



(19) 대한민국특허청(KR)  
 (12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.

H02P 6/18 (2006.01)

H02P 25/08 (2006.01)

(45) 공고일자

2007년01월09일

(11) 등록번호

10-0665074

(24) 등록일자

2006년12월28일

(21) 출원번호 10-2000-0076036

(65) 공개번호 10-2001-0062397

(22) 출원일자 2000년12월13일

(43) 공개일자 2001년07월07일

심사청구일자 2005년12월13일

(30) 우선권주장 9929655.0 1999년12월15일 영국(GB)

(73) 특허권자 스위치드 럴럭턴스 드라이브 리미티드  
영국 노스 요크셔 해러게이트 오톨리 로드 이스트 파크 하우스(72) 발명자 모리아티피터마크  
영국노스요크셔에이취지5오비디크나리스버로우매너크레슨트14(74) 대리인 김태홍  
김진희

심사관 : 김기영

전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 자기 저항 드라이브의 회전자 위치 모니터링

(57) 요약

자기 저항 드라이브는 고정자, 고정자 상의 위상 권선(16), 고정자에 대해 상대적으로 움직이는 회전자(12), 위상 권선(13)에 전류를 인가하기 위한 제어기(13), 권선(16)내의 위상 전류를 측정하기 위한 센서, 위상 전류가 피크치를 통과했을 때를 검출하기 위한 수단, 위상 전류가 피크치를 통과했을 때의 정보를 사용하여 피크 위상 전류가 발생된 때를 계산하기 위한 수단 및 피크 위상 전류의 계산된 위치를 사용하여 회전자 위치를 계산하는 수단을 포함한다.

대표도

도 5

## 특허청구의 범위

청구항 1.

자기 저항 드라이브 (reluctance drive) 내의 회전자 위치를 결정하는 방법으로서,

위상 전류를 샘플링하는 단계와,

상기 위상 전류가 피크치를 통과했을 때를 검출하는 단계와,

상기 위상 전류가 피크치를 통과했을 때의 정보를 이용하여 피크 위상 전류가 발생된 때를 계산하는 단계와,

상기 계산된 피크 위상 전류의 발생 정보를 사용하여 상기 회전자 위치를 결정하는 단계를 포함하는 회전자 위치의 결정 방법.

## 청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 위상 전류가 피크치를 통과했을 때를 검출하는 단계는 시간에 대한 전류의 변화율을 모니터링하는 단계를 포함하는 것인 회전자 위치의 결정 방법.

## 청구항 3.

제2항에 있어서, 상기 샘플링 레이트는 상기 회전자의 속도에 의존하는 것인 회전자 위치의 결정 방법.

## 청구항 4.

제3항에 있어서,

회전자의 속도를 모니터하는 단계와,

측정 속도에 의존하여 샘플링 레이트를 변경하는 단계를 더 포함하는 것인 회전자 위치의 결정 방법.

## 청구항 5.

제3항 또는 제4항 있어서, 상기 샘플링은 아날로그/디지털 컨버터를 사용하여 실행되는 것인 회전자 위치의 결정 방법.

## 청구항 6.

제1항 내지 제4 중 어느 한 항에 있어서, 상기 위상 전류를 샘플링하는 단계는 저항을 구비하는 센서를 사용하는 단계를 포함하는 것인 회전자 위치의 결정 방법.

## 청구항 7.

제6항에 있어서, 상기 방법은 상기 저항을 통하여 제로 전압선에 연결되는 하나 이상의 스위치를 갖는 전력 컨버터로부터 제공되는 드라이브에 사용되며, 상기 위상 전류의 샘플링은 상기 스위치의 스위칭 사이클과 동기화되는 것인 회전자 위치의 결정 방법.

## 청구항 8.

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 드라이브는 스위칭된 자기 저항 드라이브인 회전자 위치의 결정 방법.

### 청구항 9.

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 드라이브는 구동 모드 (motoring mode) 또는 발생 모드 (generating mode)에서 동작하는 것인 회전자 위치의 결정 방법.

### 청구항 10.

고정자와,

상기 고정자 상의 위상 권선과,

상기 고정자에 대하여 상대적으로 움직일 수 있는 회전자와,

상기 위상 권선에 전류를 인가하기 위한 제어기와,

상기 위상 권선 내의 위상 전류를 측정하기 위한 수단과,

상기 위상 전류가 피크치를 통과했을 때를 검출하기 위한 검출 수단과,

상기 위상 전류가 피크치를 통과했을 때의 정보를 사용하여 피크 위상 전류가 발생된 때를 계산하는 수단과,

상기 피크 위상 전류의 계산된 위치를 사용하여 상기 회전자 위치를 계산하는 수단을 포함하는 것인 자기 저항 드라이브.

### 청구항 11.

제10항에 있어서, 상기 위상 전류가 피크치를 통과했을 때를 검출하기 위한 검출 수단은 시간에 대한 위상 전류의 변화율을 모니터링하도록 동작할 수 있는 것인 자기 저항 드라이브.

### 청구항 12.

제11항에 있어서, 상기 위상 전류가 피크치를 통과했을 때를 검출하기 위한 검출 수단은 시간의 불연속 간격에서 상기 위상 전류를 샘플링하는 수단을 포함하는 자기 저항 드라이브.

### 청구항 13.

제12항에 있어서, 시간에 대한 위상 전류의 변화율에서의 하나 이상의 음의 기울기는 상기 위상 전류가 피크치를 통과했음을 나타내는 것인 자기 저항 드라이브.

### 청구항 14.

제12항 또는 제13항에 있어서, 상기 샘플링 레이트는 상기 회전자의 속도에 의존하는 것인 자기 저항 드라이브.

### 청구항 15.

제14항에 있어서,

상기 회전자의 속도를 모니터링하는 수단과,

측정 속도에 따라서 샘플링 레이트를 변경하는 수단을 더 포함하는 자기 저항 드라이브.

### 청구항 16.

제12항 또는 제13항에 있어서, 상기 샘플링 수단은 아날로그/디지털 컨버터인 자기 저항 드라이브.

### 청구항 17.

제10항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 검출 수단은 마이크로프로세서 내에 제공되는 것인 자기 저항 드라이브.

### 청구항 18.

제17항에 있어서, 상기 마이크로프로세서는 Microchip PIC 16C72A인 것인 자기 저항 드라이브.

### 청구항 19.

제12항 또는 제13항에 있어서, 상기 위상 전류를 샘플링하는 수단은 저항을 포함하는 센서를 구비하는 것인 자기 저항 드라이브.

### 청구항 20.

제19항에 있어서, 상기 드라이브는 상기 저항을 통하여 제로 전압선에 연결된 하나 이상의 스위치를 구비하는 전력 컨버터에 의해 공급되는 스위칭된 자기 저항 드라이브이며, 상기 위상 전류를 샘플링하는 수단은 상기 스위치의 스위칭 사이클과 동기화되는 것인 자기 저항 드라이브.

### 청구항 21.

자기 저항 머신 내의 회전자 위치를 결정하는, 데이터 캐리어 또는 일부 다른 컴퓨터 판독가능 매체상에 기록된 컴퓨터 프로그램을 가지는 컴퓨터 판독가능한 기록 매체로서,

상기 컴퓨터 프로그램은, 위상 전류의 샘플링을 제어하는 명령어와,

상기 위상 전류가 피크치를 통과했을 때를 검출하는 명령어와,

상기 위상 전류가 피크치를 통과했을 때의 정보를 사용하여 상기 피크 위상 전류가 발생된 때를 계산하는 명령어와,

상기 계산된 피크 위상 전류 정보를 사용하여 상기 회전자의 위치를 결정하는 명령어를 포함하는 것인 컴퓨터 판독가능한 기록 매체.

### 청구항 22.

제21항에 있어서, 상기 위상 전류가 피크치를 통과했을 때를 검출하는 명령어는 시간에 대한 전류의 변화율을 모니터링하기 위하여 상기 위상 전류의 샘플링을 제어하는 명령어를 포함하는 것인 컴퓨터 판독가능한 기록 매체.

### 청구항 23.

제22항에 있어서, 샘플링 레이트를 제어하는 명령어는 상기 회전자의 속도에 의존하는 것인 컴퓨터 판독가능한 기록 매체.

### 청구항 24.

제23항에 있어서, 상기 회전자의 측정 속도를 표시하기 위한 명령어와,

상기 측정 속도에 의존하여 샘플링 레이트를 변경하는 명령어를 더 포함하는 컴퓨터 판독가능한 기록 매체.

### 청구항 25.

제24항에 있어서, 상기 컴퓨터 프로그램은 저항성 전류 센서를 통하여 제로 전압선에 연결된 하나 이상의 스위치를 구비하는 전력 컨버터로부터 공급되도록 구성되며, 상기 스위치의 스위칭 사이클과 동기화되도록 상기 위상 전류의 샘플링을 제어하도록 구성되는 컴퓨터 판독가능한 기록 매체.

## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 자기 저항 머신(reluctance machine) 내에서 센서가 없는 회전자 위치 모니터링, 특히 스위칭된 자기 저항 머신에 관련된 것이다.

스위칭된 자기 저항 머신의 제어 및 동작은 일반적으로 1993년 6월 21 ~ 24일 독일 누른 버그(Nurnberg)에서 개최된 PCIM'93 회의 및 전시에서 배포된 스텝슨(J M Stephenson) 및 블랙(R J Black)에 의한 "스위칭된 자기 저항 모터 및 드라이브의 특징, 디자인 및 응용 (The Characteristics, Design and Applications of Switched Reluctance Motors and Drives)"이라는 제목의 논문에 기술되어 있으며 이 논문은 본 명세서에 참조문헌으로서 포함된다. 이 논문에서 스위칭된 자기 저항 머신의 전류 공급(energisation)의 "초평" 및 "단일-펄스" 모드는 각각 저속 및 고속에서의 머신 동작에 대해 기술하고 있다.

통상적인 종래 기술의 드라이브를 도 1에 개략적으로 도시한다. 이 드라이브는 배터리이거나 또는 정류되고 필터링된 AC 메인 전원일 수 있는 DC 전원 공급기(11)를 포함한다. 전원 공급기(11)에 의해 공급되는 DC 전압은 전자 제어 유닛(14)의 제어 하에 전력 컨버터(13)에 의해 모터(12)의 위상 권선(16)을 교차하여 스위칭된다. 드라이브의 적절한 동작에 대하여, 스위칭은 회전자의 회전 각에 정확하게 동기되어야만 한다. 잘 알려진 컨버터 토플로지중의 하나가 도 2에 도시되며, 여기서 저항(28)은 아래쪽의 스위치(22)에 직렬로 연결되어 전류 피드백 신호를 제공한다.

스위칭된 자기 저항 머신의 성능은 회전자 위치에 대한 위상 전류 공급의 정확한 타이밍에 부분적으로 의존한다. 회전자 위치의 검출은 도 1에 개략적으로 도시된 예컨대 머신의 회전자 상에 설치된 이가 형성된 회전 디스크와 같은 변환기(15)를 사용하여 통상적으로 이루어지는데, 상기 변환기는 고정자 상에 설치된 광센서 또는 자기 센서와 공동으로 동작한다. 고정자에 대한 회전자의 위치를 표시하는 펄스 열이 발생되어 정확한 위상 전류 공급을 제공하는 제어 회로에 공급된다.

이 시스템은 간단하며 많은 응용에서 잘 동작한다. 그러나, 회전자 위치 변환기는 어셈블리의 전체적인 가격을 증가시키며, 머신에 별도의 전자적 연결을 추가시킴으로써 신뢰할 수 없는 전압 소스가 된다. 부가적으로, 고속에서 날개에 관련된 공기압(windage)은 부가적 손실의 원인이 된다.

회전자 위치 변환기를 불필요하게 하는 여러 방법이 제안되었다. 이중 몇가지 방법은 유럽 전력 전자 협의회(European Power Electronics Conference) 회보(볼륨 6, 1993년 9월 13 - 16일, 영국 브라이튼)의 페이지 7 - 13에 게재된 레이(W F Ray) 및 알-바하들리(I H Al-Bahadly)의 "스위칭된 자기 저항 모터의 회전자 위치를 센서가 없이 결정하는 방법(Sensorless Methods for Determining the Rotor Position of Switched Reluctance Motors)"에 검토되었다.

회전자 위치 판단에 대한 제안된 많은 방법은 위상 자속 결합의 측정(즉, 공급된 전압을 시간에 대해 적분) 및 하나 이상의 위상에서의 전류 측정을 사용한다. 위치는 각도 및 전류의 작용으로서 머신의 인덕턴스의 변동을 인식함으로써 계산된다. 이 특징은 자속 결합/각도/전류 표로서 저장될 수 있으며 도 3에 그래프로 도시되었다. 이 데이터의 저장은 큰 메모리 어레인 및/또는 저장된 포인트 사이의 데이터의 보간(補間)에 대한 부가적인 시스템의 총경비 사용을 필요로 한다. 어떤 방법은 저속에서 이 데이터를 사용하는데, 여기서 "초평" 전류 제어는 발생된 토크가 변동하는 데 대한 주요한 제어방법이다. 초평 제어는 도 4a에 그래프로 표현되었고 전류 및 인덕턴스 파형이 위상 인덕턴스 주기에 걸쳐 도시되었다. (인덕턴스의 변동이 이상적인 형태로 도시되었음을 주목해야 한다.) 이 방법은 일반적으로 토크-발생력이 없는 위상에서 전단 전류 공급 펄스를 사용한다(즉, 이 위상은 각각의 때에 전원 공급기로부터 직접적으로 전류가 공급되지 않는다). 저속 동작에 적합한 방법은 유럽 전력 전자 협의회의 회보(볼륨 1, 1991년, 이탈리아, 피렌체)의 페이지 390 -393에 게재된 엠분기(N M Mvungi) 및 스텝슨(J M Stepenson)의 "에스 알 모터 내에서의 센서 없는 정확한 회전자 위치 검출(Accurate Sensorless Rotor Position Detection in an S R Motor)"에 개시되어 있다.

다른 모드는 고속에서 전류 공급의 "단일-펄스" 모드로 동작한다. 이 모드의 모터링에 대해 도 4b에 도시하였으며, 전류 및 인덕턴스의 파형은 위상 인덕턴스 주기에 걸쳐 도시되었다. 발생시키려는 전류 파형은 모터링 파형의 미리 이미지임을 알 수 있다. 이 방법은 평상의 동작에서 간섭 없이 액티브 위상의 동작 전압 및 전류를 모니터한다. 통상적인 고속 방법은 국제 특허 출원 WO 91/02401에 개시되어 있다.

상술된 초평 및 단일-펄스 모드 모두는 컨버터가 전원 공급기 전압의 고정 값을 위상 권선에 인가할 때 일반적으로 사용된다. 또 다른 제어 모드는 펄스 폭 변조(PWM) 모드로, 하나 이상의 스위치가 PWM 파형의 브리터 사이클에 비례하는 권선 전압을 효과적으로 생성하기 위해 재빠르게 스위칭된다. 이는 단일-펄스 형태의 전류 파형을 완전한 공급 전압에서 가능한 속도보다 더 느린 속도에서 사용할 수 있도록 허용한다. 전류 파형은 첫 눈에도 4b의 파형과 같이 되도록 나타날 수 있으나, 정밀하게 조사해 보면 각각의 스위치 및 다이오드에 의해 운반되는 전류에 대응하는 많은 수의 세그먼트로 이루어져 있음을 확인할 수 있을 것이다. 이러한 동작은 본 기술 분야에서 잘 알려진 사실이므로 더 상세하게 기술할 필요가 없을 것이다.

위치 센서 없이 동작하기 위해 머신 데이터의 2차원 어레이를 저장해야 하는 것은 명백한 불리한 점이다. 대안의 모드가 제안되었는데 이 모드는 대다수의 각도로서 참조된 정보를 필요로 하지 않으며, 대신 데이터를 하나의 각도에만 저장한다. 이러한 방법 중 하나가 레이(Ray)의 유럽 공개 특허 제0573198호에 개시되어 있다. 이 방법은 바람직한 포인트로부터 멀어진 계산된 편차를 통해 전단 포인트를 조정함으로써 미리 설정된 각도에서 위상 자속-결합 및 전류를 감지하는데 목적을 두고 있다. 두 개의 일 차원 표가 바람직한 실시예에 저장되어 있으며, 하나는 참조된 회전자 각도에서 자속 결합 대 전류이고, 다른 하나는 회전자 각도 대 전류에 대한 자속 결합의 차이이다. 위상 전압 및 전류를 모니터함으로써, 예상된 각도에서 멀어진 편차를 루-업 표의 도움으로 평가할 수 있으며, 따라서 시스템 동작이 조정될 수 있다. 그러나, 이러한 방법은, 저장될 정보의 양을 줄일 수 있을지라도 여전히 특정 회전자 각도에서 자속 결합을 검출 또는 계산해야만 하고, 머신 내의 반복 능력 또는 생산 허용 오차에 민감할 수 있다.

유사한 접근 방법이 왓킨스(Watkins)의 미국 특허 제5793179호에 개시되었으며, 개시된 내용에는 인덕턴스 프로파일의 피크에서 회전자의 도착이 예언되었고, 시스템은 그 후 전류의 기울기가 측정될 동안 자유 회전 모드(freewheeling mode)에서 작동한다. 기울기 제로의 측정은 예상된 포인트에 도달한 것을 나타내기 위해 사용된다. 이것이 노이즈 없이 잘 동작하는 동안, 노이즈가 있는 전류 파형에 의해 생성되는 그릇된 판독을 무시하기에 충분한 힘이 없다. 비록 전류 파형이 상대적으로 유도 노이즈에 영향을 받지 않는 지라도 PWM 전압 공급기를 사용하는 드라이브는 부드러운 변화에 걸쳐진 톱니를 갖는 전류 파형을 발생할 것이다. 이 전류 파형의 형태는 사실상 큰 노이즈 성분을 갖는다. 어떠한 경우라도, 미국 특허 제5793179호의 방법은 자유 회전에 적합하지 않은 컨버터 회로와 함께 사용될 수 없다.

다른 창안자들은 이러한 결함을 극복하기 위해 시도하였다. 한가지 방법이 EPE'97, 제7회, 전력 전자 및 응용 유럽 협의회 회보(볼륨 3, 1997년 9월 8 - 10일, 노르웨이, 트론페임)의 페이지 580 - 585에 피씨 앤 밀러, 티제이이(PC & Miller, TJE), 갈레고스-로페즈(Gallegos-Lopez), 크제어(G, Kjaer)의 "PWM 전압 제어를 사용하는 스위칭된 자기 저항 모터에 대한 새로운 회전자 위치 추정 방법(A New Rotor Estimation Method for Switched Reluctance Motors using PWM Voltage Control)"이라는 제목의 논문에 개시되었으며, 이 논문은 본 명세서에서 참조 문헌으로서 포함된다. 이 논문은 계속해서 전류 파형을 샘플링하는 방법 및 폴 오버랩(pole overlap)의 개시에 의해 생성되는 기울기의 변화 및 위상의 인덕턴스(도 4b에 도시함)에 있어서 필연적으로 생기는 갑작스런 상승을 검출하기 위한 시도 방법을 논하였다. 갈레고스-로페즈 등에 의해 기술된 기본적인 방법은 시간에 대하여 전류 파형의 변화 속도가 제로인 때를 검출함으로써 모터링을 위한 폴 오버랩 포인트(또는 발진을 위한 폴 분리 포인트) 검출을 포함한다. 검출 방법은 미분기, 비교기 및 싱글 샷 멀티바이브레이터(single shot multivibrator)를 구비하는 분리된 회로를 사용한다. 미분기는 전류 신호를 미분한다, 제로  $di/dt$  포인트의 미분기 출력은 제로이다. 비교기는 미분기로부터의 이 제로 출력을 검출하고 상태를 뒤집도록 설정된다.

시스템은 저장된 자화 데이터나 또는 자유 회전의 간격을 요구하지 않지만, 전류 피드백의 고급 형태를 요구하며, 그렇다 하더라도 시스템이 위치의 비논리적인 판단을 발생시키는 노이즈 환경에서 신뢰할 수 있게 동작할 수 없음을 실제로 발견할 수 있다. 부가적으로, 스위치가 오픈 되었을 때 전류 정보가 소멸된 이후로 전류 감지의 저 가격 형태로는[예컨대, 도 2의 위상 레그의 밑 부분에 있는 저항(28)] 신뢰할 수 있게 사용될 수 없다.

그러므로 어떠한 제어 방법을 사용하는 어떠한 전력 컨버터 회로와도 동작할 수 있는 센서 없는 제어 방법이 명백하게 필요하다. 또한 많은 양의 저장된 데이터 또는 고가의 전류 피드백을 요구하지 않으며, 파형 상의 노이즈에 직면하여 위치를 추론할 수 있는 힘이 있는 방법이 필요하다. 바람직하게, 이 방법은 어떠한 저장된 자화 데이터도 필요로 하지 않는다.

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명의 목적은 저장된 데이터 양을 줄이는 한편, 회전자 변환기를 사용하지 않고 회전자 위치를 모니터하는 힘이 있고 비용적으로 효과적인 방법을 제공하는 것이다.

본 발명은 수반하는 독립 청구항에서 정의한다. 일부 바람직한 특징은 종속항에서 기술한다.

본 발명에 따른 실시예의 방법은 모터링에 있어서 회전자 폴이 고정자 폴을 오버랩하기 시작하는 위치를 검출한다(이 위치는 발생에 있어서 폴이 분리하기 시작하는 위치와 같은 포인트이다). 상기의 같은 포인트에서의 위상 전류 내의 제로 기울기를 검출하는 다음의 알려진 방법 보다는 전류 파형의 피크에 도달한 전류가 하강하기 시작하는 포인트가 검출된다. 올바른 전류 작용이 검출되고 있는 것을 보증하기 위해 적절한 전류의 샘플이 추출되고 폴 오버랩 또는 분리 포인트가 계산된다. 샘플링 속도 및 계산 시간이 일정해진 이후, (주어진 며신 속도에서) 전류가 공급될 다음 위상에서 폴 오버랩의 발생을 정확하게 예상하는 것이 가능해진다. 전류의 샘플링은 저가의 전류 센서로 실행될 수 있으며, 만일 PWM 동작이 사용된다면 샘플링은 각각의 스위치 상태와 동기될 수 있어서, 만일 요구된다면, 전류 센서 저항에 인접한 스위치로 초핑하도록 허용된다.

본 발명은 여러 방법으로 실제에 적용될 수 있으며, 일부 방법이 지금부터 수반되는 도면을 참조하여 예를 통하여 기술될 것이다.

### 발명의 구성

스위칭된 자기 저항 머신의 위상 인덕턴스 사이클은 예컨대, 회전자 폴 및 관련된 각각의 고정자 폴이 완전히 정렬된 때 최대점들 사이의 위상 또는 각 위상의 인덕턴스 변화의 주기이다. 이하에서 설명할 실시예는 모터링 모드에서 스위칭된 3상 자기 저항 드라이브를 사용하였으나 어떠한 수의 위상도 사용될 수 있다.

본 발명에 따른 실시예의 방법을 실행하기 위한 시스템이 도 5에 도시된다. 이 실시예에 있어서, 도 2에 도시된 컨버터와 통상적으로 같은 전력 컨버터(13)는 스위칭된 자기 저항 머신을 제어하기 위해 제공된다. 컨버터(13)를 제어하는 것은 마이크로제어기(17)이다. 단일 칩 솔루션인 마이크로제어기(17)는 적어도 하나 이상의 온 칩 A/D 컨버터를 구비하여야만 한다. 이에 적당한 것은 Microchip PIC 16C72A이다. 이 마이크로칩은 8-비트 4채널 A/D 컨버터를 구비하며, 가격이 저렴하고 다양한 용도의 마이크로제어기이다. 도 5에 도시한 회로는 작은 비용으로 전류 감지에 사용하기에 적합하며, 밑부분

의 스위치 초평과 함께 PWM 작용에 사용된다. 위상 전류를 나타내는 신호는 신호선(18)상에 있는 마이크로제어기(17)의 8-비트 A/D 컨버터 채널 중의 하나의 입력에 직접적으로 공급된다. 노이즈 제어를 위한 필터링은 필요한 경우 추가될 수 있다.

도 5의 시스템은 위상 전류를 샘플링하고, 회전자 위치가 피크를 지나갔을 때를 검출하며, 전류 대 시간의 곡선의 기울기를 모니터하여 피크 전류가 일어났을 때를 계산함으로써 회전자 위치를 검출하기에 적합하다. 기울기가 음수로 되었을 때는 피크를 지나쳤음을 나타내며, 회전자 위치의 측정이 가능하다. 이것은 유력한 방법이며 종래 기술의 단점을 극복한다.

도 5의 시스템 내의 위상 전류 정보는 예컨대, 훌 효과 디바이스 또는 아래 부분에 있는 스위치(22)와 직렬인 저항 센서(28)로부터 제공될 수 있다. 만약 위상 전류 정보가 훌 효과 디바이스로부터 제공되거나 또는 만일 머신이 순수한 단일-펄스 모드에서 동작된다면, 전류의 크기를 나타내는 정보는 전체 시간에 존재하며, 샘플은 전도 기간 내의 어느 곳에서도 추출될 수 있다. 그러나 만약 전류 피드백이 아래쪽의 스위치(22)와 직렬로 연결된 저항 센서(28)로부터 피드백 되고, 머신이 밑 부분 스위치 초평을 사용하여 PWM 공급을 계속한다면, 스위치가 온 상태이고 전류 정보가 존재할 때 샘플링이 주기에 동기되는 것은 중요하다.

도 6은 도 5의 머신으로부터의 과정을 도시한다. 명확하게 도시하기 위하여, 도면의 시간축은 길게 연장되었다. 밑 부분의 스위치(22)의 전류가 도시되었고, 본 예에서의 PWM 주파수는 20 KHz이다. 스위치(22)가 턴 온 됨에 따라 전류는 빠르게 상승하고, 다이오드(23, 24)로부터 위상 전류가 꺽임되는 것을 명확히 볼 수 있다. 일단 온 되면, 스위치(22)의 전류는 위상 전류와 같아지고, 이것은 전류 샘플 또는 샘플이 정확한 판독을 얻도록 추출될 필요가 있는 영역이다. 타이밍 펄스는 신호로서 이 신호의 상승 에지는 샘플이 실제적으로 추출되는 포인트를 정의하기 위해 사용된다. 이것은 샘플이 스위치(22)의 턴 온에 동기되는 것을 명확하게 보여주며, 스위치가 턴 온된 후 미리 예정된 크기의 시간만큼 샘플을 추출한다. 이 샘플링 이전의 지연은 계획적이며 조정이 가능하다. 더욱 편리한 대안의 실시에는 타이밍 펄스를 필요 없게 만들며, 샘플이 추출된 후 스위치에 대한 파이어링(firing) 펄스로부터 트리거된 미리 세트된 지연을 종료시키기 위한 마이크로프로세서를 제공한다.

도 6에 도시된 예에서, 폴 오버랩에 도달했음을 나타내는 두 개의 스위치 전류는 크기가 같다. 가장 아래의 트레이스는 마이크로프로세서(17)에 의해 발생되는 실제적으로 센서 없이 검출된 펄스를 도시한다. 이 트레이스의 변화가 A/D 컨버터가 변환을 마치기 위해 요구되는 계산 시간에 기인하는 샘플 포인트로부터 지연되는 것 및 바라는 위치에 도달했는지 여부를 PIC가 결정하는 것을 볼 수 있다.

PIC 내의 가장 간단한 형태의 실행은 논리적인 미분기를 사용하는 것이다. 언제든지 샘플은 추출되며, 추출된 샘플은 이전의 샘플과 비교된다. 만약 두 샘플이 같으면 전류 과정의 크기의 변화는 없다. 그러므로, 제로  $di/dt$  포인트는 갈레고스-로페즈의 논문에 기술된 바와 같이 머신이 모터링하는지 또는 발생하는지에 의존하는 폴 오버랩 또는 폴 분리 포인트가 되도록 추정된 포인트에 도달된다. 그러나 이 제로  $di/dt$ 가 이미 상술한 바와 같이 센서를 없애는 문제에 대한 이상적인 솔루션 같이 보이지만, 실제로는 제한이 있으며 신뢰할 수 없다. 도 5의 시스템의 방법을 사용하는 하나의 문제점은 A/D 컨버터의 제한 때문에 생긴다. 고속에서는 고정된 주파수에서 전도 기간 내에 추출될 수 있는 샘플의 수가 제한된다. 그러므로 폴 오버랩 포인트에서 제로 차이를 검출할 수 있는 처리 알고리즘을 위해 두 개의 같은 진폭을 얻기 위한 충분한 샘플이 있을 가능성이 거의 없다. 저속에서는, 단지 8-비트인 A/D 컨버터의 진폭 분해능에 기인하여 알고리즘이 실패한다. 비록 많은 샘플이 서로 가깝게 추출되고, 이 속도에서 전류가 샘플링 시간에 관하여 변하고, 주파수가 낮을 지라도, 느리게 변하는 과정이 하나의 가장 중요하지 않은 약간의 가치의 진폭에 의해 변경되지 않을 것이고, 그래서 A/D 컨버터는 연속되는 샘플 상의 같은 레벨의 진폭을 검출한다. 그러므로, 회로는 제로 포인트  $di/dt$ 를 추측하여 폴 오버랩을 나타내는 검출 펄스를 출력한다. 비록 제1 펄스가 다중 펄스를 정지시키기 위해 주어진 후 제로  $di/dt$  검출을 로크아웃하기에 쉬울지라도 이 첫 번째 하나가 완전히 잘못된 위치에 있을 가능성이 충분하다. 더 높은 분해능(및 더 고가의) A/D 컨버터는 성능을 개선할 수 있을 것이나, 일부 저속에서 여전히 같은 문제점을 경험할 것이다.

전술한 바와 같은 더 유력한 접근 방법은 경사 검출 방법을 사용하며, 이 방법은 피크 전류에 도달한 이후 하향 경사의 개시를 검출한다. 비록 이 방법이 폴 오버랩 포인트의 검출에 부득이하게 지연을 발생시키지만, 이 지연은 사실상 일정하고, 제어기 내에서 보상될 수 있다. 그러므로 제어기는 만나게될 다음 폴 오버랩 포인트를 정확하게 예측할 수 있다.

경사 검출을 실행하기 위해, 마이크로프로세서(17)는 (실행에서 상술된 바와 같이) 샘플을 이전의 샘플과 비교하는 알고리즘을 포함한다. 그러나 두 개의 동일한 샘플을 찾는 것 보다 오히려 이전의 하나와 동일한 샘플 모두 또는 보다 더 큰 것 (즉, 과정이 증가하거나 또는 평평한 때)을 무시한다. 포인트가 일단 현재 샘플이 이전 샘플보다 적은 포인트에 도달하면, 피크 포인트(제로  $di/dt$ )에 도달된 것이 추측될 수 있고, 과정은 이제 음의 경사로 떨어진다. 이 기술은 통상적으로 실제의 피크 이후에 센서 없이 고정된 알려진 크기의 샘플링 시간을 갖는 두 개의 검출 펄스를 발생시킨다. 두 개의 샘플 주기의

이 알려진 시간은 각도 제어 소프트웨어 내에서 보상될 수 있다. 도 7은 이 알고리즘이 실시되고 있는 통상적인 과정을 도시하는데, 도면은 동일한 크기의 두 개의 전류 펄스를 도시하고, 이어서 전류가 피크 포인트를 통과했고, 기울기가 이제 음수 임을 나타내는 점차적으로 줄어드는 펄스를 도시한다.

이 방법은 실제에 있어서 매우 잘 동작하고, 갈레고스-로페즈가 사용한 방법보다 현저히 뛰어나지만, 이 시스템은 전류 검출 신호에 과다한 노이즈가 있을 경우 때때로 틀린 포인트를 검출할 수 있다. 피크 전류 과정 이후 계산된 제1 음의 경사가 진짜 제1 샘플로 지정되는 것 보다 계속되는 음의 경사를 넘어 여러 샘플을 검출하도록 알고리즘을 변경함으로써 개선된 성능에 도달할 수 있다. 이를테면 둘 이상의 음의 경사를 샘플로부터 찾음으로써, 그리고 (저속 및 낮은 A/D 컨버터 분해능에서의 낮은 속도의 변화에 기인하는) 어떠한 제로 변화 결과도 무시함으로써 기울기가 명확하게 하강한다고 가정하는 것이 안전하다. 검출 펄스는 제로  $di/dt$  포인트 이후 최소한 3개의 샘플에 의해 더 지연되나, 이 지연은 SR 제어 내에서 알려진 크기의 기간만큼 보상된다.

이 방법은 과정이 느리게 변하고, (낮은 A/D 컨버터 분해능에 기인하여) 같은 속도의 여러 샘플이 생길 때의 저속에서 약간의 부정확한 오류를 잠재적으로 부가할 수 있어서, 실제의 제로  $di/dt$  포인트로부터 펄스의 지연이 증가된다. 그러나, 발생한 지연에 대하여, 속도는 매우 낮은, 실제로는 매우 느리게 변하는 과정일 것이며, 실제적인 지연은 회전자 각도의 점에서 보면 무시해도 될 것이고, 그래서 검출 위치의 경미한 오류는 문제가 되지 않는다. 실제에 있어서, 알고리즘은 유력한 방법에서 충실하게 동작한다. 이론적으로는, 'n'개의 음의 경사 검출이 사용될 수 있으며 'n'은 제로  $di/dt$  포인트 이후의 도통 영역에 적합한 2로부터 최대 샘플의 개수의 정수이다. 실제에 있어서, n=4 또는 5는 전류 신호 상에 실질적인 노이즈가 존재할 때 정확한 검출을 제공할 수 있는 대단히 힘이 있는 시스템을 만들어낼 것이다. 그러나, n=2에서 8비트 분해능 A/D 컨버터로도 여전히 매우 잘 동작한다.

고속에서, 다른 문제가 발생한다. 만약 머신의 속도가 매우 고속이면 샘플링 속도는 피크가 정확하게 검출되는 것이 보장되는 전도 기간 내에서 충분한 샘플을 얻을 수 없다. 그러나, 이 포인트에서 어떤 힘이 있는 머신은 속도가 증가함에 따라 음의 경사 검출의 수를 연속해서 감소시킴으로써 증가된 속도 범위를 교체할 수 있다. 제어기는 다음의 예에 따르는 속도 상태에 있는 대역에 따르는 음의 경사 검출의 수를 변경하도록 프로그램될 수 있다.

속도 범위	검출
200 - 1000	5
1000 - 2000	4
2000 - 10000	3
10000 - 15000	2

정확한 값은 당업자라면 쉽게 알 수 있는 바와 같이 자연히 드라이브의 위상 수, PWM 주파수, 전체 속도 범위 등에 의존할 것이다.

상술된 모든 실시예 내에서 피크 전류의 발견된 위치로부터 회전자 위치를 계산하는 단계는 상대적으로 간단하다는 것을 알 수 있을 것이다. 폴 오버랩의 위치는 머신의 호 형태의 폴에 의해 고정되고, 이미 상술된 바와 같이 폴 오버랩의 위치가 실질적인 피크 전류가 발생하는 위치라는 것을 알 수 있다. 그러므로, 실제의 회전자 위치는 회전자 속도 및 샘플링을 완료하는데 요구되는 알려진 시간에 대응하는 위치 이동의 단순한 부가에 의해 제공된다.

상술된 예는 모터링 모드의 동작에 대한 것이다. 본 기술이 발생 모드에서도 동일한 효과를 위해 사용될 수 있다는 것을 인식할 수 있을 것이다. 이 경우, 다이오드가 도통 상태에 있는 동안 측정 전류를 피드백하는 것을 알 수 있어서 도 8에서 도시한 바와 같은 위상 레그 토폴로지가 적합하다. 회로는 도 2와 유사하나 부가적인 전류 센서(29)가 다이오드(24)와 직렬로 추가된다. 센서(29)로부터의 피드백 신호는 마이크로프로세서 내의 제2 A/D 컨버터 채널로 전달되거나 공지된 기술을 사용하여 도 5의 신호선(18) 안으로 멀티플렉스될 수 있다. 다이오드(24) 내에서 전류를 샘플링함으로써, 제어기는 상술된 바와 같은 방법을 사용하여 폴 분리의 포인트를 검출하는 것이 가능하며, 이로써 회전자 위치를 결정한다.

본 기술은 도 8의 배열에 한정되지 않는다. 만약 전류 과정이 전체 위상의 결합된 전류를 감지하기 위해 배치된 전류 센서가 각각의 전류를 유일하게 확인할 수 있는 신호를 제공하는 바와 같다면, 본 발명은 이 배열에 제공될 수 있다.

본 발명을 구현한 스위칭된 자기 저항 드라이브는 물리적인 회전자 위치 검출기를 사용하지 않고 제어될 수 있다. 검출기 없이 제어가 가능한 것은 이 제어 방법이 간단한 분리되지 않은 전류 센서로부터 전류 피드백을 사용하여 전류 과정을 계

속해서 샘플링하고, 전류 파형의 기울기가 음으로 되는 곳의 위치를 검출하고, 이전의 제로 경사의 위치를 계산하기 위해 검출된 정보를 사용하며, 회전자 위치를 계산하기 위해 계산된 제로 경사 포인트를 사용하기 때문이다. 이 방법은 간단하고 유력한 방법이다.

본 기술 분야에서 통상의 지식을 가진자는 상술된 배열의 변형, 특히 마이크로프로세서 내의 알고리즘의 상세한 실행에 있어서의 변형이 본 발명의 범위 내에서 가능한 것을 인식할 수 있을 것이다. 따라서 전술한 여러 실시예는 예시로서 기재된 것이며 본 발명을 제한하기 위한 것은 아니다. 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 당업자라면 중요하지 않은 작은 변경을 함으로써 상기 기술된 동작과 현저한 차이 없이 드라이브 회로를 만들 수 있다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 본 발명은 단지 다음의 청구항의 범위에 의해서만 제한 될 것이다.

### 발명의 효과

본 발명에 따른 방법은 모터링에 있어서 회전자 폴이 고정자 폴을 오버랩하기 시작하는 위치를 검출함에 있어서, 전류 파형의 피크에 도달한 전류가 하강하기 시작하는 포인트를 검출하고, 올바른 전류 작용이 검출되고 있는 것을 보증하기 위해 적절한 전류의 샘플을 추출하여, 폴 오버랩 또는 분리 포인트를 계산함으로써 샘플링 속도 및 계산 시간이 일정해진 이후, 전류가 공급될 다음 위상에서 폴 오버랩의 발생을 정확하게 예상하는 것이 가능하다. 전류의 샘플링은 저가의 전류 센서로 실행될 수 있으며, PWM 동작이 사용될 경우 샘플링은 각각의 스위치 상태와 동기될 수 있어서, 전류 센서 저항에 인접한 스위치로 초평할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

도 1은 통상적인 종래 기술의 스위칭된 자기 저항 드라이브(reluctance drive)를 도시한 도면.

도 2는 도 1의 컨버터의 알려진 일 위상의 토폴로지를 도시한 도면.

도 3은 매개 변수로서 회전자(rotor) 위치를 갖는 통상적인 자속 결합 대 위상 전류의 곡선을 도시한 도면.

도 4a는 초평 제어에서의 통상적인 구동 (motoring) 전류 파형을 도시한 도면.

도 4b는 단일-펄스 제어에서의 통상적인 구동 전류 파형을 도시한 도면.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 스위칭된 자기 저항 드라이브의 개략적 형태를 도시한 도면.

도 6은 도 5의 드라이브에서의 전류 및 펄스의 파형을 도시한 도면.

도 7은 전류가 피크에 도달했고 떨어지고 있는 전류 파형을 도시한 도면.

도 8은 구동 및 발생 모드 (generating mode) 모두의 동작에 적합한 도 5의 드라이브의 컨버터 토폴로지를 도시한 도면.

<도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

11. 전원 공급기.

12. 모터.

13. 전력 컨버터.

14. 전자 제어 유닛.

15. 변환기.

16. 위상 권선.

17. 마이크로프로세서.

18. 신호선.

21. 스위치.

22. 스위치.

23. 다이오드.

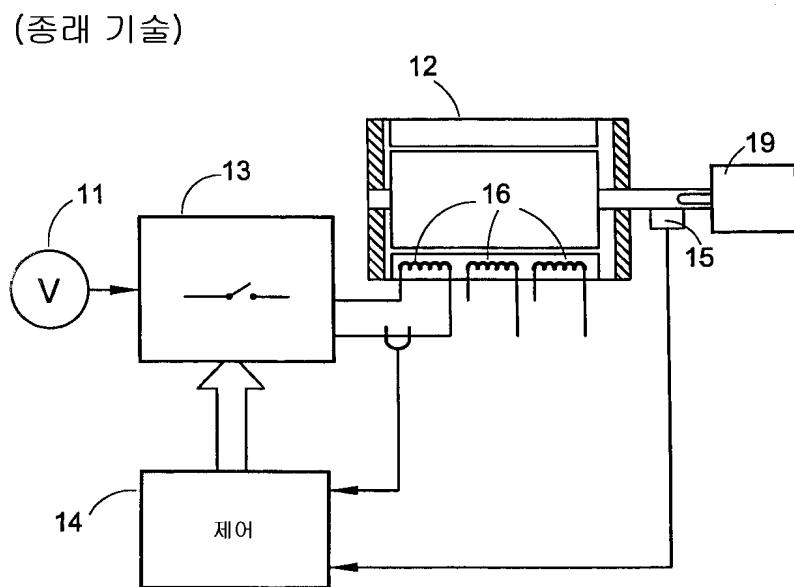
24. 다이오드.

28. 저항(저항성 전류 센서).

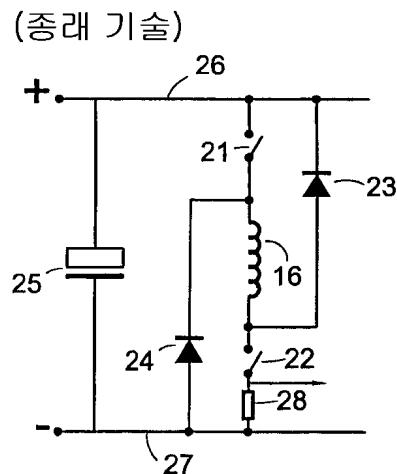
29. 전류 센서.

도면

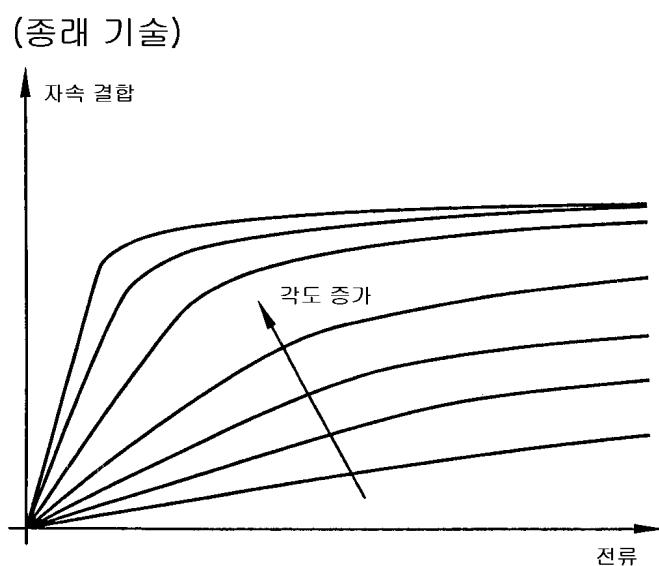
도면1



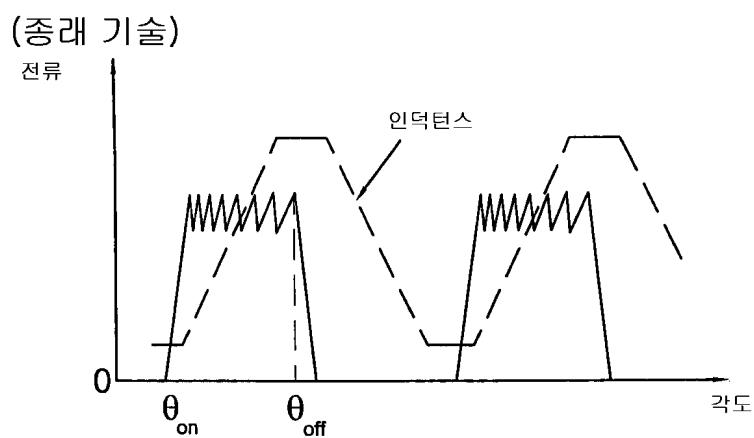
도면2



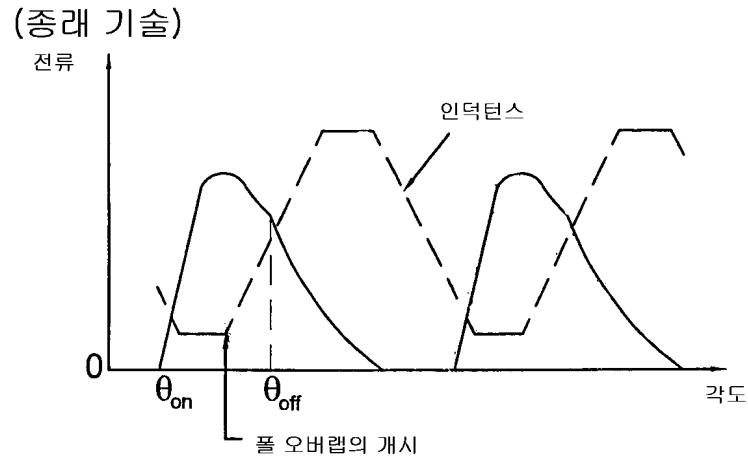
도면3



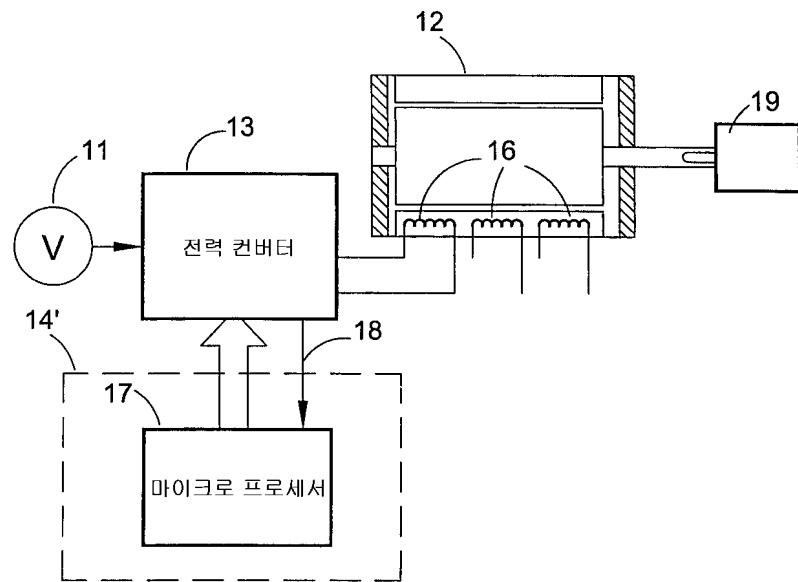
도면4a



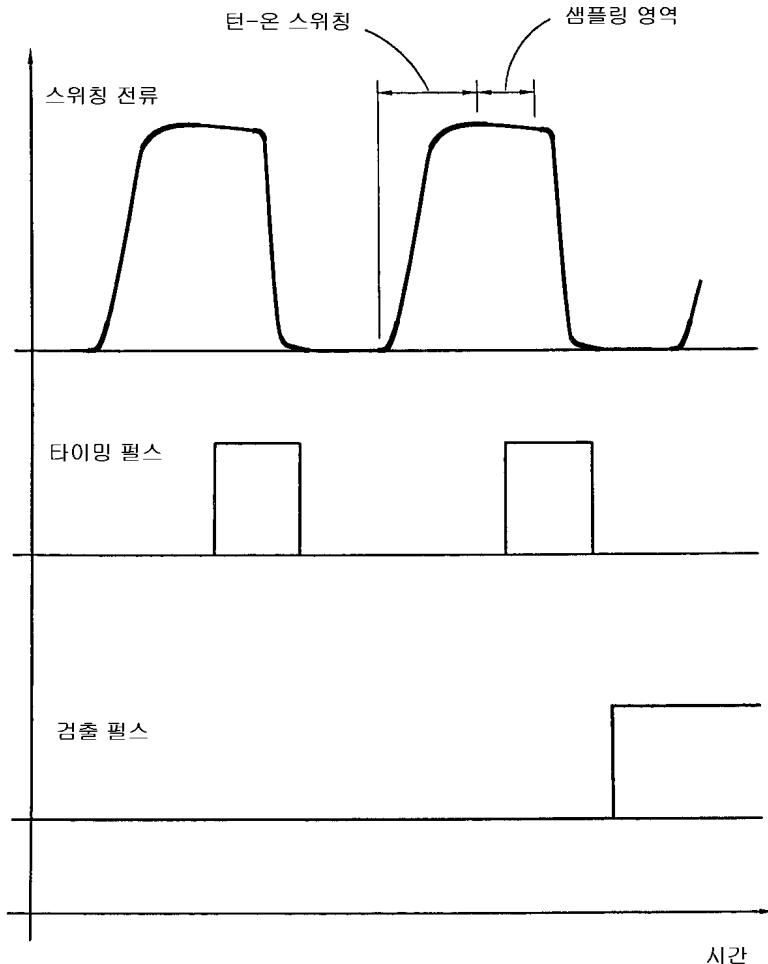
도면4b



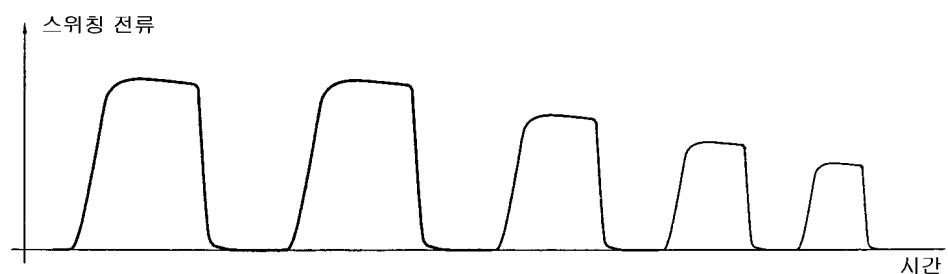
도면5



도면6



도면7



도면8

