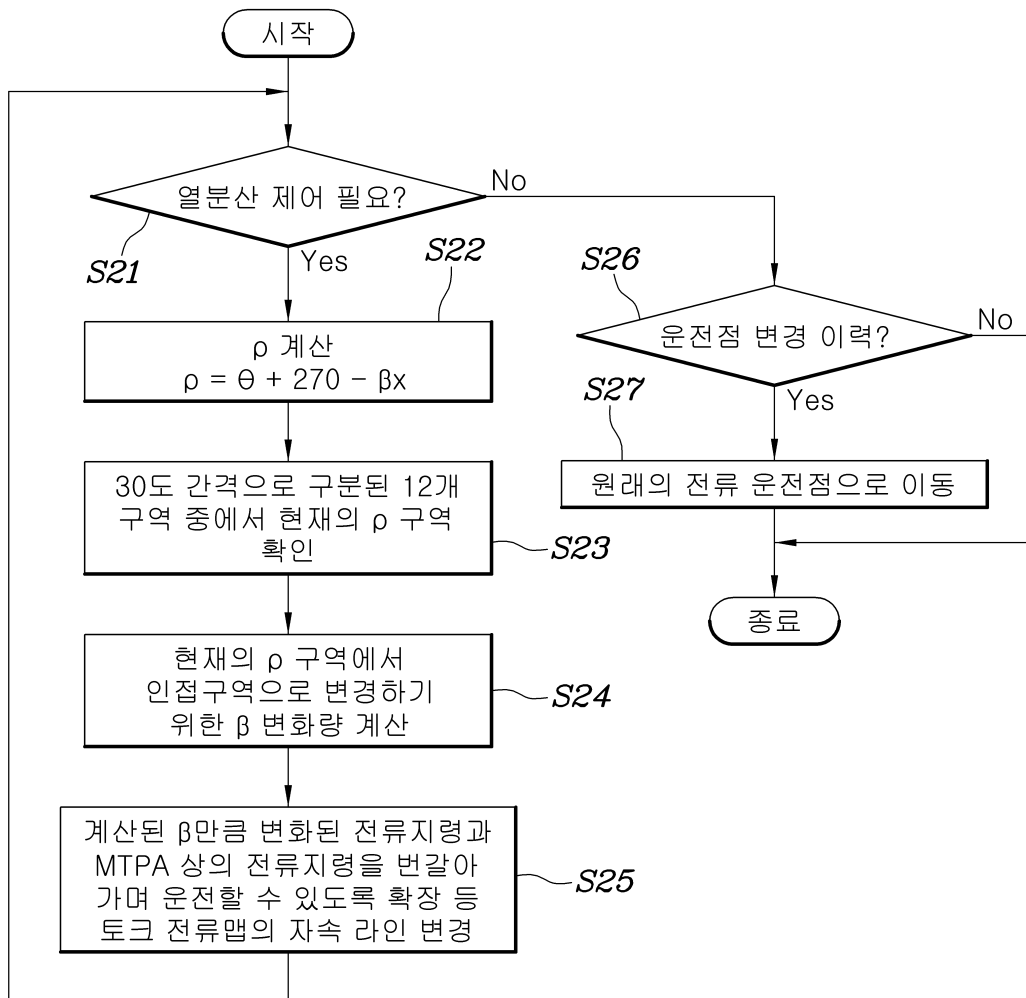
도면7



도면8



도면9



도면10

