



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월06일  
(11) 등록번호 10-2417718  
(24) 등록일자 2022년07월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02M 7/483 (2007.01)  
(52) CPC특허분류  
H02M 7/483 (2021.05)  
H02M 7/4835 (2021.05)  
(21) 출원번호 10-2019-7003490  
(22) 출원일자(국제) 2017년07월03일  
심사청구일자 2020년05월13일  
(85) 번역문제출일자 2019년02월01일  
(65) 공개번호 10-2019-0028724  
(43) 공개일자 2019년03월19일  
(86) 국제출원번호 PCT/FR2017/051803  
(87) 국제공개번호 WO 2018/007741  
국제공개일자 2018년01월11일  
(30) 우선권주장  
1656432 2016년07월05일 프랑스(FR)  
(56) 선행기술조사문헌  
Jie Guo et al., Energy storable VSC-HVDC system based on modular multilevel converter, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vo.78, pp.269-276 (2015.12.17.)\*  
KR1020160046906 A  
JP2014233168 A  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
슈퍼그리드 인스티튜트  
프랑스, 빌뢰르반, 시프리안 69100 뒤편 23  
센트랄수펠레크  
프랑스 91190 지프-슈호-이베뜨, 3 루 줄리오 꾸히  
(72) 발명자  
시노다, 코세이  
프랑스 69001 리옹 플라스 크루아 파크 11  
벵쉐, 아브델크림  
프랑스 78180 몽티뉴 르 브르토뉴 뒤편 자크 카르티에 4  
(뒤편에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인에이아이피

전체 청구항 수 : 총 21 항

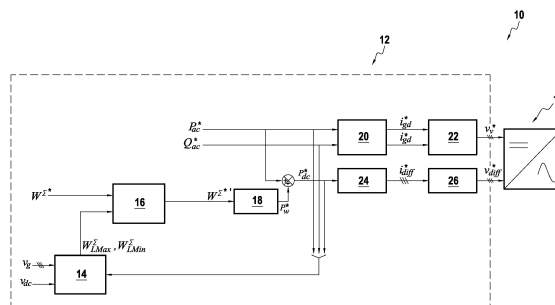
심사관 : 광인구

(54) 발명의 명칭 컨버터의 내부 에너지를 제어하기 위한 모듈

(57) 요약

본 발명은 컨버터의 절반 암(half arm)의 서브모듈들의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지를 조절하기 위한 제어 모듈(12)을 포함하는 모듈식 멀티레벨 컨버터(10)에 관한 것으로서, 제어 모듈은, DC 전력 공급 네트워크(110) 및 AC 전력 공급 네트워크(120) 상에서 측정되는 파라미터들뿐만 아니라 컨버터의 동작 전력 설정점들을 사용함으로써 내부 에너지를 상한 아래로 및/또는 하한 이상으로 유지할 수 있다.

대표도



(72) 발명자

기요, 사비에

프랑스 59830 바쉬 뒤 드 라 프라테르니테 5

다이, 징

프랑스 91190 지프-쉬르-이베트 뒤 줄리오-퀴리 3

플라토 드 물롱 상트랄르쉬페렉 내

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

AC 전압을 DC 전압으로, 또는 이의 역으로 변환하기 위한 모듈식 멀티레벨 전압 컨버터(10)로서,

상기 컨버터는 DC 전력 공급 네트워크(110)에 대한 연결을 위한 DC 부분(10A) 및 AC 전력 공급 네트워크(120)에 대한 연결을 위한 AC 부분(10C)을 포함하고, 상기 컨버터는 복수의 레그(leg)들을 포함하며, 각각의 레그는 상부 암(arm) 및 하부 암을 포함하고, 각각의 암은 각각의 서브모듈에 특정한 제어 부재에 의해 개별적으로 제어될 수 있는 복수의 서브모듈들(SM<sub>xi,j</sub>)을 포함하며, 각각의 서브모듈은 상기 서브모듈의 제어 부재가 "온" 상태에 있을 때 상기 암 내에서 직렬로 연결될 수 있는 커패시터(C<sub>SM</sub>)를 포함하고,

상기 컨버터는, 상기 컨버터가 상기 컨버터의 상부 또는 하부 암의 상기 서브모듈들의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지를 조절하도록 구성된 제어 모듈(12)을 포함하며, 상기 제어 모듈은, 상기 DC 전력 공급 네트워크 및 상기 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 파라미터들과 함께 상기 컨버터의 동작 전력에 대한 설정점들을 사용함으로써 상기 내부 에너지를 상한 아래로 및/또는 하한 이상으로 제한하기에 적합하고, 상기 제어 모듈은, 하한 및/또는 상한이 상기 전력 공급 네트워크들의 상태들에 따라 변화하도록, 상기 DC 전력 공급 네트워크 상에서 그리고 상기 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 파라미터들을 사용하여 상기 내부 에너지에 대한 상기 하한 및/또는 상기 상한을 결정하도록 구성되는 것을 특징으로 하는, 컨버터.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 DC 전력 공급 네트워크 및 상기 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 상기 파라미터들은 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 전압 값(v<sub>g</sub>) 및 DC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 전압 값(V<sub>dc</sub>)을 포함하는 것을 특징으로 하는, 컨버터.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 컨버터의 동작 전력에 대한 상기 설정점들은 유효 AC 전력 설정점(P<sub>ac</sub><sup>\*</sup>), 무효 AC 전력 설정점(Q<sub>ac</sub><sup>\*</sup>), 및 DC 전력 설정점(P<sub>dc</sub><sup>\*</sup>)을 포함하는 것을 특징으로 하는, 컨버터.

#### 청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 DC 전력 공급 네트워크 및 상기 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 상기 파라미터들은 상기 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 전압 값(v<sub>g</sub>) 및 상기 DC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 전압 값(V<sub>dc</sub>)을 포함하며,

상기 제어 모듈(12)은 상기 DC 전력 공급 네트워크 및 상기 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 상기 파라미터들의 함수로서 그리고 또한 상기 컨버터의 상기 동작 전력에 대한 상기 설정점들에 대한 함수로서 매개 변수(intermediate variable)들을 계산하도록 구성되는 것을 특징으로 하는, 컨버터.

**청구항 5**

청구항 4에 있어서,

상기 매개 변수들은, 하기의 함수에 의해 결정되는 바와 같은, 정상 상태들 하에서 상기 DC 전력 공급 네트워크의 전류에 대한 균형이 잡힌 3상 시스템 내의 하나의 위상의 기여를 나타내는 등가 차동 전류 변수(differential current)( $I_{diff}$ )를 포함하며, 상기 함수는:

$$I_{diff} = \frac{P_{dc}}{3V_{dc}}$$

이며, 여기에서  $P_{dc}$ 는 상기 DC 전력 공급 네트워크와 상기 컨버터 사이에서 교환되는 전력인 것을 특징으로 하는, 컨버터.

**청구항 6**

청구항 5에 있어서,

상기 매개 변수들은, 하기의 함수에 의해 결정되는 바와 같은, 정상 상태들 하에서 상기 컨버터의 상기 DC 부분의 단자들 사이에 걸린 전압을 나타내는 등가 차동 전압 변수( $V_{diff}$ )를 포함하고, 상기 함수는:

$$V_{diff} = \frac{V_{dc}}{2} - I_{diff}R_{arm}$$

이며,

여기에서  $R_{arm}$ 은 상기 컨버터의 암 내의 저항인 것을 특징으로 하는, 컨버터.

**청구항 7**

청구항 4에 있어서,

상기 매개 변수들은, 하기의 함수에 의해 결정되는 바와 같은, 정상 상태들 하에서 상기 AC 전력 공급 네트워크로 흐르는 전류를 나타내는 등가 매개 전류 변수( $I_g$ )를 포함하고, 상기 함수는:

$$I_g = \frac{\sqrt{P_{ac}^2 + Q_{ac}^2}}{3V_g}$$

이며,

여기에서  $V_g$ 는 정상 상태들 하에서의 상기 AC 전력 공급 네트워크의 전압을 나타내고,  $P_{ac}$ 는 상기 컨버터와 상기 AC 전력 공급 네트워크 사이에서 전송되는 유효 AC 전력이며,  $Q_{ac}$ 는 상기 컨버터와 상기 AC 전력 공급 네트워크 사이에서 전송되는 무효 AC 전력인 것을 특징으로 하는, 컨버터.

**청구항 8**

청구항 4에 있어서,

상기 매개 변수들은 또한 상기 AC 전력 공급 네트워크로 흐르는 전류의 벡터와 상기 AC 전력 공급 네트워크의 전압 벡터 사이의 위상 차이에 대한 위상 변수( $\theta$ )를 포함하는 것을 특징으로 하는, 컨버터.

**청구항 9**

청구항 4에 있어서,

상기 매개 변수들은, 정상 상태들 하에서 상기 컨버터에 의해 합성되는 등가 AC 내부 전압의 벡터와 정상 상태들 하에서 상기 AC 전력 공급 네트워크의 전압 벡터 사이의 위상 차이를 나타내는 매개 각도 변수( $\delta$ )를 포함하며, 상기  $\delta$ 는 하기의 함수:

$$\delta = \tan^{-1} \frac{X_{sq} P_{ac} - R_{sq} Q_{ac}}{R_{sq} P_{ac} + X_{sq} Q_{ac} + 3V_g^2}$$

를 이용하여 결정되고,

여기에서  $V_g$ 는 정상 상태들 하에서의 상기 AC 전력 공급 네트워크의 전압이며,  $R_{eq}$ 는 암 내의 등가 저항이고,  $X_{eq}$ 는 암 내의 등가 리액턴스이며,  $P_{ac}$ 는 상기 컨버터와 상기 AC 전력 공급 네트워크 사이에서 전송되는 유효 AC 전력이고,  $Q_{ac}$ 는 상기 컨버터와 상기 AC 전력 공급 네트워크 사이에서 전송되는 무효 AC 전력인 것을 특징으로 하는, 컨버터.

**청구항 10**

청구항 4에 있어서,

상기 매개 변수들은, 하기의 함수를 이용하여 정상 상태들 하에서 상기 컨버터에 의해 합성되는 바와 같은 등가 AC 내부 전압 변수( $V_v$ )를 포함하고, 상기 함수는:

$$V_v = \sqrt{\left(\frac{R_{sq} P_{ac} + X_{sq} Q_{ac}}{3V_g} + V_g\right)^2 + \left(\frac{X_{sq} P_{ac} - R_{sq} Q_{ac}}{3V_g}\right)^2}$$

이며,

여기에서  $V_g$ 는 정상 상태들 하에서의 상기 AC 전력 공급 네트워크의 전압이며,  $R_{eq}$ 는 암 내의 등가 저항이고,  $X_{eq}$ 는 암 내의 등가 리액턴스이며,  $P_{ac}$ 는 상기 컨버터와 상기 AC 전력 공급 네트워크 사이에서 전송되는 유효 AC 전력이고,  $Q_{ac}$ 는 상기 컨버터와 상기 AC 전력 공급 네트워크 사이에서 전송되는 무효 AC 전력인 것을 특징으로 하는, 컨버터.

**청구항 11**

청구항 5에 있어서,

상기 제어 모듈은 하기의 함수를 이용하여 상기 컨버터의 상부 암의 커패시터들에 저장되는 상기 내부 에너지의 진동 성분( $W_{ru}^\Sigma(t)$ )을 결정하도록 구성되고, 상기 함수는:

$$W_{ru}^\Sigma(t) = -\frac{\sqrt{2}I_{diff}V_v}{\omega} \sin(\omega t + \delta) + \frac{\sqrt{2}I_g V_{diff}}{2\omega} \sin(\omega t + \theta) - \frac{I_g V_v}{4\omega} \sin(2\omega t + \delta + \theta)$$

이며,

여기에서  $\omega$ 는 각주파수이고,  $\delta$ 는 정상 상태 하의 상기 AC 전력 공급 네트워크의 전압 벡터와 정상 상태 하의 상기 컨버터에 의해 합성된 등가 AC 내부 전압의 벡터 사이의 위상 차이를 나타내는 매개 각도 변수이며,  $I_g$ 는 정상 상태 하에서 상기 AC 전력 공급 네트워크로 흐르는 전류를 나타내는 등가 매개 전류 변수이며,  $V_{diff}$ 는 정상 상태 하에서 상기 컨버터의 상기 DC 부분의 단자들에 걸친 전압을 나타내는 등가 차동 전압 변수이고,  $\theta$ 는 상기 AC 전력 공급 네트워크의 전압 벡터와 상기 AC 전력 공급 네트워크로 흐르는 전류의 벡터 사이의 위상 차이에 대한 위상 변수이며,  $V_v$ 는 상기 컨버터의 단상(single-phase) 모델에서 정상 상태 하의 등가 AC 내부 전압 변수인 것을 특징으로 하는, 컨버터.

**청구항 12**

청구항 11에 있어서,

상기 제어 모듈은 하기의 함수를 이용하여 상기 컨버터의 상부 암의 상기 서브모듈들의 커패시터들에 저장되는 상기 내부 에너지의 진동 성분( $W_{Lminu}^\Sigma$ )을 결정하도록 구성되고, 상기 함수는:

$$W_{Lminu}^{\Sigma} = \frac{C_{tot}}{2} (V_{diff} - \sqrt{2}V_v \cos(\omega t_m + \delta))^2 - W_{ru}^{\Sigma}(t_m) \text{이며,}$$

여기에서  $C_{tot}$ 는 상기 상부 암 내의 커패시터들의 커패시턴스들의 합이며,  $t_m$ 은 상부 암 내의 상기 내부 에너지가 하한( $W_{Lminu}^{\Sigma}$ )에 도달하는 것으로 결정되는 순간이고, 이러한 순간은 하기의 식:

$$t_m = \frac{1}{\omega} \left( \pi - \sin^{-1} \left( \frac{I_{diff}}{\sqrt{A_t^2 + B_t^2}} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{B_t}{A_t} \right) \right) + \frac{2k\pi}{\omega} \text{에 의해 획득되며,}$$

여기에서:

$$A_t = \sqrt{2}\omega C_{tot} V_v \cos\delta + \frac{I_g}{\sqrt{2}} \sin\theta$$

$$B_t = \sqrt{2}\omega C_{tot} V_v \sin\delta - \frac{I_g}{\sqrt{2}} \cos\theta \text{이며,}$$

여기에서  $k$ 는 양의 정수인 것을 특징으로 하는, 컨버터.

### 청구항 13

청구항 11에 있어서,

상기 제어 모듈은, 하기의 함수를 이용하여 상기 컨버터의 상부 암의 상기 서브모듈들의 커패시터들에 저장되는 상기 내부 에너지에 대한 상기 상한( $W_{Lmaxu}^{\Sigma}$ )을 결정하도록 구성되고, 상기 함수는:

$$W_{Lmaxu}^{\Sigma} = \frac{C_{tot}}{2} (NV_{smMax})^2 - W_{ru}^{\Sigma}(t_r) \text{이며,}$$

여기에서  $C_{tot}$ 는 상기 암 내의 커패시터들의 커패시턴스들의 합이며,  $V_{smMax}$ 는 상기 서브모듈 내에서 용인할 수 있는 최대 전압이고,  $N$ 은 상기 암 내의 서브모듈들의 수이며,  $t_r$ 은 상기 암 내의 상기 내부 에너지가 상한( $W_{Lmaxu}^{\Sigma}$ )에 도달하는 것으로 결정되는 순간이며, 이러한 순간은 하기의 식:

$$t_r = \frac{1}{\omega} \left( \cos^{-1} \left( -\frac{\sqrt{2}I_{diff}}{I_g} \right) - \theta \right) + \frac{2k\pi}{\omega} \text{에 의해 획득되며,}$$

여기에서  $I_{diff}$ 는 정상 상태 하에서 상기 컨버터의 단상 모델에서 상기 DC 전력 공급 네트워크를 통해 흐르는 전류를 나타내는 등가 차동 전류 변수이고,  $k$ 는 양의 정수인 것을 특징으로 하는, 컨버터.

### 청구항 14

청구항 3에 있어서,

상기 DC 전력 공급 네트워크 및 상기 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 상기 파라미터들은 상기 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 전압 값( $v_g$ ) 및 상기 DC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 전압 값( $V_{dc}$ )을 포함하며,

상기 제어 모듈은, 상기 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 바와 같은 상기 전압 값( $v_g$ ), 상기 DC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 바와 같은 상기 전압 값( $V_{dc}$ ), 상기 유효 AC 전력 설정점( $P_{ac}^*$ ), 상기 무효 AC 전력 설정점( $Q_{ac}^*$ ), 및 상기 DC 전력 설정점( $P_{dc}^*$ )의 함수로서 상부 또는 하부 암의 상기 서브모듈들의 커패시터들에 저장되는 상기 내부 에너지에 대한 상기 하한 및 상기 상한을 결정하기 위한 결정 모듈(14)을 포함하는 것을 특

징으로 하는, 컨버터.

#### 청구항 15

청구항 1에 있어서,

상기 제어 모듈은, 상기 제어 모듈에 의해 공급되는 바와 같은, 상기 하한 및 상기 상한의 함수로서 내부 에너지 설정점을 설정하기 위한 정정 모듈(16)을 포함하는 것을 특징으로 하는, 컨버터.

#### 청구항 16

청구항 1에 있어서,

상기 제어 모듈은, 입력으로서 상기 컨버터에 대한 내부 에너지 설정점을 가지며 상기 컨버터의 커패시터들에 대한 전력 설정점을 전달하는, 상기 컨버터의 상기 내부 에너지를 조절하기 위한 조절기(18)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 컨버터.

#### 청구항 17

청구항 1에 있어서,

상기 제어 모듈은, 입력들로서 AC 유효 전력 설정점( $P_{ac}^*$ ) 및 AC 무효 전력 설정점( $Q_{ac}^*$ )을 가지며 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ ) 및 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ )을 전달하는, 상기 컨버터와 상기 AC 네트워크 사이의 연결 지점들에서 전력을 조절하기 위한 조절기(20)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 컨버터.

#### 청구항 18

청구항 1에 있어서,

상기 제어 모듈은, 입력들로서 DC 전력 설정점( $P_{dc}^*$ )을 가지며 차동 전류 설정점( $i_{diff}^*$ )을 전달하는, 상기 컨버터와 상기 DC 네트워크 사이의 연결 지점들에서 전력을 조절하기 위한 조절기(24)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 컨버터.

#### 청구항 19

청구항 1에 있어서,

상기 제어 모듈은, 입력들로서 AC 전류( $i_g$ )와 연관된 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ ) 및 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ )을 가지며 출력으로서 등가 AC 내부 전압 설정점( $v_v^*$ )을 공급하는, 상기 AC 전력 공급 네트워크의 AC 전류( $i_g$ )를 조절하기 위한 조절기(22)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 컨버터.

#### 청구항 20

청구항 1에 있어서,

상기 제어 모듈은, 입력들로서 차동 전류( $i_{diff}$ )와 연관된 차동 전류 설정점( $i_{diff}^*$ )을 가지며 출력으로서 차동 전압 설정점( $v_{diff}^*$ )을 공급하는, 차동 전류( $i_{diff}$ )를 조절하기 위한 조절기(26)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 컨

버터.

**청구항 21**

AC 전압을 DC 전압으로, 또는 이의 역으로 변환하기 위한 모듈식 멀티레벨 전압 컨버터(10)를 제어하는 방법으로서,

상기 컨버터는 DC 전력 공급 네트워크에 대한 연결을 위한 DC 부분 및 AC 전력 공급 네트워크에 대한 연결을 위한 AC 부분을 포함하고, 상기 컨버터는 복수의 레그들을 포함하며, 각각의 레그는 상부 암 및 하부 암을 포함하고, 각각의 암은 각각의 서브모듈에 특정한 제어 부재에 의해 개별적으로 제어될 수 있는 복수의 서브모듈들을 포함하며, 각각의 서브모듈은 상기 서브모듈의 제어 부재가 "온" 상태에 있을 때 상기 암 내에서 직렬로 연결될 수 있는 커패시터를 포함하고,

상기 방법은, 상기 컨버터의 상부 또는 하부 암의 상기 서브모듈들의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지를 조절하는 단계로서, 상기 DC 전력 공급 네트워크 및 상기 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 파라미터들과 함께 상기 컨버터의 동작 전력에 대한 설정점들을 사용함으로써 상기 내부 에너지가 상한 아래로 및/또는 하한 이상으로 제한되며, 상기 내부 에너지에 대한 상기 하한 및/또는 상기 상한은, 하한 및/또는 상한이 상기 전력 공급 네트워크들의 상태들에 따라 변화하도록, 상기 DC 전력 공급 네트워크 상에서 그리고 상기 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 파라미터들을 사용하여 결정되는, 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

**배경 기술**

- [0001] 본 발명은 교류(alternating current; AC)를 직류(direct current; DC)로 변환하고 직류를 교류로 변환하는 모듈식 멀티레벨 컨버터(modular multilevel converter; MMC)들에 관한 것이다.
- [0002] 본 발명은 더 정확하게는, 전기를 송신하기 위하여 DC를 사용하며 그 내부에서 스테이션들(station)이 모듈식 멀티레벨 컨버터들을 통합하는 고전압 직류(high voltage direct current; HVDC) 전송 네트워크들에 관한 것이다.
- [0003] 도 1에서, 종래 기술의 멀티레벨 모듈식 컨버터(10)의 서브모듈들의 세트(6)를 도시하는 도면이 확인될 수 있다. (3개의 상들  $\varphi_a$ ,  $\varphi_b$ , 및  $\varphi_c$ 를 갖는) 3상 입력/출력에 대하여, 컨버터(10)는 도 1의 다양한 컴포넌트들에 주어진 인덱스들 a, b, 및 c에 의해 참조부호가 달린 3개의 변환 레그(leg)를 갖는다. 각각의 변환 레그는 (상부에 대한 "u" 및 하부에 대한 "l" 인덱스들에 의해 지정되는) 상부 암(arm) 및 하부 암을 포함하며, 이들의 각각은 DC 전력 공급 네트워크의 단자들 DC+ 또는 DC- 중 하나를 AC 전력 공급 네트워크의 단자에 연결한다. 특히, 레그들의 각각은 AC 전력 공급 네트워크의 3개의 위상 라인들  $\varphi_a$ ,  $\varphi_b$ , 및  $\varphi_c$  중 하나에 연결된다. 도 1은 서브모듈들의 세트(6)를 도시하며, 여기에서 각각의 암은 전류  $i_{xi}$ (여기에서 x는 암이 상부인지 또는 하부인지 여부를 지정하며, 인덱스 i는 레그를 지정한다). 또한, 이에 더하여, 각각의 암은, 희망되는 시퀀스를 가지고 제어될 수 있는 복수의 서브모듈들(SM<sub>xij</sub>)을 포함한다(여기에서, x는 암이 상부인지 또는 하부인지 여부를 지정하며, i는 암이 연관된 위상 라인을 지정하며, j는 암 내의 일련의 서브모듈들 중에서의 서브모듈의 번호이다). 이러한 예에 있어서, 암 당 단지 3개의 서브모듈들이 도시된다. 실제로는, 각각의 하부 또는 상부 암은, 수십 내지 수백의 범위 내 일 수 있는 개수 N개의 서브모듈들을 가질 수 있다. 각각의 서브모듈(SM<sub>xij</sub>)은, 커패시터를 선택적으로 서브모듈의 단자들 사이에 직렬로 연결하거나 또는 이를 우회하기 위한 제어 부재를 갖는 적어도 하나의 커패시터와 같은 에너지 저장 시스템을 포함한다. 서브모듈들은, 복수의 전압 레벨들을 전달하기 위하여 컨버터(10)의 암 내에 직렬로 연결된 에너지 저장 엘리먼트들의 수가 점진적으로 변화하게끔 하기 위하여 선택된 시퀀스를 가지고 제어된다. 또한, 도 1에서,  $V_{dc}$ 는 컨버터가 DC 전력 공급 네트워크에 연결되는 지점들에 걸친 전압을 나타내며, 여기에서 이러한 지점들은 당업자에게 "공통 접속 지점(point of common

coupling; PCC)"으로서 알려져 있다.  $i_{dc}$ 는, 전류들( $i_{ga}$ ,  $i_{gb}$ , 및  $i_{gc}$ )이 3개의 위상 라인들( $\varphi_a$ ,  $\varphi_b$ , 및  $\varphi_c$ )에 의해 운반되는 동안, DC 전력 공급 네트워크의 전류를 나타낸다. 또한, 각각의 암은 인덕턴스  $L_{arm}$ 을 가지며, 각각의 위상 라인은 인덕턴스  $L_l$  및 저항  $R_l$ 를 갖는다.

[0004] 도 2는 도 1의 컨버터(10)의 부분을 형성하는 종래 기술의 서브모듈( $SM_{kij}$ )을 도시한다. 이러한 서브모듈 내에서, 각각의 제어 부재는, 전기 에너지 저장 엘리먼트, 구체적으로 커패시터( $C_{SM}$ )와 직렬로 연결된 절연 게이트 양극성 트랜지스터(insulated gate bipolar transistor; IGBT)와 같은 제 1 전자 스위치 엘리먼트(T1)를 포함한다. 이러한 제 1 스위치 엘리먼트(T1) 및 이러한 커패시터( $C_{SM}$ )는, 마찬가지로 IGBT인 제 2 전자 스위치 엘리먼트(T2)와 병렬로 연결된다. 이러한 제 2 전자 스위치 엘리먼트(T2)는 서브모듈( $SM_{kij}$ )의 입구 및 출구 단자들 사이에 결합된다. 제 1 및 제 2 스위치 엘리먼트들(T1 및 T2) 둘 모두가, 도 2에 도시된 바와 같이, 개별적인 역병렬 다이오드들과 연관된다.

[0005] 동작 시에, 서브모듈은 2개의 제어 상태들을 점유하도록 제어될 수 있다.

[0006] "온" 상태에서 지칭되는 제 1 상태에서, 제 1 스위치 엘리먼트(T1) 및 제 2 스위치 엘리먼트(T2)는 에너지 저장 엘리먼트( $C_{SM}$ )를 다른 서브모듈들과 직렬로 연결하도록 구성된다. "오프" 상태에서 지칭되는 제 2 상태에서, 제 1 스위치 엘리먼트(T1) 및 제 2 스위치 엘리먼트(T2)는 에너지 저장 엘리먼트( $C_{SM}$ )를 단락(short-circuit)시키도록 구성된다.

[0007] 그것의 단자들에 걸쳐 전압( $v_m$ )을 갖는 각각의 암은, 온 상태인 서브모듈들의 수에 의존하는 듀티 팩터(duty factor)를 갖는 그것의 단자들에 걸친 전압( $v_m$ )을 갖는 모델링된 전원에 의해 그리고 전원에 연결된 모델링된 커패시터( $C_{tot}$ )에 의해 모델링될 수 있다. 이러한 모델이 도 3에 개략적으로 도시되며, 여기에서 획득된 모델과 함께 전류  $i$ 를 통과시키는 암이 확인될 수 있다. 모델링된 커패시터( $C_{tot}$ )의 등가 커패시턴스의 역수는 온 상태인 모듈들의 커패시턴스들의 역수들의 합과 동일하여 하기와 같다:

[0008] 
$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$$

[0009] 여기에서,  $C_1$ ,  $C_2$ , ...,  $C_j$ , ...,  $C_N$ 은  $j$ 번째 커패시터의 커패시턴스이다.

[0010] 따라서, 모델링된 커패시터( $C_{tot}$ )의 단자들에 걸친 전압( $v_{es}$ )은 암 내의 서브모듈들의 커패시터들의 단자들에 걸친 전압들( $v_{c_j}$ )의 합과 동일하다(여기에서,  $j$ 는 1 내지  $N$ 의 범위 내에 있으며, 커패시터 및 그에 따른 서브모듈의 번호를 제공한다). 또한, 각각의 커패시터( $C_{tot}$ )는 전류( $i_m$ )를 통과시킨다. 본 출원에 있어서, 용어의 오용에 의해,  $C_{tot}$ 는 모델링된 커패시터 및 또한 그것의 커패시턴스를 지칭한다. 직렬로 연결되는 에너지 저장 엘리먼트들의 수가 점진적으로 변화하게끔 하기 위하여 서브모듈들의 온/오프 시스퀀스를 제어함으로써, 모델링된 커패시터( $C_{tot}$ )의 에너지 및 그에 따른 각각의 모델링된 전원의 단자들에 걸친 전압을 감소시키거나 또는 증가시키는 것이 가능하다.

[0011] 종래 기술에 있어서, 따라서, 도 4에 도시된 바와 같은 MMC(10)의 서브모듈들의 세트(6)에 대한 등가 구성이 발견될 것이다. 이러한 도면에서, 컨버터는 도 1을 참조하여 설명된 컨버터와 유사한 컨버터이며, 여기에서 각각의 암은 그것의 모델에 의해 대체되었다. 또한, AC 전력 공급 네트워크의 각각의 위상 라인이 전류( $i_{gi}$ ) 및 전압( $v_{gi}$ )와 연관된다(여기에서, 인덱스  $i$ 는 레그의 번호를 지정한다).

[0012] 이러한 예에 있어서, 모델링된 전원들의 각각은 그것의 단자들에 걸쳐 전압( $v_{mxi}$ )를 가지며, 모델링된 커패시터들( $C_{tot}$ )의 각각은 전류( $i_{mxi}$ )를 통과시키고 그것의 단자들에 걸쳐 전압( $v_{cExi}$ )을 갖는다(여기에서,  $x$ 는 암이 상부인지 또는 하부인지 여부를 지정하며,  $i$ 는 레그의 번호를 지정한다). MMC를 (컨버터가 AC 에너지를 DC 에너지로, 또는 이의 역으로 변환하도록 구성되었는지 여부에 따라, 입구 또는 출구에서) 이론적인 AC 부분 및 이론적인 DC 부분으로 분할하는 것이 가능함이 또한 관찰될 수 있으며, 여기에서 서브모듈들의 커패시터들에 저

장되는 전체 에너지의 변동은 컨버터에 진입하는 전력과 컨버터를 떠나는 전력 사이의 차이와 동일하다.

- [0013] 이러한 유형의 MMC에 있어서, 서브모듈들의 커패시터들에 저장된 내부 에너지는 DC 전력 공급 네트워크의 전압으로부터 분리된다는 것이 알려져 있다. 따라서, MMC들의 커패시터들에 저장된 내부 에너지는 독립적으로 조절될 수 있다. 이는, 특히, MMC들이 상기 전력 공급 네트워크들로 에너지를 전달하거나 또는 이로부터 에너지를 추출함으로써 연관된 DC 및 AC 전력 공급 네트워크들을 안정화하는데 기여하는 것을 가능하게 만든다.
- [0014] 따라서, DC 및/또는 AC 전력 공급 네트워크들과 MMC 사이의 전력의 교환들이 컨버터의 커패시터들에 저장된 내부 에너지의 증가 또는 감소를 초래한다는 것이 이해될 수 있을 것이다.
- [0015] 컨버터의 내부 에너지는 DC 및 AC 전력 공급 네트워크들의 안정성에 영향을 미친다. 또한, DC 및 AC 전력 공급 네트워크들 사이의 전력의 교환들의 결과로서 컨버터의 커패시터들의 전체 전압이 진동(oscillate)하게 된다는 것이 알려져 있다. 이러한 진동들은 그들의 동작 제약들에 따르지 않으므로써 컨버터의 적절한 동작을 위협하는 결과를 갖는다. 종래 기술의 해법들은 이러한 진동들을 고려하지 않으며, 따라서 컨버터를 손상시킬 위험이 있다. 따라서, 이러한 해법들은 컨버터의 내부 에너지를 제어하는 것과 관련하여 MMC들의 성능을 완전히 이용하는 것을 가능하게 하지 않는다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

**과제의 해결 수단**

- [0016] 본 발명의 목적은, 이상에서 언급된 문제점들을 치유하고 MMC의 잠재력을 완전히 사용하는 것을 가능하게 만드는 모듈식 멀티레벨 컨버터(modular multilevel converter; MMC)를 제안하는 것이다.
- [0017] 이를 위하여, 본 발명은, AC 전압을 DC 전압으로, 또는 이의 역으로 변환하기 위한 모듈식 멀티레벨 전압 컨버터를 제공하며, 컨버터는 DC 전력 공급 네트워크에 대한 연결을 위한 DC 부분 및 AC 전력 공급 네트워크에 대한 연결을 위한 AC 부분을 포함하고, 컨버터는 복수의 레그들을 포함하며, 각각의 레그는 상부 암 및 하부 암을 포함하고, 각각의 암은 각각의 서브모듈에 특정한 제어 부재에 의해 개별적으로 제어될 수 있는 복수의 서브모듈들을 포함하며, 각각의 서브모듈은, 서브모듈의 제어 부재가 "온" 상태에 있을 때 암 내에서 직렬로 연결될 수 있는 커패시터를 포함한다.
- [0018] 컨버터의 일반적인 특성에 따르면, 상기 컨버터는 컨버터의 상부 또는 하부 암의 서브모듈들의 커패시터들에 저장된 내부 에너지를 조절하도록 구성된 제어 모듈을 포함하며, 제어 모듈은, 컨버터의 동작 전력에 대한 설정점(setpoint)들과 함께 DC 전력 공급 네트워크들 및 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 파라미터들을 사용함으로써 상기 내부 에너지를 상한 아래로 및/또는 하한 이상으로 제한하기에 적절하다.
- [0019] 바람직하게는, 그리고 비제한적인 방식으로, 서브모듈들은, 서브모듈을 "온" 상태로 또는 "오프" 상태로 위치시키는 것이 희망되는지 여부에 따라, 상기 서브모듈의 커패시터를 연관된 암과 직렬로 연결하거나 또는 연결하지 않도록 역할하는 2개의 절연 게이트 양극성 트랜지스터(insulated gate bipolar transistor; IGBT)를 이용하여 제어된다.
- [0020] 각각의 암은 커패시턴스( $C_{tot}$ )의 모델링된 커패시터와 병렬로 연관되는 모델링된 전원에 의해 모델링될 수 있다. 암의 서브모듈들의 커패시터들의 전압들의 합계는  $v_{ce}$  으로 쓰여지며, 그 결과 모델링된 전원과 병렬로 연관되는 모델링된 커패시터의 단자들에 걸친 전압은  $v_{ce}$  와 동일하다. 이에 더하여, 모델링된 전원은, 암 내로 삽입되기 때문에 "삽입" 전압으로도 지칭되는 그것의 단자들에 걸친 전압( $v_m$ )을 가지며, 이는 제어되는 서브모듈들의 수에 의존하는 듀티 팩터에 의해 특징지어진다.
- [0021] 바람직하게는, 모델링된 전원과 연관된 듀티 팩터( $\alpha$ )는 하기의 식으로부터 계산된다:
- [0022] 
$$\alpha = \frac{n}{N}$$
- [0023] 여기에서  $n$ 은 연관된 암 내의 "온" 상태인 서브모듈들의 수이며,  $N$ 은 암 내의 서브모듈들의 수이다.

[0024] 내부 에너지에 대한 상기 하한 및/또는 상기 상한은 컨버터의 서브모듈들의 커패시터들에 저장된 내부 에너지를 상기 컨버터의 적절한 동작을 위해 적합한 레벨로 유지하도록 결정된다는 것이 이해될 수 있을 것이다. 이는 컨버터를 손상시키는 것을 회피하는데 기여하며, 그것의 성능이 완전히 사용되는 것을 가능하게 한다.

[0025] 본 발명의 범위를 벗어나지 않고, 제어 모듈은 내부 에너지를 오로지 상한 아래로, 오로지 하한 이상으로, 또는 실제로는 상한과 하한 사이로 조절하도록 구성될 수 있다.

[0026] 또한, 내부 에너지에 대한 상기 하한 및/또는 상한은, 커패시터들의 전체 전압에서의 진동을 고려하기 위한 방식으로 선택될 수 있다. 따라서, 이러한 불가피한 진동들에도 불구하고, 내부 에너지는 제어 모듈에 의해 상기 하한 이상으로 및/또는 상기 상한 아래로 유지되어 컨버터의 동작이 방해받지 않는다.

[0027] 바람직하게는, 내부 에너지에 대한 하한은 삽입 전압( $v_m$ )과 관련하여 충족될 조건으로부터 결정된다. 특히, 컨버터의 적절한 동작을 보장하기 위하여, 암 내에 삽입되는 바와 같은 삽입 전압( $v_m$ )은 암 내의 서브모듈들의 전압들의 합계( $v_{c\Sigma}$ )에 의해 물리적으로 제한된다. 따라서, 이러한 물리적인 제약을 충족시키기 위하여, 삽입 전압 설정점( $v_m^*$ )은 반드시 모든 순간들  $t$ 에서 다음의 부등식을 충족시켜야만 한다:

[0028] 
$$\frac{v_m^*(t)}{v_{c\Sigma}(t)} \leq 1$$

[0029] 여기에서  $\frac{v_m^*(t)}{v_{c\Sigma}(t)}$  은 변조 지수  $m$ 을 나타낸다.

[0030] 본 발명의 제어 모듈은, 심지어 커패시터들의 전체 전압에 대한 진동 피크의 경우에도 이러한 부등식을 준수하는 방식으로 내부 에너지가 조절되는 것을 가능하게 한다.

[0031] 또한 바람직하게는, 내부 에너지의 상한은 서브모듈들의 스위치 엘리먼트들에 대한 전압 한계로부터 결정된다. 특히, 컨버터의 적절한 동작을 보장하기 위하여, 서브모듈의 커패시터에 걸친 전압( $v_{ci}$ )은 반드시 각각의 순간  $t$ 에서 하기에 의해 주어지는 바와 같이 상기 서브모듈의 스위치 엘리먼트들에 대한 전압 한계에 대응하는 최대 전압( $v_{cMax}$ )보다 더 작아야만 한다:

[0032] 
$$v_{ci}(t) \leq v_{cMax} \quad v_{ci}(t) \leq v_{cMax} \quad \text{및}$$

[0033] 따라서:

[0034] 
$$v_{c\Sigma}(t) \leq N v_{cMax}$$

[0035] 구체적으로, 스위치 엘리먼트들에 대한 이러한 전압 한계는 "안전 전압 한계"로서 지칭되는 안전 마진(margin)을 나타낸다.

[0036] 내부 에너지가 상한 또는 하한에 도달할 때, 제어 모듈은 이를 다시 각기 상한 아래로 또는 하한 이상으로 가져가기 위하여 내부 에너지를 정정한다.

[0037] DC 전력 공급 네트워크 및 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 파라미터들을 사용함으로써, 제어 모듈은 DC 및 AC 전력 공급 네트워크들의 상태들에 맞추어 그 자체를 적응시킴으로써 내부 에너지에 대한 하한 및/또는 상한을 결정한다. 하한 및/또는 상한이 일정하지 않으며, 이들이 전력 공급 네트워크들의 상태들에 따라 변화한다는 것이 이해될 수 있을 것이다.

[0038] 바람직하게는, 그러나 비제한적으로, 이러한 파라미터들은 전력 공급 네트워크들 상에서 실시간으로 측정되어, 하한 및/또는 상한이 실시간으로 서보제어되고(servocontrolled), 각각의 순간에서 전력 공급 네트워크들의 상태들에 맞추어 적응된다. 이러한 선호되는 실시예의 이점은 결정된 한계(들)의 정확성을 특히 개선하여 컨버터를 손상시킬 위험들을 감소시키는 것이다.

[0039] 또한, 컨버터에 대한 동작 전력 설정점들을 사용하는 것이 마찬가지로 하한 및/또는 상한을 결정하기 위하여 컨버터의 동작점들을 고려하는 것을 가능하게 만든다. 이러한 방식으로, 내부 에너지 및 상기 내부 에너지를 저장하기 위한 컨버터의 성능들이 더 양호하게 제어되어 MMC의 잠재력을 더 많이 사용하게 만든다.

[0040] 유익한 방식에 있어서, DC 전력 공급 네트워크 및 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 상기 파라미터들은

AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 전압 값( $v_g$ ) 및 DC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 전압 값( $V_{dc}$ )을 포함한다.  $v_g$  및  $v_{dc}$ 는 각기 AC 전력 공급 네트워크의 동작 상태들 및 DC 전력 공급 네트워크의 동작 상태들을 나타낸다.

[0041] 바람직하게는, 컨버터의 동작 전력에 대한 설정점들은 유효 AC 전력 설정점( $P_{ac}^*$ ), 무효 AC 전력 설정점( $Q_{ac}^*$ ), 및 DC 전력 설정점( $P_{dc}^*$ )을 포함한다. 설정점들은 전력과 관련하여 컨버터의 동작점들을 나타낸다.

[0042] 유익한 방식에 있어서, 제어 모듈은 DC 전력 공급 네트워크 및 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 상기 파라미터들의 함수로서 그리고 또한 컨버터의 동작 전력에 대한 상기 설정점들에 대한 함수로서 매개 변수(intermediate variable)들을 계산하도록 구성된다. 비제한적인 방식에 있어서, 상기 매개 변수들을 상기 파라미터들 및 상기 전력 설정점들과 연관시키는 수학적 관계들을 결정하기 위하여 수학적 분석이 사용될 수 있다. 바람직하게는, 수학적 분석을 단순화하기 위하여, 제어 모듈은, 설정점들이 이들이 연관되는 실제 값들을 가까워지기에 충분히 빠른 제어 루프라고 가정된다.

[0043] 유익하게는, 매개 변수들은, 하기의 함수에 의해 결정되는 바와 같은, 정상 상태들 하에서 DC 전력 공급 네트워크의 전류에 대한 균형이 잡힌 3상 시스템 내의 하나의 위상의 기여를 나타내는 등가 차동 전류 변수(differential current)( $I_{diff}$ )를 포함한다:

$$I_{diff} = \frac{P_{dc}}{3V_{dc}}$$

[0045] 바람직하게는, 매개 변수들은, 하기의 함수에 의해 결정되는 바와 같은, 정상 상태들 하에서 컨버터의 DC 부분의 단자들 사이에 걸친 전압을 나타내는 등가 차동 전압 변수( $V_{diff}$ )를 포함한다:

$$V_{diff} = \frac{V_{dc}}{2} - I_{diff}R_{arm}$$

[0047] 여기에서  $R_{arm}$ 은 컨버터의 암 내의 저항이다.

[0048] 유익한 방식에 있어서, 매개 변수들은, 하기의 함수에 의해 결정되는 바와 같은, 정상 상태들 하에서 AC 전력 공급 네트워크로 흐르는 전류를 나타내는 등가 매개 전류 변수( $I_g$ )를 포함한다:

$$I_g = \frac{\sqrt{P_{ac}^2 + Q_{ac}^2}}{3V_g}$$

[0050] 여기에서  $V_g$ 는 정상 상태들 하에서의 AC 전력 공급 네트워크의 전압을 나타낸다.

[0051] 바람직하게는, 매개 변수들은 또한 AC 전력 공급 네트워크로 흐르는 전류의 벡터와 AC 전력 공급 네트워크의 전압 벡터 사이의 위상 차이에 대한 위상 변수( $\theta$ )를 포함한다. 또한,  $\theta$ 는 하기의 식으로부터 결정될 수 있다:

$$\theta = \tan^{-1}\left(-\frac{Q_{ac}}{P_{ac}}\right) \quad \text{if } P_{ac} > 0$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(-\frac{Q_{ac}}{P_{ac}}\right) + \pi \quad \text{if } P_{ac} < 0$$

[0054] 유익하게는, 매개 변수들은, 정상 상태들 하에서 컨버터에 의해 합성되는 등가 AC 내부 전압의 벡터와 정상 상태들 하에서 AC 전력 공급 네트워크의 전압 벡터 사이의 위상 차이를 나타내는 매개 각도 변수( $\delta$ )를 포함하며,  $\delta$ 는 하기의 함수를 이용하여 결정된다:

$$\delta = \tan^{-1} \frac{X_{sq}P_{ac} - R_{sq}Q_{ac}}{R_{sq}P_{ac} + X_{sq}Q_{ac} + 3V_g^2}$$

[0056] 여기에서  $V_g$ 는 정상 상태들 하에서의 AC 전력 공급 네트워크의 전압이며,  $R_{eq}$ 는 암 내의 등가 저항이고,  $X_{eq}$ 는 암 내의 등가 리액턴스이다.

[0057] 비제한적인 방식에 있어서, 우리는  $R_{sq} = R_f + \frac{R_{arm}}{2}$  및  $X_{sq} = X_f + \frac{X_{arm}}{2} = \omega L_f + \frac{\omega L_{arm}}{2}$  를 작성하며, 여기에서  $L_{arm}$  및  $R_{arm}$ 은 각기 암내의 인덕턴스 및 저항을 나타내고, 반면  $L_f$  및  $R_f$ 는 각기 위상 라인 내의 인덕턴스 및 저항을 나타내며,  $\omega$ 는 각주파수를 나타낸다.

[0058] 바람직하게는, 매개 변수들은, 하기의 함수를 이용하여 정상 상태들 하에서 컨버터에 의해 합성되는 바와 같은 등가 AC 내부 전압 변수( $V_g$ )를 포함한다:

$$V_g = \sqrt{\left(\frac{R_{sq} P_{ac} + X_{sq} Q_{ac}}{3V_g} + V_g\right)^2 + \left(\frac{X_{sq} P_{ac} - R_{sq} Q_{ac}}{3V_g}\right)^2}$$

[0060] 여기에서  $V_g$ 는 정상 상태들 하에서의 AC 전력 공급 네트워크의 전압이며,  $R_{sq}$ 는 암 내의 등가 저항이고,  $X_{sq}$ 는 암내의 등가 리액턴스이다.

[0061] 본 발명의 특히 유익한 측면에 있어서, 제어 모듈은, 하기의 함수를 이용하여 컨버터의 상부 암의 커패시터들에 저장된 내부 에너지의 진동 성분( $W_{ru}^\Sigma(t)$ )을 결정하도록 구성된다:

$$W_{ru}^\Sigma(t) = -\frac{\sqrt{2}I_{diff}V_g}{\omega} \sin(\omega t + \delta) + \frac{\sqrt{2}I_g V_{diff}}{2\omega} \sin(\omega t + \theta) - \frac{I_g V_g}{4\omega} \sin(2\omega t + \delta + \theta)$$

[0063] 여기에서  $\omega$ 는 각주파수이다. 내부 에너지의 이러한 진동 성분은 컨버터의 상부 암의 커패시터들의 전체 전압의 고유 진동을 나타내며, 그에 따라서 상기 커패시터들 저장된 내부 에너지의 고유 진동들을 나타낸다. 이러한 진동들은 컨버터와 DC 및 AC 전력 공급 네트워크들 사이의 전력의 교환들에 의해 초래된다.

[0064] 또한, 상부 암 내의 내부 에너지는, 상부 암 내의 내부 에너지의 진동 성분( $W_{ru}^\Sigma(t)$ )에 그 암 내의 내부 에너지의 시간에 걸친 평균을 더한 합으로서 표현될 수 있다.

[0065] 변형예에 있어서, 제어 모듈은 하기의 함수를 이용하여 컨버터의 상부 암의 커패시터들에 저장된 내부 에너지의 진동 성분( $W_{ri}^\Sigma(t)$ )을 결정하도록 구성된다:

$$W_{ri}^\Sigma(t) = \frac{\sqrt{2}I_{diff}V_g}{\omega} \sin(\omega t + \delta) - \frac{\sqrt{2}I_g V_{diff}}{2\omega} \sin(\omega t + \theta) - \frac{I_g V_g}{4\omega} \sin(2\omega t + \delta + \theta)$$

[0067] 유익한 방식에 있어서, 제어 모듈은 하기의 함수를 이용하여 컨버터의 상부 암의 서브모듈들의 커패시터들에 저장된 내부 에너지의 진동 성분( $W_{Lminu}^\Sigma$ )을 결정하도록 구성된다:

$$W_{Lminu}^\Sigma = \frac{C_{tot}}{2} \left( V_{diff} - \sqrt{2}V_g \cos(\omega t_m + \delta) \right)^2 - W_{ru}^\Sigma(t_m)$$

[0069] 여기에서  $C_{tot}$ 는 상부 암 내의 커패시터들의 커패시턴스들의 합이며,  $t_m$ 은 상부 암 내의 내부 에너지가 하한( $W_{Lminu}^\Sigma$ )에 도달하는 결정된 순간이고, 여기에서 이러한 순간은 하기의 식에 의해 획득된다:

$$t_m = \frac{1}{\omega} \left( \pi - \sin^{-1} \left( \frac{I_{diff}}{\sqrt{A_t^2 + B_t^2}} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{B_t}{A_t} \right) \right) + \frac{2k\pi}{\omega}$$

[0071] 여기에서:

$$A_t = \sqrt{2}\omega C_{tot} V_g \cos\delta + \frac{I_g}{\sqrt{2}} \sin\theta$$

$$B_t = \sqrt{2}\omega C_{tot} V_g \sin\delta - \frac{I_g}{\sqrt{2}} \cos\theta$$

[0074] 변형예에 있어서, 제어 모듈은 컨버터의 하부 암의 서브모듈들의 커패시터들에 저장된 내부 에너지에 대한 하한 ( $W_{Lminl}^{\Sigma}$ )을 결정하도록 구성된다. 상기 하한( $W_{Lminl}^{\Sigma}$ )에 대한 식은 상부 및 하부 암들 사이의 대칭성을 사용함으로써 결정될 수 있다. 이러한 식에 있어서, 제약들의 값들은 상부 암에 적용되는 제약들의 값들과 동일하다.

[0075] 본 발명의 범위를 벗어나지 않고, 상부 또는 하부 암의 커패시터들에 저장된 내부 에너지에 대한 하한은 다음의 등식이 충족되는 순간( $t_m$ )에 도달되는 가장 바람직하지 않은 구성을 고려하는 접근 방식을 사용함으로써 결정될 수 있다:

$$[0076] \frac{v_m(t_m)}{v_{c\Sigma}(t_m)} = 1$$

[0077] 이러한 바람직하지 않은 구성에서, 상부 또는 하부 암 내의 내부 에너지가 상기 하한에 도달한다.

[0078] 유익하게는, 제어 모듈은, 하기의 함수를 이용하여 컨버터의 상부 암의 서브모듈들의 커패시터들에 저장된 내부 에너지에 대한 상한( $W_{Lmaxu}^{\Sigma}$ )을 결정하도록 구성된다:

$$[0079] W_{Lmaxu}^{\Sigma} = \frac{C_{tot}}{2} (NV_{smMax})^2 - W_{ru}^{\Sigma}(t_r)$$

[0080] 여기에서  $C_{tot}$ 는 암 내의 커패시터들의 커패시턴스들의 합이며,  $V_{smMax}$ 는 서브모듈 내에서 용인할 수 있는 최대 전압이고,  $N$ 은 암 내의 서브모듈들의 수이며,  $t_r$ 은 암 내의 내부 에너지가 상한( $W_{Lmaxu}^{\Sigma}$ )에 도달하는 결정된 순간이며, 여기에서 이러한 순간은 하기의 식에 의해 획득된다:

$$[0081] t_r = \frac{1}{\omega} \left( \cos^{-1} \left( -\frac{\sqrt{2}I_{diff}}{I_g} \right) - \theta \right) + \frac{2k\pi}{\omega}$$

[0082] 변형예에 있어서, 제어 모듈은 컨버터의 하부 암의 서브모듈들의 커패시터들에 저장된 내부 에너지에 대한 하한 ( $W_{Lmaxl}^{\Sigma}$ )을 결정하도록 구성된다. 다시 한번, 상기 하한( $W_{Lmaxl}^{\Sigma}$ )에 대한 식은 상부 암과 하부 암 사이의 대칭성을 사용하여 결정될 수 있다. 이러한 식에 있어서, 제약들의 값들은 상부 암에 적용되는 제약들의 값들과 동일하다.

[0083] 본 발명의 범위를 벗어나지 않고, 상부 또는 하부 암의 커패시터들에 저장된 내부 에너지에 대한 하한은 다음의 등식이 충족되는 순간( $t_r$ )에 도달되는 가장 바람직하지 않은 구성을 고려하는 접근 방식을 사용함으로써 결정될 수 있다:

$$[0084] v_{c\Sigma}(t_r) = Nv_{cMax}$$

[0085] 이러한 바람직하지 않은 구성에서, 상부 또는 하부 암 내의 내부 에너지는 내부 에너지에 대한 상한에 도달한다.

[0086] 바람직하게는, 제어 모듈은, AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 바와 같은 상기 전압 값( $v_g$ ), DC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 바와 같은 상기 전압 값( $V_{dc}$ ), 상기 유효 AC 전력 설정점( $P_{ac}^*$ ), 상기 무효 AC 전력 설정점( $Q_{ac}^*$ ), 및 상기 DC 전력 설정점( $P_{dc}^*$ )의 함수로서 상부 또는 하부 암의 서브모듈들의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지에 대한 상기 하한 및 상기 상한을 결정하기 위한 결정 모듈을 포함한다.

[0087] 결정 모듈을 이용하여, 내부 에너지에 대한 하한 및/또는 상한은, 바람직하게는 실시간으로, 전력 공급 네트워크들의 상태들의 함수로서 서보제어된다.

[0088] 또한 바람직하게는, 제어 모듈은, 제어 모듈에 의해 공급되는 바와 같이, 상기 하한 및 상기 상한의 함수로서 내부 에너지 설정점을 조정하기 위한 조정 모듈을 포함한다. 이점은, 컨버터의 적절한 동작을 보장하고 네트워크의 상태들에 맞추어 적용되는 내부 에너지 설정점을 획득하는 것이다. 커패시터들에 저장되는 내부 에너지에 대한 설정점의 이러한 정정은 내부 에너지의 제어를 개선하며 컨버터의 에너지 저장 성능들의 관리를 추가로 개선하도록 역할한다.

- [0089] 따라서, 정정 모듈로 입력되는 내부 에너지 설정점이 상기 하한 또는 상기 상한을 초과하지 않는 한, 상기 내부 에너지 설정점은 수정되지 않는다는 것이 이해될 수 있을 것이다. 그러면, 정정 모듈은 입력으로서 수신된 설정점과 동일한 내부 에너지 설정점을 출력으로서 공급한다.
- [0090] 대조적으로, 내부 에너지 설정점이 상기 하한보다 더 낮거나 또는 상기 상한보다 더 높을 때, 정정 모듈은 설정점이 하한보다 더 높아지게 또는 상한보다 더 낮아지게 설정점을 정정한다.
- [0091] 본 발명의 특히 유익한 측면에 있어서, 제어 모듈은, 입력으로서 컨버터에 대한 내부 에너지 설정점을 가지며 상기 컨버터의 커패시터들에 대한 전력 설정점을 전달하는, 컨버터의 내부 에너지를 조절하기 위한 조절기(regulator)를 포함한다. 이러한 내부 에너지 조절기는, 컨버터의 상부 또는 하부 암의 커패시터들에 저장된 내부 에너지를 그것의 설정점을 향하게 함으로써 조절하도록 역할한다.
- [0092] 비제한적인 방식에 있어서, 내부 에너지 설정점은 정정 모듈에 의해 공급될 수 있다. 따라서, 내부 에너지 조절기를 이용하면, 각각의 모델링된 커패시터의 단자들에 걸친 전압을 서보제어하고 그럼으로써 커패시터들에 저장되는 에너지를 효과적으로 제어하는 것이 가능하다.
- [0093] 바람직하게는, 제어 모듈은, 입력들로서 AC 유효 전력 설정점( $P_{ac}^*$ ) 및 AC 무효 전력 설정점( $Q_{ac}^*$ )을 가지며 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ ) 및 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ )을 전달하는, 컨버터와 AC 네트워크 사이의 연결 지점들에서의 전력을 조절하기 위한 조절기를 포함한다. AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ )은 AC 유효 전력 설정점( $P_{ac}^*$ )과 연관되며, 반면 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ )은 AC 무효 전력 설정점( $Q_{ac}^*$ )과 연관된다. 이러한 조절기는 컨버터와 AC 네트워크 사이의 연결 지점들에서 소위 전력의 "느린(slow)" 조절을 구현한다.
- [0094] 바람직하게는, 제어 모듈은, 입력으로서 DC 전력 설정점( $P_{dc}^*$ )을 가지며 차동 전류 설정점( $i_{diff}^*$ )을 전달하는, 컨버터와 DC 네트워크 사이의 연결 지점들에서 전력을 조절하기 위한 조절기를 포함한다. 이러한 조절기는 컨버터와 DC 네트워크 사이의 연결 지점들에서 소위 전력의 "느린" 조절을 구현한다.
- [0095] 또한 바람직하게는, 제어 모듈은, 입력들로서 AC 전류( $i_g$ )와 연관된 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ ) 및 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ )을 가지며 출력으로서 등가 AC 내부 전압 설정점( $v_g^*$ )을 공급하는, AC 전력 공급 네트워크의 AC 전류( $i_g$ )를 조절하기 위한 조절기를 포함한다.  $i_g$ 는 AC 전력 공급 네트워크 내에서 흐르는 전류이다. AC 전류( $i_g$ )를 조절하는 것은, 컨버터의 구성에 따라 인입 또는 유출 AC 전력의 전송들을 조절하는 것에 해당한다. 이러한 조절기는 AC 전류( $i_g$ )의 소위 "빠른(fast)" 조절을 구현한다.
- [0096] 유익하게는, 제어 모듈은, 입력으로서 차동 전류( $i_{diff}$ )와 연관된 차동 전류 설정점( $i_{diff}^*$ )을 가지며 출력으로서 차동 전압 설정점( $v_{diff}^*$ )을 공급하는, 차동 전류( $i_{diff}$ )를 조절하기 위한 조절기를 포함한다. 차동 전류( $i_{diff}$ )를 조절하는 것은, 컨버터의 구성에 따라 인입 또는 유출 DC 전력의 전송들을 조절하는 것에 해당한다. 이러한 조절기는 차동 전류( $i_{diff}$ )의 소위 "빠른" 조절을 구현하며, 여기에서  $i_{diff}$ 는 DC 전력 공급 네트워크의 차동 전류를 나타낸다.
- [0097] 본 발명은 또한, AC 전압을 DC 전압으로, 또는 이의 역으로 변환하기 위한 모듈식 멀티레벨 전압 컨버터를 제어하는 방법을 제공하며, 컨버터는 DC 전력 공급 네트워크에 대한 연결을 위한 DC 부분 및 AC 전력 공급 네트워크에 대한 연결을 위한 AC 부분을 포함하고, 컨버터는 복수의 레그들을 포함하며, 각각의 레그는 상부 암 및 하부 암을 포함하고, 각각의 암은 각각의 서브모듈에 특정한 제어 부재에 의해 개별적으로 제어될 수 있는 복수의 서브모듈들을 포함하며, 각각의 서브모듈은, 서브모듈의 제어 부재가 "온" 상태에 있을 때 암 내에서 직렬로 연결될 수 있는 커패시터를 포함한다.
- [0098] 특성 방식에 있어서, 방법은, 컨버터의 상부 또는 하부 암의 서브모듈들의 커패시터들에 저장된 내부 에너지를 조절하는 단계로서, 여기에서 컨버터의 동작 전력에 대한 설정점들과 함께 DC 전력 공급 네트워크들 및 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 파라미터들을 사용함으로써 상기 내부 에너지는 상한 아래로 및/또는 하한 이상으로 제한되는, 단계를 포함한다.
- [0099] 바람직하게는, 제어 방법은, DC 전력 공급 네트워크 및 AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 상기 파라미터

들의 함수로서 그리고 또한 컨버터의 동작 전력 설정점들의 함수로서 컨버터의 상부 또는 하부 암의 서브모듈들의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지에 대한 상기 하한 및 상기 상한을 결정하는 단계를 포함한다.

[0100] 바람직하게는, 제어 방법은 상기 상한 및 상기 하한의 함수로서 내부 에너지 설정점을 설정하는 단계를 포함한다.

[0101] 또한 바람직하게는, 제어 방법은, 입력으로서 컨버터에 대한 내부 에너지 설정점을 사용하고 상기 컨버터의 커패시터들에 대한 전력 설정점을 전달하여 컨버터의 내부 에너지를 조절하는 단계를 포함한다.

[0102] 유익한 방식에 있어서, 제어 방법은, 입력들로서 AC 유효 전력 설정점( $P_{ac}^*$ ) 및 AC 무효 전력 설정점( $Q_{ac}^*$ )을 사용함으로써 그리고 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ ) 및 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ )을 전달함으로써, 컨버터와 AC 네트워크 사이의 연결 지점들에서 전력을 조절하는 단계를 포함한다.

[0103] 유익하게는, 제어 방법은, 입력으로서 DC 전력 설정점( $P_{dc}^*$ )을 사용함으로써 그리고 차동 전류 설정점( $i_{diff}^*$ )을 전달함으로써, 컨버터와 DC 네트워크 사이의 연결 지점들에서 전력을 조절하는 단계를 포함한다.

[0104] 바람직하게는, 제어 모듈은, 입력들로서 AC 전류( $i_g$ )와 연관된 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ ) 및 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ )을 사용함으로써 그리고 출력으로서 등가 AC 내부 전압 설정점( $v_g^*$ )을 공급함으로써 AC 전류( $i_g$ )를 조절하는 단계를 포함한다.

[0105] 바람직하게는, 제어 방법은, 차동 전류( $i_{diff}$ )와 연관된 차동 전류 설정점( $i_{diff}^*$ )을 사용하고 출력으로서 차동 전압 설정점( $v_{diff}^*$ )을 공급하여 차동 전류( $i_{diff}$ )를 조절하는 단계를 포함한다.

[0106] 본 발명의 범위를 벗어나지 않고, 제어 방법은 그것의 선호되는 실시예들을 포함하여 그것의 실시예들 전부에서 이상에서 정의된 바와 같은 컨버터를 이용하여 수행될 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0107] 본 발명은 비-제한적인 예로서 주어지는 본 발명의 실시예의 다음의 설명을 숙독하고 첨부된 도면들을 참조하여 더 양호하게 이해될 수 있다.

- 도 1은, 이상에서 설명된, 종래 기술의 3상 모듈식 멀티레벨 컨버터를 도시한다.
- 도 2는, 이상에서 설명된, 종래 기술의 모듈식 멀티레벨 컨버터의 서브모듈을 도시한다.
- 도 3은, 이상에서 설명된, 종래 기술의 MMC의 암에 대한 등가 회로를 도시한다.
- 도 4는, 이상에서 설명된, 종래 기술의 모듈식 멀티레벨 컨버터에 대한 등가 구성을 도시한다.
- 도 5는 본 발명이 모듈식 멀티레벨 컨버터의 등가적이고 개략적인 표현이다.
- 도 6은 제어 모듈을 포함하는 본 발명의 모듈식 멀티레벨 컨버터를 도시한다.
- 도 7은 도 6의 컨버터의 암 내에 저장되는 내부 에너지에 대한 상한 및 하한을 결정하기 위한 모듈을 도시한다.
- 도 8은 DC 전력 공급 네트워크의 전압이 변화되는 제 1 시물레이션을 도시한다.
- 도 9a는, 제 1 시스템에 대하여, 도 8에 도시된 전압 변동에 응답하여, 내부 에너지가 어떻게 제어 모듈을 포함하는 본 발명의 컨버터의 하한에 가깝게 변화하는지를 도시한다.
- 도 9b는 도 9a의 제 1 시스템의 본 발명의 컨버터 내에서 변조 지수가 어떻게 변화하는지를 도시한다.
- 도 10a는, 제 2 시스템에 대하여, 도 8에 도시된 전압 변동에 응답하여, 내부 에너지가 어떻게 제어 모듈을 포함하지 않는 종래 기술의 MMC의 하한에 가깝게 변화하는지를 도시한다.
- 도 10b는 도 10a의 제 2 시스템의 종래 기술의 컨버터 내에서 변조 지수가 어떻게 변화하는지를 도시한다.
- 도 11은 유효 AC 전력이 변화되는 제 2 시물레이션을 도시한다.
- 도 12a는, 제 1 시스템에 대하여, 도 11에 도시된 전력 변동에 응답하여, 내부 에너지가 어떻게 제어 모듈을 포

함하는 본 발명의 컨버터의 상한에 가깝게 변화하는지를 도시한다.

도 12b는 도 12a의 제 1 시스템 내의 본 발명의 컨버터의 서브모듈 내의 커패시터에 대하여 전압이 어떻게 변화하는지를 도시한다.

도 13a는, 제 2 시스템에 대하여, 도 11에 도시된 전력 변동에 응답하여, 내부 에너지가 어떻게 제어 모듈을 포함하지 않는 종래 기술의 MMC의 상한에 가깝게 변화하는지를 도시한다.

도 13b는 도 13a의 제 2 시스템 내의 종래 기술의 컨버터의 서브모듈의 커패시터에 대하여 전압이 어떻게 변화하는지를 도시한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0108] 도 6에 도시된 본 발명의 일 실시예는 제어 모듈(12)을 포함하는 모듈식 멀티레벨 컨버터(10)에 관한 것이다. 도 5는, 단상(single-phase) 모델의 본 발명의 컨버터(10)의 거동에 대한 등가 회로를 도시한다. 도 5는 제어 모듈을 도시하지 않는다. 단상 모델을 사용하는 것을 또한 사용되는 표기 및 도면들을 간략화하는데 기여한다. 이러한 도면에서, 비제한적인 방식으로, DC 에너지를 AC 에너지로 변환하기 위한 MMC(10)가 보여질 수 있다.

[0109] 이러한 예에 있어서, 컨버터(10)가 도면의 좌측 부분에서 DC 전원 공급 네트워크(110)에 연결된 DC 부분(10A)을 갖는 것이 보여질 수 있다. 도면의 우측 부분에서, 컨버터(10)가 AC 전력 공급 네트워크(120)에 연결된 AC 부분(10C)을 갖는 것이 보여질 수 있다. 도 5에서,  $L_{arm}$  및  $R_{arm}$ 은 각기 암내의 인덕턴스 및 저항을 나타내고, 반면  $L_f$  및  $R_f$ 는 각기 위상 라인 내의 인덕턴스 및 저항을 나타낸다.  $i_{diff}$ 는 DC 전력 공급 네트워크를 통과하는 차동 전류를 나타내며,  $v_{diff}$ 는 컨버터의 DC 부분의 단자들에 걸친 차동 전압을 나타낸다.  $i_g$ 는 AC 전력 공급 네트워크를 통과하는 전류를 나타내며,  $v_v$ 는 컨버터의 AC 부분의 단자들에 걸친 등가 AC 내부 전압을 나타낸다.  $v_g$ 는 AC 전력 공급 네트워크의 전압을 나타내며,  $V_{dc}$ 는 DC 전력 공급 네트워크의 전압을 나타낸다. 또한, DC 전력 공급 네트워크(110)와 컨버터(10) 사이에서 교환되는 전력이  $P_{dc}$ 로 기술되며, 컨버터(10)와 AC 전력 공급 네트워크(120) 사이에서 교환되는 전력이  $P_{ac}$ 로 기술된다는 것이 보일 수 있다.

[0110] 도 6은 컨버터 유닛(11) 및 제어 모듈(12)을 포함하는 본 발명의 모듈식 멀티레벨 컨버터(10)를 도시한다. 제어 모듈(12)은 제어 루프이며, 컨버터의 상부 또는 하부 암의 서브모듈들(SM<sub>kij</sub>)의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지를 조절하도록 구성된다. 도 6의 비제한적인 예에 있어서, 제어 모듈(12)은 또한 컨버터의 상부 또는 하부 암의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지를 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ ) 아래로 그리고 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ ) 이상으로 제한하기에 적절하다. 제어 모듈은 상기 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ )와 상기 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ ) 사이에 내부 에너지를 유지하도록 역할하여, 그럼으로써 컨버터를 손상시킬 위험 없이 상기 컨버터(10)의 적절한 동작을 보장한다.

[0111] 도 6의 예에서 보여질 수 있는 바와 같이, 제어 모듈(12)은 또한 컨버터의 내부 에너지에 대한 상기 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ ) 및 상기 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ )을 결정하기 위한 결정 모듈(14)을 포함한다. 이러한 결정 모듈(14)은 입력들로서 AC 전력 공급 네트워크(120) 상에서 측정되는 바와 같은 전압 값( $v_g$ ), DC 전력 공급 네트워크(110) 상에서 측정되는 바와 같은 전압 값( $V_{dc}$ ), 유효 AC 전력 설정점( $P_{ac}^*$ ), 무효 AC 전력 설정점( $Q_{ac}^*$ ), 및 DC 전력 설정점( $P_{dc}^*$ )을 수신한다. 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ ) 및/또는 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ )이 일정하지 않으며, 이들이 전력 공급 네트워크들의 상태들에 따라 변화한다는 것이 이해될 수 있을 것이다.

[0112] 바람직하게는, 그러나 비제한적으로, 전압 값들( $v_g$  및  $V_{dc}$ )은 전력 공급 네트워크들 상에서 실시간으로 측정되어,  $W_{Lmax}^{\Sigma}$  및  $W_{Lmin}^{\Sigma}$ 에 대한 값들이 실시간으로 서보제어되고, 항상 전력 공급 네트워크들의 상태들에 맞추어 적응된다. 결정 모듈(14)의 동작이 이하에서 상세하게 설명된다.

[0113] 도 6에서, 제어 모듈(12)이 정정 모듈(16)을 포함하는 것이 또한 보일 수 있다. 이러한 비제한적인 예에 있어서, 정정 모듈은, 입력으로서, 결정 모듈(14)에 의해 전달되는 바와 같은 내부 에너지에 대한 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ ) 및 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ )과 함께 컨버터(10)의 암의 커패시터들에 저장된 에너지에 대한 내부 에너지 설정점( $W^{\Sigma*}$ )을 사

용한다. 정정 모듈(16)은 출력으로서 정정된 내부 에너지 설정점( $W^{\Sigma*}$ )을 전달한다.

[0114] 정정 모듈(16)로 입력되는 내부 에너지 설정점( $W^{\Sigma*}$ )이 상기 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ ) 또는 상기 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ )을 초과하지 않는 한, 상기 내부 에너지 설정점( $W^{\Sigma*}$ )은 수정되지 않는다. 그러면, 정정 모듈(16)은 입력으로서 정정 모듈이 수신한 내부 에너지 설정점( $W^{\Sigma*}$ )과 동일한 내부 에너지 설정점( $W^{\Sigma*}$ )을 출력으로서 전달한다. 대조적으로, 내부 에너지 설정점( $W^{\Sigma*}$ )이 상기 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ )보다 더 낮거나 또는 상기 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ )보다 더 높을 때, 정정 모듈(16)은 출력으로서 하한보다 더 높거나 또는 상한보다 더 낮은 정정된 내부 에너지 설정점( $W^{\Sigma*}$ )을 전달하기 위하여 이러한 방식으로 내부 에너지 설정점( $W^{\Sigma*}$ )을 정정한다.

[0115] 도 6의 제어 모듈(12)은 또한 컨버터(10)의 내부 에너지를 조절하기 위한 조절기(18)를 포함한다. 컨버터의 내부 에너지를 조절하기 위한 이러한 조절기(18)는, 정정 모듈(16)에 의해 공급되는 정정된 내부 에너지 설정점( $W^{\Sigma*}$ )으로부터 결정되는 바와 같은, 컨버터(10)의 커패시터들에 대한 전력 설정점( $P_w^*$ )을 전달한다. 따라서, 커패시터들에 저장될 때 컨버터의 내부 에너지는, 바람직하게는 실시간으로 정정된 내부 에너지 설정점( $W^{\Sigma*}$ )을 이용하여, 바람직하게는 실시간으로 조절된다.

[0116] 이러한 예에 있어서, 제어 모듈(10)이 컨버터와 AC 네트워크 사이의 연결 지점들에서 전력을 조절하기 위한 조절기(20)를 포함한다는 것이 또한 관찰될 수 있다. 컨버터와 AC 네트워크 사이의 연결 지점들에서의 전력을 조절하기 위한 이러한 조절기(20)는, 입력들로서 AC 유효 전력 설정점( $P_{ac}^*$ ) 및 AC 무효 전력 설정점( $Q_{ac}^*$ )을 수신하고, AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ ) 및 AC 전류 설정점( $i_{gq}^*$ )을 전달한다.

[0117] 비제한적인 방식으로, 제어 모듈(10)은, 입력으로서, 컨버터와 AC 네트워크 사이의 연결 지점에서 전력을 조절하기 위하여 조절기(20)에 의해 공급되는 바와 같은 AC 전류 설정점( $i_{ga}^*$ ) 및 AC 전류 설정점( $i_{gq}^*$ )을 수신하는 AC 전력 공급 네트워크(120)의 AC 전류( $i_g$ )를 조절하기 위한 조절기(22)를 포함한다. AC 전류( $i_g$ )를 조절하기 위한 이러한 조절기(22)는 출력으로서, MMC(10)에 대하여, 등가 AC 내부 전압 설정점( $v_v^*$ )을 전달한다.

[0118] 추가로, 도 6의 예에 있어서, 결정 모듈(14)에 대한 입력으로서 사용되는 바와 같은 유효 AC 전력 설정점( $P_{ac}^*$ )이 또한 컨버터(10)의 내부 에너지를 조절하기 위한 조절기(18)로부터의 전력 설정점( $P_w^*$ )과 비교되고 이에 추가된다. 이러한 비교는 컨버터와 DC 네트워크 사이의 연결 지점들에서 전력을 조절하기 위한 조절기(24)에 대한 입력으로서 공급되는 DC 전력 설정점( $P_{dc}^*$ )을 야기한다. 컨버터와 DC 네트워크 사이의 연결 지점들에서 전력을 조절하기 위한 이러한 조절기(24)는 차동 전류 설정점( $i_{diff}^*$ )을 전달하며, 여기에서  $i_{diff}$ 는 DC 전력 공급 네트워크의 차동 전류를 나타낸다.

[0119] 계속해서 비제한적으로, 제어 모듈(10)은, 입력으로서, 컨버터(10)와 DC 네트워크(110) 사이의 연결 지점들에서 전력을 조절하기 위한 조절기(24)에 의해 공급되는 바와 같은 차동 전류( $i_{diff}$ )와 연관된 차동 전류 설정점( $i_{diff}^*$ )을 수신하고 차동 전류( $i_{diff}$ )를 조절하기 위한 조절기(26)를 포함한다. 차동 전류( $i_{diff}$ )를 조절하기 위한 조절기(26)는 차동 전압 설정점( $v_{diff}^*$ )을 MMC(10)에 대한 출력으로서 공급한다.

[0120] 도 7은 컨버터(10)의 내부 에너지에 대한 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ ) 및 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ )을 결정하기 위한 결정 모듈(14)의 동작을 도시한다. 비제한적인 방식으로, 결정 모듈(14)은, AC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 전압( $v_g$ )의 값, DC 전력 공급 네트워크 상에서 측정되는 전압( $V_{dc}$ )의 값, 유효 AC 전력 설정점( $P_{ac}^*$ ), 무효 AC 전력 설정점( $Q_{ac}^*$ ), 및 DC 전력 설정점( $P_{dc}^*$ )에 의해 구성되는 입력 변수들로부터 그리고 또한 컨버터(10)에 특정하고 공지된 상태 파라미터들의 세트로부터 매개 변수들을 계산하기 위한 계산 유닛(28)을 포함한다.

[0121] 이러한 예에 있어서, 상태 파라미터들은, 암의 인덕턴스( $L_{arm}$ ), 위상 라인의 인덕턴스( $L_f$ ) 및 저항( $R_f$ ), 암 내의 커패시터들의 커패시턴스( $C$ )(커패시터들은 바람직하게는 동일한 커패시턴스를 가짐), 서브모듈에 대하여 용인할

수 있는 최대 전압( $V_{smMax}$ ), 암 내의 서브모듈들의 수(N), 및 각각의 서브모듈의 스위치 엘리먼트들(T1 및 T2)를 구성하는 절연 게이트 양극성 트랜지스터들의 저항( $R_{IGBT}$ )을 포함한다.

[0122] 비제한적인 방식으로, 매개 변수들은 또한, 정상 상태들 하에서의 컨버터의 단상 모델 내의 DC 전력 공급 네트워크를 통해 흐르는 전류를 나타내는 등가 차동 전류 변수( $I_{diff}$ ), 상기 모델 내의 컨버터의 DC 부분의 단상들에서 정상 상태들 하에서의 전압을 나타내는 등가 차동 전압 변수( $V_{diff}$ ), 컨버터의 상기 단상 모델 내의 정상 상태들 하에서의 등가 AC 내부 전압 변수( $V_v$ ), 및 마찬가지로 정상 상태들 하에서 컨버터의 상기 단상 모델 내의 AC 전력 공급 네트워크로 흐르는 전류를 나타내는 등가 매개 전류 변수( $I_g$ )를 포함한다.

[0123] 매개 변수들은 또한 AC 전력 공급 네트워크로 흐르는 전류의 벡터와 AC 전력 공급 네트워크의 전압 벡터 사이의 위상 차이에 대한 위상 변수( $\theta$ ), 각주파수( $\omega$ )를 포함한다. 매개 변수들은 또한 AC 전력 공급 네트워크의 전압 벡터와 등가 AC 내부 전압 벡터( $V_v$ ) 사이의 위상 차이를 나타내는 매개 각도 변수( $\delta$ )를 포함한다.

[0124] 이러한 매개 변수들에 기반하여, 결정 모듈(14)은, 구성이 컨버터(10)에 대하여 가장 바람직하지 않으며 암 내의 내부 에너지가 내부 에너지에 대한 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ )에 도달하는 순간  $t_m$ 을 결정하기에 적합하다. 이러한 순간  $t_m$ 에서, 암 내로 삼입된 전압( $v_m$ )은 암 내의 서브모듈들의 전압들의 합계( $v_{cs}$ )와 동일하다. 결정 모듈(14)은 또한, 구성이 컨버터에 대하여 가장 바람직하지 않으며 암 내의 내부 에너지가 내부 에너지에 대한 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ )에 도달하는 순간  $t_r$ 을 결정하기에 적합하다.

[0125] 결정 모듈(14)은 또한 컨버터의 상부 암의 서브모듈들의 커패시터들에 저장된 내부 에너지의 진동 성분( $W_{ru}^{\Sigma}(t)$ )을 결정하기에 적합하다. 본 발명의 범위를 벗어나지 않고, 결정 모듈(14)은 컨버터의 하부 암의 서브모듈들의 커패시터들에 저장된 내부 에너지의 진동 성분( $W_{rl}^{\Sigma}(t)$ )을 결정하기에 적합하다. 내부 에너지의 진동 성분( $W_{ru}^{\Sigma}(t)$ ), 순간들  $t_r$  및  $t_m$ , 및 결정된 매개 변수들로부터 시작하여, 결정 모듈(14)은 내부 에너지에 대한 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ ) 및 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ )을 결정하기에 적합하다.

[0126] 도 8 내지 도 13b는 컨버터의 암의 커패시터들에 저장된 내부 에너지를 제어하는 2개의 시물레이션들을 도시한다. 이러한 도면들에서, 더 큰 명료성을 위하여, 서브모듈의 커패시터에 걸친 전압을 제외하고는, 전력, 에너지, 및 전압의 크기는 단위법(per-unit system) [p.u]를 사용하여 주어지며, 시간은 초 단위로 표현된다.

[0127] 구체적으로, 도 8 내지 도 10b는, 내부 에너지의 레벨이 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ ) 근처일 때 2개의 시스템들의 거동을 나타내는 제 1 시물레이션을 도시한다. 도 11 내지 도 13b는, 내부 에너지의 레벨이 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ ) 근처일 때 2개의 시스템들의 거동을 나타내는 제 2 시물레이션을 도시한다.

[0128] 도 8 내지 도 10b에 도시된 바와 같이, 제 1 시물레이션에서, 2개의 시스템들의 거동들 사이의 비교가 이루어진다. 도 9a 및 도 9b에서 커브들에 의해 도시되는 거동의 제 1 시스템은 내부 에너지 제어 모듈을 포함하는 본 발명의 모듈식 멀티레벨 컨버터이다. 도 10a 및 도 10b에서 커브들에 의해 도시되는 거동의 제 2 시스템은 내부 에너지 제어 모듈이 없는 종래 기술의 모듈식 멀티레벨 컨버터이다. 따라서, 제 2 시스템의 내부 에너지는 조절되지 않는다.

[0129] 도 8은, DC 공급 네트워크의 전압( $V_{dc}$ )에서 시간의 함수로서 그리고 시물레이션의 요구들에 대하여 부여되는 변화를 도시한다. 전압( $V_{dc}$ )은 처음에 순간  $t_0$ 으로부터 순간  $t_1$ 까지 증가하고, 그런 다음 전압( $V_{dc}$ )은 순간  $t_2$ 로부터 순간  $t_3$ 까지 감소한다.

[0130] 도 9a는, 도 8의 전압 변동에 응답하는 제 1 시스템에 대한 본 발명의 컨버터(10)의 암의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지의 평균에서의 변동을 도시한다. 이러한 도면에서, 커브 a는 시간의 함수로서 내부 에너지에 대한 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ )에서의 변동을 나타낸다. 이상에서 확인될 수 있는 바와 같이, 이러한 한계는 제어 모듈(12)에 의해, 더 구체적으로는 결정 모듈(14)에 의해 결정된다. 이러한 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ )이 DC 전력 공급 네트워크의 전압

( $V_{dc}$ )의 변동을 따른다는 것이 확인될 수 있다.  $V_{dc}$ 는 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ )에 대하여 상당한 영향을 갖는 파라미터이며, 따라서 이러한 파라미터를 변화시킴으로써 컨버터(10)의 암의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지의 변동을 추종(track)하는 것이 용이하다. 따라서, 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ )은 순간  $t_0$ 으로부터 순간  $t_1$ 까지 증가하고, 그런 다음 순간  $t_2$ 로부터 순간  $t_3$ 까지 감소한다.

[0131] 도 9a의 예에 있어서, 커브 b에 의해 표현되는 바와 같은 컨버터의 내부 에너지의 평균은 초기 기준 값으로 유지된다. 이러한 내부 에너지 레벨이 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ )에 가까워 질 때, 제어 모듈은 이러한 레벨을 상기 하한 이상으로 유지하기 위한 방식으로 내부 에너지를 조절한다.

[0132] 도 9b는, 도 8에서 도시된 바와 같은 DC 전력 공급 네트워크의 전압( $V_{dc}$ )의 변동에 응답하는, 이러한 제 1 시스템 내의 변조 지수  $m$ 의 변동을 도시한다. 암 내로 삽입된 전압( $v_m$ )이 DC 전력 공급 네트워크의 전압( $V_{dc}$ )에 비례한다는 것이 알려져 있다. 따라서, 전압( $V_{dc}$ )에서의 증가는 삽입된 전압( $v_m$ )에서의 증가를 의미하며, 그럼으로써 변조 지수  $m$ 에서의 증가를 야기한다. 도 9b의 예에 있어서, 컨버터의 내부 에너지가 제어 모듈에 의해 조절되면, 변조 지수  $m$ 이 1 밑으로 유지되며, 그 결과 다음의 부등식이 참이 된다:

[0133] 
$$\frac{v_m(t)}{v_{c\Sigma}(t)} \leq 1$$

[0134] 따라서, 컨버터의 적절한 동작이 보장된다.

[0135] 도 10a에서, 제 2 시스템에 대한, 도 8의 전압 변동에 응답하는, 종래 기술의 컨버터의 암의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지의 평균이 보여질 수 있다.

[0136] 커브 a는, 제 1 시스템의 제어 모듈에 의해 결정되는 바와 같은 내부 에너지에 대한 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ )의 변동을 도시한다. 커브 b'에 의해 플로팅(plot)되는 바와 같이, 컨버터의 내부 에너지의 평균이 조절되지 않으며, 그 결과 이러한 내부 에너지의 레벨이 일정하게 남아 있으며 순간  $t_v$ 에서 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ ) 밑으로 떨어지는 것이 보여질 수 있다.

[0137] 도 10b는 제 2 시스템에 대한 변조 지수  $m$ 에서의 변동을 도시한다. 종래 기술의 컨버터가 제어 모듈을 갖지 않으며 그리고 컨버터의 내부 에너지가 조절되지 않기 때문에, 변조 지수  $m$ 은 조절되지 않고 1을 초과하며, 그 결과 순간  $t_v$ 로부터는 다음의 부등식이 더 이상 참이 되지 않는다:

[0138] 
$$\frac{v_m(t)}{v_{c\Sigma}(t)} \leq 1$$

[0139] 그러면, 컨버터의 적절한 동작이 더 이상 보장되지 않으며, 컨버터가 손상될 위험이 있다.

[0140] 따라서, 네트워크의 상태에 맞추어 적응되는 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ )을 결정하는 것에 더하여, 도 9a 및 도 9b의 비제한적인 시뮬레이션 예에서 사용되는 바와 같이 본 발명의 컨버터(10)의 제어 모듈(12)은 내부 에너지를 상기 하한( $W_{Lmin}^{\Sigma}$ ) 이상으로 유지하도록 역할한다는 것이 이해될 수 있을 것이다. 이는 변조 지수를 1 밑으로 유지하며, 컨버터가 적절하게 동작한다는 것을 보장한다.

[0141] 내부 에너지 레벨이 상한( $W_{Lmax}^{\Sigma}$ )에 가까워 질 때의 컨버터의 거동의 제 2 시뮬레이션의 결과가 도 11 내지 도 13b를 참조하여 설명된다. 제 2 시뮬레이션에서, 마찬가지로 2개의 시스템들의 거동들 사이의 비교가 이루어진다. 다시 한번, 도 12a 및 도 12b에서 커브들에 의해 도시되는 거동의 제 1 시스템은 내부 에너지 제어 모듈을 포함하는 본 발명의 모듈식 멀티레벨 컨버터이다. 도 13a 및 도 13b에서 커브들에 의해 도시되는 거동의 제 2 시스템은 내부 에너지 제어 모듈이 없는 종래 기술의 모듈식 멀티레벨 컨버터이다. 따라서, 제 2 시스템의 내부 에너지는 조절되지 않는다.

[0142] 도 11의 커브 c는 무효 AC 전력( $Q_{ac}$ )이 일정하게 유지되는 것을 도시하며, 반면 커브 d는 시간의 함수로서 유효 AC 전력( $P_{ac}$ )을 도시한다. 이러한 전력들은 컨버터와 AC 전력 공급 네트워크 사이에서 전송되는 전력들이다. 시

플레이션의 목적들을 위하여, 유효 AC 전력( $P_{ac}$ )은 처음에 순간  $t_4$ 로부터 순간  $t_5$ 까지 증가되고, 그런 다음 전력 ( $P_{ac}$ )은 순간  $t_6$ 으로부터 순간  $t_7$ 까지 감소된다.

[0143] 도 12a는, 도 11의 전력 변동에 응답하는, 제 1 시스템에 대한 본 발명의 컨버터의 암의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지의 평균에서의 변동을 도시한다. 이러한 도면에서, 커브 e는 내부 에너지에 대한 상한( $W_{Lmax}^E$ )에서의 변동을 나타낸다. 이상에서 설명된 바와 같이, 이러한 한계는 제어 모듈에 의해 실시간으로 결정된다. 이러한 상한이 유효 AC 전력( $P_{ac}$ )에 반대되는 방식으로 변화한다는 것이 확인될 수 있다.  $P_{ac}$ 는 상한( $W_{Lmax}^E$ )에 대하여 상당한 영향을 갖는 파라미터이며, 따라서 이러한 파라미터를 변화시킴으로써 컨버터(10)의 암의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지의 변동을 추종하는 것이 용이하다. 따라서, 상한( $W_{Lmax}^E$ )은 순간  $t_4$ 로부터 순간  $t_5$ 까지 감소하고, 그런 다음 순간  $t_6$ 으로부터 순간  $t_7$ 까지 증가한다.

[0144] 도 12a의 예에 있어서, 커브 f에 의해 표현되는 바와 같은 제 1 시스템의 컨버터의 내부 에너지의 평균은 초기 기준 값으로 유지된다. 내부 에너지 레벨이 상한( $W_{Lmax}^E$ )에 가까워 질 때, 제어 모듈은 내부 에너지의 레벨을 상기 상한 아래로 유지하기 위하여 상기 내부 에너지를 조절한다.

[0145] 도 12b에서 커브 g는, 도 11의 전력 변동에 응답하는, 시간의 함수로서 제 1 시스템의 서브모듈의 커패시터의 전압( $v_c$ )에서의 변동을 도시한다. 유효 전력( $P_{ac}$ ) 및 그에 따른 컨버터와 AC 전력 공급 네트워크 사이의 전력의 교환에서의 증가는 순간  $t_4$ 에서 커패시터 전압( $v_c$ )의 진동의 진폭에서의 증가를 야기한다.

[0146] 서브모듈을 손상시키는 것을 회피하기 위하여 그리고 컨버터의 적절한 동작을 보장하기 위하여, 커패시터 전압 ( $v_c$ )은 반드시 상기 서브모듈의 스위치 엘리먼트들의 전압 한계에 대응하는 최대 전압( $v_{cmax}$ )보다 더 작아야만 한다는 것을 상기해야 한다. 도 12b의 예에 있어서, 제 1 시스템의 컨버터의 내부 에너지가 제어 모듈에 의해 조절되기 때문에, 커패시터 전압( $v_c$ )은, 커브 g에 의해 표현되는 바와 같은 전압( $v_c$ )이 항상 커브 h에 의해 표현되는 바와 같은 스위치 엘리먼트들의 전압 한계( $v_{cmax}$ ) 아래에 남아 있도록 하는 방식으로 조절되고 피크가 제한된다.

[0147] 따라서, 컨버터의 적절한 동작이 보장되며, 컨버터가 손상될 위험이 없다.

[0148] 도 13a는, 도 11의 전력 변동에 응답하는, 제어 모듈을 포함하지 않는 컨버터인 제 2 시스템의 컨버터의 암의 커패시터들에 저장되는 내부 에너지의 평균에서의 변동을 도시한다. 커브 e는, 제 1 시스템의 제어 모듈에 의해 결정되는 바와 같은 내부 에너지에 대한 상한( $W_{Lmax}^E$ )의 변동을 도시한다.

[0149] 커브 f'에 의해 표현되는 바와 같이, 컨버터의 내부 에너지의 레벨이 조절되지 않고, 그 결과 이러한 내부 에너지의 레벨이 일정하게 남아 있으며 순간  $t_u$ 에서 상한( $W_{Lmax}^E$ ) 위로 이동한다는 것이 이러한 도 13a에서 보여질 수 있다.

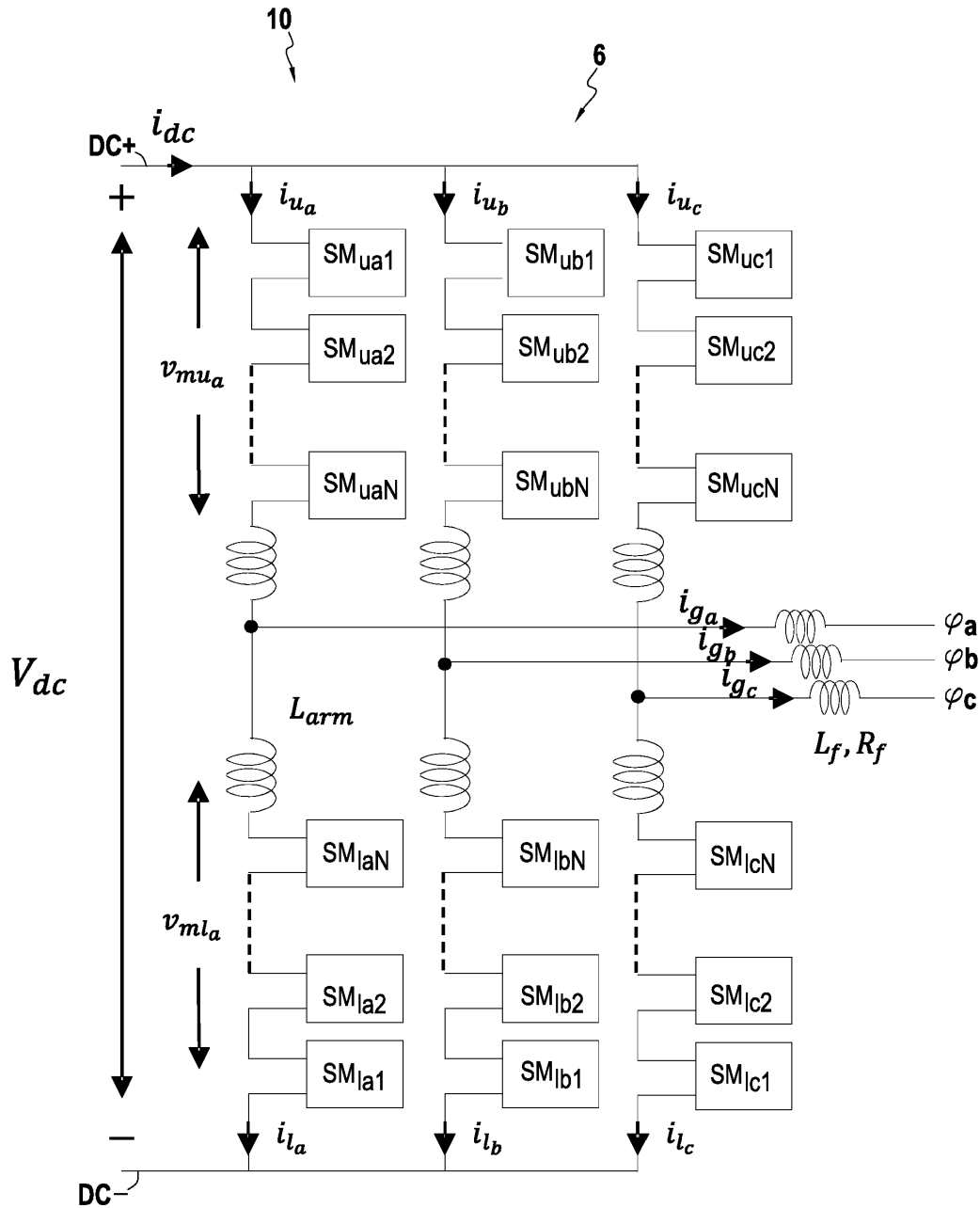
[0150] 도 13b에서 커브 g'는, 도 11의 전력 변동에 응답하는, 시간의 함수로서 제 2 시스템의 서브모듈의 커패시터의 전압( $v_c$ )에서의 변동을 도시한다. 이러한 예에 있어서, 제 2 시스템의 컨버터가 내부 에너지 제어 모듈을 갖지 않기 때문에, 제 2 시스템의 컨버터의 내부 에너지가 조절되지 않는다. 또한, 커패시터 전압( $v_c$ )이 조절되지 않으며, 그 결과 전압( $v_c$ )은, 순간  $t_u$ 로부터 커브 h에 의해 표현되는 바와 같이 스위치 엘리먼트들의 전압 한계 ( $v_{cmax}$ )보다 더 커지게 된다.

[0151] 따라서, 서브모듈이 손상될 위험이 있으며, 컨버터의 적절한 동작이 더 이상 보장되지 않는다.

[0152] 따라서, 네트워크의 상태에 맞추어 적응되는 내부 에너지에 대한 상한( $W_{Lmax}^E$ )을 결정하는 것에 더하여, 도 12a 및 도 12b의 비제한적인 시뮬레이션 예에서 사용되는 바와 같이 본 발명의 컨버터(10)의 제어 모듈(12)은 내부 에너지를 상기 상한( $W_{Lmax}^E$ ) 아래로 유지하도록 역할한다는 것이 이해될 수 있을 것이다. 이는 전압( $v_c$ )을 스위치 엘리먼트들의 전압 한계( $v_{cmax}$ ) 아래로 유지한다.

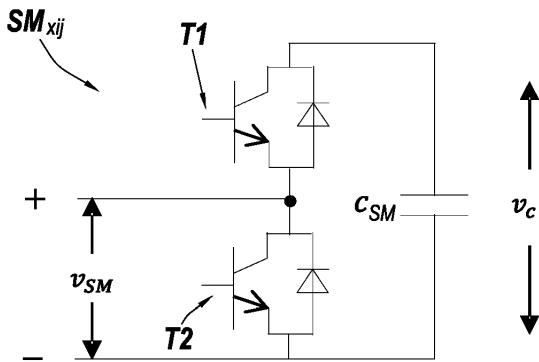
도면

도면1



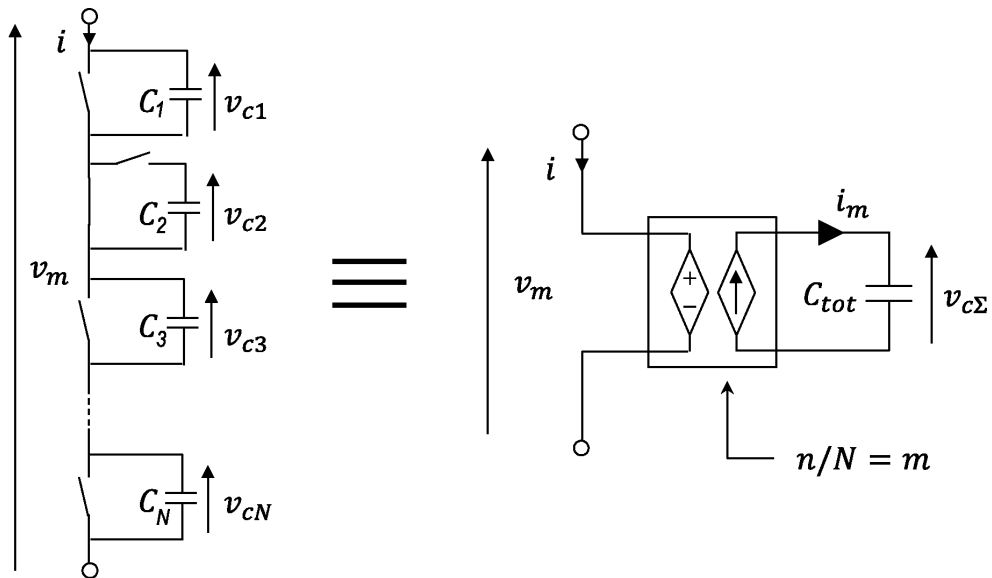
종래 기술

도면2



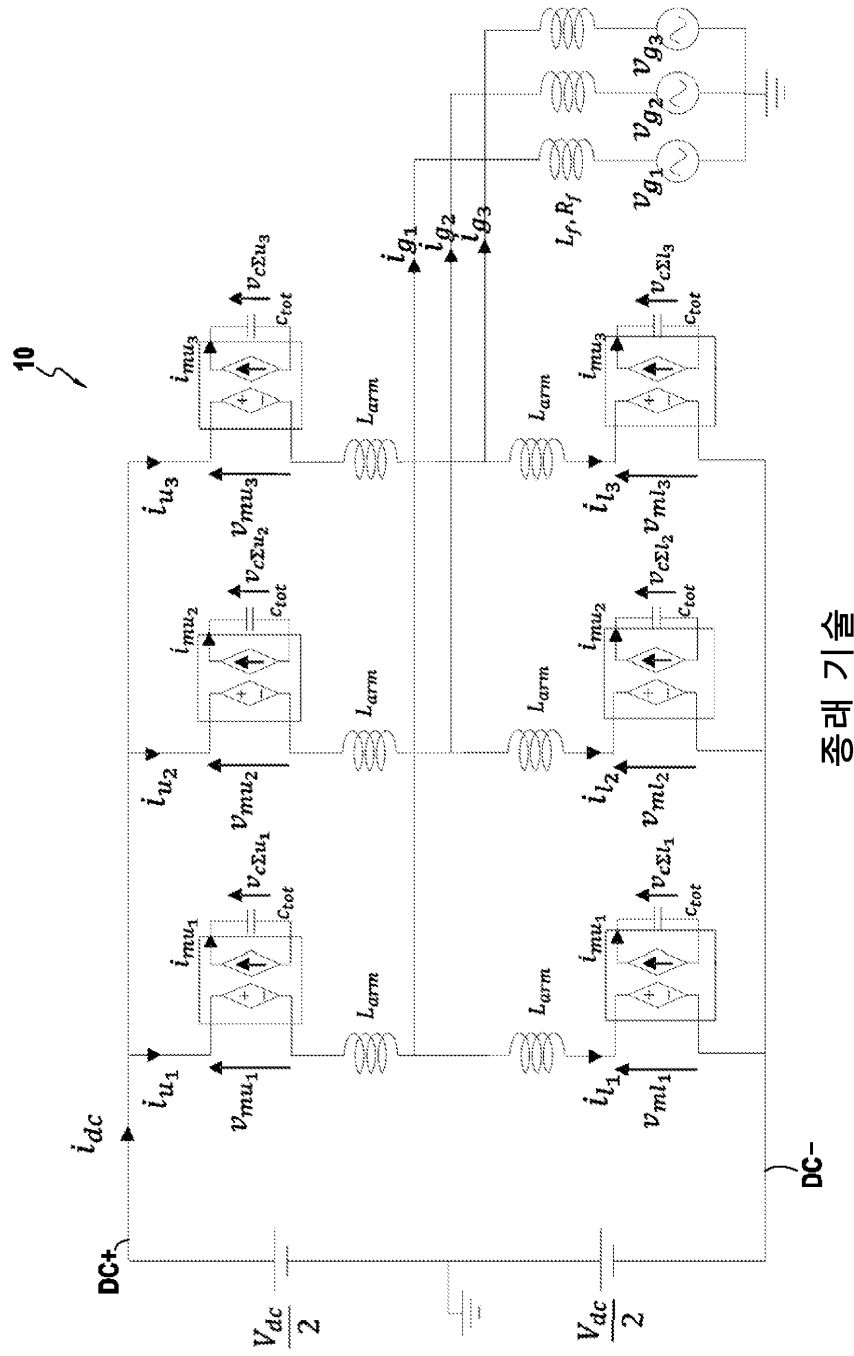
종래 기술

도면3



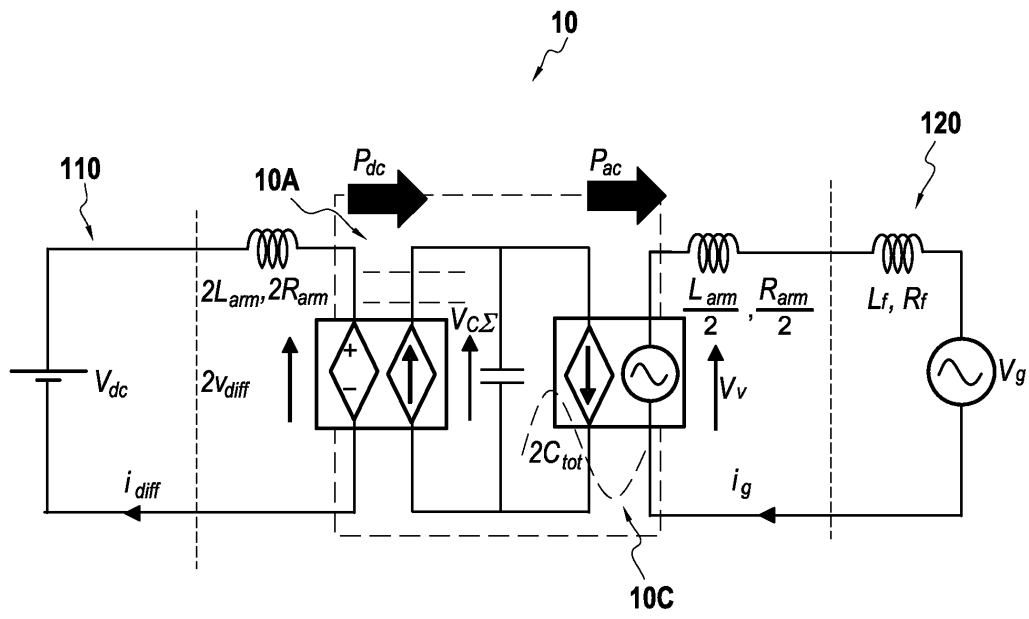
종래 기술

도면4

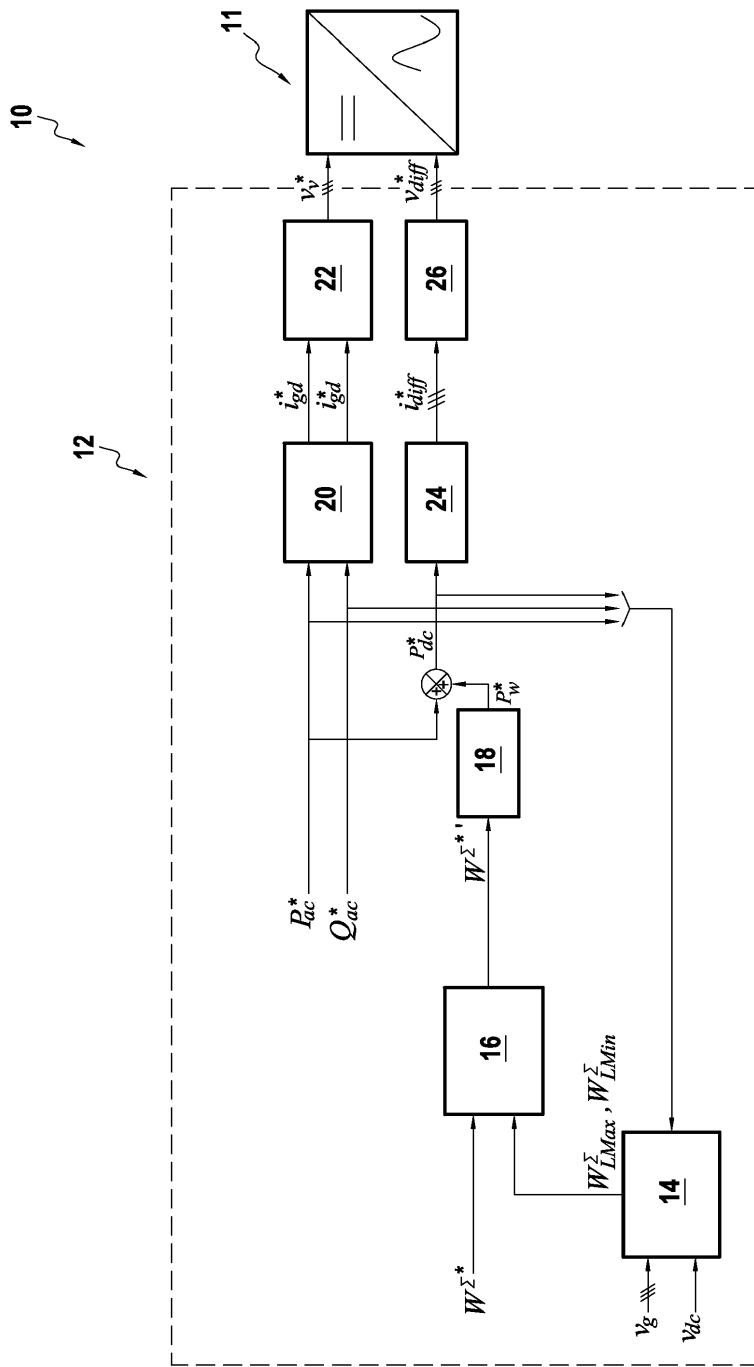


종래 기술

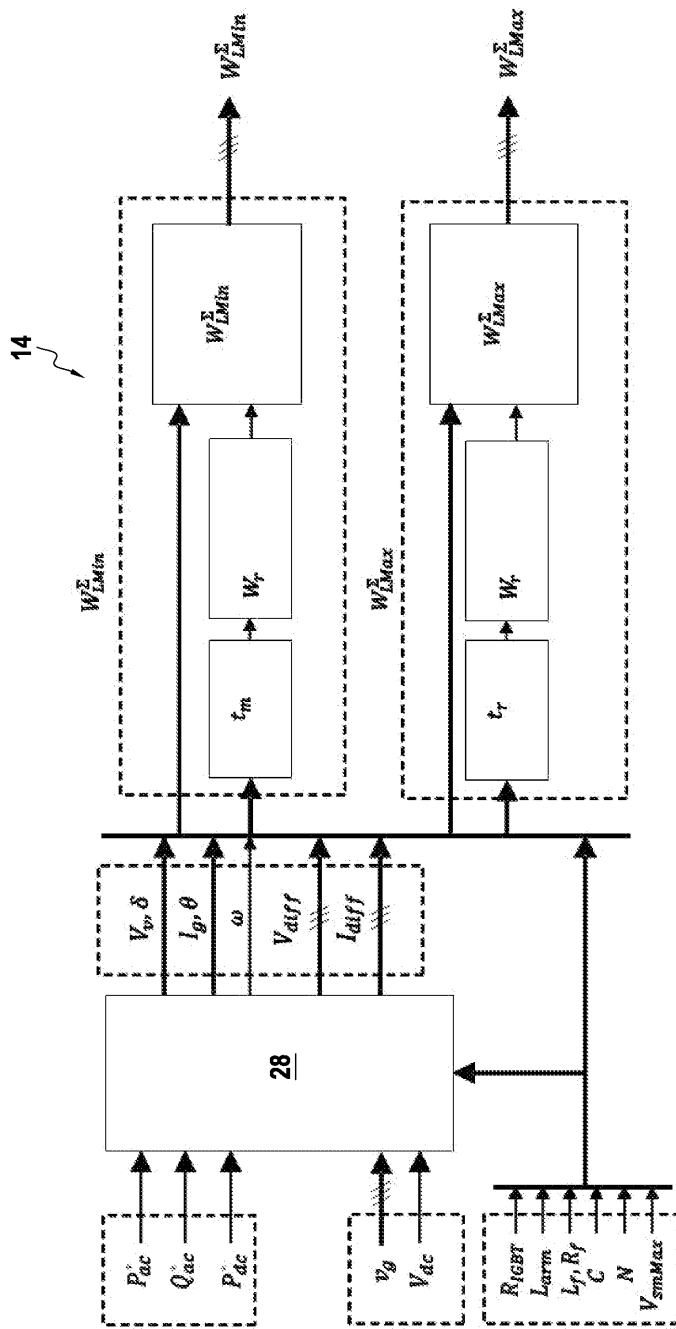
도면5



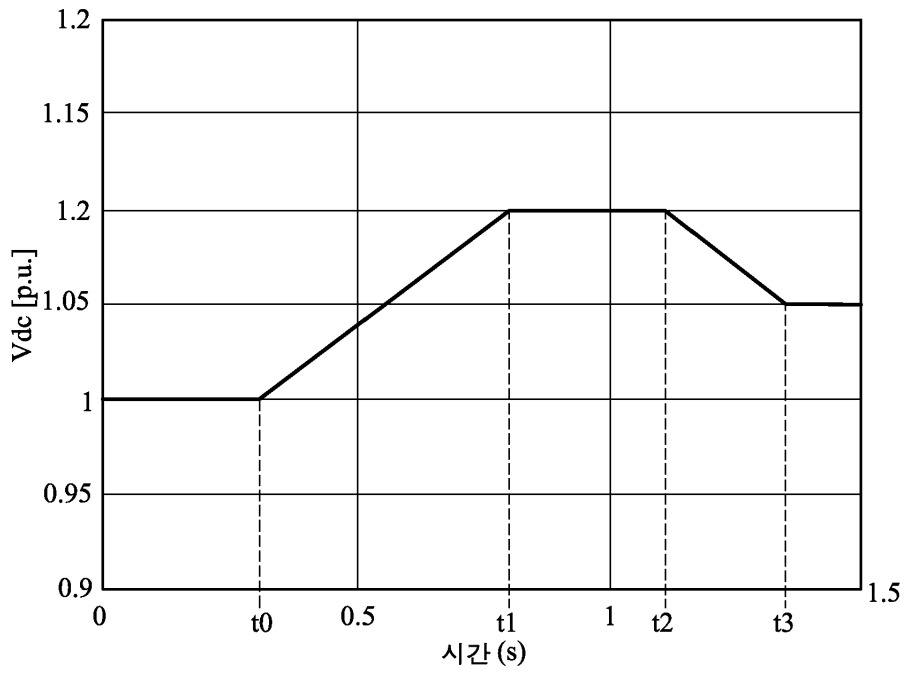
도면6



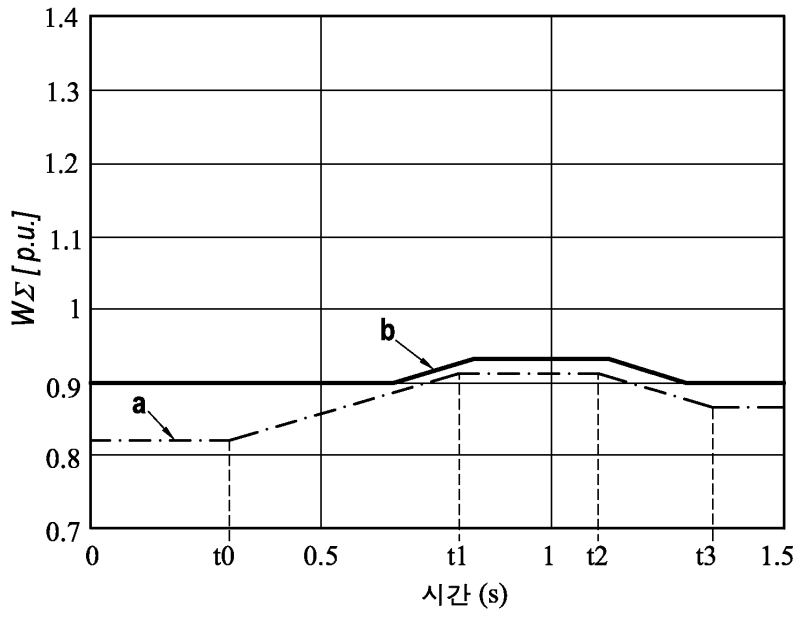
도면7



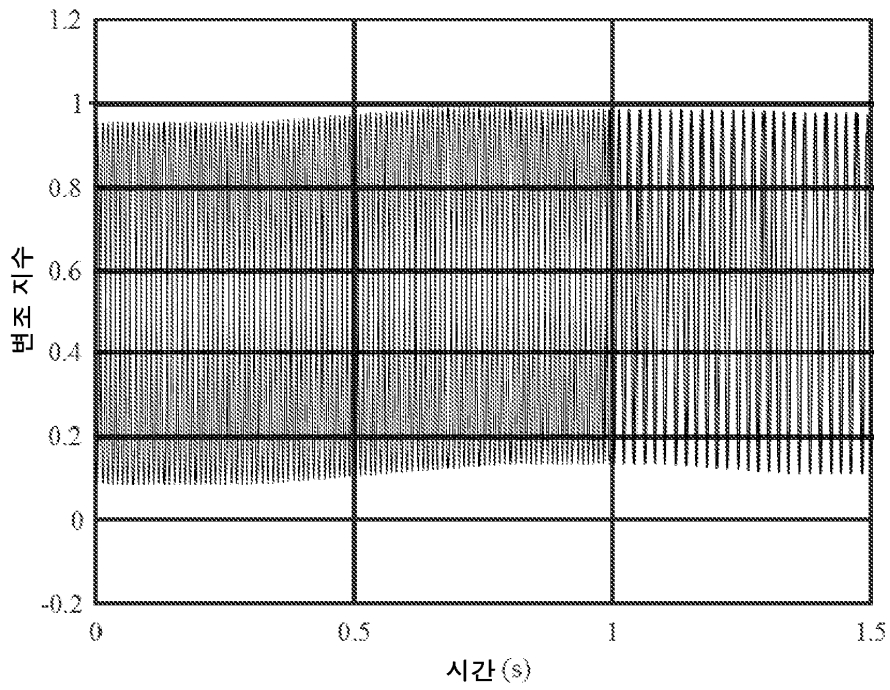
도면8



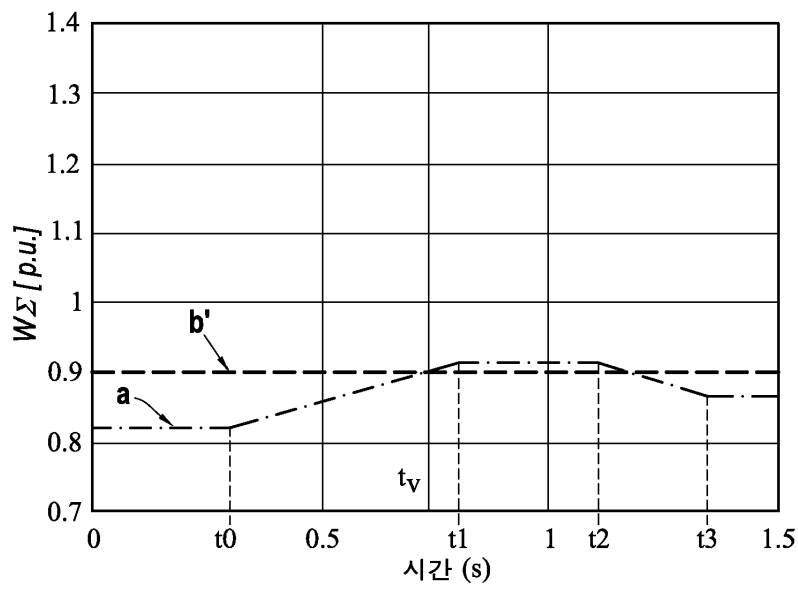
도면9a



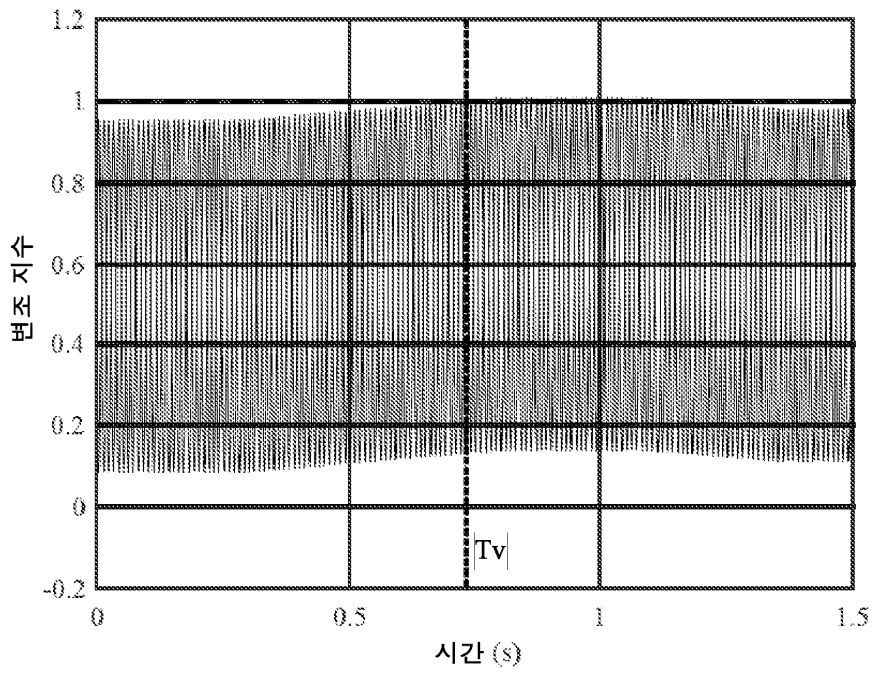
도면9b



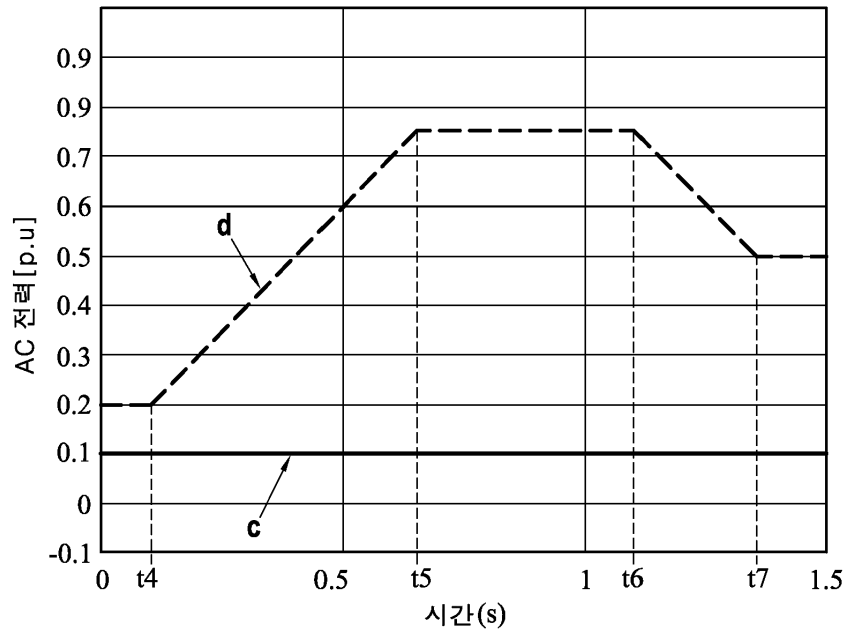
도면10a



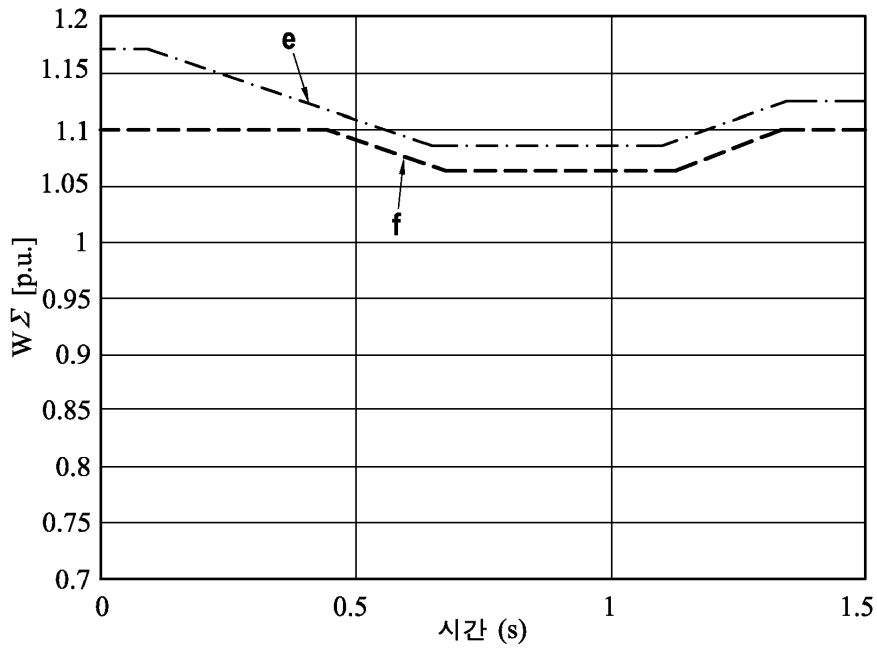
도면10b



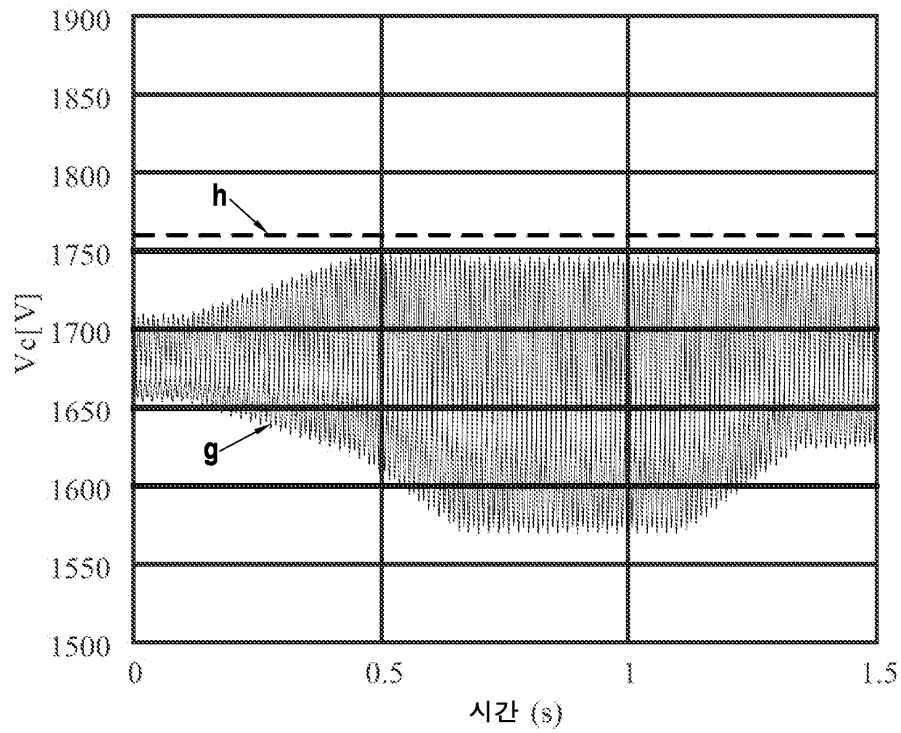
도면11



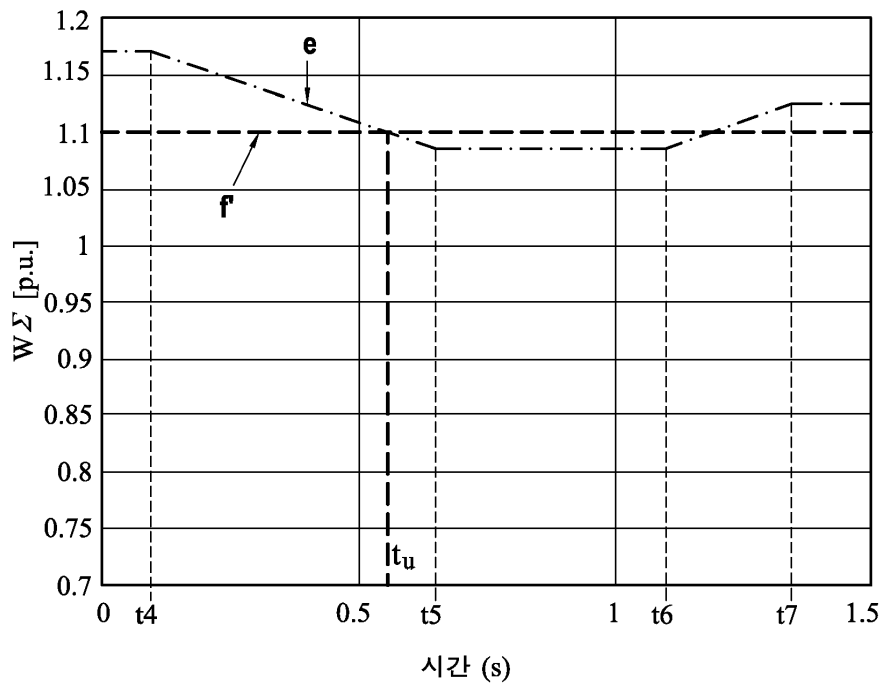
도면12a



도면12b



도면13a



도면13b

