



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0118652
(43) 공개일자 2021년10월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02M 3/335 (2006.01) H02M 1/00 (2007.01)
(52) CPC특허분류
H02M 3/33523 (2021.05)
H02M 1/0003 (2021.05)
(21) 출원번호 10-2020-0035185
(22) 출원일자 2020년03월23일
심사청구일자 2020년03월23일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
정지훈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
심주영
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
이준영
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인 무한

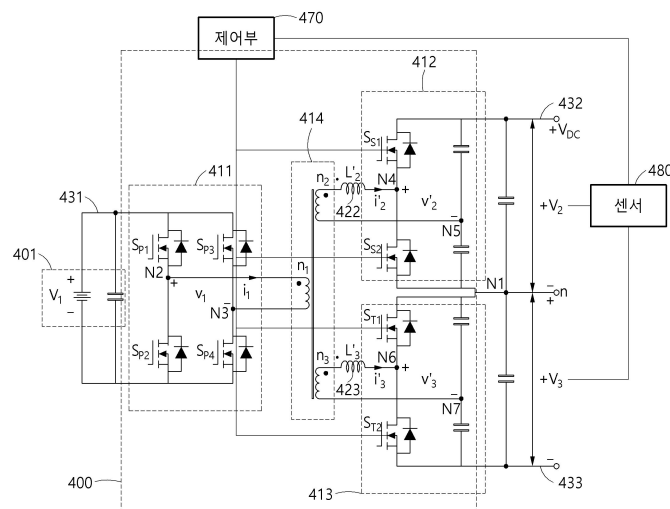
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 양극성 직류 배전 시스템을 위한 3 포트 듀얼 액티브 브리지 컨버터를 이용한 보조 전압 평형기

(57) 요약

일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 에너지 저장 장치(Energy Storage System, ESS)와 연결되는 제1 포트, 양극성 배전망에 연결되는 제2 포트와 제3 포트를 포함하고, 제1 포트에 연결되고, 제1 외부 인덕터(first external inductor)를 통해 제2 포트에 연결되며, 제2 외부 인덕터를 통해 제3 포트에 연결되는 3권선 변압기를 포함하며, 제1 포트로부터 제2 포트로의 전력 경로 및 제1 포트로부터 제3 포트로의 전력 경로를 서로 독립적으로 제어할 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

H02M 3/33576 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	R18XA06-72
부처명	한국전력공사
과제관리(전문)기관명	한국전력연구원
연구사업명	사외공모 개인기초연구사업
연구과제명	DC 전력망을 위한 고전력밀도(0.61W/cm ³) 다중포트 컨버터와 저노이즈(전류 고주파
0.3%) 3상 인버터 개발 및	가상 시험 환경 구축용 기초 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2018.05.01 ~ 2021.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

에너지 저장 장치(Energy Storage System, ESS)와 연결되는 제1 포트;
 양극성 배전망에 연결되는 제2 포트와 제3 포트; 및
 상기 제1 포트에 연결되고, 제1 외부 인덕터(first external inductor)를 통해 상기 제2 포트에 연결되며, 제2 외부 인덕터를 통해 상기 제3 포트에 연결되는 3 권선 변압기(three-winding transformer);
 를 포함하고,
 상기 제1 외부 인덕터 및 상기 제2 외부 인덕터는,
 상기 제1 포트 및 상기 3권선 변압기 간의 인덕턴스보다 큰 인덕턴스를 갖는,
 3 포트 DAB 컨버터(Three-port Dual-Active Bridge Converter).

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 제1 포트 및 상기 3권선 변압기 간의 인덕턴스는,
 상기 제1 외부 인덕터의 인덕턴스 및 상기 제2 외부 인덕터의 인덕턴스 대비 임계 비율 미만의 인덕턴스를 갖는,
 3 포트 DAB 컨버터.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 3권선 변압기는,
 상기 에너지 저장 장치와 상기 양극성 배전망 사이의 갈바닉 절연(galvanic isolation)을 제공하는,
 3 포트 DAB 컨버터.

청구항 4

제1항에 있어서,
 상기 3 포트 DAB 컨버터는,
 상기 제1 포트 및 상기 3권선 변압기 사이에 연결되는 제1 브리지 회로;
 상기 제1 출력 인덕터 및 상기 제2 포트 사이에 연결되는 제2 브리지 회로; 및
 상기 제2 출력 인덕터 및 상기 제3 포트 사이에 연결되는 제3 브리지 회로
 를 더 포함하고,
 상기 제1 브리지 회로는 풀 브리지(full-bridge) 회로이며, 상기 제2 브리지 회로 및 상기 제3 브리지 회로는 하프 브리지(half-bridge) 회로인,

3 포트 DAB 컨버터.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 풀 브리지 회로는,

상기 에너지 저장 장치로부터 전달되는 입력 전압으로부터 상기 풀 브리지에 포함된 대각 스위치 쌍들(diagonal switch pairs)의 상보적 스위칭(swimming)에 기초하여 제1 전압을 생성하고,

상기 제2 브리지 회로는,

상기 제1 전압으로부터 상기 제2 브리지 회로에 포함된 스위치들의 상보적 스위칭에 기초하여 제2 전압을 생성하며,

상기 제3 브리지 회로는,

상기 제1 전압으로부터 상기 제3 브리지 회로에 포함된 스위치들의 상보적 스위칭에 기초하여 제3 전압을 생성하는,

3 포트 DAB 컨버터.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 제2 브리지 회로의 출력 및 제1 기준 전압에 기초하여 제1 제어 신호를 생성하는 제1 PI 제어기; 및

상기 제3 브리지 회로의 출력 및 제2 기준 전압에 기초하여 제2 제어 신호를 생성하는 제2 PI 제어기;

를 더 포함하는 3 포트 DAB 컨버터.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제1 전압을 기준으로 상기 제2 전압에 대하여 상기 제1 제어 신호에 대응하는 전압 위상 시프트(voltage phase shift)로 상기 제2 브리지 회로를 스위칭하는 제1 스위칭 제어기; 및

상기 제1 전압을 기준으로 상기 제3 전압에 대하여 상기 제2 제어 신호에 대응하는 전압 위상 시프트로 상기 제3 브리지 회로를 스위칭하는 제2 스위칭 제어기

청구항 8

제 6항에 있어서,

상기 제1 PI 제어기는 상기 제3 전압과는 독립적으로 상기 제2 전압을 제어하며,

상기 제2 PI 제어기는 상기 제2 전압과는 독립적으로 상기 제3 전압을 제어하는,

3 포트 DAB 컨버터.

청구항 9

제 6항에 있어서,

상기 3 포트 DAB 컨버터는,

상기 양극성 배전망의 주 전압 평형기(main voltage balancer)가 고장난(malfunctioned) 경우에 응답하여 상기 에너지 저장 장치로부터 수신된 전력의 전압을 변환하고, 상기 변환된 전압을 갖는 전력을 상기 양극성 배전망으로 제공하는

3 포트 DAB 컨버터.

청구항 10

에너지 저장 장치;

상기 에너지 저장 장치 및 양극성 배전 망(bipolar distribution network) 사이에 연결되고, 상기 양극성 배전망의 주 전압 평형기(main voltage balancer)가 고장난(malfunctioned) 경우에 응답하여 상기 에너지 저장 장치로부터 수신된 전력의 전압을 변압기를 통해 변환하고, 상기 변환된 전압을 갖는 전력을 상기 양극성 배전망을 통해 부하(load)로 제공하는 3 포트 DAB 컨버터; 및

상기 양극성 배전 망을 통해 상기 3 포트 DAB 컨버터와 연결되는 상기 부하

를 포함하고,

상기 변압기 및 상기 양극성 배전 망 간의 인덕턴스는 상기 에너지 저장 장치 및 상기 변압기 간의 인덕턴스보다 큰,

전력 전달 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 이하, 전압 평형기에 관한 기술이 제공된다.

배경 기술

[0002] 직류 배전 시스템들(DC distribution systems)은 전력 전자 기술들의 발전과 신재생 에너지원(renewable energy source)과의 뛰어난 연결성으로 인하여 종래의 교류 배전 시스템들과 비교하여 다양한 이점들을 가진다. DC 전력을 필요로 하는 디지털 부하들이 증가함에 따라, 저전압 직류(Lower Voltage Direct Current, LVDC) 배전 시스템들이 주거 및 건물 응용분야들에 적합한 대안으로 강조된다. 저전압 직류 배전 시스템은 더 높은 효율과 적은 에너지 변환 단계들, 배전 전력선들에서 AC 저항의 부재 및 설치 비용의 감소로 전기를 공급할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0003] 일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터(Three-port Dual-Active Bridge Converter)는, 에너지 저장 장치(Energy Storage System, ESS)와 연결되는 제1 포트; 양극성 직류 배전망에 연결되는 제2 포트와 제3 포트; 및 상기 제1 포트에 연결되고, 제1 외부 인덕터(first external inductor)를 통해 상기 제2 포트에 연결되며, 제2 외부 인덕터를 통해 상기 제3 포트에 연결되는 3 권선 변압기(three-winding transformer)를 포함할 수 있다.

[0004] 상기 제1 외부 인덕터 및 상기 제2 외부 인덕터는, 상기 제1 포트 및 상기 3권선 변압기 간의 인덕턴스보다 큰 인덕턴스를 가질 수 있다.

[0005] 상기 제1 포트 및 상기 3권선 변압기 간의 인덕턴스는, 상기 제1 외부 인덕터의 인덕턴스 및 상기 제2 외부 인덕터의 인덕턴스 대비 임계 비율 미만의 인덕턴스를 가질 수 있다.

- [0006] 상기 3 권선 변압기는 상기 에너지 저장 장치와 상기 양극성 직류 배전망 사이의 갈바닉 절연(galvanic isolation)을 제공할 수 있다.
- [0007] 상기 3 포트 DAB 컨버터는, 상기 제1 포트 및 상기 3권선 변압기 사이에 연결되는 제1 브리지 회로; 상기 제1 출력 인덕터 및 상기 제2 포트 사이에 연결되는 제2 브리지 회로; 및 상기 제2 출력 인덕터 및 상기 제3 포트 사이에 연결되는 제3 브리지 회로를 더 포함하며, 상기 제1 브리지 회로는 풀 브리지(full-bridge) 회로이고, 상기 제2 브리지 회로 및 상기 제3 브리지 회로는 하프 브리지(half-bridge) 회로일 수 있다.
- [0008] 상기 풀 브리지 회로는, 상기 에너지 저장 장치로부터 전달되는 입력 전압으로부터 상기 풀 브리지에 포함된 대각 스위치 쌍들(diagonal switch pairs)의 상보적 스위칭(switching)에 기초하여 제1 전압을 생성하고, 상기 제2 브리지 회로는, 상기 제1 전압으로부터 상기 제2 브리지 회로에 포함된 스위치들의 상보적 스위칭에 기초하여 제2 전압을 생성하며, 상기 제3 브리지 회로는, 상기 제1 전압으로부터 상기 제3 브리지 회로에 포함된 스위치들의 상보적 스위칭에 기초하여 제3 전압을 생성할 수 있다.
- [0009] 상기 3 포트 DAB 컨버터는 상기 제2 브리지 회로의 출력 및 제1 기준 전압에 기초하여 제1 제어 신호를 생성하는 제1 PI 제어기; 및 상기 제3 브리지 회로의 출력 및 제2 기준 전압에 기초하여 제2 제어 신호를 생성하는 제2 PI 제어기를 더 포함할 수 있다.
- [0010] 상기 3 포트 DAB 컨버터는 상기 제1 전압을 기준으로 상기 제2 전압에 대하여 상기 제1 제어 신호에 대응하는 전압 위상 시프트(voltage phase shift)로 상기 제2 브리지 회로를 스위칭하는 제1 스위칭 제어기; 및 상기 제1 전압을 기준으로 상기 제3 전압에 대하여 상기 제2 제어 신호에 대응하는 전압 위상 시프트로 상기 제3 브리지 회로를 스위칭하는 제2 스위칭 제어기를 더 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 제1 PI 제어기는 상기 제3 전압과는 독립적으로 상기 제2 전압을 제어하며, 상기 제2 PI 제어기는 상기 제2 전압과는 독립적으로 상기 제3 전압을 제어할 수 있다.
- [0012] 상기 3 포트 DAB 컨버터는, 상기 양극성 배전망의 주 전압 평형기(main voltage balancer)가 고장난(malfunctioned) 경우에 응답하여 상기 에너지 저장 장치로부터 수신된 전력의 전압을 변환하고, 상기 변환된 전압을 갖는 전력을 상기 양극성 배전망으로 제공할 수 있다.
- [0013] 일 실시예에 따른 전력 전달 시스템은 에너지 저장 장치; 상기 에너지 저장 장치 및 양극성 배전 망(bipolar distribution network) 사이에 연결되고, 상기 양극성 배전망의 주 전압 평형기(main voltage balancer)가 고장난(malfunctioned) 경우에 응답하여, 상기 에너지 저장 장치로부터 수신된 전력의 전압을 변압기를 통해 변환하고, 상기 변환된 전압을 갖는 전력을 상기 양극성 배전망을 통해 상기 부하로 제공하는 3 포트 DAB 컨버터; 및 상기 양극성 배전 망을 통해 상기 3 포트 DAB 컨버터와 연결되는 부하(load)를 포함하고, 상기 변압기 및 상기 양극성 배전 망 간의 인덕턴스는 상기 에너지 저장 장치 및 상기 변압기 간의 인덕턴스보다 클 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 일 실시예에 따른 전압 평형의 기능을 가지는 에너지 저장 장치 충전기(ESS charger)를 사용하는 양극성 저전압 직류 분배 시스템을 도시한다.
- 도 2는 일 실시예에 따른 전력 전달 시스템을 도시한다.
- 도 3은 예시적인 3 포트 DAB 컨버터의 회로도를 도시한다.
- 도 4는 일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 구성에 관한 회로도를 도시한다.
- 도 5에서는 도 4에 도시된 3 포트 DAB 컨버터의 델타 연결 등가 회로도를 도시한다.
- 도 6은 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서 3권선 변압기의 입출력 전압 및 입출력 전류의 파형을 도시한다.
- 도 7은 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 제어 블록도이다.
- 도 8은 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터를 제어 루프들(control loops)로 모델링한 제어 블록도이다.
- 도 9는 3 포트 DAB 컨버터의 제1 포트의 전류 스트레스 그래프를 도시한다.
- 도 10는 3 포트 DAB 컨버터의 제2 포트의 전류 스트레스 그래프를 도시한다.
- 도 11는 3 포트 DAB 컨버터의 제3 포트의 전류 스트레스 그래프를 도시한다.

도 12은 3-kW 프로토타입(prototype) 3 포트 DAB 컨버터의 어플리케이션을 를 도시한다.

도 13은 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서 3권선 변압기의 입출력 전압 및 입출력 전류의 파형을 도시한다.

도 14는 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서 전력선의 부하가 변경되는 경우의 출력 전압 및 출력 전류의 파형을 도시한다.

도 15는 3 포트 DAB 컨버터에서 3권선 변압기의 입출력 전압 및 입출력 전류의 파형을 도시한다.

도 16은 3 포트 DAB 컨버터의 시스템 효율 그래프를 도시한다.

도 17은 3 포트 DAB 컨버터의 전력 손실을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 실시예들에는 다양한 변경이 가해질 수 있어서 특허출원의 권리 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 실시예들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물이 권리 범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.
- [0016] 실시예에서 사용한 용어는 단지 설명을 목적으로 사용된 것으로, 한정하려는 의도로 해석되어서는 안된다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0017] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0018] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0019] 또한, 실시 예의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속"된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나 접속될 수 있지만, 각 구성 요소 사이에 또 다른 구성 요소가 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0020] 어느 하나의 실시 예에 포함된 구성요소와, 공통적인 기능을 포함하는 구성요소는, 다른 실시 예에서 동일한 명칭을 사용하여 설명하기로 한다. 반대되는 기재가 없는 이상, 어느 하나의 실시 예에 기재한 설명은 다른 실시 예에도 적용될 수 있으며, 중복되는 범위에서 구체적인 설명은 생략하기로 한다.
- [0021] 양극성 저전압 직류 배전 시스템은 단극성 직류 배전 시스템과 비교하여 상당한 이점들을 제공할 수 있다. 양극성 저전압 직류 배전 시스템은 세가지 상이한 전압 레벨들을 제공하며, 접지에 의해 전압 레벨들이 감소하여 연결 유연성(flexibility in connection) 및 높은 안정성을 제공할 수 있다. 또한, 양극성 저전압 직류 배전 시스템은 직류 전력선들 중 하나에 결함이 있더라도, 다른 전력선들이 여전히 동작할 수 있기 때문에 배전 시스템의 높은 신뢰성을 보장 할 수 있다. 전압 평형기가 없는 경우에, 양극성 직류 전력선들은 불평형한 부하 조건 하에서 동일한 전압 레벨을 유지할 수 없는 바, 교류 송전에 연결된 다양한 전압 평형기들이 전압 레벨을 유지하기 위하여 연구되었다. 하프 브리지(half-bridge)를 갖는 간단한 벡-부스트(buck-boost) 유형의 전압 평형기는 작은 수의 구성요소들의 사용들로 인하여 높은 비용의 효율성을 가질 수 있다. 듀얼 벡 타입 전압 평형기(dual-buck type voltage balancer)는 브리지 타입 전압 평형기에서 발생하는 쏘 통과 문제(shoot-through issue)를 제거할 수 있다. 3-레벨 전압 평형기는 고전압 직류 배전 시스템들의 고전압 스트레스를 견딜 수 있다.
- [0022] 도 1은 일 실시예에 따른 전압 평형의 기능을 가지는 에너지 저장 장치 충전기(ESS charger)를 사용하는 양극성

저전압 직류 분배 시스템을 도시한다.

- [0023] 양극성 배전 시스템(140)은 전원(110)(예를 들어, 교류 전원)으로부터 교류-직류 변환기(120)에 의해 변환된 전압을 전압 평형기(130)(예를 들어, 교류 계통 연계 전압 평형기(grid-tied voltage balancer))를 통해 수신할 수 있다. 예를 들어, 양극성 배전 시스템(140)의 양극성 직류 전압 레벨은 전압 평형기(130)에 의해 조정될 수 있다.
- [0024] 전압 평형기(130)에 고장이 발생하는 경우, 양극성 전압 레벨이 유지될 수 없다. 따라서, 시스템 신뢰성(reliability)을 향상시키기 위해 여러 백업 전압 평형기(back-up voltage balancer)들이 필요할 수 있다. 에너지 저장 장치 충전기(energy storage system charger)(170)는 백업 전압 평형기로서 양극성 전압 평형 기능을 가질 수 있다. 에너지 저장 장치 충전기(170)는 소량의 부품들을 가진 개선된 3 레벨 전압 평형기를 포함할 수 있다. 저전압 직류 분배 시스템에 채택된 에너지 저장 장치(ESS, energy storage system)(160)는 주로 주거 및 건축 응용 분야들에 사용될 수 있으므로, 사람들이 에너지 저장 장치(160)에 쉽게 접근할 수 있다. 따라서, 실제로 에너지 저장 장치(160)에 접촉하는 사람들에게 위험을 초래할 수 있으며, 안정상의 이유로 유지 보수 동안 작업자들을 보호하기 위해 에너지 저장 장치(160)와 양극성 배전 시스템(140) 사이의 갈바닉 절연(galvanic isolation)이 권장된다.
- [0025] 일 실시예에 따르면 3 포트 DAB 컨버터가 에너지 저장 장치 충전기(170)로서 사용될 수 있다. 3 포트 DAB 컨버터는 충전기 응용 분야들에 필수적인 고주파 변압 및 양방향 전력 전송 기능을 갖는 갈바닉 절연을 제공할 수 있다. 3 포트 DAB 컨버터의 회로 구조에서 교차 결합된 루프들로 인하여, 3 포트 DAB 컨버터의 3개의 포트들 간에 전력 상관 관계가 나타나고, 양극성 저전압 직류 분배 시스템의 두 전력선들 사이에 전력 불균형이 발생할 수 있다. 상술한 전력 커플링 문제(power coupling issue)를 극복하기 위한 전력 디커플링 방법들(power decoupling methods)이 도입될 수 있다. 전력 디커플링 방법은 모든 동작점(operating point)에서 미리 계산되고 저장된 디커플링 매트릭스의 룩업 테이블을 구성함으로써 구현하여, 제어가 매우 복잡하다.
- [0026] 일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 갈바닉 절연 및 양방향 전력 제어 기능의 장점을 가질 수 있다. 예를 들어, 3 포트 DAB 컨버터는 추가적 제어 없이 포트들 간의 전력 커플링 문제를 극복할 수 있다. 또한, 3 포트 DAB 컨버터는 간단한 제어 알고리즘을 사용하여, 변환기는 계통 연계 전압 평형기 고장 조건에서 양극성 DC 버스 전압 레벨들을 조절할 수 있다. 더 나아가, 일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 보다 적은 전류 스트레스(current stress) 및 향상된 전체 전력 변환 효율을 나타낼 수 있다. 일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터는, 교류 계통 연계 전압 평형기(130)의 고장 동안에, 동일한 양의 에너지로 더 긴 시간 동안 양극성 직류 전압 레벨의 균형을 맞출 수 있다.
- [0027] 양극성 배전 시스템(140)의 전력선들에 불평형한 부하(151, 152, 및 153)가 연결될 수 있으며, 전압 평형기(voltage balancer)(130)가 고장나거나 없는 경우, 양극성 배전 시스템의 전력선들이 동일한 전압 레벨(voltage level)을 유지할 수 없다. 양극성 배전 시스템(140)에 연결된 전압 평형기(130)의 고장 발생시, 양극성 직류 전력선들의 전압 레벨을 동일하게 유지하기 위하여, 에너지 저장 장치(Energy Storage System, ESS)(160)가 에너지 저장 장치 충전기(ESS charger)(170)를 통하여 양극성 배전 시스템(140)에 연결될 수 있다. 예를 들어, 에너지 저장 장치 충전기(170)는 3 포트 DAB 컨버터가 될 수 있으며, 3 포트 DAB 컨버터는 양극성 직류 배전망의 제1 전력선 및 제2 전력선에 연결될 수 있다. 3 포트 DAB 컨버터는 DC-DC 컨버터로서 동작할 수 있다. 양극성 배전 시스템(140)은 양극성 저전압 직류 배전 시스템(Bipolar LVDC distribution system)일 수 있으며, 양극성 배전 망(bipolar distribution network)이라고도 나타낼 수 있다.
- [0028] 도 2는 일 실시예에 따른 전력 전달 시스템을 도시한다.
- [0029] 일 실시예에 따르면 전력 전달 시스템은 3 포트 DAB 컨버터(210), 에너지 저장 장치(220), 및 양극성 배전 시스템(230)을 포함할 수 있다.
- [0030] 3 포트 DAB 컨버터(210)는 에너지 저장 장치(220)로부터 수신된 전력을 양극성 배전 시스템(230)으로 제공하거나, 양극성 배전 시스템(230)으로부터 수신되는 전력을 이용하여 에너지 저장 장치(220)를 충전할 수 있다. 일 실시예에 따르면 3 포트 DAB 컨버터(210)는, 양극성 배전 시스템(230)의 주 전압 평형기(main voltage balancer)가 고장난(malfunctioned) 경우에 응답하여 에너지 저장 장치(220)로부터 수신된 전력의 전압을 변환하고, 변환된 전압을 갖는 전력을 양극성 배전 시스템으로 제공할 수 있다. 또한, 3 포트 DAB 컨버터(210)는, 주 전압 평형기의 정상 동작 동안, 양극성 배전 시스템(230)으로부터 전력을 수신하여 에너지 저장 장치(220)를 충전할 수도 있다. 예를 들어, 3 포트 DAB 컨버터(210)는 제1 브리지 회로(211), 제2 브리지 회로(212), 제3

브리지 회로(213), 및 3권선 변압기(214)를 포함할 수 있다.

- [0031] 제1 브리지 회로(211)는 에너지 저장 장치(220) 및 3권선 변압기(214) 사이에 연결될 수 있다. 제1 브리지 회로(211)는 에너지 저장 장치(220)로부터 수신되는 전력의 직류 전압을 교류 전압으로 변환하여 3권선 변압기(214)로 제공할 수 있다. 제2 브리지 회로(212) 및 제3 브리지 회로(213)는 3권선 변압기(214) 및 양극성 배전 시스템(230) 사이에 연결될 수 있다. 제2 브리지 회로(212) 및 제3 브리지 회로(213)는 3권선 변압기(214)로부터 수신되는 전력의 교류 전압을 직류 전압으로 변환하여 양극성 배전 시스템(230)으로 제공할 수 있다. 제2 브리지 회로(212), 제3 브리지 회로(213) 및 양극성 배전 시스템(230)은 중성점(N1)을 공유할 수 있다. 3권선 변압기(214)는 제1 브리지 회로(211)로부터 출력되는 전력의 전압을 권선비에 따라 변환하고, 변환된 전압을 갖는 전력을 제2 브리지 회로(212) 및 제3 브리지 회로(213)로 제공할 수 있다. 제2 브리지 회로(212)로 제공되는 전력의 전압 및 제3 브리지 회로(213)로 제공되는 전력의 전압의 크기는 동일할 수 있으나, 이로 한정하는 것은 아니고, 권선비에 따라 달라질 수도 있다.
- [0032] 일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터(210)의 상세한 구성은 하기 도 4에서 설명한다.
- [0033] 도 3은 예시적인 3 포트 DAB 컨버터의 회로도들을 도시한다. 도 4는 일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 구성에 관한 회로도들을 도시한다.
- [0034] 예시적인 3 포트 DAB 컨버터(300)는 변압기(314)와 제1 브리지 회로(311) 사이, 변압기(314)와 제2 브리지 회로(312) 사이, 및 변압기(314)와 제3 브리지 회로(313) 사이에 배치되는 외부 인덕터들(L_1 , L'_2 , L'_3)을 포함할 수 있다. 참고로, 외부 인덕터들이 통합된 변압기는 큰 누설 인덕턴스(large leakage inductance)를 요구할 수 있다. 그러나, 높은 누설 자속(high leakage flux)에 의해 발생된 열이 자기 코어(magnetic core) 상에 집중되기 때문에, 인덕터들이 통합된 변압기를 설계하는 것은 어려울 수 있다. 도 3 및 도 4에 도시된 3 포트 DAB 컨버터들(300, 400)에서는 설계 단순화를 위하여 변압기들(314, 414)과 분리된 외부 인덕터들(external inductors)이 사용될 수 있다.
- [0035] 일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터(400)에서는 변압기(314)와 제1 브리지 회로(311) 사이의 외부 인덕터(L_1)가 배제될 수 있다. 예를 들어, 3 포트 DAB 컨버터(400)의 변압기(414) 및 제1 포트(431)는 변압기(414) 및 제1 포트(431) 사이에 추가적인 외부 인덕터 소자(external inductor element) 없이 연결될 수 있다. 3 포트 DAB 컨버터(400)의 제1 브리지 회로(411)는, 도 4에 도시된 바와 같이, 노드(N2) 및 노드(N3) 사이에 추가적인 외부 인덕터 없이 권선(winding)으로 변압기(414)와 연결될 수 있다. 후술하겠으나, 도 4에 도시된 3 포트 DAB 컨버터(400)는, 도 3에 도시된 3 포트 DAB 컨버터(300)와 달리, 제1 포트(431)로부터 제2 포트(432)로의 전력 경로 및 제1 포트(431)로부터 제3 포트(433)로의 전력 경로를 서로 독립적으로 제어할 수 있다.
- [0036] 일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터(400)의 제1 포트(431)는 에너지 저장 장치(401)와 연결될 수 있다. 도 4에서 에너지 저장 장치(401)는 V_1 전압을 갖는 직류 전원 및 커패시터로 모델링되었으나, 이로 한정하는 것은 아니다. 일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터(400)의 제2 포트(432)는 양극성 직류 배전망의 제1 전력선에 연결될 수 있다. 3 포트 DAB 컨버터의 제3 포트(433)는 양극성 직류 배전망의 제2 전력선에 연결될 수 있다. 제1 전력선 및 제2 전력선에는 서로 반대 극성에 대응하는 전압 및 크기가 동일한 전압이 인가될 수 있으나, 설계에 따라 달라질 수 있다. 또한, 제2 포트(432) 및 제3 포트(433) 사이에 배치된 중성점 노드(N1)는 양극성 직류 배전망의 접지선(ground line)에 연결될 수 있다. 3 포트 DAB 컨버터(400)는 제1 브리지 회로(411), 제2 브리지 회로(412), 제3 브리지 회로(413), 및 변압기(414)를 포함할 수 있다.
- [0037] 제1 브리지 회로(411)는 제1 포트(431)와 변압기(414) 사이에 연결될 수 있다. 제2 브리지 회로(412)는 제2 포트(432)와 변압기(414) 사이에 연결될 수 있다. 제3 브리지 회로(413)는 제3 포트(433)와 변압기(414) 사이에 연결될 수 있다. 예를 들어, 제1 브리지 회로(411)는 풀 브리지(full-bridge) 회로일 수 있으며, 제2 브리지 회로(412) 및 제3 브리지 회로(413)는 하프 브리지(half-bridge) 회로일 수 있다.
- [0038] 풀 브리지 회로는 에너지 저장 장치로부터 제1 포트를 통해 수신되는 전력을 처리할 수 있다. 예를 들어, 풀 브리지 회로는 브리지 구조로 연결되는 4개의 스위치 소자들(S_{P1} , S_{P2} , S_{P3} , S_{P4})을 포함할 수 있고, 4개의 스위치 소자들(S_{P1} , S_{P2} , S_{P3} , S_{P4})은 제어부(470)로부터의 제어 신호에 따라 상보적으로 스위칭할 수 있다. 4개의 스위치 소자들(S_{P1} , S_{P2} , S_{P3} , S_{P4})은 제1 스위치 쌍(S_{P1} , S_{P4}) 및 제2 스위치 쌍(S_{P2} , S_{P3})으로 분류될 수 있고, 제1 스위치 쌍(S_{P1} , S_{P4}) 및 제2 스위치 쌍(S_{P2} , S_{P3})은 교대로 스위칭할 수 있다. 예를 들어, 제1 구간 동안 제1 스위치 쌍(S_{P1} , S_{P4})이 활성화되고 제2 스위치 쌍(S_{P2} , S_{P3})이 비활성화될 수 있고, 제1 구간 이후 제2 구간 동안 제1

스위치 쌍(S_{p1} , S_{p4})이 비활성화되고 제2 스위치 쌍(S_{p2} , S_{p3})이 활성화될 수 있다. 따라서 풀 브리지 회로는 상술한 상보적 스위칭을 통해 직류 전압을 교류 전압으로 변환할 수 있다.

[0039] 하프 브리지 회로는 풀 브리지 회로로부터 변압기(414)를 통해 수신되는 전력을 처리하여 제2 포트(432) 및 제3 포트(433)로 제공할 수 있다. 예를 들어, 제2 브리지 회로는 하프 브리지 구조로 연결되는 제1 하프 스위치들(S_{s1} , S_{s2})을 포함할 수 있고, 제3 브리지 회로는 하프 브리지 구조로 연결되는 제2 하프 스위치들(S_{t1} , S_{t2})을 포함할 수 있다. 제2 브리지 회로에서 제1 하프 스위치들(S_{s1} , S_{s2})은 제어부(470)의 제어 신호에 따라 교대로 스위칭할 수 있다. 유사하게, 제3 브리지 회로에서 제2 하프 스위치들(S_{t1} , S_{t2})도 제어부(470)의 제어 신호에 따라 교대로 스위칭할 수 있다. 따라서 제2 브리지 회로 및 제3 브리지 회로는 변압기(414)로부터 수신되는 교류 전력을 각각 서로에 대해 독립적으로 직류로 변환하여 각 포트에 제공할 수 있다. 참고로, 하프 브리지 회로는 풀 브리지 회로보다 상대적으로 적은 전력을 처리하기 때문에 직류 배전망의 전력선과 연결된 포트(예를 들어, 제2 포트, 제3 포트)에서 사용될 수 있다.

[0040] 본 명세서에서 스위칭 소자는 트랜지스터와 다이오드가 병렬로 연결된 구조로 도시되었으나, 이에 한정하는 것은 아니다. 스위칭 소자의 상보적 스위칭 동작은 하기 도 6의 타이밍도에서 보다 상세히 설명한다.

[0041] 3권선 변압기(three-winding transformer)(414)는 제1 포트(431), 제2 포트(432), 및 제3 포트(433)에 자기적으로 결합될 수 있다. 3권선 변압기(414)는 제1 포트, 제2 포트, 및 제3 포트에 직렬로 연결될 수 있다. 예를 들어, 3권선 변압기(414)는 제1 포트, 제2 포트, 및 제3 포트에 대해 Y형 결선(we connection)으로 연결될 수 있다. 3권선 변압기(414)는 에너지 저장 장치(401)와 양극성 배전 망 사이의 갈바닉 절연(galvanic isolation)을 제공할 수 있고, 포트 간의 전압 차이를 조정할 수 있다.

[0042] 예를 들어, 도 4에 도시된 3 포트 DAB 컨버터(400)에서 제1 외부 인덕터(first external inductor)(422)는 제2 브리지 회로(412)의 노드들($N4$ 및 $N5$) 사이에 연결될 수 있다. 도 4에 도시된 3 포트 DAB 컨버터(400)에서 제2 외부 인덕터(second external inductor)(423)는 제3 브리지 회로(413)의 노드들($N6$ 및 $N7$) 사이에 연결될 수 있다. 3 권선 변압기(414)는 제1 포트(431)에 연결되고, 제1 외부 인덕터(422)를 통해 제2 포트(432)에 연결되며, 제2 외부 인덕터(423)를 통해 제3 포트(433)에 연결될 수 있다. 제1 외부 인덕터(422)는 제2 포트(432)에 대한 전력 전달 소자(power transfer element)이고, 제2 외부 인덕터(423)는 제3 포트에 대한 전력 전달 소자이다.

[0043] 일 실시예에 따른 3 포트 DAB 컨버터(400)는, 도 3과 달리 $L1$ 인덕터가 없으므로, 감소된 인덕터 구조(reduced-inductor structure)를 가지며 양극성 저전압 직류 전압 평형기(Bipolar LVDC voltage balancer)로서 상당한 이점들을 제공할 수 있다.

[0044] 3 포트 DAB 컨버터(400)의 3권선 변압기(414)의 입력 전압은 제1 전압(v_1), 3권선 변압기(414)의 출력 전압들은 제2 전압(v'_2), 및 제3 전압(v'_3)로서, 각각 구형파 전압 소스들(square-wave voltage sources)로 모델링될 수 있다. 제1 전압(v_1)은 대각 스위치 쌍들(diagonal switch pairs)을 50% 듀티비(duty ratio)로 상보적으로 스위칭함으로써 생성될 수 있다. 제2 전압(v'_2) 및 제3 전압(v'_3)은 50% 듀티비로 상단 스위치들(예를 들어, S_{s1} , S_{t1}) 및 하단 스위치들(예를 들어, S_{s2} , S_{t2})을 상보적으로 스위칭함으로써 생성될 수 있다.

[0045] 3 포트 DAB 컨버터(400)는 각 포트의 전압 위상 시프트(voltage phase shift)에 의해 결정되는 전력을 인덕턴스들을 통하여 전송하는 원리를 2 포트 DAB 컨버터와 유사하게 가질 수 있다.

[0046] 일 실시예에 따른 3권선 변압기(414)는 코어(core) 및 코어에 단단히 감긴 권선(winding tightly wound to core)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 3권선 변압기(414)이 1차측 권선(primary side winding)은 코어에 대해 임계 간격 미만의 간격으로 와인딩될 수 있다. 3권선 변압기(400)는 제1 외부 인덕터(422) 및 제2 외부 인덕터(423)와 비교하여 상대적으로 작은 누설 인덕턴스를 가질 수 있다. 제1 포트(431) 및 3권선 변압기(414) 간의 인덕턴스는 제1 외부 인덕터(422) 및 제2 외부 인덕터(423)의 인덕턴스보다 충분히 작을 수 있고, 따라서 제1 포트(431) 및 3권선 변압기(414) 간의 인덕턴스는 무시될 수 있다.

[0047] 예를 들어, 제1 외부 인덕터(422) 및 제2 외부 인덕터(423)는 제1 포트(431) 및 3 권선 변압기(414) 간의 인덕턴스 보다 큰 인덕턴스를 가질 수 있다. 예를 들어, 제1 포트(431) 및 3권선 변압기(414) 간의 인덕턴스는, 제2 포트(432) 및 3 권선 변압기(414) 간의 인덕턴스보다 작을 수 있으며, 제1 포트(431) 및 3권선 변압기(414) 간의 인덕턴스는, 제3 포트(433) 및 3 권선 변압기(414) 간의 인덕턴스보다 작을 수 있다. 권선 및 제1 브리지

회로(411) 간의 제1 인덕턴스는, 제2 브리지 회로(412) 및 3 권선 변압기(414) 간의 제2 인덕턴스와 제3 브리지 회로(413) 및 3 권선 변압기(414) 간의 제3 인덕턴스보다 작을 수 있다. 또한, 3권선 변압기(414)의 권선도 제1 외부 인덕터(422) 및 제2 외부 인덕터(423)보다 작은 인덕턴스를 가질 수 있다. 다른 예를 들어, 제1 포트(431) 및 3 권선 변압기(414) 간의 인덕턴스는 제1 외부 인덕터(422)의 인덕턴스 및 제2 외부 인덕터(423)의 인덕턴스 대비 임계 비율 미만의 인덕턴스를 가질 수 있다. 또한, 일 실시예에 따르면 제1 포트(431) 및 3 권선 변압기(414) 간의 인덕턴스는 임계 인덕턴스 크기 미만의 인덕턴스를 가질 수도 있다.

[0048] 도 5에서는 도 4에 도시된 3 포트 DAB 컨버터의 회로가 간소화된(simplified) 델타 연결 등가 회로도를 도시한다.

[0049] 도 5의 L_{12} , L_{13} , L_{23} 는 각각 제1 브리지 및 제2 브리지 사이의 유효 인덕턴스, 제1 브리지 및 제3 브리지 사이의 유효 인덕턴스, 제2 브리지 및 제3 브리지 사이의 유효 인덕턴스를 나타낼 수 있다. 예를 들어, L_{12} 는 $(L_1 L'_2 + L'_2 L'_3 + L'_3 L_1)/L_3$ 로, L_{13} 는 $(L_1 L'_2 + L'_2 L'_3 + L'_3 L_1)/L_2$ 로, L_{23} 는 $(L_1 L'_2 + L'_2 L'_3 + L'_3 L_1)/L_1$ 로 표현될 수 있다. 여기서 L_1 은 도 4에 도시된 제1 브리지 회로 및 3권선 변압기 간의 인덕턴스, L'_2 은 도 4에 도시된 제2 브리지 회로 및 3권선 변압기 간의 인덕턴스, L'_3 은 도 4에 도시된 제3 브리지 회로 및 3권선 변압기 간의 인덕턴스를 나타낼 수 있다.

[0050] 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터(400)의 제1 포트 및 3권선 변압기 간의 인덕턴스는 제1 외부 인덕터 및 제2 외부 인덕터와 비교하여 무시될 수 있으므로, $L_1=0$ 으로 간주될 수 있다. 제2 브리지 회로 및 제3 브리지 회로 사이의 유효 인덕턴스(L_{23})는 무한대가 될 수 있다. 따라서, 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터(400)의 도 5에 도시된 델타 연결 등가 회로도에서 제2 전압(v'_2) 및 제3 전압(v'_3) 사이의 직접적인 전력 경로가 차단될 수 있다. 다시 말하면, 제2 포트 및 3 포트 사이의 직접적인 전력 전송 경로가 차단될 수 있다. 그러나, 제2 포트 및 제3 포트 사이에 제1 포트를 경유하여 간접적으로 전력이 전송될 수 있다.

[0051] 도 6은 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서 3권선 변압기의 입출력 전압 및 입출력 전류의 파형을 도시한다.

[0052] 도 6은 위상을 나타내는 가로축에 대해, 3권선 변압기의 입력 전압인 제1 전압(v_1)의 파형(610), 3권선 변압기의 출력 전압인 제2 전압(v'_2)의 파형(620), 3권선 변압기의 출력 전압인 제3 전압(v'_3)의 파형(630), 제1 브리지 및 3권선 변압기 사이에 흐르는 제1 전류(i_1)의 파형(640), 제2 브리지 및 3권선 변압기 사이에 흐르는 제2 전류(i_2)의 파형(650), 제3 브리지 및 3권선 변압기 사이에 흐르는 제3 전류(i_3)의 파형(660)을 나타낼 수 있다. 도 6에서 세로축은 전기 신호의 세기로서, 전압에 대해서는 예를 들어 V 단위, 전류에 대해서는 예를 들어, A단위를 나타낼 수 있으나, 이로 한정하는 것은 아니다.

[0053] 제1 전압(v_1)의 파형(610)은, 풀 브리지 회로의 브리지 구조로 연결되는 제1 스위치 쌍(S_{P1} , S_{P4}) 및 제2 스위치 쌍(S_{P2} , S_{P3})이 교대로 스위칭함으로써, 생성될 수 있다. 예를 들어, 제1 구간(first interval) 동안 제1 스위치 쌍(S_{P1} , S_{P4})이 활성화(예를 들어, 턴온)되고, 제2 스위치 쌍(S_{P2} , S_{P3})이 비활성화(예를 들어, 턴오프)될 수 있으며, 제1 구간 이후 제2 구간 동안 제1 스위치 쌍(S_{P1} , S_{P4})이 비활성화되고 제2 스위치 쌍(S_{P2} , S_{P3})이 활성화될 수 있다. 도 6에서 제1 구간 및 제2 구간은 제1 전압(v_1)의 파형(610)의 주기 중 각각 반주기(half period)(예를 들어, π)이고, 제1 전압(v_1)의 파형(610)의 진폭은 V_1 인 것으로 도시되었으나, 이로 한정하는 것은 아니고 설계에 따라 변경될 수 있다.

[0054] 제2 전압(v'_2)의 파형(620)은, 하프 브리지 회로의 브리지 구조로 연결되는 제1 하프 스위치들(S_{S1} , S_{S2})이 교대로 스위칭함으로써, 생성될 수 있다. 예를 들어, 제어부로부터의 제어 신호에 따라 제1 하프 스위치들이 교대로 스위칭될 수 있다. 예를 들어, 제1 구간 동안 스위치(S_{S1})가 활성화되고, 스위치(S_{S2})가 비활성화될 수 있으며, 제2 구간 동안 스위치(S_{S2})가 활성화되고, 스위치(S_{S1})가 비활성화될 수 있다. i_2 는 제1 전압(v_1)에 관하여 제2 전압(v'_2)의 전압 위상 시프트(voltage phase shift)를 나타낼 수 있다. 제2 전압(v'_2)의 파형(620)의 제1 구간은 제1 전압(v_1)의 파형(610)의 제1 구간으로부터 위상 시프트 i_2 만큼 지연될 수 있다. 예를 들어, 제1 하프 스위치들 중 스위치(S_{S1})는, 제1 스위치 쌍(S_{P1} , S_{P4})이 활성화된 시점으로부터 위상 시프트 i_2 만큼 지연된 시

점에서 활성화될 수 있다. 유사하게, 제1 하프 스위치들 중 스위치(S_{S2})는, 제2 스위치 쌍(S_{P2} , S_{P3})이 활성화된 시점으로부터 위상 시프트 t_2 만큼 지연된 시점에서 활성화될 수 있다. 도 6에서 제2 전압(v_2)의 파형(620)의 제1 구간 및 제2 구간은 제2 전압(v_2)의 파형(620)의 주기 중 각각 반주기이고, 제2 전압(v_2)의 파형(620)의 진폭은 $0.5V_2$ 인 것으로 도시되었으나, 이로 한정하는 것은 아니고 설계에 따라 변경될 수 있다.

[0055] 제3 전압(v_3)의 파형(630)은, 하프 브리지 회로의 브리지 구조로 연결되는 제2 하프 스위치들(S_{T1} , S_{T2})이 교대로 스위칭함으로써, 생성될 수 있다. 예를 들어, 제어부로부터의 제어 신호에 따라 제2 하프 스위치들이 교대로 스위칭될 수 있다. 예를 들어, 제1 구간 동안 스위치(S_{T1})가 활성화되고, 스위치(S_{T2})가 비활성화될 수 있으며, 제2 구간 동안 스위치(S_{T2})가 활성화되고, 스위치(S_{T1})가 비활성화될 수 있다. t_3 는 제1 전압(v_1)에 관하여 제3 전압(v_3)의 전압 위상 시프트를 나타낼 수 있다. 제3 전압(v_3)의 파형(630)의 제1 구간은 제1 전압(v_1)의 파형(610)의 제1 구간으로부터 위상 시프트 t_3 만큼 지연될 수 있다. 예를 들어, 제2 하프 스위치들 중 스위치(S_{T1})는, 제1 스위치 쌍(S_{P1} , S_{P4})이 활성화된 시점으로부터 위상 시프트 t_3 만큼 지연된 시점에서 활성화될 수 있다. 유사하게, 제2 하프 스위치들 중 스위치(S_{T2})는, 제2 스위치 쌍(S_{P2} , S_{P3})이 활성화된 시점으로부터 위상 시프트 t_3 만큼 지연된 시점에서 활성화될 수 있다. 도 6에서 제3 전압(v_3)의 파형(630)의 제1 구간 및 제2 구간은 제3 전압(v_3)의 파형(630)의 주기 중 각각 반주기이고, 제3 전압(v_3)의 파형(630)의 진폭은 $0.5V_3$ 인 것으로 도시되었으나, 이로 한정하는 것은 아니고 설계에 따라 변경될 수 있다.

[0056] 제1 전류(i_1)의 파형(640)에서 제1 전류(i_1)는 각각의 스위칭에 따른 제1 전압(v_1), 제2 전압(v_2), 및 제3 전압(v_3)의 크기가 변할 때마다, 제1 전류(i_1)의 기울기(slope)는 변할 수 있다. 예를 들어, 제1 스위치 쌍(S_{P1} , S_{P4})이 활성화되어 제1 전압(v_1)이 증가하는 경우, 제1 전류(i_1)의 기울기가 증가할 수 있다. 스위치(S_{S1})이 활성화되어 제2 전압(v_2)이 증가하는 경우, 제1 전류(i_1)의 기울기는 이전 시점보다 감소할 수 있다. 스위치(S_{T1})이 활성화되어 제3 전압(v_3)이 증가하는 경우, 제1 전류(i_1)의 기울기가 0으로 감소될 수 있다.

[0057] 제2 전류(i_2)의 파형(650)에서 제2 전류(i_2)는 각각의 스위칭에 따른 제1 전압(v_1), 및 제2 전압(v_2)의 크기가 변할 때마다, 제2 전류(i_2)의 기울기(slope)는 변할 수 있다. 예를 들어, 제1 스위치 쌍(S_{P1} , S_{P4})이 활성화되어 제1 전압(v_1)이 증가하는 경우, 제2 전류(i_2)의 기울기가 증가할 수 있다. 스위치(S_{S1})이 활성화되어 제2 전압(v_2)이 증가하는 경우, 제2 전류(i_2)의 기울기가 0으로 감소될 수 있다.

[0058] 제3 전류(i_3)의 파형(660)에서 제3 전류(i_3)는 각각의 스위칭에 따른 제1 전압(v_1), 및 제3 전압(v_3)의 크기가 변할 때마다, 제3 전류(i_3)의 기울기(slope)는 변할 수 있다. 예를 들어, 제1 스위치 쌍(S_{P1} , S_{P4})이 활성화되어 제1 전압(v_1)이 증가하는 경우, 제3 전류(i_3)의 기울기가 증가할 수 있다. 스위치(S_{T1})이 활성화되어 제3 전압(v_3)이 증가하는 경우, 제3 전류(i_3)의 기울기가 0으로 감소될 수 있다.

[0059] 도 7은 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 제어 블록도이다.

[0060] 도 4에 도시된 제어기(440)는 예시적으로 도 7에 도시된 제어기(770)로 구현될 수 있다. 제어기(770)는 양극성 배전 시스템(730)으로부터 피드백되는 제1 전력선의 전압(V_2) 및 제2 전력선의 전압(V_3)을 획득하고, 제1 전력선의 전압(V_2) 및 제2 전력선의 전압(V_3)에 기초하여 제어 신호들을 생성하며, 제어 신호들에 따라 브리지 회로들을 스위칭함으로써 입력측 전압을 기준으로 출력측 전압들의 위상을 조절할 수 있다. 예를 들어, 제어기(770)는 제1 PI 제어기(751), 제2 PI 제어기(752), 제1 스위칭 제어기(761), 제2 스위칭 제어기(762)를 포함할 수 있다.

[0061] 제1 PI 제어기(751)는 제1 전력선의 전압(V_2) 및 제1 기준 전압(V_2^*)에 기초하여 제1 제어 신호를 생성할 수 있다. 제1 기준 전압(V_2^*)은 미리 결정된 전압으로서, 예를 들어, 사용자에게 의해 설정될 수 있다. 제1 PI 제어기(751)는 제1 전력선의 전압(V_2) 및 제1 기준 전압(V_2^*) 간의 오차로부터 비례 이득(예를 들어, K_p) 및 적분 이득

(예를 들어, K_i)에 기초한 PI 제어 결과를 상술한 제1 제어 신호로서 출력할 수 있다. 예를 들어, 제1 PI 제어기(751)는 제1 제어 신호로서 전압 위상 시프트($_{12}$)에 대응하는 제1 제어 전압을 출력할 수 있다. 제1 스위칭 제어기(761)는 제1 PI 제어기(751)로부터 출력된 제1 제어 전압에 응답하여 전압 위상 시프트($_{12}$)만큼 지연된 타이밍으로 제2 브리지 회로의 스위치들을 스위칭할 수 있다. 3 포트 DAB 컨버터의 제2 브리지 회로는 제1 전압을 기준으로 전압 위상 시프트($_{12}$)만큼 지연된 제2 전압을 출력할 수 있다. 다만, 제어 신호를 이로 한정하는 것은 아니고 설계에 따라 달라질 수 있다.

[0062] 제2 PI 제어기(752)는 제2 전력선의 전압(V_3) 및 제2 기준 전압(V_3^*)에 기초하여 제2 제어 신호를 생성할 수 있다. 제2 기준 전압(V_3^*)은 미리 결정된 전압으로서, 예를 들어, 사용자에게 의해 설정될 수 있다. 제2 PI 제어기(752)는 제2 전력선의 전압(V_3) 및 제2 기준 전압(V_3^*) 간의 오차로부터 비례 이득 및 적분 이득에 기초한 PI 제어 결과를 상술한 제2 제어 신호로서 출력할 수 있다. 예를 들어, 제2 PI 제어기(752)는 제2 제어 신호로서 전압 위상 시프트($_{13}$)에 대응하는 제2 제어 전압을 출력할 수 있다. 제2 스위칭 제어기(762)는 제2 제어 전압에 응답하여 전압 위상 시프트($_{13}$)만큼 지연된 타이밍으로 제3 브리지 회로의 스위치들을 스위칭할 수 있다. 3 포트 DAB 컨버터의 제3 브리지 회로는 제1 전압을 기준으로 전압 위상 시프트($_{13}$)만큼 지연된 제3 전압을 출력할 수 있다. 다만, 제어 신호를 이로 한정하는 것은 아니고, 설계에 따라 달라질 수 있다.

[0063] 3 포트 DAB 컨버터는 제2 브리지 회로의 스위칭에 따른 제2 전류(I_2)를 제1 전력선으로 제공할 수 있고, 제3 브리지 회로의 스위칭에 따른 제3 전류(I_3)를 제2 전력선으로 제공할 수 있다.

[0064] 아래 도 8에서 후술하겠으나 일 실시예에 따르면 3 포트 DAB 컨버터는 제1 PI 제어기(751)를 사용하여 제1 전력선의 전압(V_2) 레벨을, 제2 PI 제어기(752)와는 독립적으로 제어할 수 있다. 또한, 3 포트 DAB 컨버터(710)는 제2 PI 제어기(752)를 사용하여 제2 전력선의 전압(V_3) 레벨을, 제1 PI 제어기(751)와는 독립적으로 제어할 수 있다.

[0065] 도 8은 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터를 제어 루프들로 모델링한 제어 블록도이다.

[0066] 도 4에 도시된 3 포트 DAB 컨버터(400)는 도 8에 도시된 2 포트 네트워크(810)로 모델링될 수 있다. 예를 들어, 3 포트 DAB 컨버터(400)는 제1 포트로부터 제2 포트로의 전력 경로 및 제1 포트로부터 제3 포트로의 전력 경로를 서로 독립적으로 제어할 수 있다. 예를 들어, 포트들 간의 전력 전송은 아래의 수학적식들과 같이 나타낼 수 있다.

수학적식 1

$$P_{12} = \frac{V_1(0.5n_{12}V_2)}{2\pi^2 f_{sw}L_{12}} \phi_{12}(\pi - |\phi_{12}|)$$

[0067]

수학적식 2

$$P_{13} = \frac{V_1(0.5n_{13}V_3)}{2\pi^2 f_{sw}L_{13}} \phi_{13}(\pi - |\phi_{13}|)$$

[0068]

수학식 3

$$P_{23} = \frac{(0.5n_{12}V_2)(0.5n_{13}V_3)}{2\pi^2 f_{sw} L_{23}} (\phi_{13} - \phi_{12})(\pi - |\phi_{13} - \phi_{12}|)$$

[0069]

수학식 4

$$P_1 = P_{12} + P_{13}, \quad P_2 = -P_{12} + P_{23}, \quad P_3 = -P_{13} - P_{23}$$

[0070]

[0071]

P_{12} 는 제1 포트에서 제2 포트에 전송되는 전력, P_{13} 은 제1 포트에서 제3 포트에 전송되는 전력, P_{23} 은 제2 포트에서 제3 포트에 전송되는 전력을 나타낼 수 있다. n_{12} 는 n_1/n_2 으로서 3권선 변압기의 제1 포트 및 제2 포트의 권선비(turn ratio)를 나타낼 수 있다. n_{13} 은 n_1/n_3 으로서 3권선 변압기의 제1 포트 및 제3 포트의 권선비를 나타낼 수 있다. f_{sw} 는 스위칭 주파수를 나타낼 수 있다.

[0072]

도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터(400)의 제1 포트 및 3권선 변압기 간의 인덕턴스는 제1 외부 인덕터 및 제2 외부 인덕터와 비교하여 무시될 수 있으므로, $L_1=0$ 으로 간주될 수 있다. 제2 브리지 회로 및 제3 브리지 회로 사이의 유효 인덕턴스(L_{23})는 무한대가 될 수 있다. 따라서, P_{23} 은 제어 변수들(i_{12} 및 i_{13})에 관계없이 0일 수 있다. 따라서, 상술한 수학식 4는 아래 수학식 5와 같이 간략화 될 수 있다.

수학식 5

$$P_1 = P_{12} + P_{13}, \quad P_2 = -P_{12}, \quad P_3 = -P_{13}$$

[0073]

[0074]

3 포트 DAB 컨버터(400)는 컨덕턴스들 $G_{11}(811)$, $G_{12}(812)$, $G_{21}(821)$, 및 $G_2(822)$ 로 모델링 될 수 있다. 3 포트 DAB 컨버터(400)의 $G_{11}(811)$, $G_{12}(812)$, $G_{21}(821)$, $G_2(822)$ 는 아래 수학식 6 내지 수학식 10과 같이 표현될 수 있다. 도 3에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 전압 레벨들의 불평형을 유발할 수 있는 교차 결합된 제어 루프들(cross-coupled control loops)(예를 들어, $G_{12}(812)$, $G_{21}(821)$)을 가질 수 있다. 그러나 3 포트 DAB 컨버터(400)에서, 제1 포트 측 외부 인덕터가 배제된 구조에 의하여 교차 결합된 제어 루프들이 자동적으로 캔슬(cancel)될 수 있다. 따라서, 제1 제어기(851) 및 제2 제어기(852)는 독립적으로 각 직류 전력선 사이의 간섭 없이 상응하는 제1 전력선의 전압(V_2) 및 제2 전력선의 전압(V_3)을 조절할 수 있다. 따라서 서로 다른 부하 조건에서도 제1 전력선의 전압(V_2) 레벨 및 제2 전력선의 전압(V_3) 레벨이 유지될 수 있다. 참고로, 제1 제어기(851) 및 제2 제어기(852)의 각각은 PI 제어기 및 스위치 제어기의 조합일 수 있으나, 이로 한정하는 것은 아니다.

[0075]

전력선의 전압 레벨이 일정한 경우, 전력은 입력 전류(I_1 , 도시되지 않음), 제1 출력선(예를 들어, 제1 전력선)의 전류(I_2), 제2 출력선(예를 들어, 제2 전력선)의 전류(I_3)에 따라 변동될 수 있다. 3 포트 DAB 컨버터는 i_{12} 및 i_{13} 의 제어 변수를 사용하여 제1 포트, 제2 포트, 및 제3 포트의 전력들을 조절할 수 있다. 전력 손실이 무시된다면, 제1 포트, 제2 포트, 및 제3 포트의 전력의 합은 0일 수 있다. 따라서, 다른 두개의 포트 전류들이 i_{12} 및 i_{13} 에 의해 제어되는 경우, 나머지 하나의 포트 전류가 자동으로 결정될 수 있다. 예를 들어, 제1 출력선의 전류(I_2) 및 제2 출력선의 전류(I_3)는, 제1 전압(V_1)의 파형(610)의 진폭(V_1)으로 표현할 수 있다.

수학식 6

$$I_2 = \frac{V_1}{2\pi^2 f_{sw} L_{12}} \phi_{12} (\pi - |\phi_{12}|)$$

[0076]

수학식 7

$$I_3 = \frac{V_1}{2\pi^2 f_{sw} L_{13}} \phi_{13} (\pi - |\phi_{13}|)$$

[0077]

[0078] 상술한 수학식 6 및 수학식 7의 포트 전류 방정식들은 비선형 방정식이다. 이 때, 선형화된 모델링 접근 (linearized modeling approach)이 컨버터 동작점들(converter operating points) 주위에 적용될 수 있다:

수학식 8

$$I_2 = \frac{V_1}{2\pi^2 f_{sw} L_{12}} (1 - \frac{2}{\pi} |\phi_{op12}|) \phi_{12}$$

[0079]

수학식 9

$$I_3 = \frac{V_1}{2\pi^2 f_{sw} L_{13}} (1 - \frac{2}{\pi} |\phi_{op13}|) \phi_{13}$$

[0080]

[0081] ϕ_{op12} 및 ϕ_{op13} 은 컨버터 동작점들에서 전압 위상 시프트를 나타낼 수 있으며, $-\delta/2$ 에서 $\delta/2$ 까지 다양한 값을 가질 수 있다. 예를 들어, 선형화된 컨버터 시스템 매트릭스는 다음과 같이 설명될 수 있다.

수학식 10

$$\begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{12} \\ \phi_{13} \end{bmatrix} = \vec{G} \vec{\phi}$$

[0082]

수학식 11

$$G_{11} = \frac{V_1}{4\pi^2 f_{sw} L_{12}} (1 - \frac{2}{\pi} |\phi_{op12}|)$$

[0083]

수학식 12

$$G_{22} = \frac{V_1}{4\pi^2 f_{sw} L_{13}} \left(1 - \frac{2}{\pi} |\phi_{op13}| \right)$$

[0084]

수학식 13

$$G_{12} = G_{21} = 0$$

[0085]

[0086] 상술한 수학식 10에 표현된 선형화된 시스템 매트릭스 G 는 대각 매트릭스를 나타낼 수 있다. G 는 3 포트 DAB 컨버터가 상응하는 위상 시프트 변수들을 사용하여 전력선의 전압 레벨을 독립적으로 제어할 수 있음을 나타낸다. 도 3에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 $G_{12}(812)$ 및 $G_{21}(821)$ 이 0이 될 수 없어, 전압 평형의 제어에 어려움이 있을 수 있다. 그러나, 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터(400)는, 제1 포트의 외부 인덕터가 제거된 3 포트 DAB 컨버터의 구조로 인하여, 커플링(coupling) 요소들이 제거된다. 따라서 서로 독립적으로 제어 가능한 제1 제어기(851) 및 제2 제어기(852)가 요구되므로, 3 포트 DAB 컨버터는 간단한 제어 메커니즘을 통해 추가적인 제어 방법들 없이 전력선의 전압들의 균형을 맞출 수 있다.

[0087] 도 9는 3 포트 DAB 컨버터의 제1 포트의 전류 스트레스 그래프를 도시한다. 도 10는 3 포트 DAB 컨버터의 제2 포트의 전류 스트레스 그래프를 도시한다. 도 11는 3 포트 DAB 컨버터의 제3 포트의 전류 스트레스 그래프를 도시한다.

[0088] 도 9는 제1 포트 전력(p.u)을 나타내는 가로축에 대해, 제3 포트 전력이 1.0 p.u인 경우, 도 3에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 제1 포트 전류 스트레스 그래프(910), 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 제1 포트 전류 스트레스 그래프(910)를 나타낼 수 있다.

[0089] 도 10는 제2 포트 전력(p.u)을 나타내는 가로축에 대해, 제3 포트 전력이 1.0 p.u인 경우, 도 3에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 제2 포트 전류 스트레스 그래프(1010), 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 제1 포트 전류 스트레스 그래프(1020)를 나타낼 수 있다.

[0090] 도 11는 제3 포트 전력(p.u)을 나타내는 가로축에 대해, 제3 포트 전력이 1.0 p.u인 경우, 도 3에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 제2 포트 전류 스트레스 그래프(1110), 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 제1 포트 전류 스트레스 그래프(1120)를 나타낼 수 있다.

[0091] 도 9, 도 10, 및 도 11을 참조하면, 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 도 3에 따른 DAB 컨버터보다 낮은 전류 스트레스(current stress)를 가질 수 있다. 예를 들어, 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 임계 미만의 전류 스트레스를 가질 수 있다. 도 3에 따른 DAB 컨버터는 제2 포트 및 제3 포트 사이의 전력 경로로 인하여 높은 전류 스트레스를 가질 수 있다. 제2 포트와 제3 포트 사이의 전력 경로를 통하여도 누설 전력이 흐를 수 있다. 예를 들어, 제2 포트 전력이 0인 경우라도, 제1 포트에서 제2 포트에 공급되는 전력(P_{12})이 제2 포트에서 제3 포트에 전송하는 전력(P_{23})과 같을 수 있다. 따라서 전체 전력(net power)이 0인 경우에도, 높은 무효 전력이 발생될 수 있으며, 이는 3 포트 DAB 컨버터에서 높은 전류 스트레스들을 유발할 수 있다. 반면, 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터에는 제2 포트 및 제3 포트 사이의 전력 경로가 존재하지 않으므로, 낮은 전류 스트레스를 가질 수 있다.

[0092] 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 낮은 전류 정격 전력(lower current rated power) 스위치들 및 인덕터들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 임계 미만의 전류 흐름을 허용하는 스위치들 및 인덕터들이 사용될 수 있다. 또한, 낮은 전류 스트레스는 3 포트 DAB 컨버터에서 시스템 효율(system efficiency)을 높일 수 있다. 따라서, 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 동일한 양의 에너지를 에너지 저장 장치에 충전하여, 배전 시스템의 전압들이 더 오랜 시간동안 평형이 되도록 할 수 있다. 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 전류 스트레스는 인덕터 볼트-초 평형 원리(inductor volt-second balance principle)에 의해 표현될 수 있다. 아래 수학식 14 내지 수학식 19는 전력선 별 특정 위상들에서의 전류 값을 나타낼 수 있다.

수학식 14

$$i_2(\theta_1) = -\frac{1}{4f_{sw}L_{12}}[(2d_2 - 1)(0.5n_{12}V_2) + V_1]$$

[0093]

수학식 15

$$i_2(\theta_2) = \frac{1}{4f_{sw}L_{12}}[(2d_2 - 1)V_1 + (0.5n_{12}V_2)]$$

[0094]

수학식 16

$$i_2(\theta_3) = \frac{1}{4f_{sw}L_{12}}[(2d_3 - 1)V_1 + (1 + 2d_2 - 2d_3)(0.5n_{12}V_2)]$$

[0095]

수학식 17

$$i_3(\theta_1) = -\frac{1}{4f_{sw}L_{13}}[(2d_3 - 1)(0.5n_{13}V_3) + V_1]$$

[0096]

수학식 18

$$i_3(\theta_2) = \frac{1}{4f_{sw}L_{13}}[(2d_3 - 2d_2 - 1)(0.5n_{13}V_3) + (1 - 2d_2)V_1]$$

[0097]

수학식 19

$$i_3(\theta_3) = \frac{1}{4f_{sw}L_{13}}[(2d_3 - 1)V_1 + (0.5n_{12}V_2)]$$

[0098]

[0099]

d_2 및 d_3 는 개별적으로 기준 전압인 제1 전압에 상응하는 제2 전압 및 제3 전압의 듀티비를 나타낼 수 있으며, θ_1 은 제1 브리지 회로의 제1 스위치 쌍(예를 들어, S_{S1} 및 S_{S1})이 활성화되는 위상을 나타낼 수 있고, θ_2 는 제2 브리지 회로의 스위치(예를 들어, S_{S1})이 활성화되는 위상, θ_3 는 제3 브리지 회로의 스위치(예를 들어, S_{T1})이 활성화되는 위상을 나타낼 수 있다.

[0100]

도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서, 제2 포트 및 제3 포트 사이에 경로가 없기 때문에, 제2 포트와 제3 포트는 제1 포트에 병렬로 연결된 것으로 이해할 수 있다. 따라서 제1 브리지 및 3권선 변압기 사이의 제1 전류는 제2 브리지 및 3권선 변압기 사이의 제2 전류 및 제2 브리지 및 3권선 변압기 사이의 제3 전류의 합으로 나타낼 수 있다.

수학식 20

$$i_1(\theta_x) = i_2(\theta_x) + i_3(\theta_x)$$

[0101]

[0102] x는 1, 2 및 3 중 한 정수일 수 있다. 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 전류 스트레스는 각 포트의 피크 전류 값으로 정의될 수 있다. 예를 들어, 전압들 및 인덕턴스들이 동일한 값(예를 들어, $V_1 = 0.5n_{12}V_2 = 0.5n_{13}V_3$, $L_2 = L_3$, 및 $L_1 = 0$)을 갖는 경우, 각 포트의 전류 스트레스를 아래 수학식 21 내지 수학식 23과 같이 단순화할 수 있으며, 각 포트의 피크 전류 값을 θ_1 으로 표현할 수 있다:

수학식 21

$$i_{1,\max,\text{pr}} = |i_1(\theta_1)| = \frac{V}{2f_{sw}L}(d_2 + d_3)$$

[0103]

수학식 22

$$i_{2,\max,\text{pr}} = |i_2(\theta_1)| = \frac{V}{2f_{sw}L}(d_2)$$

[0104]

수학식 23

$$i_{3,\max,\text{pr}} = |i_3(\theta_1)| = \frac{V}{2f_{sw}L}(d_3)$$

[0105]

[0106] 도 3에 따른 3 포트 DAB 컨버터의 각 포트의 피크 전류 값도 위와 같은 방식으로 아래 수학식 24 내지 수학식 26과 같이 단순화할 수 있다.

수학식 24

$$i_{1,\max,\text{co}} = |i_1(\theta_1)| = \frac{V}{2f_{sw}L}[(d_2 + d_3)/3]$$

[0107]

수학식 25

$$i_{2,\max,\text{co}} = |i_2(\theta_2)| = \frac{V}{2f_{sw}L}(d_3/3)$$

[0108]

수학식 26

$$i_{3,\max,\text{co}} = |i_3(\theta_1)| = \frac{V}{2f_{\text{sw}}L} [(2d_3 - d_2) / 3]$$

[0109]

[0110] L은 L1을 나타낼 수 있다. 도출된 값들을 정규화하기 위하여, 도출된 전력 및 전류의 정규화된 계수들은 아래 수학식 27과 같이 정의될 수 있다.

수학식 27

$$P_N = VI_N = \frac{V^2}{24f_{\text{sw}}L} \quad \text{where, } I_N = \frac{V}{24f_{\text{sw}}L}$$

[0111]

[0112] 도 9, 도 10, 도 11에 도시된 그래프들은 수학식 21 내지 수학식 26을 수학식 27의 전력 계수(P_N) 및 전류 계수(I_N)로 나눈 값들로 전류 스트레스를 표현한 것이다.

[0113] 도 12은 3-kW 프로토타입(prototype) 3 포트 DAB 컨버터의 어플리케이션을 도시한다.

[0114] 도 12에 도시된 3kW 프로토타입 전압 평형기는 유효성과 성능을 검증하기 위하여 사용될 수 있다. 제1 브리지 회로(1211)는 3권선 변압기(1214)와 연결될 수 있으며, 3권선 변압기(1214)는 제1 외부 인덕터(1222) 및 제2 외부 인덕터(1223)과 연결될 수 있다. 또한, 제1 외부 인덕터(1222)는 제2 브리지 회로(1212)와 연결될 수 있으며, 제2 외부 인덕터(1213)는 제3 브리지 회로(1213)와 연결될 수 있다. 센서(1280)는 전력선의 전압을 전달받아, 제어기(1270)로 신호(예를 들어, 전압)를 전달할 수 있다. 제어기(1270)는 제어 신호에 대응하는 전압 위상 시프트로 제2 브리지 회로(1212) 및 제3 브리지 회로(1213)를 스위칭 할 수 있다.

[0115] 예를 들어, 프로토타입 컨버터 사양들 및 파라미터들(Prototype Converter Specifications And Parameters)은 표 1과 같은 값을 가질 수 있다.

표 1

[0116]

프로토타입 컨버터 사양들(specifications) 및 파라미터들(parameters)		
파라미터(Parameter)	기호(Symbol)	값(Value)
정격 전력	-	3kW
전력 MOSFET	-	IPW65R041
ESS 전압	V_1	200V
양극성 전력선 전압	V_2	380V
	V_3	380V
변압기 권선비	$n_{12}(n_1/n_2)$	1
	$n_{13}(n_1/n_3)$	1
인덕터	L'_2	33.1 μH
	L'_3	32.6 μH
스위칭 주파수	f_{sw}	25 kHz

[0117] 전력 스위치로 사용되는 MOSFET들은 컨버터의 3개의 브리지들에 설치될 수 있다. 예를 들어, 3 권선 변압기(1214)는 EER6062S 페라이트 코어를 사용하여 설계될 수 있다. 제1 외부 인덕터(1222) 및 제2 외부 인덕터(1223)들은 두 직류 전력선들 모두에서 동일한 전력 전송 기능을 위해 예를 들어 동일한 인덕턴스로 설계될 수 있다. 예를 들어, 제1 외부 인덕터(1222) 및 제2 외부 인덕터(1223)는 높은 자속 코어들의 CH610125를 사용할 수 있다. 예를 들어, 제어기(1270)는 Texas Instruments에서 제조한 TMS320F28335 DSP로 구현될 수 있다. 다

만, 도 12는 단순한 예시로서, 이로 한정하는 것은 아니다. 도 13은 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서 3권선 변압기의 입출력 전압 및 입출력 전류의 파형을 도시한다.

[0118] 도 13은 위상을 나타내는 가로축에 대해, 균형 있는 부하 조건에서의 동작 그래프(1310), 불균형한 부하 조건에서의 동작 그래프(1320)를 나타낼 수 있다. 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 균형 및 불균형 부하 조건들 하에서 양극성 직류 전압 레벨의 균형을 유지할 수 있다. 예를 들어, 동작 그래프(1310)는 양 전력선에 1.5KW를 공급하는 균형 있는 부하 조건에서의 파형들을 포함할 수 있다. 전력선의 전압(V_2 , V_3) 레벨들은 $_{12}$ 및 $_{13}$ 의 전압 위상 시프트(약 20도)와 함께 380V로 조정될 수 있다. 예를 들어, 동작 그래프(1320)는 제1 전력선이 풀 부하 상태(full load condition)이며, 제2 전력선이 무 부하 상태(no load condition)인 조건에서의 파형을 포함할 수 있다. 전력선 전압(V_2 , V_3) 레벨들은 여전히 380V에서 균형을 유지할 수 있다. 제2 포트의 위상 시프트($_{12}$)는 20도, 제3 포트의 위상 시프트($_{13}$)는 0도가 될 수 있다. 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 제1 전력선의 전압 및 제2 전력선의 제압을 개별적으로 조절하기 때문에, 불평형 부하 조건에서는 $_{13}$ 만 변경될 수 있다.

[0119] 도 14는 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서 전력선의 부하가 변경되는 경우의 출력 전압 및 출력 전류의 파형을 도시한다.

[0120] 그래프(1400)는 전력선의 부하가 변경되는 경우의 출력 전압 및 출력 전류의 파형을 포함한다. 예를 들어, 제3 포트 전력이 500W에서 1.5kW로 변경되는 반면, 제2 포트는 출력 전력을 750W로 유지할 수 있다. 제2 전력선의 전압은 200ms의 안정화 시간으로 전압을 380V로 균형을 유지하며, 제1 전력선의 전압은 제3 포트 부하 변경의 경우에도 동일한 전압 레벨을 유지할 수 있다. 결과적으로, 두 전력선들 사이의 전압 조정 성능의 간섭은 없을 수 있다. 제3 포트의 전력 변경이 제2 포트의 전력 제어 방식에 영향을 미치지 않을 수 있다. 양극성 전력선들은 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서 추가적인 제어없이 효과적으로 디커플링될 수 있다.

[0121] 도 15는 3 포트 DAB 컨버터에서 3권선 변압기의 입출력 전압 및 입출력 전류의 파형을 도시한다.

[0122] 도 15는 위상을 나타내는 가로축에 대해, 제2 포트의 전력이 750W이며 제3 포트의 전력이 1.5kW인 경우, 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서 3권선 변압기의 입출력 전압 및 입출력 전류의 파형에 관한 그래프(1510), 도 3에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서 3권선 변압기의 입출력 전압 및 입출력 전류의 파형에 관한 그래프(1520)을 나타낼 수 있다.

[0123] 예를 들어, 그래프(1510)에서 제1 전류의 피크 크기는 15.6A, 제2 전류의 피크 크기는 5.9A, 및 제3 전류의 피크 크기는 9.5A일 수 있다. 예를 들어, 그래프(1520)에서 제1 전류의 피크 크기는 16.7A, 제2 전류의 피크 크기는 8.5A, 및 제3 전류의 피크 크기는 10.5A일 수 있다. 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서의 전류 스트레스는 도 3에 따른 3 포트 DAB 컨버터에서의 전류 스트레스와 비교하여, 제1 포트에서 6.6%, 제2 포트에서 30.6%, 제3 포트에서 10.5% 감소될 수 있다. 피크 전류의 차이는 제2 포트와 제3 포트 사이의 누설 경로로부터 비롯될 수 있다. 누설 경로로 인해 도 3에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터보다 더 많은 무효 전력을 생성할 수 있다.

[0124] 도 16은 3 포트 DAB 컨버터의 시스템 효율 그래프를 도시한다.

[0125] 도 16는 제2 포트 전력을 나타내는 가로축에 대해, 제3 포트 전력이 1.5KW인 경우, 도 3에 따른 DAB 컨버터에서의 시스템 효율 그래프(1610) 및 도 4에 따른 DAB 컨버터에서의 시스템 효율 그래프(1620)를 나타낼 수 있다.

[0126] 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 낮은 전류 스트레스와 적은 수의 전력 전달 인덕터의 사용으로, 도 3에 따른 3 포트 DAB 컨버터보다 더 높은 효율을 가질 수 있다. 예를 들어, 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터는 94% 이상의 효율을 가질 수 있다. 예를 들어, 도 4에 따른 3 포트 DAB 컨버터와 도 3에 따른 3 포트 DAB 컨버터들 사이의 가장 큰 효율 차이로서 제2 포트 전력이 1250W인 경우, 1.4%의 효율 차이가 나타날 수 있다.

[0127] 도 17은 3 포트 DAB 컨버터의 전력 손실을 도시한다.

[0128] 도 17은 도 3에 따른 DAB 컨버터의 전력 손실(1710), 도 4에 따른 DAB 컨버터의 전력 손실(1720)을 나타낼 수 있다. 도 4에 따른 DAB 컨버터의 전력 손실은 도 3에 따른 DAB 컨버터보다 손실이 적을 수 있다. 예를 들어, 도 4에 따른 DAB 컨버터는 도 3에 따른 DAB 컨버터와 비교하여 9.38W 낮은 MOSFET 전도 손실, 6.48W 낮은 인덕터 손실, 및 5.68W 낮은 변압기 권선 손실을 가질 수 있다. 또한, 제1 포트에 외부 인덕터가 없기 때문에 22.87W 낮은 코어 손실을 가질 수 있다. 결과적으로, 도 3에 따른 DAB 컨버터와 도 4에 따른 DAB 컨버터의 총 손실 차이는 45.94W일 수 있으며, 주로 낮은 전도 및 코어 손실들에서 비롯될 수 있다.

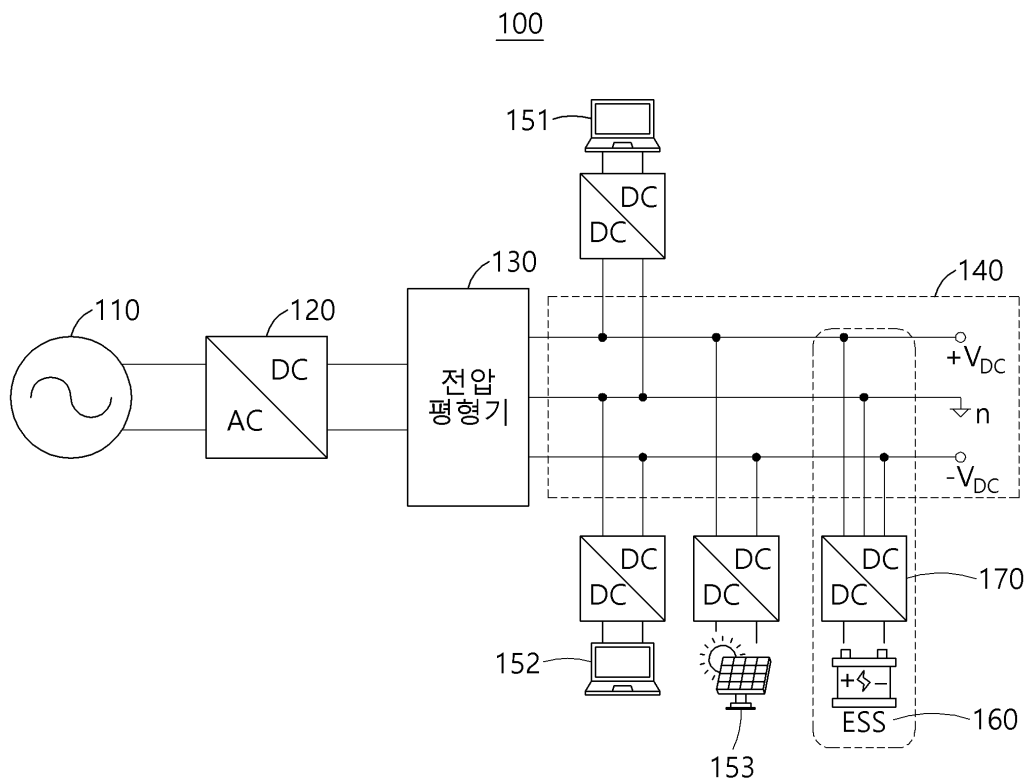
[0129] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기를 기초로 다양한 기술적 수정 및 변형을 적용할 수 있다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

부호의 설명

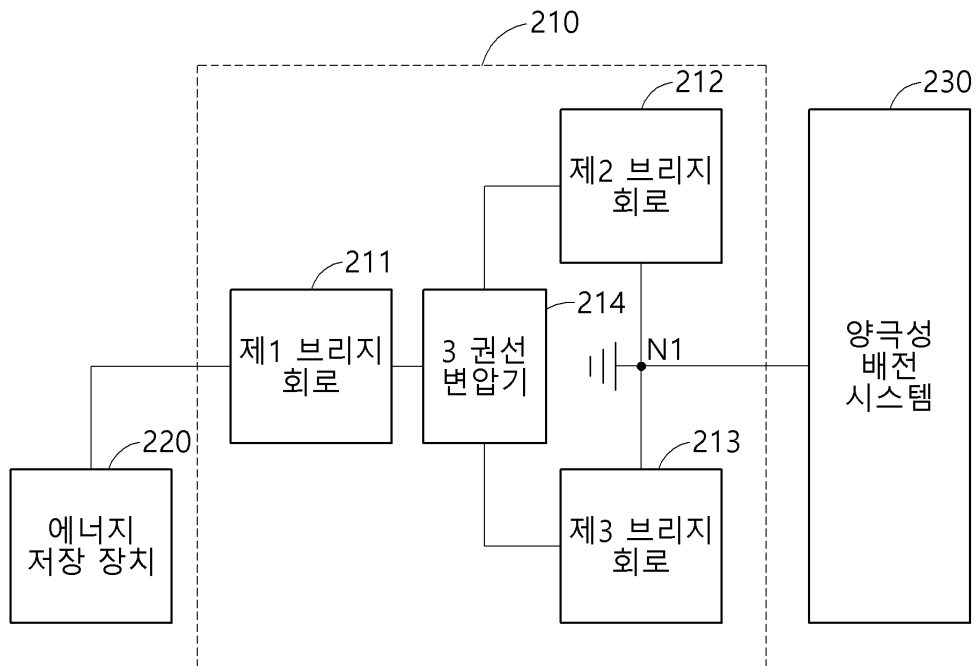
[0130] 210: 3 포트 DAB 컨버터
211: 제1 브리지 회로
212: 제2 브리지 회로
213: 제3 브리지 회로
214: 3권선 변압기
220: 에너지 저장 장치
240: 양극성 배전 시스템

도면

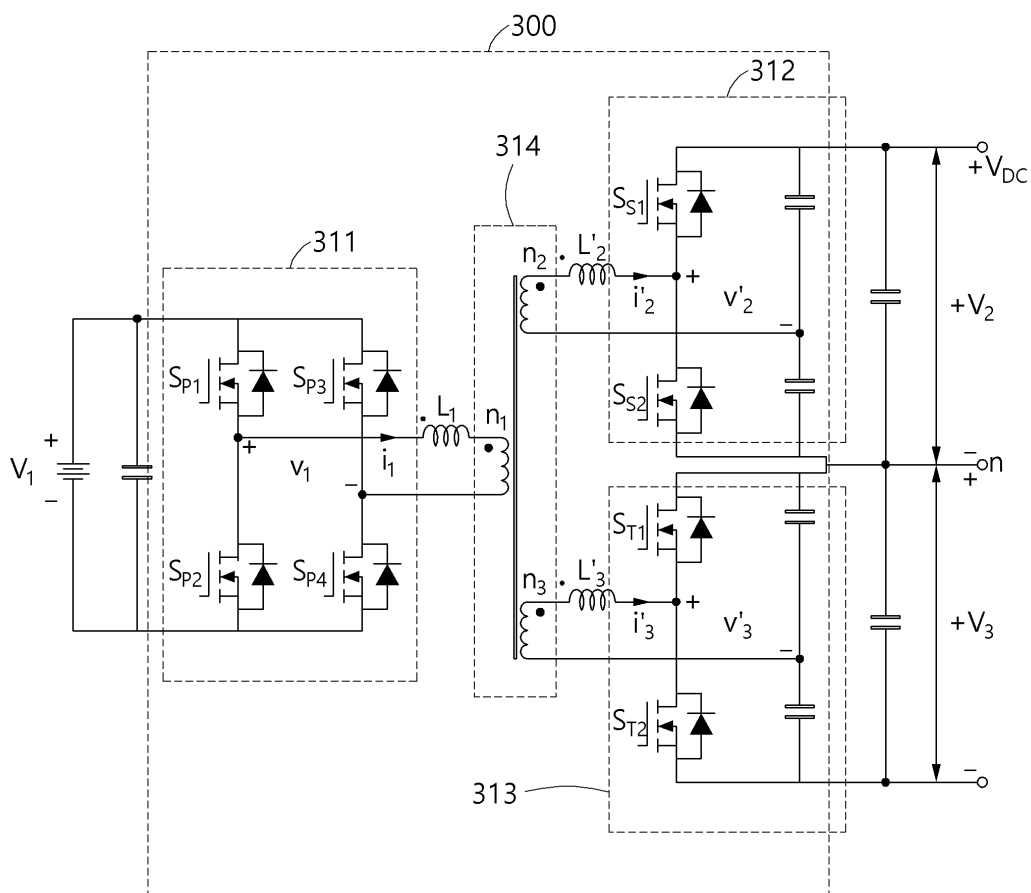
도면1



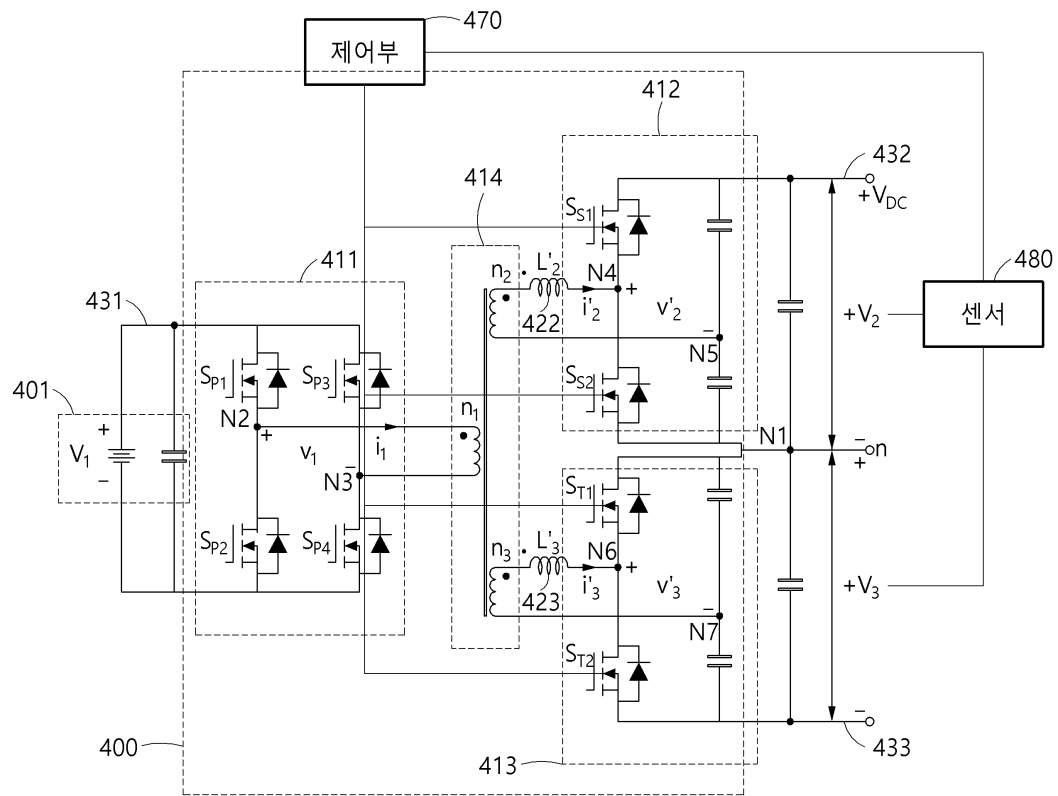
도면2



도면3

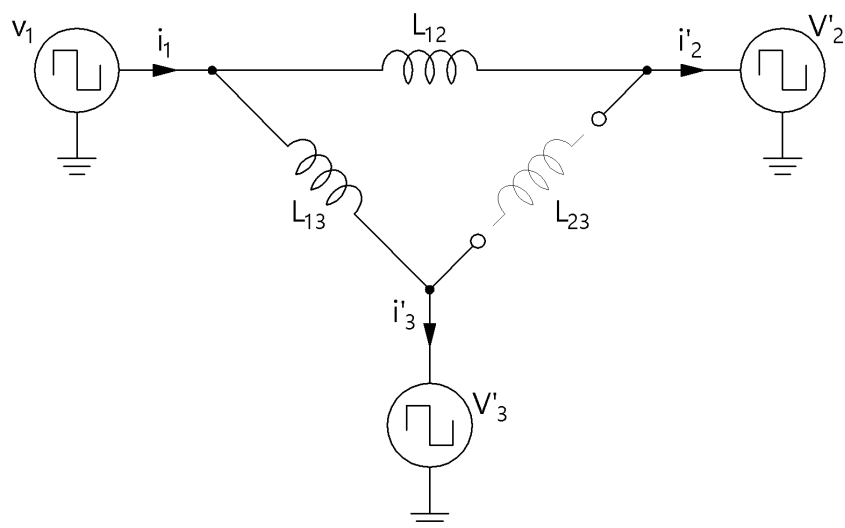


도면4

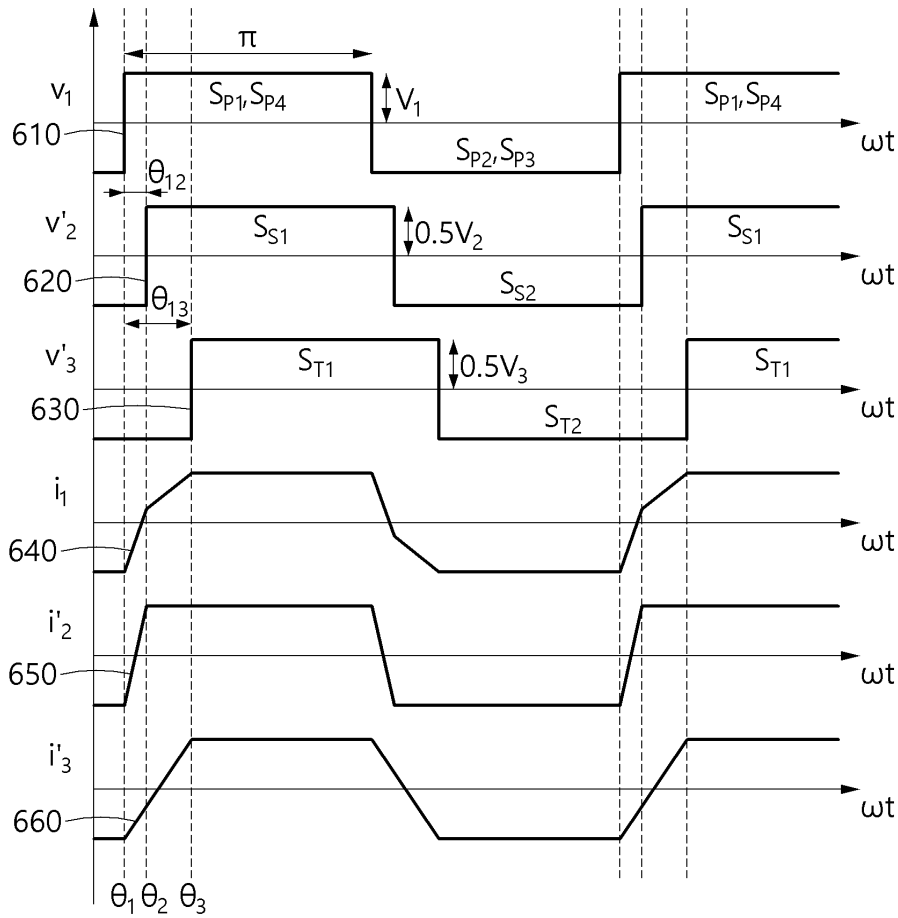


도면5

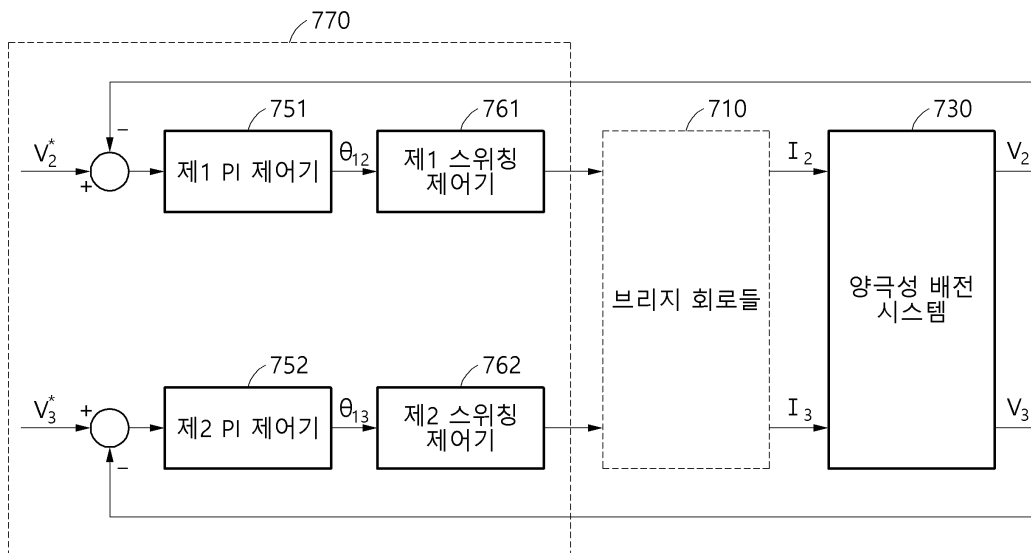
500



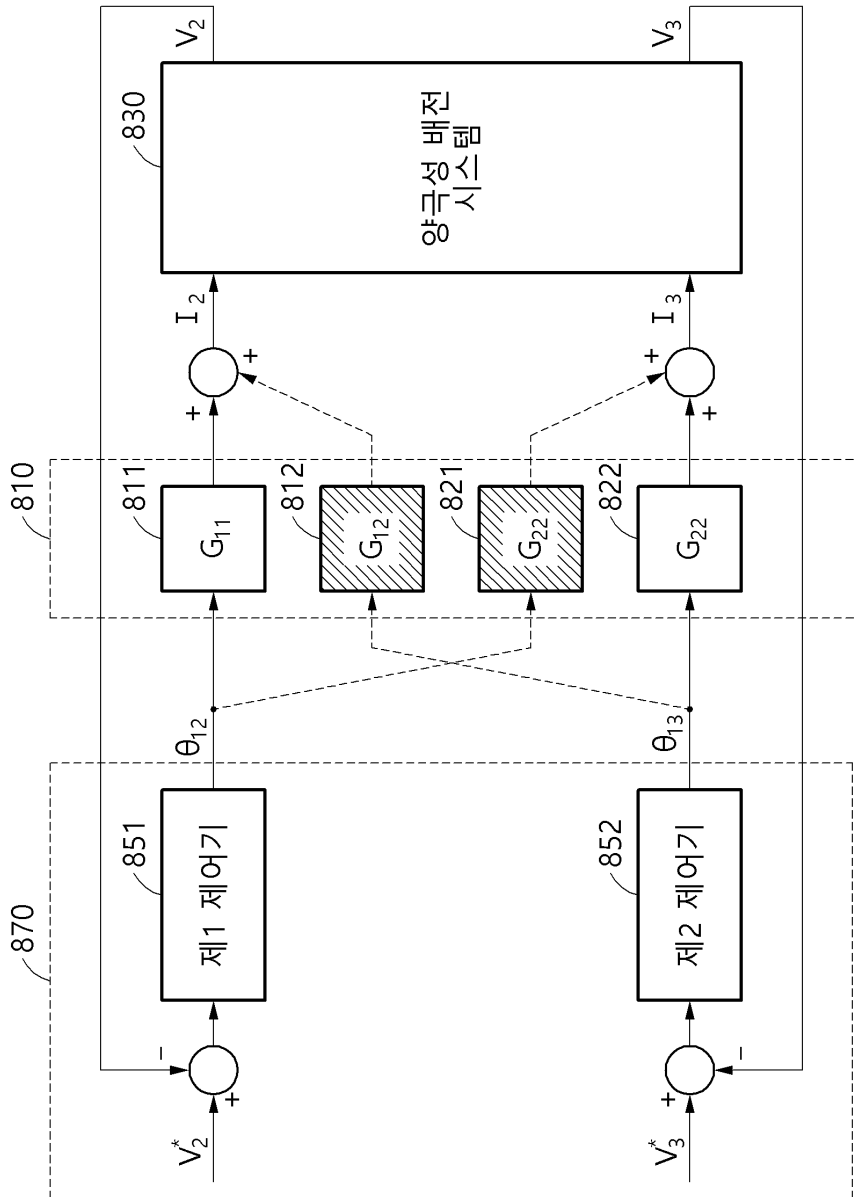
도면6



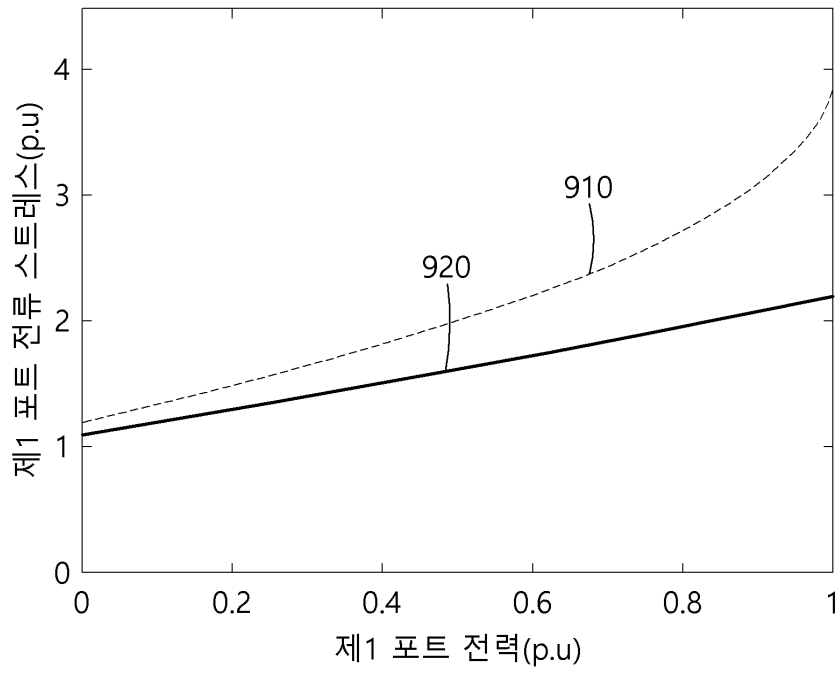
도면7



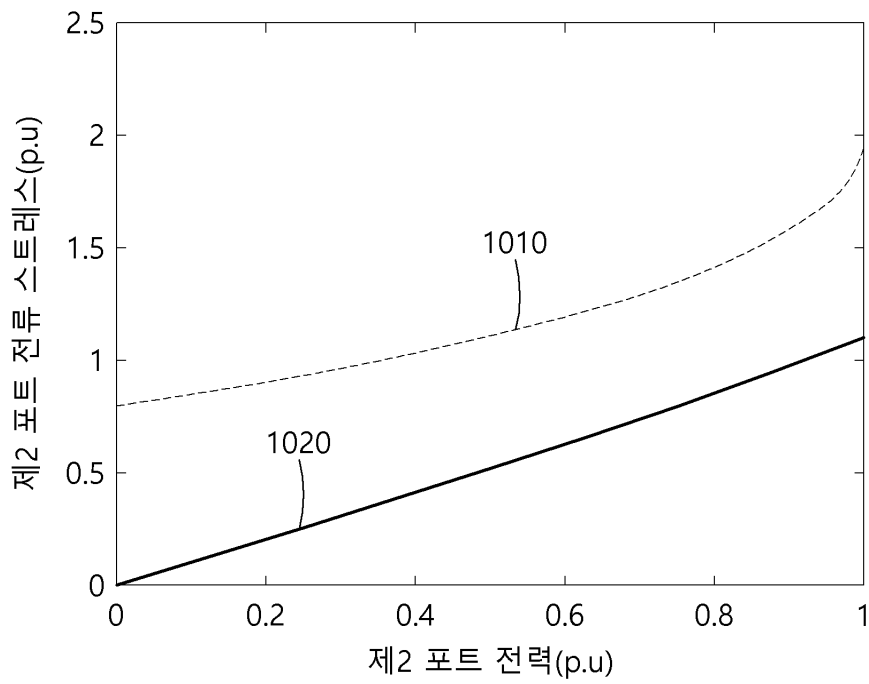
도면8



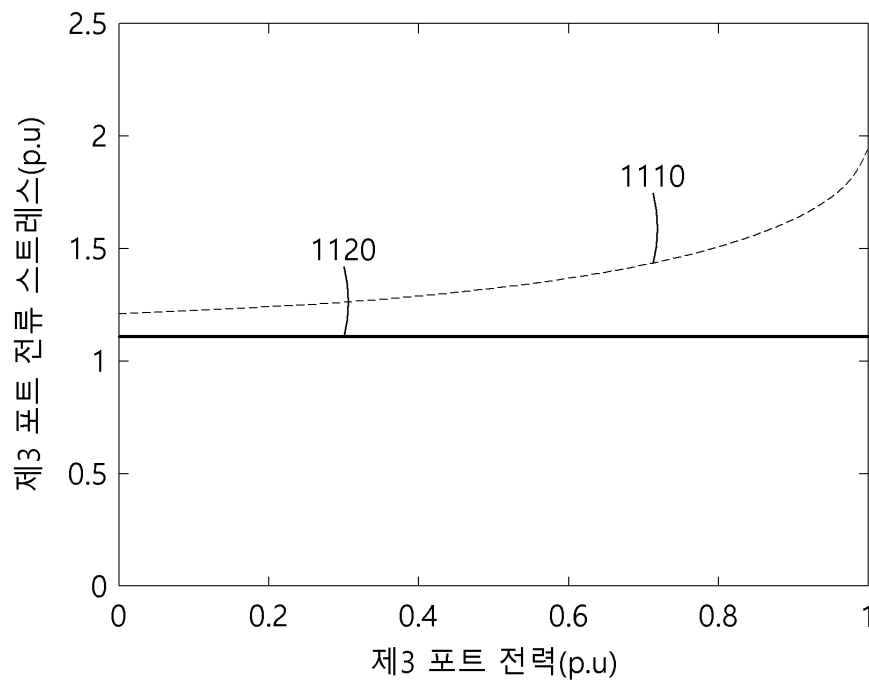
도면9



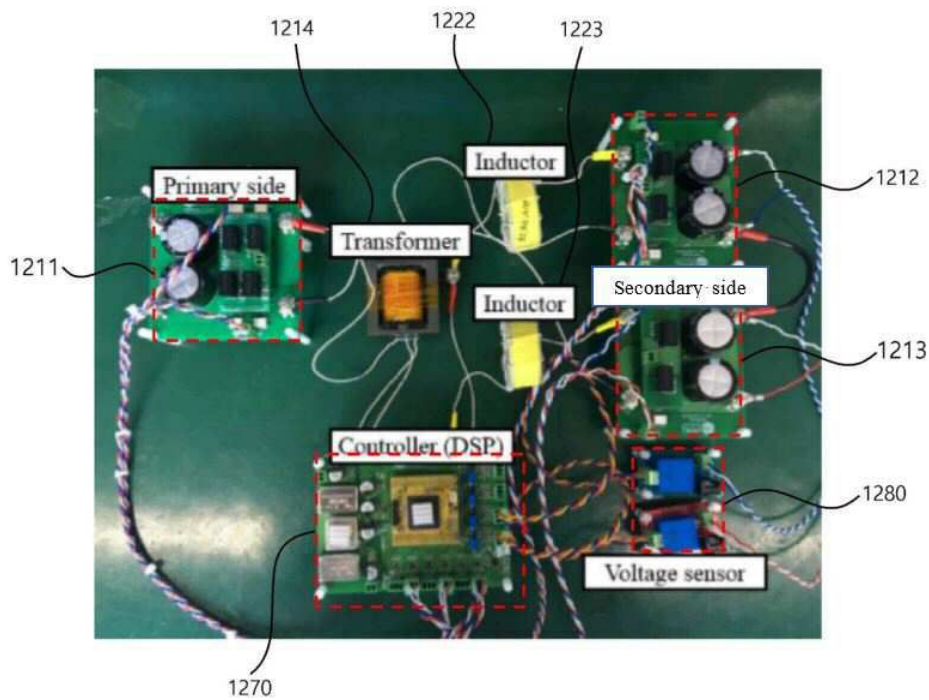
도면10



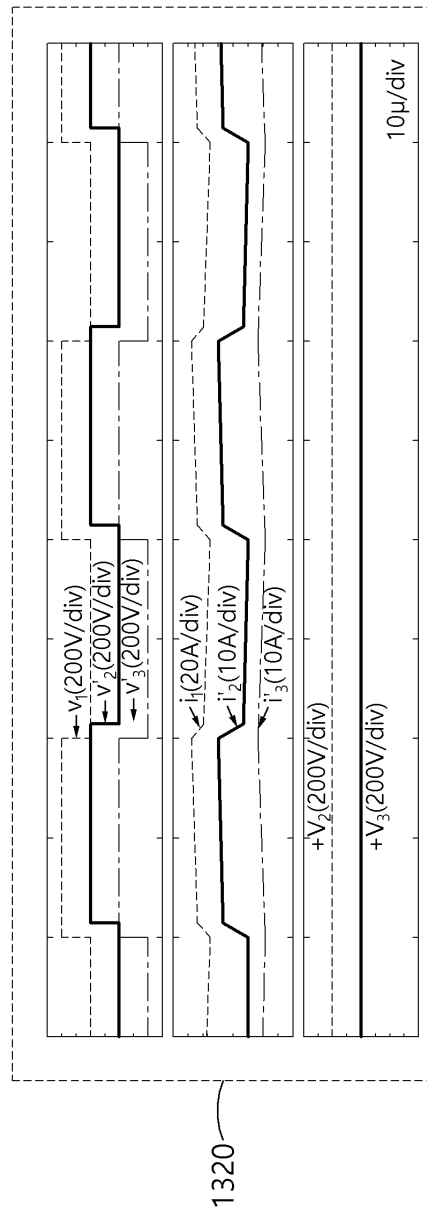
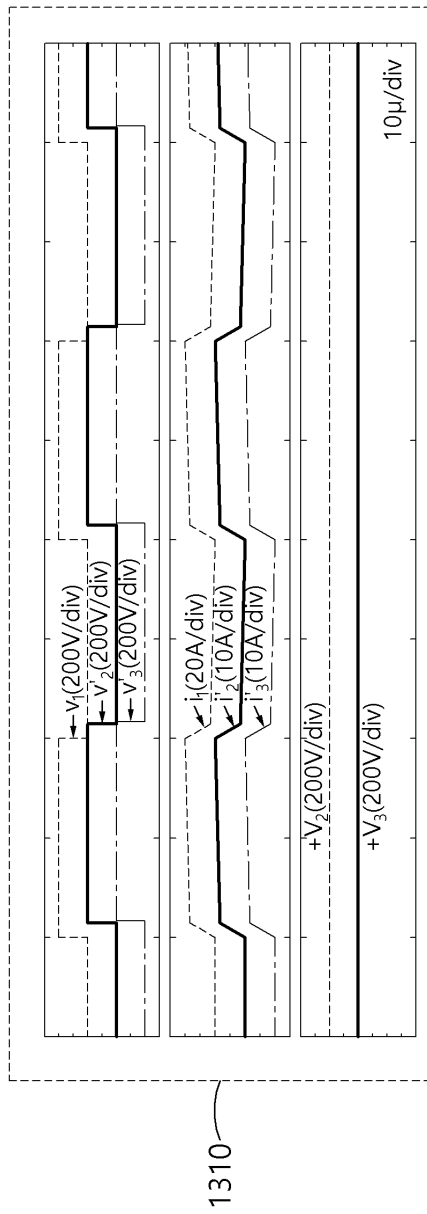
도면11



도면12

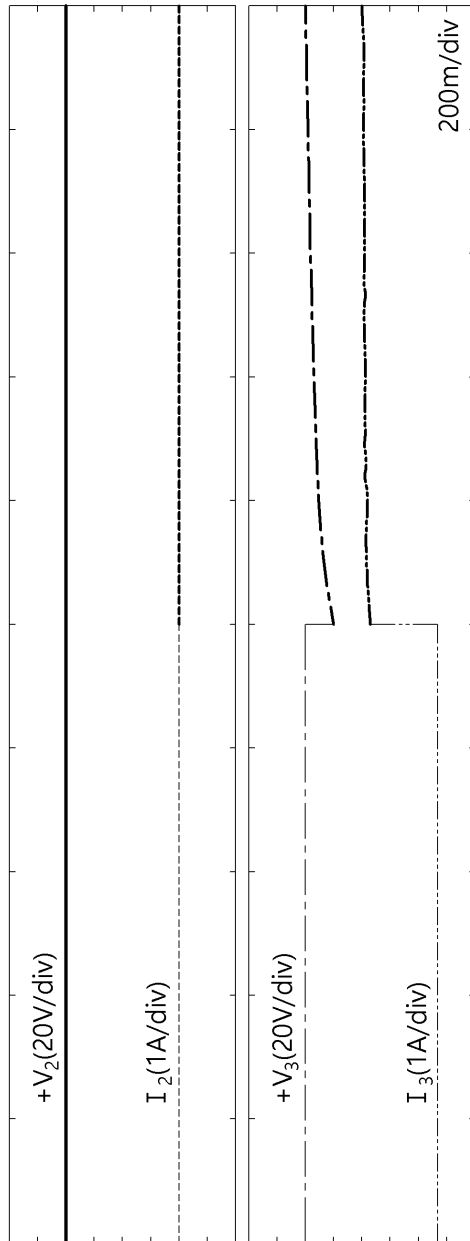


도면13

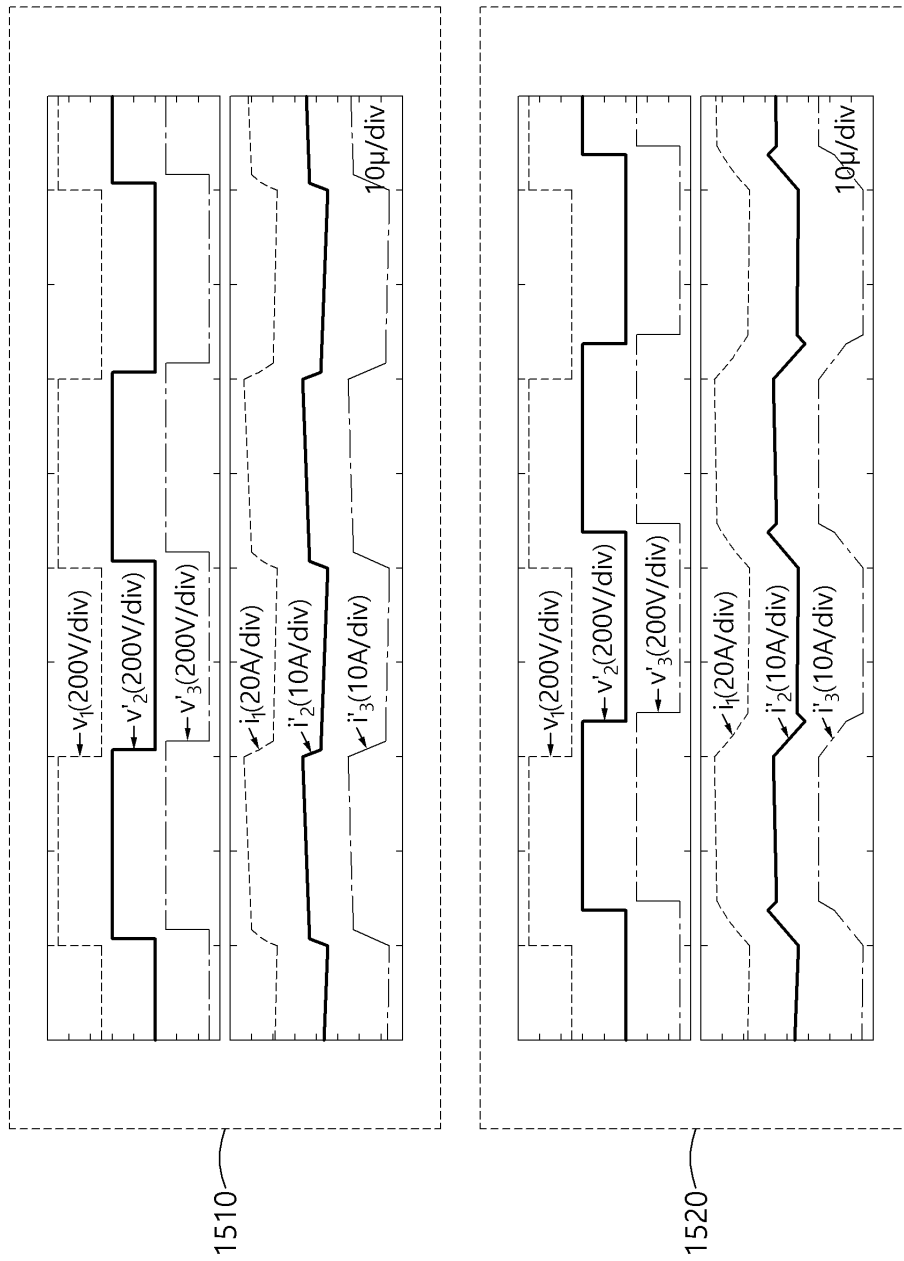


도면14

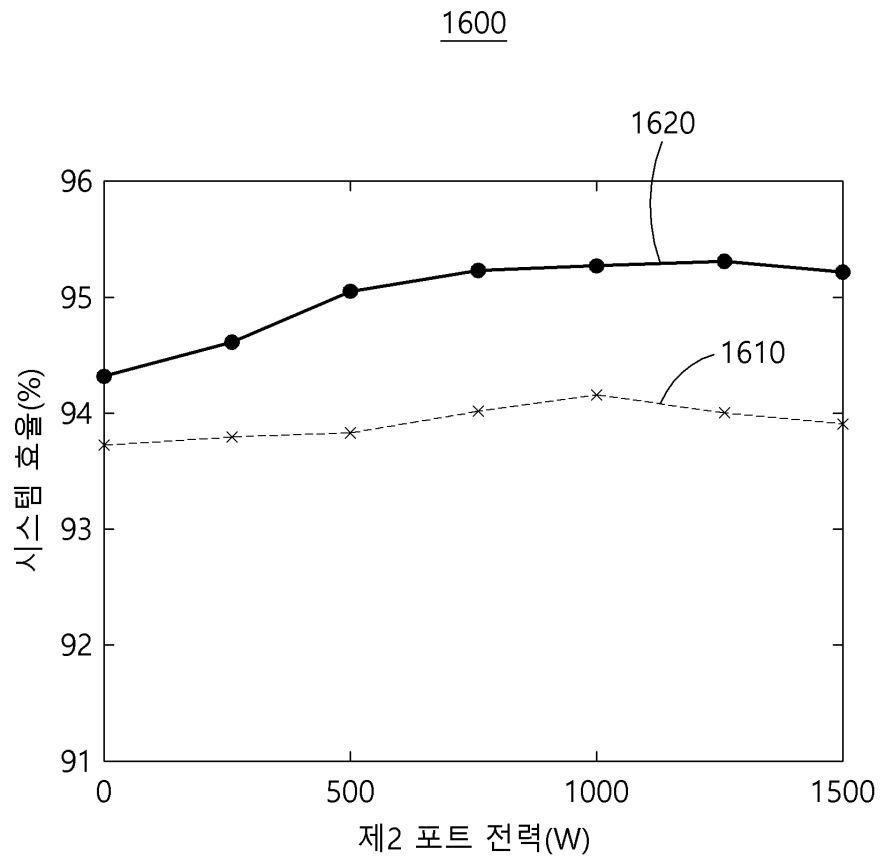
1400



도면15



도면16



도면17

