



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0120967  
(43) 공개일자 2011년11월04일

(51) Int. Cl.

*H02M 1/42* (2007.01) *H02M 5/10* (2006.01)  
*H02M 5/458* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2011-7022294

(22) 출원일자(국제출원일자) 2010년02월26일  
심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2011년09월23일

(86) 국제출원번호 PCT/US2010/025612

(87) 국제공개번호 WO 2010/099459  
국제공개일자 2010년09월02일

(30) 우선권주장  
61/156,300 2009년02월27일 미국(US)  
(뒷면에 계속)

(71) 출원인

에이비비 리써치 리미티드

스위스 체하-8050 쥐리히 알폴테른슈트라쎄 44

(72) 발명자

하즈-마하시, 모하메드, 야시네

미국 텍사스 77433 사이프레스 베일리 로즈 코트  
21714

## 발라, 산딕

미국 노스 캐롤라이나 27606 롤리 어파트먼트 102  
크로스로드 비스타 드라이브 1710

탕, 레

미국 노스 캐롤라이나 27519 캐리 팀버 미스트  
1016

(74) 대리인

장훈

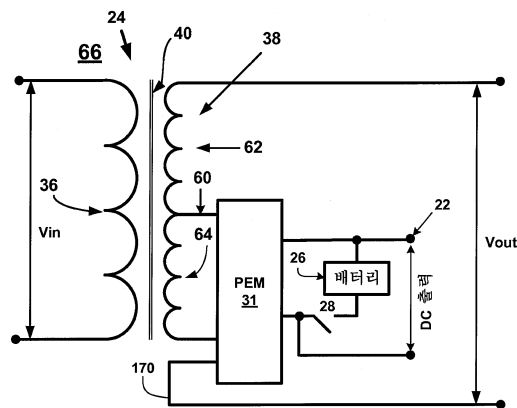
전체 청구항 수 : 총 29 항

(54) 통합된 전압원 변환기를 구비한 하이브리드 배전 변압기

(57) 요약

하이브리드 배전 변압기가 제공되고 상기 하이브리드 배전 변압기는 전자기 변압기 및 입력 전압의 증가 또는 감소의 경우 하이브리드 배전 변압기의 출력 전압에서의 변동을 감소시키도록 동작가능한 전압원 변환기를 포함한다.

대표도 - 도7



(30) 우선권주장

61/163,311 2009년03월25일 미국(US)

61/223,872 2009년07월08일 미국(US)

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

소스로부터 입력 전압 및 전류를 수신하기 위한 1차 측 및 부하에 출력 전압 및 전류를 제공하기 위한 2차 측을 구비하는 하이브리드 배전 변압기에 있어서:

강자성 코어; 및

상기 강자성 코어 둘레에 감겨있는 제 1 권선 및 제 2 권선을 포함하는 권선 구조로서, 상기 제 1 권선 및 제 2 권선 중 하나는 상기 소스로의 접속을 위한 1차 권선이고 제 1 권선 및 제 2 권선 중 하나는 상기 부하로의 접속을 위한 2차 권선인, 상기 권선 구조; 및

상기 제 1 권선에 접속되고 DC 및 AC 전압들 사이를 변환하도록 동작가능한 전압원 변환기를 포함하고,

상기 전압원 변환기는:

둘 이상의 스위칭 디바이스들을 가지는 적어도 하나의 스위칭 브릿지(switching bridge);

적어도 하나의 스위칭 브릿지와 병렬로 접속되는 DC 버스(DC bus); 및

적어도 하나의 스위칭 브릿지를 제어하여 상기 하이브리드 배전 변압기의 1차 측에서의 역률(power factor)를 제어하고 입력 전압이 변하는 경우 출력 전압의 변동을 감소시키도록 동작하는 제어기를 포함하는, 하이브리드 배전 변압기.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 전압원 변환기는 상기 제 1 권선에 직렬로 접속되는, 하이브리드 배전 변압기.

### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제 1 권선은 1차 권선이고 상기 제 2 권선은 2차 권선인, 하이브리드 배전 변압기.

### 청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 제 1 권선은 2차 권선이고 상기 제 2 권선은 1차 권선인, 하이브리드 배전 변압기.

### 청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 전압원 변환기 및 상기 제 1 권선 사이에서 접속되는 출력을 갖는 전압 분배기를 추가로 포함하는, 하이브리드 배전 변압기.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 코어 둘레에 감겨 있고 상기 제 1 권선과 동일한 상기 코어의 전압측에 배치되는 제 3 권선을 추가로 포함하고, 상기 전압원 변환기는 상기 제 1 권선과 병렬로 접속되는, 하이브리드 배전 변압기.

### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 권선은 대향하는 종단들, 상기 종단들 사이에 복수의 턴(turn)들, 및 상기 턴들 중 하나에 접속되는 내부 탭(tap)을 갖고, 상기 내부 탭은 상기 제 1 권선의 제 1 권선부 및 제 2 권선부를 규정하는데 도움을

주고, 상기 전압원 변환기는 상기 내부 탭에 접속되는, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 하이브리드 배전 변압기의 입력 전압 또는 출력 전압은 상기 제 1 권선부 양단의 전압에 대응하고, 상기 전압원 변환기는 상기 제 2 권선부 양단에 접속되는, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 제 1 권선은 1차 권선인, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 제 1 권선은 2차 권선인, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 11

제 7 항에 있어서,

상기 하이브리드 배전 변압기의 입력 전압 또는 출력 전압은 상기 제 1 권선부의 종단 또는 외부 탭 및 상기 전압원 변환기의 스위칭 브릿지 내의 두 스위칭 디바이스들 사이의 노드에 걸친 전압에 대응하는, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 권선은 1차 권선인, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 권선은 2차 권선인, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 전압원 변환기는 DC 버스와 병렬로 접속되는 제 1 스위칭 브릿지 및 제 2 스위칭 브릿지를 포함하는 H-브릿지 인버터인, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 전압원 변환기는 DC 버스에 병렬로 접속되는 스위칭 브릿지를 포함하는 하프 브릿지 인버터인, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 하이브리드 배전 변압기의 동작을 모니터링하기 위하여 센서들 및 지능형 전자 디바이스(intelligent electronic device: IED)를 추가로 포함하고, 상기 IED는 상기 DC 브릿지로부터 DC 전력을 수신하도록 접속되고 상기 센서들로부터 상기 하이브리드 배전 변압기의 동작 데이터를 수신하도록 동작가능하고, 상기 동작 데이터는 상기 제 1 권선 및 제 2 권선에서의 전류들, 전압들 및 온도들을 포함하는, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 IED는 제어기를 포함하고 통신 링크에 의해 원격에 위치되는 제어 센터에 접속되고, 상기 IED는 상기 동작 데이터를 상기 제어 센터로 송신하고 상기 제어 센터로부터 상기 제어기에 대한 명령들을 수신하도록 동작가능한, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 18

제 1 항에 있어서,

필터 및 상기 제 1 권선 및 상기 전압원 변환기 사이에서 접속되는 보호 디바이스를 추가로 포함하고, 상기 필터는 상기 스위칭 디바이스의 동작으로부터 발생하는 고주파수 고조파들을 억제하도록 동작가능하고, 상기 보호 디바이스는 전압원 변환기가 오기능하는 경우 상기 전압원 변환기 주위에 우회로를 생성하도록 동작가능한, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 보호 디바이스는 상기 제어기에 의해 제어되고 둘 이상의 스위치들 및 임피던스를 포함하고, 네트워크 고장이 검출될 때, 고장 전류가 상기 임피던스로 지향되는, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 20

제 1 항에 있어서,

상기 권선 구조는 제 1 권선 구조이고, 상기 하이브리드 배전 변압기는 제 2 권선 구조 및 제 3 권선 구조를 포함하고, 상기 제 2 권선 구조 및 제 3 권선 구조 각각은 상기 코어 둘레에 감겨 있는 제 1 권선 및 제 2 권선을 포함하고, 상기 제 1 권선 및 제 2 권선 중 하나는 상기 소스로의 접속을 위한 1차 권선이고 상기 제 1 권선 및 제 2 권선 중 하나는 상기 부하로의 접속을 위한 2차 권선인, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 제 1 권선들의 각각은 복수의 턴들 및 상기 턴들 중 하나에 접속되는 탭을 갖고;

상기 적어도 하나의 스위칭 브릿지는 병렬로 접속되는 복수의 스위칭 브릿지들을 포함하고;

상기 스위칭 브릿지들 중 제 1 브릿지, 제 2 브릿지 및 제 3 브릿지에서의 노드들은 상기 제 1 권선들의 탭에 각각 접속되고;

상기 스위칭 브릿지들 중 제 4 브릿지, 제 5 브릿지 및 제 6 브릿지에서의 노드들은 상기 제 1 권선들의 종단들에 각각 접속되고;

상기 스위칭 브릿지들 중 제 7 브릿지에서의 노드는 상기 전압원 또는 부하로의 접속을 위해 적응되는 부싱(bushing)에 접속되고;

상기 스위칭 브릿지들의 각각에서, 상기 노드는 상기 스위칭 디바이스들 사이에 위치되는, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 제 2 권선들은 상기 부하로의 접속을 위한 2차 권선이고 상기 부싱은 상기 부하로의 접속을 위해 적응되는 출력 부싱인, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 23

소스로부터 입력 전압 및 전류를 수신하기 위한 1차 측 및 부하에 출력 전압 및 전류를 제공하기 위한 2차 측을

구비하는 하이브리드 배전 변압기에 있어서:

(a.) 강자성 코어;

(b.) 상기 코어에 장착되는 3개의 권선 어셈블리(assembly)들로서, 각각의 권선 어셈블리는 제 1 권선, 제 2 권선 및 제 3 권선들을 포함하고, 상기 제 1 권선 및 제 2 권선 중 하나는 상기 전압원으로의 접속을 위한 1차 권선이고, 상기 제 1 권선 및 제 2 권선의 다른 하나는 상기 부하로의 접속을 위한 2차 권선이고, 상기 제 3 권선은 보조 1차 권선 또는 보조 2차 권선인, 상기 권선 어셈블리들;

(c.) 상기 제 2 권선 및 제 3 권선에 접속되는 전압원 변환기로서:

병렬로 접속되는 제 1 회로 레그(leg), 제 2 회로 레그, 및 제 3 회로 레그를 포함하는 제 1 브릿지(bridge)로서, 상기 제 1 회로 레그, 제 2 회로 레그, 및 제 3 회로 레그의 각각은 직렬로 접속되는 한 쌍의 반도체 스위치들을 포함하고, 상기 제 1 회로 레그, 제 2 회로 레그, 및 제 3 회로 레그에서의 노드들은 상기 제 3 권선들의 종단들에 각각 접속되고, 상기 제 1 회로 레그, 제 2 회로 레그, 제 3 회로 레그의 각각에서, 상기 노드는 상기 반도체 스위치들 사이에 위치되는, 상기 제 1 브릿지; 및

병렬로 접속되는 제 4 회로 레그, 제 5 회로 레그, 및 제 6 회로 레그를 포함하는 제 2 브릿지로서, 상기 제 4 회로 레그, 제 5 회로 레그, 및 제 6 회로 레그의 각각은 직렬로 접속되는 한 쌍의 반도체 스위치들을 포함하고, 상기 제 4 회로 레그, 제 5 회로 레그, 및 제 6 회로 레그에서의 노드들은 상기 제 2 권선들의 종단들에 각각 접속되고, 상기 제 4 회로 레그, 제 5 회로 레그, 및 제 6 회로 레그의 각각에서, 상기 노드는 상기 반도체 스위치들 사이에 위치되는, 상기 제 2 브릿지; 및

상기 제 1 브릿지 및 제 2 브릿지에 병렬로 접속되는 DC 버스를 포함하는, 상기 전압원 변환기; 및

(d.) 상기 하이브리드 배전 변압기의 1차 측에서의 역률을 제어하고 입력 전압이 변하는 경우 출력 전압의 변동을 감소시키도록 동작하는 제어기를 포함하는, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 24

제 23 항에 있어서,

상기 DC 브릿지는 상기 제 1 브릿지 및 제 2 브릿지 사이에서 접속되고 커패시터를 포함하는, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 25

제 23 항에 있어서,

상기 제 2 브릿지는 직렬로 접속되는 한 쌍의 반도체 스위치들을 포함하는 제 7 회로 레그를 추가로 포함하고, 상기 제 7 회로 레그는 노드에서 상기 전압원 또는 상기 부하로의 접속을 위해 적응되는 부상으로 접속되고, 상기 노드는 상기 반도체 스위치들 사이에 위치되는, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 26

제 25 항에 있어서,

상기 제 2 권선들은 상기 부하로의 접속을 위한 주 2차 권선들이고, 상기 3차 권선들은 보조 2차 권선들이고 상기 부상은 상기 부하로의 접속을 위해 적응되는 출력 부상인, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 27

제 26 항에 있어서,

상기 제 3 코일들은 와이(Wye) 구조로 접속되고, 상기 제 1 브릿지는 직렬로 접속되는 한 쌍의 반도체 스위치들을 포함하는 제 8 회로 레그를 추가로 포함하고, 상기 제 8 회로 레그는 노드에서 상기 와이 구조의 중립으로 접속되고, 상기 노드는 상기 반도체 스위치들 사이에 위치되는, 하이브리드 배전 변압기.

#### 청구항 28

제 23 항에 있어서,

상기 하이브리드 배전 변압기의 동작을 모니터링하기 위하여 센서들 및 지능형 전자 디바이스(IED)를 추가로 포함하고, 상기 IED는 상기 DC 브릿지로부터 DC 전력을 수신하도록 접속되고 상기 센서들로부터 상기 하이브리드 배전 변압기의 동작 데이터를 수신하도록 동작가능하고, 상기 동작 데이터는 상기 제 1 권선 및 제 2 권선에서의 전류들, 전압들 및 온도들을 포함하는, 하이브리드 배전 변압기.

## 청구항 29

제 23 항에 있어서,

상기 IED는 제어기를 포함하고 통신 링크에 의해 원격에 위치되는 제어 센터에 접속되고, 상기 IED는 상기 동작 데이터를 상기 제어 센터로 송신하고 상기 제어 센터로부터 상기 제어기에 대한 명령들을 수신하도록 동작가능한, 하이브리드 배전 변압기.

## 명세서

### 기술분야

[0001] 본 발명은 변압기들에 관한 것으로 특히 전력 전자 소자를 이용하는 하이브리드 배전 변압기에 관한 것이다.

### 배경기술

[0002] 현대 사회가 디지털 시대로 이동됨으로써 더욱 신뢰성 있는 고품질 전기의 개발이 필요해지고 있다. 전기를 최종 이용자들에게 공급하는데 필요 불가결한 구성 요소는 배전 변압기이다. 종래의 배전 변압기는 한 전압에 있는 전기를 더 높거나 더 낮은 것 중 하나인 다른 전압으로의 전기로 변환시킨다. 변압기는 각각 강자성 코어에 감겨져 있고 전기 도전체의 다수의 턴(turn)들을 포함하는 1차 권선 및 2차 권선을 이용하여 이 전압 변환을 달성한다. 오늘날의 전력 분배 시스템들에서 이용되는 종래의 배전 변압기는 새그(sag)들/스웰(swell)들/왜곡(distortion)과 같은 불량한 전력 품질에 대비하여 디지털 부하들을 보호할 수 있다. 전압 교란(voltage disturbance)들은 매해마다 전세계 산업에 수백만 달러의 비용을 치르게 하는 것으로 추정된다.

[0003] 때때로 시스템들은 전력 교란 라인에 접속되어 전력 품질을 개선시킨다. 그와 같은 시스템들의 예들은 동적 전압 복구기(dynamic voltage restorer: DVR)들 및 정적 VAR 보상기(SVC)들을 포함한다. DVR들은 전압 공급 시에 새그들 또는 스파이크(spike)들 동안 이용 중인 전기 부하를 지탱하고 복구하고, 반면에 SVC들은 전력 네트워크 상에 고속 작동 무효 전력 보상을 제공한다. DVR들 및 SVC들은 흔히 종래의 배전 변압기들에 접속되고 상기 변압기와 함께 이용되는 "애드 온(add on)" 시스템들이다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0004] 최근에, 전력 전자 소자들을 종래의 배전 변압기와 결합하여 전력 품질을 개선하는 것이 제안되었다. 본 발명은 그와 같은 변압기에 관한 것이다.

#### 과제의 해결 수단

[0005] 본 발명에 따르면, 소스로부터 입력 전압 및 전류를 수신하기 위한 1차 측 및 부하에 출력 전압 및 전류를 제공하기 위한 2차 측을 갖는 하이브리드 배전 변압기가 제공된다. 하이브리드 변압기는 강자성 코어 및 상기 강자성 코어 둘레를 감는 제 1 및 제 2 권선들을 포함하는 권선 구조를 포함한다. 제 1 및 제 2 권선들 중 하나는 소스로의 접속을 위한 1차 권선이고 제 1 및 제 2 권선들 중 하나는 부하로의 접속을 위한 2차 권선이다. 전압원 변환기는 제 1 권선에 접속되고 DC 및 AC 전압들 사이를 변환하도록 동작가능한하다. 전압원 변환기는 둘 이상의 스위칭 디바이스들을 가지는 적어도 하나의 스위칭 브릿지(switching bridge)를 포함한다. DC 버스는 적어도 하나의 스위칭 브릿지와 병렬로 접속된다. 제어기는 적어도 하나의 스위칭 브릿지를 제어하여 하이브리드 변압기의 1차 측에서의 역률(power factor)를 제어하고 입력 전압이 변하는 경우 출력 전압의 변동을 감소시키도록 동작한다.

[0006] 본 발명의 특징들, 양태들, 및 장점들은 다음의 설명, 첨부된 청구항들 및 첨부 도면들에 대해 더 양호하게 이해되도록 할 것이다.

## 도면의 간단한 설명

[0007]

- 도 1은 본 발명의 제 1 실시예에 따라 구성되는 제 1 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 2는 본 발명의 제 2 실시예에 따라 구성되는 제 2 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 3은 본 발명의 제 3 실시예에 따라 구성되는 제 3 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 4는 본 발명의 제 4 실시예에 따라 구성되는 제 4 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 5는 본 발명의 제 5 실시예에 따라 구성되는 제 5 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 6은 본 발명의 제 6 실시예에 따라 구성되는 제 6 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 7은 본 발명의 제 7 실시예에 따라 구성되는 제 7 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 8은 본 발명의 제 8 실시예에 따라 구성되는 제 8 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 9는 본 발명의 제 9 실시예에 따라 구성되는 제 9 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 10은 본 발명의 제 10 실시예에 따라 구성되는 제 10 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 11은 본 발명의 단상 하이브리드 변압기들에서 이용될 수 있는 제 1 전력 전자 모듈(power electronic module: PEM)의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 12는 본 발명의 단상 하이브리드 변압기들에서 이용될 수 있는 제 2 PEM의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 13은 본 발명의 단상 하이브리드 변압기들에서 이용될 수 있는 제 3 PEM의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 14는 본 발명의 단상 하이브리드 변압기들에서 이용될 수 있는 제 4 PEM의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 15는 제 1 및 제 2 PEM들에서 이용될 수 있는 제 1 필터의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 16은 제 1 및 제 2 PEM들에서 이용될 수 있는 제 2 필터의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 17은 제 1 및 제 2 PEM들에서 이용될 수 있는 제 1 보호 디바이스의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 18은 제 3 및 제 4 PEM들에서 이용될 수 있는 제 3 보호 디바이스의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 19는 펄스 폭 변조에 의해 형성되는 정현파형의 개략도.
- 도 20은 IED 및 통신 링크를 구비한 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 21은 제 2 하이브리드 변압기의 한 버전의 더 상세한 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 22는 전압원 인버터에 대한 제어 방식의 블록도.
- 도 23은 제어 방식의 명령 레도 생성 알고리즘의 기능 블록도.
- 도 24는 제어 방식의 피드백 제어 알고리즘의 기능 블록도.
- 도 25는 제어 방식의 피드포워드(feedforward) 제어 및 교란 입력 연결 해제 알고리즘을 도시한 도면.
- 도 26은 제어 방식의 상태 공간 모델을 도시한 도면.
- 도 27은 상태 공간 모델의 간소화된 형태를 도시한 도면.
- 도 28은 시뮬레이팅된 제 2 하이브리드 변압기의 입력 전압의 플롯을 도시한 도면.
- 도 29는 시뮬레이팅된 제 2 하이브리드 변압기의 출력(2차) 전압의 플롯을 도시한 도면.
- 도 30은 시뮬레이팅된 제 2 하이브리드 변압기의 전압원 변환기의 출력 전압의 조정 성능을 도시한 도면.
- 도 31은 3개의 단상 하이브리드 변압기들로부터 형성되는 3-상 하이브리드 변압기의 개략도.
- 도 32는 제 1 3-상 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 33은 도 32에서 도시된 제 1 3-상 하이브리드 변압기의 전압원 변환기의 개략적인 회로를 도시한 도면.
- 도 34는 제 2 3-상 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.



도 35는 제 3 3-상 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.

도 36은 도 35에 도시된 제 3 3-상 하이브리드 변압기의 전압원 변환기의 개략적인 회로를 도시한 도면.

도 37은 제 4 3-상 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.

도 38은 도 37에 도시된 제 4 3-상 하이브리드 변압기의 전압원 변환기의 개략적인 회로를 도시한 도면.

도 39는 제 5 3-상 하이브리드 변압기의 개략적인 회로를 도시한 도면.

도 40은 도 39에서 도시된 제 5 3-상 하이브리드 변압기의 전압원 변환기의 개략적인 회로를 도시한 도면.

도 41은 역률 보정을 위한 본 발명의 하이브리드 변압기의 애플리케이션을 도시한 도면.

도 42는 평행 라인들 상의 위상 천이 및 전력-플로우 제어를 위한 본 발명의 하이브리드 변압기의 애플리케이션을 도시한 도면.

도 43은 AC 및 DC 부하들이 하이브리드 변압기에 의해 전력을 공급받는 데이터센터(datacenter)를 위한 본 발명의 하이브리드 변압기의 애플리케이션을 도시한 도면.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0008] 이후의 상세한 설명에서, 동일한 구성요소들은 자체가 본 발명의 상이한 실시예들에 도시되는 여부와는 관계없이, 동일한 참조 번호들을 갖는다. 또한 본 발명을 명확하고 간결하게 개시하기 위해, 도면들은 반드시 축적대로일 필요는 없고 본 발명의 특정한 피쳐(feature)들은 다소 개략적인 형태로 도시될 수 있음이 또한 주목되어야 한다.
- [0009] 본 발명은 전력의 교란 시에 이용될 수 있는 하이브리드 변압기에 관한 것이다. 하이브리드 변압기는 일반적으로 DC 및 AC 전압들 사이에서 변환하도록, 즉 DC 전압을 AC 전압으로 그리고 그 역으로 변환하도록 동작가능한 전압원 변환기(voltage source converter: VSC)를 포함하는 전력 전자 모듈(PEM)과 통합되는 전자기 변압기를 포함한다. 전자기 변압기는 강자성 코어, 각각 강자성 코어에 감겨 있는 1차 권선 구조 및 2차 권선 구조를 포함한다. 1차 권선 구조는 하나 이상의 1차 권선들을 포함하고 2차 권선 구조는 하나 이상의 2차 권선들을 포함한다. PEM은 1차 권선 구조 또는 2차 권선 구조에 접속될 수 있다. 전자기 변압기는 코어 및 1차 및 2차 권선 구조들이 유전성 유체에 침전되는 액체 충전 변압기일 수 있거나, 또는 전자기 변압기는 코어 및 1차 및 2차 권선 구조들이 유전성 유체에 침전되지 않고, 대신 유전성 수지로 포장되거나 비활성 기체 또는 주변 공기로 둘러싸이는 건식형 변압기일 수 있다. 하이브리드 변압기는 단상 변압기, 3상 변압기, 또는 다상(> 3상들) 변압기일 수 있다. 하이브리드 변압기는 주상(pole-mounted) 또는 지상(pad-mounted)일 수 있다. 하이브리드 변압기의 단상 실시예는 약 67 kVA의 전력 조정 및 약 7.97 kV 내지 277 V의 전압 조정을 가질 수 있다.
- [0010] 본 발명에 따라 구성되는 하이브리드 배전 변압기의 6개의 실시예들이 도 1 내지 도 5에 도시되고 각각 참조 번호들 10, 12, 14, 18, 20으로 지정된다. 하이브리드 변압기들(10 내지 20)의 각각은 일반적으로 전자기 변압기(24) 및 PEM(30)을 포함한다. 전자기 변압기(24)는 강자성 코어(40) 둘레에 감겨 있는 단일 1차 권선(36) 및 단일 2차 권선(38)을 갖는다. PEM(30)은 DC 부하들에 전력을 공급하는데 이용될 수 있는 DC 버스(bus)를 포함한다. DC 버스는 하이브리드 변압기(10 내지 20)의 DC 출력 단자들(22)에 접속된다. 배터리 뱅크(battery bank)(26)와 같은 에너지 저장 디바이스는 스위치(28)를 이용하여 DC 출력 단자들(22) 양단에 접속될 수 있다.
- [0011] 하이브리드 변압기(10)(도 1에 도시된)에서, PEM(30)은 2차 권선(38)의 종단에 접속된다. 2차 권선 구조 양단의 전압(Vout)은 2차 권선(38) 양단의 전압에 PEM(30) 양단의 전압(V2)을 더한 전압과 동일하다. 출력 전압이 PEM(30)으로부터 출력되는 전압과 2차 권선(38)의 전압을 더한 전압과 동일하므로, PEM(30)으로부터 출력되는 전압의 제어는 하이브리드 변압기(10)의 출력 전압을 제어한다.
- [0012] 하이브리드 변압기(12)(도 2에 도시된)에서, PEM(30)은 1차 권선(36)의 종단에 접속된다. 1차 권선 양단의 전압(Vin)은 1차 권선(36) 양단의 전압(V1)에 PEM(30) 양단의 전압을 더한 전압과 동일하다. 입력 전압이 PEM(30)으로부터 출력되는 전압에 1차 권선(36)의 전압을 더한 전압과 같으므로, PEM(30)으로부터 출력되는 전압의 제어는 입력 전압을 제어하고, 따라서 하이브리드 변압기(12)의 출력 전압을 제어한다.
- [0013] 하이브리드 변압기(14)(도 3에 도시된)는 전압 분배기(44)가 2차 권선 구조에 접속되는 것을 제외하고, 실질적으로 하이브리드 변압기(10)와 동일한 구조를 갖는다. 전압 분배기(44)는 2차 권선(38) 및 PEM(30)과 병렬로 접속되는 한 쌍의 직렬 접속 저항들(46, 48)을 포함한다. 전압 분배기(44)의 출력은 2차 권선(38) 및 PEM(30) 사

이에 접속되어 있는 노드에 접속된다. 레지스터들(46, 48)의 저항값들은 2차 권선(38) 및 PEM(30) 사이의 전압이 균형이 맞도록 선택된다.

[0014] 하이브리드 변압기(16)(도 4에 도시된)는 전압 분배기(52)가 1차 권선 구조에 접속되는 것을 제외하고, 하이브리드 변압기(12)와 실질적으로 동일한 구조를 갖는다. 전압 분배기(52)는 1차 권선(36) 및 PEM(30)과 병렬로 접속되는 한 쌍의 직렬 접속 저항들(54, 56)을 포함한다. 전압 분배기(52)의 출력은 1차 권선(36) 및 PEM(30) 사이에 접속되어 있는 노드에 접속된다. 저항들(54, 56)의 저항값들은 1차 권선(36) 및 PEM(30) 사이에서 전압이 균형이 맞도록 선택된다.

[0015] 하이브리드 변압기(18)(도 5에 도시된)에서, 2차 권선(38)은 하나 이상의 탭(tap)들을 갖는다. 각각의 탭은 2차 권선(38) 종단들 사이에 있는, 2차 권선(38)의 하나의 턴에 접속된다. 내부 탭(60)은 2차 권선들을 2 권선부들(62 및 64)로 분리한다. 권선부(62)는 내부 탭(60) 및 2차 권선(38)의 제 1 말단, 또는 대안으로 다른, 외부 탭으로 형성된다. 유사하게, 권선부(64)는 내부 탭(60) 및 2차 권선(38)의 제 2 말단, 또는 대안으로 다른 외부 탭으로 형성된다. PEM(30)은 내부 탭(60)이 PEM(30)의 라인(152)에 접속되어 있는 상태로, 2차 권선(38)의 권선부(64)에 병렬로 접속된다. 하이브리드 변압기(18)의 전압 출력(Vout)은 단지 권선부(62) 양단의 전압이고만 동일하다.

[0016] 하이브리드 변압기(20)(도 6에 도시된)에서, 1차 권선(36)은 하나 이상의 탭들을 갖는다. 각각의 탭은 1차 권선(36)의 종단들 사이에 있는 1차 권선(36)의 턴에 접속된다. 내부 탭(70)은 1차 권선(36)을 두 권선부들(72 및 74)로 분리한다. 권선부(72)는 내부 탭(70) 및 1차 권선(36)의 제 1 말단, 또는 대안으로 다른 외부 탭으로 형성된다. 유사하게, 권선부(74)는 내부 탭(70) 및 1차 권선(36)의 제 2 말단, 또는 대안으로, 다른 외부 탭으로 형성된다. PEM(30)은 내부 탭(70)이 PEM(30)의 라인(152)에 접속되어 있는 상태로, 1차 권선(36)의 권선부(74)에 병렬로 접속된다. 권선부(72) 양단의 전압은 하이브리드 변압기(20)에 입력되는 전압(Vin)과 동일하다.

[0017] 본 발명에 따라 구성되는 하이브리드 변압기의 제 7 실시예는 도 7에 도시되고 참조 번호(66)로 지정된다. 하이브리드 변압기(66)는 하이브리드 변압기(66)가 PEM(31)을 갖는 것을 제외하고, 하이브리드 변압기(18)와 실질적으로 동일한 구조를 갖는다. 게다가, PEM(31)은 하이브리드 변압기(66)의 출력 단자들이 2차 권선(38)(또는 외부 탭)의 제 1 말단 및 PEM(31)으로부터의 출력 라인(170)에 접속되도록, 접속된다.

[0018] 본 발명에 따라 구성되는 하이브리드 변압기의 제 8 실시예는 도 8에 도시되고 참조 번호(68)로 지정된다. 하이브리드 변압기(68)는 하이브리드 변압기(68)가 PEM(31)을 갖는 것을 제외하고 하이브리드 변압기(20)과 실질적으로 동일한 구조를 갖는다. 게다가, PEM(31)은 하이브리드 변압기(68)의 입력 단자들이 1차 권선(36)(또는 외부 탭)의 제 1 말단 및 PEM(31)으로부터의 라인(170)에 접속되도록 접속된다.

[0019] 본 발명에 따라 구성되는 하이브리드 변압기의 제 9 실시예는 도 9에 도시되고 참조 번호(76)로 지정된다. 하이브리드 변압기(76)는 강자성 코어(86) 둘레에 감겨 있는 단일 1차 권선(80) 및 한 쌍의 2차 권선들(82, 84)을 갖는 전자기 변압기(78)를 포함한다. PEM(30)은 2차 권선(84)의 종단들에 접속된다.

[0020] 본 발명에 따라 구성되는 변압기의 제 10 실시예는 도 10에 도시되고 참조 번호(90)로 지정된다. 하이브리드 변압기(90)는 강자성 코어(100) 둘레에 감겨 있는 단일 2차 권선(94) 및 한 쌍의 1차 권선들(96, 98)을 갖는 전자기 변압기(92)를 포함한다. PEM(30)은 1차 권선(98)의 종단들에 접속된다.

[0021] PEM(30, 31)은 복수의 상이한 구성들 중 하나를 가질 수 있다. 그러나, 일반적으로, PEM(30, 31)은 보호 디바이스, 필터 및 제어 디바이스를 포함한다. PEM(30)의 두 상이한 구성들이 도 11 및 도 12에 도시되고 참조 번호들(30a, 30b)로 각각 지정된다. PEM(31)의 두 상이한 구성들은 도 13 및 도 14에 도시되고 참조 번호들(31a, 31b)에 각각 도시된다.

[0022] 이제 도 11을 참조하면, PEM(30a)은 보호 디바이스(108), 필터(110), VSC(112) 및 제어 디바이스(114)를 포함한다. VSC(112)는 DC 버스(120)에 병렬로 접속되는 스위칭 브릿지(116)를 포함하는 하프 브릿지 인버터(half bridge inverter)이다. DC 버스(120)로부터의 DC 전압은 스위칭 브릿지(116)에 의해 정현파 AC 전압으로 변환된다. 스위칭 브릿지(116)는 직렬로 접속되는 한 쌍의 스위칭 디바이스들(122)을 포함한다. 각각의 스위칭 디바이스(122)는 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(insulated gate bipolar transistor: IGBT) 및 역 병렬 다이오드(anti-parallel diode)일 수 있다. DC 버스(120)는 직렬로 접속되는 한 쌍의 커패시터들(126, 128)을 포함한다. 제 1 라인(152)은 스위칭 디바이스들(122) 사이에서 스위칭 브릿지(116)에 접속되고, 제 2 라인(154)은 커패시터들(126, 128) 사이에서 DC 버스(120)에 접속된다. 보호 디바이스(108) 및 필터(110)는 제 1 및 제 2 라인들(152, 154)에 접속된다. 제어 디바이스(114)는 스위칭 디바이스들(122)의 동작을 제어한다. DC 버스

(120)는 하이브리드 변압기의 DC 출력 단자들(22)에 접속된다.

- [0023] 이제 도 12를 참조하면, PEM(30b)은 보호 디바이스(108), 필터(110), VSC(140) 및 제어 디바이스(114)를 포함한다. VSC(140)는 DC 버스(146)에 병렬로 접속되는 제 1 및 제 2 스위칭 브릿지들(142, 144)을 포함하는 풀(full) 또는 하브-브릿지 인버터이다. DC 버스(146)로부터의 DC 전압은 제 1 및 제 2 스위칭 브릿지들(142, 144)에 의해 정현파 AC 전압으로 변환된다. 제 1 및 제 2 스위칭 브릿지들(142, 144)의 각각은 직렬로 접속되는 한 쌍의 스위칭 디바이스들(148)을 포함한다. 각각의 스위칭 디바이스(148)는 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(IGBT) 및 역 병렬 다이오드일 수 있다. DC 버스(146)는 하나 이상의 커패시터들(150)을 포함한다. 제 1 라인(152)은 스위칭 디바이스들 사이에 있는 제 1 스위칭 브릿지(142)에 접속되고 제 2 라인(154)은 스위칭 디바이스들(148) 사이에 있는 제 2 스위칭 브릿지(144)에 접속된다. 보호 디바이스(108) 및 필터(110)는 제1 및 제 2 라인들(152, 154)에 접속된다. 제어 디바이스(114)는 스위칭 디바이스들(148)의 동작을 제어한다. DC 버스(146)는 하이브리드 변압기의 DC 출력 단자들(22)에 접속된다.
- [0024] PEM(30a)은 하이브리드 변압기들(10, 14, 18)에서와 같은 2차 권선 구조에 이용되는데 선호될 수 있고, 반면에 PEM(30b)은 하이브리드 변압기들(12, 16, 20)에서와 같은 1차 권선 구조에서 이용되는데 선호될 수 있음이 인정되어야 한다. 다른 SCV 토폴로지(topology)들은 VSC(112) 및 VSC(140) 대신에 이용될 수 있음이 추가로 인정되어야 한다.
- [0025] 이제 도 13을 참조하면, PEM(31a)은 PEM(30b)와 유사하고 보호 디바이스(109), VSC(158), 필터(160) 및 제어 디바이스(114)를 포함한다. VSC(158)은 VSC(158)가 두 커패시터들(164, 166)을 구비하는 DC 버스(162)를 갖고 제 2 라인(154)이 커패시터들(164, 166) 사이에서 접속되는 점을 제외하고 VSC(140)과 실질적으로 동일한 구조를 갖는다. 제 3 라인(170)은 스위칭 디바이스들(148) 사이에 있는 제 2 스위칭 브릿지(144)에 접속된다. DC 버스(162)는 하이브리드 변압기의 DC 출력 단자들(22)에 접속된다. 보호 디바이스(109) 및 필터(160)는 제 1, 제 2 및 제 3 라인들(152, 154, 170)에 접속된다.
- [0026] 이제 도 14를 참조하면, PEM(31b)은 보호 디바이스(109), VSC(174), 필터(160), 및 제어 디바이스(114)를 포함한다. VSC(174)는 DC 버스(184)에 병렬로 접속되는 제 1, 제 2 및 제 3 스위칭 레그(leg)들(175, 178, 180)을 포함한다. 제 1, 제 2 및 제 3 스위칭 레그들(176 내지 180)의 각각은 직렬로 접속되는 한 쌍의 스위칭 디바이스들을 포함한다. 제어 디바이스(114)는 스위칭 디바이스들(186)의 동작을 제어한다. 각각의 스위칭 디바이스(186)는 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(IGBT) 및 역 병렬 다이오드일 수 있다. 그러나 다른 구성요소들 및 구성들은 각각의 스위칭 디바이스(186)에 대해 이용될 수 있다. 예를 들면, 병렬 접속 스위치들(IGBT 또는 기타) 및 다이오드들의 결합은 각각의 스위칭 디바이스(186)에 대해 이용될 수 있다. DC 버스(184)는 커패시터(188)를 포함하고 하이브리드 변압기의 DC 출력 단자들(22)에 접속된다. DC 버스(184)로부터의 DC 전압은 제 1, 제 2 및 제 3 스위칭 레그들(176 내지 180)에 의해 정현파 AC 전압으로 변환된다. 제 1 라인(152)은 보호 디바이스(109) 및 필터(160)를 통해 스위칭 디바이스들(186) 사이에 위치되는 제 1 스위칭 레그(176)에 접속된다. 제 2 라인(154)은 보호 디바이스(109) 및 필터(160)를 통해 스위칭 디바이스들(186) 사이에 있는 제 2 스위칭 레그(178)에 접속된다. 제 3 라인(170)은 보호 디바이스(109) 및 필터(160)를 통해 스위칭 디바이스들(186) 사이에 위치되는 제 3 스위칭 레그(180)에 접속된다.
- [0027] 이제 도 15 및 도 16을 참조하면, 필터들(110, 160)은 스위칭 디바이스들(122, 148, 186)의 스위칭의 결과로 고주파수 고조파들이 하이브리드 변압기들(10 내지 20, 66, 76, 90)의 출력 전압 및 이들의 전자기 변압기들의 1차 및 2차 권선들에서의 전류들에 유입되는 것을 방지하는데 도움을 준다.
- [0028] 필터(110)는 제 2 라인(154)에서 직렬로 접속되는 인덕터(190) 및 저항(192) 및 제 1 및 제 2 라인들(152, 154) 사이에 병렬로 접속되는 커패시터(194)를 포함한다.
- [0029] 필터(160)는 제 1, 제 2 및 제 3 라인들(152, 154, 170)에 각각 접속되는 인덕터들(200, 202, 204)을 포함한다. 커패시터(208)는 제 1 및 제 2 라인들(152, 154)에 병렬로 접속되고 커패시터(210)는 제 2 및 제 3 라인들(154, 170) 사이에서 각각 병렬로 접속된다.
- [0030] 필터들(110, 160)은 도시되고 기술된 토폴로지(topology)들과는 다른 토폴로지들을 가질 수 있음이 인정되어야 한다.
- [0031] 이제 도 17 및 도 18을 참조하면, 보호 디바이스들(108, 109)은 각각 임피던스(214) 및 전자 스위치(216)를 포함하는 고장 전류 제한 어셈블리(assembly)를 포함한다. 보호 디바이스(108)는 두 개의 스위치들(218, 220)을 추가로 포함하는데 반해, 보호 디바이스(110)는 세 개의 스위치들(218, 220, 222)을 추가로 포함한다. 스위치들

(218 내지 222)의 각각은 기계적 스위치, 전자 스위치 또는 하이브리드 기계/전자 스위치일 수 있다. 스위치들(218 내지 222) 및 전자 스위치(216)는 제어 디바이스(114)에 의해 제어된다.

[0032] 보호 디바이스(108)는 하이브리드 변압기들(10 내지 20) 내의 PEM(30)의 정상 동작 동안, 스위치(218)가 닫히고 스위치(220)가 개방되도록 동작한다. PEM(30)이 오기능하면, 스위치(218)를 개방하고 스위치(220)를 닫음으로써 우회로가 생성될 수 있다. 정상 전력 네트워크 동작 동안, 전자 스위치(216)가 개방되고 전류는 PEM(30)을 통해 흐른다. 네트워크 위상 대 접지 또는 위상 대 위상 고장 동안, 스위치(218)는 개방되고(반면에 스위치(220)는 개방된 상태로 유지된다) 전자 스위치(216)는 닫혀서, 고장 전류가 임피던스(214)를 통해 흐르도록 한다. 고장들 동안 임피던스(214)를 도입함으로써, 고장 전류는 변압기 및 상부에 있는 장비를 보호하도록 제한된다. 임피던스(214)는 저항성 또는 유도성 유형에 속할 수 있다.

[0033] 보호 디바이스(110)의 동작은 보호 디바이스(108)의 동작과 유사하다. 하이브리드 변압기들(66, 68)에서의 PEM(31)의 정상 동작 동안, 스위치들(218, 222)은 닫히고 스위치(220)는 개방된다. PEM(31)이 오기능하면, 스위치들(218, 222)을 개방하고 스위치(220)를 닫음으로써 우회로가 생성될 수 있다. 정상 전력 네트워크 동작 동안, 전자 스위치(216)는 개방되고 전류는 PEM(31)을 통해 흐른다. 네트워크 위상 대 접지 또는 위상 대 위상 고장 동안, 스위치들(218, 222)은 개방되고 전자 스위치(216)는 닫힘으로써, 고장 전류가 임피던스(214)를 통해 흐르도록 한다. 고장들 동안 임피던스(214)를 도입함으로써, 고장 전류는 변압기 및 상부에 있는 장비를 보호하도록 제한된다. 임피던스(214)는 저항성 또는 유도성 유형에 속할 수 있다.

[0034] 보호 디바이스(108 또는 109) 외에, 또는 대신에, 각각의 하이브리드 변압기(10 내지 20, 66, 68, 76 또는 90)의 제어 디바이스(114)는 단락 회로 고장들에 대해 보호하기 위해 VSC(112, 140, 158 또는 174)의 스위칭 디바이스들을 제어할 수 있다. 제어 디바이스(114)는 하이브리드 변압기의 입력 전압 및 출력 전류를 모니터링함으로써 스위칭 디바이스들을 제어한다. 출력 전류가 미리 결정된 한계를 초과함으로써, 출력에서 단락 회로 고장을 나타내거나, 입력 전압이 특정 레벨 이하로 강하함으로써 입력에서 단락 회로 고장을 표시하는 경우, 제어 디바이스(114)는 스위칭 디바이스들 모두의 펄스 폭 변조를 중단, 즉, 스위치 디바이스를 턴오프(turn off)(개방)한다.

[0035] 하이브리드 변압기들(12, 16, 20, 68)에서, VSC(112, 140, 158 또는 174)은 단락 회로 고장의 경우 고 전압을 견줄 수 있다. 제어 디바이스(114)는 VSC 양단의전압을 모니터링한다. VSC(140, 158 또는 174)가 이용되고 전압이 미리 결정된 레벨 이상으로 증가함으로써, 고장을 나타낼 때, 제어 디바이스(114)는 제 1 및 제 2 스위칭 브릿지들 내의 상부의 두 스위칭 디바이스들(또는 하부의 2 개의 스위칭 디바이스들)을 턴온함으로써(닫음으로써), VSC가 우회하게 된다.

[0036] 각각의 PEM(30 또는 31)에서, 제어 디바이스(114)는 관련된 메모리에 저장되고 펄스 폭 변조(PWM)를 이용하여 VSC(112, 140, 158 또는 174)를 제어하는 프로그램을 실행하기 위한 프로세서를 포함하고, 여기서 스위칭 디바이스들(112, 148 또는 186)은 평균 전압이 피크 전압과 듀티 사이클(duty cycle)의 곱, 즉, 펄스들의 "온" 및 "오프"의 곱인 일련의 전압 펄스들을 생성하도록 개방되고 닫힌다. 이 방식에서, 사인파는 도 19에 도시되는 바와 같이 일련의 가변 폭 양 및 음 전압 펄스들을 이용하여 근사화될 수 있다. 사인파의 위상 및 진폭은 PWM 패턴을 변경시킴으로써 변경될 수 있다.

[0037] 각각의 PEM(30 내지 31)에서, 제어 디바이스(114)는 VSC(112, 140, 158 또는 174)로부터 전달되는 유효 전력의 균형을 맞추고 무효 전력을 변압기 결함을 통해 부하로 제공함으로써 1차 측 역률을 개선시키기 위해 스위칭 브릿지(들)를 제어한다. 게다가, 각각의 VSC(112, 140, 158 또는 174)에서, 제어 디바이스(114)는 설정된 값에서의 하이브리드 변압기의 출력 전압 또는 기준 출력 전압(240V RMS와 같은)을 유지하여 명확한 정현파형이 되도록 한다. 그러므로, 전압 새그이 경우, 제어 디바이스(114)는 VSC(112, 140, 158 또는 174)의 전압 출력을 증가시키고 전압 스웰이 경우에 제어 디바이스(114)는 VSC(112, 140, 158 또는 174)의 전압 출력을 감소시킨다.

[0038] 하이브리드 변압기들(10 내지 20, 66, 68, 76, 90)의 각각에서, 제어 디바이스(114)는 지능형 전자 디바이스(intelligent electronic device: IED)일 수 있거나 IED를 구비한 인터페이스일 수 있고, 여기서 IED는 VSC(112, 140, 158, 또는 174) 외에도 하이브리드 변압기의 동작 양태들을 제어하고 모니터링한다. 그와 같은 IED(260)는 도 20에 하이브리드 변압기(10 내지 20, 66, 68, 76, 또는 90)에 장착되거나 부근에 위치하도록 도 20에 도시된다. IED(260)는 이용자 인터페이스, 프로세서, 메모리 및 통신 포트를 포함한다. VSC(112, 140, 158 또는 174) 및 이에 부속하는 디바이스들을 제어하는 것 외에도, IED(260)는 하이브리드 변압기의 동작을 제어하고 동작 정보를 통신 링크(264)를 통해 원격에 위치되는 제어 센터(262)에 전달하고, 통신 링크(264)는 물리 하드와이어드(hardwired) 링크, 위성 링크, 셀룰러 링크, 모뎀 또는 전화 라인 링크, 인터넷 링크 또는 임의의 다



른 무선 또는 광대역 또는 공유 로컬 대역 네트워크 링크일 수 있다. 예를 들면, 1차 및/또는 2차 권선들의 전류들, 전압들 및 온도들은 IED(260)와 통신하도록 접속되는 센서들에 의해 측정될 수 있다. IED(260)는 통신 링크(264)를 통해 이 전류들, 전압들, 및 온도들에 대한 값들을 제어 센터(262)에 주기적으로 및 계속해서 송신할 수 있고/있거나 상기 값들이 특정한 미리 결정된 한계들을 초과하는 경우 통신 링크(264)를 통해 정보들을 제어 센터(262)에 송신할 수 있다. 1차 권선 및/또는 2차 권선들에 대한 정보를 송신하는 것 외에, IED(260)는 통신 링크(264)를 통해 VSC(112, 140, 158 또는 174)의 동작에 대한 정보를 제어 센터(262)에 송신할 수 있다. 더욱이, IED(260)는 VSC의 동작을 변경시키기 위해 제어 센터(262)로부터의 제어 명령들을 수신하고 구현할 수 있다.

[0039] 제어 센터(262)와 통신하는 것 외에, IED(260)는 다른 IED들과 통신할 수 있다. 예를 들면, IED(260)는 동일한 전력 분배 네트워크의 일부인 다른 하이브리드 변압기들(10 내지 20, 66, 68, 76 또는 90)에 설치되는 다른 IED들(260)과 통신할 수 있다. IED들(260)은 서로 직접 또는 제어 센터(262)에 위치되는 데이터 서버(도시되지 않음)를 통해 통신할 수 있다. 전자의 경우에, IED들(260)은 무선 주파수 송수신기들, 유선 또는 무선 로컬 대역 네트워크(local area network: LAN) 또는 통신 버스를 통해 서로 직접 통신할 수 있다. 후자의 경우, 각각의 IED(260) 및 데이터 서버 사이의 통신은 통신 링크(264)를 통해 발생한다.

[0040] IED(260)는 IEC61850 표준을 지원할 수 있고, 그렇게 할 때, 전기 서브스테이션들에 대한 추상 객체 모델들 및 네트워크를 통해 이 모델들에 액세스하기 위한 방법을 규정할 수 있다. 모델들은 제조 메시지 사양(Manufacturing Message Specification: MMS), 일반 객체 지향 서브스테이션 이벤트들(Generic Object Oriented Substation Events: GOOSE), 일반 서브스테이션 상태 이벤트(Generic Substation Status Event: GSSE), 및 샘플링되어 측정되는 값들(Sampling Measured Values: SMV)를 포함하는, 다수의 프로토콜들로 매핑(mapping)될 수 있다. 이 프로토콜들은 고속 교환 이더넷을 이용하는 TCP/IP 네트워크들 및/또는 LAN들을 통해 운영될 수 있다.

[0041] 정보를 원격에 위치한 제어 센터에 송신하는데 IED를 이용하는 대신, 그렇게 송신하는데 송신기가 이용될 수 있다. 송신기들은 센서들에 접속될 수 있고 무선 또는 하드와이어드될 수 있는 통신 링크들을 통해서 센서들에 의해 측정된 값들을 제어 센터(262)와 같은 원격 위치들에 송신할 수 있다.

[0042] 하이브리드 변압기들(10 내지 20, 66, 68, 76 또는 90)의 각각에서, DC 버스(120, 146, 162, 또는 184)는 DC 전력을 센서들, 송신기들, 및 하이브리드 변압기의 동작과 관련되는 데이터를 모니터링하고 송신하는데 이용되는 다른 통신 디바이스들에 제공하도록 접속될 수 있다. DC 버스(120, 146, 162, 또는 184)는 또한 DC 전력을 제어 디바이스(114) 및/또는 IED(260)에 제공하도록 접속될 수 있다. 하이브리드 변압기의 애플리케이션에 따라, DC 버스는 이 애플리케이션과 관련되는 장비에 DC 전력을 제공하도록 접속될 수 있다.

[0043] 이제 도 21을 참조하면, 하이브리드 변압기(12a)의 제어 및 동작을 기술하는데 아래에서 이용될 전기 특성 라벨링(labelling)을 포함하는 하이브리드 변압기(12)(추가로 문자 "a"에 의해 지정된다)의 실시예의 더 자세한 세부도가 도시된다. 1차 권선(36)의 양의 종단은 라인(270)에 의해 전압원(272)(전압  $V_g$ 를 제공한다)에 접속되고, 반면에 1차 권선(36)의 음의 종단은 라인(274)에 의해 전압원(272)에 접속된다. 도 21에 도시된 실시예에서, 하이브리드 변압기(12a)는 VSC(30b)를 이용하고 저역 통과 필터(110)에 의해 1차 권선 구조에 접속된다. 스위칭 디바이스들(148)은 참조 기술자( $S_1$  내지  $S_4$ )에 의해 지정된다.

[0044] 하이브리드 변압기(12a)에서의 VSC(30b)는 도 22 내지 도 26에 도시된 제어 방식(278)을 이용하여 제어 디바이스(114)에 의해 제어될 수 있다. 제어 방식(278)은 제어기(280) 및 VSC(30b)의 상태-공간 모델("모델")(282)을 포함한다.

[0045] 제어기(280)는 명령 궤도 생성("궤도") 알고리즘(284), 피드백 제어("피드백") 알고리즘(286) 및 피드포워드 제어 및 교란 입력 압력 해제(피드포워드/압력 해제) 알고리즘(288)을 포함한다.  $V_0^*$ 의 명령 궤도는 다음과 같이 생성된다:

[0046] 
$$V_{s\_error} = V_s^* - V_s$$

[0047] 
$$V_{o\_preclamp} = (K_p + 1/s) \times V_{s\_error}$$

[0048] 
$$V_0^* = f_{sat}(V_{o\_preclamp})$$

[0049] 여기서  $V_{o\_preclamp}$ 는 PWM에 대한 도 23에서의 포화 블록의 입력에서의 전압이고, VSC(30b) 인버터의 제 1 및 제 2 스위칭 브릿지들(142, 144)의 각각은  $V_{tri}$ 를  $+V_{ref}$  및  $-V_{ref}$ 와 비교함으로써 개별적으로 제어된다. 그 결과에 따른 파형들은 다음과 같이 스위칭 디바이스들(148)을 제어하는데 이용된다:

[0050] 만일  $+V_{ref} > V_{tri}$  이면  $S_1$ 은 온되고  $S_2$ 는 오프된다

[0051] 그외에  $S_1$ 은 오프되고  $S_2$ 는 온된다

[0052] 만일  $-V_{ref} > V_{tri}$  이면  $S_3$ 은 온되고  $S_4$ 는 오프된다

[0053] 그외에  $S_3$ 은 오프되고  $S_4$ 는 온된다

[0054] 여기서:

[0055]  $V_{ref}$ 는 전압 기준이다.

[0056]  $V_{tri}$ 는 PWM 신호의 생성에 이용되는 삼각 파형의 전압이다.

[0057] 제어기(280)는 내부 인덕터 루프 및 외부 출력 전압 루프를 갖는 다단 제어기(cascaded controller)이다. 제어기(280)는 인덕터(190)의 등가의 직렬 저항(equivalent series resistance: ESR) 강항의 상태 피드백 결합 해제를 이용한다. 이 방법에서의 상태 결합을 무효화함으로써 단순 비례 이득( $K_a$ )이 인덕터 전류 루프를 형성하는데 이용되는 것이 가능하다.

[0058] 도 27에서, 모델(282)(추가로 문자 "a"에 의해 지정된다)은 간소화된 형태로 도시된다. 이 간소화된 도면은 입력 전압 결합 해제로 도시될 수 있다. 이 간소화된 도면에 있어서, 물리 시스템의 개방-루프 전달 함수는:

$$\frac{V_o(s)}{V_L^*(s)} = \frac{K_V}{(L_f \cdot s + \text{esr}_L) \cdot C_o s} \quad \text{이 된다.}$$

[0060] 명령 추적의 전달 함수는 다음과 같이 기술된다:

$$\frac{V_o}{V_o^*} = \frac{K_p \cdot K_a s + K_i K_a}{\frac{L_f \cdot C_o}{K_V} s^3 + C_o \cdot K_a s^2 + K_p \cdot K_a s + K_i K_a}$$

[0061]

[0062] 저 및 중간 주파수들에서, 명령 추적은 항상  $V_c/V_c^* = 1$ 이다. 중간에 있는 고/중간 및 고 주파수들에서, 명령 추적은  $V_c/V_c^* = 0$ 이다. 폐-루프 극들은  $K_p$ ,  $K_i$ , 및  $K_a$ 의 이득을 결정함으로써 원하는 장소에 배치될 수 있다.

[0063] 다단 제어기 포맷의 제어 성능을 향상시키기 위해서, 제어기(280)는 상태 명령 피드포워드를 추가로 이용한다. 저, 중간 및 고 주파수들에서, 명령 추적은 항상  $V_c/V_c^* = 1$ 이다. 그러므로, 원하는 AC 전압 조정은 진폭 및 위상에 있어서 영 또는 거의 영의 정상 상태 에러로 달성된다.

$$\frac{V_o}{V_o^*} = \frac{\frac{\hat{L}_f \cdot \hat{C}_o}{K_V} s^3 + \hat{C}_o \cdot K_a s^2 + K_p \cdot K_a s + K_i K_a}{\frac{L_f \cdot C_o}{K_V} s^3 + C_o \cdot K_a s^2 + K_p \cdot K_a s + K_i K_a}$$

[0064]

[0065] 제어기(280)를 갖는 하이브리드 변압기(12a)의 시뮬레이션은 Matlab Simulink를 이용하여 실행되었다. 제어 성능은 다음의 시뮬레이션 조건들 하에서 조사되었다:

[0066] 60Hz에서,  $V_g = 14400V$  & 60 Hz,  $N_p/N_s = 120$ , 부하 =  $1 + j1.885\Omega(5.2 + j9.82 \text{ p.u})$

- [0067]  $C_{dc} = 6000\mu F$ ,  $L_f = 200\mu H$ ,  $esr_{Lf} = 50m\Omega$ ,  $C_0 = 40\mu F$
- [0068] 스위칭 디바이스(104)(IGBT) 특성들:
- [0069]  $V_f = 2V$ (IGBT 전압 강하),
- [0070]  $T_f = 1\mu s$ (IGBT 하강 시간),  $T_t = 2\mu s$ (IGBT 한정 시간(tail time)),
- [0071]  $V_d = 1V$ (다이오드 전압 강하)
- [0072]  $f_{pwm} = 10kHz$ (컨버터 스위칭 주파수)
- [0073] 가정 : 1)  $C_{dc}$ 는  $V_g$ 의 30%로 미리 충전된다.
- [0074] 2) 변압기 2차 전압의 진폭만이 조정된다.
- [0075] 도 28에 도시되는 바와 같이, 과도 기간(290)에서, 우선 입력 전압( $V_g$ )에 이십 퍼센트(20%) 새그가 유입된다. 및나서 과도 기간(292)에서, 입력 전압( $V_g$ )은 자체의 정상 값으로 복귀되는 것이 가능하다. 그 후에, 과도 기간(294)에서, 입력 전압( $V_g$ )에 이십 퍼센트(20%) 스웰이 유입된다. 입력 전압( $V_g$ )은 다시 과도 기간(296)에서 복귀되는 것이 가능하다. 2차 전압( $V_s$ )에서의 이 변화들의 결과들이 도 29에 도시된다. 모든 과도 기간들 동안, 하이브리드 변압기(12a)는 매우 양호한 진폭 조정 성능을 나타낸다. 도 30은 VSC(30b)의 출력 전압의 조정 성능을 도시한다. 제어기(280)를 이용하면, 매우 양호한 AC전압 조정이 달성된다. 이상적으로, VSC(30b)의 DC 버스 전압(도시되지 않음)은 일정하게 유지되는데, 왜냐하면 VSC(30b)가 단지 무효 전력만을 제공하기 때문이다. 그러나, 시뮬레이션에서, 스위칭 디바이스들(148)(IGBT)는 스위칭 및 전도 손실들을 발생시킨다. 손실은 또한 필터 인덕터(190)의 ESR로 인해 필터 인덕터(190)에서 발생한다. 그러므로, 요컨대, DC 버스 전압의 전압 강하는 스위칭 손실들, 전도 손실들, 및 필터 인덕터(190)의 ESR로부터의 손실들의 결합으로 인해 발생한다.
- [0076] 단상 하이브리드 변압기들(10 내지 20, 66, 68, 76, 90)의 각각의 경우, 하이브리드 변압기들 중 세 개는 3-상 하이브리드 변압기를 형성하기 위해 결합될 수 있다. 접속의 개요도가 도 31에 도시된다. 1차 권선들은 델타( $\Delta$ ) 구성 아니면 와이(W) 구성으로 서로 접속될 수 있고, 2차 권선들은 델타 또는 와이 구성으로 서로 접속될 수 있다. 세 개의 단상 하이브리드 변압기들이 서로 접속되어 있으므로, 제어 전략에 변화를 요구하지 않는다. 각각의 하이브리드 변압기는 다른 2개의 변압기들과 독립적으로 동작한다. 도 31에서, 각각의 하이브리드 델타 및 와이 구성들 모두에 대해, u1은 위상 A(소스)에 접속되고, v1은 위상 B(소스)에 접속되고 w1는 위상 C(소스)에 접속되고, u2, v2 및 w2는 그에 대응하여 부하 측에 접속된다. 델타 구성에서, u1'은 위상 B(소스)에 접속되고, v1'은 위상 C(소스)에 접속되고 w1'은 위상 A(소스)에 접속되고 u2', v2' 및 w2'는 그에 대응하여 부하 측에 접속된다. 와이 구성에서, u1', v1' 및 w1'는 중립에 접속되고 u2', v2' 및 w2'는 그에 대응하여 부하 측에 접속된다.
- [0077] 3-상 하이브리드 변압기에 대한 3개의 별개의 PEM들(및 VSC들)을 갖는 대신, 단일 집적 PEM(및 VSC)은 3-상 하이브리드 변압기에 제공될 수 있다. 단상 하이브리드 변압기들(10 내지 20, 66, 68, 76, 90)의 각각의 3상 버전에는 단일 집적 PEM(및 VSC)이 제공될 수 있다. 이의 예들은 도 32 내지 도 38에 도시된다.
- [0078] 이제 도 32를 참조하면, 3-상 전자기 변압기(302) 및 PEM(304)을 포함하는 3-상 하이브리드 변압기(300)가 도시된다. 하이브리드 변압기(300)는 실질적으로 단일 집적 PEM(및 VSC)를 갖는 하이브리드 변압기(18)의 3상 버전이다. 전자기 변압기(302)는 강자성 코어(306)에 장착되는 세 개의 1차 권선들(36a,b,c) 및 세 개의 2차 권선들(38a, 38b, 38c)을 포함한다. PEM(304)은 도 33에 도시되고 DC 버스(316)에 병렬로 접속되는 3개의 스위칭 레그들(308, 310, 312)을 갖는 VSC를 포함한다. 스위칭 레그들(308 내지 312)의 각각은 직렬로 접속되는 한 쌍의 스위칭 디바이스들(318)을 포함한다. 제어 디바이스(320)는 스위칭 디바이스들(318)의 동작을 제어한다. 각각의 스위칭 디바이스(318)는 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(IGBT) 및 역 병렬 다이오드일 수 있다. 그러나 각각의 스위칭 디바이스(318)에 대해 다른 구성요소들 및 구성들이 이용될 수 있다. 예를 들면, 병렬 접속된 스위치들(IGBT 또는 다른 스위치들) 및 다이오드들의 결합은 각각의 스위칭 디바이스(318)에 대해 이용될 수 있다. DC 버스(316)는 커패시터들(322, 324)을 포함한다. DC 버스(316)로부터의 DC 전압은 스위칭 레그들(308 내지 312)에 의해 상이한 위상들의 정현 AC 전압들로 변환된다. 필터(328)는 하나의 측 상의 2차 권선들(38) 및 다른 측 상의 DC 버스(316) 사이에서 접속된다. 내부 탭들(60a, 60b, 60c)은 라인들(a1, b1, c1)에 의해 각각 중립 라

인(N)에 접속되고, 중립 라인(N)은 커패시터들(322, 324) 사이에서, PEM(304)의 DC 버스(316)에 및 출력 부싱(output bushing)(330)에 접속된다. 이 방식에서, 2차 권선들(38)은 와이 구성으로 접속된다. 2차 권선들(38)의 종단들(또는 외부 탭들)은 라인들(a2, b2, c2)에 의해 각각 필터(328)를 통해 스위칭 레그들(308 내지 312)의 노드들에 접속되고, 여기서 각각의 노드는 스위칭 디바이스들(318) 사이에 위치된다. 필터(328)는 고주파수 고조파들이 스위칭 디바이스들(318)의 스위칭의 결과로 변압기(300)의 출력 전압들 및 1차 및 2차 권선들(36, 38)에서의 전류들로 유입되는 것을 방지하는데 도움을 준다. 필터(328)는 필터(160)에서의 방식과 유사한 방식으로 배열되는 인덕터들 및 선택적으로 커패시터들을 포함한다.

[0079] 도시되지 않을지라도, PEM(304)은 3상 애플리케이션에 적합하다는 것을 제외하고 보호 디바이스와 유사한 구조를 갖는 보호 디바이스를 포함할 수 있다. PEM(304)은 제 4 스위칭 레그를 가질 수 있고 중립 라인은 스위칭 디바이스들 사이에서 제 4 스위칭 레그에 접속될 수 있음이 또한 인정될 수 있어야 한다.

[0080] 도시되지 않을지라도 PEM(304)이 1차 권선들 및 이의 탭에 접속되는 점을 제외하고, 3-상 하이브리드 변압기(300)과 동일한 구조를 갖는 3-상 하이브리드 변압기가 제공될 수 있다. 그와 같은 변압기는 실질적으로 단일 집적 PEM(및 VSC)을 갖는 하이브리드 변압기(20)의 3상 버전이다.

[0081] 이제 도 34를 참조하면, 하이브리드 변압기(301)가 PEM(304)에 접속되는 임의의 탭들을 가지지 않는 점을 제외하고 하이브리드 변압기(300)와 실질적으로 동일한 구조를 갖는 3-상 하이브리드 변압기가 도시된다. 하이브리드 변압기(301)는 실질적으로 단일 집적 PEM(및 VSC)을 갖는 하이브리드 변압기(10)의 3상 버전이다.

[0082] 도시되지 않을지라도 PEM(304)이 내부에 있는 1차 권선들에 접속되는 것을 제외하고, 3-상 하이브리드 변압기(301)와 동일한 구조를 갖는 3-상 하이브리드 변압기가 제공될 수 있다. 그와 같은 변압기는 실질적으로 단일 집적 PEM(및 VSC)을 갖는 하이브리드 변압기(12)의 3상 버전이다.

[0083] 이제 도 35를 참조하면, 3-상 전자기 변압기(302) 및 PEM(342)을 포함하는 3-상 하이브리드 변압기(340)가 도시된다. 하이브리드 변압기(340)는 실질적으로 단일 집적 PEM(및 VSC)를 갖는 하이브리드 변압기(66)의 3상 버전이다. 전자기 변압기(302)는 강자성 코어(306)에 장착되는, 3개의 1차 권선들(36a, 36b, 36c) 및 3개의 2차 권선들(38a, 38b, 38c)를 포함한다. PEM(342)은 도 36에 도시되고 DC 버스(358)에 병렬로 접속되는 7개의 스위칭 레그들(344, 346, 348, 350, 352, 354, 356)을 포함한다. 스위칭 레그들(344 및 356)의 각각은 직렬로 접속되는 한 쌍의 스위칭 디바이스들(362)을 포함한다. 제어 디바이스(370)는 스위칭 디바이스들(362)의 동작을 제어한다. 각각의 스위칭 디바이스(362)는 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(IGBT) 및 역 병렬 다이오드일 수 있다. 그러나 다른 구성요소들 및 구성들은 각각의 스위칭 디바이스(362)에 대해 이용될 수 있다. 예를 들면, 병렬 접속된 스위치들(IGBT 또는 그와 다른 스위치) 및 다이오드들의 결합은 각각의 스위칭 디바이스(362)에 대해 이용될 수 있다. DC 버스(358)로부터의 DC 전압은 스위칭 레그들(344 내지 356)에 의해 상이한 위상들의 정현 AC 전압들로 변환된다. 필터(366)는 한 측에 있는 2차 권선들(38) 및 다른 한 측에 있는 DC 버스(358) 사이에서 접속된다. 필터(366)를 통해 접속되는 라인들(a1, b1, c1)은 2차 권선들(38) 상의 탭들(60)을 스위칭 레그들(346, 350, 354)의 노드들에 각각 접속시키고, 여기서 각각의 노드는 스위칭 디바이스들(362) 사이에 위치된다. 라인들(a2, b2, c2)은 2차 권선들(38)의 종단들을 스위칭 레그들(348, 352, 356)의 노드들에 접속시키고, 여기서 각각의 노드는 스위칭 디바이스들(362) 사이에 위치된다. 라인(N)은 출력 부싱(368)을 스위칭 디바이스들(362) 사이에 위치되는 스위칭 레그(344)의 노드에 접속시킨다. 출력 부싱(368)은 부하의 중립에 접속하도록 적응된다. 필터(366)는 고주파수 고조파들이 스위칭 디바이스들(362)의 결과로서 변압기(340)의 출력 전압들 및 1차 및 2차 권선들(36, 38)에서의 전류들에 유입되는 것을 방지하는데 도움을 준다. 필터(366)는 3상인 점을 제외하고 필터(160)에서의 방식과 유사한 방식으로 배열되는 인덕터들 및 선택적으로 커패시터들을 포함한다.

[0084] 도시되지 않을지라도, PEM(342)은 3상 애플리케이션에 적응되는 것을 제외하고 보호 디바이스(109)와 유사한 구조를 갖는 보호 디바이스를 포함할 수 있다.

[0085] 3-상 하이브리드 변압기(340)는 단지 7개만의 스위칭 레그들만을 갖는 이점을 갖는다. 3-상 다용도 변압기(340)에서, 3상들에 대한 스위칭 레그들(344 내지 356)은 공통 DC 버스(358)를 공유한다. 이 배열은 3상들에 대한 스위칭 레그들(344 내지 356)이 도시된 바와 같이, 공통 중립 위상 레그(라인(N))를 공유할 것을 요구한다. 라인(N)은 개별 위상 전류들(라인들 A, B, C)보다 더 클 수 있는 중립 전류를 운반하도록 크기가 정해진다. 게다가, 스위칭 레그(344) 내의 스위칭 디바이스들(362)은 더 높은 전류를 운반하도록 구성되어야만 한다. 스위칭 레그들(344 내지 356)의 변조 지표들은 위상 레그들 사이에 적절한 전압 차들을 위치하기 위해, 각각 상이하다. DC 버스(358)의 전압은 가능한 불균형들을 설명하기 위해 단상 VSC들(158, 174)의 DC 버스들(162, 184)에서의 전압들보다 더 크다.



- [0086] 도시되지 않을지라도 3-상 하이브리드 변압기는 PEM(342)이 1차 권선들 및 이 내의 탭들에 접속되는 것을 제외하고, 3-상 하이브리드 변압기(340)와 동일한 구조를 갖는 3-상 하이브리드 변압기가 제공될 수 있다. 그와 같은 변압기는 실질적으로 단일 집적 PEM(및 VSC)를 구비한 하이브리드 변압기(68)의 3상 버전이다.
- [0087] 이제 도 37을 참조하면, 3-상 전자기 변압기(375) 및 PEM(376)을 포함하는 3-상 하이브리드 변압기(374)가 도시된다. 하이브리드 변압기(374)는 실질적으로 단일 집적 PEM(및 VSC)을 갖는 하이브리드 변압기(76)의 3상 버전이다. 전자기 변압기(375)는 강자성 코어(377)에 장착되는 3개의 1차 권선들(80a, 80b, 80c), 3개의 주 2차 권선들(82a, 82b, 82c) 및 3개의 보조 2차 권선들(84a, 84b, 84c)을 포함한다. 설명의 편의를 위해, 주 2차 권선들(82a, 82b, 82c)는 와이 구성으로 접속되는 것으로 도시된다. 그러나, 주 2차 권선들(82a, 82b, 82c)은 대안으로 델타 구성으로 접속될 수 있음이 인정되어야 한다. 보조 2차 권선들(84a, 84b, 84c)은 나타낸 바와 같이, 와이 아니면 델타 구성으로 접속될 수 있다.
- [0088] PEM(376)은 도 38에 도시되고 나타낸 바와 같이, 델타 또는 와이 구성으로 접속될 수 있는 보조 2차 권선들(84)에 접속되는 VSC(378)를 포함한다. VSC(378)은 보조 2차 권선들이 델타 구성으로 접속되는 경우 3개의 스위칭 레그들(380, 381, 382)을 갖는다. 보조 2차 권선들(84)이 와이 구성으로 접속되는 경우, 4차 레그(384)가 추가로 포함될 수 있다. 스위칭 레그들(380 내지 384)의 각각은 직렬로 접속되고 각각 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(IGBT) 및 역 병렬 다이오드일 수 있는, 한 쌍의 스위칭 디바이스들(385)을 포함한다. 제어 디바이스(386)는 스위칭 디바이스들(385)의 동작을 제어한다. 스위칭 레그들(380 내지 384)은 커패시터(388)를 포함하는 DC 버스(387)와 병렬로 접속된다. DC 버스(387)로부터의 DC 전압은 스위칭 레그들에 의해 상이한 위상들의 정현 AC 전압들로 변환된다. 필터(389)는 보조 2차 권선들(84) 및 VSC(78) 사이에서 접속된다. 필터(389)는 고주파수 고조파들이 스위칭 디바이스(385)의 스위칭의 결과로 변압기(374)의 출력 전압들 및 1차 및 2차 권선들(80 내지 84)에서의 전류들로 유입되는 것을 방지하는데 도움을 준다. 필터(389)는 필터(160)에서의 방식과 유사한 방식으로 배열되는 인덕터들 및 선택적으로 커패시터들을 포함한다.
- [0089] 도시되지 않을지라도, 실질적으로 단일 집적 PEM(및 VSC)을 갖는 하이브리드 변압기(90)의 3상 버전인 다른 3-상 하이브리드 변압기가 제공될 수 있다. 이 변압기에서, 전자기 변압기는 강자성 코어에 장착되는 3개의 주 1차 권선들, 3개의 보조 1차 권선들 및 2차 권선들을 갖는다. 이 변압기는 PEM(376)이 보조 1차 권선들에 접속되는 것을 제외하고, PEM(376)을 이용할 수 있다. PEM(376)은 자신이 하이브리드 변압기(374)에서의 보조 2차 권선들(84)에 접속되는 것과 동일한 방식으로 보조 1차 권선들에 접속된다.
- [0090] 이제 도 39를 참조하면, 3-상 전자기 변압기(392) 및 PEM(394)을 포함하는 3-상 하이브리드 변압기(390)가 도시된다. 전자기 변압기(392)는 전압원에 접속하기 위한 3개의 1차 권선들(312a, 312b, 312c)을 포함한다. 각각의 1차 권선(32)의 경우, 주 2차 권선(400) 및 보조 2차 권선(402)이 있다. PEM(394)은 도 40에 도시되고 제 1 및 제 2 브릿지들(406, 408) 사이에서 병렬로 접속되는 DC 버스(404)를 포함한다. 제 1 브릿지(406)는 표시된 바와 같이, 델타 또는 와이 구성으로 접속될 수 있는 보조 2차 권선들(402)에 접속된다. 제 1 브릿지(402)는 보조 2차 권선들(402)이 델타 구성으로 접속되는 경우 3개의 스위칭 레그들(412, 414, 416)을 갖는다. 보조 2차 권선들(402)이 와이 구성으로 접속되는 경우, 제 4 레그(418)가 추가로 포함된다. 제 2 브릿지(408)는 4개의 스위칭 레그들(420, 422, 424, 426)을 갖는다. 스위칭 레그들(412 내지 426)의 각각은 직렬로 접속되는 한 쌍의 스위칭 디바이스들(432)을 포함하고, 스위칭 디바이스들 각각은 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(IGBT) 및 역 병렬 다이오드일 수 있다. DC 버스(404)는 커패시터(434)를 포함한다.
- [0091] 제 1 필터(440)는 하나의 측 상의 보조 2차 권선들 및 다른 측 상의 스위칭 레그들(412 내지 418) 사이에서 접속된다. 2차 필터(442)는 하나의 측 상의 스위칭 레그들(420 내지 426) 및 다른 측 상의 주 2차 권선들(400) 및 부하의 중립 사이에서 접속된다. 제 1 필터(440)를 통해 접속되는 라인들(a1', b1', c1')은 보조 2차 권선들(402)을 스위칭 레그들(412 내지 418)의 노드들에 각각 접속시키고, 여기서 각각의 노드는 스위칭 디바이스들(432) 사이에 위치된다. 필터(442)를 통해 접속되는 라인들(a1, b1, c1)은 주 2차 권선들(400)을 스위칭 레그들(422 내지 426)의 노드들에 접속시키고, 여기서 각각의 노드는 스위칭 디바이스들(432) 사이에 위치된다. 라인(N)은 출력 부싱(46)을 필터(442)를 통해 스위칭 디바이스들(432) 사이에 위치되는 스위칭 레그(420)의 노드에 접속시킨다. 출력 부싱(446)은 부하의 중립에 접속하도록 적응된다. 제 1 및 제 2 필터들(440, 442)은 고주파수 고조파들이 스위칭 디바이스들(432)의 스위칭의 결과로 변압기(390)의 출력 전압들 및 1차 및 2차 권선들(312, 400, 402)에서의 전류들에 유입되는 것을 방지하는데 도움을 준다. 제 1 및 제 2 필터들(440, 442) 각각은 3상들인 것을 제외하고, 필터(160)에서의 방식과 유사한 방식으로 배열되는 인덕터들 및 선택적으로 커패시터들을 포함한다.

- [0092] 또한 고조파 필터링을 제공하고 변압기 결합을 통해 무효 전력을 부하에 제공함으로써 1차 측 역률을 개선하는 것과 같이, 다른 특징들을 선택적으로 제공하는 동안, 제어 디바이스(450)는 DC 버스(404)의 전압을 조정하기 위해 제 1 브릿지(406)를 제어한다. 제어 디바이스(450)는 설정된 값 또는 기준 출력 전압에서 변압기(390)의 출력 전압을 유지하고 명확한 정현 파형이 되도록 제 2 브릿지(408)를 제어한다. 그러므로, 전압 새그의 경우, 제어 디바이스(450)는 PEM(394)의 전압 출력을 증가시키고, 전압 스웰의 경우, 제어 디바이스(450)는 PEM(394)의 전압 출력을 감소시킨다.
- [0093] 도시되지 않을지라도 3-상 다용도 변압기(390)는 PEM(394)이 접속되는 주 및 부속 1차 권선들을 포함하는 것을 제외하고, 3-상 다용도 변압기(290)와 동일한 구조를 갖도록 제공된다.
- [0094] 상술한 3-상 하이브리드 변압기들에서, 제어 디바이스(들)는 지능형 전자 디바이스(IED)일 수 있거나 IED와 인터페이스할 수 있고, 여기서 IED는 VSC(들) 외에 하이브리드 변압기의 동작 양태들을 제어하고 모니터링한다. 그와 같은 IED는 상술한 IED(260)와 실질적으로 동일할 수 있고 실질적으로 동일하게 동작할 수 있다.
- [0095] 본 발명의 하이브리드 변압기는 다수의 이점들을 제공한다. PEM은 하이브리드 변압기의 1차 측에서의 역률을 제어하도록 동작가능한하다. 반대로, 종래의 변압기의 1차 측에서의 역률은 부하에 좌우된다. 게다가, PEM은 입력 전압에서의 새그 또는 스웰의 경우 하이브리드 변압기의 출력 전압에서의 변동을 감소시키도록 동작가능한하다. 하이브리드 변압기는 모든 필요한 무효 전력을 발생시키고, 따라서 전압원은 단지 유효 전력을 부하에 제공하기 때문에, 하이브리드 변압기의 입력 전류는 또한 종래의 변압기의 전류보다 더 적다. 하이브리드 변압기는 데이터 센터들, 선박 추진 시스템들, 자동차 제조 설비들, 제약 공장들, 병원들, 고분자 처리 공장들, 제지 공장들, 풍력 발전 설비들에서 이용될 수 있다.
- [0096] 도 41(a)에서, 역률 보정을 위한 종래의 전력 시스템(550)이 도시된다. 전력 시스템(550)은 종래의 전자기 변압기(560), 및 스위칭가능한 커패시터 뱅크(570)를 포함한다. 커패시터 뱅크(570)는 부하 역률 보정에 필요한 무효 전력을 제공하기 위해 증가하는 단계(incremental step)들에 의해서 스위칭된다. 이 방법은 느린 응답 및 큰 풋프린트(footprint)를 특징으로 한다. 도 41(a)에 도시된 하이브리드 변압기(10 내지 20, 66, 68, 76 또는 90)는 역률 보정에 필요한 무효 전력 출력의 연속 및 고속 변화를 제공한다. 이는 더 적은 커패시터 정격 및 제한된 풋프린트를 필요로 하는 통합 해법을 제공한다.
- [0097] 도 42에서, 두 병렬 라인들(630 및 640)을 이용하여 두 네트워크들(610 및 620)을 접속시키는 전력 시스템에 제공된다. 실제로, 병렬 라인들은 동일한 임피던스를 가지지 않으므로 한 라인에서의 전력 플로우는 다른 라인에서의 플로우보다 더 크다. 중량의 부하 조건 하에서, 라인들(630, 640) 중 하나는 열적 과부하를 겪게 되어, 라인 새그들 및 기계적 응력들이 발생될 수 있다. 하이브리드 변압기(10 내지 20, 66, 68, 76 또는 90)가 라인(630)과 직렬로 배치될 때, 이는 출력 전압에 대한 위상 천이를 가함으로써 라인(630)을 통한 전력 플로우의 제어를 가능하게 한다. 하이브리드 변압기(10 내지 20, 66, 76 또는 90)는 라인들(630 및 640) 모두와 직렬로 접속되고 상기 경로상에서의 전력 플로우를 제어할 수 있다.
- [0098] 도 43(a)에서, 데이터 센터에 대한 종래의 전력 시스템(700)이 도시된다. 전력 시스템(700)은 종래의 전자기 변압기(702), 종래의 중단 무정전 전원장치(uninterruptible power supply: UPS)(704), 배터리 뱅크(706) 및 정류기(708)를 포함한다. UPS(704) 및 변압기(702)는 AC 전압원에 접속되고 적합한 AC 전력을 AC 부하들에 제공한다. UPS(704)는 전압원의 고장의 경우 AC 전력을 제공하기 위해 배터리 뱅크(706)에 접속된다. 정류기(708)는 적합한 AC 전력을, 컴퓨터들과 같은 DC 부하들에 전력을 공급하는데 이용되는 DC 전력으로 변환한다.
- [0099] 종래의 전력 시스템(700)은 스위치(28)를 통해 하이브리드 변압기의 DC 출력 단자들(22)에 걸쳐 접속되는 배터리 뱅크(26)를 갖는 하이브리드 변압기(10 내지 20, 66, 68, 76 또는 90)에 의해 대체될 수 있다. 도 43(b)에 도시되는 바와 같이, DC 부하들은 하이브리드 변압기(10 내지 20, 66, 68, 76 또는 90)의 DC 출력 단자들에 접속된다. 정상 상태들 하에서, 배터리 뱅크(26)는 완전 충전으로 유지되지만 스위치(28)는 개방된다. DC 전력은 PEM(30 또는 31)으로부터 DC 부하들로 제공된다. 전력 공급 정지(power outage)의 발생 시에, 스위치(28)는 닫히고 DC 전력은 AC 전력이 복구되거나 국지적인 발전기 유닛이 시작될 때까지 배터리 뱅크(26)로부터 DC 부하들로 공급된다.
- [0100] 배터리 뱅크(26)를 가지는 하이브리드 변압기(10 내지 20, 66, 68, 76 또는 90)는 종래의 전력 시스템(700)과 동일한 이점들을 제공하지만, 그러나 더 효율적으로 더 적은 장비로 제공한다.
- [0101] 당업자에 의해 인정되고 상술한 바와 같이, 본 발명은 상술한 하이브리드 변압기들을 제어 및 모니터링하는 방법의 형태로 구현되거나 상기 형태를 취할 수 있고, 컴퓨팅 디바이스 또는 시스템은 상기 방법을 실행하도록 구성

되는 프로그램 코드를 가지며, 컴퓨터 이용가능한 또는 컴퓨터 판독가능한 매체 상에서의 컴퓨터 프로그램 제품은 매체에서 구현되는 컴퓨터 이용가능한 프로그램 코드를 갖는다. 컴퓨터 이용가능한 또는 컴퓨터 판독가능한 매체는 명령 실행 시스템, 장치 또는 디바이스에 의해 이용되도록 또는 상기 시스템, 장치 또는 디바이스와 함께 상기 프로그램을 포함, 저장, 통신, 전파 또는 운반할 수 있는 임의의 매체일 수 있고, 예를 들면, 그렇지만 제한하지 않게, 전자, 자기, 광, 전자기, 적외선 또는 반도체 시스템, 장치, 디바이스 또는 전파 매체일 수 있고, 또는 심지어 프로그램이 인쇄되어 있는 종이 또는 다른 적절한 매체일 수 있다. 컴퓨터 판독가능한 매체의 더욱 구체적인 예들(철저하지 않은 목록)은: 휴대용 컴퓨터 디스켓, 하드 디스크, 랜덤 액세스 메모리(random access memory: RAM), 판독 전용 메모리(read only memory: ROM), 소거가능한 프로그래밍가능한 판독 전용 메모리(erasable programmable read-only memory: EPROM 또는 플래시 메모리), 광 섬유, 휴대용 콤팩트 디스크 판독 전용 메모리(CD-ROM), 광 저장 디바이스, 인터넷 또는 인트라넷을 지원하는 매체와 같은 송신 매체, 또는 자기 저장 디바이스를 포함할 것이다. 본 발명의 동작들을 실행하기 위한 컴퓨터 프로그램 코드 또는 명령들은 본 발명이 이전에 기술된 기술 결과들을 달성하는 것이 가능하다면 임의의 적절한 프로그래밍 언어로 기록될 수 있다. 프로그램 코드는 전적으로 이용자의 계산 디바이스에서, 부분적으로 단독 소프트웨어 패키지로, 이용자의 계산 디바이스에서, 부분적으로 이용자의 컴퓨터에서, 및 부분적으로 원격 컴퓨터 또는 전적으로 원격 컴퓨터 또는 서버에서 실행될 수 있다. 후자의 시나리오에서, 원격 컴퓨터는 로컬 대역 네트워크(LAN) 또는 광대역 네트워크(WAN)를 통해 이용자의 컴퓨터에 접속될 수 있거나, 외부 컴퓨터에 접속이 행해질 수 있다(예를 들면, 인터넷 서비스 공급자를 이용한 인터넷을 통해).

[0102] 본 발명의 이전의 예시적인 실시예(들)의 기술은 철저하기 보다는 단지 설명적인 것으로 의도됨이 이해되어야 한다. 당업자들은 첨부항들에 의해 규정된 바와 같은 본 발명의 정신 및 이의 범위를 벗어나지 않고 개시된 특허 주제의 실시예(들)에 대한 임의의 추가들, 삭제들 및/또는 수정들을 행할 수 있다.

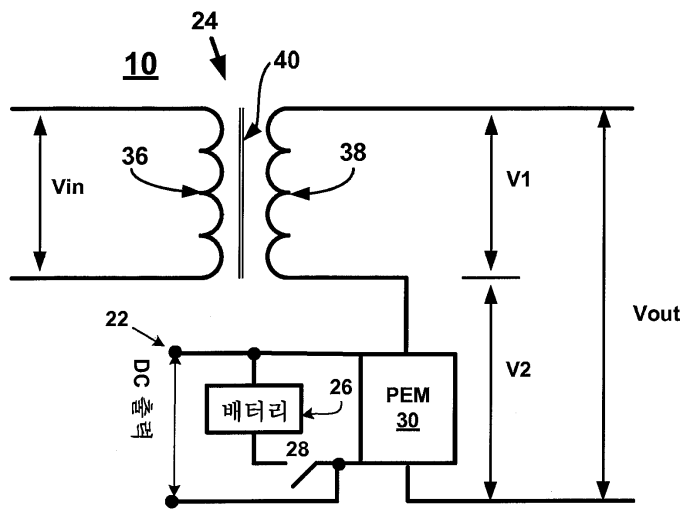
### 부호의 설명

[0103] 10, 12, 14, 16, 18, 20, 66, 68, 76, 90: 하이브리드 변압기

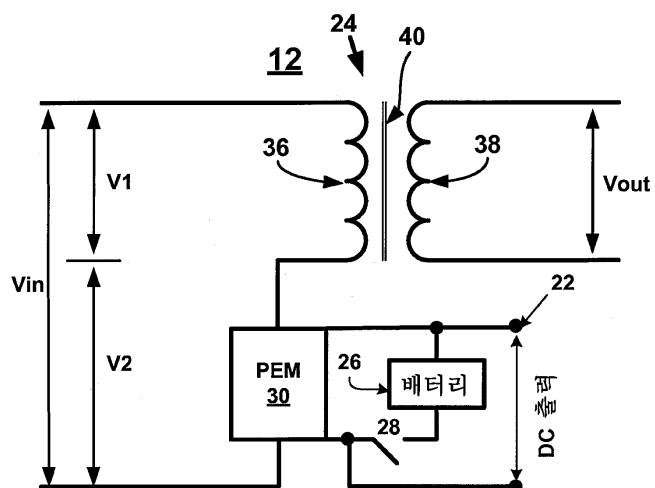
44, 52: 전압 분배기	46, 48: 레지스터
108, 109: 보호 디바이스	110, 160, 328: 필터
114, 450: 제어 디바이스	116: 스위칭 브릿지
122: 스위칭 디바이스	146, 316: DC 버스
150, 194, 208, 322, 324: 커패시터	190: 인덕터
192: 저항	
300: 3-상 하이브리드 변압기	302: 3-상 전자기 변압기
390: 3상 다용도 변압기	560: 전자기 변압기
570: 스위칭가능한 커패시터 뱅크	

도면

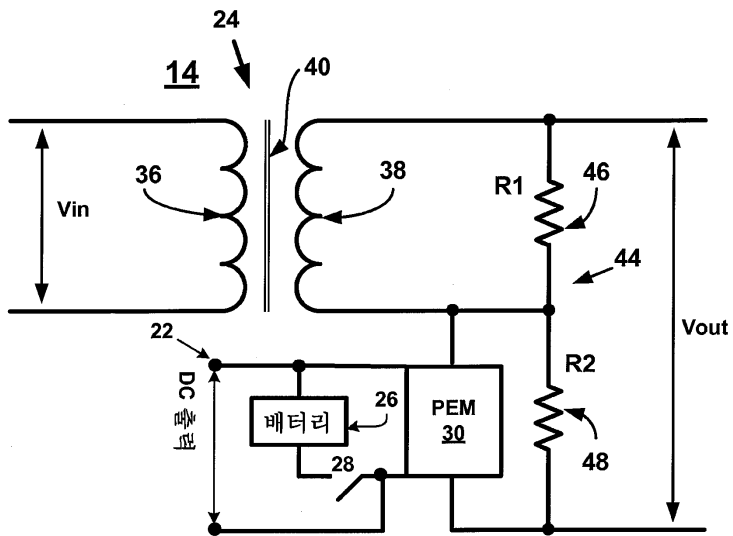
도면1



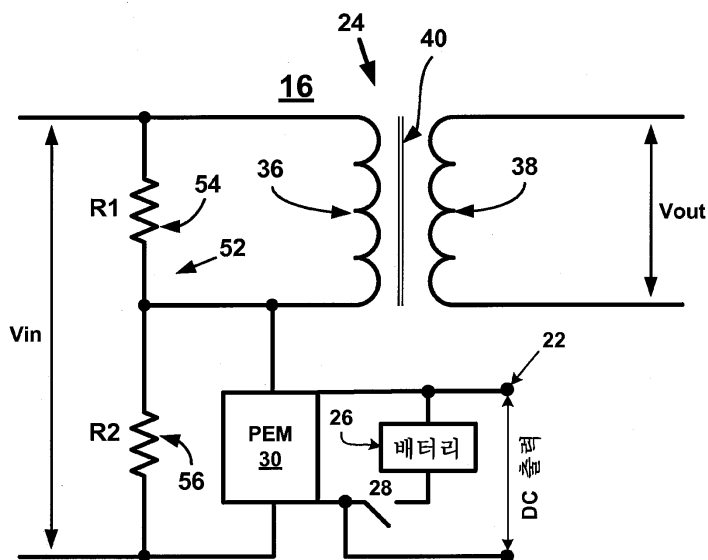
도면2



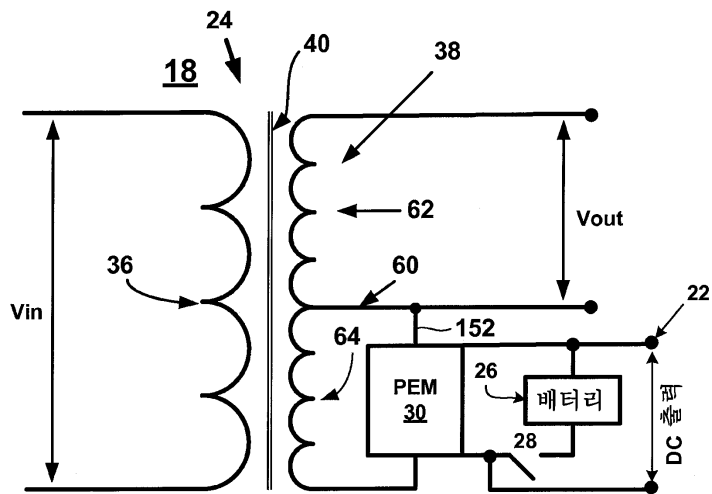
도면3



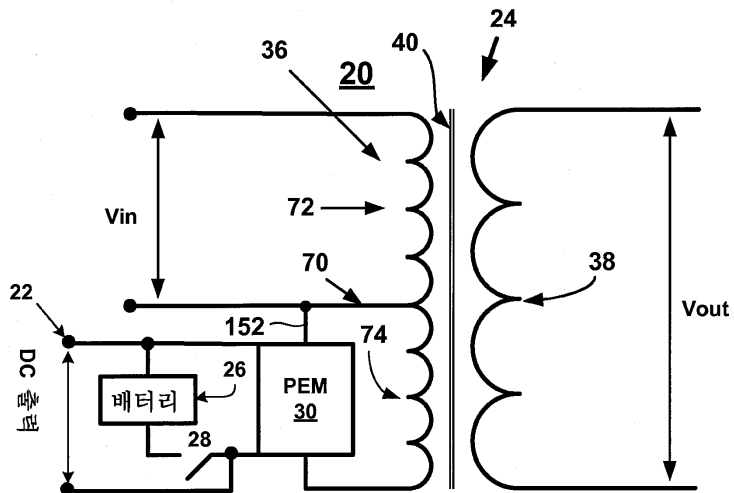
도면4



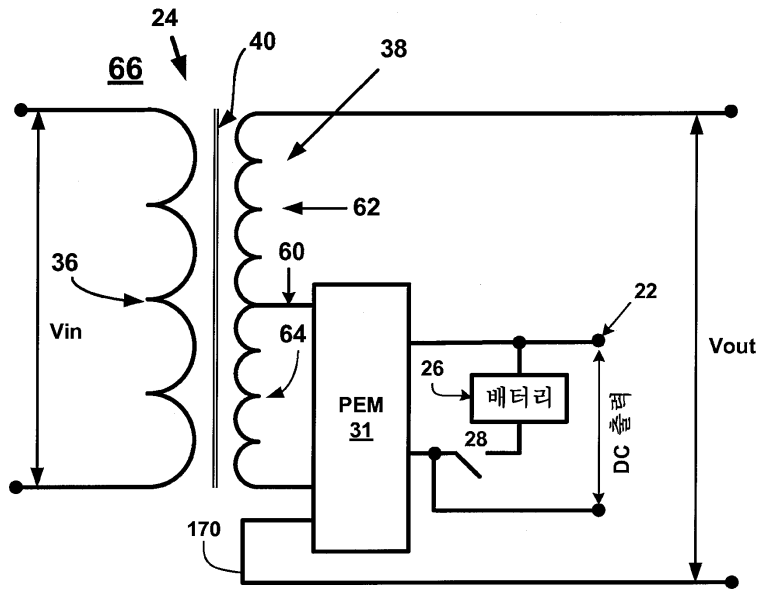
도면5



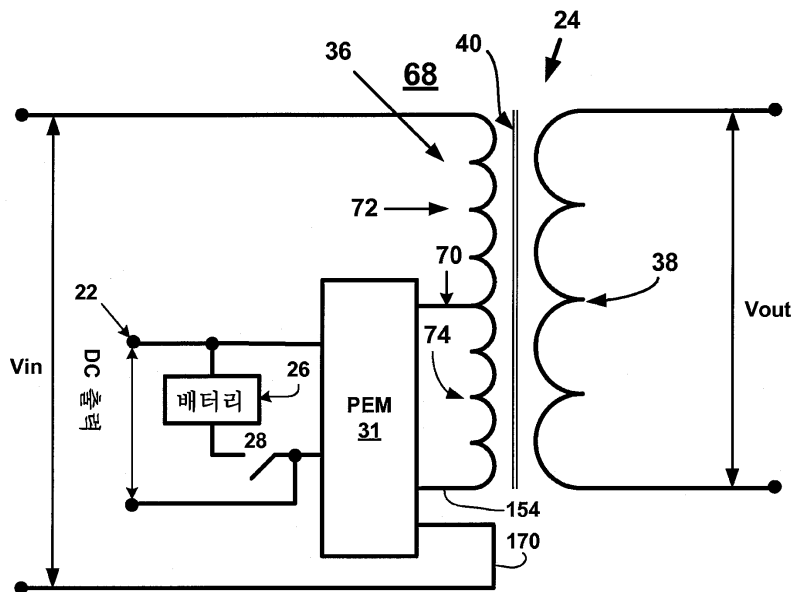
도면6



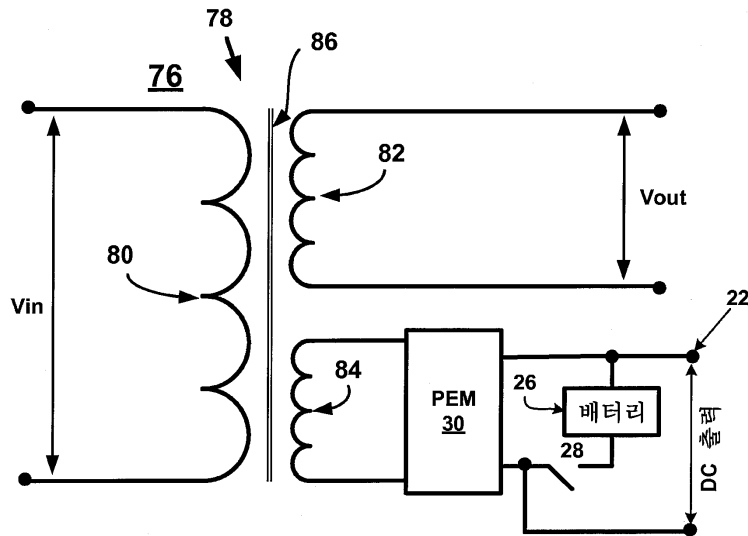
도면7



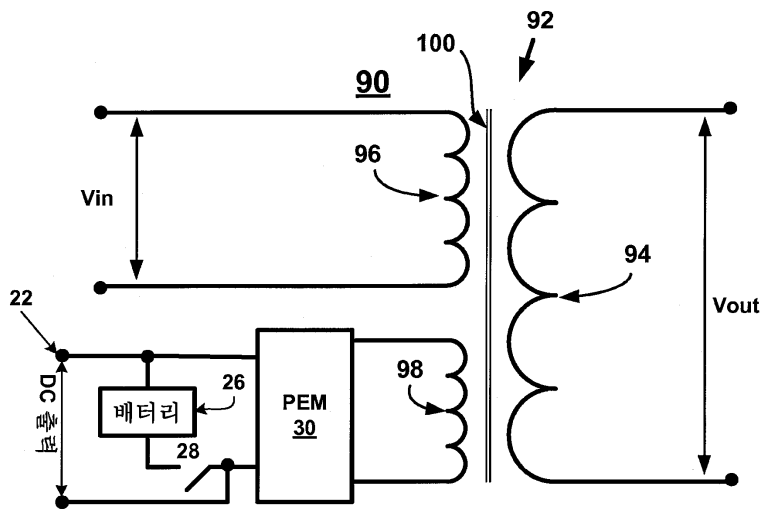
도면8



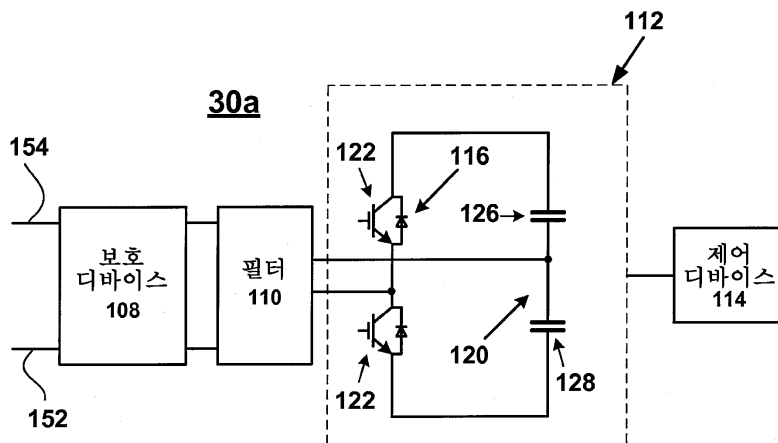
도면9



도면10

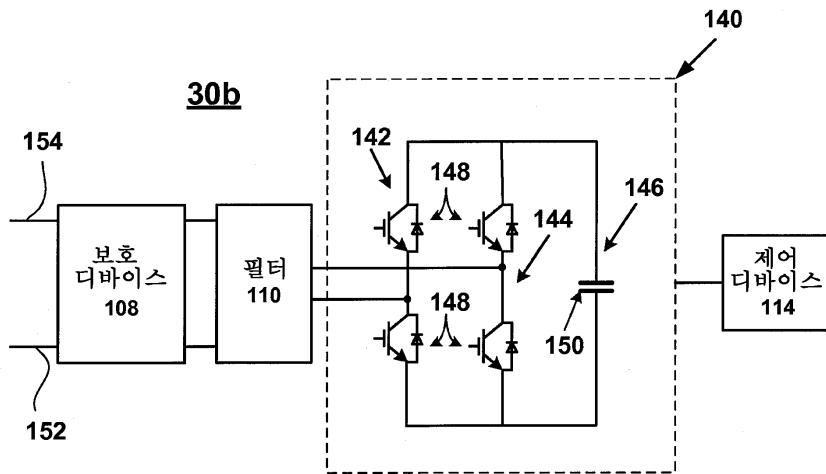


도면11

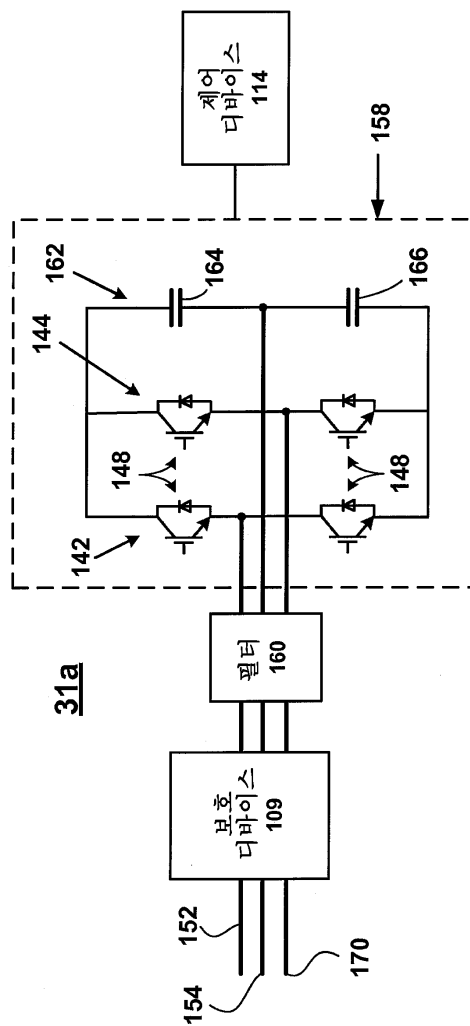




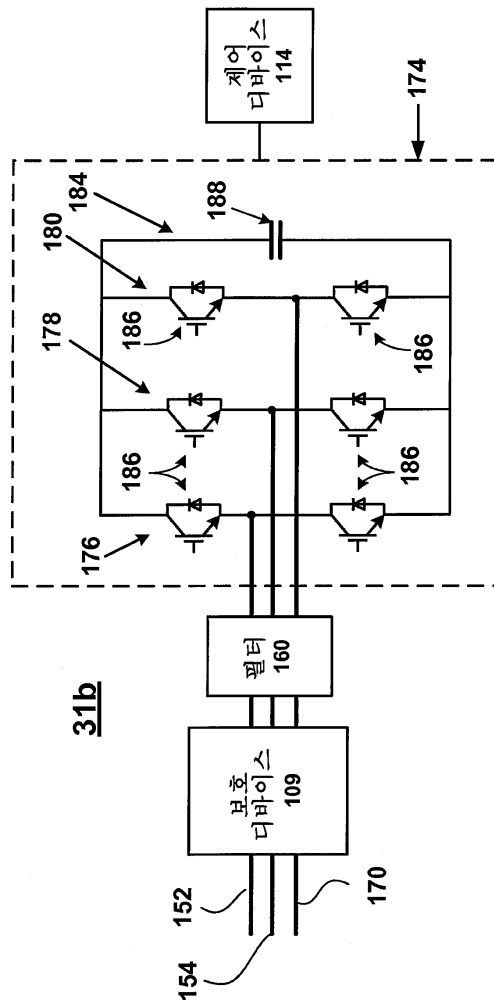
도면12



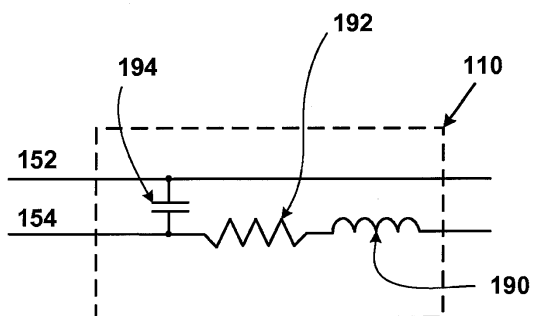
도면13



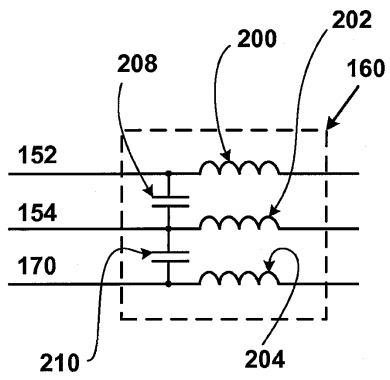
도면14



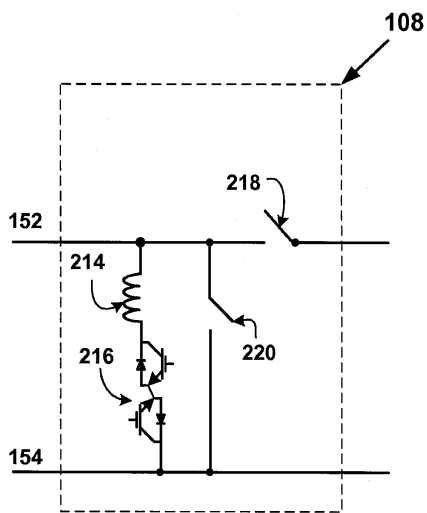
도면15



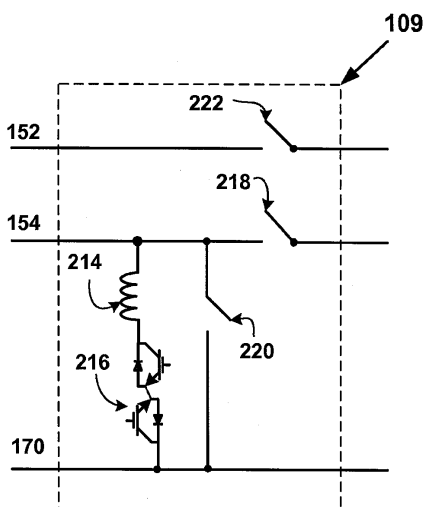
도면16



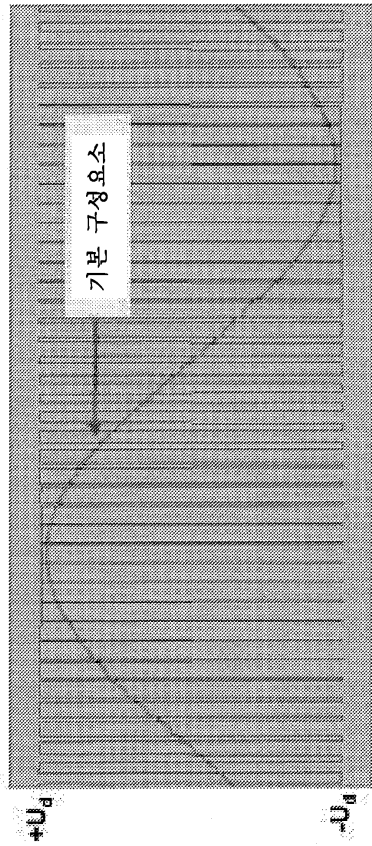
도면17



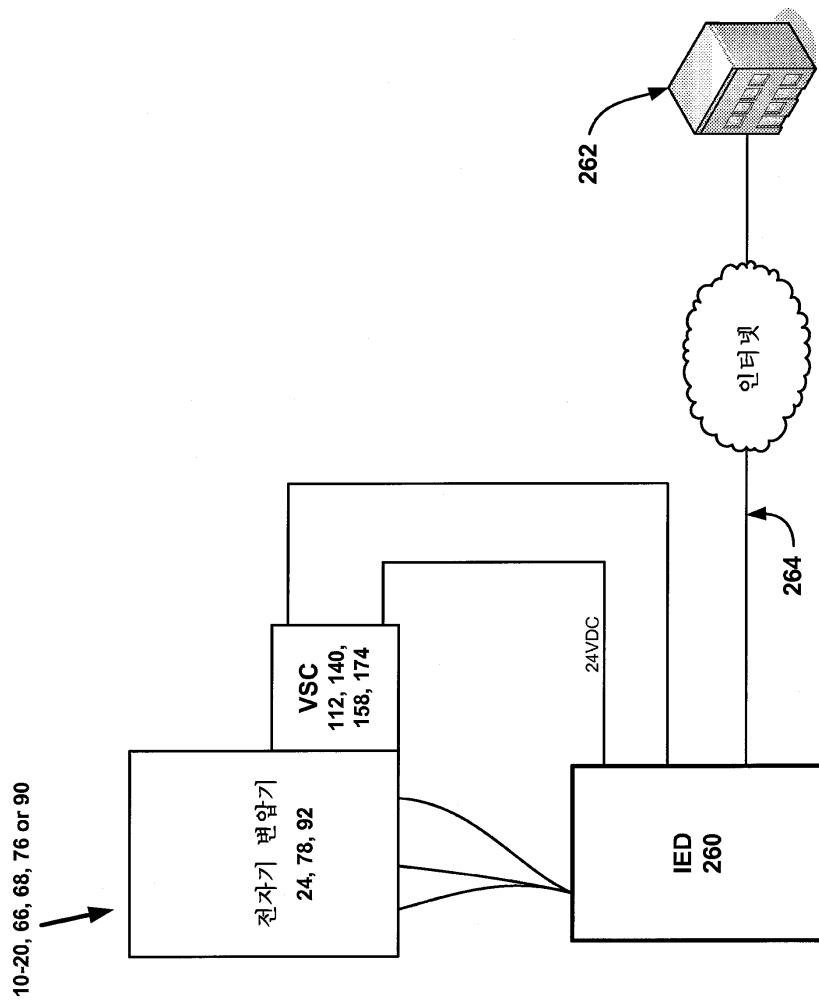
도면18



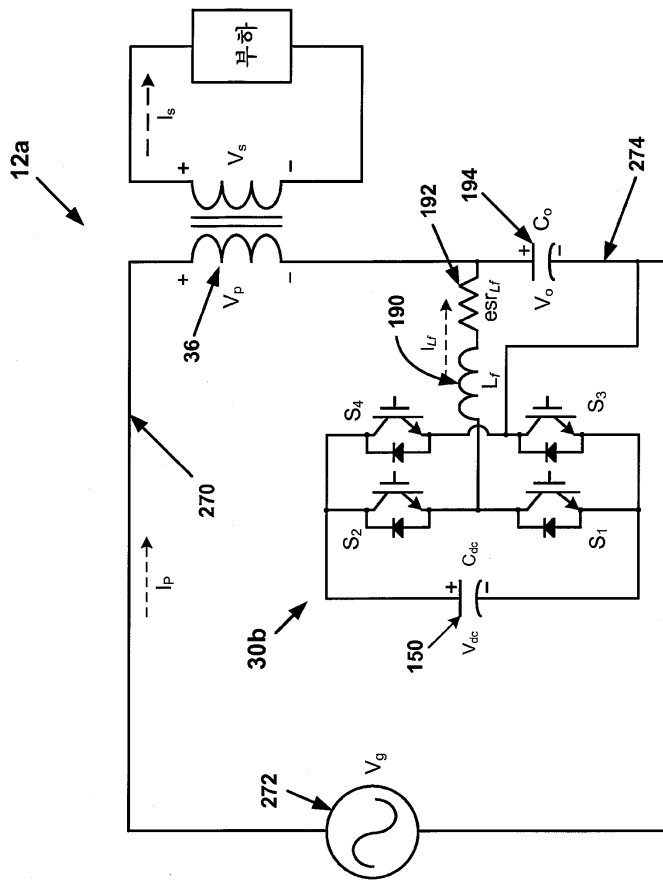
도면19



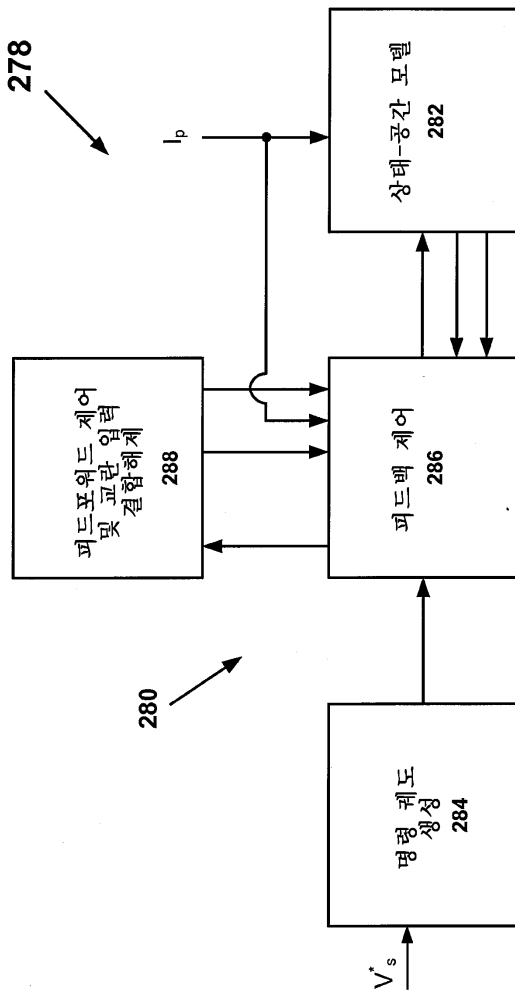
도면20



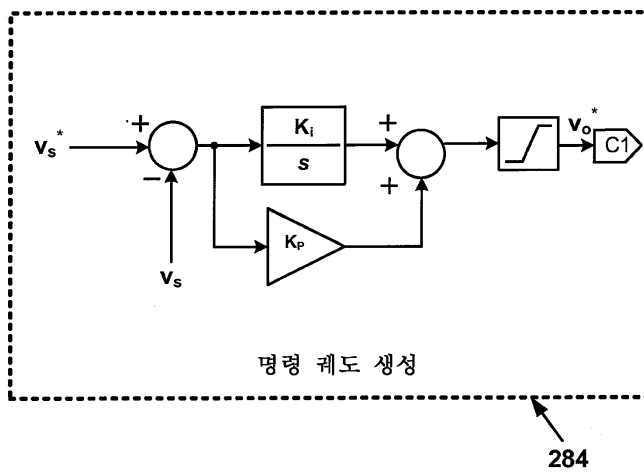
도면21



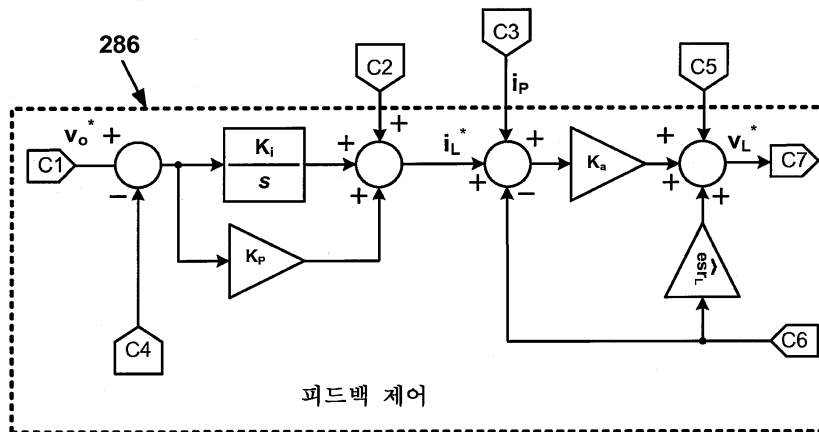
도면22



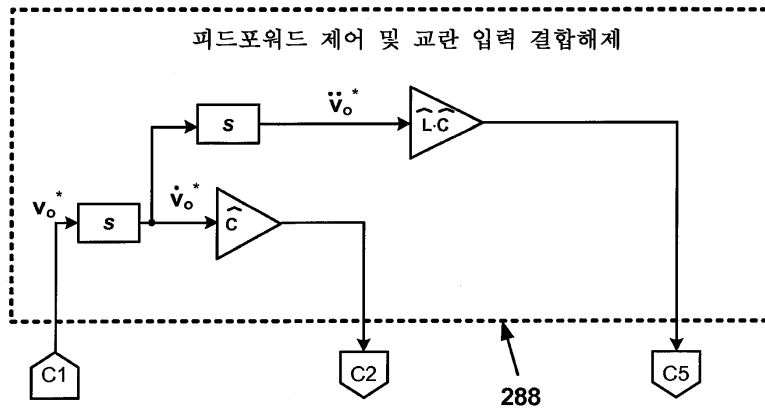
도면23



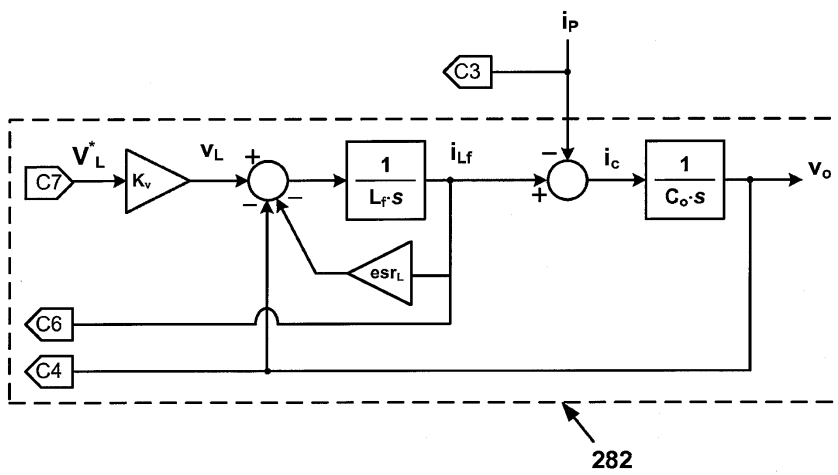
도면24



도면25

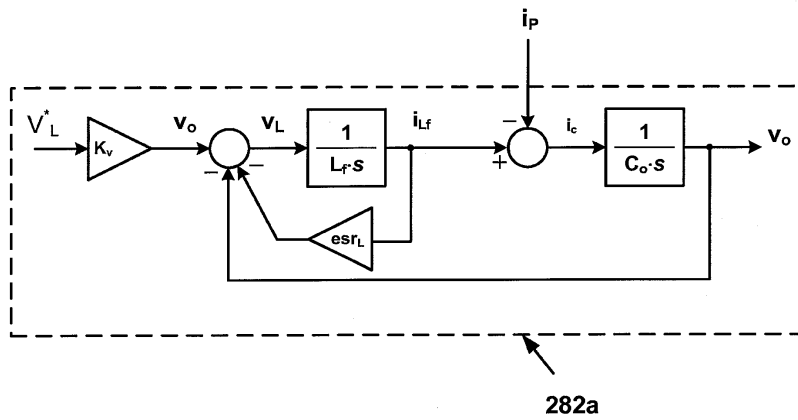


도면26

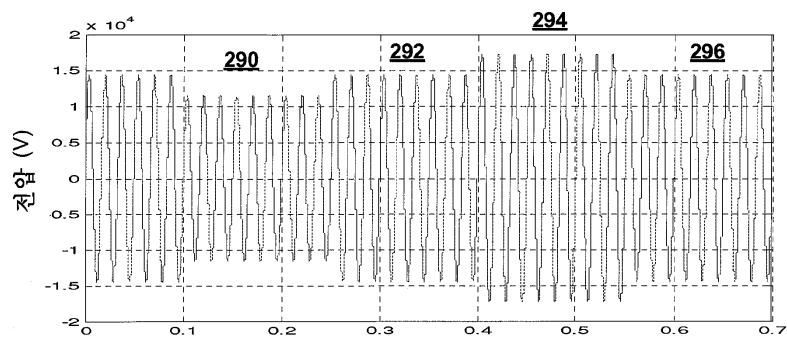




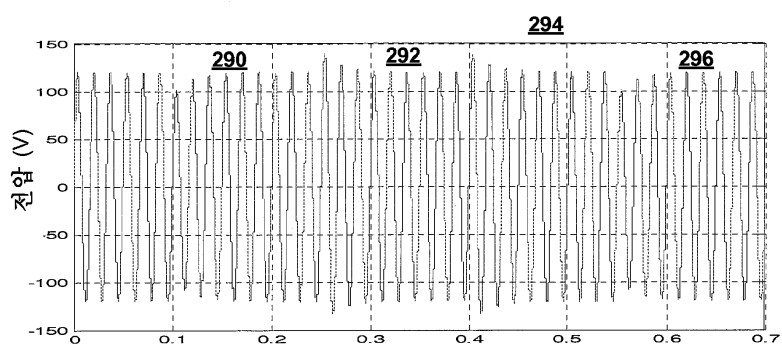
도면27



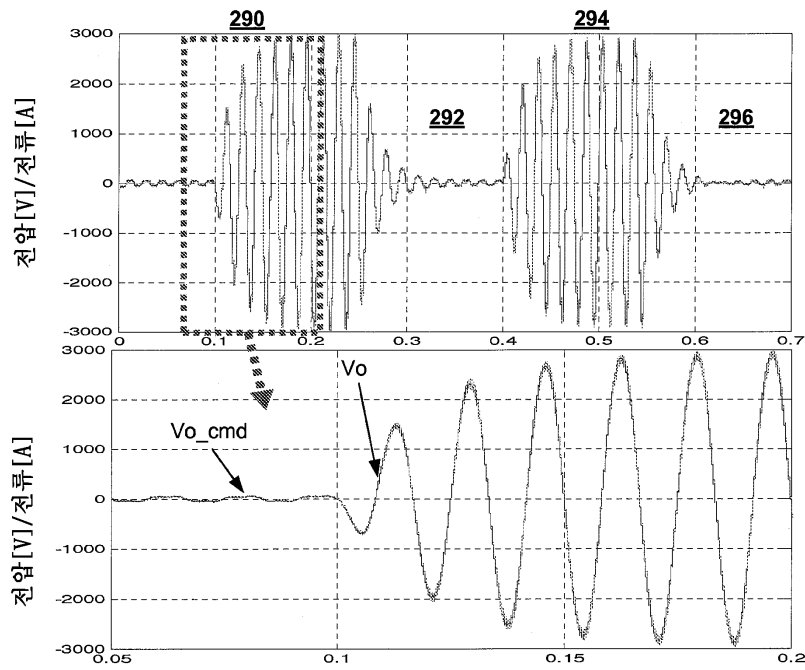
도면28



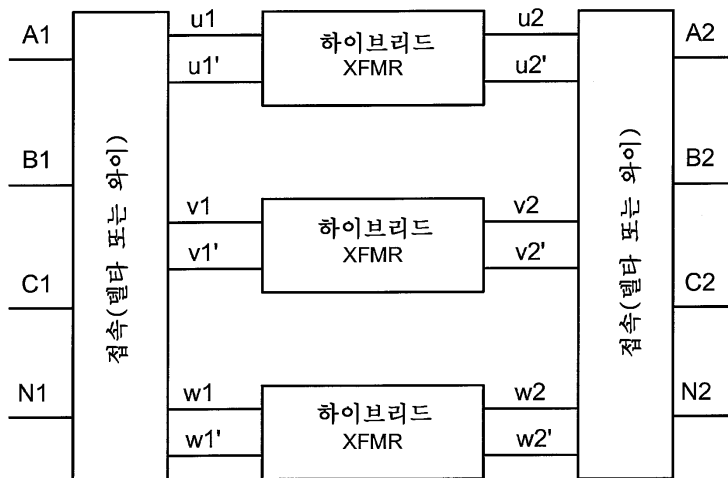
도면29



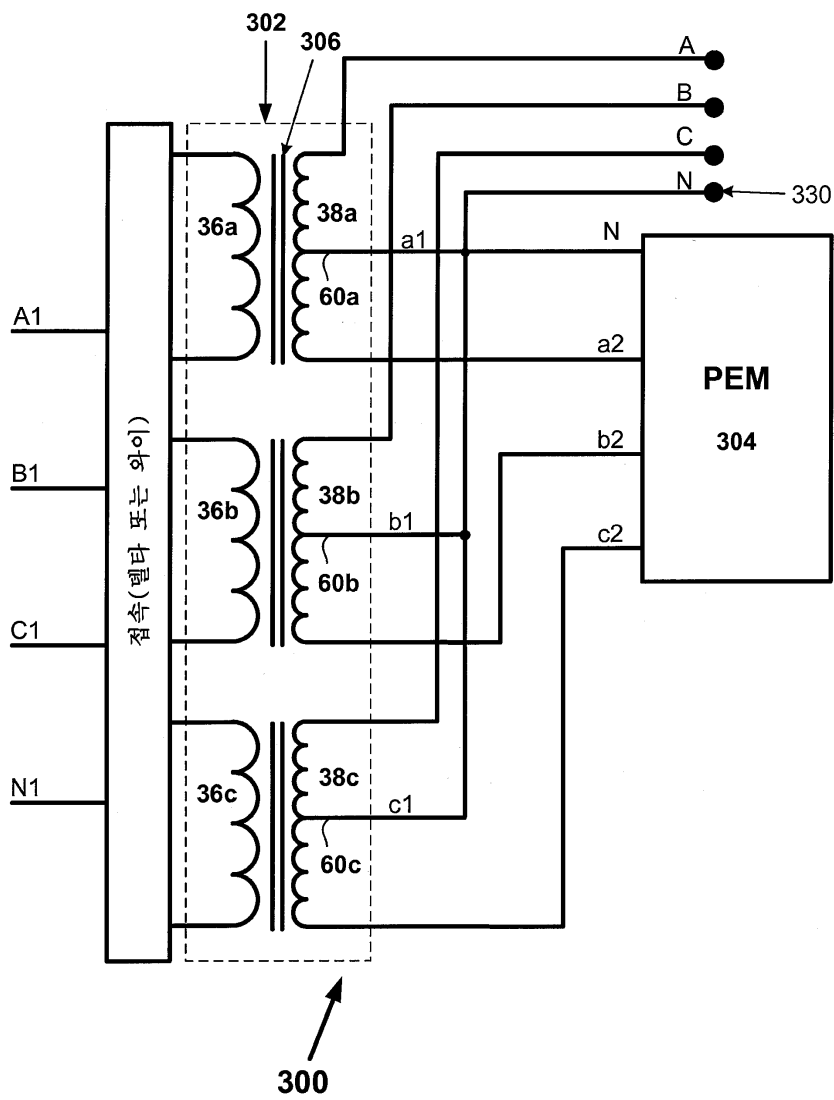
도면30



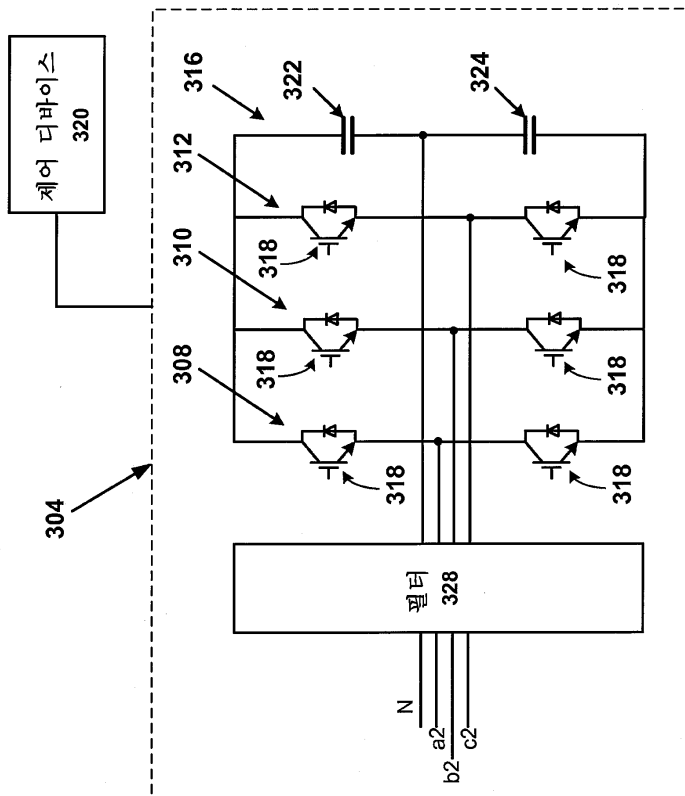
도면31



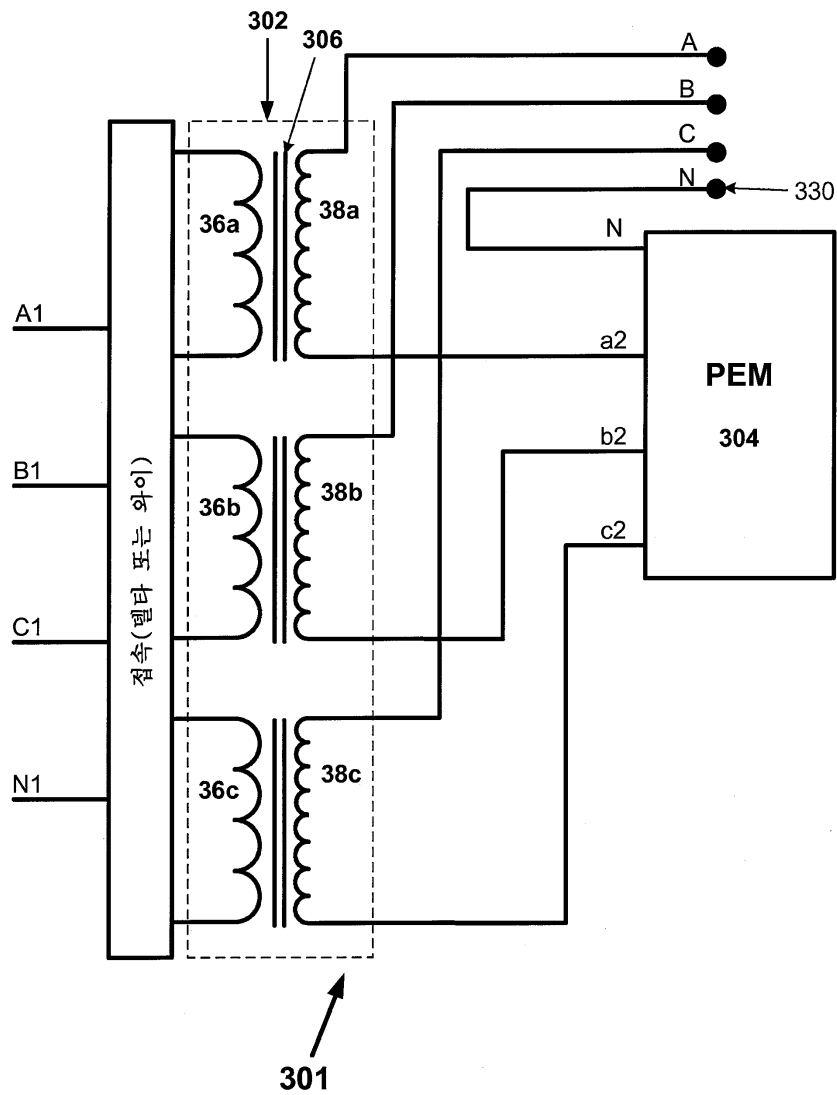
도면32



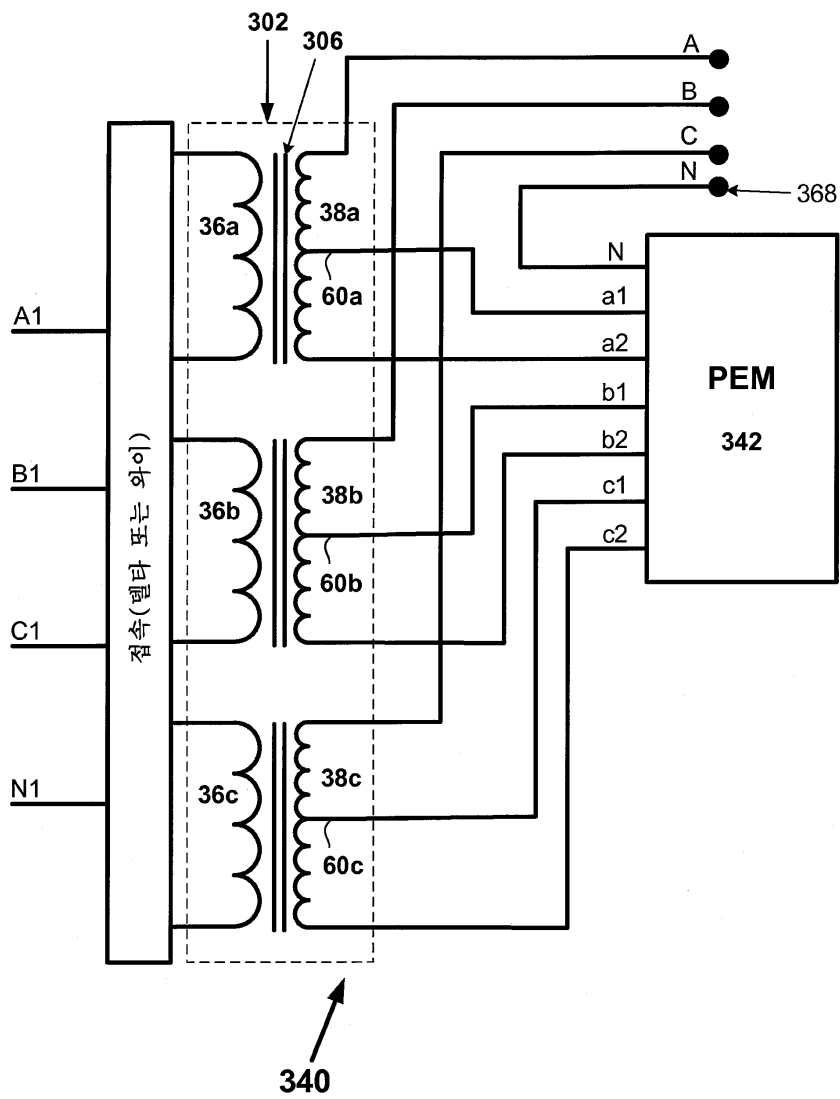
도면33



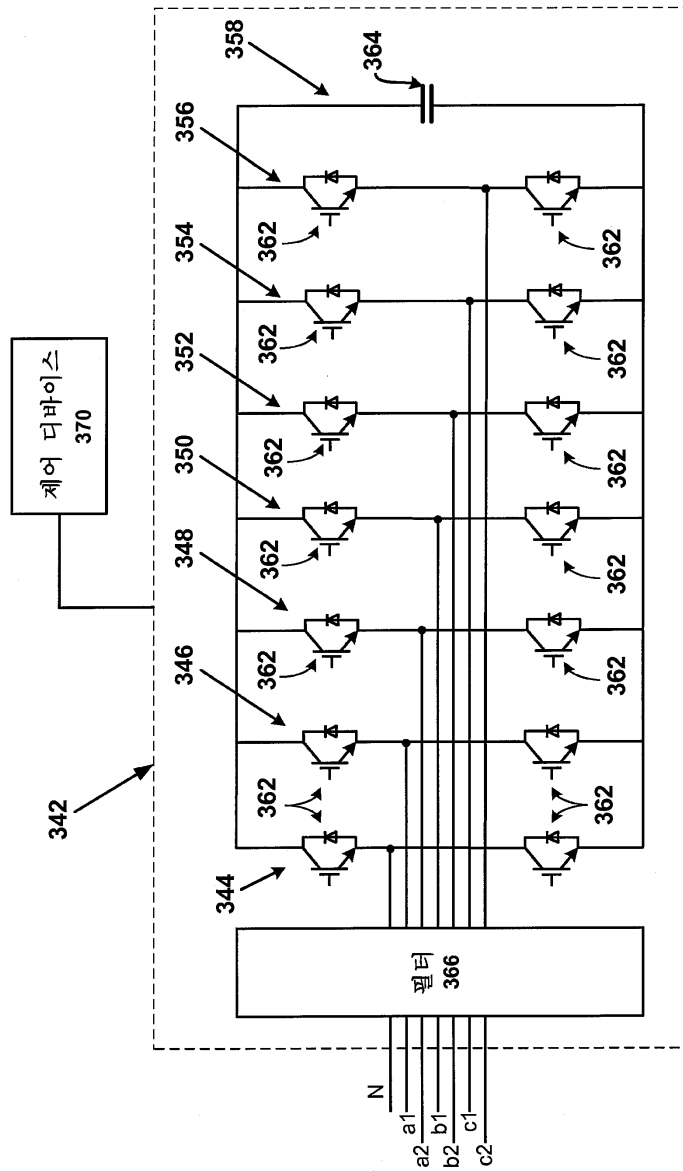
도면34



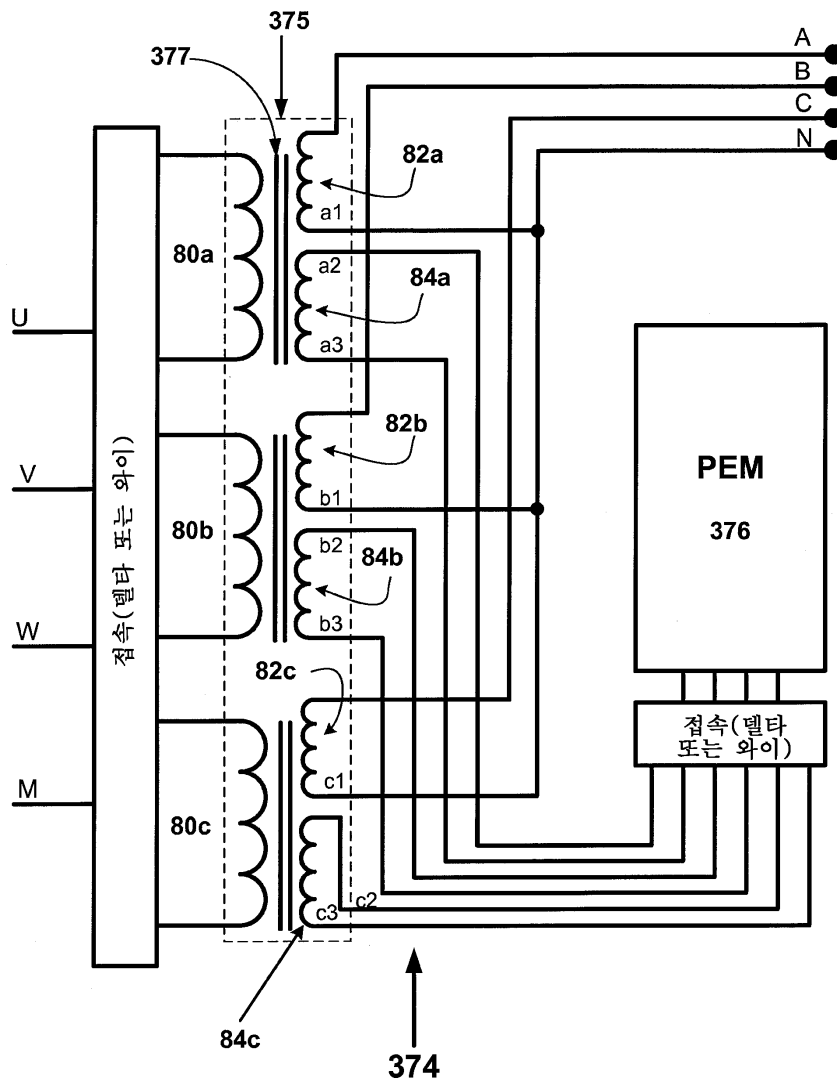
도면35



도면36

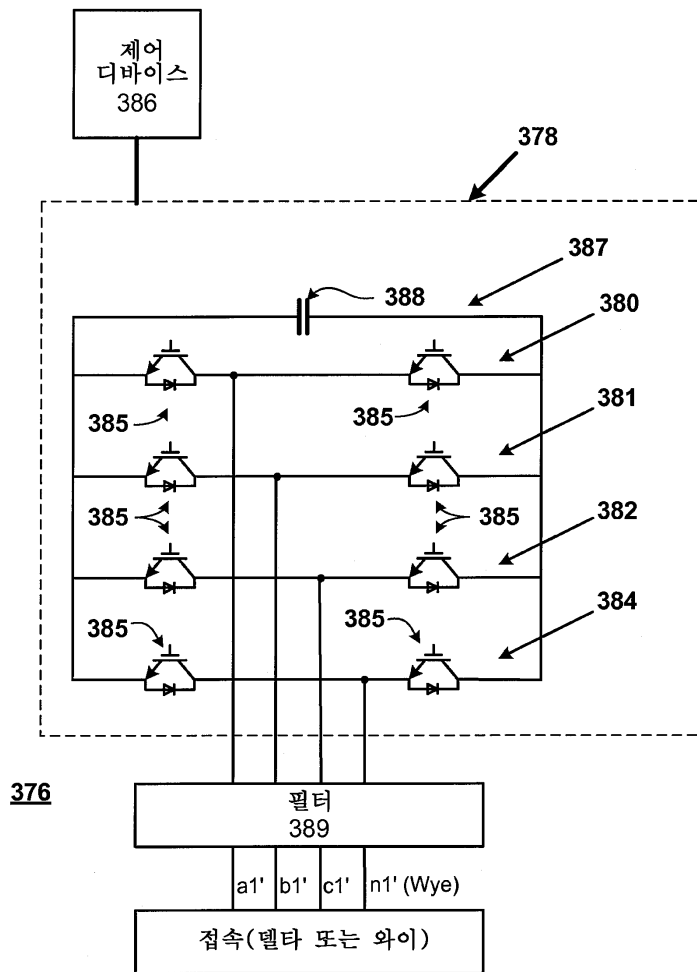


도면37

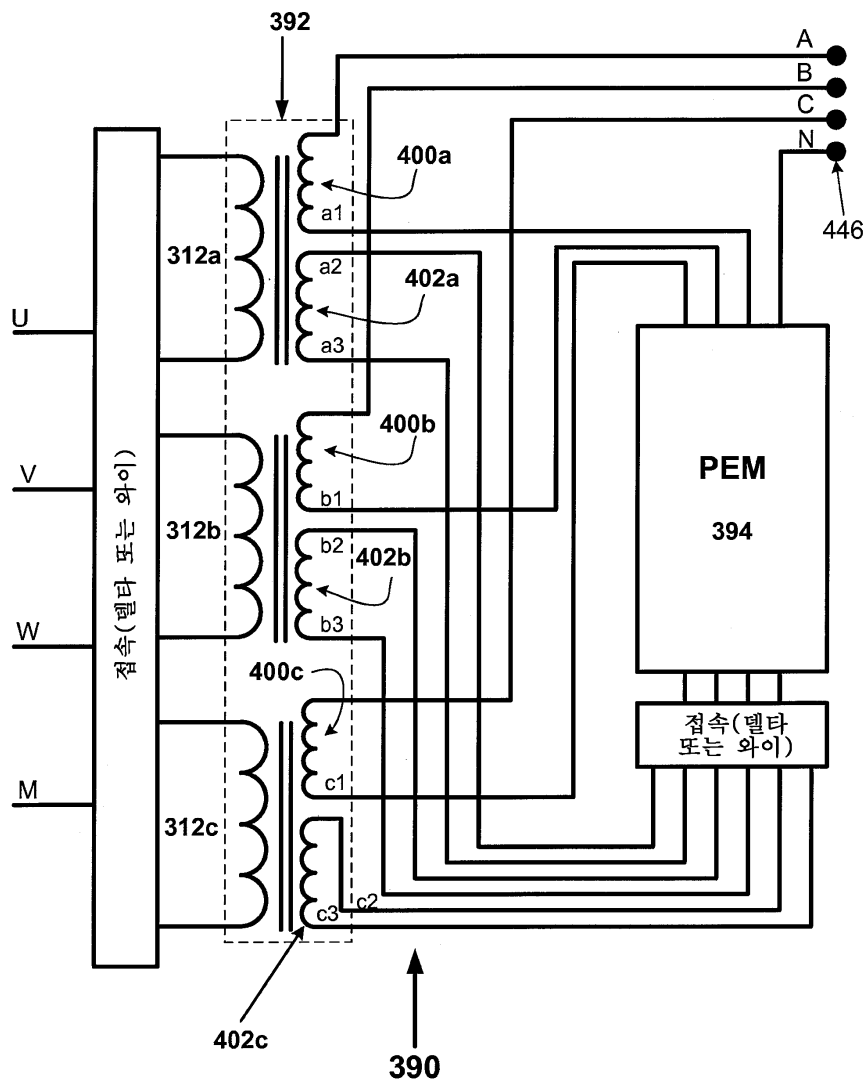




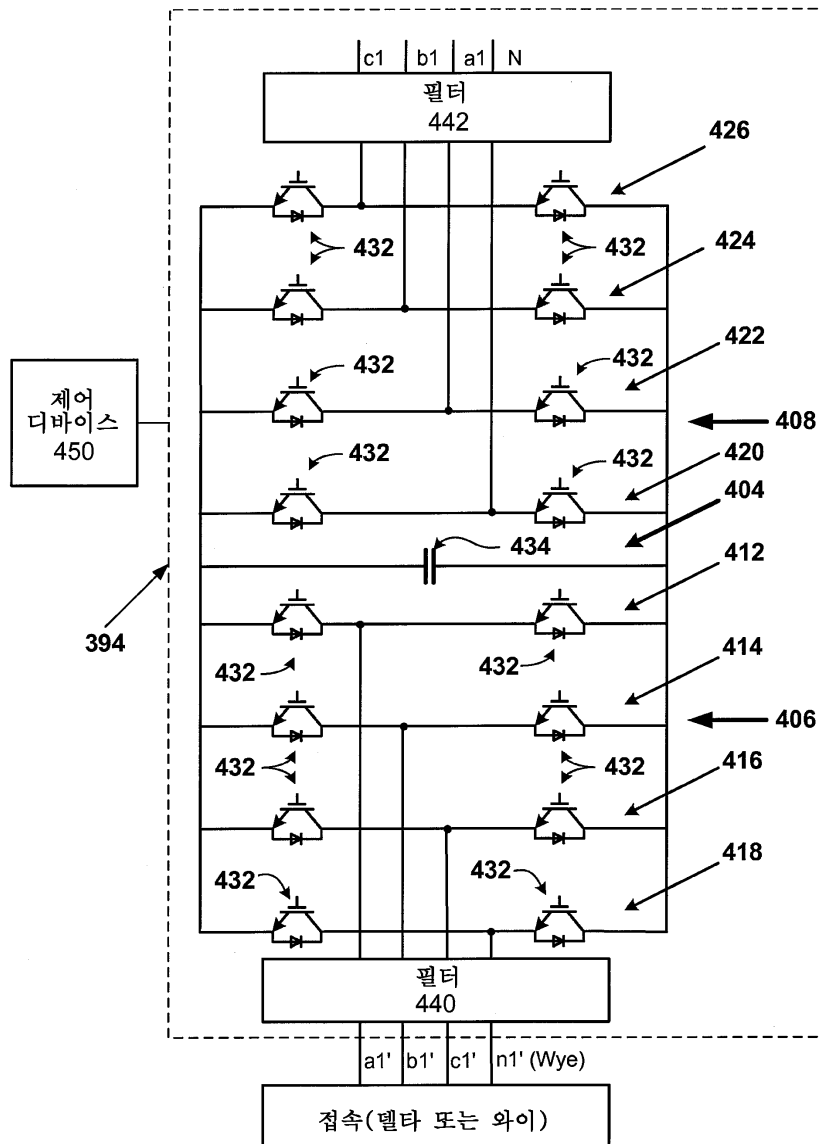
도면38



도면39

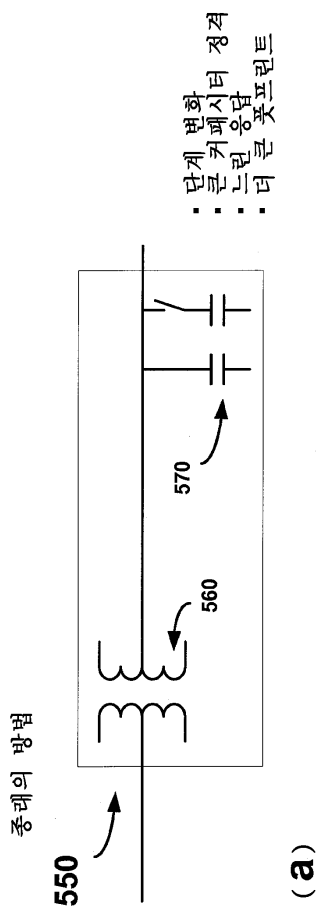


도면40

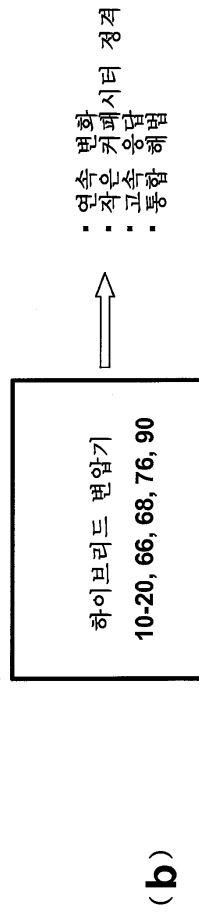


도면41

역률 보정

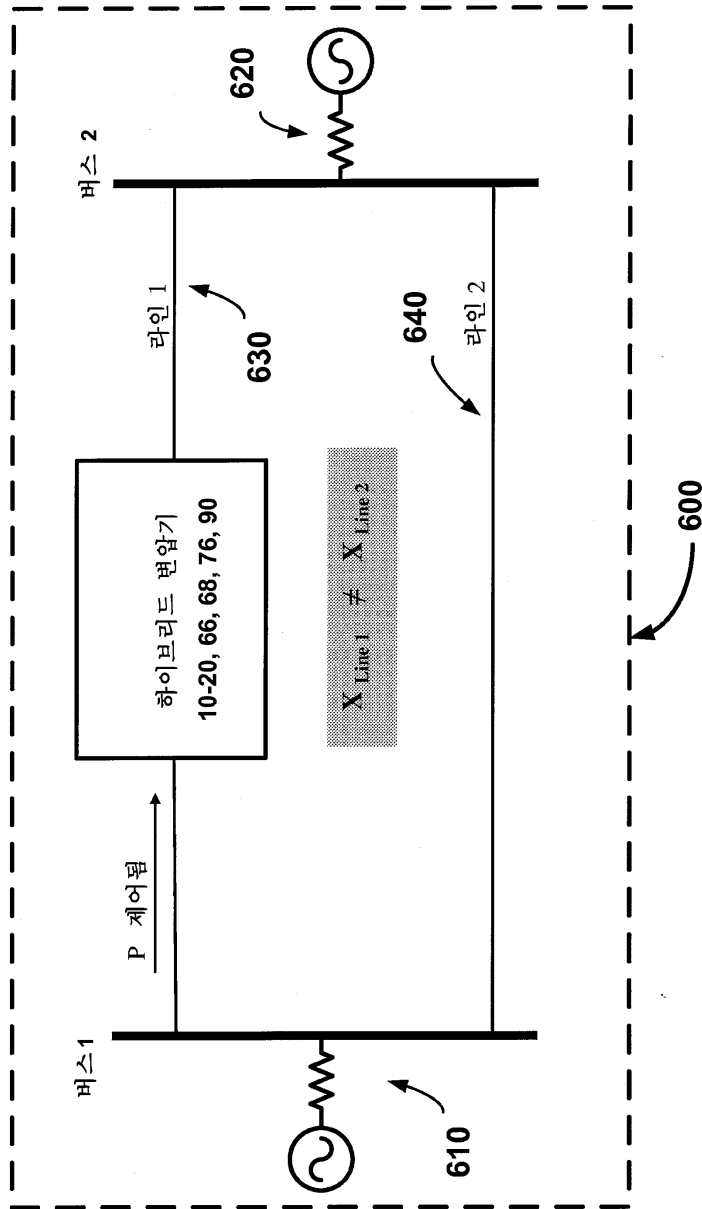


하이브리드 변압기



도면42

위상 천이 기능



도면43

데이터센터 애플리케이션

