



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0112511
(43) 공개일자 2020년10월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02M 7/219 (2006.01) H02M 1/00 (2007.01)
H02M 1/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02M 7/219 (2013.01)
H02M 1/083 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0033118
(22) 출원일자 2019년03월22일
심사청구일자 2019년03월22일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
정지훈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술원
최현준
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술원
(74) 대리인
제일특허법인(유)

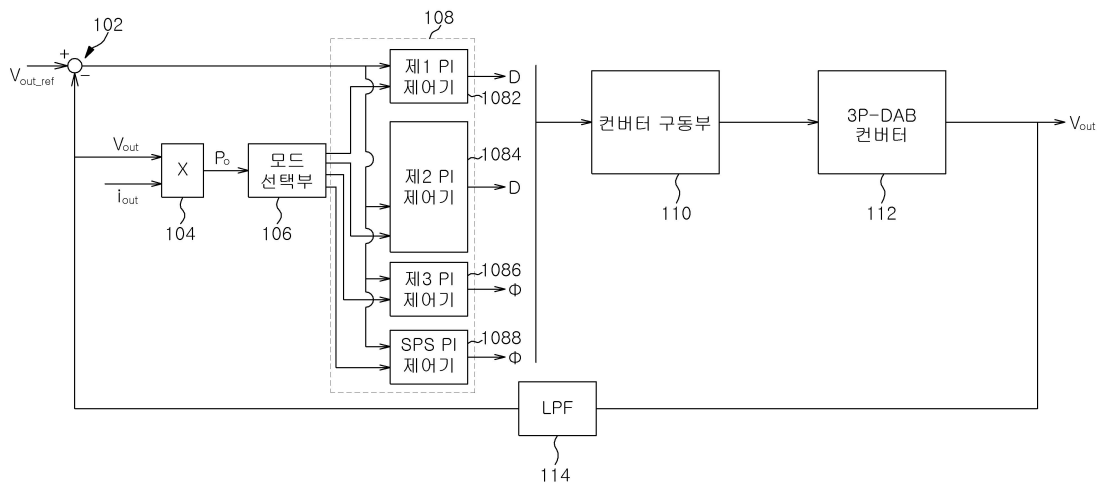
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 출력으로부터 제공되는 출력 전압(V_{out})과 기 설정된 기준 전압(V_{out_ref})을 비교하는 비교기와, 상기 출력 전압과 출력 전류에 의거하여 출력 전력(P_o)을 계산하는 전력 계산부와, 계산된 상기 출력 전력(P_o)에 의거하여 기 설정된 다수의 제어 모드 중 하나를 전압 제어 모드로 선택하는 모드 선택부와, 상기 비교기에서의 비교 결과에 따라 충전 모드 또는 방전 모드가 수행될 때, 선택된 상기 전압 제어 모드에 의거하여 상기 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 제어신호 생성부와, 생성된 상기 제어신호에 의거하여 상기 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터에서의 출력 전압 발생을 제어하는 컨버터 구동부를 포함하는 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치를 포함할 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

H02M 2001/0003 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711071784(세부과제번호: 2016R1A2B4011934)
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	자율 운전이 가능한 Autonomous DC Microgrid 시스템 개발과 Virtual Test-bed 구축
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2018.04.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 출력으로부터 제공되는 출력 전압(V_{out})과 기 설정된 기준 전압(V_{out_ref})을 비교하는 비교기와,

상기 출력 전압과 출력 전류에 의거하여 출력 전력(P_o)을 계산하는 전력 계산부와,

계산된 상기 출력 전력(P_o)에 의거하여 기 설정된 다수의 제어 모드 중 하나를 전압 제어 모드로 선택하는 모드 선택부와,

상기 비교기에서의 비교 결과에 따라 충전 모드 또는 방전 모드가 수행될 때, 선택된 상기 전압 제어 모드에 의거하여 상기 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 제어신호 생성부와,

생성된 상기 제어신호에 의거하여 상기 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터에서의 출력 전압 발생을 제어하는 컨버터 구동부를 포함하는

3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제어신호 생성부는,

상기 비교기에서 출력되는 위상 값이 양의 값(+)일 때 상기 충전 모드를 수행하고, 상기 위상 값이 음의 값(-)일 때 상기 방전 모드를 수행하는

3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제어신호 생성부는,

듀티(duty) 제어 또는 위상 제어를 통해 상기 출력 전압의 제어를 위한 제어신호를 생성하는

3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제어신호 생성부는,

상기 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 작으면, 듀티(duty) 제어를 통해 상기 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 제 1 PI(Proportional-Integral) 제어기와,

상기 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 상기 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이하이면, 듀티(duty) 제어를 통해 상기 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 제 2 PI 제어기와,

상기 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 상기 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 상기 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이상이면, 위상(ϕ) 제어를 통해 상기 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 제 3 PI 제어기와,

상기 시비율(D)이 기 설정된 최대치에 도달하면, 위상(ϕ) 제어를 통해 상기 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 SPS(Single Phase Shift) PI 제어기를 포함하는

3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치.

청구항 5

3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 출력 전압(V_{out})을 측정하여 기 설정된 기준 전압(V_{out_ref})과 비교하는 단계와,

상기 출력 전압과 출력 전류에 의거하여 출력 전력을 계산하는 단계와,

계산된 상기 출력 전력에 의거하여 기 설정된 다수의 모드 중 하나를 동작 모드로 선택하는 단계와,

상기 출력 전압과 상기 기준 전압 간의 비교 결과에 따라 충전 모드 또는 방전 모드가 수행될 때, 선택된 상기 동작 모드에 의거하여 상기 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터에서의 출력 전압 발생을 제어하는 단계를 포함하는

3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 제어하는 단계는,

상기 비교 결과의 위상 값이 양의 값(+)일 때 상기 충전 모드를 수행하고, 상기 위상 값이 음의 값(-)일 때 상기 방전 모드를 수행하는

3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 제어하는 단계는,

듀티(duty) 제어 또는 위상 제어를 통해 상기 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터에서의 출력 전압 발생을 제어하는

3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 방법.

청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 제어하는 단계는,

상기 출력 전압의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 작으면, 듀티(duty) 제어를 통해 상기 출력 전압 발생을 제어하고,

상기 출력 전압의 위상(ϕ)이 상기 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이하일 때 상기 듀티 제어를 통해 상기 출력 전압 발생을 제어하며,

상기 출력 전압의 위상(ϕ)이 상기 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 상기 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이상일 때 위상(ϕ) 제어를 통해 상기 출력 전압 발생을 제어하고,

상기 시비율(D)이 기 설정된 최대치에 도달할 때 상기 위상(ϕ) 제어를 통해 상기 출력 전압 발생을 제어하는

3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터(Three Phase Dual Active Bridge converter)의 전력을 제어하는 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 전력 전자(Power Electronics) 기술 기반의 직류 마이크로 그리드 응용 분야 중에서 컨버터의 효율을 개선할 수 있는 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 알려진 바와 같이, 기존의 3상 DAB(Dual Active Bridge) 컨버터의 경우 3상으로 전류가 분할되어 흐르기 때문에 기존의 단상 DAB 컨버터와 대비해 볼 때 대전력 및 대전류의 양방향 토폴로지 응용에 많이 이용되고 있다.
- [0003] 그리고, 기존의 3상 DAB 컨버터의 경우에는 위상 천이 방법을 이용하여 전력을 양방향으로 전달하는 방식이기 때문에 추가적인 회로 없이도 영전압 스위칭이 가능하여 스위칭 손실 측면에서 볼 때 유리한 장점을 가질 수 있다.
- [0004] 그러나, 기존의 3상 DAB 컨버터를 분석해 본 바에 따르면, 스위치의 기생 커패시터 영향을 고려하지 않고 있다.
- [0005] 상기한 점을 고려할 때, 기존의 3상 DAB 컨버터가 위상 천이(Phase Shift) 방법을 이용하면 이론상 턴비가 1:1의 경우에서는 모든 영역에서 영전압 스위칭이 가능하지만, 기생 커패시터의 영향을 고려하면 저부하에서 영전압 스위칭이 가능하지 않고, 일정 부하 이상에서만 영전압 스위칭이 가능하게 되는 문제가 있다.
- [0006] 또한, 기존의 3상 DAB 컨버터는 턴비가 1:1이 아닌 경우 영전압 스위칭이 더욱 어렵기 때문에 위상 천이 방법만 이용하면 효율이 낮아지게 되는 문제가 있다.
- [0007] 그리고, 기존의 단상 DAB 컨버터의 경우 확장된 위상 천이(Extended Phase Shift - EPS) 또는 삼각 제어 방법(Triangular Modulation - TRM) 등을 이용하여 저부하 손실을 줄일 수 있으나, 3상 DAB 컨버터의 경우 레그 사이가 이미 120도 위상이 천이되어 있으며, 영벡터 또한 존재하기 때문에 기존의 방법을 사용하기 어렵다는 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1786904호(공고일: 2017. 11. 15.)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명은 위상과 시비율(duty ratio)을 제어하는 기법을 적용하여 영전류 스위칭이 가능함과 더불어 영전압 스위칭 영역을 증가시킬 수 있는 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.
- [0010] 본 발명은 추가적인 회로 없이 알고리즘만을 이용하여 기존 대비 저부하 효율을 개선할 수 있는 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.
- [0011] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 상기에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 해결하고자 하는 과제는 아래의 기재들로부터 본 발명이 속하는 통상의 지식을 가진 자에 의해 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명은, 일 관점에 따라, 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 출력으로부터 제공되는 출력 전압(V_{out})과 기 설정된 기준 전압(V_{out_ref})을 비교하는 비교기와, 상기 출력 전압과 출력 전류에 의거하여 출력 전력(P_o)을 계산하는 전력 계산부와, 계산된 상기 출력 전력(P_o)에 의거하여 기 설정된 다수의 제어 모드 중 하나를 전압 제어 모드로 선택하는 모드 선택부와, 상기 비교기에서의 비교 결과에 따라 충전 모드 또는 방전 모드가 수행될 때, 선택된 상기 전압 제어 모드에 의거하여 상기 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 제어신호 생성부와, 생성된 상기 제어신호에 의거하여 상기 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터에서의 출력 전압 발생을 제어하는 컨버터 구동부를 포함하는 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치를 제공할 수 있다.
- [0013] 본 발명의 상기 제어신호 생성부는, 상기 비교기에서 출력되는 위상 값이 양의 값(+)일 때 상기 충전 모드를 수행하고, 상기 위상 값이 음의 값(-)일 때 상기 방전 모드를 수행할 수 있다.

- [0014] 본 발명의 상기 제어신호 생성부는, 듀티(duty) 제어 또는 위상 제어를 통해 상기 출력 전압의 제어를 위한 제어신호를 생성할 수 있다.
- [0015] 본 발명의 상기 제어신호 생성부는, 상기 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 작으면, 듀티(duty) 제어를 통해 상기 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 제 1 PI(Proportional-Integral) 제어기와, 상기 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 상기 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이하이면, 듀티(duty) 제어를 통해 상기 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 제 2 PI 제어기와, 상기 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 상기 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 상기 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이상이면, 위상(ϕ) 제어를 통해 상기 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 제 3 PI 제어기와, 상기 시비율(D)이 기 설정된 최대치에 도달하면, 위상(ϕ) 제어를 통해 상기 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 SPS(Single Phase Shift) PI 제어기를 포함할 수 있다.
- [0016] 본 발명은, 다른 관점에 따라, 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 출력 전압(V_{out})을 측정하여 기 설정된 기준 전압(V_{out_ref})과 비교하는 단계와, 상기 출력 전압과 출력 전류에 의거하여 출력 전력을 계산하는 단계와, 계산된 상기 출력 전력에 의거하여 기 설정된 다수의 모드 중 하나를 동작 모드로 선택하는 단계와, 상기 출력 전압과 상기 기준 전압 간의 비교 결과에 따라 충전 모드 또는 방전 모드가 수행될 때, 선택된 상기 동작 모드에 의거하여 상기 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터에서의 출력 전압 발생을 제어하는 단계를 포함하는 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 방법을 제공할 수 있다.
- [0017] 본 발명의 상기 제어하는 단계는, 상기 비교 결과의 위상 값이 양의 값(+)일 때 상기 충전 모드를 수행하고, 상기 위상 값이 음의 값(-)일 때 상기 방전 모드를 수행할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 상기 제어하는 단계는, 듀티(duty) 제어 또는 위상 제어를 통해 상기 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터에서의 출력 전압 발생을 제어할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 상기 제어하는 단계는, 상기 출력 전압의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 작으면, 듀티(duty) 제어를 통해 상기 출력 전압 발생을 제어하고, 상기 출력 전압의 위상(ϕ)이 상기 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이하일 때 상기 듀티 제어를 통해 상기 출력 전압 발생을 제어하며, 상기 출력 전압의 위상(ϕ)이 상기 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 상기 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이상일 때 위상(ϕ) 제어를 통해 상기 출력 전압 발생을 제어하고, 상기 시비율(D)이 기 설정된 최대치에 도달할 때 상기 위상(ϕ) 제어를 통해 상기 출력 전압 발생을 제어할 수 있다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명의 실시예에 따르면, 위상과 시비율을 제어하는 기법을 동시 적용함으로써, 영전류 스위칭이 가능함과 더불어 영전압 스위칭 영역(영전압 스위칭이 시작되는 범위)을 증가(확장)시킬 수 있다.
- [0021] 본 발명의 실시예에 따르면, 추가적인 회로 없이 알고리즘만을 이용함으로써 기존 대비 저부하 효율을 증가(개선)시킬 수 있으며, 스위칭 손실을 줄여 고주파 스위칭의 어플리케이션에 적용함으로써 에너지 밀도를 증가(개선)시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치에 대한 블록 구성도이다.
- 도 2a 및 도 2b는 본 발명의 실시예에 따라 위상차에 의해 모드 II가 모드 III으로 변경되는 것을 설명하기 위한 예시도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따라 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터에서의 출력 전압 발생을 제어하는 주요 과정을 도시한 순서도이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따라 출력 전압의 제어를 위한 모드가 나누어지는 것을 설명하기 위한 것으로, 각 모드에서 정상상태 파형도이다.
- 도 5는 각 모드의 변화 궤적을 보여주는 예시도이다.

도 6은 일례로서 100W 정도(좌)에서는 ZVS가 안되고 대략 300W(중)에서는 ZVS가 되는 것을 예시적으로 보여주는 정상상태 파형도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명의 범주는 청구항에 의해 정의될 뿐이다.
- [0024] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명은 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어 실제로 필요한 경우 외에는 생략될 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명의 실시예에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0026] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터의 전력 제어 장치에 대한 블록 구성도이다.
- [0027] 도 1을 참조하면, 본 실시예의 전력 제어 장치는 비교기(102), 전력 계산부(104), 모드 선택부(106), 제어신호 생성부(108), 컨버터 구동부(110), 3상 DAB 컨버터(112) 및 저역 통과 필터(LPF: Low Pass Filter)(114) 등을 포함할 수 있다.
- [0028] 그리고, 제어신호 생성부(108)는 제 1 PI(Proportional-Integral) 제어기(1082), 제 2 PI 제어기(1084), 제 3 PI 제어기(1086) 및 SPS(Single Phase Shift) PI 제어기(1088) 등을 포함할 수 있다.
- [0029] 먼저, 비교기(102)는 실제 출력 전압, 즉 후술하는 저역 통과 필터(120)를 통해 고주파가 제거되어 제공되는 출력 전압(V_{out})과 기준 전압(V_{out_ref})의 차이를 이용하여 출력 전압을 제어하는 등의 기능을 제공할 수 있다.
- [0030] 여기에서, 비교기(102)를 통해 출력된 위상 값이 양의 값(+)이면 충전 모드를 의미하고, 위상 값이 음의 값(-)이면 방전 모드를 의미할 수 있는데, 전력 전달이 입력에서 출력으로 일어나는 경우를 충전 모드로 정의하고, 전력 전달이 출력에서 입력으로 일어나는 경우를 방전 모드로 정의할 수 있다.
- [0031] 즉, 출력 전압을 제어하기 위해서는 위상(Phase shift angle = ϕ) 또는 시비율(D: duty cycle)이 변해야 하는데, 그 위상 값을 제어하기 위해서 저역 통과 필터(LPF)를 통과한 출력 전압을 지난 값(V_{out})과 기준 전압(V_{out_ref})을 비교한다.
- [0032] 여기에서의 비교 결과, 기준 전압(V_{out_ref})보다 출력 전압(V_{out})이 크면, 모드에 따라서 후술하는 제어신호 생성부(108) 내의 해당 제어기에서 현재 출력되는 위상 값(ϕ) 또는 시비율(D)을 상대적으로 작게 줄이고, 기준 전압(V_{out_ref})보다 출력 전압(V_{out})이 작으면, 제어신호 생성부(108) 내의 해당 제어기에서 현재 출력되는 위상 값 또는 시비율을 상대적으로 크게 한다. 여기에서, 출력 전압은 위상(ϕ)과 시비율(D)에 따라 변하게 된다.
- [0033] 그리고, 전력 계산부(104)는 후술하는 저역 통과 필터(114)를 통해 고주파가 제거되어 제공되는 출력 전압의 측정값(V_{out})을 받아, 저역통과 필터(114)로부터의 출력 전류의 측정값(i_{out})을 함께 이용하여 출력 전력(P_o)을 계산하는 등의 기능을 제공할 수 있으며, 여기에서 계산된 출력 전력(P_o)은 다음 단의 모드 선택부(106)로 전달된다.
- [0034] 또한, 모드 선택부(106)는 전력 계산부(104)로부터 제공되는 계산된 출력 전력(P_o)에 의거하여 기 설정된 다수의 제어 모드 중 하나를 전압 제어 모드(또는 동작 모드)로 선택하는 등의 기능을 제공할 수 있다.
- [0035] 여기에서, 다수의 모드는, 예컨대 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 작을 때 듀티(duty) 제어를 통해 출력 전압을 제어하는 모드 I 과, 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이하일 때 듀티(duty) 제어를 통해 출력 전압을 제어하는 모드 II 및 모드 III과, 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 시비율(D)이 기 설정된 기준

치 이상일 때 위상(ϕ) 제어를 통해 출력 전압을 제어하는 모드 IV와, 시비율(D)이 최대(예컨대, 0.5)에 도달할 때 위상(ϕ) 제어를 통해 출력 전압을 제어하는 SPS 모드를 포함할 수 있다.

[0036] 다음에, 제어신호 생성부(108)는 모드 선택부(106)에 의해 선택된 전압 제어 모드로 충전 모드 또는 방전 모드에서의 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성하는 등의 기능을 제공할 있는 것으로, 이를 위해 제어신호 생성부(108)는 제 1 PI 제어기(1082), 제 2 PI 제어기(1084), 제 3 PI 제어기(1086) 및 SPS PI 제어기(1088) 등을 포함할 수 있다.

[0037] 즉, 제어신호 생성부(108)는 비교기(102)에서의 비교 결과에 따라 충전 모드(비교기 출력의 위상 값이 양의 값(+)일 때) 또는 방전 모드(비교기 출력의 위상 값이 음의 값(-)일 때)를 수행할 때, 선택된 전압 제어 모드에 의거하여 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성한다.

[0038] 먼저, 제어신호 생성부(108) 내의 제 1 PI 제어기(1082)는, 기 설정된 기준 전압(V_{out_ref})과 출력 전압(V_{out}) 간의 비교 결과에 의거하여 충전 모드 또는 방전 모드가 수행될 때, 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 작으면, 듀티(duty) 제어를 통해 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성(모드 I의 실행)하여 컨버터 구동부(110)로 전달하는 등의 기능을 제공할 수 있다.

[0039] 그리고, 제 2 PI 제어기(1084)는, 기 설정된 기준 전압(V_{out_ref})과 출력 전압(V_{out}) 간의 비교 결과에 의거하여 충전 모드 또는 방전 모드가 수행될 때, 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이하이면, 듀티(duty) 제어를 통해 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성(모드 II 및 모드 III의 실행)하여 컨버터 구동부(110)로 전달하는 등의 기능을 제공할 수 있다.

[0040] 여기에서, 모드 II와 모드 III의 경우 동일한 제어기, 즉 하나의 제 2 PI 제어기(1084)를 사용하는데, 이것은 모드 II와 모드 III의 경우 위상은 최소 위상으로 고정되어 있는 상황에서 듀티(duty)만 바뀌기 때문에 동일한 제어기를 사용할 수 있다. 즉, 모드 II와 모드 III은 수학적으로 계산된 전력에 의해서 변경되지만, 제어하는 변수는 D로 동일하다.

[0041] 반면에, 모드 I의 경우에는 D와 위상이 함께 변하기 때문에 모드 II 및 모드 III과는 다른 제어기를 사용해야 한다.

[0042] 또한, 제 3 PI 제어기(1086)는, 기 설정된 기준 전압(V_{out_ref})과 출력 전압(V_{out}) 간의 비교 결과에 의거하여 충전 모드 또는 방전 모드가 수행될 때, 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이상이면, 위상(ϕ) 제어를 통해 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성(모드 IV의 실행)하여 컨버터 구동부(110)로 전달하는 등의 기능을 제공할 수 있다.

[0043] 마지막으로, SPS PI 제어기(1088)는, 기 설정된 기준 전압(V_{out_ref})과 출력 전압(V_{out}) 간의 비교 결과에 의거하여 충전 모드 또는 방전 모드가 수행될 때, 시비율(D)이 최대(예컨대, 0.5)에 도달하면, 위상(ϕ) 제어를 통해 출력 전압을 제어하기 위한 제어신호를 생성(모드 SPS의 실행)하여 컨버터 구동부(110)로 전달하는 등의 기능을 제공할 수 있다.

[0044] 보다 구체적으로, 제어신호 생성부(108)에서 수행되는 각 모드가 D와 위상 값에 의해 변경되는 과정은 아래와 같다.

[0045] 즉, 모드 I의 경우에는 아래의 수학적 식 1과 같이 전력이 정의될 수 있다.

[0046] [수학적 식 1]

$$P_o = \frac{n V_{in} V_{out}}{\omega L} \frac{D^2}{f_s}$$

[0047] 상기한 수학적 식 1에 있어서, n은 턴비를, V_{in} 은 입력전압을, V_{out} 은 출력전압을, $f = f_s$ 는 스위칭 주파수를, L은 결합 인덕턴스를, ω 는 각주파수($2\pi \cdot f$),를, D는 시비율(duty)을, ϕ 는 위상각을 각각 나타낸다.

[0048] 즉, 모드 I에서는 D에 의해서 전력이 전달되며, 모드 I에서의 위상은 D의 값에 비례하여 증가한다.

[0049] 이때, 모드 II로 전환되는 시점은 모드 I에서 증가하던 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})에 도달했을 때이

며, 기 설정된 위상(ϕ)은 ZVS(zero voltage switching: 영전압 스위칭)를 달성하기 위한 최소 위상($\phi_{\min}$)으로 아래의 수학적 2를 통해 산출될 수 있다.

[수학적 2]

$$i_L(0) = \frac{V_{in}}{3\omega L_s} d \left(\frac{2}{3} \pi - \phi \right) - \frac{2}{3} \pi \leq \frac{\sqrt{3} V_{in} V_{out}}{2Z_0}$$

상기한 수학적 2에 있어서, V_{in} 은 입력전압을, V_{out} 은 출력전압을, d 는 전압 이득($n \cdot V_{in}/V_{out}$)을, $f = f_s$ 는 스위칭 주파수를, L 은 결합 인덕턴스를, ω 는 각주파수($2\pi \cdot f$),를, ϕ 는 위상각을, π 는 통상의 파이(3.141592)를, Z_0 는 공진 임피던스를 각각 나타낸다.

이때, 모드 I에서의 위상(ϕ)이 최소 위상($\phi_{\min}$)에 도달한 이후 모드 II로 바뀌게 되는데, 이때 전력은 아래의 수학적 3을 통해 산출될 수 있다.

[수학적 3]

$$P_o = \frac{n V_{in} V_{out}}{\omega L} \left(2D - \frac{\Phi_{\min}}{2\pi} \right) \Phi_{\min}$$

상기한 수학적 3에 있어서, n 은 턴비를, V_{in} 은 입력전압을, V_{out} 은 출력전압을, L 은 결합 인덕턴스를, ω 는 각주파수($2\pi \cdot f$),를, $\Phi_{\min}$ 은 최소 위상을 각각 나타낸다.

그리고, 모드 II에서 D 가 점점 증가하면서 각 "상간의 위상차", 즉 3상 DAB 컨버터의 상들 사이드 위상차가 "위상($\phi_{\min}$)"이 되면, 일례로서 도 2a 및 2b에 도시된 바와 같이, 모드 II(도 2a)가 모드 III(모드 2b)으로 변경된다.

도 2a 및 2b는 본 발명의 실시예에 따라 위상차에 의해 모드 II가 모드 III으로 변경되는 것을 설명하기 위한 예시도이다.

즉, 도 2a 및 2b를 참조하면, 모드 II에서 초록색과 초록색의 간격[= 상간의 위상차]이 최소 위상 ϕ ($\phi_{\min}$)가 되면 모드 III으로 변경되는데, 이것은 아래의 수학적 4를 통해 계산될 수 있다.

[수학적 4]

$$P_o = \frac{n V_{in} V_{out}}{f L} \left(\frac{-(3D-1)^2}{18} + \frac{\Phi_{\min-ds}}{24} (12D+4-9\Phi_{\min-ds}) \right)$$

상기한 수학적 4에 있어서, n 은 턴비를, V_{in} 은 입력전압을, V_{out} 은 출력전압을, $f = f_s$ 는 스위칭 주파수를, L 은 결합 인덕턴스를, ω 는 각주파수($2\pi \cdot f$),를, D 는 시비율(duty)을, ϕ 는 위상각을, $\Phi_{\min}$ 은 최소 위상을 각각 나타낸다.

마지막으로, 모드 IV와 모드 SPS의 경우에 출력 전력(P_o)은 아래의 수학적 5와 같이 계산될 수 있다.

[수학적 5]

$$P_o = \frac{n V_{in} V_{out}}{6f L} \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4} \Phi \right) \Phi$$

상기한 수학적 5에 있어서, n 은 턴비를, V_{in} 은 입력전압을, V_{out} 은 출력전압을, $f = f_s$ 는 스위칭 주파수를, L 은 결합 인덕턴스를, ϕ 는 위상각을 각각 나타낸다.

즉, 모드 SPS와 모드 IV의 전력은 수학적 계산이 동일하기 때문에, 설계 사양에 맞게 SPS의 전력을 설정해 두고, SPS가 될 때 D 가 0.5로 될 수 있도록 모드 IV를 설정해 두면 각각의 모드를 변경할 수 있다.

따라서, 본 발명의 실시예에 따르면, 상술한 각 수학적식을 통해 각각의 모드를 대표하는 전력을 수학적으로 산출할 수 있으며, 그 전력에 도달하였을 때 모드가 바뀌는 것을 분명하게 알 수 있다.

- [0070] 다시, 도 1을 참조하면, 컨버터 구동부(110)는 제어신호 생성부(108) 내의 각 제어부로부터 선택적으로 생성된 제어신호에 의거하여 3상 DAB 컨버터(112)의 구동을 제어(출력 전압 발생의 제어)하는 등의 기능을 제공할 수 있다.
- [0071] 그리고, 3상 DAB 컨버터(112)는 컨버터 구동부(110)로부터 제공되는 구동 제어에 따라 출력 전압(V_{out})을 발생시키는 등의 기능을 제공할 수 있는데, 여기에서 발생된 출력 전압은 저역 통과 필터(114)를 통해 비교기(102)와 전력 계산부(104)로 전달(부재환)된다.
- [0072] 여기에서, 저역 통과 필터(114)는 출력 전압(V_{out})에 포함되어 있는 노이즈, 예컨대 스위칭 주파수 등의 고주파 성분을 제거하는 등의 기능을 제공할 수 있다.
- [0073] 도 3은 본 발명의 실시예에 따라 3상 듀얼 액티브 브리지 컨버터에서의 출력 전압 발생을 제어하는 주요 과정을 도시한 순서도이다.
- [0074] 도 3을 참조하면, 비교기(102)에서는 저역 통과 필터(120)를 통해 고주파가 제거되어 제공되는 출력 전압(V_{out})과 기준 전압(V_{out_ref})을 비교하고, 그 비교 결과로서 양의 값(+)을 갖는 위상 값 또는 음의 값(-)을 갖는 위상 값을 출력한다(단계 302). 여기에서, 비교기(102)의 출력은 제 1 PI 제어기(1082), 제 2 PI 제어기(1084), 제 3 PI 제어기(1086) 및 SPS PI 제어기(1088)의 일측 입력으로 제공된다.
- [0075] 그리고, 비교기(102)를 통해 출력되는 위상 값이 양의 값(+)이면 충전 모드가 수행되고, 위상 값이 음의 값(-)이면 방전 모드가 수행될 수 있다.
- [0076] 또한, 전력 계산부(104)에서는 저역 통과 필터(114)를 통해 고주파가 제거되어 제공되는 출력 전압의 측정값(V_{out})을 받아, 출력 전류의 측정값(i_{out})을 함께 이용하여 출력 전력(P_o)을 계산한 후(단계 304), 그 계산 결과를 제어신호 생성부(108)에 제공한다.
- [0077] 다음에, 제어신호 생성부(108)에서는 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ) 및 시비율(D)에 의거하여 3상 DAB 컨버터(112)의 출력 전압 발생 제어를 위한 동작 모드(또는 전압 제어 모드)를 결정한다.
- [0078] 먼저, 단계(306)에서는 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 작은 지의 여부를 체크하는데, 여기에서의 체크 결과 $\phi < \phi_{min}$ 조건이 충족되면, 처리는 단계(308)로 진행되며, 제 1 PI 제어기(1082)에서는 모드 I를 수행함으로써 듀티(duty) 제어를 통해 3상 DAB 컨버터(112)에서의 출력 전압 발생을 제어한다.
- [0079] 그리고, 단계(306)에서의 체크 결과 $\phi < \phi_{min}$ 조건이 충족되지 않으면, 단계(310)에서는 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이하인지의 여부를 체크한다.
- [0080] 상기 단계(310)에서의 체크 결과 $\phi > \phi_{min}$ 조건과 시비율<기준치 조건이 충족되면, 처리는 단계(312)로 진행되며, 제 2 PI 제어기(1084)에서는 모드 II 및 모드 III를 수행함으로써 듀티(duty) 제어를 통해 3상 DAB 컨버터(112)에서의 출력 전압 발생을 제어한다.
- [0081] 또한, 단계(310)에서의 체크 결과 $\phi > \phi_{min}$ 조건과 시비율<기준치 조건이 충족되지 않으면, 단계(314)에서는 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)이 기 설정된 최소 위상(ϕ_{min})보다 크고, 시비율(D)이 기 설정된 기준치 이상인지의 여부를 체크한다.
- [0082] 상기 단계(314)에서의 체크 결과 $\phi > \phi_{min}$ 조건과 시비율>기준치 조건이 충족되면, 처리는 단계(316)로 진행되며, 제 3 PI 제어기(1086)에서는 모드 IV를 수행함으로써 위상(ϕ) 제어를 통해 3상 DAB 컨버터(112)에서의 출력 전압 발생을 제어한다.
- [0083] 다시, 단계(314)에서의 체크 결과 $\phi > \phi_{min}$ 조건과 시비율>기준치 조건이 충족되지 않으면, 단계(318)에서는 시비율(D)이 기 설정된 최대치에 도달하였는지의 여부를 체크한다.
- [0084] 상기 단계(318)에서의 체크 결과 시비율 = 기 설정된 최대치 조건이 충족되면, 처리는 단계(320)로 진행되며, 제 SPS PI 제어기(1088)에서는 SPS 모드를 수행함으로써 위상(ϕ) 제어를 통해 3상 DAB 컨버터(112)에서의 출력 전압 발생을 제어한다.

- [0085] 즉, 본 발명의 실시예에 따르면, 출력 전압(V_{out})의 위상(ϕ)과 시비율(D)에 의거하여 3상 DAB 컨버터(112)의 출력 전압 발생을 능동적으로 제어할 수 있다.
- [0086] 도 4는 본 발명의 실시예에 따라 출력 전압의 제어를 위한 모드가 나누어지는 것을 설명하기 위한 것으로, 각 모드에서의 정상상태 파형도이다.
- [0087] 도 4를 참조하면, 해당 결과물로 얻어지는 장점 및 효과의 경우 시비율을 제어하는 기술을 이용하여 영전류 스위칭이 가능하면서 종래의 기술에 비하여 영전압-스위칭 영역을 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.
- [0088] 즉, 추가적인 회로 없이 알고리즘만을 이용하여 기존 대비 저부하에서 효율을 증가시킬 수 있는 영역을 확장할 수 있음을 알 수 있다.
- [0089] 도 5는 각 모드의 변화 궤적을 보여주는 예시도로서, 시비율을 제어하는 알고리즘을 적용했을 시에 무순단 절체 제어가 가능함을 보여주는 예시도이다.(모드 I부터 모드 SPS까지 끊임없이 모드 변화가 가능함)
- [0090] 여기에서, 무순단은 전력전자 분야에서 양방향 컨버터를 제어할 때 쓰는 용어로서, 무순단 제어의 경우 끊임없는 제어라는 말로써, 정방향에서 역방향으로 전력을 전달해야 하는 경우(전력 전달이 +에서 -로 바뀌는 경우)에 사용된다. 많은 토폴로지가 정방향에서 역방향으로 전력이 전달될 때 순간적으로 전력 전달 방향을 바꾸기 힘들며, 잠시 멈췄다가 제어하는 등 전력이동에 끊김이 발생하게 된다. 그러나, 3상 DAB 컨버터의 경우에는, 위상으로 전력을 제어하기 때문에, 위상의 변화가 양에서 음으로 부드럽게 변할 수 있으며, 이로 인해 양방향 전력변환 시 끊김 없는 제어가 가능한데, 이를 무순단 절체 제어라고 정의할 수 있다.
- [0091] 도 5를 참조하면, 최소 위상 변이 값을 설정함으로써 모드 변화 비중에 대해 파악할 수 있는데, 최소 위상 설정 값이 높아지게 되면 모드 I와 모드 III의 영역이 커지고, 반면에 모드 II, 모드 IV 및 모드 SPS의 영역이 줄어들게 됨을 알 수 있다.
- [0092] 도 6은 일례로서 100W 정도(좌)에서는 ZVS가 안되고 대략 300W(중)에서는 ZVS가 되는 것을 예시적으로 보여주는 정상상태 파형도이다.
- [0093] 도 6을 참조하면, 기존의 경우 모두 ZVS가 되지 않는 부분이 ZVS가 되는 것을 보여주는데, 이것은 저부하 시 효율에 있어서 스위칭 손실이 감소함을 나타내고 있으며, 이 때문에 고주파 스위칭 어플리케이션에 유리하고, 저부하 시 효율이 향상됨을 알 수 있다.
- [0094] 이상의 설명은 본 발명의 기술사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경 등이 가능함을 쉽게 알 수 있을 것이다. 즉, 본 발명에 개시된 실시 예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것으로서, 이러한 실시 예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다.
- [0095] 따라서, 본 발명의 보호 범위는 후술되는 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

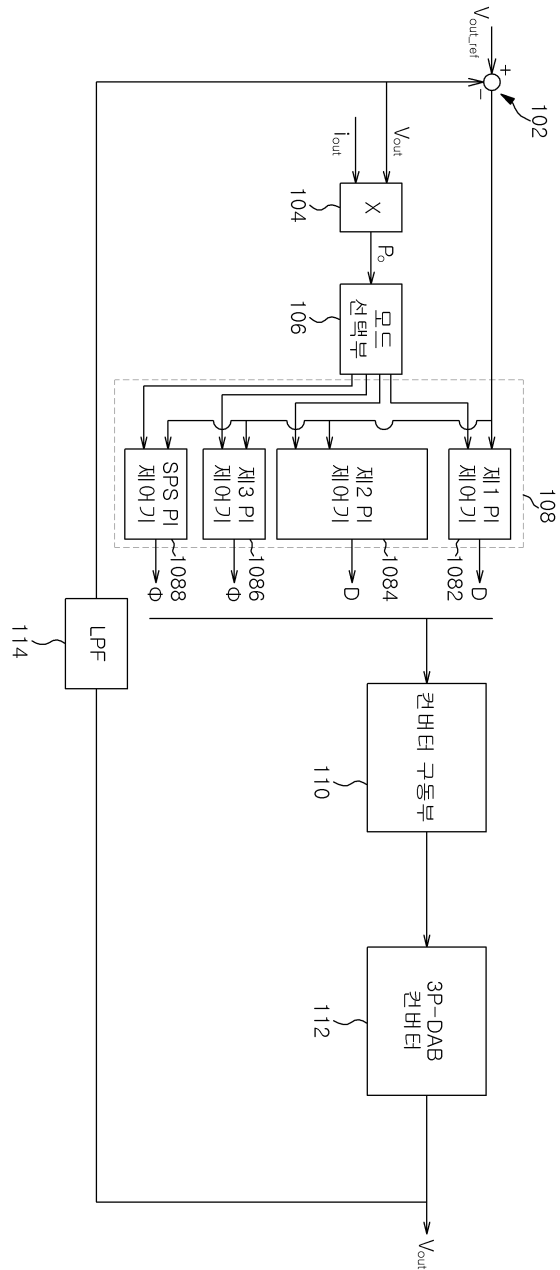
- [0096] 102 : 비교기
104 : 전력 계산부
106 : 모드 선택부
108 : 제어신호 생성부
110 : 컨버터 구동부
112 : 3상 DAB 컨버터
114 : 저역 통과 필터
1082 : 제 1 PI 제어기
1084 : 제 2 PI 제어기

1086 : 제 3 PI 제어기

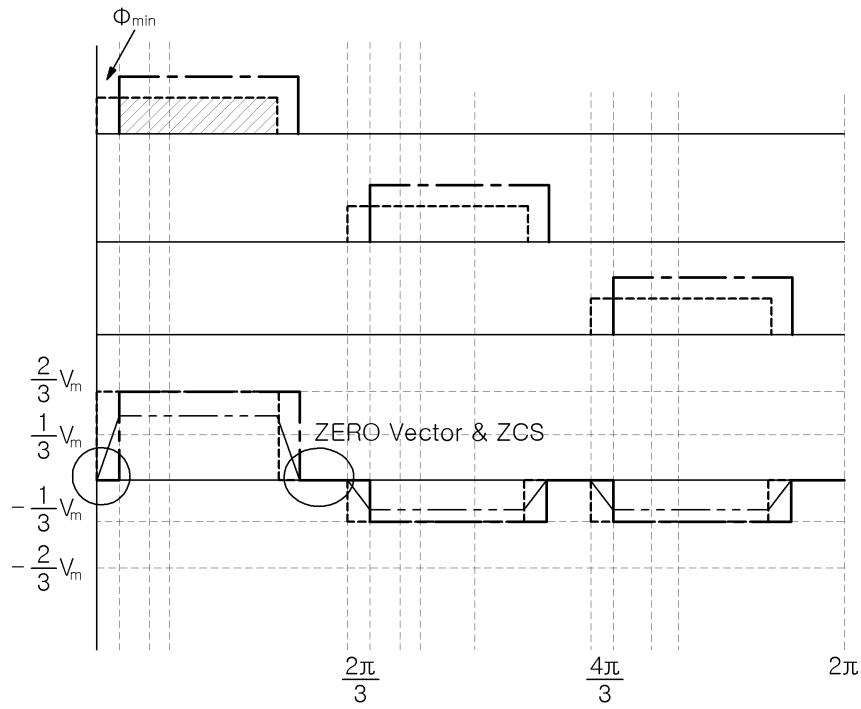
1088 : SPS PI 제어기

도면

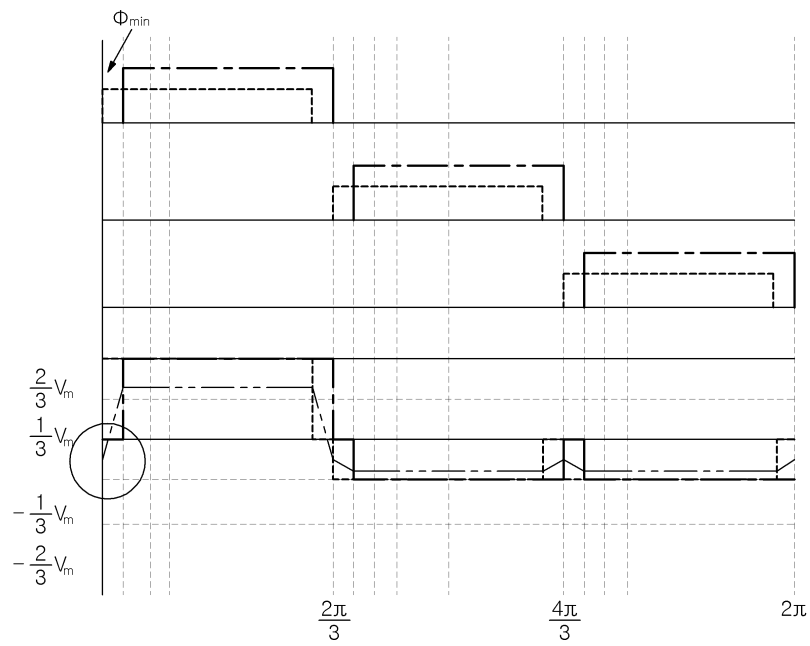
도면1



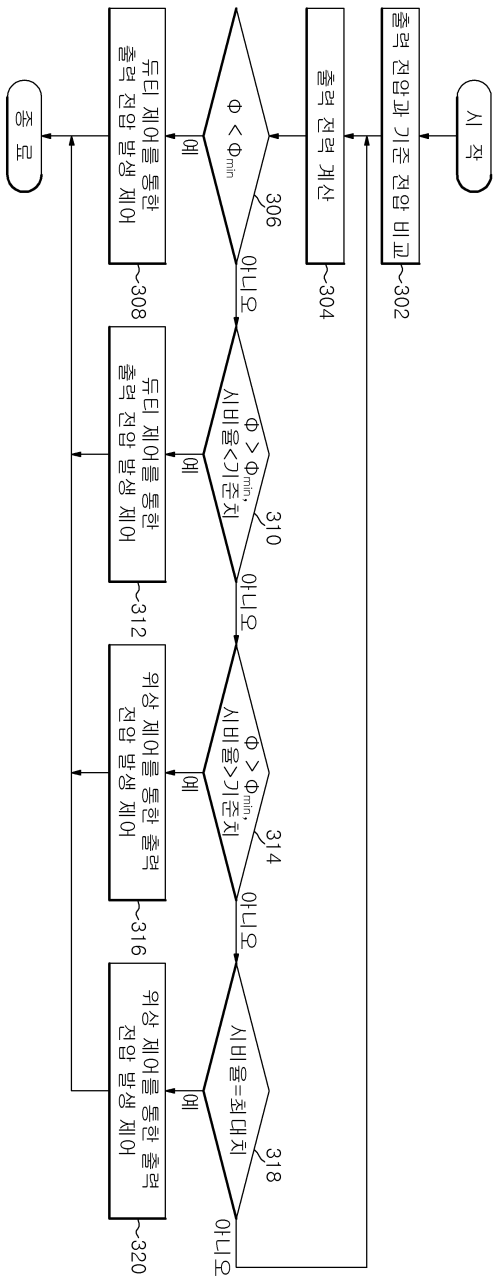
도면2a



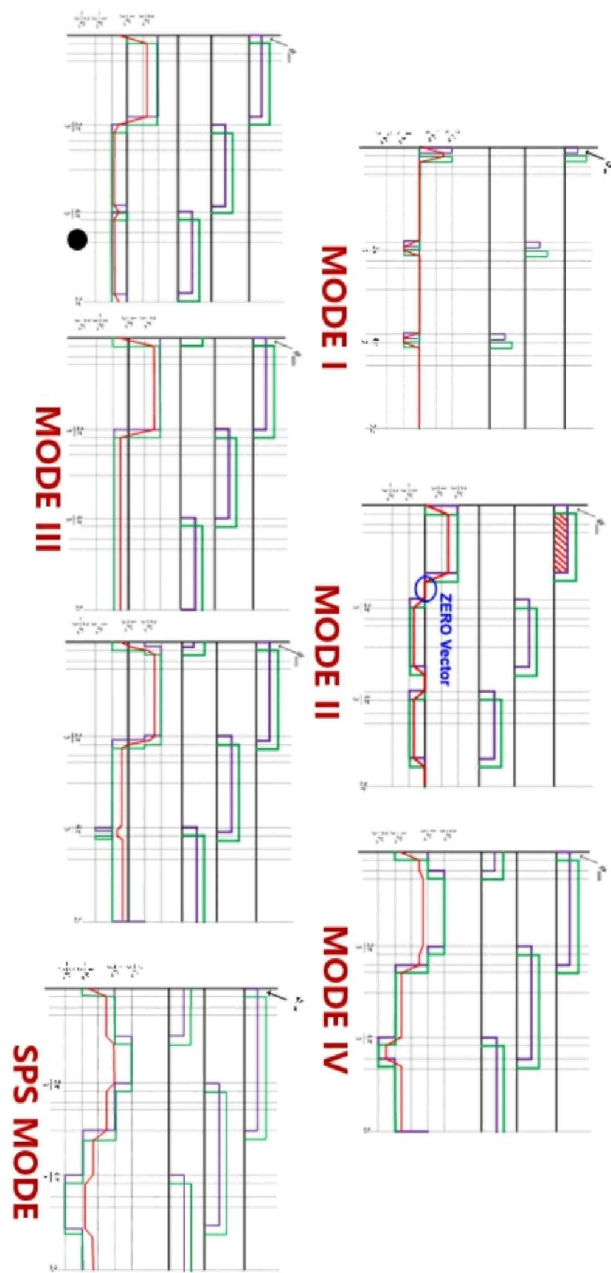
도면2b



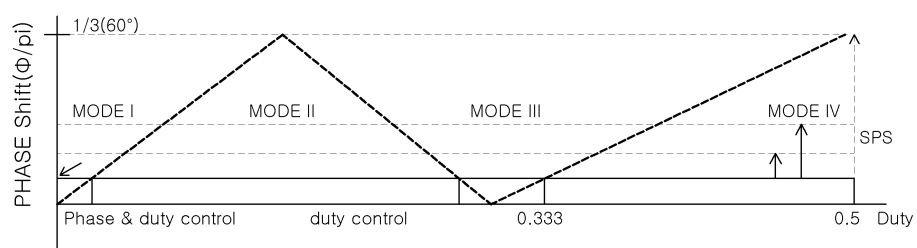
도면3



도면4



도면5



도면6

