



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.

B62D 5/04 (2006.01)

B62D 6/00 (2006.01)

B60W 10/20 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2006-0120015

(43) 공개일자 2006년11월24일

(21) 출원번호 10-2006-7006642

(22) 출원일자 2006년04월06일

심사청구일자 없음

번역문 제출일자 2006년04월06일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2004/014644

(87) 국제공개번호 WO 2005/035333

국제출원일자 2004년10월05일

국제공개일자 2005년04월21일

(30) 우선권주장 JP-P-2003-00348566 2003년10월07일 일본(JP)

(71) 출원인 가부시키가이샤 제이텍트  
일본 오사카후 오사카시 주오쿠 미나미센바 3초메 5반 8고

(72) 발명자 우에다 타케시  
일본국 나라켄 야마토코오리야마시 니시노가이토쵸 22-1  
니시자키 카츠토시  
일본국 미에켄 나바리시 케치바 452

(74) 대리인 윤동열

전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 전동 파워 스티어링 장치

(57) 요약

전동모터의 회전위치 정보와 그 전동모터의 목표 전류값을 사용해서, 당해 모터를 흐르는 전류의 소정의 고차 성분에 기인하는 토크 리플을 상쇄하기 위한 전류 고차 성분용의 보상값을 결정하는 전류 고차 일그러짐 보상부와, 이 전류 고차 일그러짐 보상부로부터의 보상값을 사용해서, 상기 목표 전류값을 보정하는 보정부를 형성한다. 그리고, 피드백 제어부가 보정부에 의해 보정된 후의 목표 전류값에 기초해서, 전동모터를 피드백 제어한다. 이것에 의해, 전류 고차 성분에 기인하는 토크 리플을 억제할 수 있으며, 따라서 조타 필링의 저하를 억제할 수 있다.

대표도

도 3

특허청구의 범위

## 청구항 1.

조타부재(操舵部材)의 조작에 따라 전동모터의 목표 전류값을 결정하고, 그 모터 동력을 조타기구에 부여해서 조타 보조를 행하는 전동 파워 스티어링 장치로서,

상기 전동모터의 회전위치 정보와 결정된 상기 목표 전류값을 사용해서, 당해 모터를 흐르는 전류의 소정의 고차 성분에 기인하는 토크 리플을 상쇄하기 위한 전류 고차 성분용의 보상값을 결정하는 토크 리플 보상결정수단과,

상기 토크 리플 보상결정수단으로부터의 보상값을 사용해서, 상기 결정된 목표 전류값을 보정하는 보정수단과,

상기 보정수단에 의해 보정된 후의 목표 전류값에 기초해서, 상기 전동모터를 피드백 제어하는 피드백 제어수단을 구비한 것을 특징으로 하는 전동 파워 스티어링 장치.

## 청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 토크 리플 보상결정수단은 상기 결정된 목표 전류값에 따라, 상기 전류 고차 성분용의 보상값을 변화시키는 것을 특징으로 하는 전동 파워 스티어링 장치.

## 청구항 3.

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 토크 리플 보상결정수단에는,

상기 전류 고차 성분용의 보상값을 결정하는 전류 고차 일그러짐 보상부에 더하여,

상기 전동모터의 회전위치 정보와 결정된 상기 목표 전류값을 사용해서, 당해 모터 내에 형성되는 자계의 일그러짐에 기인하는 토크 리플을 억제하기 위한 자계 일그러짐용의 보상값을 결정하는 자계 일그러짐 보상부가 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 전동 파워 스티어링 장치.

## 청구항 4.

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전동모터 및 상기 피드백 제어수단을 포함한 전류 제어계와,

상기 회전위치 정보를 기초로 상기 전동모터의 회전속도를 검출하는 회전속도 검출수단과,

상기 회전속도 검출수단으로부터의 상기 전동모터의 회전속도에 기초해서, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 게인 저하를 보상하기 위한 게인 보상값을 구하는 게인보상 연산수단을 구비하고,

상기 보정수단은 상기 토크 리플 보상결정수단으로부터의 보상값과, 상기 게인보상 연산수단으로부터의 게인 보상값을 사용해서, 상기 결정된 목표 전류값을 보정하는 것을 특징으로 하는 전동 파워 스티어링 장치.

## 청구항 5.

제4항에 있어서, 상기 회전속도 검출수단으로부터의 상기 전동모터의 회전속도에 기초해서, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 위상 지연을 보상하기 위한 위상 보상값을 구하는 위상보상 연산수단을 구비하고,

상기 보정수단은 상기 토크 리플 보상결정수단으로부터의 보상값과, 상기 게인보상 연산수단으로부터의 게인 보상값과, 상기 위상보상 연산수단으로부터의 위상 보상값을 사용해서, 상기 결정된 목표 전류값을 보정하는 것을 특징으로 하는 전동 파워 스티어링 장치.

## 명세서

### 기술분야

본 발명은 자동차 등의 차량에 탑재되며, 전동모터를 사용해서 드라이버의 조타동작(操舵動作)을 보조하는 전동 파워 스티어링 장치에 관한 것이다.

### 배경기술

예를 들면 자동차에 탑재되는 전동 파워 스티어링 장치는 조타부재(操舵部材)로부터 조향차륜(操向車輪)에 이르는 조타기구에 연결된 전동모터를 구비하고 있으며, 이 모터 동력을 조타기구에 부여함으로써 상기 조타부재에서의 드라이버에 의한 조타동작을 보조하도록 되어 있다.

그런데, 상기 전동모터에서는, 그 로터 자석의 극수(極數)나 스테이터 권선용의 슬롯수 등의 모터 구성에 기인해서 발생하는 코깅 토크(cogging torque)(기계적 리플)와, 유도기전력 파형이 이상파형(理想波形)에 대해서 일그러짐으로써 발생하는 전기 리플로 크게 구별되는 리플(맥동)이 출력 토크에 발생한다. 이와 같은 모터 출력에서의 토크 리플은 상기 스티어링 장치에 있어서의 조타 필링을 저하시키는 요인 중 하나이며, 따라서 당해 스티어링 장치에서는 토크 리플을 억제할 것이 강하게 요망되고 있다.

그래서, 종래 장치에는, 예를 들면 일본국 특허공개 2003-61272호 공보에 기재되어 있는 바와 같이, 상기 슬롯의 로터 자석에 대향하는 부분의 형상을 변경하거나, 스큐(skew) 각도를 조정함으로써, 토크 리플을 저감하고자 한 것이 있다.

그런데, 전동 파워 스티어링 장치에서는, 상기 전동모터로서 예를 들면 3상 브러시리스(brushless) 모터가 사용되고 있다.

그러나, 상기와 같은 모터에서는, 일그러짐을 갖는 자계의 회전에 의해 발생하는 전류의 고차 성분에 기인해서, 그 출력 토크에 토크 리플(전기 리플)이 나타나, 조타 필링의 저하를 발생시키는 경우가 있었다.

본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 감안하여, 전류 고차 성분에 기인하는 토크 리플을 억제할 수 있으며, 따라서 조타 필링의 저하를 억제할 수 있는 전동 파워 스티어링 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 발명의 상세한 설명

상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은 조타부재의 조작에 따라 전동모터의 목표 전류값을 결정하고, 그 모터 동력을 조타기구에 부여해서 조타 보조를 행하는 전동 파워 스티어링 장치로서, 상기 전동모터의 회전위치 정보와 결정된 상기 목표 전류값을 사용해서, 당해 모터를 흐르는 전류의 소정의 고차 성분에 기인하는 토크 리플을 상쇄하기 위한 전류 고차 성분용의 보상값을 결정하는 토크 리플 보상결정수단과, 상기 토크 리플 보상결정수단으로부터의 보상값을 사용해서, 상기 결정된 목표 전류값을 보정하는 보정수단과, 상기 보정수단에 의해 보정된 후의 목표 전류값에 기초해서, 상기 전동모터를 피드백 제어하는 피드백 제어수단을 구비한 것을 특징으로 하는 것이다.

상기와 같이 구성된 전동 파워 스티어링 장치에서는, 토크 리플 보상결정수단이 전동모터의 회전위치 정보와, 조타부재의 조작에 따라 결정된 목표 전류값을 사용함으로써, 그 목표 전류값의 전류가 당해 모터에 공급되었을 때에, 그 전류의 소정의 고차 성분에 의해 발생하는 토크 리플을 예기(豫期)하고, 그 예기한 토크 리플을 상쇄하기 위한 전류 고차 성분용의 보상값을 결정하고 있다. 또한, 상기 피드백 제어수단은 보정수단이 토크 리플 보상결정수단으로부터의 보상값을 기초로 보정한 목표 전류값에 기초해서 전동모터를 피드백 제어하므로, 당해 제어수단이 보정 후의 목표 전류값의 전류를 공급시켰을 때에 상기 소정의 전류 고차 성분이 제거된 상태에서 당해 모터에의 전류 공급이 행해져, 전류 고차 성분에 기인하는 토크 리플을 억제할 수 있다.

또한, 상기 전동 파워 스티어링 장치에 있어서, 상기 토크 리플 보상결정수단은 상기 결정된 목표 전류값에 따라, 상기 전류 고차 성분용의 보상값을 변화시키는 것이 바람직하다.

이 경우, 상기의 보상값이 모터 부하에 따라 변화되게 되어, 모터 부하가 변화했을 때라도, 피드백 제어수단은 보다 적절한 보상값으로 보정된 목표 전류값을 사용해서 전동모터를 제어할 수 있으며, 조타 필링 저하를 보다 확실하게 방지할 수 있다.

또한, 상기 전동 파워 스티어링 장치에 있어서, 상기 토크 리플 보상결정수단에는, 상기 전류 고차 성분용의 보상값을 결정하는 전류 고차 일그러짐 보상부에 더하여, 상기 전동모터의 회전위치 정보와 결정된 상기 목표 전류값을 사용해서, 당해 모터 내에 형성되는 자계의 일그러짐에 기인하는 토크 리플을 억제하기 위한 자계 일그러짐용의 보상값을 결정하는 자계 일그러짐 보상부가 형성되어도 좋다.

이 경우, 상기 전류 고차 일그러짐 보상부가 결정하는 전류 고차 성분용의 보상값에 더하여, 자계 일그러짐 보상부가 결정하는 자계 일그러짐용의 보상값을 사용해서, 목표 전류값이 보정되게 되어, 상기 피드백 제어수단이 당해 목표 전류값의 전류를 흐르게 했을 때에 전류 고차 성분에 기인하는 토크 리플뿐만 아니라 전동모터 내에 형성되는 자계 일그러짐에 기인하는 토크 리플을 억제할 수 있으며, 이들 리플에 의한 조타 필링 저하를 방지할 수 있다.

또한, 상기 전동 파워 스티어링 장치에 있어서, 상기 전동모터 및 상기 피드백 제어수단을 포함한 전류 제어계와, 상기 회전위치 정보를 기초로 상기 전동모터의 회전속도를 검출하는 회전속도 검출수단과, 상기 회전속도 검출수단으로부터의 상기 전동모터의 회전속도에 기초해서, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 게인 저하를 보상하기 위한 게인 보상값을 구하는 게인보상 연산수단을 구비하고, 상기 보정수단은 상기 토크 리플 보상결정수단으로부터의 보상값과, 상기 게인보상 연산수단으로부터의 게인 보상값을 사용해서, 상기 결정된 목표 전류값을 보정하는 것이 바람직하다.

이 경우, 상기 피드백 제어수단이 토크 리플 보상결정수단으로부터의 보상값과 게인보상 연산수단으로부터의 게인 보상값을 사용해서 보정된 목표 전류값에 기초해, 전동모터를 피드백 제어하게 되고, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 따라서, 그 모터를 흐르는 전류의 게인이 모터 회전속도의 증가에 따라 저하하는 것을 보상할 수 있으며, 당해 게인 저하에 따라 조타 필링이 저하하는 것을 억제할 수 있다.

또한, 상기 전동 파워 스티어링 장치에 있어서, 상기 회전속도 검출수단으로부터의 상기 전동모터의 회전속도에 기초해서, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 위상 지연을 보상하기 위한 위상 보상값을 구하는 위상보상 연산수단을 구비하고, 상기 보정수단은 상기 토크 리플 보상결정수단으로부터의 보상값과, 상기 게인보상 연산수단으로부터의 게인 보상값과, 상기 위상보상 연산수단으로부터의 위상 보상값을 사용해서, 상기 결정된 목표 전류값을 보정해도 좋다.

이 경우, 상기 피드백 제어수단이 토크 리플 보상결정수단으로부터의 보상값과 게인보상 연산수단으로부터의 게인 보상값과 위상보상 연산수단으로부터의 위상 보상값을 사용해서 보정된 목표 전류값에 기초해, 전동모터를 피드백 제어하게 되고, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 따라서, 그 모터를 흐르는 전류가 유기전압에 대하여 모터 회전속도의 증가에 따라 위상 지연을 발생하는 것을 보상할 수 있으며, 당해 위상 지연에 따른 조타 필링 저하를 억제할 수 있다.

## 실시예

이하, 본 발명의 전동 파워 스티어링 장치의 바람직한 실시형태에 대해서, 도면을 참조하면서 설명한다. 한편, 이하의 설명에서는, 조타부재에 연결되는 조타축에 전동모터로서의 브러시리스 모터를 연결한 칼럼 어시스트식(column assist type)의 전동 파워 스티어링 장치에 적용한 경우를 예시해서 설명한다.

### [전동 파워 스티어링 장치의 전체 구성]

도 1은 본 발명의 한 실시형태에 따른 전동 파워 스티어링 장치의 주요부의 구성을 나타내는 모식도이다. 도면에 있어서, 당해 장치는 예를 들면 자동차에 탑재되고, 조타부재(스티어링 휠)(1)에 가해지는 드라이버의 조타동작에 따라서, 조향차륜(8)의 방향을 변경시키는 조타축(2)을 구비하고 있다. 즉, 조타축(2)의 일단측에는 조타부재(1)가 연결됨과 아울러, 타단측에는 좌우의 상기 조향차륜(8)이 랙 피니언식 전달기구(6) 및 타이로드(7) 등을 통해서 연결되어 있다. 그리고, 조타축(2)의 회전이 랙 피니언식 전달기구(6)에 의해 좌우방향의 직선운동으로 변환되어, 조향차륜(8)이 전타(轉舵)된다.

또한, 상기 조타축(2)의 도중에는, 토크센서(3)와, 감속기구(4)를 개재시켜서 연결된 전동모터(5)가 형성되어 있다. 이들 감속기구(4)와 전동모터(5)가 조타부재(1)로부터 조향차륜(8)에 이르는 조타기구에 모터 동력에 의한 조타 보조력을 부여하는 조타 보조부를 구성하고 있다. 다시 말하면, 상기 토크센서(3)는 드라이버의 조타부재(1)로의 스티어링 조작이나 조향차륜(8)으로부터 역입력되는 노면(路面) 저항 등에 따라 조타축(2)에 발생한 토크를 검출하고, 그 토크 검출값을 나타내

는 토크 검출신호(Ts)를 제어장치로서의 ECU(10)에 출력한다. 또한, 이 ECU(10)에는 이그니션 스위치(12)의 온/오프 조작에 따라 배터리(11)로부터 전력공급이 행해짐과 아울러, 자동차 속도를 검출하는 차속(車速)센서(9)로부터의 차속 신호(Vs)와, 상기 모터(5)의 로터 회전에 따른 신호가 입력되도록 되어 있으며, ECU(10)는 이들 입력 신호를 기초로 전동모터(5)의 구동 제어를 행함으로써 원하는 조타 보조력에 의한 조타 보조를 실시하도록 되어 있다.

[전동모터의 구성 및 그 구동제어의 개요]

상기 전동모터(5)는 도 2를 참조해서, 예를 들면 영구자석을 갖는 로터와, U상(相), V상 및 W상의 각 상 코일(스테이터 권선)을 구비하고, 정현파 구동방식의 3상 스타 결선의 브러시리스 모터에 의해 구성되어 있다.

여기에서, 이 모터(5)에 있어서, 원하는 조타 보조력을 발생시키기 위해서, 각 상 코일에 공급해야 할 상전류(相電流)의 목표값, 다시 말하면 각 상 코일에 대한 전류 지령값( $i^*u$ ,  $i^*v$  및  $i^*w$ )은 그 공급전류의 최대값(진폭)을  $I^*$ 라고 했을 때에 다음의 (1)~(3)식으로 나타낸다.

$$i^*u = I^* \times \sin\theta_{re} \dots(1)$$

$$i^*v = I^* \times \sin(\theta_{re} - 2\pi/3) \dots(2)$$

$$i^*w = I^* \times \sin(\theta_{re} - 4\pi/3) = -i^*u - i^*v \dots(3)$$

단,  $\theta_{re}$ 는 도 2에 나타내는 바와 같이, 예를 들면 U상 코일을 기준으로 해서 시계방향 둘레로 정회전(正回轉)하는 영구자석(로터)의 회전각도(전기각)이다. 이 전기각은 로터의 회전위치를 나타내는 정보이며, 당해 로터의 실제의 회전각도를 나타내는 기계각을  $\theta_m$ 이라고 하고, 로터의 자극수(磁極數)를  $p$ 라고 했을 때에,  $\theta_{re} = (p/2) \times \theta_m$ 으로 나타낸다. 한편, 이하의 설명에 있어서는, 특히 명기할 때 이외는 각도는 전기각을 나타내는 것으로 한다.

또한, 전동모터(5)는 상기 ECU(10)에 포함된 후술의 피드백 제어부에 의해 피드백 제어되고 있으며, 또한 이 피드백 제어에서는 d-q좌표가 사용되고 있다. 구체적으로는, 상기 d-q좌표는 영구자석에 의한 자속의 방향을 d축이라고 하고, 이 d축에 직교하는 방향을 q축이라고 규정한 것으로, 상기 자석 회전(회전 자계)과 동기(同期)해서 회전하는 회전 좌표계이다. 그리고, ECU(10)는 전동모터(5)에의 인가 전압의 지령값을 결정할 때에, 우선 상기 (1)~(3)식에 나타낸 각 상 코일에서의 전류 지령값( $i^*u$ ,  $i^*v$  및  $i^*w$ )을, 다음의 (4) 및 (5)에 각각 나타나는 d축 전류 지령값( $i^*d$ ) 및 q축 전류 지령값( $i^*q$ )으로 변환하고, 이들 변환한 d-q좌표의 전류 지령값( $i^*d$  및  $i^*q$ )에 기초해서 상기 인가 전압 지령값을 결정하고 있다. 이와 같이, 3상 교류 좌표(정지좌표)에서의 전류 지령값( $i^*u$ ,  $i^*v$  및  $i^*w$ )을 d-q좌표의 전류 지령값( $i^*d$  및  $i^*q$ )으로 변환함으로써, 모터(5)의 회전사라도 ECU(10)는 그 공급전류를 직류량으로 제어 가능해지고, 위상 지연의 저감 등을 행하면서, 당해 모터(5)의 구동 제어를 고정밀도로 실시하여 원하는 조타 보조력을 용이하게 발생시킬 수 있다.

$$i^*d = 0 \dots(4)$$

$$i^*q = -\sqrt{(3/2)} \times I^* \dots(5)$$

또한, 전동모터(5)의 U상, V상, 및 W상의 각 상 코일을 실제로 흐르는 전류에 대해서는, 후술하는 전류 검출기로 예를 들면 U상 전류 검출값( $i_u$ ) 및 V상 전류 검출값( $i_v$ )이 검출되고, 이들 검출값( $i_u$  및  $i_v$ )을 하기의 (6) 및 (7)식에 대입함으로써 d-q좌표로 변환한 후의 d축 전류 검출값( $i_d$ ) 및 q축 전류 검출값( $i_q$ )이 구해지도록 되어 있다. 그리고, ECU(10)에서는, 뒤에 상세하게 서술하는 바와 같이, 상기 d축 전류 지령값( $i^*d$ ) 및 q축 전류 지령값( $i^*q$ )과 d축 전류 검출값( $i_d$ ) 및 q축 전류 검출값( $i_q$ )을 사용한 피드백 제어가 행해진다.

$$i_d = \sqrt{2} \{i_v \times \sin\theta_{re} - i_u \times \sin(\theta_{re} - 2\pi/3)\} \dots(6)$$

$$i_q = \sqrt{2} \{i_v \times \cos\theta_{re} - i_u \times \cos(\theta_{re} - 2\pi/3)\} \dots(7)$$

[ECU의 구성 및 동작]

도 3은 도 1에 나타낸 ECU의 구성예를 나타내는 블록도이다. 도면에 나타내는 바와 같이, 상기 ECU(10)에는, 상기 토크 센서(3)로부터의 토크 신호( $T_s$ )를 입력하는 위상보상기(13)와, 마이크로 컴퓨터(이하, "마이컴"이라고 약칭함)(100)와, 이 마이컴(100)으로부터의 지시에 따라 상기 전동모터(5)를 PWM 신호로 구동하는 하드웨어에 의해 구성된 모터 구동부가 형성되어 있다. 이 모터 구동부에는, 마이컴(100)에 접속된 3상 PWM 변조부(31)와, 이 3상 PWM 변조부(31)와 구동 대상의 구동모터(5)의 각 스테이터 권선(U, V, W상의 각 코일) 사이에 접속된 모터 구동회로(32)가 형성되어 있다.

또한, 상기 모터 구동부는 모터 구동회로(32)와 상기 3상 코일 중, 예를 들면 V상 코일 및 U상 코일에 공급되는 전류를 각각 검출하는 V상 전류 검출기(33) 및 U상 전류 검출기(34)와, 전동모터(5)측에 형성되며, 리졸버(resolver) 등에 의해 구성된 위치검출 센서(51)로부터의 센서 출력(로터 회전에 따른 신호( $S_r$ ))을 기초로 상기 전기각을 검출하는 로터각도 위치검출기(35)를 구비하고 있으며, 도면에 점선으로 둘러싸서 나타내는 바와 같이, 당해 모터 구동부와 마이컴(100)의 일부분으로 전동모터(5)를 피드백 제어하는 상기 피드백 제어부(200)를 구성하고 있다. 또한, 상기 위치검출 센서(51)와 로터각도 위치검출기(35)가 전동모터(5)의 회전위치 정보(전기각)를 취득하는 회전위치 정보취득수단을 구성하고 있다.

상기 마이컴(100)에는, 그 내부에 형성된 불휘발성의 메모리(도시하지 않음)에 미리 저장되어 있는 프로그램을 실행함으로써, 모터 제어에 필요한 소정의 연산처리를 행하는 복수의 기능 블록이 형성되어 있다. 즉, 이 마이컴(100)에는, 도 3에 나타내는 바와 같이, 목표 전류값 연산부(14), 회전방향 지정부(15), 수렴성 보정부(16), 가산기(17), 자계 일그러짐 보상부(18), 전류 고차 일그러짐 보상부(19), 로터 각속도 연산부(20), 가산기(21, 22), 감산기(23, 24), d축 전류 PI 제어부(25), q축 전류 PI 제어부(26), d-q/3상 교류 좌표 변환부(27), 부호 반전 가산기(28), 3상 교류/d-q좌표 변환부(29), 및 정현파 ROM 테이블(30)이 포함되어 있으며, 차속센서(9)로부터의 차속 신호( $V_s$ ) 등의 입력 신호를 기초로 원하는 조타 보조력을 결정하고, 이 결정한 조타 보조력에 대응한 출력(지시) 신호를 상기 모터 구동부에 주는 모터 제어부를 구성하고 있다.

또한, 이 모터 제어부에서는, 상기 자계 일그러짐 보상부(18) 및 전류 고차 일그러짐 보상부(19)를 갖는 토크 리플 보상결정부(101)가 형성되어 있으며, 이 보상결정부(101)의 연산결과를 모터 구동부에의 지시 신호에 반영시킴으로써, 뒤에 상세하게 서술하는 바와 같이, 전동모터(5) 내에 형성되는 자계의 일그러짐에 기인하는 토크 리플과 당해 모터(5)를 흐르는 전류의 고차 성분에 기인하는 토크 리플을 저감할 수 있도록 되어 있다. 또한, 로터 각속도 연산부(20)가 상술한 회전위치 정보취득수단으로부터의 회전위치 정보를 기초로 전동모터(5)의 회전속도를 검출하는 회전속도 검출수단을 구성하고 있다.

상기와 같이 구성된 ECU(10)에서는, 토크센서(3)로부터 상기 토크 검출신호( $T_s$ )를 입력하면, 상기 위상보상기(13)가 그 토크 검출신호( $T_s$ )에 위상보상을 실시해서 마이컴(100)의 목표 전류값 연산부(14)에 출력한다. 또한, 이 ECU(10)는 상기 차속센서(9)로부터 소정의 샘플링 주기로 출력되는 차속 신호( $V_s$ )를 입력하고 있으며, 그 입력한 차속 신호( $V_s$ )는 마이컴(100)의 목표 전류값 연산부(14) 및 수렴성 보정부(16)에 주어지고 있다. 또한, ECU(10)에서는, 위치검출 센서(51)로부터 센서 신호( $S_r$ )가 로터각도 위치검출기(35)에 입력되면, 이 로터각도 위치검출기(35)는 입력한 센서 신호( $S_r$ )에 기초해서 전동모터(5)의 영구자석(로터)의 회전위치, 다시 말하면 상기 전기각( $\theta_{re}$ )을 검출한다. 그리고, 로터각도 위치검출기(35)는 검출한 전기각( $\theta_{re}$ )을 나타내는 각도 신호를 마이컴(100)의 자계 일그러짐 보상부(18), 전류 고차 일그러짐 보상부(19), 로터 각속도 연산부(20), 및 정현파 ROM 테이블(30)에 출력한다.

상기 목표 전류값 연산부(14)는 위상보상 후의 토크 검출신호( $T_s$ )와 차속 신호( $V_s$ )에 기초해서, 전동모터(5)에 공급해야 할 공급 전류의 값인 목표 전류값( $I_t$ )을 구한다. 상세하게는, 이 연산부(14)에는 어시스트맵(assist map)이라고 불리는, 조타축(2)에서의 토크, 이 토크에 따라 원하는 조타 보조력을 발생시키기 위한 상기 목표 전류값( $I_t$ ), 및 차속의 관계를 나타낸 테이블이 미리 저장되어 있다. 그리고, 당해 연산부(14)는 상기 토크 검출신호( $T_s$ ) 및 차속 신호( $V_s$ )의 각 값을 입력 파라미터로 하고, 상기 테이블을 참조함으로써, 목표 전류값( $I_t$ )을 취득하며, 회전방향 지정부(15) 및 가산기(17)에 출력한다.

또한, 이 목표 전류값( $I_t$ )은 상술한 (5)식으로 나타난 q축 전류 지령값( $i^*q$ )에 해당하는 것이고, 모터 동력에 의한 어시스트 방향을 나타내는 부호를 갖고 있다. 다시 말하면, 목표 전류값( $I_t$ )의 부호는 모터 로터의 회전방향을 지정하고 있으며, 예를 들면 정(正) 및 부(負)의 경우에 각각 조타부재(1)에서의 우방향 조타 및 좌방향 조타를 보조하도록 전동모터(5)를 회동(回動)시키는 것을 나타내고 있다.

상기 회전방향 지정부(15)는 목표 전류값 연산부(14)로부터 입력한 목표 전류값( $I_t$ )의 부호에 기초해서 로터 회전방향을 판별하고, 그 회전방향을 지정하는 방향신호( $S_{dir}$ )를 생성해서 수렴성 보정부(16)에 출력한다. 이 수렴성 보정부(16)에는,

상기 차속 신호( $V_s$ )와, 방향신호( $S_{dir}$ )와, 상기 로터 각속도 연산부(20)가 로터 각속도 위치검출기(35)로부터 입력한 전기각( $\Theta_{re}$ )을 기초로 산출한 로터 각속도( $\omega_{re}$ )가 입력되어 있으며, 당해 보정부(16)는 이들의 입력 신호를 사용한 소정 연산을 행함으로써, 차량 수렴성을 확보하기 위한 보상 전류값( $i_c$ )을 구한다. 그리고, 이 보상 전류값( $i_c$ )은 가산기(17)에 의해 상기 목표 전류값( $I_t$ )에 가산되며, 가산기(17)는 그 가산결과를  $q$ 축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )으로서 출력한다.

상기  $q$ 축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )은 원하는 조타 보조력을 발생하기 위한 모터 부하(다시 말하면, 전동모터(5)가 발생해야 할 토크)에 대응하는 공급 전류의 기본적인 지령값(목표 전류값)으로, 토크 리플 보상결정부(101)의 자계 일그러짐 보상부(18) 및 전류 고차 일그러짐 보상부(19)에 동시에 주어짐과 아울러, 가산기(22)에도 출력되어 상기 자계 일그러짐 보상부(18) 및 전류 고차 일그러짐 보상부(19)에서의 연산결과가 반영되도록 가산된다.

한편,  $d$ 축 방향의 전류는 토크에 관여하지 않기 때문에, 그  $d$ 축 전류의 기본적인 지령값인  $d$ 축 기본 전류 지령값( $i^*d_0$ )의 값은 "0"이고,  $i^*d_0=0$ 으로서 가산기(21)에 설정 입력되어 있다.

상기 자계 일그러짐 보상부(18)는 로터각도 위치검출기(35)로부터의 전동모터(5)의 회전위치 정보로서의 전기각( $\Theta_{re}$ )과, 가산기(17)로부터의  $q$ 축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )을 사용해서, 그 모터(5) 내에 형성되는 자계의 일그러짐에 기인하는 토크 리플을 억제하기 위한 자계 일그러짐용의 보상값을 결정하고 있다. 다시 말하면, 자계 일그러짐 보상부(18)는 상기  $q$ 축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )으로 지령되는 전류가 전동모터(5)의 각 상 코일에 공급되었을 때에, 각 상 코일에 유기하는 유도기전력 과형에서의 이상과형에 대한 일그러짐(모터(5) 내의 자계의 일그러짐)에 기인해서 모터 출력 토크에 나타나는 토크 리플을 예기하고, 예기한 토크 리플이 억제되도록 당해  $q$ 축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )을 변경하기 위한 전류의 보상값을  $d$ 축 전류 및  $q$ 축 전류마다 산출하여  $d$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{d1}$ ) 및  $q$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{q1}$ )으로서 결정하고 있다(상세한 것은 후술). 그리고, 자계 일그러짐 보상부(18)는 대응하는 가산기(21 및 22)에 정한 자계 일그러짐용의  $d$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{d1}$ ) 및  $q$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{q1}$ )을 출력한다.

또한, 이 자계 일그러짐 보상부(18)로부터 출력되는  $d$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{d1}$ ) 및  $q$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{q1}$ )은 뒤에 상세하게 서술하는 바와 같이, 전동모터(5)를 포함한 후술하는 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 계인 저하 및 위상 지연이 힘을 다해 발생하지 않도록 보정되어 있다.

또한, 상기 전류 고차 일그러짐 보상부(19)는 상술한 전기각( $\Theta_{re}$ ) 및  $q$ 축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )을 사용해서, 그 모터(5)를 흐르는 전류의 소정의 고차 성분에 기인하는 토크 리플을 상쇄하기 위한 전류 고차 성분용의 보상값을 결정하고 있다. 다시 말하면, 전류 고차 일그러짐 보상부(19)는 상기  $q$ 축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )으로 지령되는 전류가 전동모터(5)의 각 상 코일에 공급되었을 때에, 각 상 코일을 흐르는 전류의 소정의 고차 성분에 의해 발생하는 토크 리플을 예기하고, 예기한 토크 리플이 상쇄되도록 당해  $q$ 축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )을 변경하기 위한 전류의 보상값을  $d$ 축 전류 및  $q$ 축 전류마다 산출하여  $d$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{d2}$ ) 및  $q$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{q2}$ )으로서 결정하고 있다(상세한 것은 후술). 그리고, 전류 고차 일그러짐 보상부(19)는 대응하는 가산기(21 및 22)에 정한 전류 고차 성분용의  $d$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{d2}$ ) 및  $q$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{q2}$ )을 출력한다.

또한, 전류 고차 일그러짐 보상부(19)로부터 출력되는  $d$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{d2}$ ) 및  $q$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{q2}$ )은 뒤에 상세하게 서술하는 바와 같이, 전동모터(5)를 포함한 상술한 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 계인 저하 및 위상 지연이 힘을 다해 발생하지 않도록 보정되어 있다.

상기 가산기(21 및 22)는 대응하는  $d$ 축 전류 및  $q$ 축 전류마다, 토크 리플 보상결정부(101)로부터의 보상값을 기초로 조타 부재(1)의 조작에 따라 결정된 목표 전류값을 보정하는 보정수단을 구성하고 있다.

구체적으로는, 상기 가산기(21)에서는, 하기의 (8)식에 나타내는 바와 같이, 당해 가산기(21)에 설정된  $d$ 축 기본 전류 지령값( $i^*d_0$ )과, 자계 일그러짐 보상부(18)로부터의 자계 일그러짐용의  $d$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{d1}$ )과, 전류 고차 일그러짐 보상부(19)로부터의 전류 고차 성분용의  $d$ 축 전류 보상값( $\Delta i_{d2}$ )과의 합을 구함으로써, 토크 리플 보상결정부(101)의 연산결과를 반영한 후의  $d$ 축 전류 지령값( $i^*d$ )이 산출되고 있다. 그리고, 가산기(21)는 산출한  $d$ 축 전류 지령값( $i^*d$ )을 피드백 제어부(200)의 감산기(23)에 출력한다.

또한, 가산기(22)에서는, 하기의 (9)식에 나타내는 바와 같이, 상기 가산기(17)로부터의 q축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )과, 자계 일그러짐 보상부(18)로부터의 자계 일그러짐용의 q축 전류 보상값( $\Delta iq_1$ )과, 전류 고차 일그러짐 보상부(19)로부터의 전류 고차 성분용의 q축 전류 보상값( $\Delta iq_2$ )과의 합을 구함으로써, 토크 리플 보상결정부(101)의 연산결과를 반영한 후의 q축 전류 지령값( $i^*q$ )이 산출되고 있다. 그리고, 가산기(22)는 산출한 q축 전류 지령값( $i^*q$ )을 피드백 제어부(200)의 감산기(24)에 출력한다.

$$i^*d = i^*d_0 + \Delta id_1 + \Delta id_2 \dots (8)$$

$$i^*q = i^*q_0 + \Delta iq_1 + \Delta iq_2 \dots (9)$$

상기 감산기(23)에는, 가산기(21)로부터의 d축 전류 지령값( $i^*d$ )에 더해서, 전동모터(5)에 실제로 공급되어 있는 전류의 d축 전류로 환산한 후의 d축 전류 검출값( $id$ )이 3상 교류/d-q좌표 변환부(29)로부터 입력되어 있다. 마찬가지로, 상기 감산기(24)에는 가산기(22)로부터의 q축 전류 지령값( $i^*q$ )에 더해서, 전동모터(5)에 실제로 공급되어 있는 전류의 q축 전류로 환산한 후의 q축 전류 검출값( $iq$ )이 3상 교류/d-q좌표 변환부(29)로부터 입력되어 있다.

상세하게 말하자면, 3상 교류/d-q좌표 변환부(29)에는, 상기 V상 전류 검출기(33) 및 U상 전류 검출기(34)에 의해 각각 검출된 V상 전류 검출값( $iv$ ) 및 U상 전류 검출값( $iu$ )이 입력되어 있다. 또한, 이 변환부(29)에는, 상기 검출 전류가 흐르고 있을 때에서의 상기 전기각( $\theta_{re}$ )의 sin값이 정현파 ROM 테이블(30)로부터 입력되어 있다. 이 정현파 ROM 테이블(30)은 각도( $\theta$ )와 그 각도( $\theta$ )의 sin값을 서로 관련지어서 기억하고 있으며, 상기 로터각도 위치검출기(35)로부터 전기각( $\theta_{re}$ )을 입력했을 때에 그 sin값을 상기 d-q/3상 교류 좌표 변환부(27) 및 3상 교류/d-q좌표 변환부(29)에 즉시 출력하도록 되어 있다.

그리고, 이 3상 교류/d-q좌표 변환부(29)는 입력한 U상 전류 검출값( $iu$ ), V상 전류 검출값( $iv$ ), 및 sin값과, 상술한 (6) 및 (7)식을 사용해서, 상기 d축 전류 검출값( $id$ )( $= \sqrt{2}\{iv \times \sin \theta_{re} - iu \times \sin(\theta_{re} - 2\pi/3)\}$ ) 및 q축 전류 검출값( $iq$ )( $= \sqrt{2}\{iv \times \cos \theta_{re} - iu \times \cos(\theta_{re} - 2\pi/3)\}$ )을 산출해서 대응하는 감산기(23, 24)에 출력한다.

또한, 상기 감산기(23)는 입력한 d축 전류 지령값( $i^*d$ )과 d축 전류 검출값( $id$ )을 감산함으로써, 이들 입력값의 편차인 d축 전류 편차( $ed$ )( $= i^*d - id$ )를 구하고 있다. 마찬가지로, 감산기(24)는 입력한 q축 전류 지령값( $i^*q$ )과 q축 전류 검출값( $iq$ )을 감산함으로써, 이들 입력값의 편차인 q축 전류 편차( $eq$ )( $= i^*q - iq$ )를 구하고 있다. 그리고, 이들 감산기(23, 24)는 구한 d축 전류 편차( $ed$ ) 및 q축 전류 편차( $eq$ )를 d축 전류 PI 제어부(25) 및 q축 전류 PI 제어부(26)에 각각 출력한다.

상기 d축 전류 PI 제어부(25) 및 q축 전류 PI 제어부(26)는 다음의 (10) 및 (11)식에, 대응하는 감산기(23, 24)로부터의 d축 전류 편차( $ed$ ) 및 q축 전류 편차( $eq$ )를 각각 대입함으로써, d축 전압 지령값( $v^*d$ ) 및 q축 전압 지령값( $v^*q$ )을 산출하고, 그들 산출값을 d-q/3상 교류 좌표 변환부(27)에 출력한다.

$$v^*d = K_p\{ed + (1/T_i)\int(ed)dt\} \dots (10)$$

$$v^*q = K_p\{eq + (1/T_i)\int(eq)dt\} \dots (11)$$

단, 상기  $K_p$  및  $T_i$ 는 각각 비례 게인 및 적분 시간이며, 모터 특성 등에 따라서 d축 전류 PI 제어부(25) 및 q축 전류 PI 제어부(26)에 미리 설정된 값이다.

상기 d-q/3상 교류 좌표 변환부(27)에는, d축 전류 PI 제어부(25)로부터의 d축 전압 지령값( $v^*d$ ), q축 전류 PI 제어부(26)로부터의 q축 전압 지령값( $v^*q$ ) 및 정현파 ROM 테이블(30)로부터의 sin값이 입력되어 있다. 그리고, 이 변환부(27)는 다음에 나타내는 (12) 및 (13)식을 사용해서, d-q좌표상의 인가 전압 지령값인 상기 d축 전압 지령값( $v^*d$ ) 및 q축 전압 지령값( $v^*q$ )을, 3상 교류 좌표상의 동(同) 지령값인 U상 전압 지령값( $v^*u$ )과 V상 전압 지령값( $v^*v$ )으로 변환해서, 상기 3상



PWM 변조부(31)에 출력한다. 또한, 이 변환부(27)의 출력값은 부호 반전 가산기(28)에 입력되도록 되어 있으며, 이 부호 반전 가산기(28)는 하기의 (14)식을 사용해서, 상기의 U상 전압 지령값( $v^*u$ ) 및 V상 전압 지령값( $v^*v$ )으로부터 W상 전압 지령값( $v^*w$ )을 구하고, 3상 PWM 변조부(31)에 출력한다.

$$v^*u = \sqrt{(2/3)}\{v^*d \times \cos\theta_{re} - v^*q \times \sin\theta_{re}\} \dots(12)$$

$$v^*v = \sqrt{(2/3)}\{v^*d \times \cos(\theta_{re} - 2\pi/3) - v^*q \times \sin(\theta_{re} - 2\pi/3)\} \dots(13)$$

$$v^*w = -v^*u - v^*v \dots(14)$$

상기 3상 PWM 변조부(31)는 상기의 U상 전압 지령값( $v^*u$ ), V상 전압 지령값( $v^*v$ ), 및 W상 전압 지령값( $v^*w$ )에 각각 대응한 듀티비의 PWM 신호( $S_u, S_v$  및  $S_w$ )를 생성해서, 모터 구동회로(32)에 출력한다.

상기 모터 구동회로(32)는 MOSFET 등의 전력용 스위칭 소자를 사용한 브리지 회로를 갖는 PWM 전압형 인버터를 포함한 것이며, 각 스위칭 소자를 상기 PWM 신호( $S_u, S_v$  및  $S_w$ )에 따라 온/오프 동작시킴으로써, 전동모터(5)의 U상, V상, 및 W상의 각 상 코일(도 2)에 배터리(11)(도 1)로부터의 전압이 인가된다. 이것에 의해, 전동모터(5)에서는, 그 각 상 코일에 전류가 흐르고, 당해 모터(5)는 그 전류에 따른 토크( $T_m$ )를 발생해서 조타 보조력으로서 상기 조타기구에 부여한다. 또한, 이와 같이 전동모터(5)가 구동되면, 피드백 제어부(200)에서는, 상기 d축 전류 검출값( $i_d$ ) 및 q축 전류 검출값( $i_q$ )이 각각 d축 전류 지령값( $i^*d$ ) 및 q축 전류 지령값( $i^*q$ )에 동등해지도록 당해 모터(5)를 피드백 제어함으로써 원하는 조타 보조력으로 조타 보조가 행해진다.

[전류 제어계의 구성 및 그 주파수 특성]

또한, 본 실시형태에서는, 도 3에 있어서, 상기 피드백 제어부(200)와, 그 제어대상인 전동모터(5), 및 위치검출 센서(51)에 의해, 피드백 루프를 갖는 상기 전류 제어계가 구성되어 있다. 이 전류 제어계에서는, 상기 모터(5) 내에 설치된 코일의 임피던스 등에 규정되는 주파수 특성을 갖고 있다. 또한, 전류 제어계에서는, d축 전류 지령값( $i^*d$ ) 및 d축 전류 검출값( $i_d$ )을 각각 입력 및 출력으로 하는 d축 전류의 피드백 루프와, q축 전류 지령값( $i^*q$ ) 및 q축 전류 검출값( $i_q$ )을 각각 입력 및 출력으로 하는 q축 전류의 피드백 루프의 어떠한 폐루프의 경우도, 그 전달함수에 대한 보드 선도는 예를 들면 도 6에 나타나는 것이 된다. 즉, 이 전류 제어계에서는, 실용적인 주파수 범위에 있어서, 주파수가 증대함에 따라서, 도 6의 실선으로 나타내는 바와 같이, 게인이 1(dB=0)로부터 저하한다. 또한, 위상 지연은 도 6에 점선으로 나타내는 바와 같이, 주파수가 증대함에 따라서 커진다. 이와 같은 전류 제어계의 주파수 특성의 영향을 억제하기 위해서, 상기 토크 리플 보상결정부(101)에서는, 자계 일그러짐 보상부(18) 및 전류 고차 일그러짐 보상부(19)의 각부에 있어서, 도 6에 실선 및 점선으로 나타낸 데이터가 테이블화되어, 후술하는 주파수 특성맵으로서 유지되어 있으며, 각부의 출력 보상값은 당해 주파수 특성에 의존하는 게인 저하 및 위상 지연이 힘을 다해 발생하지 않도록 보정되어 있다.

[자계 일그러짐 보상부의 구성 및 그 동작]

도 4는 도 3에 나타난 자계 일그러짐 보상부의 구체적인 구성예를 나타내는 블록도이다. 도면에 나타내는 바와 같이, 상기 자계 일그러짐 보상부(18)에는, 주파수 산출부(36), 게인·위상 결정부(37), 감산기(38), 자계 일그러짐 보상값 결정부(39), 진폭 결정부(40), 수정률 산출부(41), 및 승산기(42, 43)의 기능 블록이 설정되어 있으며, 마이컴(100)이 프로그램을 실행함으로써, 상기 블록은 각각 소정의 연산 처리를 행하도록 되어 있다. 또한, 상기 주파수 산출부(36), 게인·위상 결정부(37), 및 수정률 산출부(41)가 전동모터(5)(도 3)의 회전속도에 기초해서, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 게인 저하를 보상하기 위한 게인 보상값을 구하는 게인보상 연산수단을 구성하고 있다. 또한, 주파수 산출부(36)와 게인·위상 결정부(37)는 동(同) 모터(5)의 회전속도에 기초해서, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 위상 지연을 보상하기 위한 위상 보상값을 구하는 위상보상 연산수단을 겸용하고 있다.

구체적으로 말하자면, 상기 주파수 산출부(36)는 로터 각속도 연산부(20)로부터 전동모터(5)의 전기각 환산의 회전 각속도인 상기 로터 각속도( $\omega_{re}$ )를 입력하고 있다. 그리고, 이 주파수 산출부(36)는 입력한 로터 각속도( $\omega_{re}$ )를 다음의 (15)식에 대입함으로써, 모터 출력에 나타나는 자계 일그러짐에 기인하는 토크 리플의 주파수( $f$ )를 산출한다. 또한, 이 주파수( $f$ )는 전류 고차 성분 일그러짐에 기인하는 토크 리플의 기본 주파수이다.

$$f = S \times \omega_{re} / (2\pi) \dots (15)$$

단, S는 토크 리플의 차수(전기각 1주기당에 발생하는 토크 리플의 수)이다.

상기 계인·위상 결정부(37)에는, 상기 보드 선도(도 6)에 나타난 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 대응한 주파수 특성맵(37a)(즉, 도 6에 실선 및 점선으로 나타난 주파수와 계인 및 위상과의 관계를 나타내는 데이터)이 보유되어 있다. 그리고, 이 계인·위상 결정부(37)는 주파수 산출부(36)로부터 상기 주파수(f)를 입력했을 때에, 주파수 특성맵(37a)을 참조해서, 입력한 주파수(f)에 따른 전류 제어계의 계인(G) 및 위상차( $\Delta\theta_e$ )를 구하고, 수정률 산출부(41) 및 감산기(38)에 각각 출력한다. 또한, 상술과 같이, 전류 제어계에서는, 주파수가 증대함에 따라서(다시 말하면, 로터 각속도( $\omega_{re}$ ), 나아가서는 전동모터(5)의 회전속도가 빨라짐에 따라서), 계인이 1에서 저하해서 위상 지연이 커진다.

상기 감산기(38)는 상기 로터각도 위치검출기(35)(도 3)로부터 전기각( $\theta_{re}$ )을 입력함과 아울러, 계인·위상 결정부(37)로부터의 위상 보상값으로서의 위상차( $\Delta\theta_e$ )를 입력하고 있으며, 전기각( $\theta_{re}$ )으로부터 위상차( $\Delta\theta_e$ )를 감산 처리하고 있다. 그리고, 감산기(38)는 그 감산처리 결과인 수정 전기각( $\theta_{mre}$ )(= $\theta_{re} - \Delta\theta_e$ )을 자계 일그러짐 보상값 결정부(39)에 출력한다. 이와 같이, 감산기(38), 위상차( $\Delta\theta_e$ )를 사용해서, 검출된 전기각( $\theta_{re}$ )을 수정함으로써, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 위상 지연을 보상할 수 있다.

상기 자계 일그러짐 보상값 결정부(39)에는, 상기 전기각과, d축 전류 및 q축 전류마다의 자계 일그러짐 보상전류 성분의 값과의 관계를 테이블화한 자계 일그러짐 보상맵(39a)이 저장되어 있으며, 이 자계 일그러짐 보상맵(39a)을 참조함으로써, 당해 보상값 결정부(39)는 입력한 수정 전기각( $\theta_{mre}$ )에 대응하는 자계 일그러짐용의 d축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{d10}$ ) 및 q축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{q10}$ )을 결정하고 있다.

이하, 상기 자계 일그러짐 보상맵(39a)의 작성방법에 대해서, 구체적으로 설명한다.

전동모터(5)를 무부하 운전했을 때에 당해 모터(5) 내에 형성되는 자계의 일그러짐, 다시 말하면 무부하 유도기전력 파형이 그 이상파형에 일그러짐을 발생시키고 있는 경우에, 각 상 코일에 정현파 전류인 전류( $i_u, i_v, i_w$ )를 공급하면, 그 모터 출력에는 자계 일그러짐에 기인하는 토크 리플이 발생한다. 여기에서, 무부하 유도기전력의 각 상 코일에서의 순시값( $e_{0u}, e_{0v}, e_{0w}$ )이 기지(既知)이면, 모터(5)의 출력 토크를 일정값(예를 들면 1[Nm])으로 해서 상기 자계 일그러짐에 기인하는 토크 리플을 발생시키지 않는 각 상 코일의 전류( $i_{0u}, i_{0v}, i_{0w}$ )를 결정할 수 있다. 예를 들면, 상기 출력 토크를 일정값(T)으로 했을 때에, 그와 같은 각 상 코일의 전류( $i_{0u}, i_{0v}, i_{0w}$ )는 다음의 (16), (17) 및 (18)식으로 각각 산출할 수 있다.

$$i_{0u} = \{(e_{0u} - e_{0v}) + (e_{0u} - e_{0w})\} \times T / \{(e_{0u} - e_{0v})^2 + (e_{0u} - e_{0w})^2 + (e_{0w} - e_{0v})^2\} \dots (16)$$

$$i_{0v} = \{T - (e_{0u} - e_{0w}) \times i_u\} / (e_{0v} - e_{0w}) \dots (17)$$

$$i_{0w} = \{T - (e_{0u} - e_{0v}) \times i_u\} / (e_{0w} - e_{0v}) \dots (18)$$

또한, (16)~(18)식으로 산출되는 각 상 코일의 전류( $i_{0u}, i_{0v}, i_{0w}$ )를, 전기각( $\theta$ )을 변수로 하는 다음의 (19) 및 (20)식에 의해 d-q좌표상의 값으로 변환함으로써, 상기 자계 일그러짐에 기인하는 토크 리플을 발생시키지 않고 출력 토크를 일정값(T)으로 하는 d축 전류값( $i_{0d}$ ) 및 q축 전류값( $i_{0q}$ )을 산출할 수 있다.

$$i_{0d} = \sqrt{2} \{i_{0v} \times \sin\theta - i_{0u} \times \sin(\theta - 2\pi/3)\} \dots (19)$$

$$i_{0q} = \sqrt{2} \{i_{0v} \times \cos\theta - i_{0u} \times \cos(\theta - 2\pi/3)\} \dots (20)$$

상기와 같이, d축 전류값( $i_{0d}$ ) 및 q축 전류값( $i_{0q}$ )을 산출할 수 있으므로, 자계 일그러짐 보상맵(39a)을 다음과 같이 해서 작성할 수 있다.

우선, 도 7에 나타내는 바와 같이, 전동모터(5)의 각 상 코일에서의 무부하 유도기전력(유기전압)에 대해서, 그 모터(5)의 전기각의 값이 변화했을 때에서의 순시값( $e_{0u}, e_{0v}, e_{0w}$ )의 각 실측 데이터를 취득해 둔다. 그리고, 이들 각 실측 데이터

를 사용해서, 모터(5)가 상기 자계 일그러짐에 기인하는 토크 리플을 발생시키지 않고 단위 토크(1[Nm])를 출력하는 데 필요한 d축 전류값(i0d1) 및 q축 전류값(i0q1)을 상술한 (16)~(20)식에 의해 구한다. 또한, 무부하 유도기전력 파형이 일그러져 있지 않은 경우에 당해 모터(5)가 상기 단위 토크를 출력하는 데 필요한 d축 전류값(i0d2) 및 q축 전류값(i0q2)을 구한다(한편, 이 경우에는, 출력 토크는 q축 전류에 비례하고, d축 전류는 "0"으로 하면 되므로, 이들 d축 전류값(i0d2) 및 q축 전류값(i0q2)은 상술한 각 실측 데이터에 소정 연산을 행함으로써 용이하게 구할 수 있다.). 그리고, 전기각의 값마다, 상기 d축 전류값(i0d1)과 d축 전류값(i0d2)과의 차이를 구해서 상술한 d축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{d10}$ )(= $i_{0d1} - i_{0d2}$ )으로 하고, 또한 상기 q축 전류값(i0q1)과 q축 전류값(i0q2)과의 차이를 구해서 상술한 q축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{q10}$ )(= $i_{0q1} - i_{0q2}$ )으로 하며, 이들의 전기각과 d축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{d10}$ ) 및 q축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{q10}$ )을 대응시키면 된다. 이 결과, 예를 들면 도 8에 나타내는 바와 같이, 전기각과, 이 전기각에 따른 d축 전류 및 q축 전류로 변환한 후의 자계 일그러짐을 억제 가능한 전류 성분인 상기 자계 일그러짐 보상전류 성분의 값을 나타내는 전류파형을 얻을 수 있으며, 이들 데이터를 대응시킨 테이블을 자계 일그러짐 보상맵(39a)으로서 작성할 수 있다.

상기 자계 일그러짐 보상값 결정부(39)는 상술과 같이 작성된 자계 일그러짐 보상맵(39a)을 참조함으로써, 감산기(38)로부터 입력한 수정 전기각( $\Theta_{mre}$ )에 대응하는 d축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{d10}$ ) 및 q축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{q10}$ )을 결정하고, 진폭 결정부(40)에 출력한다.

상기 진폭 결정부(40)에는, 자계 일그러짐 보상값 결정부(39)로부터의 d축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{d10}$ ) 및 q축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{q10}$ )에 더해서, 가산기(17)(도 3)로부터의 원하는 조타 보조력에 상당하는 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )이 입력되어 있다. 그리고, 진폭 결정부(40)는 입력한 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )을 기초로 단위 토크당의 d축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{d10}$ ) 및 q축 전류 단위 보상값( $\Delta i_{q10}$ )에 대한 승산값을 결정하고, 그들의 승산 처리를 행함으로써, 상기 원하는 조타 보조력에 따른 d축 전류 보상값( $\Delta i_{d11}$ ) 및 q축 전류 보상값( $\Delta i_{q11}$ )을 구하고 있다. 진폭 결정부(40)는 구한 d축 전류 보상값( $\Delta i_{d11}$ ) 및 q축 전류 보상값( $\Delta i_{q11}$ )을 승산기(42 및 43)에 각각 출력한다.

또한, 상기 수정률 산출부(41)에는, 계인·위상 결정부(37)가 결정한 상기 전류 제어계의 계인(G)이 입력되어 있으며, 이 수정률 산출부(41)는 당해 계인(G)의 역수(1/G)를 산출해서 상술한 계인 보상값으로서의 수정률( $R_m$ )을 구한다. 그리고, 수정률 산출부(41)는 수정률( $R_m$ )을 승산기(42 및 43)에 출력한다.

상기 승산기(42)는 진폭 결정부(40)로부터의 d축 전류 보상값( $\Delta i_{d11}$ )에 수정률 산출부(41)로부터의 수정률( $R_m$ )을 곱함으로써, 상기 자계 일그러짐 보상의 d축 전류 보상값( $\Delta i_{d1}$ )을 구해서, 가산기(21)(도 3)에 출력한다. 마찬가지로, 승산기(43)는 진폭 결정부(40)로부터의 q축 전류 보상값( $\Delta i_{q11}$ )에 수정률 산출부(41)로부터의 수정률( $R_m$ )을 곱함으로써, 상기 자계 일그러짐 보상의 q축 전류 보상값( $\Delta i_{q1}$ )을 구해서 가산기(22)(도 3)에 출력한다. 이와 같이, 승산기(42 및 43)가 수정률( $R_m$ )을 사용해서, d축 전류 보상값( $\Delta i_{d11}$ ) 및 q축 전류 보상값( $\Delta i_{q11}$ )을 수정함으로써, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 계인 저하를 보상할 수 있다.

#### [전류 고차 일그러짐 보상부의 구성 및 그 동작]

도 5는 도 3에 나타낸 전류 고차 일그러짐 보상부의 구체적인 구성예를 나타내는 블록도이다. 도면에 나타내는 바와 같이, 전류 고차 일그러짐 보상부(19)에는, 주파수 산출부(36), 계인·위상 결정부(37), 감산기(38), 수정률 산출부(41), 전류 고차 일그러짐 보상값 결정부(44), 및 승산기(45, 46)의 기능 블록이 설정되어 있으며, 마이컴(100)이 프로그램을 실행함으로써, 상기 블록은 각각 소정의 연산 처리를 행하도록 되어 있다. 또한, 이들의 기능 블록 중, 주파수 산출부(36), 계인·위상 결정부(37), 감산기(38), 및 수정률 산출부(41)는 상기 자계 일그러짐 보상부(18)의 것과 동일 연산 처리를 실시하도록 구성되어 있으며, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 위상 지연 및 계인 저하를 보상하기 위한 위상 보상값( $\Delta \theta_e$ ) 및 계인 보상값( $R_m$ )을 산출하도록 되어 있다.

상기 전류 고차 일그러짐 보상값 결정부(44)는 상기 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )과, 소정의 고차 성분으로서 예를 들면 5차, 7차, 11차 및 13차 성분의 각 1차 성분에 대한 계인과의 관계를 테이블화한 전류 고차 일그러짐맵(44a), 및 상기 소정의 고차 성분과 이들 각 고차 성분에 있어서의 1차 성분에 대한 위상 어긋남을 보상하기 위한 수정값과의 관계를 테이블화한 위상 수정맵(44b)을 보유하고 있다. 그리고, 이 전류 고차 일그러짐 보상값 결정부(44)는 감산기(38)로부터 상기 수정 전기각( $\Theta_{mre}$ ) 및 가산기(17)(도 3)로부터 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )을 입력했을 때에, 전류 고차 일그러짐맵(44a) 및 위상 수정맵(44b)을 참조함으로써, 전류 고차 일그러짐용의 d축 전류 기본 보상값( $\Delta i_{d21}$ ) 및 q축 전류 기본 보상값( $\Delta i_{q21}$ )을 결정하고 있다.

여기에서, 전류 고차 일그러짐 보상맵(44a) 및 위상 수정맵(44b)의 작성방법에 대해서, 구체적으로 설명한다.

전동모터(5)에서는, 모터 구동회로(32)(도 3)가 배터리(도 1)로부터의 직류를 초퍼(chopper)함으로써 정현파 형상의 교류를 각 상 코일에 주고 있거나, 동(同) 구동회로(32) 내의 상기 브리지 회로를 구성하는 각 스위칭 소자에서의 단락을 방지하기 위해서 미소한 데드타임을 형성하고, 이들 스위칭 소자를 구동하고 있는 등의 요인에 의해, 각 상 코일을 흐르는 전류에서는 정현파(기본파) 전류 성분 제5, 제7, 제11 및 제13 고조파 등의 고조파 전류 성분이 중첩하고 있다. 다시 말하면, 모터(5)에서는, 상술한 요인에 의해, 그 유기전압에 예를 들면 도 9에 나타내는 바와 같은 상기 소정의 고차 성분이 포함되어 있으며, 각 상 코일을 흐르는 전류에도 일그러짐을 갖는 자계의 회전에 의한 동일한 고차 성분 전류가 가해져서 기본파형(이상파형)에 대해 일그러진 것이 된다. 그러므로, 각 상 코일을 흐르는 전류의 실측 데이터를 미리 취득함과 아울러, 그 취득한 전류값에 중첩하는 고차 성분의 각 실측값을 파악하고, 그들 각 고차 성분의 실측값에 기초해서 상기 가산기(21, 22)에서의 가산 처리로 각 고차 성분의 전류가 상쇄되도록 d-q좌표로 변환한 후의 고차 성분마다의 보상값을 결정하면 된다. 즉, 상기 d축 전류 기본 보상값( $\Delta id_{21}$ ) 및 q축 전류 기본 보상값( $\Delta iq_{21}$ )은 하기의 (21) 및 (22)식으로 각각 나타내는 바와 같이, 제5차 성분의 전류를 상쇄하기 위한 보상값( $\Delta id_{2-5}$ ,  $\Delta iq_{2-5}$ )과, 제7차 성분의 전류를 상쇄하기 위한 보상값( $\Delta id_{2-7}$ ,  $\Delta iq_{2-7}$ )과, 제11차 성분의 전류를 상쇄하기 위한 보상값( $\Delta id_{2-11}$ ,  $\Delta iq_{2-11}$ )과, 제13차 성분의 전류를 상쇄하기 위한 보상값( $\Delta id_{2-13}$ ,  $\Delta iq_{2-13}$ )으로 나눌 수 있다.

$$\Delta id_{21} = \Delta id_{2-5} + \Delta id_{2-7} + \Delta id_{2-11} + \Delta id_{2-13} \dots (21)$$

$$\Delta iq_{21} = \Delta iq_{2-5} + \Delta iq_{2-7} + \Delta iq_{2-11} + \Delta iq_{2-13} \dots (22)$$

또한, 상기 소정의 전류 고차 성분의 각 중첩 비율은 원하는 조타 보조력인 모터 부하(출력 토크), 다시 말하면 상기 q축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )에 따라 변화하는 것이며, 각 고차 성분의 전류 위상도 또한 q축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )에 따라 1차 성분의 전류 위상에 대해서 어긋남을 발생시킨다. 또한, 제5차 및 제7차의 전류 고차 성분은 전동모터(5)의 출력 토크에서는 제6차의 토크 고차 성분으로서 나타나기 때문에, 상기 제5차 전류용의 보상값( $\Delta id_{2-5}$ ,  $\Delta iq_{2-5}$ ) 및 제7차 전류용의 보상값( $\Delta id_{2-7}$ ,  $\Delta iq_{2-7}$ )은 다음의 (23)~(26)식으로 각각 나타난다.

$$\Delta id_{2-5} = i_5(i^*q_0) \times \sin[6\{\theta_{re} + \theta_5(i^*q_0)\}] \dots (23)$$

$$\Delta iq_{2-5} = i_5(i^*q_0) \times \cos[6\{\theta_{re} + \theta_5(i^*q_0)\}] \dots (24)$$

$$\Delta id_{2-7} = i_7(i^*q_0) \times \sin[6\{\theta_{re} + \theta_7(i^*q_0)\}] \dots (25)$$

$$\Delta iq_{2-7} = -i_7(i^*q_0) \times \cos[6\{\theta_{re} + \theta_7(i^*q_0)\}] \dots (26)$$

또한, 제11차 및 제13차의 전류 고차 성분은 전동모터(5)의 출력 토크에서는 제12차의 토크 고차 성분으로서 나타나기 때문에, 상기 제11차 전류용의 보상값( $\Delta id_{2-11}$ ,  $\Delta iq_{2-11}$ ) 및 제13차 전류용의 보상값( $\Delta id_{2-13}$ ,  $\Delta iq_{2-13}$ )은 다음의 (27)~(30)식으로 나타난다.

$$\Delta id_{2-11} = i_{11}(i^*q_0) \times \sin[12\{\theta_{re} + \theta_{11}(i^*q_0)\}] \dots (27)$$

$$\Delta iq_{2-11} = i_{11}(i^*q_0) \times \cos[12\{\theta_{re} + \theta_{11}(i^*q_0)\}] \dots (28)$$

$$\Delta id_{2-13} = i_{13}(i^*q_0) \times \sin[12\{\theta_{re} + \theta_{13}(i^*q_0)\}] \dots (29)$$

$$\Delta iq_{2-13} = -i_{13}(i^*q_0) \times \cos[12\{\theta_{re} + \theta_{13}(i^*q_0)\}] \dots (30)$$

상기의 (23)~(30)식을 사용함으로써, 제5, 제7, 제11 및 제13차 전류용의 각 보상값을 d축 전류 및 q축 전류마다 산출할 수 있으므로, 전류 고차 일그러짐 보상맵(44a) 및 위상 수정맵(44b)을 다음과 같이 해서 작성할 수 있다.

우선, 전동모터(5)의 출력 토크가 변화하도록 그 공급 전류를 변화시킨 경우에서의 각 전류 고차 성분(기본파)에 대한 전류 고차 성분 계인에 대해서, 그 실측 데이터를 취득한다. 이것에 의해, 예를 들면 도 10에 나타내는 바와 같이, 각 전류 고차 성분마다의 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )과 전류 고차 계인과의 관계를 나타내는 그래프를 얻을 수 있다. 한편, 이 도면에 있어서, 각 고차 전류 성분에서의 4개의 플롯은 전동모터(5)에서의 출력 토크를 나타내고 있으며, 도면의 좌측으로부터 우측을 향해서 차례로 동(同) 출력 토크가 1.0, 2.0, 3.0 및 4.0[Nm]인 경우를 나타내고 있다. 그리고, 작성한 그래프에 기초해서, 예를 들면 제5차 전류 성분의 진폭에 상당하는 상기 (23) 및 (24)식에서의  $i5(i^*_{q0})$ 의 값과, q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )의 값을 대응시킨 테이블을 전류 고차 일그러짐 보상맵(44a)으로서 작성할 수 있다.

또한, 상기와 같이, 출력 토크(모터 부하)를 변화시킨 경우에서의 모터 공급 전류의 측정 파형에 기초해서, 그 전류 파형에 포함된 기본파에 대한 각 고차 성분과의 위상 어긋남의 실측 데이터를 취득한다. 그리고, 그 취득 데이터를 기초로 상기 위상 어긋남을 해소하기 위한 수정값, 예를 들면 제5차 전류 성분에서의 수정값으로서 상기 (23) 및 (24)식에서의  $\theta5(i^*_{q0})$ 를 결정할 수 있다. 그리고, 이 결정된 수정값과, q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )의 값을 대응시킨 테이블을 위상 수정맵(44b)으로서 작성할 수 있다.

그리고, 전류 고차 일그러짐 보상값 결정부(44)는 계인·위상 결정부(37)로부터의 위상 보상값( $\Delta\theta_e$ )으로 수정된 수정 전기각( $\theta_{mre}$ )이 감산기(38)로부터 입력되고, 또한 가산기(17)(도 3)로부터 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )이 입력되면, 상술과 같이 작성된 전류 고차 일그러짐 보상맵(44a) 및 위상 수정맵(44b)을 참조함으로써, 입력한 수정 전기각( $\theta_{mre}$ ) 및 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )에 대응하는 d축 전류 기본 보상값( $\Delta i_{d21}$ ) 및 q축 전류 기본 보상값( $\Delta i_{q21}$ )을 결정한다. 그리고, 전류 고차 일그러짐 보상값 결정부(44)는 d축 전류 기본 보상값( $\Delta i_{d21}$ ) 및 q축 전류 기본 보상값( $\Delta i_{q21}$ )을 승산기(45 및 46)에 각각 출력하고, 이들 승산기(45 및 46)에 의해 수정물 산출부(41)로부터의 계인 보상값( $R_m$ )이 승산되며, 전류 고차 일그러짐용의 d축 전류 보상값( $\Delta i_{d2}$ ) 및 q축 전류 보상값( $\Delta i_{q2}$ )으로서 대응하는 가산기(21, 22)에 출력된다.

이상과 같이 구성된 본 실시형태에서는, 전류 고차 일그러짐 보상부(토크 리플 보상결정수단)(19)가 상기 수정 전기각( $\theta_{mre}$ )(회전위치 정보)과 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )(목표 전류값)을 사용해서, 상기 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )으로 지령되는 전류가 전동모터(5)의 각 상 코일에 공급되었을 때에, 그 모터(5)를 흐르는 전류의 제5, 제7, 제11 및 제13차 성분(5)에 의해 발생하는 토크 리플을 예기하고, 예기한 토크 리플이 상쇄되도록 당해 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )을 변경하기 위한 전류 고차 일그러짐용의 d축 전류 보상값( $\Delta i_{d2}$ ) 및 q축 전류 보상값( $\Delta i_{q2}$ )을 결정하고 있다. 또한, 자체 일그러짐 보상부(토크 리플 보상결정수단)(18)가 상기 수정 전기각( $\theta_{mre}$ )과 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )을 사용해서, 상기 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )으로 지령되는 전류가 전동모터(5)의 각 상 코일에 공급되었을 때에, 당해 모터(5) 내의 자체의 일그러짐에 기인해서 모터 출력 토크에 나타나는 토크 리플을 예기하고, 예기한 토크 리플이 억제되도록 당해 q축 기본 전류 지령값( $i^*_{q0}$ )을 변경하기 위한 자체 일그러짐용의 d축 전류 보상값( $\Delta i_{d1}$ ) 및 q축 전류 보상값( $\Delta i_{q1}$ )을 결정하고 있다. 그리고, 가산기(21 및 22)(보상수단)가 상술한 (8) 및 (9)식에 나타낸 바와 같이, 결정된 d축 전류 보상값( $\Delta i_{d1}$ )과 d축 전류 보상값( $\Delta i_{d2}$ ) 및 q축 전류 보상값( $\Delta i_{q1}$ )과 q축 전류 보상값( $\Delta i_{q2}$ )을 사용해서, 대응하는 d축 전류 및 q축 전류의 지령값을 변경하고, 피드백 제어부(피드백 제어수단)(200)가 이들 변경된 지령값에 기초해서 전동모터(5)를 구동하고 있다. 이 결과, 상기 목표 전류값에 기초하는 전류가 모터(5)에 흘렀을 때에, 전류 고차 성분(5)에 기인하는 토크 리플 및 자체 일그러짐에 기인하는 토크 리플을 억제할 수 있으며, 이들 리플에 의한 조타 필링 저하를 방지할 수 있다.

또한, 본 실시형태에서는, 자체 일그러짐 보상부(18) 및 전류 고차 일그러짐 보상부(19)의 각부에 있어서, 주파수 산출부(36), 계인·위상 결정부(37) 및 수정물 산출부(41)로 이루어지는 계인보상 연산수단이 형성되고, 이 연산수단이 산출한 계인 보상값(수정물( $R_m$ ))에 의해, 자체 일그러짐 보상부(18) 및 전류 고차 일그러짐 보상부(19)의 각 출력값이 보정되고 있다. 이것에 의해, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 따라서, 그 모터를 흐르는 전류의 계인이 모터 회전속도의 증가에 따라 저하하는 것을 보상할 수 있으며, 당해 계인 저하에 따라 조타 필링이 저하하는 것을 억제할 수 있다.

또한, 본 실시형태에서는, 자체 일그러짐 보상부(18) 및 전류 고차 일그러짐 보상부(19)의 각부에 있어서, 주파수 산출부(36) 및 계인·위상 결정부(37)로 이루어지는 위상보상 연산수단이 형성되며, 이 연산수단이 산출한 위상 보상값(위상차( $\Delta\theta_e$ ))에 의해, 검출된 전기각( $\theta_{re}$ )이 수정되어, 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 의존하는 위상 지연이 보상되고 있다. 이것에 의해, 전동모터(5)의 회전속도가 변화했을 때라도, 모터(5)에서의 공급 전류가 상기 전류 제어계의 주파수 특성에 따라, 유기전압에 대한 위상 지연이 발생하는 것을 보상할 수 있으며, 당해 위상 지연에 따른 조타 필링 저하를 억제할 수 있다.

여기에서, 전동모터의 구체적인 출력 토크를 나타내는 도 11을 참조해서, 상기 토크 리플 보상결정수단의 효과에 대해서 구체적으로 설명한다.

피드백 제어부(200)가 자계 일그러짐 보상부(18) 및 전류 고차 일그러짐 보상부(19)의 각 출력값을 사용하지 않고 상술한 (8) 및 (9)식에서의 각 제1항으로 나타낸 d축 기본 전류 지령값( $i^*d_0$ ) 및 q축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )을 사용해서 전동모터(5)를 구동했을 때에는, 도 11의 일점쇄선으로 나타내는 바와 같이, 그 모터 출력 토크에는 큰 토크 리플이 나타나 대폭으로 변동하였다.

또한, 피드백 제어부(200)가 자계 일그러짐 보상부(18)의 출력값을 사용했을 때, 다시 말하면 상기 (8) 및 (9)식에서의 각 제1 및 제2항의 합으로 지정되는 목표 전류값을 사용해서 전동모터(5)를 구동했을 때에는, 그 모터 출력 토크 중 자계 일그러짐에 기인하는 리플분이 배제되어, 당해 토크의 검출 파형은 도 11의 점선으로 나타나는 것이 된다.

또한, 피드백 제어부(200)가 자계 일그러짐 보상부(18) 및 전류 고차 일그러짐 보상부(19)의 각 출력값을 사용했을 때, 다시 말하면 상기 (8) 및 (9)식에서의 각 제1~제3항의 합으로 지정되는 목표 전류값을 사용해서 전동모터(5)를 구동했을 때에는, 상기 자계 일그러짐에 기인하는 리플분에 더해서, 상기 제5, 제7, 제11 및 제13차 전류 성분에 기인하는 리플분도 제거된다. 상세하게는, 모터 출력 토크로부터 상기 (23)~(26)식으로 구해지는 제6차의 리플분 및 상기 (27)~(30)식으로 구해지는 제12차의 리플분이 배제되어, 당해 토크의 검출 파형은 도 11의 실선으로 나타내는 바와 같이, 변동이 매우 적은 안정된 것이 되었다. 즉, 본 실시형태에서는, 도 10에 나타낸 바와 같이, q축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )(원하는 조타 보조력을 발생하기 위한 모터 부하)이 커짐에 따라서, 그 전동모터(5)를 흐르는 전류에 전류 고차 성분이 중첩하기 쉽고, 그 중첩한 전류 고차 성분에 기인하는 토크 리플분도 증대해서 조타 필링의 저하를 발생하기 쉬운 장치에 있어서, 상기 토크 리플분을 크게 감쇠시킬 수 있다. 이 결과, 비교적 큰 어시스트력으로 조타 보조를 행할 필요가 있는 스티어링 조작, 예를 들면 정지 중의 차량에 있어서, 조향차륜의 타이어각을 변경하는 정차 상태에서의 핸들조작 등의 어시스트 조작을 안정된 상태로 행하게 할 수 있다.

한편, 상기의 설명에서는, 조타축(2)에 전동모터(5)가 감속기구(4)를 통해서 연결되는 칼럼 어시스트식의 전동 파워 스티어링 장치에 적용한 경우를 나타내었으나, 본 발명은 소정의 전류 고차 성분에 기인하는 토크 리플을 상쇄하기 위한 전류 고차 성분용의 보상값을 결정하는 토크 리플 보상결정수단을 형성한 것이면 된다. 구체적으로는, 예를 들면 전동모터(5)가 랙 피니언식 전달기구(6)의 랙축에 연결되고, 이 랙축의 이동을 어시스트하는 랙 어시스트식 등의 다른 어시스트 형식의 장치에도 적용할 수 있다.

또한, 상기의 설명에서는, 소정의 전류 고차 성분으로서, 제5, 제7, 제11 및 제13차 성분에 기인하는 토크 리플을 상쇄하기 위한 보상값을 결정하는 구성에 대해서 설명하였으나, 본 발명은 이것에 한정되는 것은 아니며, 기본파(1차 성분)에 대해서 중첩되기 쉬운 고조파 전류 성분, 예를 들면 도 10에 나타낸 바와 같이 제5차 및 제7차 전류 성분을 보상(상쇄)하기 위한 보상값을 결정하는 구성이어도 좋다.

또한, 상기의 설명에서는, 토크 리플 보상결정부(101)의 자계 일그러짐 보상부(18) 및 전류 고차 일그러짐 보상부(19) 내에 일부의 기능 블록을 공용한 상기 계인보상 연산수단과 위상보상 연산수단을 형성한 경우에 대해서 설명하였으나, 본 발명은 이것에 한정되는 것은 아니다. 예를 들면, 상기의 연산수단을 토크 리플 보상결정부(101)의 각 보상부(18, 19) 내에 형성하지 않고, 당해 보상결정부(101)와 피드백 제어부(200) 사이에 배치하고, 각 보상부(18, 19)가 로터각도 위치검출기(35)로부터의 전기각( $\theta_{re}$ )과, 가산기(22)로부터의 q축 기본 전류 지령값( $i^*q_0$ )을 사용해서 자계 일그러짐용 및 전류 고차 일그러짐용의 보상값을 각각 결정하며, 이들 결정값을 상기 계인보상 연산수단이 구한 계인 보상값과 위상보상 연산수단이 구한 위상 보상값으로 보정해서 피드백 제어부(200)에 지령값으로서 입력시키는 구성이어도 좋다.

또한, 상기의 설명에서는, 예를 들면 전류 고차 일그러짐 보상값 결정부(44) 내에 전류 고차 일그러짐 보상맵(44a)을 저장하는 구성에 대해서 설명하였으나, 상기 (21)~(30)식에 나타낸 수식을 마이컴(100) 내에 기억시키고, 상기 결정부(44)가 이들 수식을 사용해서 연산함으로써 보상값을 결정하는 구성이어도 좋다.

또한, 상기의 설명에서는, 전동모터(5)에 3상 브러시리스 모터를 사용한 경우에 대해서 설명하였으나, 본 발명의 전동모터는 이것에 한정되는 것은 아니며, 3상 이외의 상수(相數)의 브러시리스 모터나 브러시 부착의 직류 모터 등의 다른 형식의 모터를 사용한 장치에도 적용할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 한 실시형태에 따른 전동 파워 스티어링 장치의 주요부의 구성을 나타내는 모식도이다.

도 2는 도 1에 나타난 전동모터에서의 3상 교류 좌표와 d-q좌표와의 관계를 나타내는 도면이다.

도 3은 도 1에 나타난 ECU의 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 4는 도 3에 나타난 자계 일그러짐 보상부의 구체적인 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 5는 도 3에 나타난 전류 고차 일그러짐 보상부의 구체적인 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 6은 도 3에 나타난 전류 제어계의 주파수 특성의 구체예를 나타내는 보드 선도이다.

도 7은 상기 전동모터의 무부하 유도기전력(유기전압)의 실측 데이터의 구체예를 나타내는 파형도이다.

도 8은 상기 자계 일그러짐 보상부에서 결정되는 자계 일그러짐 보상전류 성분의 구체적인 파형을 나타내는 파형도이다.

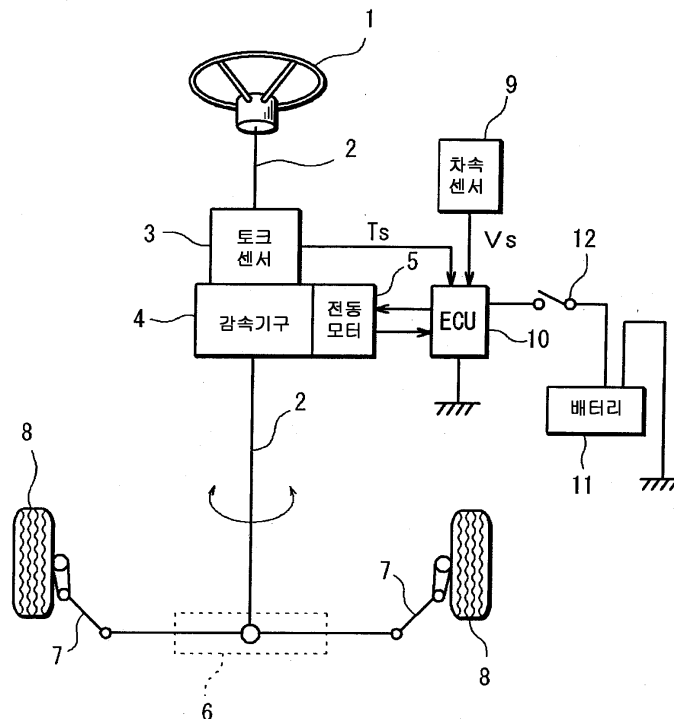
도 9는 상기 전동모터에서의 유기전압에 포함되는 고차 성분에 대해서, 그 1차 성분에 대한 비율의 측정예를 나타내는 그래프이다.

도 10은 상기 전동모터의 목표 전류값에 대해서, 전류 고차 성분의 1차 성분에 대한 계인 변화의 측정예를 나타내는 그래프이다.

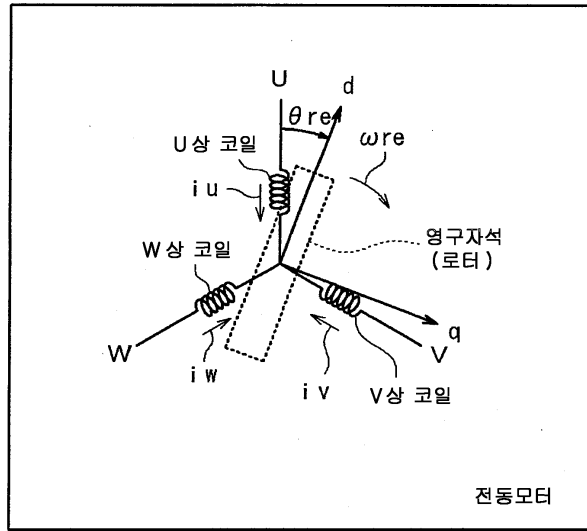
도 11은 상기 전동모터의 구체적인 출력 토크를 나타내는 파형도이다.

도면

도면1

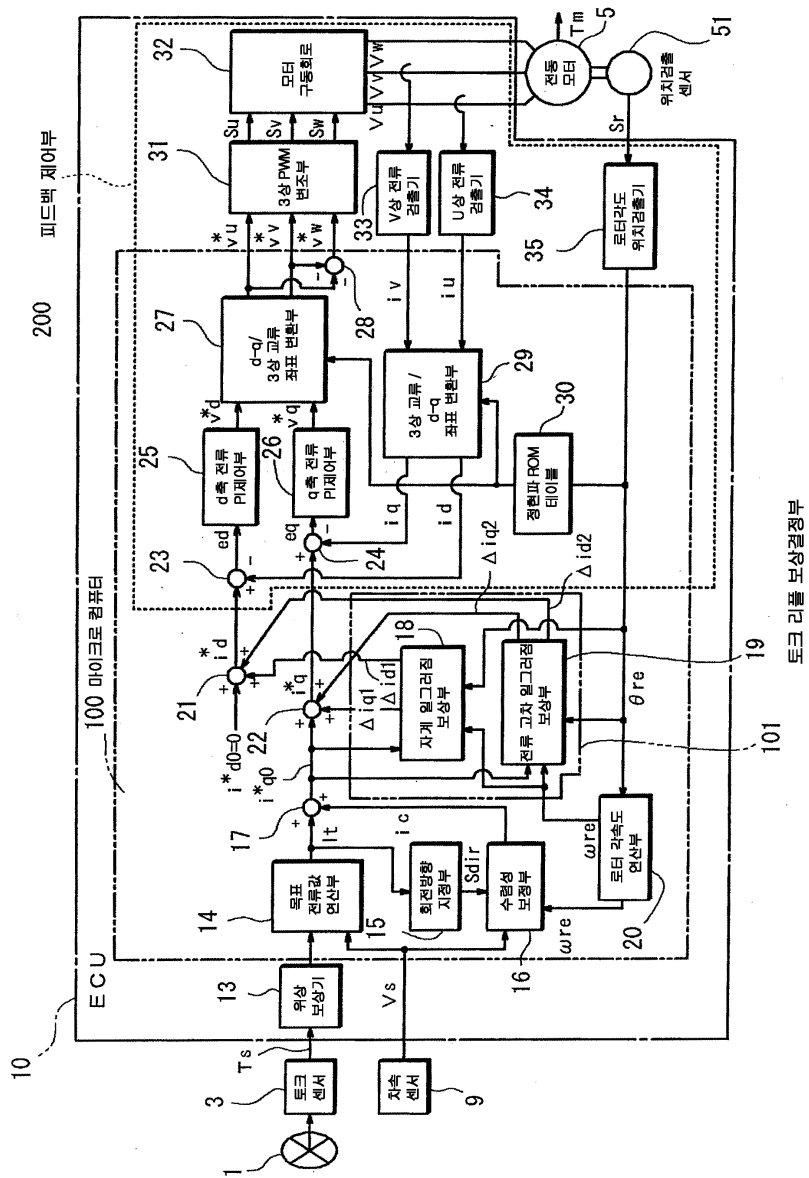


도면2

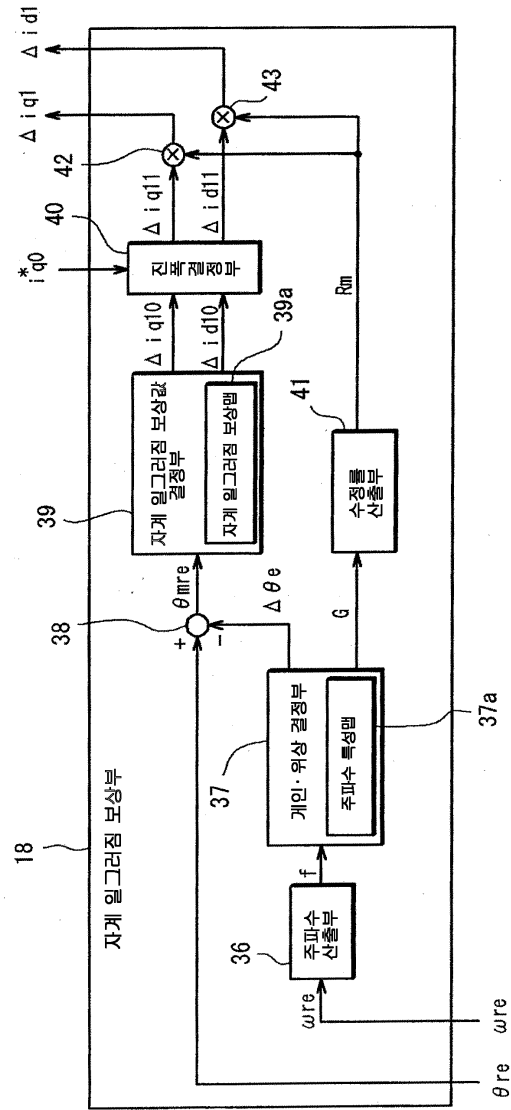




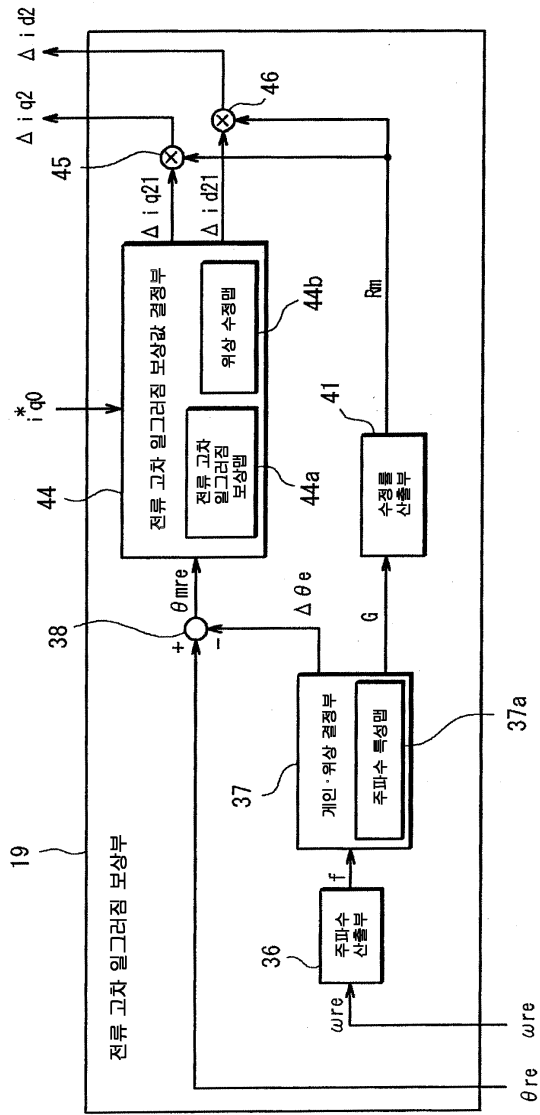
도면3



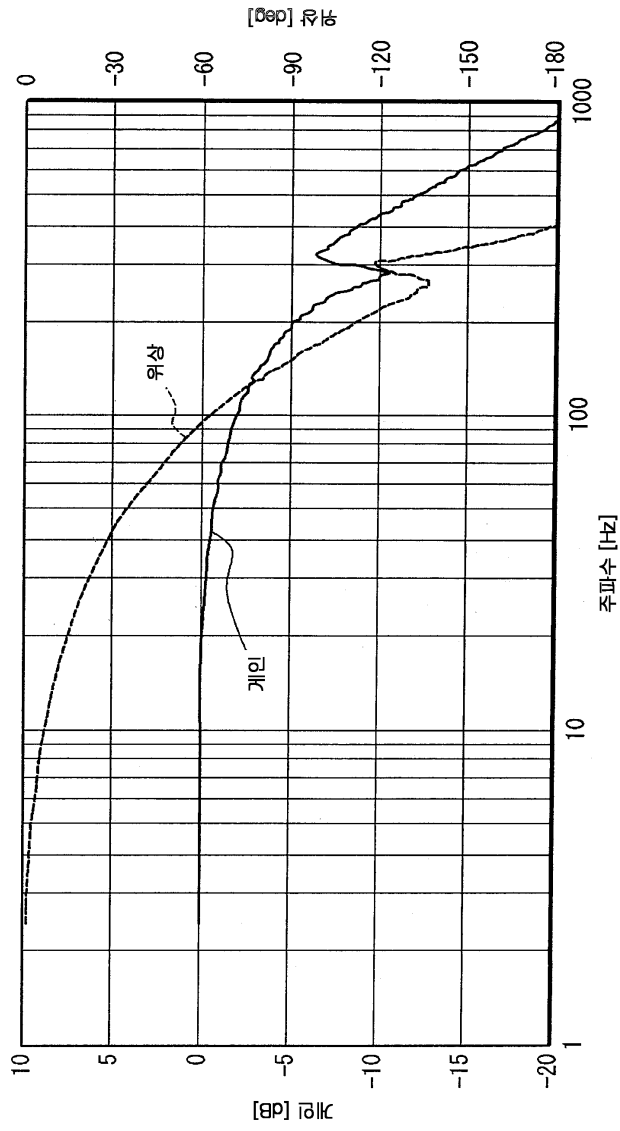
도면4



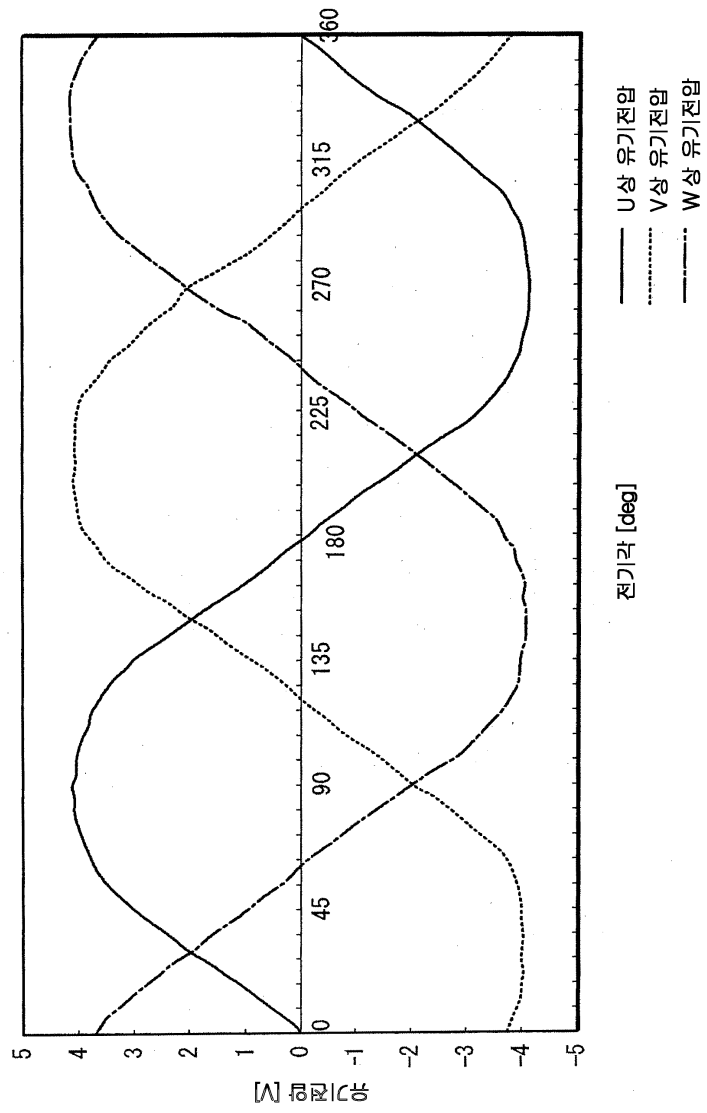
도면5



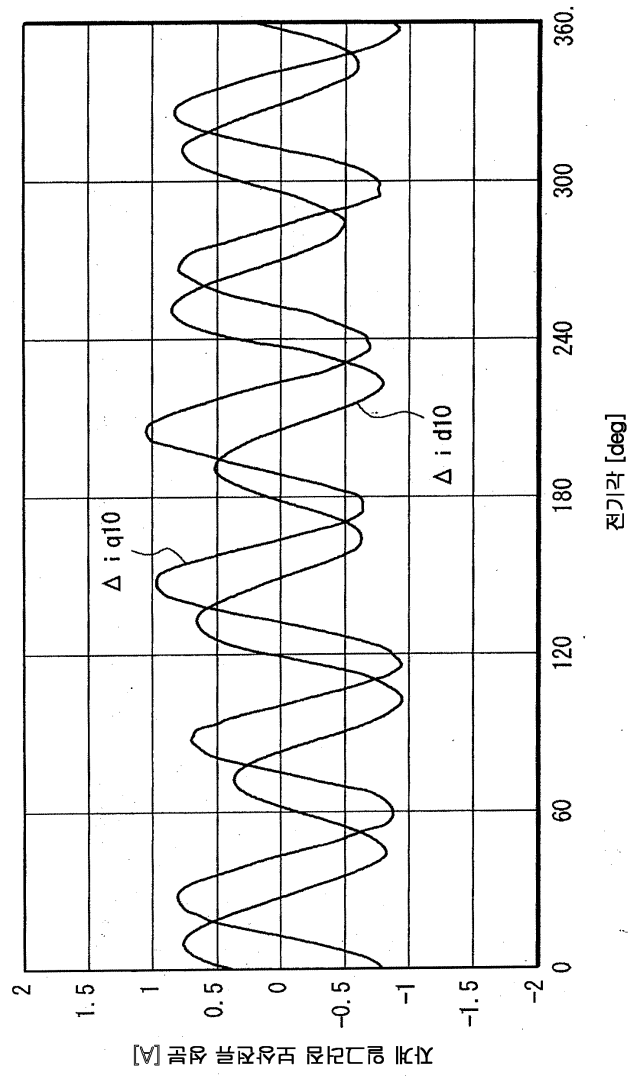
도면6



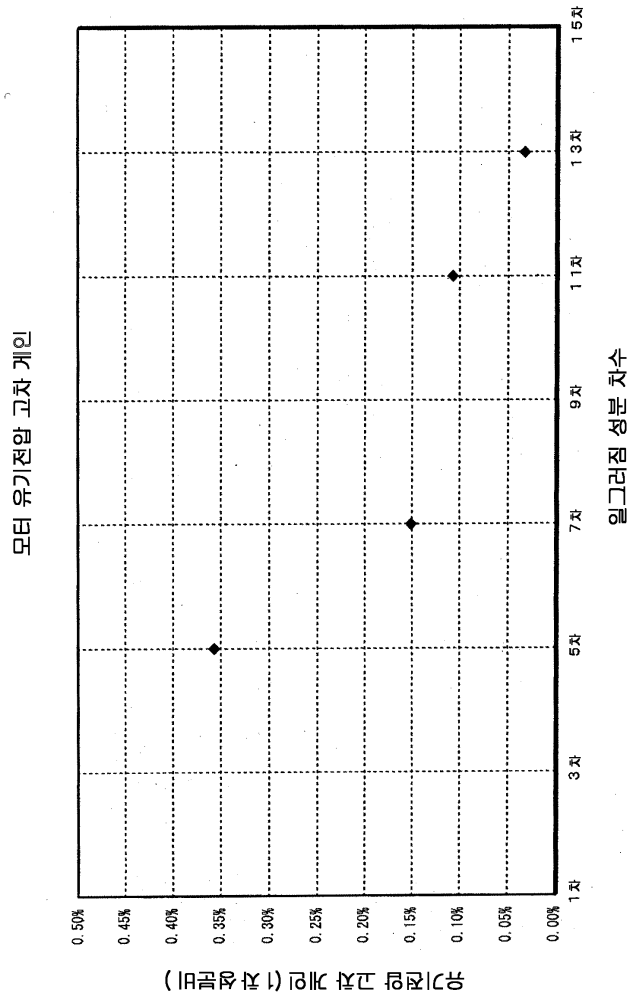
도면7



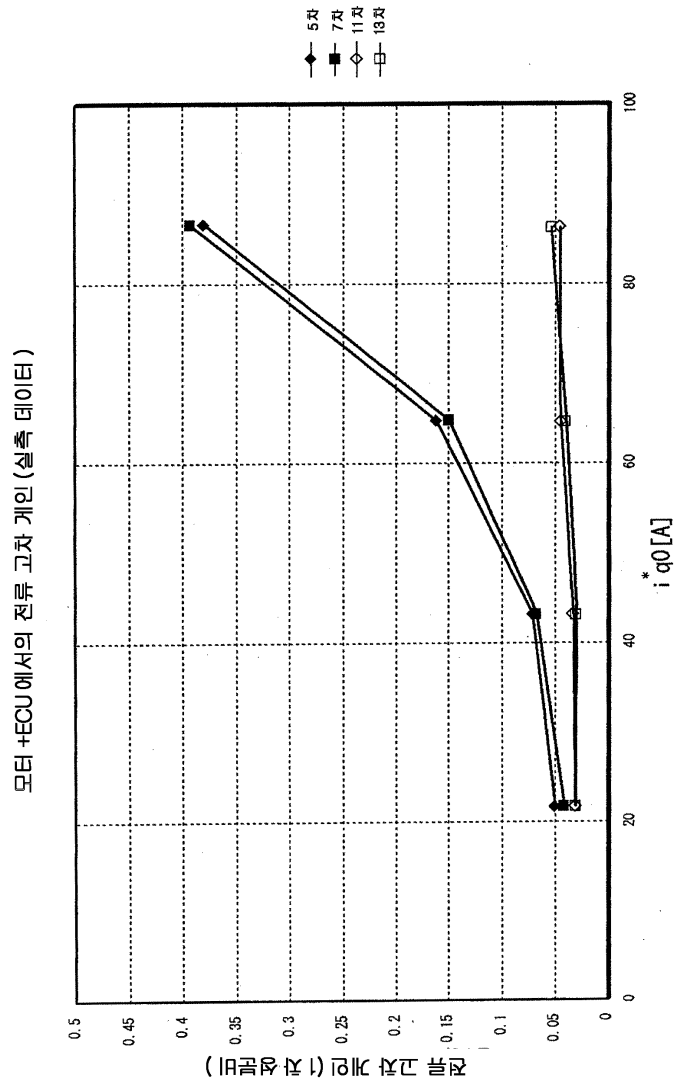
도면8



도면9



도면10





도면11

