



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0033654

(43) 공개일자 2015년04월01일

- | | |
|--|--|
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02P 27/04 (2006.01) H02P 23/14 (2006.01) | (71) 출원인
이턴 코포레이션
미국 오하이오주 44122 클리브랜드 이턴 블러바드 1000 |
| (52) CPC특허분류
H02P 27/047 (2013.01)
H02P 23/14 (2013.01) | (72) 발명자
올슨 에릭 존
미국 위스콘신주 53051 메노모니 폴스 더블유14467 레드우드 드라이브 엔65 |
| (21) 출원번호 10-2015-7001137 | 루 빈
중국 200051 상하이 로우샹관 로드 999 아파트 302 빌딩 10
(뒷면에 계속) |
| (22) 출원일자(국제) 2013년07월01일
심사청구일자 없음 | (74) 대리인
제일특허법인 |
| (85) 번역문제출일자 2015년01월15일 | |
| (86) 국제출원번호 PCT/US2013/048854 | |
| (87) 국제공개번호 WO 2014/014642
국제공개일자 2014년01월23일 | |
| (30) 우선권주장
13/551,973 2012년07월18일 미국(US) | |

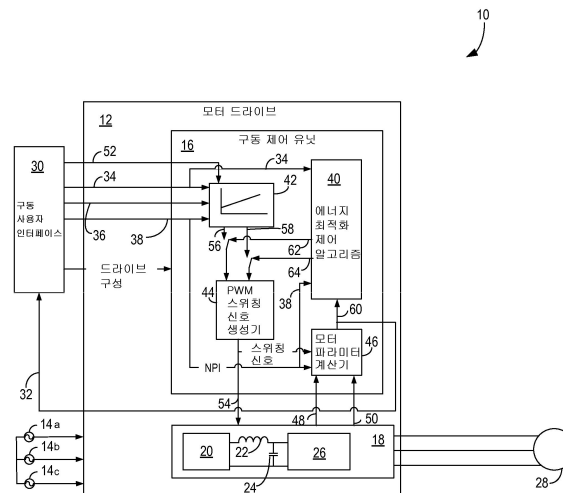
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 부하에 대한 유효 전력의 동적 조절 시스템 및 방법

(57) 요약

AC 모터용 드라이브를 제어하기 위한 시스템 및 방법은 모터 드라이브의 동작을 최적화하기 위해 구성되는 알고리즘으로 프로그래밍되는 제어 시스템을 포함한다. 특히, 제어 시스템은 초기 전압-주파수 명령을 드라이브로 입력하도록 프로그래밍된다. 초기 전압-주파수 명령은 초기 전압/주파수(V/Hz) 곡선의 동작점에 대응하는 전압 기준 및 주파수 기준을 포함한다. 제어 시스템은 드라이브의 실시간 출력을 모니터링하고, 드라이브의 실시간 출력에 기초하여 전압 기준을 수정하며, 수정된 전압-주파수 명령을 드라이브로 전송한다. 수정된 전압-주파수 명령은 수정된 전압 기준에 의해 정의되는 수정된 V/Hz 곡선 및 초기 V/Hz 곡선의 동작점에 대응한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

안 텅

미국 위스콘신주 53051 메노모니 폴스 엔5125 몰베
리 레인 더블유174

프레데테 스티븐 존

미국 위스콘신주 53188 와우케샤 우드크레스트 드
라이브 엔8더블유29926

루에브케 찰스 존

미국 위스콘신주 53029 하틀랜드 더블유32225 레들
리엔 로드 엔72

명세서

청구범위

청구항 1

AC 모터용 드라이브를 제어하기 위한 제어 시스템에 있어서,

초기 전압/주파수(V/Hz) 곡선의 동작점에 대응하는 전압 기준 및 주파수 기준을 포함하는 초기 전압-주파수 명령을 상기 드라이브로 입력하고;

상기 드라이브의 실시간 출력을 모니터링하고;

상기 드라이브의 상기 실시간 출력에 기초하여 상기 전압 기준을 수정하며;

수정된 전압-주파수 명령을 상기 드라이브로 전송하도록 프로그래밍되며;

상기 수정된 전압-주파수 명령은 상기 수정된 전압 기준에 의해 정의되는 수정된 V/Hz 곡선 및 상기 초기 V/Hz 곡선의 동작점에 대응하는

제어 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 수정된 전압-주파수 명령의 상기 동작점과 상기 초기 V/Hz 곡선의 약화 계자점 사이의 선형 경로로서 상기 수정된 V/Hz 곡선을 정의하도록 더 프로그래밍되는

제어 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 수정된 전압-주파수 명령의 상기 동작점과 상기 초기 V/Hz 곡선의 원점 사이의 선형 경로로서 상기 수정된 V/Hz 곡선을 정의하도록 더 프로그래밍되는

제어 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 드라이브의 상기 실시간 출력에 기초하여 모터 조건을 검출하고;

상기 모터 조건이 검출될 경우에 상기 수정된 전압-주파수 명령의 전압 기준을 조절하도록 더 프로그래밍되는

제어 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

조절된 전압 기준에 기초하여 제 2 수정된 V/Hz 곡선을 정의하고;

제 2 수정된 전압-주파수 명령을 상기 제 2 수정된 V/Hz 곡선 상의 동작점에 대응하는 상기 드라이브로 전송하도록 더 프로그래밍되는

제어 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 초기 V/Hz 곡선의 원점 및 상기 초기 V/Hz 곡선의 상기 약화 계자점 중 하나에 기초하여 상기 제 2 수정된 V/Hz 곡선을 정의하도록 더 프로그래밍되는

제어 시스템.

청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 모터 조건이 검출될 경우에 상기 수정된 전압-주파수 명령을 상기 초기 V/Hz 곡선의 동작점으로 재설정하도록 더 프로그래밍되는

제어 시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 AC 모터의 상기 실시간 출력은 모터 rms 전압, 모터 rms 전류, 모터 입력 전력, 모터 속도, 모터 슬립, 모터 역률, 모터 효율 및 모터 온도 중 하나를 포함하는

제어 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 드라이브의 상기 실시간 출력에 기초하여 모터 파라미터의 값을 결정하도록 더 프로그래밍되며, 상기 모터 파라미터는 모터 전압, 모터 전류, 모터 토크, 모터 속도, 모터 슬립, 모터 역률, 모터 효율 및 모터 온도 중 적어도 하나를 포함하는

제어 시스템.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 AC 모터의 상기 동작 속도를 수정하기 위해 복수의 점진적 수정된 전압-주파수 명령을 전송하도록 더 프로그래밍되는

제어 시스템.

청구항 11

모터 드라이브의 출력 제어 방법에 있어서,

모터를 구동하기 위해 출력을 생성하도록 정적 전압-주파수 프로파일에 따라 상기 모터 드라이브를 동작하는 단계;

상기 정적 전압-주파수 프로파일에 대응하는 지정된 모터 파라미터의 초기값을 결정하는 단계;

감소된 모터 입력 전력을 생성하기 위해 상기 모터 드라이브의 동작 중에 전압 기준 명령을 수정하는 단계;

수정된 전압 기준 명령 및 상기 정적 전압-주파수 프로파일의 동작점에 기초하여 수정된 전압-주파수 프로파일을 정의하는 단계; 및

상기 수정된 전압-주파수 프로파일에 따라 상기 모터 드라이브를 동작하는 단계를 포함하는

모터 드라이브의 출력 제어 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 정적 전압-주파수 프로파일의 원점 및 상기 정적 전압-주파수 프로파일의 약화 계자점 중 적어도 하나에 기초하여 상기 수정된 전압-주파수 프로파일을 정의하는 단계를 더 포함하는

모터 드라이브의 출력 제어 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 지정된 모터 파라미터의 공차 영역을 결정하는 단계; 및

상기 공차 영역 내에 지정된 모터 파라미터를 유지하기 위해 상기 모터 드라이브의 동작 중에 상기 전압 기준 명령을 선택적으로 수정하는 단계를 더 포함하는

모터 드라이브의 출력 제어 방법.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 전압 기준 명령의 각 수정을 위해 상기 지정된 모터 파라미터의 값을 결정하는 단계를 더 포함하는

모터 드라이브의 출력 제어 방법.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 지정된 모터 파라미터의 값을 결정하는 단계는 모터 rms 전압, 모터 rms 전류, 모터 입력 전력, 모터 속도, 모터 슬립, 모터 역률, 모터 효율 및 모터 온도 중 하나의 값을 결정하는 단계를 포함하는

모터 드라이브의 출력 제어 방법.

청구항 16

제 11 항에 있어서,

바람직하지 않은 모터 조건을 검출하기 위해 상기 지정된 모터 파라미터를 모니터링하는 단계; 및

바람직하지 않은 모터 조건이 검출되는 경우에 상기 전압 기준 명령을 점진적으로 증가시키는 단계를 더 포함하는

모터 드라이브의 출력 제어 방법.

청구항 17

전력을 부하에 공급하도록 구성되는 모터 드라이브에 있어서,

전력을 상기 부하에 제공하도록 설계된 인버터; 및

상기 인버터의 동작을 제어하기 위해 동작 가능하게 접속된 제어기를 포함하는데,

상기 제어기는,

상기 모터 드라이브의 동작 동안 모터 파라미터의 실시간 값을 모니터링하고;

상기 인버터가 초기 V/Hz의 곡선으로부터의 편차를 포함하는 수정된 동작점에서 동작시키기 위해, 상기 모터 파라미터의 실시간 값에 기초하여 상기 모터 드라이브의 동작 동안 전압 기준을 점진적으로 조절하고;

상기 수정된 동작점 및 상기 초기 V/Hz 곡선의 동작점에 기초하여 수정된 V/Hz 곡선을 정의하며;

상기 수정된 V/Hz 곡선에 따라 전압-주파수 명령을 점진적으로 조절하도록 구성되는

모터 드라이브.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 제어기는 상기 초기 V/Hz 곡선의 원점 및 상기 초기 V/Hz 곡선의 약화 계자점 중 적어도 하나에 기초하여 상기 수정된 V/Hz 곡선을 정의하도록 더 구성되는

모터 드라이브.

청구항 19

제 17 항에 있어서,

상기 제어기는,

상기 모터 파라미터에 대한 공차 영역을 식별하고;

상기 공차 영역 내에 상기 모터 파라미터를 유지하기 위해 상기 모터 드라이브의 동작 중에 상기 전압 기준을 점진적으로 조절하도록 더 구성되는

모터 드라이브.

청구항 20

제 17 항에 있어서,

상기 모니터링된 실시간 모터 파라미터는 모터 전압, 모터 전류, 모터 토크, 모터 속도, 모터 슬립, 모터 역률, 모터 효율 및 모터 온도 중 하나를 포함하는

모터 드라이브.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 2009년 8월 14일에 출원된 미국 비가출원 제 12/541,320 호의 일부 계속 출원이고, 이 출원의 이권을 청구하며, 이 출원은 2009년 6월 11일에 출원된 미국 가출원 제 61/186,287 호의 이권을 청구하며, 이러한 개시 물은 본 명세서에서 참고로 통합된다.

배경 기술

[0002] 본 발명은 일반적으로 AC 모터에 관한 것으로서, 특히, (적어도 모터 드라이브, 모터 및 접속 부하를 포함할 수 있는) 개방 루프 AC 모터 구동 시스템의 유효 전력 사용량을 감소시키기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

[0003] 개방 루프 AC 모터 드라이브는 일반적으로 전압/주파수(V/Hz) 동작 곡선에 기초하여 동작하도록 프로그래밍된다. 개방 루프 모터 드라이브가 동작하지 않거나 및/또는 실제 모터 부하 조건이 구동 시운전시 알려지지 않는 동안에만 개방 루프 모터 드라이브의 V/Hz의 설정이 일반적으로 조절할 수 있기 때문에, V/Hz의 동작 곡선은 일반적으로 이러한 드라이브의 초기 설치 및 설정 동안에 프로그래밍되는 미리 설정 및 정적 곡선이다. 모터 드라이브는 모터에 인가되는 전압과 주파수 사이의 비를 일정하게 유지하기 위해 1차 또는 선형 V/Hz의 동작 곡선으로 프로그래밍될 수 있다. 이러한 동작 곡선은 공기 갭에서 일정한 플럭스(flux)를 유지하고, 따라서, 모터에 일정한 토크를 발생시킨다. 대안적으로, 출력 토크가 대략 모터 속도의 제곱에 비례하는 2차 V/Hz의 곡선이 선택될 수 있다. 일부 모터 드라이브는 또한 특정 애플리케이션에 대한 요구 사항을 충족하기 위해 미리 설정된 사용자 프로그래밍 가능한 V/Hz의 설정을 제공한다. 프로그래밍되면, 운전자가 나중에 드라이브 설정을 변경하지 않는 한 모터 드라이브는 일반적으로 드라이브의 수명 동안 미리 설정된 동작 곡선에 기초하여 동작한다.

[0004] 일부 드라이브는 오늘날 "플럭스 최소화" 또는 "플럭스 최적화"와 같은 에너지 절감 옵션을 갖는다. 이러한 옵션은 종종 모터에서 전체 모터 입력 전력이 아닌 최소 전류 또는 플럭스를 동적으로 추구하도록 설계된다. 이러한 옵션은 일반적으로 선형 V/Hz의 설정과 이차 V/Hz의 설정 사이에 있는 모터 전압을 선택한다.

[0005] 전형적으로, 통상적으로 일정한 V/Hz의 곡선으로 지칭되는 선형 V/Hz의 곡선은 개방 루프 모터 드라이브의 대부분의 기본 설정이다. 주어진 모터 드라이브에 대한 선형 V/Hz의 곡선 설정은 일반적으로 부하에 일정한 토크를 제공하도록 프로그래밍되지만, 이러한 일정한 토크 출력은 많은 가변 토크 애플리케이션에 필요하지 않다. 따

라서, V/Hz의 곡선 설정은 종종 에너지의 낭비 및 모터 구동 시스템, 특히 모터 및 이에 접속된 부하의 비효율적 동작을 초래한다.

[0006] 더욱이, V/Hz의 곡선 설정이 정적이기 때문에, 모터 드라이브는 동작 조건의 어떤 변경과 관계 없이 동작한다. 일부 모터 드라이브는 사용자가 예를 들어 V/Hz의 곡선의 시작점, 중간점 및/또는 끝점을 조절함으로써 V/Hz의 곡선을 변경하도록 할 수 있을지라도, 이러한 프로그래밍은 구동 자체에 의해 자동으로 수행될 수 없고, 모터가 셧다운(shutdown)될 경우에만 완료될 수 있다. 이것은 일반적으로 두 모터 드라이브와 특정 모터 및 부하 애플리케이션의 부하 프로파일을 완전히 이해한 숙련된 기술자를 필요로 한다.

[0007] 드라이브를 시운전하는 운전자가 일반적으로 선형 V/Hz의 곡선을 선택하는 다른 이유는 선형 V/Hz의 곡선이 일정한 토크를 제공하고, 비선형 V/Hz의 곡선(예를 들어, 2차 곡선)을 사용하는 실제 토크가 가변 토크 애플리케이션에 대한 부하 토크 요구를 충족시키기에 충분하지 않을 수 있는 위험을 최소화한다는 것이다. 이것은 드라이브를 시운전하는 운전자가 드라이브가 설치되는 모터 애플리케이션의 부하 프로파일을 완전히 이해하지 못하는 경우에 특히 그러하다. 예를 들면, 펌수 처리 플랜트에서, 펌프 모터는 종종 여름에 폭우가 발생하는 경우에 피크 수요를 충족하기 위해 설계된다. 그러나, 일년의 대부분 동안, 펌프 모터의 부하 백분율은 매우 낮을 수 있다. 이러한 애플리케이션에서 2차 V/Hz의 곡선을 사용하는 것은 2차 V/Hz의 곡선이 호우 이벤트가 발생할 때 충분한 토크를 제공하지 못할 수 있기 때문에 위험할 수 있다. 또한, 드라이브를 시운전하는 운전자는 보통 에너지 절감을 모니터링하고 제어해야 하는 플랜트에서 동일한 사람이 아니다. 따라서, 드라이브를 시운전하는 운전자가 표준 선형 V/Hz의 곡선 설정을 통해 에너지 절감을 위해 서로 다른 V/Hz의 곡선 설정을 선택하도록 하기 위한 약간의 인센티브가 있을 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 따라서, 모터 입력 유효 전력을 최소화하고, 추가적인 에너지 절감을 달성하기 위해 모터 운전 동안에 AC 모터 드라이브의 V/Hz의 동작 곡선을 동적으로 조절하기 위한 시스템 및 방법을 설계하는 것이 바람직하다. 이러한 시스템 및 방법이 안정된 모터 운전 조건을 유지하면서 모터 드라이브의 속도 기준의 변화에 응답할 수 있는 것이 더 바람직하다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은 전술한 단점을 극복하는 부하에 연결된 AC 모터 드라이브를 제어하기 위한 시스템 및 방법을 제공한다.

[0010] 본 발명의 일 양태에 따르면, AC 모터용 드라이브를 제어하기 위한 제어 시스템은 초기 전압/주파수(V/Hz) 곡선의 동작점에 대응하는 전압 기준 및 주파수 기준을 포함하는 초기 전압-주파수 명령을 드라이브로 입력하고, 드라이브의 실시간 출력을 모니터링하고, 드라이브의 실시간 출력에 기초하여 전압 기준을 수정하며, 수정된 전압-주파수 명령을 드라이브로 전송하도록 프로그래밍되며, 수정된 전압-주파수 명령은 수정된 전압 기준에 의해 정의되는 수정된 V/Hz 곡선 및 초기 V/Hz 곡선의 동작점에 대응한다.

[0011] 본 발명의 다른 양태에 따르면, 모터 드라이브의 출력을 제어하기 위한 방법은 모터를 구동하기 위해 출력을 생성하도록 정적 전압-주파수 프로파일에 따라 모터 드라이브를 동작하는 단계, 및 정적 전압-주파수 프로파일에 대응하는 지정된 모터 파라미터의 초기값을 결정하는 단계를 포함한다. 방법은 또한 감소된 모터 입력 전력을 생성하기 위해 모터 드라이브의 동작 중에 전압 기준 명령을 수정하는 단계, 수정된 전압 기준 명령 및 정적 전압-주파수 프로파일의 동작점에 기초하여 수정된 전압-주파수 프로파일을 정의하는 단계, 및 수정된 전압-주파수 프로파일에 따라 모터 드라이브를 동작하는 단계를 포함한다.

[0012] 본 발명의 또 다른 양태에 따르면, 모터 드라이브는 전력을 부하에 공급하도록 구성되고, 전력을 부하에 제공하도록 설계된 인버터, 및 인버터의 동작을 제어하기 위해 동작 가능하게 접속된 제어기를 포함한다. 제어기는 모터 드라이브의 동작 동안 모터 파라미터의 실시간 값을 모니터링하고, 인버터가 수정된 동작점에서 동작시키기 위해 모터 파라미터의 실시간 값에 기초하여 모터 드라이브의 동작 동안 전압 기준을 점진적으로 조절하도록 구성되며, 수정된 동작점은 초기 V/Hz의 곡선으로부터의 편차를 포함한다. 제어기는 수정된 동작점 및 초기 V/Hz의 곡선의 동작점에 기초하여 수정된 V/Hz의 곡선을 정의하고, 수정된 V/Hz의 곡선에 따라 전압-주파수 명령을 점진적으로 조절하도록 더 구성된다.

발명의 효과

[0013] 본 발명의 다양한 다른 특징 및 장점은 다음의 상세한 설명 및 도면으로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도면은 본 발명을 수행하기 위해 현재 고려된 바람직한 실시예를 예시한다.

도면에서:

도 1은 본 발명의 일 양태에 따른 모터 구동 시스템을 포함하는 제어 시스템의 개략도이다.

도 2는 본 발명의 다른 양태에 따른 모터 구동 시스템을 포함하는 제어 시스템의 개략도이다.

도 3은 본 발명의 또 다른 양태에 따른 모터 구동 시스템을 포함하는 제어 시스템의 개략도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따라 도 1 내지 도 3의 모터 구동 시스템 중 어느 하나에서 구현될 수 있는 모터 드라이브 제어 기술의 예시적인 단계를 설명한 흐름도이다.

도 5는 도 4의 모터 드라이브 제어 기술에 대한 실시간 모터 파라미터의 일련의 예시적인 그래프이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따라 도 4의 모터 드라이브 제어 기술에 따라 동작되는 주어진 모터 드라이브에 대한 에너지 절감을 나타낸 예시적인 그래프이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따라 도 4의 모터 드라이브 제어 기술에 따라 동작되는 주어진 모터 드라이브에 대한 에너지 절감을 나타낸 예시적인 그래프이다.

도 8 내지 도 10은 다수의 모터 드라이브 제어 기술의 비교를 나타내는 일련의 예시적인 그래프이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따라 도 4의 모터 드라이브 제어 기술에 따라 동작되는 주어진 모터 드라이브에 대한 수정된 전압-주파수 곡선을 따라 예시적인 초기 선형 전압-주파수 곡선 및 모터 드라이브의 동작을 나타낸 그래프이다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따라 도 1 내지 도 3의 모터 구동 시스템 중 어느 하나에서 구현될 수 있는 대안적인 모터 드라이브 제어 기술의 예시적인 단계를 설명한 흐름도이다.

도 13은 본 발명의 실시예에 따른 도 12의 모터 드라이브 제어 기술의 서브루틴의 흐름도이다.

도 14는 본 발명의 실시예에 따라 도 12의 모터 드라이브 제어 기술에 따라 동작되는 주어진 모터 드라이브에 대한 수정된 전압-주파수 곡선을 따라 예시적인 초기 선형 전압-주파수 곡선 및 모터 드라이브의 동작을 나타낸 그래프이다.

도 15는 본 발명의 실시예에 따라 도 12의 모터 드라이브 제어 기술에 따라 동작되는 주어진 모터 드라이브에 대한 수정된 전압-주파수 곡선을 따라 예시적인 초기 선형 전압-주파수 곡선 및 모터 드라이브의 동작을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 전술한 단점을 극복하는 부하에 연결된 AC 모터 드라이브를 제어하는 시스템 및 방법에 관한 본 발명의 여러 실시예가 설명된다. 본 발명의 이러한 실시예는 복수의 구조 및 제어 방식을 포함하는 개방 루프 모터 드라이브용 에너지 최적화 제어 시스템에 관한 것이다.

[0016] 모터 구동 시스템(10) 및 관련된 AC 모터 드라이브(12)의 일반적인 구조는 도 1에 도시된다. 모터 드라이브(12)는, 예를 들어, 3상 AC 전력 입력(14a 내지 14c)을 수신하고, AC 입력을 정류하며, 부하에 공급되는 가변 주파수 및 진폭의 3상 교류 전압으로 정류된 세그먼트의 DC/AC 변환을 수행하도록 설계된 가변속 드라이브로서 구성될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 구동 제어 유닛(16)은 모터 드라이브(12) 내에 통합되고, 모터 드라이브(12)의 내부 로직의 일부의 역할을 할 수 있다. 대안적으로, 도 2 및 도 3에 대해 더욱 상세히 설명되는 바와 같이, 구동 제어 유닛(16)은 모터 드라이브(12)와는 완전히 다른 외부 모듈로 구현될 수 있고, 그로부터 데이터를 수신할 수 있다(예를 들어, 전압 및/또는 전류 신호).

[0017] 도 1을 참조하면, 예시적인 실시예에서, 모터 드라이브(12)는, 예를 들어, 제어 불가능 또는 제어 가능한 정류 유닛(20)(제어되지 않은 AC 대 DC), 필터링 인덕터(22), DC 버스 커패시터(24) 및 펄스 폭 변조(PWM) 인버터

(26)(DC 대 제어된 AC)를 포함할 수 있는 구동 전력 차단 유닛(18)을 포함한다. 대안으로, 구동 전력 차단 유닛(18)은 DC 버스가 인버터에 직접 연결되도록 이러한 정류 유닛없이 제공될 수 있다. 구동 전력 차단 유닛은 예를 들어 무정전 전원 장치(UPS)에 인가될 때 정류 유닛없이 제공될 수 있다.

[0018]

모터 드라이브(12)는 정류 유닛(20)에 공급되는 3상 AC 입력(14a 내지 14c)을 수신한다. 정류 유닛(20)은 DC 버스 전압이 정류 유닛(20)과 PWM 인버터(26) 사이에 존재하도록 AC 전력 입력을 DC 전력으로 변환하며, PWM 인버터(26)는 AC 모터(28)로 전송하기 위해 DC 전력을 제어된 AC 전력으로 반전시키고 조건으로 한다. PWM 인버터(26)는 (도시되지 않은) 복수의 스위치를 포함하고, 복수의 스위치를 제어하여 제어된 AC 전력 출력을 생성하기 위해 예를 들어 SVM(Space Vector Modulation) 제어 방식 또는 Sinusoidal-Triangle PWM 제어 방식과 같은 PWM 제어 방식에 따라 동작하도록 구성된다. 예시적인 실시예에 따르면, PWM 인버터(26)는 SVM 제어 방식에 따라 동작하도록 구성된다.

[0019]

구동 제어 유닛(16)은 PWM 인버터(26)에 대한 SVM 제어 방식을 생성하도록 동작한다. 특히, PWM 인버터(26)에 대한 SVM 제어 방식은 모터 드라이브(12)를 동작하기 위해 사용되는 전압-주파수(V/Hz) 설정 또는 명령(즉, V/Hz의 프로파일 또는 곡선)에 기초하여 모터 구동 시스템(10)에 의해 생성된다. 본 발명의 실시예에 따르면, 모터 구동 시스템(10)은 모터 또는 최대 수요 전력(load demand)에 기초하여 모터(28)에 인가되는 전압 및 주파수를 동적으로 조절하도록 프로그래밍되며, 이는 사실상 모터 드라이브(12)의 내부의 미리 설정된 V/Hz의 곡선의 형상 또는 프로파일(관련된 SVM 제어 방식)을 동적으로 조절한다.

[0020]

모터 드라이브(12)는 모터 파라미터(32)를 입력하고, 주파수 기준(34)을 출력하도록 구성되는 구동 사용자 인터페이스(30) 또는 구동 제어 패널, 제로 속도에서 모터를 가속화하도록 시동 토크를 생성하는데 사용되는 승압 전압(36), 및 모터 평균 정보(NPI)(38)를 더 포함한다. 사용자 인터페이스(30)는 또한 예를 들어 모터의 출력 전압(rms), 모터 전류(rms), 모터 입력 전력, 속도, 토크 등과 같은 모터 동작 파라미터의 리스트를 모니터링을 위해 사용자에게 표시하기 위해 사용된다.

[0021]

도 1에 도시된 바와 같이, 구동 제어 유닛(16)은 제어 알고리즘 모듈(40), 기존 또는 미리 설정된 V/Hz의 곡선(42), SVM 제어를 생성하기 위한 신호 생성기(44), 및 모터 파라미터 계산기(46)를 포함한다. 구동 제어 유닛(16)은 구동 전력 차단 유닛(18)으로부터 출력을 수신하고, 모터 파라미터를 모니터링하며, 모터 드라이브(12)를 동작시키기 위한 SVM 제어 방식을 생성하기 위해 결정된 모터 파라미터에 기초하여 최적의 전압 및 주파수를 결정하는 역할을 한다.

[0022]

본 발명의 실시예에 따르면, 구동 제어 유닛(16)은 구동 전력 차단 유닛(18)으로부터 DC 버스 전압 신호(48) 및 모터 입력 전류 신호(50)를 수신한다. 모터 입력 전압은 DC 버스 전압 신호(48) 및 PWM 스위칭 신호(56)를 사용하여 계산된다. 신호(50) 및 모터 입력 전압 신호는 예를 들어 실시간 전압 신호(48) 및 실시간 전류 신호(50)를 전송하는 유무선 센서를 경유하여 모터 드라이브(12)의 AC 전력 출력으로부터 획득될 수 있다. 대안적으로, 모터 파라미터 계산기(46)는 모터 드라이브(12) 내에 통합된 속도 센서 또는 추정기로부터 모터 속도를 나타내는 신호를 수신할 수 있다. 구동 제어 유닛(16)은 또한 제로 속도로부터 AC 모터(28)를 가속화하기 위해 시동 토크를 생성하는데 사용되는 승압 전압 신호(36), 및 속도 기준 신호(52)를 수신할 수 있다. 수신된 신호(36, 48, 50)에 기초하여, 구동 제어 유닛(16)은 일련의 스위칭 신호 또는 스위칭 명령(54)을 PWM 인버터(26)로 전송하여, SVM 제어 방식을 형성한다.

[0023]

동작시, 모터 구동 시스템(10)의 구동 제어 유닛(16)은 모터 드라이브(12)의 시동 또는 리셋시에 디폴트 모드/설정에서 동작한다. 기본 설정에서 동작할 시에, 구동 제어 유닛(16)은 센서로부터 DC 버스 전압 신호(48) 및 전류 신호(50)를 모니터링하고, DC 버스 전압 신호(48) 및 전류 신호(50)에 기초하여 기존의 V/Hz의 곡선 블록(42)의 동작점을 결정하며, 미리 설정된 동작점에 기초하여 기본 스위칭 명령(54)을 PWM 인버터(26)로 전송한다. 일 실시예에 따르면, 구동 제어 유닛(16)은 주파수 명령 및 전압 크기 명령을 생성하기 위해 (도시되지 않은) 입력 장치로부터 주파수(또는 속도) 명령을 수신한다. 전압 크기 명령은 일반적으로 V/Hz의 곡선으로 지칭되는 주파수 명령의 함수에 의해 주어진다. 구동 제어 유닛(16)은 PWM 인버터(26)의 스위치 어레이의 스위칭을 제어하는데 사용되는 주파수 명령에 기초하여 3상 전압 명령을 생성한다. 특히, 신호 생성기(44)는 기존의 V/Hz의 곡선(42)으로부터 전압 명령(56) 및 주파수 명령(58)을 수신하고, PWM 인버터(26)의 6개의 대응하는 스위치를 제어하기 위해 6개의 PWM 신호를 생성한다. 다시 말하면, 모터 구동 시스템(10)은 디폴트 모드에서 정적 미리 설정된 V/Hz의 프로파일에 따라 전압-주파수 명령을 전송한다.

[0024]

디폴트 모드에서의 초기 동작시에, 구동 제어 유닛(16)은 에너지 최적화 모드에서 동작하도록 전환하며, 제어 알고리즘 모듈(40)은 기존의 V/Hz의 곡선 블록(42)을 우회(bypass)하여, 입력으로서 구동 사용자 인터페이스

(30)로부터 주파수 기준(34), 승압 전압 신호(36) 및 NPI(38)를 수신한다. 제어 알고리즘 모듈(40)은 또한 모터 파라미터 계산기(46)로부터 추정 또는 계산된 모터 파라미터(60)를 수신한다. 에너지 최적화 모드에서, 제어 알고리즘 모듈(40)은 수신된 DC 버스 전압 신호(48) 및/또는 전류 신호(50)와 NPI(38)를 이용하여 선택된 기준 실시간 모터 파라미터를 계산하거나 추정한다. 본 발명의 일 실시예에서, 실시간 모터 파라미터는 평균 모터 rms 전압, 평균 모터 rms 전류, 순시 모터 입력 역률, 모터 효율, 또는 모터 슬립(또는 속도)일 수 있다. 그 후, 도 4에 대해 더 상세히 설명되는 바와 같이, 결정된 실시간 모터 파라미터 중 어느 하나가 미리 정의된 공차 영역에 도달하는지를 판단함으로써 제어 알고리즘 모듈(40)은 최적의 동작이 달성되는지를 판단한다. 최적의 동작이 달성되지 않는 경우, 알고리즘은 고정 또는 가변 단계로 전압 명령을 조절하고, 동일한 주파수 명령을 유지한다. 그렇지 않으면, 새로운 주파수 기준이 검출되거나 바람직하지 않은 동작 또는 불안정한 모터 동작이 검출될 때까지 알고리즘은 동일한 전압 및 주파수 명령을 유지한다. 제어 알고리즘 모듈(40)은 결정된 전압 명령(62) 및 주파수 명령(64)을 신호 생성기(44)로 전송한다. 제어 알고리즘 모듈(40)로부터 수신된 전압 및 주파수 명령(62, 64)을 이용하여, 신호 생성기(44)는 스위칭 신호(54)를 구동 전력 차단 유닛(18)으로 전송한다. 그것에 응답하여, 구동 전력 차단 유닛(18)은 AC 모터(28)로 전달하기 위한 고정 주파수 및 진폭과 AC 전압 파형을 합성한다.

[0025]

에너지 최적화 모드에서, 구동 제어 유닛(16)은 모터 구동 시스템(10)을 연속적으로 모니터링하고, 일련의 수정된 스위칭 명령(54)을 PWM 인버터(26)로 전송하도록 구성된다. 특히, 구동 제어 유닛(16)은 DC 버스 전압 신호(48) 및 PWM 스위칭 신호(56)를 이용하여 모터 입력 전압을 계산하고, 센서로부터 전류 신호(50)를 수신한다. 구동 제어 유닛(16)은 계산된 모터 입력 전압, 전류 신호(50) 및 NPI(38)로부터 하나 이상의 실시간 모터 파라미터를 계산하거나 추정한다. 아래에서 상세히 설명되는 바와 같이, 제어 모듈(40)은 또한 시스템 불안정, 급격한 부하 변동 또는 바람직하지 않은 동작이 검출되는지를 판단한다. 제어 모듈(40)은 하나 이상의 실시간 모터 파라미터에 기초하여 최적의 동작 조건이 도달되었는지를 더 판단한다. 제어 모듈(40)이 최적의 동작 조건, 시스템 불안정, 급격한 부하 변동 또는 바람직하지 않은 동작을 검출하지 않은 경우, 제어 모듈(40)은 각 실행 기간 동안 증가된 (또는 감소된) 주파수 명령(64) 및/또는 증가된 (또는 감소된) 전압 명령(62)을 생성하고, 증가된 전압-주파수 명령(62, 64)을 신호 생성기(44)로 전송한다. 예를 들면, 제어 모듈(40)은 이전의 전압 명령(62)을 유지하면서 하나의 명령(62, 64), 예를 들어 주파수 명령(64)만을 증가(또는 감소)시키고, 증가된 주파수 명령(64) 및 증가되지 않은 전압 명령(62)을 신호 생성기(44)로 전송할 수 있다. 대안적으로, 제어 모듈(40)은 주파수 명령(64) 및 전압 명령(62) 둘 다를 증가(또는 감소)시키고, 두 증가된 명령(62, 64)을 신호 생성기(44)로 전송할 수 있다. 증가된(또는 감소된) 전압-주파수 명령을 이용하여, 신호 생성기(44)는 에너지 최적화 모드에서 AC 모터(28)에 대한 유효 전력 입력이 디폴트 모드에서의 원래의 정적 V/Hz의 곡선 설정을 사용하여 유효 전력 입력보다 낮도록 PWM 인버터(26)로 전송된 스위칭 명령(54)을 수정한다.

[0026]

예시적인 실시예에 따르면, 모터 기준 파라미터의 미리 정의된 공차 영역은 예를 들어 최대값 및 최소값, 정격값 또는 공칭값, 또는 사용자에게 의해 정의된 어떤 특정값과 같은 미리 정의된 값 근처의 작은 범위로서 정의된다. 이러한 실시간 모터 파라미터의 추세는 이러한 모터 기준 파라미터의 실시간 값이 미리 정의된 공차 영역 내에 있는지, 예를 들어, 이러한 모터 파라미터의 실시간 값이 최대값 또는 최소값에 충분히 가까운지를 판단하도록 모니터링된다. 알고리즘이 모터 파라미터가 공차 영역 내에 있다고 결정되면, 최적의 동작이 달성된다. 새로운 주파수 기준 또는 불안정한 모터 동작 또는 바람직하지 않은 동작이 검출될 때까지 알고리즘은 동일한 전압 및 주파수의 명령을 유지한다. 최적으로 유지된 이러한 전압-주파수 명령에 따르면, 모터 드라이브가 AC 모터(28)로의 유효 전력 입력이 가장 효율적으로 이용되는 최적의 동작점에서 동작하게 하도록 신호 생성기(44)는 대응하는 스위칭 명령(54)(즉, SVM 제어 명령)을 발생시키도록 유발된다.

[0027]

에너지 최적화 모드에서, 구동 제어 유닛(16)은 급격한 부하 변동, 시스템 불안정 및/또는 바람직하지 않은 동작을 연속적으로 모니터링하도록 구성된다. 시스템 불안정 및/또는 바람직하지 않은 동작이 확인되면, 구동 제어 유닛(16)은 일련의 수정된 스위칭 명령(54)을 PWM 인버터(26)로 전송한다. 에너지 최적화 모드 동안, 시스템은 예를 들어 부하의 급격한 변동으로 인해 불안정해질 수 있거나, 모터 슬립(또는 속도)이 슬립(또는 속도) 경계를 넘을 경우에도 불안정해질 수 있다. 아래에 상세히 논의되는 바와 같이, 시스템 불안정 조건은 모터 전류의 값 또는 변화율, 역률, 또는 속도(또는 슬립) 신호의 급격한 변동을 모니터링하거나, 실시간 모터 파라미터의 추세를 모니터링함으로써 결정될 수 있다. 실시간 모터 파라미터 및 실시간 모터 파라미터의 확인된 추세를 이들의 미리 정의된 경계와 비교함으로써, 제어 모듈(40)은 시스템 불안정 또는 바람직하지 않은 동작이 검출되는지를 판단한다. 이러한 시스템 불안정 또는 바람직하지 않은 동작이 검출되면, 제어 모듈(40)은 시스템 안정을 회복하려고 시도하기 위해 수정된 전압-주파수 명령을 신호 생성기(44)로 전송할 수 있다. 대안적으로, 부하의 동작점이 안정적인 것으로 간주될 때까지 시스템 안정을 다시 획득하고 유지하기 위해 동일한 주파수 명

령(64)을 신호 생성기(44)로 전송하면서, 제어 모듈(40)은 모터 드라이브의 제어를 하나 이상의 실행 기간 내의 디폴트 모드로 리셋하고, 증가(또는 감소) 전압 명령(62)을 원래의 미리 설정된 V/Hz의 곡선 또는 선형 V/Hz의 곡선으로 리셋하기 위해 "마스터 리셋 루틴(master reset routine)"으로 들어갈 수 있다. 일 실시예에 따르면, 주파수 명령(64)은 사용자 또는 외부 프로세스의 제어기가 주파수 기준(34)의 변동을 요구할 때까지 일정하게 유지될 수 있다.

[0028]

구동 제어 유닛(16)은 또한 애플리케이션 특정 경계 조건에 대한 실시간 모터 파라미터를 모니터링할 수 있으며, 이러한 조건은 불안정하거나 바람직하지 않은 시스템 조건을 나타낼 수 없는 실시간 시스템 조건을 나타내도록 오퍼레이터에 의해 미리 설정될 수 있지만, 그럼에도 불구하고 특정 애플리케이션에 대해 바람직하지 않을 수 있다. 예를 들면, 구동 제어 유닛(16)은 최소 전압 경계, 최대 전압 경계, 최대 전류 경계, 최대 슬립(최소 속도) 경계, 최소 역률 경계, 최대 토크 경계, 또는 최대 모터 온도 경계를 모니터링할 수 있다.

[0029]

그러나, 에너지 최적화 모드 동안, 감소된 전압 명령은 모터 속도를 감소시킬 수 있다. 따라서, 모터 샤프트

속도가 주파수 기준 f_{ref} (34)의 동기 속도에서 일정하게 유지되도록 하는 "슬립 보상 모드"에 따라 에너지 최적화 모드에서 동작하면서 구동 제어 유닛(16)은 모터 속도를 모니터링하고 모터가 원하는 속도로 동작하도록 주파수 명령(64)을 증가하도록 더 프로그래밍될 수 있다. 따라서, 유익하게, V/Hz의 곡선(선형, 이차, 또는 다른 유사한 설정(예를 들어, 플렉스 최소화 설정))은 발생된 토크가 일정한 미리 설정된 V/Hz의 곡선과 비교하여 부하 토크 요구를 충족시키기 위해 최소 토크가 모터에서 발생되도록 V/Hz의 비율을 최적화하도록 조절될 수 있다.

[0030]

실제 모터 기본 주파수 f_1 가 구동 주파수 명령 f_{cmd} (64)(즉, $f_1 = f_{cmd}$)에 밀접하게 일치한다고 가정하면, 모터 동기 속도 ω_{syn} 는 다음의 식에 따라 계산될 수 있다.

$$\omega_{syn} = \frac{120 \times f_1}{p} = \frac{120 \times f_{cmd}}{p} \quad (\text{식 1})$$

[0031]

[0032]

여기서, p는 모터(28)의 극의 수이다. 도 6에 도시된 바와 같이, 부하의 실제 부하 조건(즉, 부하 특성 곡선의 형상)으로 인해, 구동 주파수 명령(64)이 f_{cmd} 일 때(따라서 모터 기본 주파수 $f_1 = f_{cmd}$) 실제 모터 샤프트 속도 ω_r 는 항상 동기 속도 ω_{syn} 보다 약간 낮다. 동기 속도 ω_{syn} 와 모터 샤프트 속도 사이의 백분율 차이는 다음의 식에 따라 정의된다.

$$s = \frac{\omega_{syn} - \omega_r}{\omega_{syn}} \quad (\text{식 2})$$

[0033]

[0034]

여기서 s는 모터 슬립이다. 그래서, 부하로 인한 속도 저하를 보상하기 위해, 실제 모터 샤프트 속도가 원래의 주파수 기준(34)의 동기 속도와 동일하도록 구동 주파수 명령(64)은 주파수 기준(34)보다 약간 높게 설정될 수 있다. 이것이 "슬립 보상 모드"이다.

[0035]

슬립 보상 모드는 사용자 또는 구동 외부 루프 제어기가 모터 샤프트 속도가 주파수 기준(34)의 동기 속도에 일치할 것으로 예상할 때(이 경우에, 주파수 기준(34)은 본질적으로 "속도 기준"으로 주어진다.) 이용될 수 있다. 예를 들면, 4극 유도 모터의 경우, 사용자가 드라이브 사용자 인터페이스의 40 Hz에서 주파수 기준(34)을 설정하면, 사용자는 종종 모터가 40 Hz의 동기 속도(즉, 2400 rpm)에서 동작할 것으로 예상한다. 그러나, 드라이브가 40 Hz의 주파수 명령(62)을 전송하는 경우, 실제 모터 속도는 (도 6에 따라) 실제 부하 조건으로 인해 2400 rpm보다 약간 낮을 것이며, 예를 들어, 2375 rpm일 것이다. 식 2를 이용하면, 모터의 슬립은

$\left(\frac{2400 - 2375}{2400} \right)$ 로 계산될 수 있다. 사용자가 예상한 2400 rpm에서 모터를 동작하기 위해, 드라이브는 40

Hz의 주파수 기준(34)보다 약간 큰, 예를 들어 40.2 Hz인 주파수 명령(62)을 전송한다. 이러한 높은 주파수 하에서, 모터 샤프트 속도는 사용자의 "속도 기준"에 일치하는 2400 rpm이다.

[0036] 도 1을 여전히 참조하면, 에너지 최적화 모드 동안, 기존의 V/Hz의 곡선 블록(42)은 본 발명의 실시예에 따라 여러 가지 방식으로 처리될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 제어 알고리즘 모듈(40)은 구동 애플리케이션 소프트웨어로 구현될 수 있지만, 기존의 V/Hz의 곡선 블록(42)은 드라이브 펌웨어로 구현될 수 있다. 이러한 실시예에서, 기존의 V/Hz의 곡선 블록(42)은 전압 및 주파수 명령을 계속 생성할 수 있지만, 이러한 명령은 신호 생성기(44)로 전달할 수 없다. 대안적으로, 제어 알고리즘 모듈(40) 및 기존의 V/Hz의 곡선 블록(42)은 둘다 드라이브 펌웨어로 구현될 수 있다. 이 경우에, 기존의 V/Hz의 곡선 블록(42)은 비활성화되거나 제거될 수 있다.

[0037] 이제 도 2를 참조하면, 모터 구동 시스템(66)의 일반적인 구조는 본 발명의 실시예에 따라 도시된다. 모터 구동 시스템(66)은 AC 모터 드라이브(68), 구동 사용자 인터페이스(70) 및 독립형 외부 제어 모듈(72)을 포함한다. 모터 구동 시스템(66) 내에 포함된 구동 제어 유닛(74)은 정적 V/Hz의 곡선 블록(76), 신호 생성기(78) 및 모터 파라미터 계산기(80)를 포함하며, 모터 파라미터 계산기(80)는 구동 전력 차단 유닛(86)으로부터 DC 버스 전압 신호(82) 및 모터 전류 신호(84)를 수신한다.

[0038] 제어 모듈(72)은 모터 드라이브(68)의 기존의 하드웨어의 외부에 있는 별도의 하드웨어 모듈로서 에너지 제어 알고리즘 모듈(88)을 포함하고, 기존의 모터 드라이브 내에 설치될 수 있고, 예를 들어, ModBus, Device Net, Ethernet 등과 같은 기존의 구동 통신을 통해 데이터를 교환할 수 있다. 제어 모듈(72)은 모터(92)의 3상 선간 전압을 측정하기 위해 한 세트의 전압 센서(90)를 이용한다. 제어 모듈(72)은 또한 모터(92)의 전류를 측정하기 위해 한 세트의 전류 센서(94)를 포함한다. 중성점이 이용 가능하지 않은 경우, 제어 모듈(72)은 3선 시스템에 대한 적어도 2개의 전류 센서를 포함한다. 3상 전류가 제로에 추가할 때, 제 3 전류는 다른 2개의 전류 값으로부터 계산될 수 있다. 그러나, 제 3 센서는 선택적이지만, 이러한 센서는 전체 전류 계산의 정확성을 증가시킨다.

[0039] 제어 모듈(72)은 또한 제어 알고리즘 모듈(88)로 입력되도록 예를 들어 rms 전압, rms 전류, 슬립(또는 속도), 역률 및 효율과 같은 한 세트의 기준 모터 파라미터(98)를 계산/추정하는 내부 모터 파라미터 계산기(96)를 포함한다. 모터 명판 정보(NPI)(100)는 통신을 통해 모터 드라이브(68)로부터 획득되거나 사용자에게 의해 제어 모듈(72)에 입력된다. 주파수 기준(102)은 또한 구동 통신을 통해 외부 제어 모듈(72)로 입력된다.

[0040] 도 1에 대해 설명된 절차와 유사하게, 에너지 최적화 모드 동안, 제어 알고리즘 모듈(88)에 포함된 로직은 본질적으로 정적 V/Hz의 곡선 블록(76)을 대신한다. 제어 알고리즘 모듈(88)은 모터 드라이브(68)로부터 주파수 기준(102) 및 NPI(100)를 수신할 뿐만 아니라, 입력으로서 모터 파라미터 계산기(96)로부터 계산/추정된 기준 모터 파라미터(98)를 수신한다. 모듈(88)은 이러한 입력을 이용하여 주파수 명령(104) 및 전압 명령(106)을 생성하고, 제어 모듈(72)은 이러한 명령(104, 106)을 신호 생성기(78)로 전송한다.

[0041] 본 실시예에 따르면, 제어 알고리즘 모듈(88)이 모터 드라이브(68)로부터 외부에 위치되므로, 정적 V/Hz의 곡선 블록(76)은 한 세트의 미리 설정된 전압 명령(108) 및 주파수 명령(110)을 생성하는 것으로 유지될 수 있다. 그러나, 이러한 미리 설정된 명령(108, 110)은 신호 생성기(78)로 전달되지 않는다.

[0042] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 외부 제어 모듈(114)을 포함하는 모터 구동 시스템(112)을 도시한다. 도 2에 대해 설명된 모터 구동 시스템과 유사하게, 모터 구동 시스템(112)은 모터 드라이브(116), 구동 제어 유닛(118) 및 구동 사용자 인터페이스(120)를 포함한다. 그러나, 도 2의 모터 구동 시스템과 달리, 외부 모듈(114)은 자신의 전압 및 전류 센서 또는 내부 모터 파라미터 계산기를 갖지 않는다. 대신에, 외부 모듈(114)은 구동 통신을 통해 주파수 기준(122), NPI(124), 및 계산 및/또는 추정된 모터 파라미터(126)를 획득한다. 일 실시예에 따르면, 외부 모듈(114)은 에너지 최적화 기능을 모터 드라이브(116)에 제공하기 위해 모터 드라이브(116)의 확장 카드 슬롯으로 구현될 수 있다.

[0043] 이제 도 4를 참조하면, 도 1의 AC 모터 드라이브(12)와 같은 모터 드라이브를 동적으로 제어하기 위해 제어기에 의해 구현된 에너지 최적화 기술(128)은 본 발명의 실시예에 따라 설명된다. 아래에 상세히 설명되는 바와 같이, 기술(128)은 모터 드라이브(12) 내부의 미리 설정된 V/Hz의 곡선의 형상 또는 프로파일을 효과적으로 조절하는 모터 또는 부하 수요에 기초하여 모터에 인가되는 전압 및 주파수를 동적으로 조절한다. 기술(128)은 모터 파라미터가 미리 정의된 공차 영역 내에 있을 때까지 하나 이상의 모터 파라미터의 값을 모니터링한다. 전압 및 주파수를 조절하는 동안, 기술(128)은 또한 잠재적인 모터 고장 또는 바람직하지 않은 모터 동작을 의미할 수 있는 급격한 부하 변동 또는 모터 불안정 또는 바람직하지 않은 동작에 대해 모니터링한다.

[0044] 기술(128)은 블록(130)에서 예를 들어 정격 마력(HP), 전 부하 암페어(FLA), 정격 전압, 정격 속도(RPM), 정격 주파수(Hz), 정격 역률 및 정격 효율과 같은 모터 명판 파라미터(NPI)를 획득함으로써 시작한다. 블록(130)에서, 예를 들어 FLA의 주어진 백분율, 사용자에게 의해 정의된 슬립 경계를 포함할 수 있는 사용자 구성 파라미터가 또한 획득된다. 블록(132)에서, 기술(128)은 예를 들어 전압, 전류, 속도(슬립), 역률 및 효율을 포함하는 선택된 기준 모터 파라미터의 경계의 세트를 정의한다. 예를 들면, 전압 경계 조건, V_bound 는 이차 V/Hz 의 곡선의 백분율(예를 들어, 80%)로 정의될 수 있고; 전류 경계, I_bound 는 FLA의 백분율로 정의될 수 있으며; 슬립 경계, s_bound 는 정격 주파수에서 정격 슬립에 대응하도록 정의될 수 있거나 사용자에게 의해 정의될 수 있으며; 전류의 최대 변동, ΔI_bound 는 FLA의 백분율(예를 들어, 20%)로 정의될 수 있다.

[0045] 블록(134)에서, 공차 영역의 세트는 최적의 동작을 결정하기 위해 선택된 모터 파라미터에 대해 정의된다. 이러한 공차 영역은 예를 들어 전압 공차 영역, 전류 공차 영역, 속도(슬립) 공차 영역, 역률 공차 영역, 및/또는 효율 공차 영역을 포함할 수 있다. 본 발명의 실시예에 따르면, 공차 영역은 아래의 식에 따라 정의된 경계 조건에 기초하여 결정될 수 있다:

$$Tolerance_Zone = x * Boundary_Condition \quad (식\ 1)$$

[0047] 여기서 x 는 선택된 백분율 범위를 나타낸다. 식 1을 이용하여, 전압 공차 영역은 예를 들어 $V_tol_zone = [100\% - 105\%] * V_bound$ 로 정의될 수 있다. 마찬가지로, 전류 공차 영역, I_tol_zone 및 슬립 공차 영역, s_tol_zone 은 각각 $I_tol_zone = [95\% - 100\%] * I_bound$ 및 $s_tol_zone = [95\% - 100\%] * s_bound$ 으로 정의될 수 있다.

[0048] 블록(136)에서, 기술(128)은 전압-주파수 명령의 초기, 디폴트 또는 시동 세트를 명령 생성기에 공급한다. 전압-주파수 명령의 디폴트 또는 시동 세트는 예를 들어 이전의 성공적인 시동 이벤트로부터 미리 설정된 또는 정적 V/Hz 의 곡선의 전압-주파수 명령 또는 저장된 전압-주파수 명령에 기초할 수 있다.

[0049] 기술(128)은 블록(138)에서 모터 드라이브의 외부 루프 처리 제어기 또는 사용자로부터 주파수 기준을 획득한다. 블록(140)에서, 기술(128)은 주파수 기준의 변동이 구동 제어가 응답하는데 충분한지를 판단한다. 특히, 기술(128)은 현재 주파수 기준이 이전의 주파수 기준과 동일한지를 판단하기 위해 현재 주파수 기준을 이전의 주파수 기준 값과 비교할 수 있다. 대안적으로, 기술(128)은 두 값의 차이가 미리 설정된 공차 값(예를 들어, 0.1 Hz)보다 큰지를 판단할 수 있다. 주파수 기준이 변경되면(또는 변경이 미리 설정된 공차 값보다 크면)(142), 기술(128)은 블록(144)에서 새로운 기준 주파수와, 이러한 주파수에서 원래의 V/Hz 의 설정, 선행 V/Hz 의 설정, 또는 다른 미리 정의된 값/설정으로부터의 새로운 전압을 주파수 및 전압 명령으로 적용한다. 대안적으로, 주파수 기준이 소량(예를 들어, <0.1 Hz)만큼 변경되면, 주파수 명령을 변경하면서 전압 명령은 변경되지 않고 그대로 유지될 수 있다. 그 후, 기술(128)은 블록(146)으로 진행하고, 예를 들어, 모터 전압, 모터 전류, 모터 속도, 모터 역률 및/또는 모터 효율에 대응할 수 있는 하나 이상의 실시간 모터 파라미터를 계산하거나 추정한다.

[0050] 블록(140)을 다시 참조하면, 주파수 기준이 변경되지 않으면(또는 변경이 미리 설정된 공차 값보다 작으면), 기술(128)은 블록(146)으로 직접 진행하고, 전압 및 주파수 명령의 현재 세트를 이용하여 실시간 모터 파라미터를 계산하거나 추정한다. 블록(150)에서, 기술(128)은 예를 들어 급격한 부하 변동과 같은 모터 과도 상태에 대해 모니터링한다. 과도 상태가 검출되지 않으면(152), 기술(128)은 예를 들어 전류 경계를 넘어 검출된 모터 전류 또는 전압 경계를 넘어 검출된 모터 전압일 수 있는 블록(154)에서 바람직하지 않은 모터의 동작 조건에 대해 모니터링한다. 바람직하지 않은 모터의 동작 조건이 검출되지 않으면(156), 기술(128)은 블록(158)에서 불안정한 동작 조건에 대해 모니터링한다. 불안정한 동작 조건이 존재하는지를 판단하기 위해, 기술(128)은 모니터링된 실시간 전 전압 및 전류, 기준 전 전압 및/또는 전류와 실시간 전 전압 및/또는 전류 측정치 사이의 값의 변동, 하나 이상의 실시간 모터 파라미터 값, 및/또는 불안정한 동작 조건을 결정하기 위한 모터 파라미터 추세를 분석할 수 있다. 불안정한 동작 조건은 모터 슬립(또는 속도)이 예를 들어 슬립(또는 속도) 경계를 벗어날 경우에 검출될 수 있다. 또한, 불안정한 동작 조건은 전 전압 또는 전류의 급격한 변동, 모터 파라미터의 급격한 변동, 또는 예를 들어, 모터 온도, 토크, 슬립, 역률 또는 임계치 밖의 효율(*efficiency outside a threshold*)과 같은 실시간 모터 파라미터의 값에 의해 반영될 수 있다.

[0051] 불안정한 동작 조건이 검출되지 않으면(160), 블록(136)에서 정의된 바와 같이, 선택된 기준 파라미터 중 어느 하나가 정의된 공차 영역 내에 있는지를 판단함으로써 기술(128)은 블록(162)에서 최적의 동작이 도달되는지를

판단한다. 선택된 기준 파라미터가 정의된 공차 영역(164) 내에 있지 않으면, 기술(128)은 블록(166)에서 고정 또는 가변 단계에서 전압 명령을 조절한다. 예를 들면, 기술(128)은 미리 설정된 펄스 값만큼 전압 명령을 감소시켜, 수정된 스위칭 신호가 인버터로 전송되도록 할 수 있다. 일 실시예에서, 기술(128)은 -10 볼트의 펄스 값만큼 전압 명령을 증가시킨다. 즉, 수정된 전압 명령이 디폴트 전압 명령보다 낮은 10 볼트이다. 대안적으로, 모터 드라이브가 최적의 동작점(168)에서 동작하는 경우(즉, 모터 파라미터가 공차 영역 내에 있는 경우), 기술(128)은 현재 전압 명령 및 주파수 명령을 유지한다. 블록(170)에서, 기술(128)은 대기 단계에 들어가며, 여기서 기술(128)은 블록(138)으로 복귀하기 전에 알고리즘 실행 시간을 기다린다. 그 후, 기술(128)은 모터 상태의 변동에 대해 모니터링하도록 블록(138 및 178)을 통해 계속 순환한다.

[0052]

블록(150, 154 및 158)을 다시 참조하면, 기술(128)이 모터 과도 상태(172), 바람직하지 않은 모터 동작 조건(174), 또는 불안정한 모터 동작 조건(176) 중 어느 하나를 검출하면, 기술(128)은 블록(178)에서 마스터 리셋 서브루틴에 들어간다. 마스터 리셋 서브루틴 동안, 주파수 명령은 변경되지 않고 몇 단계(예를 들어, 알고리즘의 고속 실행 기간) 내에 남아 있고, 전압 명령은 선형 V/Hz의 설정 또는 원래의 V/Hz 설정으로 증가된다. 대안적으로, 마스터 리셋 서브루틴은, 최종 안정 조건으로 되돌아가거나, 전압-주파수 명령의 이전에 사용된 증가 또는 펄스 값을 감소시킴으로써 오버슈트를 정정하기 위해 시도함으로써 안정 조건에 도달하도록 전압-주파수 명령을 선택적으로 증가시킬 수 있다. 예를 들면, 이전의 펄스 값이 -10 볼트인 경우, 기술(128)은 전압-주파수 명령의 가장 최근의 두 증가 사이의 안정 점에 도달하도록 이전의 증가된 전압-주파수 명령을 +5 볼트만큼 증가시킬 수 있다. 안정 조건이 달성되면, 기술은 블록(138)으로 복귀한다.

[0053]

일 실시예에 따르면, 미리 설정된 실행 기간은 기술(128)의 각 단계에 할당될 수 있다. 예를 들면, 블록(138 내지 178)의 각각은 모니터, 보호 및 마스터 리셋(예를 들어, 0.5 초)에 사용되는 고속 실행 기간, T_{fast} , 및 드라이브 및 모터의 동작(예를 들어, 10 초)을 업데이트하기 위해 구동 명령 업데이트 기간에 사용되는 저속 실행 기간, T_{slow} 중 하나에 할당될 수 있다. T_{fast} 및 T_{slow} 에 대한 디폴트 값이 모터 및 부하의 시간 상수에 따라 변할 수 있다는 것이 고려된다.

[0054]

도 5는 35 Hz의 주파수 명령을 가진 정적 및 미리 설정된 선형 V/Hz의 곡선의 약 268.4 V의 전체 전압에 대응하는 약 125 hp의 정적 전력을 갖는 모터에 대해 도 1 내지 도 4에 관하여 설명된 것과 같은 제어 기술을 이용하여 결정된 실시간 모터 파라미터의 일련의 그래프를 도시한다. 도 5는 전압의 함수로서 모터의 역률(180), 입력 유효 전력(182), 모터 전류(184) 및 모터 슬립(186)을 도시한다. 도시된 바와 같이, 입력 유효 전력(182)은 주파수 명령을 35 Hz에서 일정하게 유지하면서 전압이 정적 전력으로부터 감소될 때에 대략 선형 경로를 따른다. 그러나, 모터 역률(180)은 대략 이차 곡선을 따른다. 공차 영역(188)은 예를 들어 전류와 같은 모터 파라미터에 대해 원하는 범위에 대응하여 정의된다. 도 5에 도시된 바와 같이, 공차 영역(188) 내의 주어진 동작점(190)에서, 모터의 입력 유효 전력(182)은 전압을 미리 설정된 V/Hz의 곡선의 전체 전압에서 동작점(190)에 대응하는 168 V의 전압으로 감소시킴으로써 약 14 kW의 최적의 동작 전력(192)으로 감소된다. 따라서, 동작점(190)에 도달하도록 전압을 감소시킴으로써, 유효 전력(182)은 감소된다.

[0055]

부가적인 에너지 절감이 전압을 공차 영역(188) 밖에서 동작점까지 감소시킴으로써 가능할 수 있지만, 이러한 감소는 전압이 너무 많이 감소될 경우에 모터의 안정성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 도 5에 도시된 바와 같이, 약 168 V 미만의 전압 값에서, 슬립(186)은 빠르게 증가한다. 약 3 % 보다 큰 슬립(186)은 바람직하지 않을 수 있고, 모터의 불안정을 유발시킬 수 있다. 그래서, 공차 영역(188)은 슬립(186)이 3%의 미리 정의된 슬립 경계 아래에 확실히 유지하므로 최적의 동작점으로서 선택될 수 있다. 또한, 공차 영역(188)을 넘어선 전압에서, 전류(182)는 또한 증가하고, 잠재적으로 과전류 조건으로 이어진다.

[0056]

도 6은 도 4에 대해 설명된 동적 에너지 최적화 제어 전략을 이용하여 달성된 실시간 에너지 절감(194)을 예시한다. 부하 특성 곡선(196)은 예를 들어 펌프와 같은 어떤 부하를 설명하는 특성 토크/속도 곡선이다. 곡선(198)은 정적 및 미리 설정된 V/Hz의 곡선에 따라 주어진 주파수 명령 f_{cmd} 을 가진 동작점에서 동작되는 통상의 모터 드라이브의 토크/속도 곡선이다. 일 실시예에 따르면, 주파수 명령 f_{cmd} 은 일반적으로 사용자 또는 외부 루프 제어기에 의해 드라이브에 주어지는 주파수 기준 f_{ref} 과 동일할 수 있다. 드라이브는 주파수 명령 f_{cmd} 을 밀접하게 추적하는 f_1 의 실제 기본 주파수를 갖도록 모터를 제어한다. 모터의 실제 기본 주파수 f_1 은 다음 식에 의해 모터 동기 속도 ω_{syn} 를 결정한다:

$$\omega_{syn} = \frac{120f_1}{p}$$

(식 3)

[0057]

[0058]

여기서, p 는 극의 수이다. 동기 속도는 고정 주파수에서 어떤 모터의 상수 값이다. 그것은 모터가 절대 무부하 조건에 도달하거나, 토크가 제로일 때에 도달할 수 있는 허수의 최대 가능 속도이다. 곡선(196)과 곡선(198) 사이의 교차점(200)은 이러한 상태 하에 모터 속도 ω_1 (202) 및 출력 토크 T_1 (204)을 가진 모터의 실제 동작점을 결정한다.

[0059]

곡선(206)은 도 5의 동작점(188)과 같이 동일한 주파수 명령 f_{cmd} (결과적으로, 동일한 실제 주파수 f_1 및 동기 속도 ω_{syn})을 가진 동작점에서의 공차 영역 내에서 동작되는 최적화된 모터 드라이브의 토크/속도 곡선이다. 곡선(206)과 곡선(196) 사이의 교차점(208)은 모터 속도 ω_2 (210) 및 출력 토크 T_2 (212)를 가진 이러한 최적의 동작 조건 하에서 모터의 실제 동작점을 결정한다.

[0060]

도 6에 도시된 바와 같이, 주어진 주파수 명령 f_{cmd} 에서, 통상의 모터 드라이브는 토크(204)에서 동작한다. 다른 한편으로는, 최적화된 모터 드라이브는 낮은 토크(212)에서 동작한다. 동작점(200)에서 동작점(208)으로의 이러한 토크의 감소는 결과적으로 입력 전력(194)을 감소시켜 에너지를 절감한다. 최적화 제어가 적용될 때, 실제 모터 속도는 일반적으로 특정 부하의 토크/속도 특성 곡선에 따라 약간 감소한다는 것은 주목할 만하다. 이것은 일반적으로 펌프, 압축기 및 팬과 같이 정밀한 속도 제어가 필요하지 않은 애플리케이션에 허용할 수 있다.

[0061]

본 발명의 일 실시예에 따르면, 에너지 절감(194)은, 초기 전압-주파수 명령과, 모터 파라미터의 공차 영역 내의 동작에 대응하는 수정된 전압-주파수 명령의 비교에 기초하여 계산되고, 예를 들어 도 1의 모터 드라이브(12)와 같은 모터 드라이브 상에 디지털 전력 절감 값으로 표시될 수 있다. 표시된 에너지 절감은 미리 설정된 시간 기간에 걸쳐 또는 드라이브의 수명 동안 순시 에너지 절감 및/또는 누적 에너지 절감 중 하나를 나타낼 수 있다. 또한, 에너지 절감(194)은 모터 드라이브(12) 상의 탄소 감소계(carbon reduction meter) 상에 표시될 수 있는 감소된 에너지 사용으로부터 생성된 탄소 감소를 계산하기 위해 사용될 수 있다.

[0062]

이제 도 7을 참조하면, 최적화된 토크 속도 곡선은 정밀한 속도 제어가 본 발명의 실시예에 따라 요구되는 애플리케이션에 대해 예시된다. 부하 특성 곡선(214)은 예를 들어 펌프와 같은 어떤 부하를 나타내는 특성 토크/속도 곡선이다. 제 1 모터 특성 곡선(216)은 정적 및 미리 설정된 V/Hz의 곡선(218)에 따라 주어진 주파수 명령 f_{cmd} 을 가진 동작점에서 동작되는 통상의 모터 드라이브의 토크/속도 곡선을 나타낸다. 제 2 모터 특성 곡선(220)은 최적화된 모터 드라이브의 토크/속도 곡선이다. 도 7에 도시된 바와 같이, 곡선(216, 220)은 공통의 속도 및 토크를 가진 교차점(222)에서 부하 특성 곡선(214)을 교차한다.

[0063]

이러한 교차점(222)은 정밀한 속도 제어를 원하는 애플리케이션에서의 모터 드라이브의 동작 결과이다. 이러한 애플리케이션에서, 외부 루프 처리 제어기는 일반적으로 주파수 명령을 조절하고, 도 4에 대해 설명된 에너지 최적화 제어 방법과 함께, 모터의 동작점을 곡선(214 및 218)의 교차점(222)으로 결정하도록 포함된다. 이러한 예에서, 외부 루프 제어기는 주파수 기준 f_{ref} (결과적으로, ω_{syn1} 에서 ω_{syn2} 까지의 동기 속도)보다 약간 더 크도록 주파수 명령 f_{cmd} 을 약간 증가시키며, 궁극적으로 속도 ω_1 및 출력 토크 T_1 에서 원래의 동작점으로 정착될 것이다. 출력 전력 P_2 는 원래의 출력 전력 P_1 과 동일할 것이다.

[0064]

그러나, 제 2 모터 특성 곡선(220)이 모터에 인가되는 낮은 전압과 관련되어 있기 때문에, 모터 코어 손실은 감소될 것이다. 따라서, 감소된 전압에서의 모터 코어 손실 감소로부터 에너지 절감이 달성된다. 이러한 시스템에서, 외부 루프 프로세스의 제어 시간 상수(수십 초 또는 분)는 에너지 최적화 알고리즘의 시간 상수(초)보다 적어도 10배 더 빠르기 때문에 안정된 동작은 에너지 최적화 알고리즘과 외부 처리 제어기 사이의 상호 작용으로 달성할 수 있다.

[0065]

도 8 내지 도 10은 40 Hz 동작에서 50 hp 개방 루프 모터 드라이브를 이용하는 4개의 서로 다른 모터 드라이브의 제어 조건: 도 4에 대해 설명된 것과 같이 선형 V/Hz의 설정(224); 이차 V/Hz의 설정(226); 플렉스 최소화 설정(228); 및 에너지 최적화 설정(230) 하에서 측정되는 모터 전압(도 8), 모터 입력 전류(도 9) 및 모터 입력 유효 전력(도 10)의 비교를 도시한다. 도 8 내지 도 10에 도시된 바와 같이, 플렉스 최소화 설정(228)은 최소

전류를 제공하고, 에너지 최적화 설정(230)은 최소 입력 유효 전력을 제공하며, 이는 최대 에너지 절감으로 이어진다.

[0066] 이제 도 11을 참조하면, 그래프(300)는 도 4의 기술(128)에 따라 동작하는 도 1의 모터 드라이브(12)와 같은 모터 드라이브를 시각적으로 묘사하도록 제공된다. 먼저, 드라이브는 초기 전압-주파수 곡선(304)에 정의된 디폴트 전압 및 주파수 명령을 이용하여 지점(302)에서 동작한다. 곡선(304)이 선형인 것으로 도시되지만, 당업자는 초기 전압-주파수 곡선(304)이 제곱 곡선 또는 임의의 정적의 미리 정의된 곡선일 수 있다는 것을 인식할 것이다. 기술(128)의 블록(138 내지 178)에 대해 설명된 바와 같이, 지점(302)으로부터, 전압 기준은 지점(308)에서 최적의 동작점에 도달할 때까지 화살표(306)의 방향으로 점진적으로 감소한다.

[0067] 모터 드라이브가 지점(308)에서 동작하는 동안 주파수를 $f(2)$ 까지 증가시키기 위해 새로운 속도의 기준 명령을 수신하면, 전압 기준이 화살표(310)의 방향으로 초기 전압-주파수 곡선(304) 상에서 지점(302)까지 점진적으로 후퇴될 때 주파수 기준은 $f(1)$ 에서 일시적으로 유지된다. 전압 기준이 지점(302)에 도달하면, 주파수 기준이 지점(312)에서 $f(2)$ 에 도달할 때까지 전압 및 주파수 기준은 둘 다 전압-주파수 곡선(304)을 따라 증가된다. 모터가 $f(2)$ 에서 정속의 동작에 도달할 때, 지점(302)에서 지점(304)으로의 이동에 대해 상술한 바와 유사한 방식으로 지점(316)에서 최적의 동작 지점에 도달할 때까지 필요에 따라 부하 변동에 응답하여 화살표(314)의 방향으로 전압 기준은 점진적으로 조절된다.

[0068] $f(2)$ 에서 $f(3)$ 로의 속도의 감소를 원하면, 유사한 절차가 따른다. 지점(316)에서 시작하면, 드라이브에 대한 속도 요구가 변경되기 전에 전압 기준은 곡선(304) 상에서 지점(312)까지 점진적으로 증가된다. 전압 기준이 지점(312)에 도달하면, 주파수 기준이 지점(318)에서 $f(3)$ 에 도달할 때까지 전압 및 주파수 기준은 곡선(304)을 뒤따라 감소한다. 지점(318)에 있으면, 최적의 동작 지점이 지점(322)에 도달될 때까지 필요에 따라 부하 변동에 응답하여 화살표(320)의 방향으로 전압 기준은 증가된다.

[0069] 이제 도 12를 참조하면, 도 1의 AC 모터 드라이브(12)와 같은 모터 드라이브를 동적으로 제어하기 위해 제어기에 의해 구현된 에너지 최적화 기술(324)은 본 발명의 대안적 실시예에 따라 설명된다. 아래에 상세히 설명되는 바와 같이, 기술(324)은 모터 또는 부하 수요에 기초하고, 속도 또는 주파수 기준 명령의 변동에 응답하여 모터에 인가된 전압 및 주파수를 동적으로 조절한다. 기술(324)에 의해 달성된 동적 조절은 모터 드라이브(12)의 내부에 있는 미리 설정된 V/Hz의 곡선의 형상 또는 프로파일을 효과적으로 조절한다.

[0070] 기술(128)(도 4)과 마찬가지로, 일정한 속도의 동작 동안, 기술(324)은 모니터 파라미터가 미리 정의된 공차 영역 내에 있을 때까지 하나 이상의 모터 파라미터의 값을 모니터링한다. 전압 및 주파수를 조절하는 동안, 기술(324)은 또한 잠재적인 모터 고장 또는 바람직하지 않은 모터 동작을 의미할 수 있는 급격한 부하 변동 또는 모터 불안정 또는 바람직하지 않은 동작에 대해 모니터링한다. 아래에 상세히 설명되는 바와 같이, 속도 변동의 기간 동안, 모터가 정속의 동작에 도달할 때까지 기술(324)은 드라이브가 동적 V/Hz의 곡선을 따르게 한다.

[0071] 기술(324)은 블록(326)에서 예를 들어 정격 마력(HP), 전 부하 암페어(FLA), 정격 전압, 정격 속도(RPM), 정격 주파수(Hz), 정격 역률 및 정격 효율과 같은 모터 명판 파라미터(NPI)를 획득함으로써 시작한다. 블록(326)에서, 예를 들어 FLA의 주어진 백분율, 사용자에 의해 정의된 슬립 경계를 포함할 수 있는 사용자 구성 파라미터가 또한 획득된다. 블록(328)에서, 기술(324)은 예를 들어 전압, 전류, 속도(슬립), 역률 및 효율을 포함하는 선택된 기준 모터 파라미터의 경계의 세트를 정의한다. 예를 들면, 전압 경계 조건, V_bound 는 이차 V/Hz의 곡선의 백분율(예를 들어, 80%)로 정의될 수 있고; 전류 경계, I_bound 는 FLA의 백분율로 정의될 수 있으며; 슬립 경계, s_bound 는 정격 주파수에서 정격 슬립에 대응하도록 정의될 수 있거나 사용자에 의해 정의될 수 있으며; 전류의 최대 변동, ΔI_bound 는 FLA의 백분율(예를 들어, 20%)로 정의될 수 있다.

[0072] 블록(330)에서, 공차 영역의 세트는 최적의 동작을 결정하기 위해 선택된 모터 파라미터에 대해 정의된다. 이러한 공차 영역은 예를 들어 전압 공차 영역, 전류 공차 영역, 속도(슬립) 공차 영역, 역률 공차 영역, 및/또는 효율 공차 영역을 포함할 수 있다. 본 발명의 실시예에 따르면, 공차 영역은 블록(134)에 대해 상술한 바와(도 4) 유사한 방식으로 결정될 수 있다.

[0073] 블록(332)에서, 기술(324)은 전압-주파수 명령의 초기, 디폴트 또는 시동 세트를 명령 생성기에 공급한다. 전압-주파수 명령의 디폴트 또는 시동 세트는 예를 들어 이전의 성공적인 시동 이벤트로부터 미리 설정된 또는 정적 V/Hz의 곡선의 전압-주파수 명령 또는 저장된 전압-주파수 명령에 기초할 수 있다.

[0074] 기술(324)은 블록(334)에서 모터 드라이브의 외부 루프 처리 제어기 또는 사용자로부터 주파수 기준을 획득한다. 블록(336)에서, 기술(324)은 주파수 기준의 변동이 구동 제어가 응답하는데 충분한지를 판단한다.

특히, 기술(324)은 현재 주파수 기준이 이전의 주파수 기준과 동일한지를 판단하기 위해 현재 주파수 기준을 이전의 주파수 기준 값과 비교할 수 있다. 모터의 원하는 동작 속도의 변동으로 인해 주파수 기준의 변동이 일어날 수 있다. 대안적으로, 기술(324)은 두 값의 차가 미리 설정된 공차 값(예를 들어, 0.1 Hz)보다 큰지를 판단할 수 있다.

[0075] 주파수 기준이 변경되지 않으면(338)(또는 변경이 미리 설정된 공차 값보다 작으면), 기술(324)은 블록(340)으로 진행하고, 전압 및 주파수 명령의 현재 세트를 이용하여 실시간 모터 파라미터를 계산하거나 추정한다. 블록(342)에서, 기술(324)은 모터 조건에 대해 모니터링한다. 이러한 모터 조건은 예를 들어 급격한 부하 변동과 같은 과도 상태를 포함할 수 있다. 모터 조건은 또한 예를 들어 전류 경계를 넘어 검출된 모터 전류 또는 전압 경계를 넘어 검출된 모터 전압일 수 있는 바람직하지 않은 모터의 동작 조건을 포함할 수 있다. 모터 조건은 또한 모니터링된 실시간 전 전압 및 전류, 기준 전 전압 및/또는 전류와 실시간 전 전압 및/또는 전류 측정치 사이의 값의 변동, 하나 이상의 실시간 모터 파라미터 값, 및/또는 불안정한 동작 조건을 결정하기 위한 모터 파라미터 추세의 분석에 기초하여 결정되는 불안정한 동작 조건을 포함할 수 있다. 불안정한 동작 조건은 모터 슬립(또는 속도)이 예를 들어 슬립(또는 속도) 경계를 벗어날 경우에 검출될 수 있다. 또한, 불안정한 동작 조건은 전 전압 또는 전류의 급격한 변동, 모터 파라미터의 급격한 변동, 또는 예를 들어, 모터 온도, 토크, 슬립, 역률 또는 임계치 밖의 효율과 같은 실시간 모터 파라미터의 값에 의해 반영될 수 있다.

[0076] 모터 조건이 검출되지 않으면(344), 기술(324)은 블록(350)으로 진행한다. 블록(350)에서, 블록(330)에서 정의된 바와 같이, 선택된 기준 파라미터 중 어느 하나가 정의된 공차 영역 내에 있는지를 판단함으로써 기술(324)은 최적의 동작이 도달되는지를 판단한다. 선택된 기준 파라미터가 정의된 공차 영역(352) 내에 있지 않으면, 기술(324)은 블록(354)에서 고정 또는 가변 단계에서 전압 명령을 조절한다. 예를 들면, 기술(324)은 미리 설정된 펄스 값만큼 전압 명령을 감소시켜, 수정된 스위칭 신호가 인버터로 전송되도록 할 수 있다. 일 실시예에서, 기술(324)은 -10 볼트의 펄스 값만큼 전압 명령을 증가시킨다. 즉, 수정된 전압 명령은 디폴트 전압 명령보다 낮은 10 볼트이다. 대안적으로, 모터 드라이브가 최적의 동작점(356)에서 동작하는 경우(즉, 모터 파라미터가 공차 영역 내에 있는 경우), 기술(324)은 현재 전압 명령 및 주파수 명령을 유지한다. 블록(358)에서, 기술(324)은 대기 단계에 들어가며, 여기서 기술(324)은 블록(334)으로 복귀하기 전에 알고리즘 실행 시간을 기다린다. 주파수 기준 변동이 일어나지 않고, 모터 조건이 검출되지 않으면, 기술(324)은 상술한 바와 같이 블록(336 내지 358)을 통해 계속 순환한다.

[0077] 블록(342)을 다시 참조하면, 기술(324)이 모터 조건(360)을 검출하면, 기술(324)은 조건이 하나 이상의 모니터링된 모터 파라미터의 현재 값에 기초하여 블록(362)에서 심각한(serious)지를 판단한다. 심각한 모터 조건은 일례로서 임박한(impending) 모터 고장 또는 장애를 포함할 수 있다. 심각한 모터 조건이 검출되면(364), 기술(324)은 블록(366)에서 마스터 리셋 서브루틴에 들어간다. 마스터 리셋 서브루틴 동안, 주파수 명령은 변경되지 않고 몇 단계(예를 들어, 알고리즘의 고속 실행 기간) 내에 남아 있고, 전압 명령은 선형 V/Hz의 설정 또는 원래의 V/Hz 설정으로 증가된다. 안정 조건이 달성되면, 기술(324)은 블록(336)으로 복귀한다.

[0078] 기술(324)은 검출된 모터 조건이 심각하지 않음을 결정하면(368), 최종 안정 조건으로 되돌아가거나, 전압-주파수 명령의 이전에 사용된 증가 또는 펄스 값을 감소시킴으로써 오버슈트를 정정하기 위해 시도함으로써 안정 동작 조건에 도달하도록 전압 명령은 블록(354)에서 선택적으로 조절된다. 예를 들면, 이전의 펄스 값이 -10 볼트인 경우, 기술(324)은 전압-주파수 명령의 가장 최근의 두 증가 사이의 안정 점에 도달하도록 이전의 증가된 전압-주파수 명령을 +5 볼트만큼 증가시킬 수 있다.

[0079] 블록(336)을 다시 참조하면, 기술(324)은 주파수 기준이 알고리즘의 최종 반복 이후 변경되었다고 판단하면(370), 기술(324)은 블록(372)으로 진행하고, 서브루틴에 들어가며, 도 13에 대해 더 상세히 설명되는 바와 같이, 전압 및/또는 주파수 기준은 선택적으로 증가된다.

[0080] 이제 도 13을 참조하면, 서브 루틴(372)은 현재 전압 및 주파수 기준 명령과 초기 V/Hz의 곡선에 기초하여 수정된 V/Hz의 곡선을 생성함으로써 블록(374)에서 시작한다. 도 14에 대해 더 상세히 설명되는 바와 같이, 일 실시예에서, 수정된 V/Hz의 곡선은 현재 전압-주파수 명령과 초기 V/Hz의 곡선의 원점(440) 또는 약화 계자점(field weakening point)(422) 사이에 정의된 선이다. 블록(376)에서, 전압 및 주파수 기준은 수정된 V/Hz의 곡선상의 동작점까지 증가된다.

[0081] 주파수 및 전압 기준을 증가한 후에, 기술(324)은 블록(378)에서 기준 모터 파라미터를 계산한 후에, 블록(340, 342)(도 12)에 대해 설명된 바와 유사한 방식으로 모터 조건이 블록(380)에 존재하는지를 판단한다. 모터 조건이 검출되지 않으면(382), 서브루틴(372)은 블록(384)으로 진행하고, 원하는 주파수 기준이 도달되었는지를 판

단한다. 도달되었으면(386), 서브루틴(372)은 블록(388)에서 종료한다.

- [0082] 블록(380)을 다시 참조하면, 모터 조건이 검출되면(390), 서브루틴(372)은 조건이 블록(392)에서 심각한지를 판단한다. 모터 조건이 심각하면(394), 블록(366)(도 12)과 유사하게 블록(396)에서 마스터 리셋 서브루틴이 입력된다. 마스터 리셋에 뒤따라, 서브루틴(372)은 원하는 주파수 기준이 도달되었는지를 판단하기 위해 블록(384)으로 복귀한다.
- [0083] 원하는 주파수 기준이 도달되지 않았다면(398), 서브루틴(372)은 최적의 동작이 블록(400)에서 달성되었는지를 판단한다. 달성되었다면(402), 서브루틴(372)은 블록(376)으로 복귀하고, 수정된 V/Hz의 곡선에 따라 전압 및 주파수 기준을 조절한다.
- [0084] 블록(400)을 다시 참조하면, 최적의 동작이 도달되지 않은 경우(404), 블록(406)에서 전압 기준 명령은 고정 또는 가변 단계에서 감소된다. 그 후, 서브루틴(372)은 블록(374)으로 복귀하고, 조절된 전압 기준 및 주파수 기준에 기초하여 V/Hz의 곡선을 재생시킨다.
- [0085] 블록(392)을 다시 참조하면, 검출된 모터 조건이 심각하지 않은 경우(408), 전압 기준 명령은 블록(410)에서 증가된다. 그 후, 서브루틴(372)은 블록(374)으로 복귀하고, 증가된 전압 기준 명령 및 현재 주파수 기준 명령에 기초하여 새로운 수정된 V/Hz의 곡선을 생성한다.
- [0086] 도 14는 기술(324)의 일 실시예(도 12)에 따라 동작하는 도 1의 모터 드라이브(12)와 같은 예시적인 모터 드라이브에 대한 초기 V/Hz의 곡선(412)의 동적 수정을 그래프로 도시한다. 이제 도 12 내지 도 14를 참조하면, 적용 가능한 경우에 함께, 드라이브는 초기에 초기 V/Hz의 곡선(412)에 정의된 디폴트 전압 및 주파수 명령을 이용하여 지점(414)에서 동작한다. 곡선(412)이 선형으로 도시되어 있지만, 당업자는 초기 곡선(412)이 계단 곡선 또는 임의의 정적의 미리 정의된 곡선일 수 있다는 것을 인식할 것이다. 주파수 기준이 정적인 기간 동안, 블록(336, 340, 342, 350, 354)에 대하여 설명된 바와 같이 전압 기준은 화살표(416)의 방향으로 지점(414)에서 최적의 동작의 지점(418)으로 점진적으로 감소한다.
- [0087] 지점(418)(속도 A)에서 동작할 동안, 드라이브가 서로 다른 주파수 기준(속도 B)에서 동작하기 위한 명령을 수신하는 경우, 기준 주파수 및 전압은 서브루틴(372)에 따라 점진적으로 증가된다. 도 11에 대해 상술한 바와 같이, 동작을 초기 V/Hz의 곡선(412)으로 리셋하는 대신에, 주파수 및 전압 기준은 초기에 지점(418)과 초기 V/Hz의 곡선(412)의 약화 계자점(422)(블록(374, 376)) 사이에 형성되는 선형 경로(420)를 따라 점진적으로 증가된다. 블록(378, 380, 384, 400)에서 설명된 바와 같이, 전압 및 주파수 기준이 증가할 때, 기준 모터 파라미터는 잠재적인 모터 고장 또는 장애와 같은 어떤 불리한 모터 조건에 대해 검출하고, 최적의 동작이 도달되었는지를 판단하기 위해 모니터링된다.
- [0088] 예시적인 예로서, 지점(424)에서, 불리한 모터 조건이 검출된다(블록(380)). 이러한 조건은 심각하지 않은 것으로 결정되어(블록(392, 408)), 드라이브가 모터 동작을 안정시키도록 전압 기준을 지점(426)까지 증가시키기 위한 명령을 수신한다(블록(410)). 모터 동작이 안정되면, 기준 주파수 및 전압은 속도 B를 향해 다시 점진적으로 증가된다. 이러한 점진적 증가는 지점(426)과 약화 계자점(422)(블록(374, 376)) 사이에 형성되는 새로운 선형 경로(428)를 뒤따른다. 주파수 및 전압 기준이 증가될 동안, 기준 모터 파라미터는 최적의 동작이 도달되었는지를 판단하도록 모니터링된다(블록(378, 380, 384, 400)). 최적의 동작이 도달된 경우(356), 주파수 및 전압 기준은 경로(428)를 따라 계속 증가한다(블록(376)). 지점(430)에서, 최적의 동작이 도달되지 않은 경우(404), 전압 기준은 지점(432)으로 나타낸 바와 같이 조절된다(블록(406)). 그 다음, 전압 및 주파수 기준은 주파수 기준이 지점(436)에서 원하는 속도 B에 도달할 때까지(블록(374, 376)) 지점(432)과 약화 계자점(422) 사이에 형성되는 새로운 선형 경로(434)를 따라 계속 증가한다.
- [0089] 지점(418)(속도 A)을 다시 참조하면, 드라이브가 속도 C와 같이 감소된 주파수 기준을 동작하도록 명령을 수신한 경우, 주파수 및 전압 기준은 상술한 바와 유사한 방식으로 점진적으로 감소된다. 예를 들면, 주파수 및 전압 기준 명령은 초기에 지점(418)과 원점(440) 사이의 선형 경로(438)를 따라 감소한다. 주파수 및 전압 기준에 대한 점진적 조절은 속도 C에서의 원하는 동작이 달성될 때까지 상술한 바와 같이 최적의 동작을 달성하기 위해 어떤 불리한 모터의 조건에 기초하여 일어난다.
- [0090] 도 15는 지점(436)(속도 B)에서 동작할 동안 드라이브가 속도 C와 같이 감소된 주파수 기준에서 동작하기 위한 명령을 수신하는 경우에 전압 및 주파수 기준 명령의 조절을 예시한다. 초기에, 기준 주파수 및 전압은 지점(436)과 원점(440) 사이에 형성되는 선형 경로(442)(블록(374, 376))를 따라 점진적으로 감소된다. 전압 및/또는 주파수 기준은 원하는 주파수 기준(속도 C)이 달성될 때까지 도 15에 도시된 바와 같이 점진적으로 계속 감

소된다.

- [0091] 예를 들어, 지점(444)에서, 최적의 동작이 도달되지 않은 것으로 판단되면(블록(400, 404)), 전압 기준은 지점(446)까지 감소된다(블록(406)). 그 후, 전압 및 주파수 기준은 지점(446)과 원점(440) 사이에 형성되는 선형 경로(448)(블록(374, 376))를 따라 점진적으로 감소된다. 지점(450)에서, 전압 기준은 다시 예를 들어 부하 변동 때문에 또는 최적의 동작을 달성하기 위한 노력으로(블록(406)) 지점(452)까지 감소할 수 있다. 그 다음에, 전압 및 주파수 기준은 지점(452)과 원점(440) 사이에 형성되는 선형 경로(454)(블록(374, 376))를 뒤따라 점진적으로 감소한다.
- [0092] 지점(456)에서, 심각한 모터 조건이 검출되는 경우(블록(360, 392, 394)), 전압 기준은 마스터 리셋 서브루틴(블록(396))을 뒤따라 초기 V/Hz의 곡선(412)으로 재설정된다. 원하는 주파수 기준이 아직 도달되지 않은 경우(블록(384, 398)), 주파수 기준이 도 15에 도시된 바와 같이 지점(458)에 속도 C에 도달할 때까지 초기 V/Hz의 곡선 또는 수정된 V/Hz의 곡선 중 하나를 따라 점진적으로 감소될 수 있다. 속도 C에서 동작하는 동안, 전압 기준은 부하 변동에 응답하고 최적의 동작을 달성하기 위한 노력으로 점진적으로 감소될 수 있다.
- [0093] 도 14 및 도 15가 주파수 기준의 변경 후에 일어나는 전압 및/또는 주파수 기준에 대한 조절의 몇몇 예시적인 시리즈를 도시하지만, 당업자는 전압 및/또는 주파수 기준에 대한 점진적인 조절이 모니터링된 부하 변동에 응답하고, 최적의 동작을 달성하고, 모터 동작을 안정화하며, 원하는 동작 속도를 달성하기 위해 많은 대안적인 조합으로 일어날 수 있다는 것을 쉽게 인식할 것이다.
- [0094] 본 발명의 여러 실시예가 AC 모터 및 AC 모터 드라이브에 대하여 설명되지만, 본 명세서에서 설명된 에너지 최적화 기술은 다양한 응용에 적용될 수 있는 것으로 이해된다. 예를 들면, 에너지 최적화 기술은 하이브리드 자동차에서 출력을 최소화하거나, 배터리 시스템으로부터 또는 조명 시스템에 대해서와 같은 가변 부하를 가진 무정전 전원 장치(UPS)로 끌어내는데 사용될 수 있다. 이러한 기술은 또한 예를 들어 PWM 전력 변환기를 가진 반도체 응용 또는 일반적으로 스위칭 알고리즘을 변경하기 위한 인버터 응용과 같이 PWM 인버터를 이용하는 어떤 응용에 이용될 수 있다. 이러한 기술은 낮은 전압, 중간 전압 및 고전압 응용을 포함하는 다양한 전압 레벨에 이용될 수 있다.
- [0095] AC 모터 드라이브를 제어하기 위한 제어 시스템은 프로세서의 상술한 동작을 수행하기 위한 유닛(가상)을 갖는 것으로 보여질 수 있다. 예를 들면, 제어 시스템은 초기 전압/주파수(V/Hz) 곡선에 기초하여 초기 전압-주파수 명령을 AC 모터 드라이브에 입력하는 유닛, 및 초기 전압-주파수 명령에 따라 생성된 AC 모터 드라이브의 실시간 출력을 수신하는 유닛을 포함한다. 제어 시스템은 또한 복수의 수정된 전압-주파수 명령을 AC 모터 드라이브로 피드백하는 유닛으로서, 복수의 수정된 전압-주파수 명령의 각각은 초기 V/Hz의 곡선으로부터의 편차를 포함하는 피드백하는 유닛, 복수의 수정된 전압-주파수 명령의 각각에 대응하는 모터 파라미터의 실시간 값을 결정하는 유닛, 및 모터 파라미터의 실시간 값이 모터 파라미터의 공차 범위 내에 있도록 수정된 전압-주파수 명령을 AC 모터 드라이브로 피드백하는 유닛을 포함한다.
- [0096] 개시된 방법 및 장치에 대한 기술적 기여도는 AC 모터 드라이브의 전압-주파수 명령을 수정하기 위해 제어 유닛에 의해 구현되는 기술에 제공한다는 것이다. 수정된 전압-주파수 명령에 기초하여, 이러한 기술은 모터 토크 및 모터 입력 전력을 감소시키기 위해 모터 제어 장치 내의 일련의 스위치의 스위칭 시간을 제어한다.
- [0097] 그래서, 본 발명의 일 실시예에 따르면, AC 모터용 드라이브를 제어하기 위한 제어 시스템은 초기 전압/주파수(V/Hz) 곡선의 동작점에 대응하는 전압 기준 및 주파수 기준을 포함하는 초기 전압-주파수 명령을 드라이브로 입력하고, 드라이브의 실시간 출력을 모니터링하고, 드라이브의 실시간 출력에 기초하여 전압 기준을 수정하며, 수정된 전압-주파수 명령을 드라이브로 전송하도록 프로그래밍되며, 수정된 전압-주파수 명령은 수정된 전압 기준에 의해 정의되는 수정된 V/Hz 곡선 및 초기 V/Hz 곡선의 동작점에 대응한다.
- [0098] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 모터 드라이브의 출력을 제어하기 위한 방법은 모터를 구동하기 위해 출력을 생성하도록 정적 전압-주파수 프로파일에 따라 모터 드라이브를 동작하는 단계, 및 정적 전압-주파수 프로파일 에 대응하는 지정된 모터 파라미터의 초기값을 결정하는 단계를 포함한다. 방법은 또한 감소된 모터 입력 전력을 생성하기 위해 모터 드라이브의 동작 중에 전압 기준 명령을 수정하는 단계, 수정된 전압 기준 명령 및 정적 전압-주파수 프로파일의 동작점에 기초하여 수정된 전압-주파수 프로파일을 정의하는 단계, 및 수정된 전압-주파수 프로파일에 따라 모터 드라이브를 동작하는 단계를 포함한다.
- [0099] 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, 모터 드라이브는 전력을 부하에 공급하도록 구성되고, 전력을 부하에 제공하도록 설계된 인버터, 및 인버터의 동작을 제어하기 위해 동작 가능하게 접속된 제어기를 포함한다. 제어기는

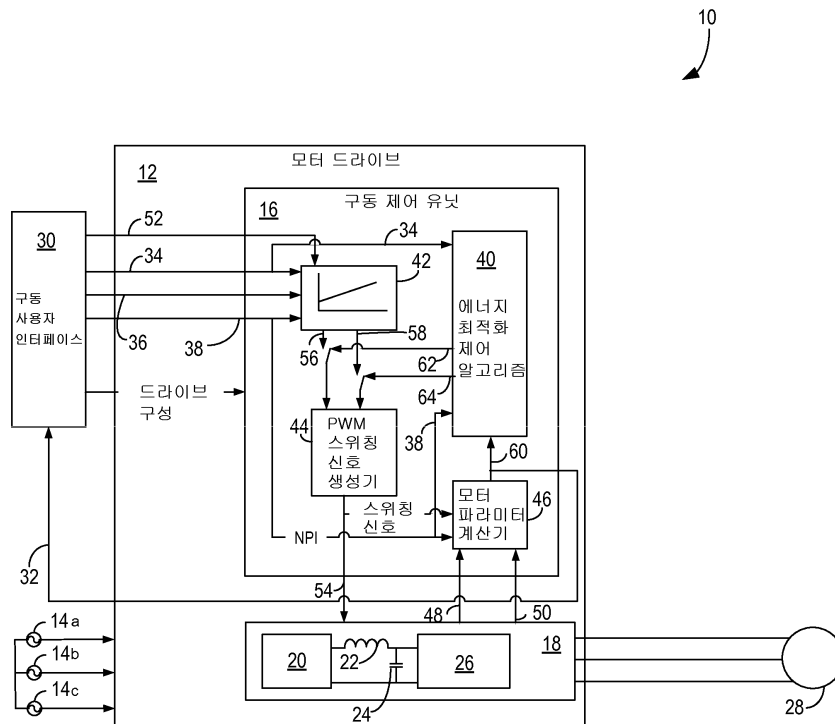
모터 드라이브의 동작 동안 모터 파라미터의 실시간 값을 모니터링하고, 인버터가 수정된 동작점에서 동작시키기 위해 모터 파라미터의 실시간 값에 기초하여 모터 드라이브의 동작 동안 전압 기준을 점진적으로 조절하도록 구성되며, 수정된 동작점은 초기 V/Hz의 곡선으로부터의 편차를 포함한다. 제어기는 수정된 동작점 및 초기 V/Hz의 곡선의 동작점에 기초하여 수정된 V/Hz의 곡선을 정의하고, 수정된 V/Hz의 곡선에 따라 전압-주파수 명령을 점진적으로 조절하도록 더 구성된다.

[0100]

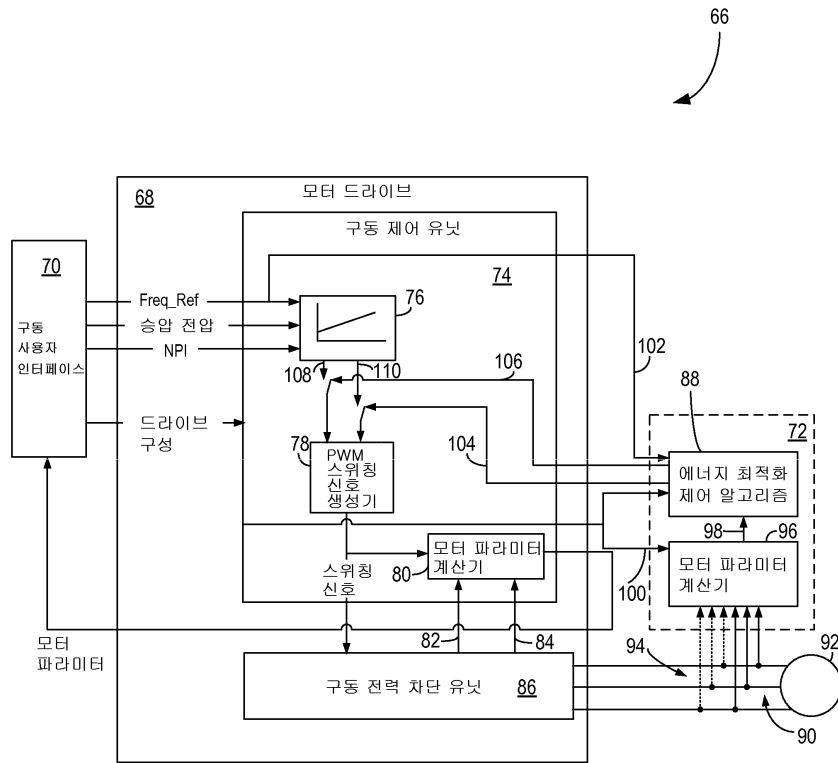
본 발명은 바람직한 실시예의 관점에서 설명되었으며, 명시된 것을 제외하고는 균등물, 대안, 및 수정이 첨부된 청구 범위의 범주 내에서 가능하다고 인식된다.

도면

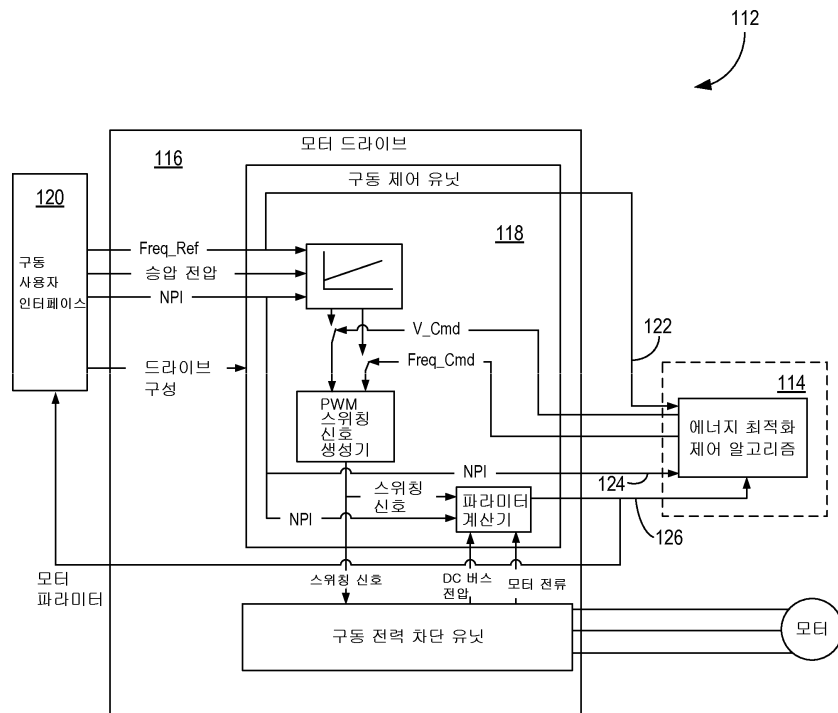
도면1



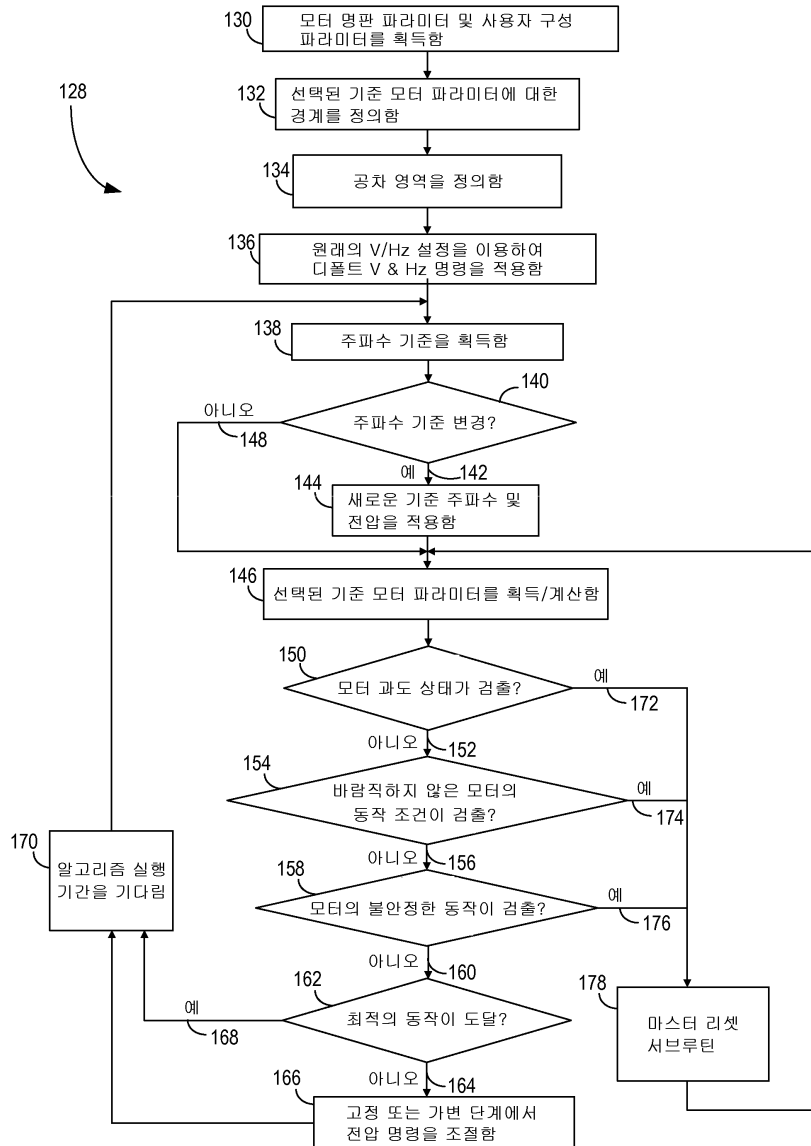
도면2



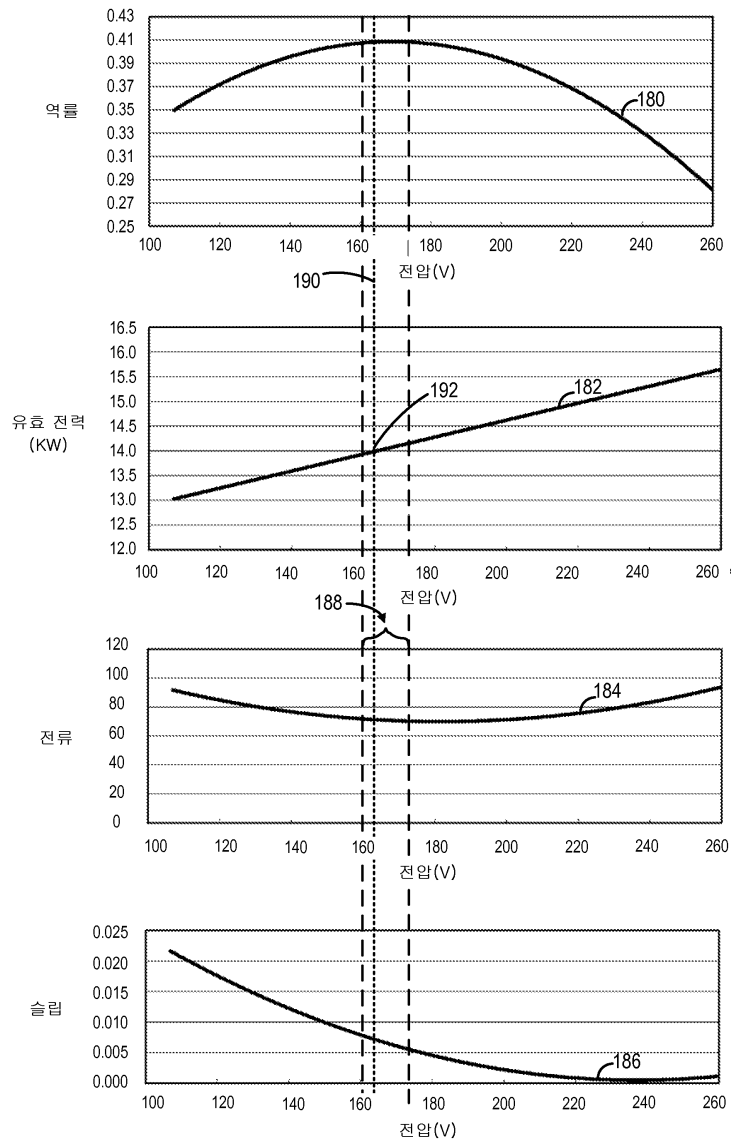
도면3



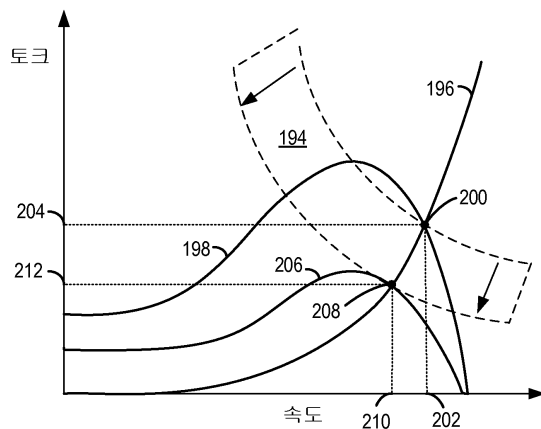
도면4



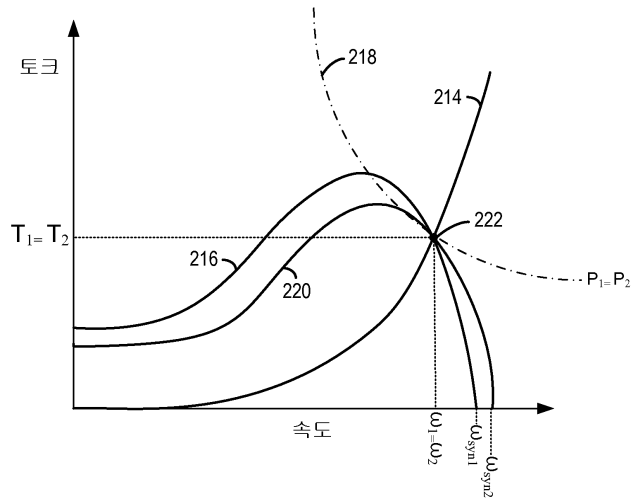
도면5



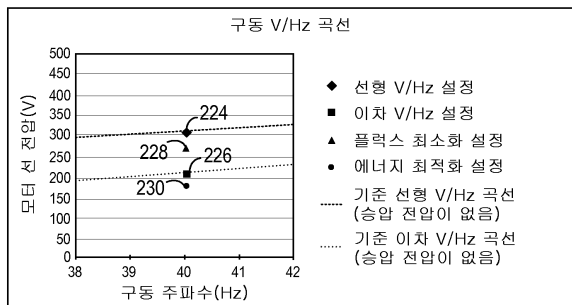
도면6



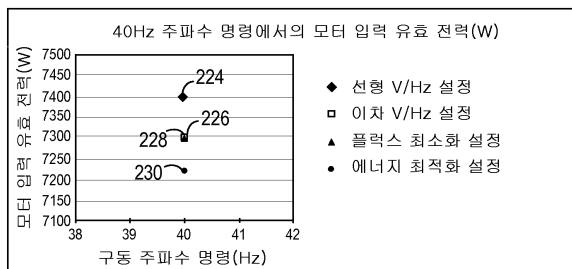
도면7



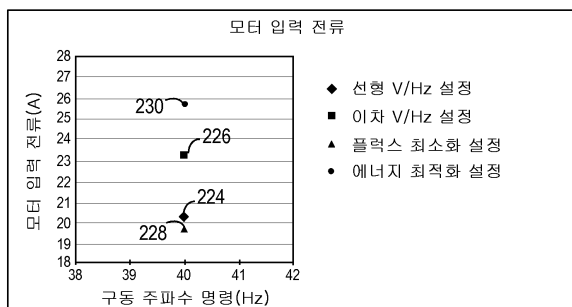
도면8



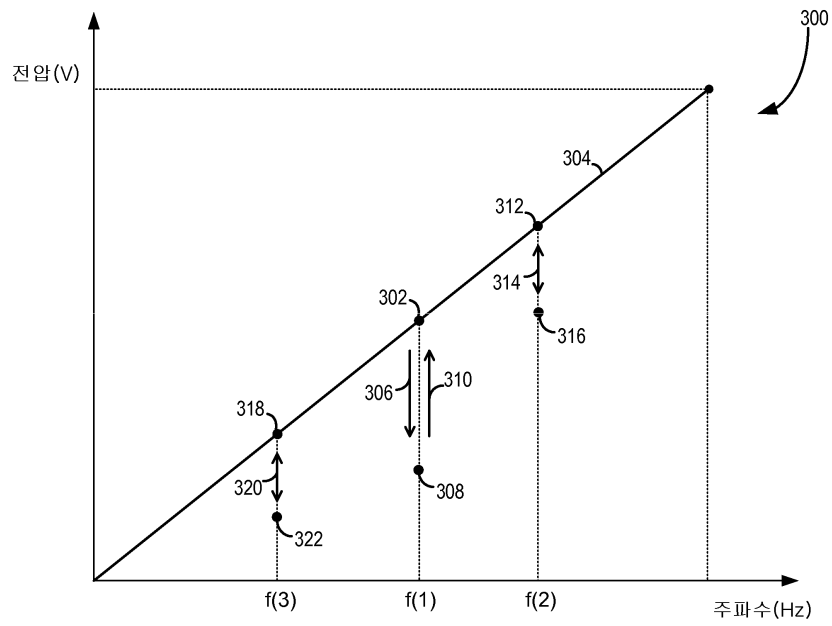
도면9



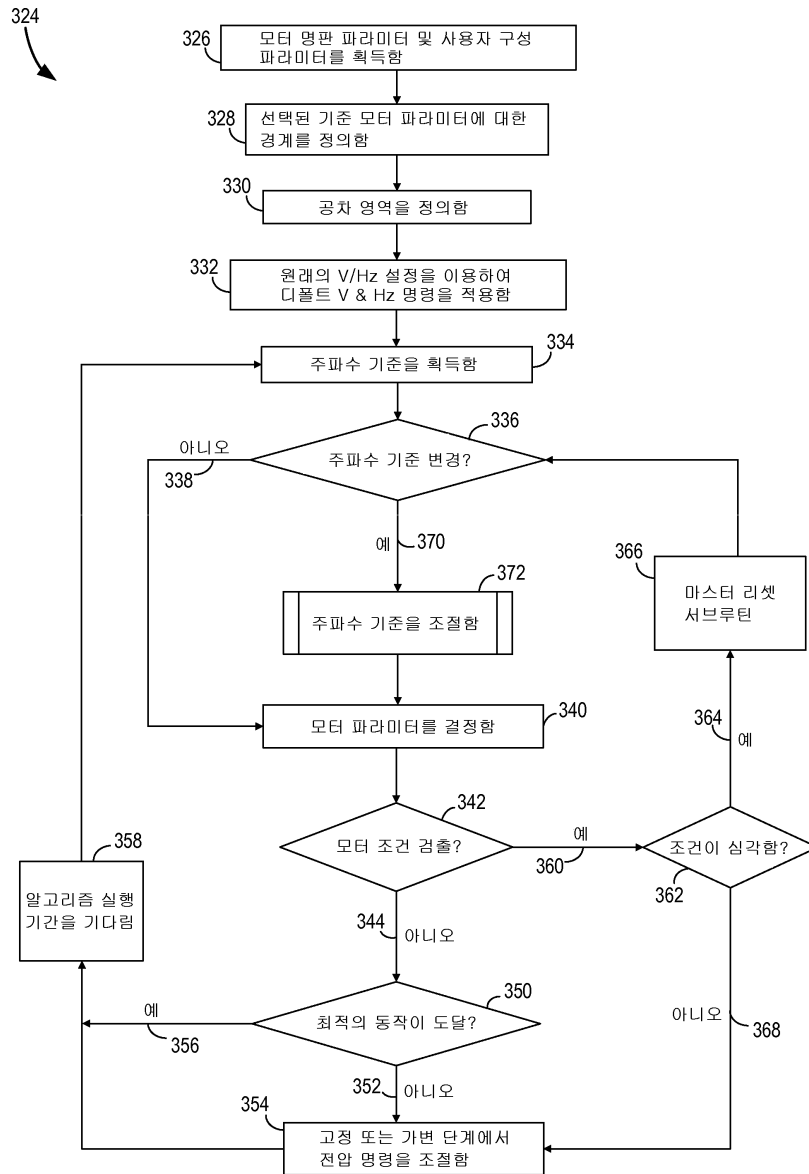
도면10



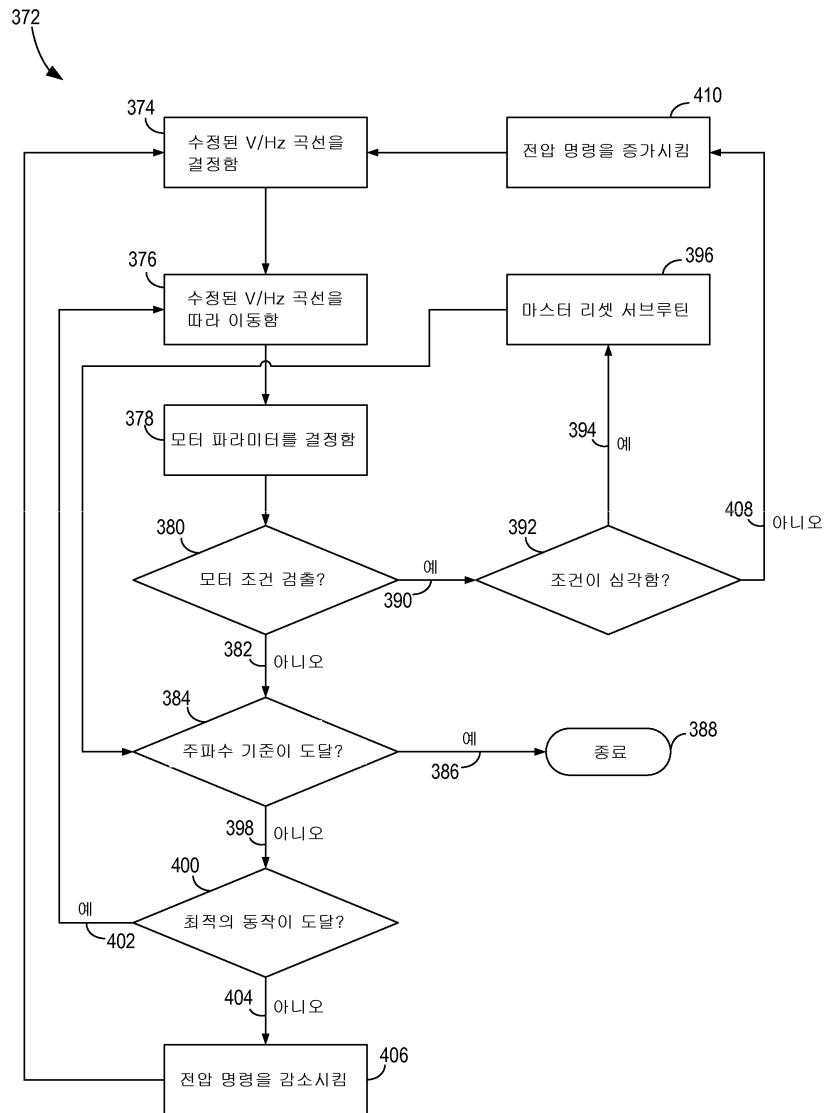
도면11



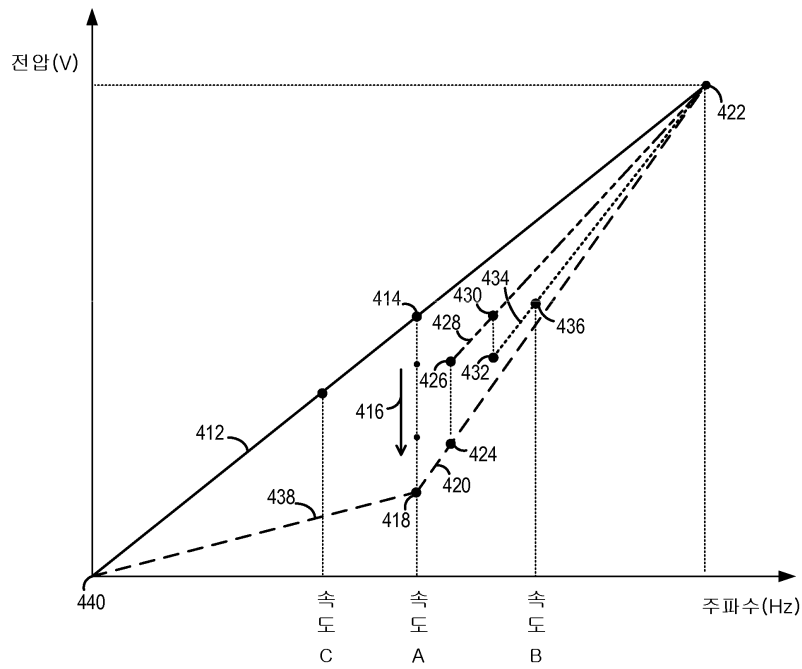
도면12



도면13



도면14



도면15

