



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0026889
(43) 공개일자 2022년03월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02M 7/483 (2007.01) H02M 1/00 (2007.01)
H02M 1/12 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02M 7/483 (2021.05)
H02M 1/0003 (2021.05)
(21) 출원번호 10-2020-0107987
(22) 출원일자 2020년08월26일
심사청구일자 2020년08월26일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
박정욱
서울특별시 강남구 압구정로29길 71, 20동 701호 (압구정동, 현대아파트)
장유남
서울특별시 마포구 신촌로14안길 4 에덴오피스 401호
(74) 대리인
오위환, 나성곤, 정기택

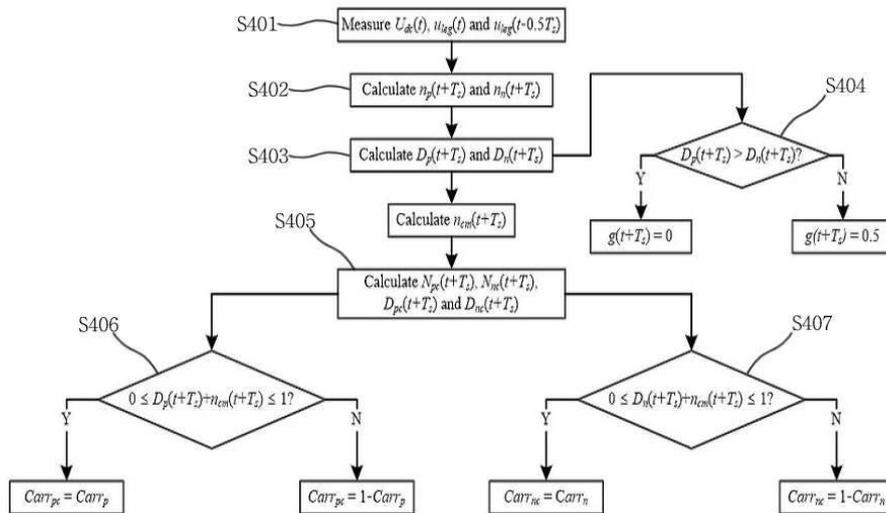
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 상 레그(Phase-leg) 전압의 순시값 측정을 통한 제어에 의해 순환전류의 하모닉 성분을 감소시킬 수 있도록 한 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 각 상에 N 개의 하프브릿지 서브모듈과 M 개의 풀브릿지 서브모듈을 갖고, $N_a=N*(2^M)$ 의 레벨을 갖는 Level-increased hybrid-MMC의 순환전류 저감 제어를 위하여, 순환전류 저감 제어 수단이 phase-leg 전압(u_{leg})의 순시값 측정을 통한 제어를 하고, 한번의 제어주기동안 2회의 측정을 통해 상단암과 하단암 레벨의 합이 N_a 일 때의 u_{leg} 의 순시값을 선택하여 순환전류 저감 제어를 하고, N_a 는 각 암에서 가질수 있는 레벨의 최대값이다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류
H02M 1/12 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711117498
과제번호	2020R1A3B2079407
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	에너지 대전환 전력망 연구단
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2020.06.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

각 상에 M 개의 하프브릿지 서브모듈과 M 개의 풀브릿지 서브모듈을 갖고, $N_a = N_s \cdot (2^M)$ 의 레벨을 갖는 Level-increased hybrid-MMC의 순환전류 저감 제어를 위하여,

순환전류 저감 제어 수단이 phase-leg 전압(u_{leg})의 순시값 측정을 통한 제어를 하고,

한번의 제어주기동안 2회의 측정을 통해 상단암과 하단암 레벨의 합이 N_a 일 때의 u_{leg} 의 순시값을 선택하여 순환전류 저감 제어를 하고, N_a 는 각 암에서 가질수 있는 레벨의 최대값인 것을 특징으로 하는 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 순환전류 저감 제어 수단은,

현재 제어주기에서 상레그 전압 $U_{dc}(t)$, $u_{leg}(t)$, $u_{leg}(t-0.5T_s)$ 을 측정하는 상레그 전압 측정부와,

상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스 값(n_p , n_n)을 계산하는 레벨 컨퍼런스 계산부와,

상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)을 계산하는 PWM 듀티값 계산부와,

상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)의 대소비교를 통해 다음 주기에서 사용될 상레그 전압 선택 함수 g 값을 계산하는 상레그 전압 선택 함수 계산부와,

이전 제어주기에서 계산된 g 값을 이용해 순환전류 제어를 위해서 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스에 공통으로 더해지는 변수(n_{cm})를 계산하는 레벨 컨퍼런스 가산 변수 산출부와,

상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스 값(n_p , n_n) 및 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)을 계산하여 $D_p + n_{cm}$ 이 0과 1사이가 아닐 경우에 상단 캐리어 신호의 위상을 180도 뒤집어주며, 하단암에 대해서도 동일하게 진행하는 캐리어 신호 위상제어부와,

캐리어신호 위상제어부의 제어에 따라 스위칭 신호를 출력하여 순환전류 제어가 이루어지도록 하는 스위칭 신호 출력부를 포함하는 것을 특징으로 하는 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 현재 제어주기에서 측정하는 값들은 $U_{dc}(t)$, $u_{leg}(t)$, $u_{leg}(t-0.5T_s)$ 이고, 다음 제어주기를 위해서 필요한 값들은 $N_{pc}(t+T_s)$, $N_{nc}(t+T_s)$, $D_{pc}(t+T_s)$, $D_{nc}(t+T_s)$ 및 PWM 생성을 위한 캐리어 신호의 값 $Carr_{pc}$, $Carr_{nc}$ 인 것을 특징으로 하는 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치.

청구항 4

현재 제어주기에서 상레그 전압 $U_{dc}(t)$, $u_{leg}(t)$, $u_{leg}(t-0.5T_s)$ 을 측정하는 단계;

상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스 값(n_p , n_n)을 계산하고, 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)을 계산하는 단계;

상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)의 대소비교를 통해 다음 주기에서 사용될 상레그 전압 선택 함수 g 값을 계산하는 단계;

이전 제어주기에서 계산된 g 값을 이용해 순환전류 제어를 위해서 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스에 공통으로 더해지는 변수(n_{cm})를 계산하는 단계;

상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스 값(n_p, n_n) 및 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p, D_n)을 계산하여 D_p+n_{cm} 이 0과 1사이가 아닐 경우에 상단 캐리어 신호의 위상을 180도 뒤집어주며, 하단암에 대해서도 동일하게 진행하여 캐리어 신호 위상 제어에 따라 스위칭 신호를 출력하여 순환전류 제어가 이루어지도록 하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서, 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스에 공통으로 더해지는 변수(n_{cm}) 계산은,

$$n_{cm}(t + T_s) = \frac{N_a(U_{dc}(t) - u_{leg}(t - g(t)T_s))}{2U_{dc}(t)} \quad \text{이고,}$$

여기서, N_a 는 각 암에서 가질수 있는 레벨의 최대값을 나타내는 것을 특징으로 하는 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 방법.

청구항 6

제 4 항에 있어서, 캐리어신호 위상 제어에 따라 스위칭 신호를 출력하여 순환전류 제어가 이루어지도록 하는 단계에서,

스위칭 신호는 각 상에 N 개의 하프브릿지 서브모듈과 M 개의 풀브릿지 서브모듈을 갖고, $N_a=N*(2^M)$ 의 레벨을 갖는 Level-increased hybrid-MMC의 순환전류 저감 제어를 위한 것을 특징으로 하는 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 방법.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 구동 제어에 관한 것으로, 구체적으로 상 레그(Phase-leg) 전압의 순시값 측정을 통한 제어에 의해 순환전류의 하모닉 성분을 감소시킬 수 있도록 한 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 국내 태양광 발전 설비의 급속한 보급 확대로 수용 한계에 이른 배전 선로나 변전소가 나타나고, 이로 인하여 태양광 발전을 위한 입지조건이 좋은 지역임에도 불구하고 접속 대기가 발생하고 있다.

[0003] 이러한 문제를 양적인 관점에서만 접근하여 신규 선로나 변전소의 증설이나 기설치 되어 있는 배전선로의 선종 교체로 해결하고자 하는 것은 경제적인 측면에서 큰 부담이 될 수 있다.

[0004] 동일한 선종, 동일 절연 설계 조건의 교류 선로 용량 대비 직류 선로 전송 가능 용량은 선로 구성에 따라 최대 2배까지 증가시킬 수 있기 때문에 MVDC 기술 활용은 좋은 해결 방안이 될 수 있다.

[0005] 중압직류배전(Medium Voltage Direct Current, MVDC) 기술은 신재생에너지 수용률 확대, 도심 전력부하 집중지역 배전용량 확대, 전기차 직류(Direct Current, DC) 급속 및 무선 충전시스템 변화 등에 활용되는 사업으로 배전분야와 재생에너지의 계통연계 기술을 말한다.

[0006] 최근에는 중전압, 고전력의 중압직류배전(medium voltage direct current, MVDC) 전력산업에서 MMC에 대한 사용이 증가하며 이에 대한 관련 연구 및 개발이 이루어지고 있으며, 전력손실, 반도체 소자들의 전류 스트레스, 암전류의 전류왜곡 등을 야기시키는 순환전류의 하모닉 성분의 저감에 대한 연구들이 포함된다.

[0007] MVDC에서는 적은 서브모듈로 높은 레벨을 가져감으로써 전력 품질 향상을 기대할 수 있는 level-increased hybrid-MMC에 대한 연구들이 진행되고 있으며, 또한 NL-PWM은 NLC(nearest level control), PSC-PWM(phase-shifted carrier pulse-width-modulation) 등에 비해 MVDC에서 장점을 지닌다.

[0008] 하지만, NL-PWM에서 순환전류 제어를 위해 필요한 Phase-leg 전압값을 얻기 위해서, 서브모듈들의 대칭적 구조를 통해 쉽게 모델링이 가능한 하프브릿지 MMC 이외의 NL-PWM 방식을 이용하는 MMC에 대해 모델링을 하기에는 무리가 있다.

[0009] 특히, 상 레그(phase-leg) 전압은 각각의 제어주기 내에서 여러값을 가지는데 올바른 계산을 위해서는 그 중 알맞은 값이 무엇인지에 대해 판별이 가능해야하지만 종래 기술에서는 이러한 방식이 제안되고 있지 않다.

[0010] 따라서, MMC 기술의 발전에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단되는 NL-PWM을 이용하는 level-increased hybrid-MMC에 대한 순환전류 저감 제어에 관한 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1410731호
- (특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제10-1512188호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 종래 기술의 MMC 순환전류 저감 제어 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 상 레그(Phase-leg) 전압의 순시값 측정을 통한 제어에 의해 순환전류의 하모닉 성분을 감소시킬 수 있도록 한 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0013] 본 발명은 각 제어주기마다 phase-leg 전압의 순시값 측정을 2번의 측정을 하는 방식으로 올바른 순시값을 측정할 수 있도록 하여 효율적인 순환전류 저감제어가 가능하도록 한 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0014] 본 발명은 NLC(nearest level control), PSC-PWM(phase-shifted carrier pulse-width-modulation) 등에 비해 MVDC에서 장점을 갖는 NL-PWM을 이용하는 level-increased hybrid-MMC에 대한 순환전류 저감제어 방식으로 MMC 기술의 발전에 기여할 수 있도록 한 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0015] 본 발명의 다른 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0016] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치는 각 상에 N 개의 하프브릿지 서브모듈과 M 개의 풀브릿지 서브모듈을 갖고, $N_a = N * (2^M)$ 의 레벨을 갖는 Level-increased hybrid-MMC의 순환전류 저감 제어를 위하여, 순환전류 저감 제어 수단이 phase-leg 전압 (u_{leg})의 순시값 측정을 통한 제어를 하고, 한번의 제어주기동안 2회의 측정을 통해 상단암과 하단암 레벨의 합이 N_a 일 때의 u_{leg} 의 순시값을 선택하여 순환전류 저감 제어를 하고, N_a 는 각 암에서 가질수 있는 레벨의 최대값인 것을 특징으로 한다.

[0017] 여기서, 순환전류 저감 제어 수단은, 현재 제어주기에서 상레그 전압 $U_{dc}(t)$, $u_{leg}(t)$, $u_{leg}(t-0.5T_s)$ 을 측정하는 상레그 전압 측정부와, 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스 값(n_p , n_n)을 계산하는 레벨 컨퍼런스 계산부와, 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)을 계산하는 PWM 듀티값 계산부와, 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)의 대소 비교를 통해 다음 주기에서 사용될 상레그 전압 선택 함수 g 값을 계산하는 상레그 전압 선택 함수 계산부와, 이전 제어주기에서 계산된 g 값을 이용해 순환전류 제어를 위해서 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스에 공통으로 더해지는 변수(n_{cm})를 계산하는 레벨 컨퍼런스 가산 변수 산출부와, 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스 값(n_p , n_n) 및 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)을 계산하여 $D_p + n_{cm}$ 이 0과 1사이가 아닐 경우에 상단 캐리어 신호의 위상을

180도 뒤집어주며, 하단암에 대해서도 동일하게 진행하는 캐리어신호 위상제어부와, 캐리어신호 위상제어부의 제어에 따라 스위칭 신호를 출력하여 순환전류 제어가 이루어지도록 하는 스위칭 신호 출력부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 그리고 현재 제어주기에서 측정하는 값들은 $U_{dc}(t)$, $u_{leg}(t)$, $u_{leg}(t-0.5T_s)$ 이고, 다음 제어주기를 위해서 필요한 값들은 $N_{pc}(t+T_s)$, $N_{nc}(t+T_s)$, $D_{pc}(t+T_s)$, $D_{nc}(t+T_s)$ 및 PWM 생성을 위한 캐리어 신호의 값 $Carr_{pc}$, $Carr_{nc}$ 인 것을 특징으로 한다.

[0019] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 방법은 현재 제어주기에서 상레그 전압 $U_{dc}(t)$, $u_{leg}(t)$, $u_{leg}(t-0.5T_s)$ 을 측정하는 단계; 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스 값(n_p , n_n)을 계산하고, 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)을 계산하는 단계; 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)의 대소비교를 통해 다음 주기에서 사용될 상레그 전압 선택 함수 g 값을 계산하는 단계; 이전 제어주기에서 계산된 g 값을 이용해 순환전류 제어를 위해서 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스에 공통으로 더해지는 변수(n_{cm})를 계산하는 단계; 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스 값(n_p , n_n) 및 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)을 계산하여 D_p+n_{cm} 이 0과 1사이가 아닐 경우에 상단 캐리어 신호의 위상을 180도 뒤집어주며, 하단암에 대해서도 동일하게 진행하여 캐리어신호 위상 제어에 따라 스위칭 신호를 출력하여 순환전류 제어가 이루어지도록 하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0020] 여기서, 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스에 공통으로 더해지는 변수(n_{cm}) 계산은,

[0021]
$$n_{cm}(t + T_s) = \frac{N_a(U_{dc}(t) - u_{leg}(t - g(t)T_s))}{2U_{dc}(t)}$$
 이고, 여기서, N_a 는 각 암에서 가질수 있는 레벨의 최대 값을 나타내는 것을 특징으로 한다.

[0022] 그리고 캐리어신호 위상 제어에 따라 스위칭 신호를 출력하여 순환전류 제어가 이루어지도록 하는 단계에서, 스위칭 신호는 각 상에 N 개의 하프브릿지 서브모듈과 M 개의 풀브릿지 서브모듈을 갖고, $N_a=N*(2^M)$ 의 레벨을 갖는 Level-increased hybrid-MMC의 순환전류 저감 제어를 위한 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0023] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치 및 방법은 다음과 같은 효과가 있다.

[0024] 첫째, 상 레그(Phase-leg) 전압의 순시값 측정을 통한 제어에 의해 순환전류의 하모닉 성분을 감소시킬 수 있도록 한다.

[0025] 둘째, 각 제어주기마다 phase-leg 전압의 순시값 측정을 2번의 측정을 하는 방식으로 올바른 순시값을 측정할 수 있도록 하여 효율적인 순환전류 저감제어가 가능하도록 한다.

[0026] 셋째, NLC(nearest level control), PSC-PWM(phase-shifted carrier pulse-width-modulation) 등에 비해 MVDC에서 장점을 갖는 NL-PWM을 이용하는 level-increased hybrid-MMC에 대한 순환전류 저감제어 방식으로 MMC 기술의 발전에 기여할 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 MMC의 기본 구조를 나타낸 구성도
- 도 2는 $N_a=8$, $n_{cm}=-0.3$, $n_p=4.85$, $n_n=3.15$ 일 때에 상단암과 하단암 레벨에 대한 그래프
- 도 3a는 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치의 전체 구성도
- 도 3b는 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치의 상세 구성도
- 도 4는 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 방법을 나타낸 플

로우 차트

도 5는 본 발명이 적용된 $N_a=8$, $n_{cm}=-0.3$, $n_p=4.85$, $n_n=3.15$ 일 때에 상단암과 하단암 레벨에 대한 그래프

도 6은 하프브릿지 4개 풀브릿지 3개로 하나의 암이 구성되는 33-레벨 MMC를 통한 시뮬레이션 결과 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 이하, 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치 및 방법의 바람직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0029] 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치 및 방법의 특징 및 이점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.
- [0030] 도 1은 MMC의 기본 구조를 나타낸 구성도이고, 도 2는 $N_a=8$, $n_{cm}=-0.3$, $n_p=4.85$, $n_n=3.15$ 일 때에 상단암과 하단암 레벨에 대한 그래프이다.
- [0031] 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치 및 방법은 상 레그 (Phase-leg) 전압의 순시값 측정을 통한 제어에 의해 순환전류의 하모닉 성분을 감소시킬 수 있도록 한 것이다.
- [0032] 이를 위하여 본 발명은 각 제어주기마다 phase-leg 전압의 순시값 측정을 2번의 측정을 하는 방식으로 올바른 순시값을 측정할 수 있도록 하여 효율적인 순환전류 저감제어가 가능하도록 하는 구성을 포함할 수 있다.
- [0033] 본 발명은 Nearest level pulse-width-modulation(NL-PWM)을 사용하는 레벨 증가 하이브리드모듈러 멀티레벨 컨버터(level-increased hybrid modular multilevel converter, Level-increased hybrid-MMC)의 순환전류 저감제어를 위한 phase-leg 전압을 측정하는 구성을 포함한다.
- [0034] NL-PWM을 사용하는 MMC에서 순환전류는 수학적 식 1에서와 같이, 상단 암(10)과 하단 암(20)의 서브모듈 출력 전압의 총 합인 phase-leg 전압 U_{leg} 를 통해 공통모드 요소(common mode component)를 더하여 저감제어가 적용된다.
- [0035] MMC의 기본 구조는 도 1에서와 같다.

수학적 식 1

$$\begin{aligned}
 n_{cm} &= \frac{N_a(U_{dc} - u_{leg})}{2U_{dc}}, u_{leg} = u_p + u_n \\
 n_p &= \frac{N_a}{2}(1 - M_a \cos(\omega t)), \quad n_n = \frac{N_a}{2}(1 + M_a \cos(\omega t)) \\
 N_p &= \lfloor n_p \rfloor, \quad D_p = n_p - N_p, \quad N_n = \lfloor n_n \rfloor, \quad D_n = n_n - N_n \\
 n_{pc} &= n_p + n_{cm}, \quad n_{nc} = n_n + n_{cm} \\
 N_{pc} &= \lfloor n_{pc} \rfloor, \quad D_{pc} = n_{pc} - N_{pc}, \quad N_{nc} = \lfloor n_{nc} \rfloor, \quad D_{nc} = n_{nc} - N_{nc}
 \end{aligned}$$

- [0037] 위 식은 최대 레벨이 N_a+1 인 MMC에 대한 수식이다.
- [0038] M_a 는 입력전압과 출력전압의 비율을 나타내는 modulation index이다.
- [0039] Level-increased hybrid-MMC는 하프브릿지 서브모듈과 풀브릿지 서브모듈을 함께 사용하는 형태로서 서브모듈 개수보다 많은 레벨값이 가능한 구조를 말한다.
- [0040] 본 발명을 적용하는 MMC의 경우 각 상에 N 개의 하프브릿지 서브모듈과 M 개의 풀브릿지 서브모듈을 통해서 $N_a=N*(2^M)$ 의 레벨이 가능하다.
- [0041] NL-PWM에서는 상단암을 예를 들어 설명하면, N_p 와 (N_p+1) 레벨이 D_p 에 해당하는 듀티로 동작한다. 하단암도 동일한 원리를 따르며 도 2는 $N_a=8$, $n_{cm}=-0.3$, $n_p=4.85$, $n_n=3.15$ 일 때에 상단암과 하단암 레벨에 대한 그래프이다.

- [0042] 일반적으로 사용하는 매 제어주기의 끝에서 모든 값들을 센싱하는 방식을 사용할 경우에는 도 2에서와 같이 상단암과 하단암 레벨의 합이 N_a 가 아닐 때 u_{leg} 측정이 되는 경우가 발생한다.
- [0043] 즉, $t=0.1$ 에서의 상단암과 하단암 레벨의 합은 8이 아니라 7이기 때문에 문제가 된다.
- [0044] 본 발명에서는 한번의 제어주기동안 2회의 측정을 통해 알맞은 u_{leg} 의 순시값을 선택하여 제어하는 것을 특징으로 한다. 여기서, 알맞은 phase-leg 전압은 상단암과 하단암 레벨의 합이 N_a 일 때의 값을 의미한다.
- [0045] 도 3a는 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치의 전체 구성도이고, 도 3b는 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치의 상세 구성도이다.
- [0046] 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치는 크게 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터(100)와, 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터(100)의 순환전류 저감 제어를 위한 순환전류 저감 제어 수단(200)을 포함한다.
- [0047] 순환전류 저감 제어 수단(200)의 상세 구성은 도 3b에서와 같다.
- [0048] 순환전류 저감 제어 수단(200)은 현재 제어주기에서 상레그 전압 $U_{dc}(t)$, $u_{leg}(t)$, $u_{leg}(t-0.5T_s)$ 을 측정하는 상레그 전압 측정부(31)와, 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스 값(n_p , n_n)을 계산하는 레벨 컨퍼런스 계산부(32)와, 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)을 계산하는 PWM 듀티값 계산부(33)와, 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)의 대소비교를 통해 다음 주기에서 사용될 상레그 전압 선택 함수 g 값을 계산하는 상레그 전압 선택 함수 계산부(34)와, 이전 제어주기에서 계산된 g 값을 이용해 순환전류 제어를 위해서 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스에 공통으로 더해지는 변수(n_{cm})를 계산하는 레벨 컨퍼런스 가산 변수 산출부(35)와, 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스 값(n_p , n_n) 및 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)을 계산하여 D_p+n_{cm} 이 0과 1사이가 아닐 경우에 상단 캐리어 신호의 위상을 180도 뒤집어주며, 하단암에 대해서도 동일하게 진행하는 캐리어신호 위상제어부(36)와, 캐리어신호 위상제어부(36)의 제어에 따라 스위칭 신호를 출력하여 순환전류 제어가 이루어지도록 하는 스위칭 신호 출력부(37)를 포함한다.
- [0049] 여기서, 현재 제어주기에서 측정하는 값들은 $U_{dc}(t)$, $u_{leg}(t)$, $u_{leg}(t-0.5T_s)$ 이다. 또한 다음 제어주기를 위해서 필요한 값들은 $N_{pc}(t+T_s)$, $N_{nc}(t+T_s)$, $D_{pc}(t+T_s)$, $D_{nc}(t+T_s)$, $Carr_{pc}$, $Carr_{nc}$ 이다.
- [0050] 변수 뒤의 (t), (t-0.5Ts), (t+Ts) 등은 시간에 대한 함수로써 순시값을 나타내고, $Carr_{pc}$, $Carr_{nc}$ 는 PWM 생성을 위한 캐리어 신호의 값이다.
- [0051] $g(t)$ 는 0또는 0.5의 값을 가지며 0이면 제어주기의 끝에서 측정된 상레그 전압 u_{leg} 의 값을 사용하며, 0.5인 경우에는 제어주기의 중간에서 측정된 u_{leg} 를 사용하도록 하는 함수이다.
- [0052] 도 4는 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 방법을 나타낸 플로우 차트이다.
- [0053] 먼저, 현재 제어주기에서 상레그 전압 $U_{dc}(t)$, $u_{leg}(t)$, $u_{leg}(t-0.5T_s)$ 을 측정한다.(S401)
- [0054] 이어, 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스 값(n_p , n_n)을 계산하는 레벨 컨퍼런스 계산 단계를 수행한다.(S402)
- [0055] 그리고 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)을 계산하는 PWM 듀티값 계산 단계를 수행한다.(S403)
- [0056] 이어, 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p , D_n)의 대소비교를 통해 다음 주기에서 사용될 상레그 전압 선택 함수 g 값을 계산한다.(S404)
- [0057] 그리고 이전 제어주기에서 계산된 g 값을 이용해 순환전류 제어를 위해서 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스에 공통으로 더해지는 변수(n_{cm})를 계산한다.
- [0058] 상단암과 하단암의 레벨 레퍼런스에 공통으로 더해지는 변수(n_{cm})를 계산하는 식은 수학식 2에서와 같다.

수학식 2

$$n_{cm}(t + T_s) = \frac{N_a(U_{dc}(t) - u_{leg}(t - g(t)T_s))}{2U_{dc}(t)}$$

[0059]

[0060] 여기서, N_a 는 각 암에서 가질수 있는 레벨의 최대값을 나타낸다.

[0061] 그리고 상단암과 하단암의 레벨 컨퍼런스 값(n_p, n_n) 및 상단암과 하단암의 PWM 듀티값(D_p, D_n)을 계산하여 D_p+n_{cm} 이 0과 1사이가 아닐 경우에 상단 캐리어 신호의 위상을 180도 뒤집어주며, 하단암에 대해서도 동일하게 진행한다.(S405)

[0062] 이와 같은 과정을 캐리어신호 위상 제어에 따라 스위칭 신호를 출력하여 순환전류 제어가 이루어지도록 하는 것이다.

[0063] 도 5는 본 발명이 적용된 $N_a=8, n_{cm}=-0.3, n_p=4.85, n_n=3.15$ 일 때에 상단암과 하단암 레벨에 대한 그래프이고, 도 6은 하프브릿지 4개 풀브릿지 3개로 하나의 암이 구성되는 33-레벨 MMC를 통한 시뮬레이션 결과 그래프이다.

[0064] 도 5는 $N_a=8, n_{cm}=-0.3, n_p=4.85, n_n=3.15$ 일 때에 상단암과 하단암 레벨에 대한 그래프이다. 이 경우 g 값은 0으로 계산이 되며, 따라서 $t=0.1s$ 의 값을 사용하게 된다. 이 때는 상단암과 하단암 레벨의 합이 8이기 때문에 올바른 n_{cm} 을 계산할 수 있다.

[0065] 도 6의 시뮬레이션 결과는 하프브릿지 4개 풀브릿지 3개로 하나의 암이 구성되는 33-레벨 MMC를 통해 진행한 것이다.

[0066] 시뮬레이션 결과 u_{leg} 전압이 알맞게 측정이 되고 따라서 순환전류의 하모닉 성분이 저감되는 것을 확인할 수 있다.

[0067] 이상에서 설명한 본 발명에 따른 레벨 증가 하이브리드 멀티레벨 컨버터의 순환전류 저감 제어를 위한 장치 및 방법은 각 제어주기마다 phase-leg 전압의 순시값 측정을 2번의 측정을 하는 방식으로 올바른 순시값을 측정할 수 있도록 하여 효율적인 순환전류 저감제어가 가능하도록 한 것이다.

[0068] 따라서, 본 발명은 NLC(nearest level control), PSC-PWM(phase-shifted carrier pulse-width-modulation) 등에 비해 MVDC에서 장점을 갖는 NL-PWM을 이용하는 level-increased hybrid-MMC에 대한 순환전류 저감제어 방식으로 MMC 기술의 발전에 기여할 수 있도록 한 것이다.

[0069] 이상에서의 설명에서와 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.

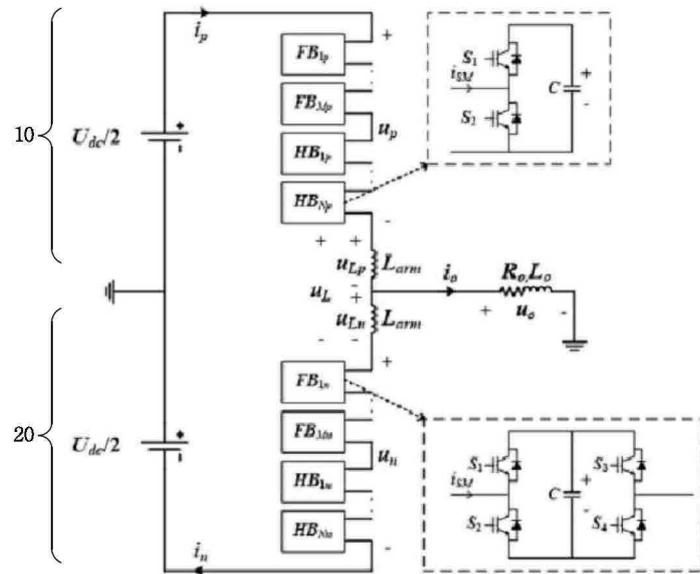
[0070] 그러므로 명시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하고, 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구 범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

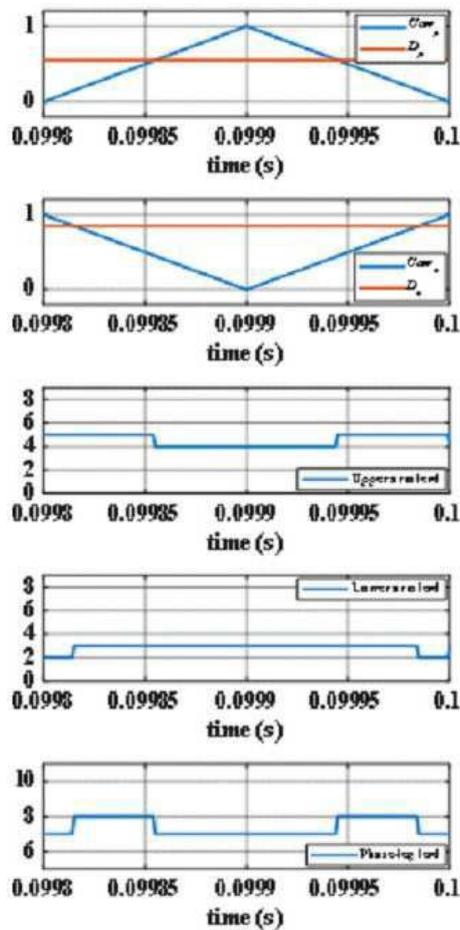
- | | | |
|--------|-----------------------|----------------------|
| [0071] | 31. 상레그 전압 측정부 | 32. 레벨 컨퍼런스 계산부 |
| | 33. PWM 듀티값 계산부 | 34. 상레그 전압 선택 함수 계산부 |
| | 35. 레벨 컨퍼런스 가산 변수 산출부 | 36. 캐리어신호 위상제어부 |
| | 37. 스위칭 신호 출력부 | |

도면

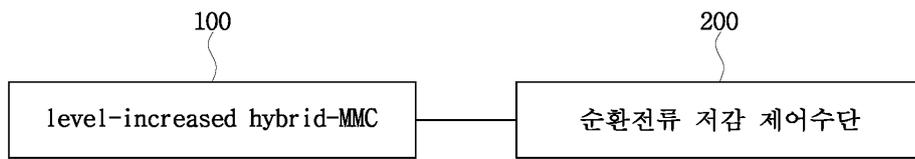
도면1



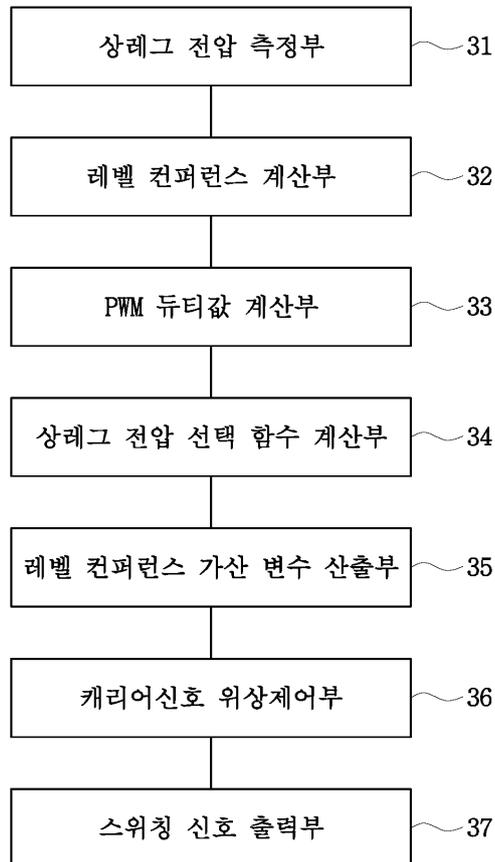
도면2



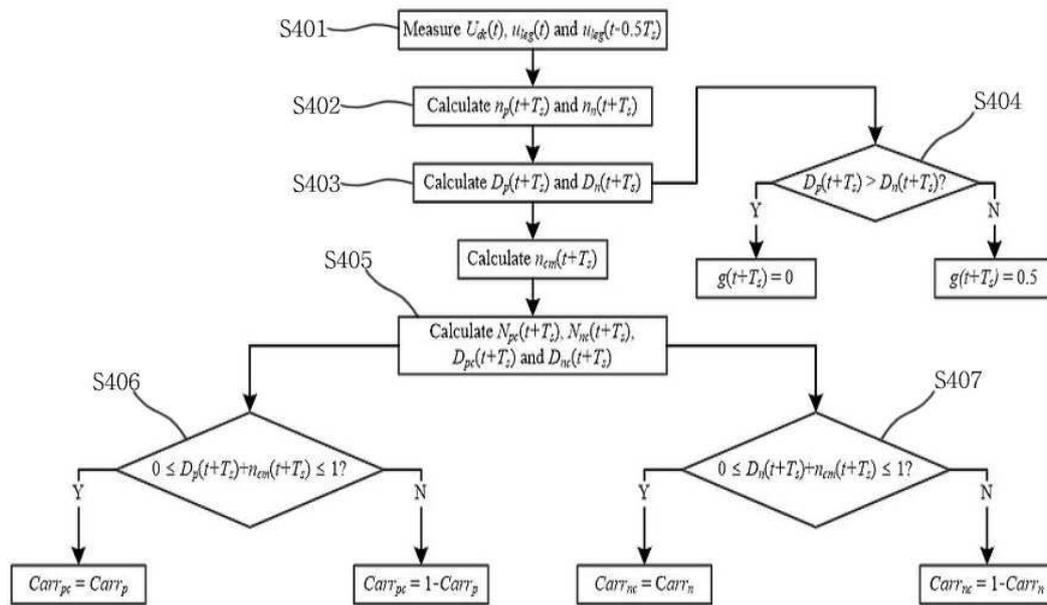
도면3a



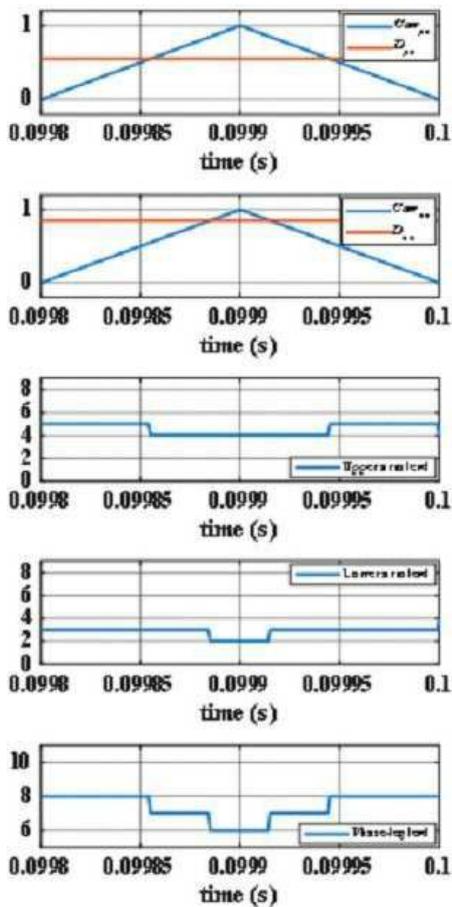
도면3b



도면4



도면5



도면6

