



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0095190
(43) 공개일자 2015년08월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02M 3/158 (2006.01) H02M 3/28 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02M 3/1588 (2013.01)
H02M 3/28 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0017382
(22) 출원일자 2015년02월04일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
14/178,590 2014년02월12일 미국(US)

(71) 출원인
팔로 알토 리서치 센터 인코포레이티드
미국 캘리포니아주 94304 팔로 알토 코요테 힐 로드 3333
(72) 발명자
데이비드 이. 슈바르츠
미합중국 94070 캘리포니아주 산카를로스 아룬델 로드 132
(74) 대리인
장훈

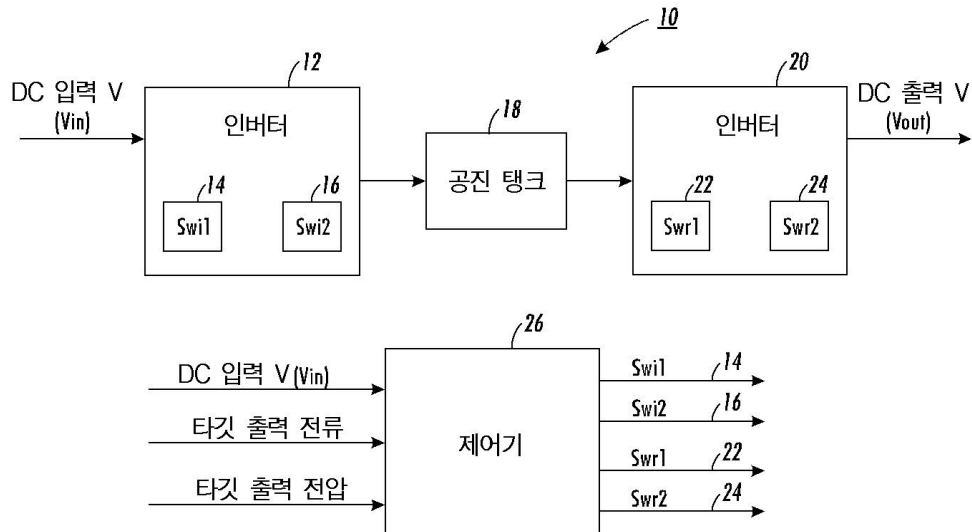
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 DC/DC 컨버터 및 방법

(57) 요약

DC/DC 컨버터는 DC 입력 전압을 수용하는 인버터, DC 출력 전압을 생성하는 정류기, 공진 탱크 및 제어기를 갖는다. 인버터는 제1 및 제2 스위치를 가지며, 정류기도 마찬가지이다. 공진 탱크는 인버터와 정류기 사이에 연결된다. 제어기는, 무전압 스위칭이 각 스위치에 대하여 각각 스위치 전이(transition)로서 발생하도록, 상기 4개 스위치 각각의 위상과 듀티 사이클(duty cycle)을 독립적으로 제어하고 조정하도록 구성된다. 제어기는 DC 입력 전압, 타깃 출력 전류 및 타깃 출력 전압을 같은 입력 파라미터를 활용하여 상기 4개 스위치 각각의 적절한 위상과 듀티 사이클을 결정한다. 무전압 스위칭은 상기 4개 스위치 각각에 대하여, 각 스위치가 전이하고 있고 스위치에 걸친 전압이 실질적으로 0일 때 발생한다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

DC/DC 컨버터에 있어서,

제1 인버터 스위치 및 제2 인버터 스위치를 포함하는 인버터로, DC 입력 전압을 수신하고, 상기 인버터의 출력에서 AC 출력 전압을 공급하도록 구성되는, 상기 인버터;

상기 인버터의 상기 출력에 커플링되는 정류기로, 상기 정류기의 출력에서 DC 출력 전압을 공급하는, 상기 정류기;

상기 인버터와 상기 정류기 사이에 커플링되는 공진 탱크(resonant tank); 및

각각의 상기 인버터 스위치들의 무전압 스위칭(zero-voltage switching, ZVS)이 가능해져서 유지되도록, 복수의 입력 파라미터들에 기초하여, 상기 제1 인버터 스위치 및 상기 제2 인버터 스위치 각각의 위상과 듀티 사이클(duty cycle)을 독립적으로 제어하고 조정하도록 구성되는 제어기로, 상기 ZVS는 각각의 스위치에 대하여 상기 스위치가 전이하고 있고 또한 상기 스위치에 걸친 전압이 실질적으로 0인 시간 동안 발생하는, 상기 제어기를 포함하는, DC/DC 컨버터.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 정류기는 제1 및 제2 다이오드를 갖는 다이오드 정류기를 포함하는, DC/DC 컨버터.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 복수의 입력 파라미터들은 DC 입력 전압, 상기 컨버터의 타깃 출력 전류, 상기 컨버터의 타깃 출력 전압, 상기 컨버터의 측정 출력 전류, 상기 컨버터의 측정 출력 전압, 상기 컨버터 내부로부터의 측정 전류, 그리고 상기 컨버터 내부로부터의 측정 전압 중의 하나 이상을 포함하는, DC/DC 컨버터.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 정류기는 제1 정류기 스위치 및 제2 정류기 스위치를 포함하고, 상기 제어기는, 각각의 상기 정류기 스위치들의 무전압 스위칭(zero-voltage switching, ZVS)이 가능해져서 유지되도록, 상기 복수의 입력 파라미터들에 기초하여, 각각의 상기 제1 및 제2 정류기 스위치의 위상과 듀티 사이클(duty cycle)을 추가적으로 조정하는, DC/DC 컨버터.

청구항 5

제4항에 있어서,

각각의 상기 제1 인버터 스위치, 제2 인버터 스위치, 제1 정류기 스위치 및 제2 정류기 스위치는 트랜지스터(transistor)를 포함하는, DC/DC 컨버터.

청구항 6

DC/DC 컨버터에 있어서,

제1 인버터 스위치 및 제2 인버터 스위치를 포함하는 인버터로, DC 입력 전압을 수신하고, 상기 인버터의 출력에서 AC 출력 전압을 공급하도록 구성되는, 상기 인버터;

상기 인버터의 상기 출력을 수신하고 공진 탱크의 출력에서 AC 출력 전압을 공급하도록 구성되는 상기 공진 탱크

크;

상기 공진 탱크의 상기 출력을 수신하고, 변압기의 출력에서 AC 출력 전압을 공급하도록 구성되는 상기 변압기;
 상기 변압기의 상기 출력을 수신하고 정류기의 출력에서 DC 출력 전압을 공급하도록 구성되고, 제1 정류기 스위치와 제2 정류기 스위치를 포함하는 상기 정류기; 및

상기 각 인버터 스위치들과 정류기 스위치들의 무전압 스위칭(zero-voltage switching, ZVS)이 가능해져서 유지되도록, 상기 입력 전압, 타깃 출력 전압, 그리고 타깃 출력 전류에 기초하여, 각각의 상기 제1 인버터 스위치, 상기 제2 인버터 스위치, 상기 제1 정류기 스위치, 그리고 상기 제2 정류기 스위치의 위상과 듀티 사이클(duty cycle)을 독립적으로 제어하고 조정하도록 구성되는 제어기로, 상기 ZVS는 각각의 스위치에 대하여 상기 스위치가 전이하고 있고 또한 상기 스위치에 걸친 전압이 실질적으로 0인 시간 동안 발생하는, 상기 제어기를 포함하는, DC/DC 컨버터.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 인버터, 상기 공진 탱크, 상기 변압기, 그리고 상기 정류기는 단일 칩으로 구현되는, DC/DC 컨버터.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 컨버터는 인덕터를 포함하고, 상기 인덕터는 다이(die) 상에 제작되는, DC/DC 컨버터.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 인버터, 상기 공진 탱크, 상기 변압기, 그리고 상기 정류기는 모두 단일 칩 캐리어(single chip carrier) 내에 패키징화되는, DC/DC 컨버터.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 공진 탱크는 상기 제1 인버터 스위치의 소스(source)와 상기 제2 인버터 스위치의 드레인(drain)에 연결되고, 그리고 또한 상기 제1 정류기 스위치의 소스와 상기 제2 정류기 스위치의 드레인에 연결되는, DC/DC 컨버터.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 DC/DC 컨버터에 관한 것이며, 좀더 상세하게는, 무-전압 스위칭(zero-voltage switching, ZVS)을 제공하는 인버터/정류기 스위칭 DC/DC 컨버터와 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 스위칭 토폴로지는 고효율 DC/DC 컨버터 디자인에 대한 유비쿼터스이다. 이러한 부류의 토폴로지는 비-절연(non-isolated)(예를 들면, 벡(buck), 부스트(boost), Cuk 등) 및 절연(isolated)(예를 들면, 플라이백(flyback), 포워드 등) 컨버터를 포함한다. 스위칭 컨버터는 입력 전압 소스로부터 주기적으로 에너지를 끌어와서, 이를 인덕터 및 콘덴서를 포함하는 수동 소자(passive element)에 임시로 저장하고, 에너지를, 입력과 구별되는, 목표(desired) 전압이나 전류 레벨에서 출력으로 전송한다. 컨버터 동작은 대개는 고정 주파수이지만 때로는 가변 주파수에서의 하나 이상의 트랜지스터(MOSFET, IGBTs 등)의 주기적 스위칭에 기초한다.

[0003] 스위칭 DC/DC 컨버터의 물리적 크기를 줄이는 것은 많은 어플리케이션에 이롭다. 이것은, 예를 들면, 각각 핸드헬드 장치와 태양열 생성 토폴로지에 관련되는, 저 전력 및 고 전력 도메인에 적용된다. 이와 같은 컨버터의 크기를 줄이는 한 기술은 스위칭 주파수를 증가시키는 것이다. 이것은 주어진 전력에 대한 컨버터의 퍼-사이클 에너지 저장소 요건을 줄이고, 이에 따라, 수동 에너지 저장 소자, 예를 들면, 인덕터와 콘덴서의 축소된 값과

크기를 허용한다.

[0004] 스위칭 주파수를 증가시키면, 그러나, 몇몇 메커니즘을 통해 컨버터의 효율성을 감소시키는 경향이 있다. 스위칭 오프될 때 스위칭 장치(트랜지스터)의 출력 정전 용량의 방전을 지칭하는, 스위칭 손실은 주파수에 따라서 증가한다. 트랜지스트 게이트 정전용량(예를 들면, MOSFET-기반의 디자인)의 충전과 방전인 게이팅 손실(gating loss) 역시 주파수에 따라 증가한다. 더욱이, 인덕터의 자성 코어는 더 높은 주파수에서 증가된 손실을 갖는데, 이는 주로 이력(hysteretic) 및 와전류(eddy-current) 현상이 원인이다. 또한, 코어는 높은 전류에서 포화상태가 된다. 감소된 손실을 갖는 코어의 제작을 가능하게 하는 소재가 개발되고 있는 반면, 요구되는 인덕턴스가 충분히 낮아서, 이들 한정 없는 코어리스(coreless) 인덕터가 사용될 수 있는, 대략 10MHz 이상의 충분히 높은 주파수를 사용하는 것이 유리하다.

[0005] 이러한 고려는 고주파수 컨버터의 스위칭 손실을 감소시키는 준-완전 공진 토폴로지(quasi- and fully-resonant topologies)의 개발로 이어졌다. 공진 토폴로지의 주요 이점은 무전압 스위칭(ZVS) 컨버터의 구현이며, 여기서 스위칭 장치들은 이들에 걸친 전압이 0이고 전하가 출력 정전 용량에 저장되어 있지 않은 동안 스위칭된다. 이것은 스위칭 손실을 상당히 감소시킨다. 공진 스위칭은 하나 이상의 인덕터와 콘덴서를 포함하는 하나 이상의 공진 탱크의 사용에 의해서 구현되어 주기적으로 출력 전하를 저장한다. 스위칭 신호는 출력 전압이 0일때 스위치가 오프되도록 타이밍된다. 일부 완전-공진 토폴로지는 또한 공진 탱크 내에 게이트 전하를 주기적으로 저장함으로써 게이팅 손실이 감소되거나 제거되는 공진 게이팅 기술을 구현한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] ZVS를 유지하기 위하여, 준-공진(quasi-resonant) 스위치가 오프(OFF)인 동안의 인터벌이 준-공진 탱크의 공진 기간의 절반만큼 고정된다. 준-공진 토폴로지에서 출력 전력의 조절은, 바람직하지 않은 특성인, 가변 발진기를 요구하고 광대역 전기자기 간섭(EMI)을 생성하는 가변-주파수 제어에 한정된다. 한편 완전 공진 토폴로지는 고정 주파수 및 고정 듀티 사이클에서 작동한다. 부하 조절(load regulation)은 복수의 컨버터를 가변 위상 오프셋과 병렬로 동작시키거나, 또는 실제 및 무효 전력(reactive power) 간에 스위칭하도록 수동 네트워크를 사용하는 것을 통해서, 구현되는데, 예를 들면, 미국 특허 제7,535,133을 참조하라. 전자의 방법은 시스템의 컴포넌트의 수를 상당히 증가시키면서, 소형화의 이점을 감소시키고, 비용을 증가시킨다. 후자의 방법은 전압 스트레스를 증가시키고 고-효율성이 유지될 수 있는 전압비와 부하의 범위 내에 한정된다.

과제의 해결 수단

[0007] 여기에 인버터, 정류기, 공진 탱크 및 제어기를 갖는 DC/DC 컨버터의 다양한 실시예가 개시된다. 인버터는 각각 제1 및 제2 스위치를 가지며, 정류기도 마찬가지로다. 공진 탱크는 인버터와 정류기 사이에 연결된다. 제어기는, 무전압 스위칭이 각 스위치에 대하여 스위치 전이 때 발생하도록, 상기 각 4개 스위치의 위상과 듀티 사이클(duty cycle)을 독립적으로 제어하고 조정하도록 구성된다. 제어기는 DC 입력 전압, 타깃 출력 전압 및 타깃 출력 전류와 같은 입력 파라미터를 활용하여 상기 각 4개 스위치의 적절한 위상과 듀티 사이클을 결정한다. 무전압 스위칭은 상기 각 4개 스위치에 대하여, 각 스위치가 전이하고 스위치에 걸친 전압이 실질적으로 0일 때 발생한다.

[0008] 상술한 DC/DC 컨버터의 변형은 상기 4개 스위치의 각 게이트 신호를 제공하는 공진 게이트 드라이버를 포함한다. 변형은 또한 컨버터 스위칭 주파수와 같거나 같지 않을 수 있는 공진 주파수를 갖는 공진 탱크를 포함한다. DC/DC 컨버터는 각 4개 스위치에 대하여 제어 신호 파라미터를 제공하는 룩업 테이블과 협업할 수 있다. 룩업 테이블은 상이한 부하를 적용하는 컨버터의 반복적인 시뮬레이션이나 측정을 통해 채워질 수 있다. DC/DC 컨버터는 싱글 칩으로 구현될 수 있으며, 다이(die) 상에 제작되는 하나 이상의 인덕터를 가질 수 있으며, 그리고/또한 칩 캐리어로서 구현될 수 있다. DC/DC 컨버터는, 스위치-기반의 정류기 대신에, 비동기이며 다이오드-기반의 정류기를 가질 수 있다. DC/DC 컨버터는 출력 필터를 포함할 수 있다. DC/DC 컨버터는 제1 인버터 스위치의 소스와 제2 인버터 스위치의 드레인 사이와, 또한 제1 정류기 스위치의 소스와 제2 정류기 스위치의 드레인 사이에 공진 탱크를 연결할 수 있다. DC/DC 컨버터는 추가적으로 변압기를 포함할 수 있다.

[0009] DC 전압을 DC 전압으로 변환하는 프로시저(procedure)와 방법은 제1 인버터 스위치와 제2 인버터 스위치의 사용을 통해 DC 입력 전압을 제1 AC 출력 전압으로 역전시키는(invert) 단계를 포함한다. 이는 또한 AC 출력 전압을 공진 탱크를 통해 전송하여 제2 AC 출력 전압을 생성하는 단계를 포함한다. 이는 또한 제1 정류기 스위치와 제2

정류기 스위치의 사용을 통해 제2 AC 출력 전압을 DC 출력 전압으로 정류하는 단계를 더 포함한다. 이는 또한 DC 입력 전압, 타깃 출력 전압 및 타깃 출력 전류와 같은 입력 파라미터에 기초하여 상기 4개 스위치 각각의 위상과 듀티 사이클을 독립적으로 제어하고 조정하는 단계를 포함한다. 상기 4개 스위치 각각의 위상과 듀티 사이클을 독립적으로 제어하고 조정하는 단계는 각 스위치의 무전압 스위칭을 야기한다. 무전압 스위칭은 스위치가 전이하고 있으며, 스위치에 걸린 전압이 실질적으로 0일 때 발생한다.

[0010] 상술한 절차나 방법은 전달되기 전에 공진 게이트 드라이버에 의해서 작동했던 상기 4개 스위치의 각 게이트에 제어 신호를 전달하는 단계를 더 포함할 수 있다. 방법은 4개의 스위치가 공진 탱크 주파수와 동일하거나 동일하지 않은 스위칭 주파수에서 동작하도록 더 설정할 수 있다. 제어하고 조정하는 단계는 룩업 테이블을 활용하여 각 스위치에 대한 적절한 위상과 듀티 사이클을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 방법은 또한 가변 부하에서 컨버터의 반복적 시뮬레이션이나 측정을 통해서 룩업 테이블을 채우는 단계를 포함할 수 있다. 정류하는 단계는 비동기 정류를 포함할 수 있다. 방법은 DC 출력 전압을 필터링하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0011] 여기 설명되는 DC/DC 변환의 실시예는 비-절연 또는 절연 클래스-DE, 또는 기타 다른 적절한 클래스, 인버터/정류기 스위칭 DC/DC 컨버터를 동작시켜서, 모든 스위치의 타이밍과 듀티 사이클을 독립적으로 변화시킴으로써 모든 스위치 상에 무전압 스위칭을 유지하도록 하는 것을 포함할 수 있다. 이는 광범위한 전압과 전력 범위에 대하여 단일 컨버터로 고-효율 전력 변환을 제공한다.

[0012] 위의 요약은 각 실시예 또는 모든 구현을 설명하는 것으로 의도되지 않는다. 좀더 완전한 이해가 첨부된 도면과 함께 다음의 상세한 설명과 청구범위를 참조함으로써 좀 더 명백하게 인정될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은 일 실시예에 따른 DC/DC 컨버터의 세부사항을 보여주는 블록도이다.
- 도 2는 일 실시예에 따른 DC/DC 컨버터의 기본 토폴로지를 보여주는 개념도이다.
- 도 3은 일 실시예에 따른 공진 탱크 구성요소를 갖는 DC/DC 컨버터를 보여주는 개념도이다.
- 도 4는 일 실시예에 따른 DC/DC 컨버터의 스위칭 파형을 보여주는 파형도이다.
- 도 5는 일 실시예에 따른 공진 게이트 드라이버를 보여주는 개념도이다.
- 도 6은 일 실시예에 따른 출력 필터를 갖는 DC/DC 컨버터를 보여주는 개념도이다.
- 도 7은 일 실시예에 따른 변압기를 갖는 DC/DC 컨버터를 보여주는 개념도이다.
- 도 8은 일 실시예에 따른 DC/DC 컨버터를 보여주는 개념도이다.
- 도 9는 본 발명의 예에 따른 비동기 정류기를 갖는 DC/DC 컨버터를 보여주는 개념도이다.
- 도 10은 일 실시예에 따른 프로시저를 보여주는 흐름도이다.

도면은 스케일 되지 않았다. 도면에서 사용되는 유사한 번호는 유사한 구성요소를 참조한다. 그러나 주어진 도면에서 컴포넌트에 대한 참조 번호의 사용은 동일한 번호가 붙여진 다른 도면에 있는 컴포넌트를 한정하기 위한 의도가 아니라는 것이 이해될 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 본 개시는 클래스-DE 토폴로지에 기초하는 고-주파수 DC/DC 전력 변환에 대한 접근방법에 관련되지만, 그러나 다른 클래스의 토폴로지에 동일하게 적용될 수 있다. 이것은 이들 라인에 따른 두 가지 이전의 접근방법, 고정-주파수 클래스-DE 인버터/정류기, 그리고 비대칭 펄스-폭-변조(APWM) 공진 DC/DC 컨버터에 기초하며, 이들에 비해서 이롭다. 클래스-DE 인버터는 고정-주파수, 고정-듀티-사이클 컨버터이며, 부하나 전압비를 제어하는 제한된 능력을 갖는다(예를 들면, Hamill, David C. "Class DE Inverters and Rectifiers for DC-DC Conversion." *Power Electronics Specialists Conference, 1996 PESC '96 Record., 27th Annual IEEE*. Vol. 1. IEEE, 1996 참조). APWM 컨버터는 가변 듀티-사이클(duty-cycle)을 사용하여 부하를 제어한다. 또한, 개시된 디자인은, 연관된 다이오드 손실을 갖는, 비동기 토폴로지로 한정되며, 특정 종속성과 제어 신호의 한정된 가용성을 고려하면, 동기 토폴로지로 변환하는 명백한 수단이 없다. 변압기는, 비록 입력-출력 절연이 필요하다면 활용될 수 있다고 하더라도, 본 개시의 실시예에 필수는 아니다.

- [0015] 본 개시의 실시예는, 복수의 제어 파라미터의 준-독립(quasi-independent) 튜닝을 통해서 상대적으로 광범위한 전압비와 부하범위에 걸쳐 모든 스위치 상에 무전압 스위칭(ZVS)을 유지함으로써, 높은 스위칭 주파수에 최적화된 고효율 DC/DC 전력 변환을 제공하는 회로 및 방법에 관한 것이다. 다양한 실시예에 따르면, 베이스 토폴로지는 동기 클래스-DE 인버터/정류기 쌍이지만, 그러나 상술한 것처럼, 디자인은 다른 클래스에 동등하게 적용가능하다. 상술한 시스템에서, 제어 파라미터의 수는 0(Hamill)이거나 또는 1개(즉 듀티 사이클, Jane)이다. 동기 변환의 사용은 다이오드-드롭(drop) 손실이 제거되기 때문에 다이오드-기반의 디자인에 비하여 증가된 효율성을 허용한다. 현재 개시되는 디자인은 또한 고정 주파수이고 단일 위상이라는 점에서, 종래의 공진 및 준-공진 컨버터에 비해서 유리하다.
- [0016] 도 1을 참조하면, 블록도는 일 실시예에 따른 DC/DC 컨버터(10)의 기본 컴포넌트를 보여준다. 도시된 것처럼, DC 입력 전압(V_{IN})은 제1 인버터 스위치(S_{wi1})(14)와 제2 인버터 스위치(S_{wi2})(16)를 갖는 인버터(12)에 제공된다. 인버터(12)는 입력 DC 신호를 역전하여 제1 AC 출력 신호를 생산한다. 제1 AC 출력 신호는 공진 탱크(18)에 제공되는데 그 기능은 이하 좀더 설명될 것이며, 이에 따라 제2 AC 출력 신호가 생성된다. 제2 AC 출력 신호는 제1 정류기 스위치(S_{wr1})(22)와 제2 정류기 스위치(S_{wr2})(24)를 갖는 정류기(20)에 제공된다. 정류기(20)는 DC 출력 전압(V_{OUT})을 생성한다. 제어기(26)는 DC 입력 전압, 타깃 출력 전류 및 타깃 출력 전압을 포함하는 다양한 신호를 수신한다. 제어기(26)는, 바람직하게는 마이크로프로세서 또는 동등한 장치로서, 신호에서 동작하고, 4개 스위치(14, 16, 22, 24) 각각에 대하여 출력 제어 신호를 생성한다.
- [0017] 도 2를 참조하면, 개념도는 일 실시예에 따른 DC/DC 컨버터(10)의 기본 토폴로지를 보여준다. DC/DC 컨버터(10)는 클래스-DE 인버터 스테이지(인버터 12), 그라운드에 연결된 스너버(snubber) 콘덴서(C_i 및 C_r), 공진 탱크(18), 클래스-DE 정류기 스테이지(정류기 20), 제어기(26)를 포함한다. 인버터(12)와 정류기(20)는 각각 두개의 스위치인, 제1 인버터 스위치(14)(S_{wi1}), 소스가 그라운드에 연결된 제2 인버터 스위치(16)(S_{wi2}), 제1 정류기 스위치(22)(S_{wr1})와 소스가 그라운드에 연결된 제2 정류기 스위치(24)(S_{wr2})를 포함한다. 각 스위치(14, 16, 22, 24)는 MOSFET, GaN HEMT, 또는 기타 다른 유형의 전류 스위칭 장치일 수 있다.
- [0018] 특히, 공진 탱크(18)의 입력은 제1 인버터 스위치(14)(S_{wi1})의 소스와 제2 인버터 스위치(16)(S_{wi2})의 드레인에 연결된다. 또한, 스너버 콘덴서(C_i 및 C_r)가 스위치(14, 16, 20, 24)의 출력과 병렬이기 때문에, 총 정전용량(capacitance)은 노드 X_i 에서 $C_{itot}=C_i+C_{Swi1}+C_{Swi2}$ 이고, 노드 X_r 에서 $C_{rtot}=C_r+C_{Swr1}+C_{Swr2}$ 이고, 여기서 C_{Swix} 는 스위치 S_{wix} 의 출력 정전용량을 나타내고, C_{Swrx} 는 스위치 S_{wrx} 의 정전용량을 나타낸다. 일부 실시예에서, 컴포넌트와 사양서가 허용하면, C_i 및/또는 C_r 가 제거될 수 있다.
- [0019] 도 3을 참조하면, 개념도는 일 실시예에 따라 개시된 공진 탱크(18) 구성요소를 갖는 도 2의 DC/DC 컨버터(10)를 보여준다. 공진 탱크(18)는 도 3에 도시된 것처럼, 직렬 연결된 인덕터와 콘덴서로서 구현될 수 있지만, 그러나 어플리케이션의 요구에 따라 좀더 복잡하거나 상이한 디자인일 수 있다.
- [0020] 도 4를 참조하면, 파형도는 일 실시예에 따른 DC/DC 컨버터(10)의 스위칭 파형을 보여준다. 다른 실시예나 동작 조건에서, 제어 신호는 상당히 다르게 보일 수 있다는 것이 주목되어야 한다. 특히, 인터벌 II, IV, VI 및 VIII는 인터벌 I, III, V 및 VII 보다 훨씬 더 길 수 있다. 또한, t_{r1} 은 t_{i1} 과 관련된 위상 오프셋을 가질 수 있으며, 예를 들면, t_{i2} 와 t_{i3} 사이에 떨어지지 않을 수 있다. 본 실시예에 관련된 파형의 주요 속성은 인터벌 II, IV, VI 및 VIII이 null이 아니고 또한 $t_{i1}-t_{i4}$ 와 $t_{r1}-t_{r4}$ 의 관련 타이밍이 제어기(26)에 의해 설정될 수 있다는 것이다.
- [0021] 도 4의 인버터 파형의 설명이 이하 제공된다. 시간 t_{i0} 에서 시작하는 인터벌 I에서, 게이트 신호 V_{gi1} 는 높고(스위치 S_{wi1} 의 임계값보다 높은) 그리고 스위치 S_{wi1} 는 ON(전도중)이다. 이 인터벌 동안, 노드 X_i 는 대략 소스 전압 V_{in} 내에 있어서, S_{wi1} 에 걸친 전압은 실질적으로 0이다. 인버터 정전용량 C_{itot} 는 $Q_{ion}=C_{itot}*V_{in}$ 으로 충전된다. 시간 t_{i1} 에서, 게이트 신호 V_{gi1} 는 낮게(스위치 S_{wi1} 의 임계값보다 낮은) 스위칭되고, 스위치 S_{wi1} 는 이를 가로지르는 실질적인 0의 전압에 의해 OFF 된다. 인터벌 II 동안, 정전용량 C_{itot} 는 방전되고 노드 X_i 에서 전압은 감소한다. 이 전압이 실질적으로 0(시간 t_{i2})에 도달하면, 스위치 S_{wi2} 는 게이트 신호 V_{gi2} 를 통해 이를 가로지르는 실질적

로 0인 전압에 의해서 ON이 된다. 인터벌 III 동안, S_{w12} 는 이를 가로지르는 실질적으로 0의 전압에 의해서 ON으로 남아 있다. 시간 t_{i3} 에서, 스위치 S_{w12} 이를 가로지르는 실질적으로 0인 전압에 의해서 다시 OFF 된다. 인터벌 IV 동안, 정전용량 C_{itot} 는, 시간 t_{i4} 에서 노드 X_i 가 V_{in} 에 도달할 때까지, 충전하며, 스위치 S_{w11} 는 이를 가로지르는 실질적으로 0인 전압에 의해 다시 ON이 되면서, 사이클이 완료된다. t_{i0} 에서 t_{i4} 는 스위칭 클록의 일기사이클이고, 사이클은 이어지는 기간에 대하여 t_{i0} 에 동등한 t_{i4} 와 함께 반복된다.

[0022] 동시에, 유사한 방식으로, 스위치 S_{w1} 와 S_{w2} 는, 노드 X_r 에서의 전압이 V_{out} 인 동안 S_{w1} 가 ON 되고, 노드 X_r 에서의 전압이 실질적으로 0인 동안 S_{w2} 가 ON 되도록, 도 4의 과형에 따라 ON 되거나 OFF 되고, 또한, 무전압 스위칭(ZVS)이 모든 전이(transition)에서 획득되도록, 둘 다 정전용량 C_{rtot} 을 충전하고 방전하기 위하여 OFF 된다. 도 3의 실시예에서, $I_i=I_r$ 라는 것을 주목하라. 또한, 어떤 부하와 전압 상태에서, 모든 스위치에서 ZVS를 획득하는 것이 가능하지 않다는 것 또한 주목될 것이다.

[0023] 컴포넌트의 선택에 있어서 상당한 유연성이 있는 반면, 몇 가지 제약조건이 고려되어야 한다. 도 2에 도시된 것처럼, 통합 전류 I_i 는 인터벌 I 동안 양의 값이어서 순(net) 전력이 전압 소스로부터 도출되고, 유사하게 이는 인터벌 VIII 동안 양의 값이어서 순 전력이 부하로 전달된다(미도시). 또한, 인터벌 VII에 걸쳐 통합 전류 I_i 는 Q_{ion} 에 동일하고, 인터벌 IV에 걸쳐 통합 전류 I_i 는 $-Q_{ion}$ 에 동일하여 정전용량 C_{itot} 이 완전하게 충전되고 방전된다. 이는 C_{itot} 의 최대값을 제공하는데, 이는 이 인터벌 동안 최대 전류 I_i 와 같이 변화한다. 유사하게, 대응하는 인터벌 동안 C_{rtot} 를 통한 통합 전류 충전과 방전은 C_{rtot} 와 동일하다. 예를 들면, 도 3의 DC/DC 컨버터(10) 실시예에서, 인덕터 내의 저항에 의한 손실은 전류에 비례하기 때문에, 피크 전류와, C_{itot} 와 C_{rtot} 의 크기는 제한되어야 한다.

[0024] 한편, 각 사이클마다 공진 탱크(18) 내에 저장된 에너지는 $E=P/(2\pi f)$ 로 주어지고, 여기서 P는 전력이고 f는 동작 주파수이다. 인덕터에 저장되는 에너지는 $1/2 * L_{tank}I^2$ 이고 콘덴서에 저장되는 것은 $1/2 * C_{tank}V^2$ 이다. 이것은 공진 탱크(18) 컴포넌트에 크기를 부여하기 위한 프레임워크를 제공하는데, 더 큰 컴포넌트 값은 감소된 피크 전류와 전력 그리고 감소된 최소 C_{itot} and C_{rtot} 에 기인할 것이며, 더 작은 컴포넌트 값은 (일반적으로) 더 작은 부피와 면적을 가질 것이다.

[0025] 일 특정 실시예에서, (이상적인 컴포넌트를 가정하는) 시뮬레이션을 통해 검증된, 스위칭 주파수는 20 MHz이고, $C_{itot}=C_{rtot}=500$ pF이고, 도 3에 도시된 형식의 공진 탱크(18)는 32 nH 인덕터와 17.7 nF 콘덴서를 포함한다. $V_{in}=300V$, $V_{out}=500V$, 그리고 약 2.2 kW로 동작하기 위하여, ZVS를 보장하는 제어값들의 집합은: $t_{i0}=0$, $t_{i1}=10$ ns, $t_{i2}=11.35$ ns, $t_{i3}=47.82$ ns ($t_{i4}=50$ ns 등), $t_{r0}=17.12$ ns, $t_{r1}=37.12$ ns, $t_{r2}=39.12$ ns, $t_{r3}=65.32$ ns, (그리고 $t_{r4}=67.12$ ns) 이다.

[0026] 회로의 동작은 게이트 신호 V_{gs11} , V_{gs12} , V_{gsr1} , and V_{gsr2} 을 수반한다. 이들은 7개의 독립적인 파라미터로 축소될 수 있는데, 예를 들면, 4개 스위치의 on-시간, 듀티 사이클 또는 off-시간 (4개 파라미터)과 그리고 V_{gs11} 의 turn-on 시간(또는 turn-off 시간)과 관련된 V_{gs12} , V_{gsr1} 및 V_{gsr2} 의 turn-on 시간(또는 turn-off 시간)(3개 파라미터)이다. 주어진 V_{in} 및 부하에 대하여, 파라미터는 6개 제약조건을 갖는데, 이는 4개 스위치(14, 16, 22, 24)가 ZVS 상태 하에 켜지고(4개 제약조건), 출력 전압은 V_{out} 이 되고(일 제약조건), 정류기(20)의 위상은 공진 탱크(18)를 통한 전류의 위상에 따라 정확하게 배열된다(일 제약조건)는 것이다.

[0027] 이것은 설명되지 않는 1 자유도를 남기고, 그 효과는 특정 회로 디자인에 종속하지만, 그러나 성능을 조절하도록 사용될 수 있다. 예를 들면, 도 3의 실시예에서, 1 자유도는 탱크 없는 노드 (X_r) 전압을 설정하도록 사용될 수 있으며, 이는 가능한 한 낮게 최적화되어야 한다.

[0028] 이러한 방식으로, 주어진 부하와 입력 및 출력 전압에 대하여, 4개 게이트 신호의 상대적인 turn-on 및 turn-off 시간은 모든 4개 스위치(14, 16, 22, 24)에서 많아야 1 자유도에 의해 ZVS를 유지하는 요구사항에 의해서 제약된다. 여기 개시된 실시예에서, 이들 제약조건은 제어기(26)를 활용하는 제어 시스템의 규칙을 형성하도록

사용되는데, 이는 부하와 전압 조건(예를 들면, 입력 전압, 목표(desired) 출력 전압, 그리고 목표 출력 전류)을 지시하는 파라미터를 입력으로서 취하고, 4개 게이팅 신호 V_{gi1} , V_{gi2} , V_{gr1} , and V_{gr2} 를 출력으로서 생성한다.

[0029]

목표 전류가 명시적으로 알려지지 않은 경우, 제어 시스템은 검색 알고리즘을 사용하여 올바른 게이팅 신호(gating signal)를 발견할 수 있다. 예를 들면, 이는 특정 부하를 가정하고, 이에 따라서 게이팅 신호를 설정하고, 출력 전류를 측정하여 실제 부하를 결정하고 그리고 다음으로 게이팅 신호를 올바른 값으로 재설정할 수 있다. 부하가 출력-전압-중속일 수 있기 때문에, 제어 시스템은 이 프로세스를 몇 번 반복해야 할 수 있다. 일 실시예에서, 이들 출력은, 예를 들면, 룩업 테이블 내에, 디지털로 저장될 수 있다. 룩업(look-up) 테이블은 가능한 조건의 서브셋 하에 컨버터(10)(또는 컨버터(10)의 시뮬레이션)를 작동하고 성능을 최적화하는 게이팅 신호를 관찰함으로써 초기에 채워질 수 있다. 룩업 테이블에 대한 대안으로, 방정식이, 게이팅 신호를 생성하도록 제어기(26) 내에서 자동 계산을 가능하게 하는 데이터에 맞추어 질 수 있다.

[0030]

제어기(26)에 의해 생성되는 제어 신호는 몇 가지 수단 중의 하나를 통해 스위치(14, 16, 22 및 24)에 전달될 수 있다. 일 실시예에서, 고속 마이크로프로세서 또는 동등한 장치는 게이트 펄스를 생성하여, MOSFET와 같은, 게이트 드라이버 장치를 제어할 수 있다. 이것은 충분히 빠른 마이크로프로세서와 게이트 드라이버가 가용할 것을 요구한다. 그러나, 만일 이러한 경우라면, 본 기술분야에 알려진 전력 컨버터 내의 스위칭 장치를 구동하는 많은 수단 중의 어느 것이 사용될 수 있다. 본 접근방법은 단순화의 이점을 갖는다.

[0031]

다른 실시예에서, 공진 또는 멀티-공진 게이트 드라이버가 사용될 수 있다. 이들 드라이버는 스위치(14, 16, 22, 24)를 구동하기 위한 사인 곡선의, 사다리꼴 또는 근사 사각 파형 신호를 생성할 수 있다. 이러한 신호를 생성하는 많은 회로가 알려져 있다. 구동 파형의 펄스 폭과 위상은 사인 곡선 신호의 오프셋과 위상을 변화시킴으로써 제어될 수 있다. 수개의 드라이버들 간의 고정 위상 관계가 다양한 실시예에 따라서 필요하기 때문에, 공진 신호가 구동 파형과 함께 동기화되어야 한다. 도 5는 (구동 신호가 NOT 게이트(인버터)(28)를 거쳐, 다음으로 게이트로의 정전용량 C_{rt} 와 인덕터 L_{rt} 를 갖는 공진 탱크(30)로 입력되는) 이와 같은 동기화가 성취되는 방법에 대한 단순화된 예를 보여준다. 구동 신호의 위상을 변화시키면 게이트 신호의 위상에 영향을 미친다. 공진 신호는 "공진 게이팅"을 구현할 뿐만 아니라 고속에서 높은 전류를 생성하여 스위칭 게이트 전하를 재전하고 이에 따라 효율을 개선하는 이점을 갖는다.

[0032]

DC/DC 컨버터(10)의 다른 예가 도 6에 도시된다. 본 토폴로지에서, 정류기(20)의 출력은 인덕터 L_{of} 와 콘덴서 C_{of} 를 갖는 출력 필터(32)에 제공된다. 그러한 출력 필터는 어플리케이션 요구사항에 따라 포함될 수 있다. DC/DC 컨버터(10)의 다른 예가 도 7에 도시된다. DC/DC 컨버터(10)의 본 개념도는, 인버터(12)가, 변압기 T의 사용을 통해서, 스텝-업 및 스텝다운 성능을 갖는 전반적인 토폴로지를 제공하는 정류기(14)에 유도적으로 연결되어 있는 것을 보여준다.

[0033]

위의 DC/DC 컨버터(10)의 실시예가 DC 입력 전압, 타깃 출력 전류 및 타깃 출력 전압을 제어기(26)로의 입력으로서 활용하였지만, 어떠한 수의 입력 신호와 변형도 제어기에 의해서 사용되어 제어 계획(scheme)을 생성할 수 있고, 이에 의해서, 각 스위치(14, 16, 22 및 24)로의 출력 신호는 무 전압 스위칭을 유발할 수 있다는 것을 주목해야하며, 도 8을 참조하라. 이러한 입력은 컨버터로부터의 피드백 신호, 예를 들면 측정 출력 전압, 측정 출력 전류, 컨버터(10) 내의 다른 위치, 예를 들면, 노드 X_i 및 X_r , 그리고 I_i 와 I_r 및 이들의 어떠한 조합에서 측정된 전압이나 전류를 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 출력 전압 피드백과의 단독 조합이나 출력 전류 피드백과의 단독 조합 내에 기술되는 입력은 무전압 스위칭 제어 시스템을 설정하는 데 있어서 특히 유용하다.

[0034]

추가로, 위의 DC/DC 컨버터(10)의 실시예는, 제어기(26)가 4개의 스위치에 대해 각각 하나씩 4 개의 출력을 생산하는 것으로서 설명하는 한편, 제어기(26)는 대안으로 앞에서 기술한 7 자유도와 일치하는 7 파라미터 신호로 상향 출력한다는 것이 주목되어야 한다. 출력의 콤비네이션은 4개의 on-time, 4 개의 듀티 사이클, 또는 4 개의 off-time을 갖는 3개의 관련 위상(예를 들면, 3개의 관련 turn-on 시간이나 3개의 turn-off 시간)을 포함하지만 이에 한정되지 않는다. 파라미터 신호는 다음으로 게이트 구동 신호 생성기(36)에 제공되고, 그 출력은 스위치(14, 16, 22, 24)의 트랜지스터 게이트에 연결되는 몇 개의 게이트 드라이버(38)로 간다.

[0035]

DC/DC 컨버터(10)의 또 다른 실시예는 도 9의 개념도에 도시된다. 앞의 논의는 동기화 정류기(20)를 갖는 DC/DC 컨버터(10)를 강조하는 반면, 도 9는 비동기 다이오드-기반의 정류기(34)가 또한 사용될 수 있다는 것을 보여준다. 이 구성에서, 스위치(22)(S_{wr1})와 스위치(24)(S_{wr2})는 각각 다이오드 D1과 D2로 대체된다. 이와 같이, 제어기(26)는, 3의 자유도, 예를 들면, t_1 , t_2 및 t_3 를 갖는 제어 신호 V_{gi1} 과 V_{gi2} 만을 생성해야 한다. 이 컨버터에

대한 제어신호를 생성하도록 사용되는 입력/피드백의 유형에 대한 변형은, 제어기(26)가 7보다는 3의 자유도에 일치하는 파라미터 신호를 생성한다는 상술한 대안과 일치한다.

[0036]

도 10은, 제1 인버터 스위치(14)와 제2 인버터 스위치(16)를 갖는 인버터(12)와 같은 인버터, 공진 탱크(18)와 같은 공진 탱크, 제1 정류기 스위치(22)와 제2 정류기 스위치(24)를 갖는 정류기(20), 제어기(26)와 같은 제어기의 사용을 통해서, DC 전압을 DC 전압으로 변환하는 절차(40)를 도시하는 흐름도이다. 프로시저(40)는, 제1 인버터 스위치(14)와 제2 인버터 스위치(16)의 사용을 통해서 DC 입력 전압을 제2 AC 출력 전압으로 역전하는 단계(블록 42)를 포함한다. 프로시저(40)는 또한 공진 탱크를 통해 AC 출력 전압을 전송하고 제2 AC 출력 전압을 생성하는 단계(블록 44)를 더 포함하고, 제1 정류기 스위치 및 제2 정류기 스위치의 사용을 통하여 제2 AC 출력 전압을 정류하는 단계(블록 46)를 포함한다. 프로시저(40)는 추가로 DC 입력 전압, 타깃 출력 전압, 그리고 타깃 출력 전류를 포함하는 입력 파라미터를 식별하는 단계(블록 48)와 무전압 스위칭(ZVS)을 가능하게 하도록 4개 스위치 각각의 위상과 듀티 사이클을 독립적으로 제어하고 조정하는 단계(블록 50)를 포함하는데, 각 스위치의 무전압 스위칭은 스위치가 전이하고 있고 그 스위치에 걸린 전압이 실질적으로 0일 때 발생한다. 프로세스는 다음으로 블록(42)로 돌아가서 반복한다. 상술한 프로시저의 단계는 프로시저(40)의 요구에 따라서 어떤 순서로도 그리고/또는 동시에 발생할 수 있다.

[0037]

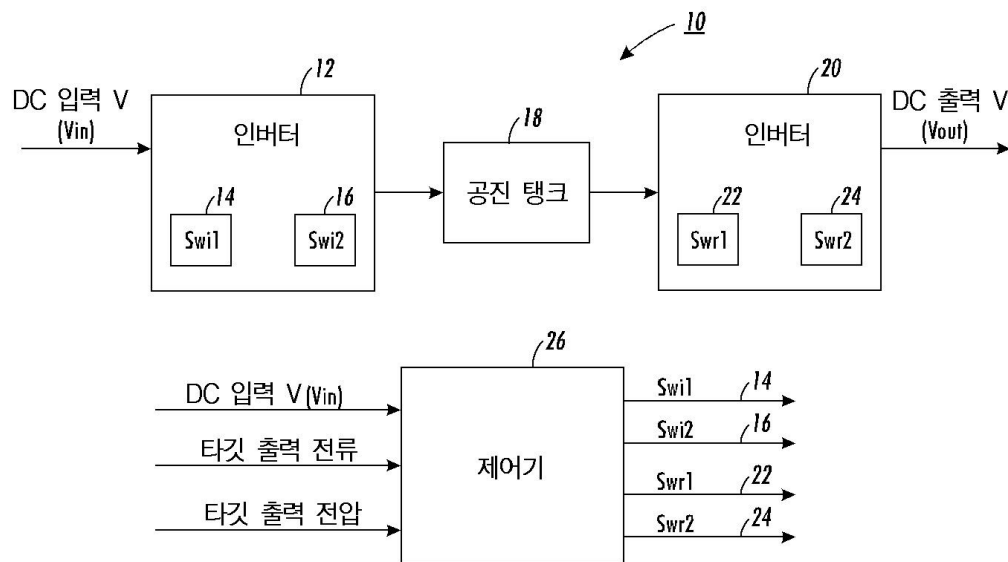
여기 개시되는 시스템, 장치 또는 방법은 여기 설명되는 하나 이상의 특징, 구조, 방법 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들면, 장치와 방법은 후술되는 하나 이상의 특징 및/또는 프로세스를 포함하도록 구현될 수 있다. 이러한 장치나 방법은 여기 설명되는 특징 및/또는 프로세스를 모두 포함할 필요는 없지만, 그러나 유용한 구조 및/또는 기능성을 제공하는 선택된 특징 및/또는 프로세스를 포함하도록 구현될 수 있다고 의도된다.

[0038]

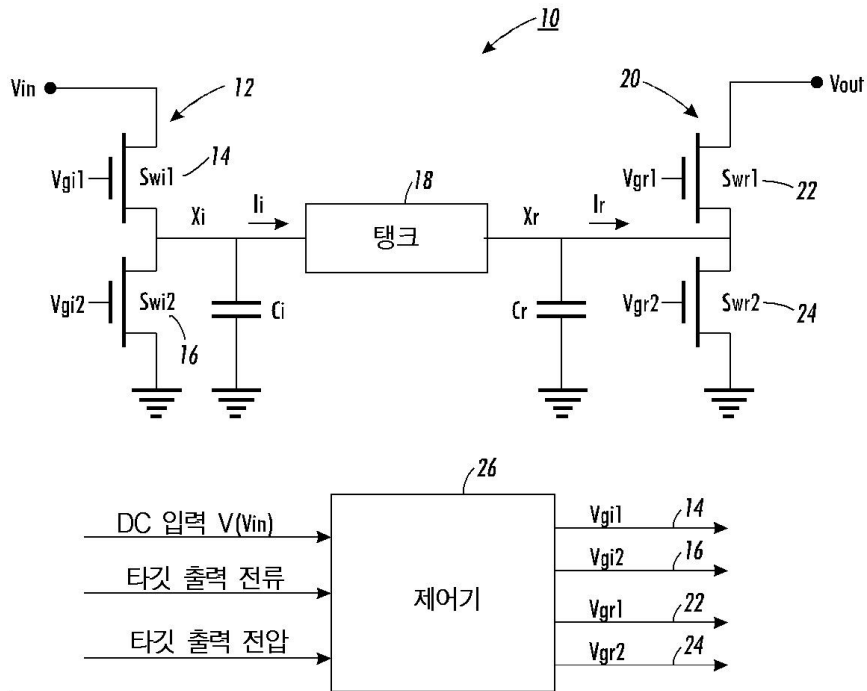
다양한 수정과 추가가 위에 논의된 개시된 실시예에 가해질 수 있다. 따라서, 본 개시의 범위는 위에 설명된 특정 실시예에 한정되지 않지만, 그러나 아래서 착수될 청구범위와 그 등가물에 의해서만 정의되어야 한다.

도면

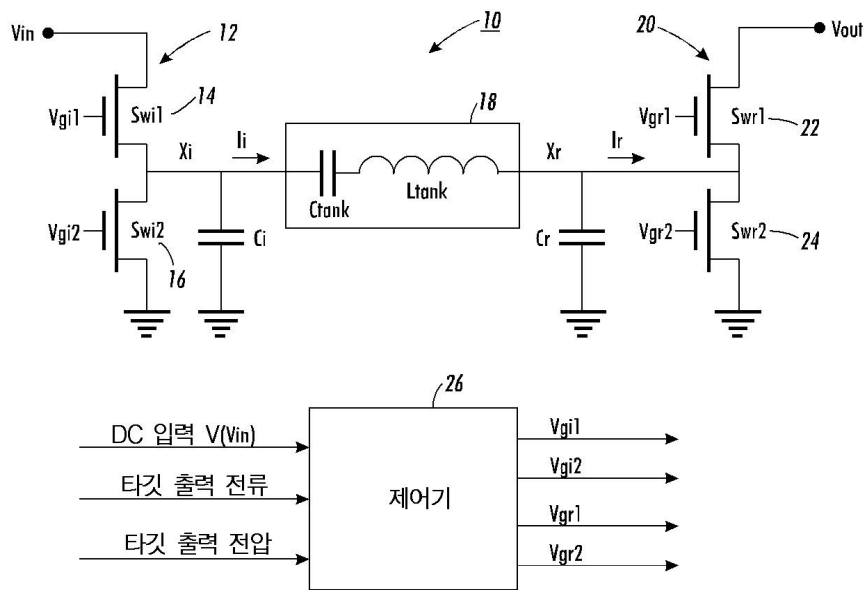
도면1



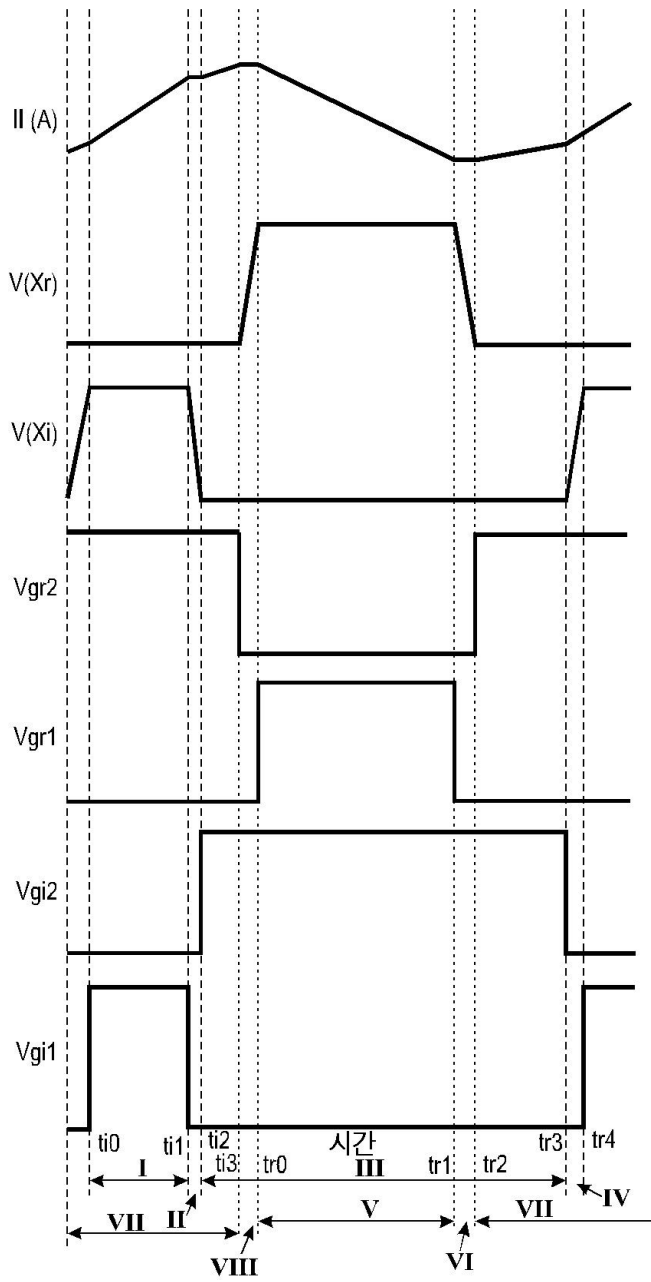
도면2



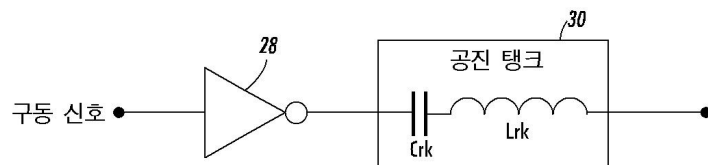
도면3



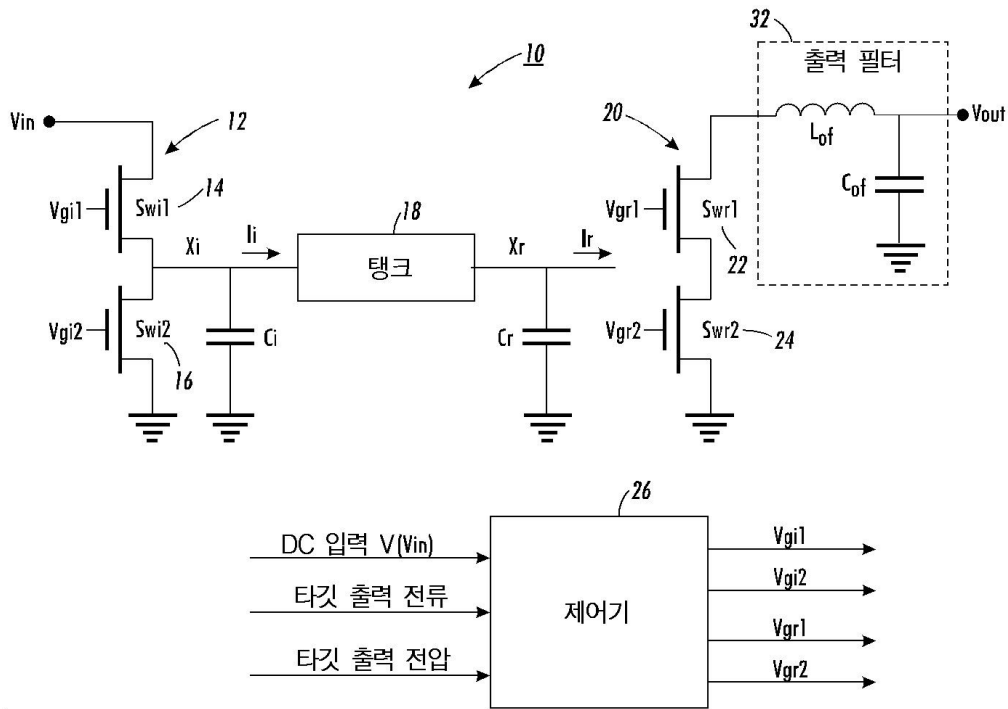
도면4



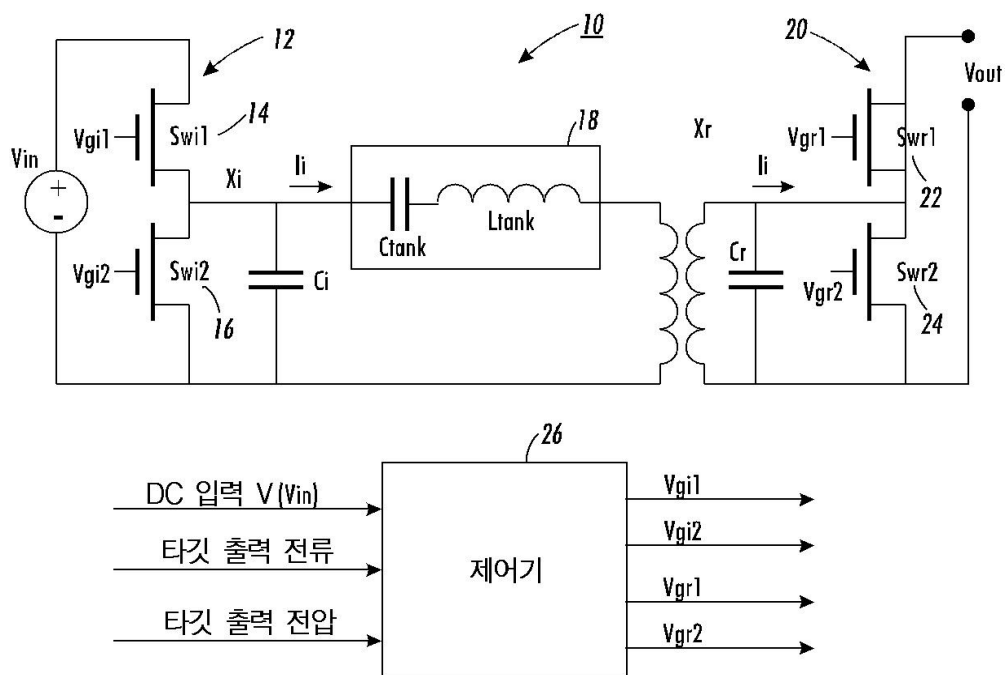
도면5



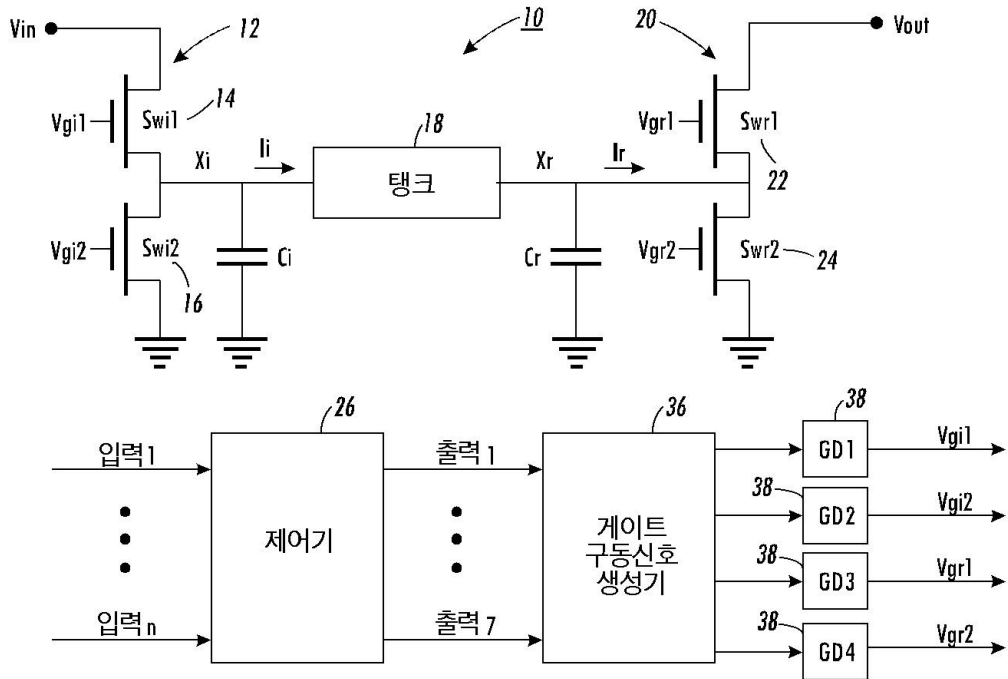
도면6



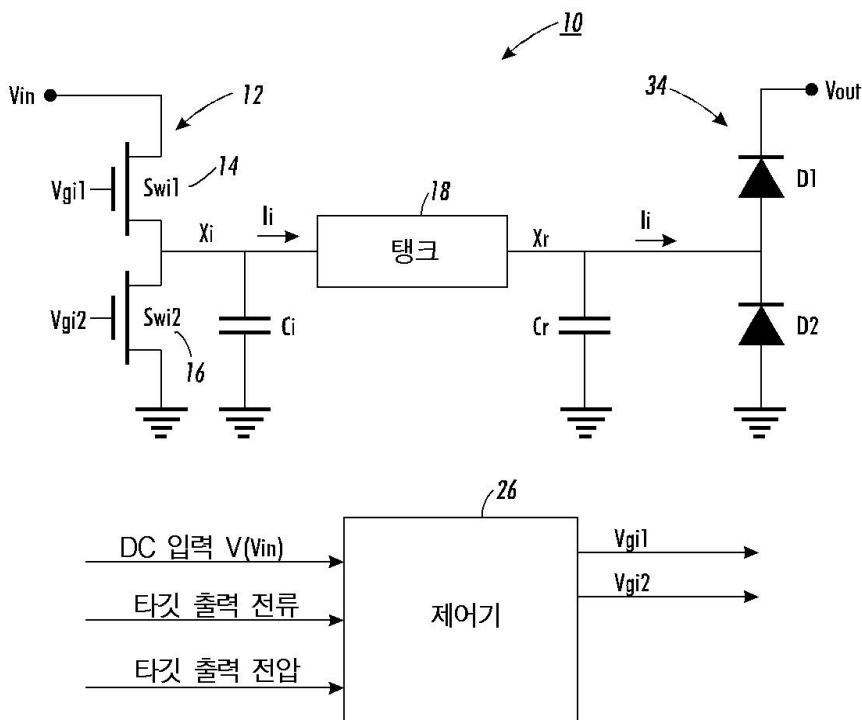
도면7



도면8



도면9



도면10

