(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년01월29일
(11) 등록번호 10-2208429
(24) 등록일자 2021년01월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H03K 3/017 (2006.01) *H03K 3/57* (2006.01)
H03K 3/72 (2006.01) *H03K 7/08* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H03K 3/017 (2013.01)
H03K 3/57 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7008539
(22) 출원일자(국제) 2018년08월27일
심사청구일자 2020년03월24일
(85) 번역문제출일자 2020년03월24일
(65) 공개번호 10-2020-0036947
(43) 공개일자 2020년04월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2018/048206
(87) 국제공개번호 WO 2019/040949
국제공개일자 2019년02월28일
(30) 우선권주장
62/550,251 2017년08월25일 미국(US)
62/553,187 2017년09월01일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
KR101615485 B1
WO2010069317 A1

(73) 특허권자
이글 하버 테크놀로지스, 인코포레이티드
미국, 워싱턴 98119, 시애틀 스위트 263, 웨스턴 애비뉴 더블유 169
(72) 발명자
젬바, 티모시, 엠.
미국 워싱턴 98110, 노스이스트 버그만 시애틀 6783
밀러, 케니스, 이.
미국 워싱턴 98107, 노스웨스트 시애틀 3번가 5413
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 정안

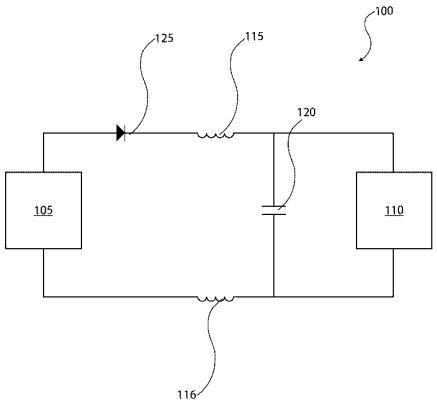
전체 청구항 수 : 총 27 항 심사관 : 최규돈

(54) 발명의 명칭 **나노초 펄스를 이용한 임의의 파형 발생**

(57) 요 약

몇 가지 실시예들은 발생기 인덕터; 상기 발생기 인덕터와 전기 및/또는 유도 연결되는 적어도 하나의 고체 상태 스위치들을 가지는 고전압 나노초 펄서로서, 상기 고전압 나노초 펄서는 버스트 주기를 가지는 펄스 버스트를 생성하도록 구성되고, 상기 펄스 버스트는 다른 펄스 폭들을 가지는 복수의 펄스들을 포함하는, 고전압 나노초 펄서; 및 상기 고전압 나노초 펄서, 상기 발생기 인덕터 및 상기 발생기 커패시터와 전기 및/또는 유도 연결되는 부하(load)로서, 상기 부하 양단의 전압은 상기 버스트 주기와 동일한 펄스 폭의 출력 펄스를 가지고 상기 부하 양단의 전압은 상기 복수의 펄스들의 펄스 폭들과 비례하는 방식으로 변화하는 부하를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H03K 3/72 (2013.01)
H03K 7/08 (2013.01)
(72) 발명자
카스카덴, 존, 지.
미국 워싱턴 98117, 시카모어 애비뉴 노스웨스트 시애틀 7008
슬로보프, 일리아
미국 워싱턴 98119, 시애틀 퀸 앤 애비뉴 아파트 400-323

명 세 서

청구범위

청구항 1

고전압 파형 발생기로서,

발생기 인덕터;

상기 발생기 인덕터와 전기 또는 유도 연결되는 고전압 나노초 펄서; 및

상기 나노초 펄서 및 상기 발생기 인덕터와 연결된 플라즈마를 포함하고,

상기 고전압 나노초 펄서는,

제1 복수의 고전압 펄스들을 포함하는 제1 펄스 버스트-상기 제1 복수의 펄스들의 각각의 펄스는 펄스 폭을 가지며, 상기 제1 펄스 버스트는 제1 버스트 주기를 가짐- 및,

제2 복수의 고전압 펄스들을 포함하는 제2 펄스 버스트-상기 제2 복수의 펄스들의 각각의 펄스는 펄스 폭을 가지며, 상기 제2 펄스 버스트는 제2 버스트 주기를 가짐-로 상기 발생기 인덕터를 충전하도록 구성되고,

상기 플라즈마 양단에 걸친 전압은

제1 출력 펄스 폭 및 제1 출력 전압을 갖는 제1 플라즈마 펄스-상기 제1 출력 펄스 폭은 상기 제1 버스트 주기와 동일하며 상기 제1 출력 전압은 상기 제1 복수의 펄스들의 각각의 상기 펄스들의 펄스 폭에 비례함-, 및

제2 출력 펄스 폭 및 제2 출력 전압을 갖는 제2 플라즈마 펄스-상기 제2 출력 펄스 폭은 상기 제2 버스트 주기와 동일하며 상기 제2 출력 전압은 상기 제2 복수의 펄스들의 각각의 상기 펄스들의 펄스 폭에 비례함-에 따라서 변화하는,

고전압 파형 발생기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 펄스 버스트 및 상기 제2 펄스 버스트 중 적어도 하나는 500V보다 큰 진폭을 갖는,

고전압 파형 발생기.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 플라즈마 펄스 및 상기 제2 플라즈마 펄스 중 적어도 하나는 500V보다 큰 진폭을 갖는,

고전압 파형 발생기.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제2 펄스 버스트는 상기 제1 펄스 버스트의 진폭과 다른 진폭을 갖는,

고전압 파형 발생기.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제1 복수의 고전압 펄스들 중 적어도 하나의 진폭은 다른 제1 복수의 고전압 펄스들 중 적어도 하나의 진폭과 다른,

고전압 파형 발생기.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1 플라즈마 펄스의 전압은 상기 제2 플라즈마 펄스의 전압과 다른,

고전압 파형 발생기.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 발생기 인덕터와 고전압 나노초 펄서에 전기 또는 유도 연결되는 풀다운 저항을 더 포함하는,

고전압 파형 발생기.

청구항 8

제1항에 있어서,

변압기를 더 포함하는,

고전압 파형 발생기.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 제1 버스트 주기 및 제2 버스트 주기 중 적어도 하나는 50ms보다 작은,

고전압 파형 발생기.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 제1 플라즈마 펄스 및 제2 플라즈마 펄스 중 적어도 하나는 상기 플라즈마 내에서 전위를 발생시키는,

고전압 파형 발생기.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 제1 플라즈마 펄스 및 제2 플라즈마 펄스는 상기 플라즈마 내에서 이온들을 가속하는,

고전압 파형 발생기.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 제1 복수의 펄스들 및 상기 제2 복수의 펄스들 둘 중 적어도 하나는 50kHz보다 큰 주파수를 갖는,

고전압 파형 발생기.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 제1 복수의 펄스들 중 적어도 하나의 펄스는 펄스 폭을 가지고 또한 상기 제2 복수의 펄스들 중 적어도 하나는 0보다 크고 500ns 보다 작은 펄스 폭을 가지는,

고전압 파형 발생기.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 발생기 인덕터는 부유 인덕턴스(stray inductance)를 포함하는,

고전압 파형 발생기.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 발생기 인덕터는 0보다 크고 20 μH보다 낮은 인덕턴스를 가지는,

고전압 파형 발생기.

청구항 16

삭제

청구항 17

제1항에 있어서,

상기 플라즈마는 용량성인,

고전압 파형 발생기.

청구항 18

제1 복수의 고전압 펄스들을 포함하는 제1 펄스 버스트를 발생시키는 단계로서, 상기 제1 복수의 고전압 펄스들 중 각각의 펄스가 펄스 폭 및 500V보다 큰 전압을 가지고 상기 제1 펄스 버스트는 제1 버스트 주기를 가지는, 단계;

상기 제1 펄스 버스트로 발생기 인덕터를 충전하는 단계;

상기 제1 버스트 주기와 동일한 제1 출력 펄스 폭 및 상기 제1 복수의 고전압 펄스들 중 각각의 펄스 폭과 비례하는 제1 출력 전압을 가지는 제1 출력 펄스를 출력하는 단계;

제2 복수의 고전압 펄스들을 포함하는 제2 펄스 버스트를 발생시키는 단계로서, 상기 제2 복수의 고전압 펄스들의 각 펄스는 펄스 폭을 가지고 상기 제2 펄스 버스트는 제2 버스트 주기를 가지는, 단계;

상기 제2 펄스 버스트로 발생기 인덕터를 충전하는 단계; 및

제2 출력 펄스 폭 및 제2 출력 전압을 가지는 제2 출력 펄스를 출력하는 단계로서, 상기 제2 출력 펄스 폭은 상기 제2 버스트 주기와 동일하고 상기 제2 출력 전압은 상기 제2 복수의 고전압 펄스들 중 각각의 펄스 폭과 비례하는, 단계;를 포함하는,

플라즈마 내의 고전압 파형들을 발생시키는 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 제1 출력 펄스 및 제2 출력 펄스가 플라즈마에 적용되는,

플라즈마 내의 고전압 파형들을 발생시키는 방법.

청구항 20

제18항에 있어서,

상기 제1 출력 펄스 및 제2 출력 펄스는 플라즈마 내로 이온들을 가속하는,

플라즈마 내의 고전압 파형들을 발생시키는 방법.

청구항 21

제18항에 있어서,

상기 발생기 인덕터를 충전하는 단계는 상기 발생기 인덕터를 통해 에너지를 통과하는 단계를 포함하는,

플라즈마 내의 고전압 파형들을 발생시키는 방법.

청구항 22

제18항에 있어서,

상기 제1 복수의 고전압 펄스들 중 적어도 하나의 펄스는 펄스 폭을 가지고 그리고/또는 상기 제2 복수의 고전압 펄스들 중 적어도 하나의 펄스는 0보다 크고 500ns보다 작은 펄스 폭을 가지는,

플라즈마 내의 고전압 파형들을 발생시키는 방법.

청구항 23

제18항에 있어서,

상기 제1 복수의 고전압 펄스들 중 적어도 하나의 펄스는 다른 펄스 폭을 가지고 그리고/또는 상기 제2 복수의 고전압 펄스들 중 적어도 하나의 펄스는 다른 펄스 폭을 가지는,

플라즈마 내의 고전압 파형들을 발생시키는 방법.

청구항 24

제18항에 있어서,

상기 제1 복수의 고전압 펄스들 중 적어도 하나의 진폭은 다른 제1 복수의 펄스들 중 적어도 하나의 진폭과 다른,

플라즈마 내의 고전압 파형들을 발생시키는 방법.

청구항 25

발생기 인덕터;

상기 발생기 인덕터와 전기적으로 연결되는 적어도 하나의 고체 상태 스위치들을 가지는 고전압 나노초 펄서로서, 상기 고전압 나노초 펄서는 버스트 주기를 가지는 펄스 버스트를 생성하도록 구성되고, 상기 펄스 버스트는 다른 펄스 폭들을 가지는 복수의 펄스들을 포함하는, 고전압 나노초 펄서; 및

상기 고전압 나노초 펄서 및 상기 발생기 인덕터와 전기적으로 연결되는 플라즈마로서, 상기 플라즈마 양단에 걸친 전압은 상기 버스트 주기와 동일한 펄스 폭의 출력 펄스를 가지고 상기 플라즈마 상기 양단에 걸친 전압은 상기 복수의 펄스들의 펄스 폭들과 비례하는 방식으로 변화하는 플라즈마;를 포함하는,

고전압 파형 발생기.

청구항 26

제25항에 있어서,

적어도 상기 복수의 펄스들의 부분 집합은 점점 더 큰 펄스 폭들을 가지고 상기 플라즈마 상기 양단에 걸친 전압의 절대값은 증가하는,

고전압 파형 발생기.

청구항 27

제25항에 있어서,

적어도 상기 복수의 펄스들의 부분 집합은 점점 더 작은 펄스 폭들을 가지고 상기 플라즈마 상기 양단에 걸친 전압의 절대값은 감소하는,

고전압 파형 발생기.

청구항 28

제25항에 있어서,

상기 플라즈마 상기 양단에 걸친 전압은 상기 플라즈마 내의 이온을 가속하는,

고전압 파형 발생기.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 나노초 펄스를 이용한 임의의 파형 발생에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 빠른 상승 시간 및/또는 빠른 하강 시간의 고전압 펄스 생성은 어렵다. 예를 들면, (예를 들어, 5kV를 초과하는) 고전압 펄스를 위해 (예를 들어, 약 50ns 미만의) 빠른 상승 시간 및/또는 빠른 하강 시간을 달성하려면, 펄스 상승 및/또는 하강의 기울기는 엄청나게 급격해야 한다(예를 들어, 10^{11} V/s 초과). 이러한 급격한 상승 시간 및/또는 하강 시간은 특히 고용량의 부하를 구동하는 회로에서 만들어지기 어렵다. 이러한 펄스는 표준 전기 부품을 사용하여; 그리고/또는 다양한 펄스 폭을 갖는 펄스들을 가지고; 그리고/또는 플라즈마와 같은 용량성 부하를 가지는 응용(applications) 내에서; 만들어 내기 특히 어렵다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 일부 실시예들은 발생기 인덕터, 상기 발생기 인덕터와 전기 및/또는 유도 연결되는 고전압 나노초 펄서(pulser) 및 상기 나노초 펄서 및 상기 발생기 인덕터와 전기적으로 연결되는 플라즈마를 포함하는 고전압 파형 발생기를 포함할 수 있고, 상기 고전압 나노초 펄서는, 각 펄스가 펄스 폭을 갖는 제1 복수의 고전압 펄스들을 포함하고 제1 버스트 주기를 갖는 제1 펄스 버스트; 및 각 펄스가 펄스 폭을 갖는 제2 복수의 고전압 펄스들을 포함하고 제2 버스트 주기를 갖는 제2 펄스 버스트로 상기 발생기 인덕터를 충전하도록 구성되고, 상기 플라즈마 양단에 걸친 전압은 상기 제1 버스트 주기와 실질적으로 동일한 제1 출력 펄스 폭 및 상기 제1 복수의 펄스들 중 각 펄스의 펄스 폭에 실질적으로 비례하는 제1 출력 전압을 갖는 제1 플라즈마 펄스 및 상기 제2 버스트 주기와 실질적으로 동일한 제2 출력 펄스 폭 및 상기 제2 복수의 펄스들 중 각 펄스의 펄스 폭에 실질적으로 비례하는 제2 출력 전압을 갖는 제2 플라즈마 펄스에 따라 변화한다.

과제의 해결 수단

[0004] 일부 실시예들에서, 상기 제1 펄스 버스트 및 제2 펄스 버스트 중 적어도 하나는 500V보다 큰 진폭을 가진다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 플라즈마 펄스 및 제2 플라즈마 펄스 중 적어도 하나는 500V보다 큰 진폭을 가진다.

[0005] 일부 실시예들에서, 상기 제2 펄스 버스트는 상기 제1 펄스 버스트의 진폭과 다른 진폭을 가진다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 복수의 고전압 펄스들 중 적어도 하나의 진폭은 다른 제1 복수의 고전압 펄스들 중 적어도 하나의 진폭과 다르다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 플라즈마 펄스의 전압은 상기 제2 플라즈마 펄스의 전압과 다르다.

[0006] 일부 실시예들에서, 상기 고전압 파형 발생기는 상기 발생기 인덕터 및 고전압 나노초 펄서에 전기 및/또는 유도 연결되는 풀다운 저항을 더 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 고전압 파형 발생기는 변압기를 포함할 수 있다.

[0007] 일부 실시예들에서, 상기 제1 버스트 주기 및/또는 제2 버스트 주기는 약 50ms보다 작다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 플라즈마 펄스 및 제2 플라즈마 펄스 중 적어도 하나는 상기 플라즈마 내에서 전위를 확립한다.

[0008] 일부 실시예들에서, 상기 제1 플라즈마 펄스 및 제2 플라즈마 펄스는 상기 플라즈마 내에서 이온들을 가속한다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 복수의 펄스들 및/또는 상기 제2 복수의 펄스들 둘 중 적어도 하나는 약 50kHz보다 큰 주파수를 가진다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 복수의 펄스들 중 적어도 하나의 펄스는 펄스 폭을 가지고 그리고/또는 상기 제2 복수의 펄스들 중 적어도 하나는 500ns보다 작은 펄스 폭을 가진다.

[0009] 일부 실시예들에서, 상기 발생기 인덕터는 부유 인덕턴스(stray inductance)를 포함한다. 일부 실시예들에서, 상기 발생기 인덕터는 약 20 H보다 낮은 인덕턴스를 가진다. 일부 실시예들에서, 상기 상시첨두출력(peak output) 전력은 10kW보다 크다. 일부 실시예들에서, 상기 플라즈마는 실질적으로 사실상 용량성이다.

[0010] 일부 실시예들은 발생기 인덕터, 상기 발생기 인덕터와 전기 및/또는 유도 연결되는 발생기 커패시터, 상기 발생기 인덕터 및 발생기 커패시터와 전기 또는 유도 연결되고 제1 펄스 버스트 및 제2 펄스 버스트로 상기 발생기 인덕터를 충전하도록 구성되는 고전압 나노초 펄서, 및 상기 나노초 펄서, 발생기 인덕터 및 발생기 커패시터와 전기 및/또는 유도 연결되는 부하(load)를 포함하는 고전압 파형 발생기를 포함할 수 있고, 상기 부하에 걸친 전압은 제1 부하 펄스 및/또는 제2 부하 펄스에 따라 변화한다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 펄스 버스트는 복수의 고전압 펄스들을 포함하고, 상기 복수의 고전압 펄스들의 각 펄스는 제1 펄스 폭 및 500V보다 큰 전압을 가지며, 상기 제1 펄스 버스트는 제1 버스트 주기를 가지고, 그리고/또는 상기 제2 펄스 버스트는 복수의 고전압 펄스들을 포함할 수 있고, 상기 복수의 고전압 펄스들의 각 펄스는 제2 펄스 폭 및 500V보다 큰 전압을 가지며, 상기 제2 펄스 버스트는 제2 버스트 주기를 가진다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 부하 펄스는 제1 출력 펄스 폭 및 제1 출력 전압을 가질 수 있고, 상기 제1 출력 펄스 폭은 상기 제1 버스트 주기와 실질적으로 동일하고 상기 제1 출력 전압은 상기 제1 펄스 폭에 비례하며, 상기 제2 부하 펄스는 제2 출력 펄스 폭 및 제2 출력 전압을 가질 수 있고, 상기 제2 출력 펄스 폭은 상기 제2 버스트 주기와 실질적으로 동일하며 상기 제2 출력 전압은 상기 제2 펄스 폭과 비례한다.

[0011] 일부 실시예들에서, 상기 제1 펄스 출력 전압은 500V보다 크고, 상기 제2 펄스 출력 전압은 500V보다 크다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 펄스 출력 전압은 상기 제2 펄스 출력 전압보다 크다. 일부 실시예들에서, 상기 부하는 플라즈마를 포함한다.

[0012] 일부 실시예들에서, 상기 고전압 파형 발생기는 상기 발생기 인덕터 및 고전압 나노초 펄서와 전기 및/또는 유도 연결되는 풀다운 저항을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 고전압 파형 발생기는 변압기를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 버스트 주기는 약 1 마이크로초보다 작고, 상기 제1 펄스 폭은 약 200 나노초보다 작고, 상기 제2 펄스 폭은 약 200 나노초보다 작다.

[0013] 본 발명의 일부 실시예들은 고전압 파형을 발생시키는 방법을 포함한다. 일부 실시예들에서, 상기 방법은 복수의 고전압 펄스들을 포함하는 제1 펄스 버스트를 발생시키는 단계로서, 상기 복수의 펄스들의 각 펄스는 제1 펄스 폭 및 500V보다 큰 전압을 가지며, 상기 제1 펄스 버스트는 제1 버스트 주기를 가지는 단계; 상기 제1 펄스 버스트로 발생기 인덕터를 충전하는 단계; 제1 출력 펄스 폭 및 제1 출력 전압을 가지는 제1 출력 펄스를 출력하는 단계로서, 상기 제1 출력 펄스 폭은 상기 제1 버스트 주기와 실질적으로 동일하고 상기 제1 출력 전압은 상기 제1 펄스 폭과 비례하는 단계; 복수의 고전압 펄스들을 포함하는 제2 펄스 버스트를 발생시키는 단계로서, 상기 복수의 펄스들의 각 펄스는 제2 펄스 폭 및 500V보다 큰 전압을 가지고, 상기 제2 펄스 버스트는 제2 버스트 주기를 가지는 단계; 상기 제2 펄스 버스트로 발생기 인덕터를 충전하는 단계; 및 제1 출력 펄스 폭 및 제2 출력 전압을 가지는 제2 출력 펄스를 출력하는 단계로서, 상기 제2 출력 펄스 폭은 상기 제2 버스트 주기와 실질적으로 동일하고 상기 제2 출력 전압은 상기 제2 펄스 폭과 비례하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 일부 실시예들에서, 상기 제1 펄스 출력 전압은 500V보다 크고, 상기 제2 펄스 출력 전압은 500V보다 크다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 펄스 출력 전압은 상기 제2 펄스 출력 전압보다 크다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 출력 펄스 및 제2 출력 펄스는 플라즈마에 제공된다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 버스트 주기는 약 10ms보다 작고, 상기 제2 버스트 주기는 약 10ms보다 작고, 상기 제1 펄스 폭은 200ns보다 작고, 상기 제2 펄스 폭은 200ns보다 작다.

[0015] 본 발명의 일부 실시예들은 발생기 인덕터; 상기 발생기 인덕터와 전기 및/또는 유도 연결되는 발생기 커패시터; 상기 발생기 인덕터 및 발생기 커패시터와 전기 및/또는 유도 연결되고, 제1 펄스 버스트 및/또는 제2 펄스 버스트로 상기 발생기 인덕터를 충전하도록 구성되는 고전압 나노초 펄서; 및 상기 나노초 펄서, 발생기 인덕터, 및 발생기 커패시터와 전기 및/또는 유도 연결되는 부하를 포함할 수 있고, 상기 부하에 걸친 전압은 제1 부하 펄스와 제2 부하 펄스에 따라 변화한다.

[0016] 일부 실시예들에서, 상기 제1 펄스 버스트는 제1 전압을 가지는 복수의 고전압 펄스들을 포함할 수 있고, 상기 복수의 펄스들의 각 펄스는 제1 펄스 폭 및 500V보다 큰 전압을 가지며, 상기 제1 펄스 버스트는 제1 버스트 주기를 가진다. 일부 실시예들에서, 상기 제2 펄스 버스트는 제2 전압을 가지는 복수의 고전압 펄스들을 포함할 수 있고, 상기 복수의 펄스들의 각 펄스는 제2 펄스 폭 및 500V보다 큰 전압을 가지며, 상기 제2 펄스 버스트는 제2 버스트 주기를 가진다.

[0017] 일부 실시예들에서, 상기 제1 부하 펄스는 제1 출력 펄스 폭 및 제1 출력 전압을 가질 수 있고, 상기 제1 출력 펄스 폭은 상기 제1 버스트 주기와 실질적으로 동일하며 상기 제1 출력 전압은 상기 제1 펄스 폭 및/또는 상기 제1 전압의 함수다. 일부 실시예들에서, 상기 제2 부하 펄스는 제2 출력 펄스 폭 및 제2 출력 전압을 가질 수 있고, 상기 제2 출력 펄스 폭은 상기 제2 버스트 주기와 실질적으로 동일하고 상기 제2 출력 전압은 상기 제2 펄스 폭 및/또는 상기 제2 전압의 함수다.

[0018] 일부 실시예들에서, 상기 부하는 플라즈마를 포함한다. 일부 실시예들에서, 상기 제1 버스트 주기는 약 10ms보다 작고, 상기 제2 버스트 주기는 약 10ms보다 작고, 상기 제1 펄스 폭은 200 ns보다 작고, 상기 제2 펄스 폭은 200ns보다 작다.

[0019] 본 발명의 일부 실시예들은 발생기 인덕터; 상기 발생기 인덕터와 전기 및/또는 유도 연결되는 발생기 커패시터; 상기 발생기 인덕터 및 발생기 커패시터와 전기 및/또는 유도 연결되는 적어도 하나의 고체 상태 스위치들을 가지고 버스트 주기를 가지는, 다른 펄스 폭들을 가지는 복수의 펄스들을 포함하는, 펄스 버스트를 생성하도록 구성되는 고전압 나노초 펄서; 및 상기 고전압 나노초 펄서, 발생기 인덕터 및 발생기 커패시터와 전기 및/또는 유도 연결되는 부하로서, 상기 부하에 걸친 전압은 상기 버스트 주기와 실질적으로 동일한 펄스 폭을 갖는 출력 펄스를 가지고, 상기 부하에 걸친 전압은 상기 복수의 펄스들의 펄스 폭과 실질적으로 비례하는 방식으로 변화한다.

[0020] 일부 실시예들에서, 상기 부하는 플라즈마를 포함한다. 일부 실시예들에서, 적어도 상기 복수의 펄스들의 부분 집합은 점점 더 큰 폭을 갖는 펄스 폭들을 가지고, 상기 부하에 걸친 전압의 절대값은 증가한다. 일부 실시예들에서, 상기 펄스 버스트는 약 500V보다 큰 진폭을 가진다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따른 펄스는 표준 전기 부품을 사용하여; 그리고/또는 다양한 펄스 폭을 갖는 펄스들을 가지고; 그리고/또는 플라즈마와 같은 용량성 부하를 가지는 응용(applications) 내에서; 만들어 낼 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 본 개시를 포함한 다른 특징들, 측면들, 및 장점들은 첨부된 도면과 관련하여 다음 개시를 읽을 때 더 잘 이해된다.

도 1은 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 예시의 블록 다이어그램이다.

도 2는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 예시의 블록 다이어그램이다.

도 3a 및 3b는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 예시의 블록 다이어그램이다.

도 4a 및 4b는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 예시의 블록 다이어그램이다.

도 5a 및 5b는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 예시의 블록 다이어그램이다.

도 6은 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 예시의 블록 다이어그램이다.

도 7은 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 예시의 블록 다이어그램이다.

도 8은 일부 실시예들에 따른 펄서 파형 예시 및 고전압 파형 발생기 출력 파형 예시를 나타낸다.

도 9는 일부 실시예들에 따른 펄서 파형 예시 및 고전압 파형 발생기 출력 파형 예시를 나타낸다.

도 10은 일부 실시예들에 따른 펄서 파형 예시 및 고전압 파형 발생기 출력 파형 예시를 나타낸다.

도 11은 일부 실시예들에 따른 펄서 파형 예시 및 고전압 파형 발생기 출력 파형 예시를 나타낸다.

도 12는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기의 다양한 회로 요소들 내의 파형들 예시를 나타낸다.

도 13은 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기의 다양한 회로 요소들 내의 파형들 예시를 나타낸다.

도 14는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기의 다양한 회로 요소들 내의 파형들 예시를 나타낸다.

도 15는 일부 실시예들에 따른 펄서 파형 예시 및 고전압 파형 발생기 출력 파형 예시를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 임의의 펄스 폭들, 전압들, 및/또는 형태들을 갖는 고전압 파형을 발생시키기 위한 시스템들 및 방법들이 개시된다. 일부 실시예들에서, 고전압 파형 발생기는 펄서 (예를 들어, 나노초 펄서) 및 발생기 회로를 포함할 수 있다. 예를 들면, 나노초 펄서는 버스트 주기(Tbr)를 갖는 고전압 펄스들의 버스트를 생성할 수 있고 상기 펄스들의 버스트의 각 펄스는 펄스 폭(Tp)을 가진다. 상기 발생기 회로는 고전압 펄스들의 상기 입력 버스트로부터 출력 펄스를 생성할 수 있다. 상기 출력 펄스는, 예를 들어, 상기 버스트 주기(Tbr)와 거의 동일한 펄스 폭을 가질 수 있다. 상기 출력 펄스는, 예를 들어, 상기 펄스들의 버스트의 각 펄스의 펄스 폭(Tp)의 (예를 들면 비례하는) 함수인 전압을 가질 수 있다. 상기 출력 펄스는, 예를 들어, 상기 입력 펄스들의 전압(Vp), 또는 상기 입력 펄스들의 주파수(fp)의 (예를 들면 비례하는) 함수인 전압을 가질 수 있다.

[0024] 일부 실시예들에서, 상기 출력 펄스들의 첨두 전력(peak power)은 약 1 kW, 10 kW, 100 kW, 1,000 kW, 10,000 kW 등 보다 클 수 있다.

[0025] 일부 실시예들에서, 상기 펄서는 버스트 무리(burst train)일 수 있다. 각 버스트 무리는, 예를 들어, 복수의 버스트들을 포함할 수 있고 상기 복수의 버스트들의 각각은 복수의 펄스들을 포함할 수 있다. 상기 복수의 버스트들(예를 들어, N 버스트)은 버스트 주기(예를 들어, Tbr1, Tbr2, Tbr3, ... TbrN)를 가질 수 있다. 상기 고전압 파형 발생기의 결과 출력(resulting output)은 각 버스트 주기에 비례하는 (예를 들어, 거의 동일한) 복수의 펄스 폭들(예를 들어, PWbr1, PWbr2, PWbr3, ... PWbrN)을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 버스트 주기들은 변화하여 가변적인 출력 펄스 폭들을 야기할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 출력 전압 진폭은 버스트 내의 각 펄스의 펄스 폭에 비례할 수 있다. 각 출력 펄스의 전압은 상기 전압 및 상기 입력 펄스 버스트의 주파수에 비례할 수도 있다.

[0026] 도 1은 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기(100) 예시의 블록 다이어그램이다. 상기 고전압 파형 발생기(100)는 나노초 펄서(105) 및 부하(110)를 포함할 수 있다. 상기 나노초 펄서(105)는 상기 다이오드(125), 발생기 인덕터(115), 및/또는 발생기 커패시터(120)를 통해 상기 부하(110)와 전기 및/또는 유도 연결될 수 있다. 추가 인덕터(116)가 포함될 수도 있다. 상기 부하(110)를 가로지르는 파형의 형태는 상기 나노초 펄서(105)의 펄스 폭, 및/또는 상기 나노초 펄서(105)의 펄스 주파수 (또는 버스트 주기), 및/또는 상기 나노초 펄서(105)의 펄스 전압에 의해 설정될 수 있다.

[0027] 일부 실시예들에서, 추가 인덕터(116)는 포함되지 않을 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 추가 인덕터(116) 및 상기 발생기 인덕터(115)는 포함되지 않을 수 있다.

[0028] 상기 나노초 펄서(105)는, 예를 들어, 500V보다 큰 펄스들, 10Amps보다 큰 최대 순간 전류, 및/또는 약 10,000ns, 1,000ns, 100ns 10ns 등 보다 작은 펄스 폭을 생성하는 능력의 장치도 포함할 수 있다. 다른 예로, 상기 나노초 펄서(105)는 1kV, 5kV, 10kV, 50kV, 200kV 등보다 큰 진폭을 갖는 펄스들을 생성할 수 있다. 다른 예로, 상기 나노초 펄서(105)는 약 5 ns, 50 ns, 또는 300 ns 등보다 작은 상승 시간을 갖는 펄스를 생성할 수도 있다.

[0029] 상기 나노초 펄서(105)는, 예를 들어, 미국 특허출원 제14/542,487호 "HIGH VOLTAGE NANOSECOND PULSER"에 기술된 펄서를 포함할 수 있으며, 이는 모든 목적을 위해 전체적으로 본 개시에 포함된다.

[0030] 상기 나노초 펄서(105)는, 예를 들어, 미국 특허 제9,601,283호 "EFFICIENT IGBT SWITCHING"에 기술된 펄서를 포함할 수 있으며, 이는 모든 목적을 위해 전체적으로 본 개시에 포함된다.

[0031] 상기 나노초 펄서(105)는, 예를 들어, 미국 특허출원 제15/365,094호 "HIGH VOLTAGE TRANSFORMER"에 기술된 펄서를 포함할 수 있으며, 이는 모든 목적을 위해 전체적으로 본 개시에 포함된다.

[0032] 상기 나노초 펄서(105)는, 예를 들어, 고전압 스위치를 포함할 수 있다. 상기 나노초 펄서(105)는, 예를 들어, 2018년 8월 10일에 출원된 미국 특허출원 제62/717,637호 "HIGH VOLTAGE SWITCH WITH ISOLATED POWER"에 기술된 펄서를 포함할 수 있으며, 이는 모든 목적을 위해 전체적으로 본 개시에 포함된다.

[0033] 일부 실시예들에서, 상기 나노초 펄서(105)는 예를 들면 IGBT, MOSFET, SiC MOSFET, SiC 접합 트랜지스터, FET, SiC 스위치, GaN 스위치, 광전도성 스위치 등과 같은 하나 이상의 고체 상태 스위치들을 포함할 수 있다.

[0034] 일부 실시예들에서, 상기 발생기 인덕터(115)는 약 3mH 미만의 인덕턴스를 갖는 인덕터를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 발생기 인덕터(115)는 예를 들면 상기 나노초 펄서에서 상기 회로 내의 다른 부품들 또는 다른 회로 부품들까지의 리드(leads)와 같은 회로 내에서 부유 인덕턴스를 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 발생기 인덕터(115)는 1 H, 0.1 H, 및 10 nH, 1 H, 10 H, 50 H 등 보다 작은 인덕턴스를 가질 수 있다.

[0035] 일부 실시예들에서, 상기 추가 인덕터(116)는, 예를 들어, 3mH 미만의 인덕턴스를 갖는 인덕터를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 추가 인덕터(116)는 예를 들면 상기 나노초 펄서에서 상기 회로 내의 다른 부품들 또는 다른 회로 부품들까지의 리드(leads)와 같은 회로 내에서 부유 인덕턴스를 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 추가 인덕터(116)는 1 H, 0.1 H, 10 nH, 1 H, 10 H, 50 H 등 보다 작은 인덕턴스를 가질 수 있다.

[0036] 상기 발생기 커패시터(120)는, 예를 들어, 약 1mF보다 작은 커패시턴스를 갖는 커패시터를 포함할 수 있다. 예를 들면, 상기 발생기 커패시터(120)는 1 F, 10 F, 100 nF, 100 pF 등 보다 작은 커패시턴스를 가질 수 있다. 상기 발생기 커패시터(120)는, 예를 들어, 상기 리드 내에서 또는 다른 발생기 회로 부품들 사이에서처럼 회로 내에서 부유 용량을 나타낼 수 있거나, 부하(110) 내에 포함된 커패시턴스를 나타낼 수 있다.

[0037] 이 예에서, 상기 나노초 펄서(105)가 켜져 고전압 펄스 (예를 들어, 약 500 V, 5 kV, 10 kV, 15 kV보다 큰 펄스)를 생성하고, 상기 펄스로부터의 에너지는 상기 발생기 인덕터(115) 내로 주입된다. 상기 발생기 인덕터(115)로부터의 에너지는 이제 상기 발생기 커패시터(120)를 충전할 수 있다. 상기 나노초 펄서(105)가 꺼지면, 상기 발생기 인덕터(115) 내의 에너지는 상기 발생기 커패시터(120)를 계속하여 충전할 수 있다. 고전압 펄스의 펄스 폭이 상기 발생기 커패시터(120)를 완전히 충전하기에 충분히 길다면, 상기 발생기 커패시터(120)에 걸친 전압은 상기 고전압 펄스의 전압의 2배일 수 있다. 펄스 폭, 주파수, 및/또는 고전압 펄스들의 전압을 변화함으로써, 상기 발생기 커패시터(120)에 걸친 전압이 변화될 수 있다. 예를 들면, 상기 발생기 커패시터(120)에 걸친 전압은 도 8a, 8b, 8c 및 8d에 도시된 파형들에 의해 보여지는 바와 같이 상기 나노초 펄서(105)로부터 고전압 펄스의 펄스 폭, 주파수, 및/또는 전압에 비례할 수 있다.

[0038] 일부 실시예들에서, "인덕터를 충전한다"는 표현은 에너지가 인덕터를 통과하고 그리고/또는 에너지가 인덕터 내에 저장되는 것을 기술하기 위해 사용될 수 있다.

[0039] 일부 실시예들에서, 발생기 인덕터(115)는 상기 발생기 커패시터(120)에 얼마나 많은 에너지를 충전할지 조절하기 위해 사용되지 않을 수 있다. 상기 나노초 펄서(105)로부터의 일부 에너지는 결국 상기 발생기 인덕터(115) 내에 있을 수 있지만, 에너지 대부분은 상기 발생기 인덕터(115)를 그냥 통과하여 상기 발생기 커패시터(120)로 향할 것이다. 따라서, 일부 실시예들에서, 상기 발생기 인덕터(115) 및/또는 추가 인덕터(116)는 포함되지 않을 수도 있다.

[0040] 도 2는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기(200) 예시의 블록 다이어그램이다. 이 예시에서, 부하는 플라즈마(111)다. 인덕터(115) 및/또는 인덕터(116)는 존재하지 않을 수 있거나 단지 부유 회로 인덕턴스를 구성할 수 있다. 커패시턴스(120)는 플라즈마의 커패시턴스의 일부일 수 있다. 플라즈마는 예를 들면 커패시턴스, 전자 이동도, 및 전자 이동도와 구분되는 이온 이동도와 같은 다수의 독특한 특성들을 가질 수 있다. 이 예시에서, 가변 전압의 출력 펄스들은 플라즈마(111)에 적용될 수 있다. 상기 플라즈마(111)는 충전된 이온들 및/또는 충전된 라디칼들일 수 있는 어떤 유형의 플라즈마도 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 플라즈마는 반도체 제조 공정에 사용될 수 있다. 일부 응용들에서, 상기 출력 펄스 진폭은 플라즈마 이온들의 에너지를 제어하기 위해 사용될 수 있다. 일부 응용들에서, 상기 이온들은 다양한 재료들을 식각하기 위해 사용될 수 있다. 이 재료들은 반도체의 제조에 사용되는 웨이퍼들을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 고전압 파형 발생기(200)는 플라즈마(111)에 걸쳐 가해진 전압 또는 플라즈마 시스(sheath)를 제어하는 데 사용될 수 있다.

[0041] 도 3a는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기(300) 예시의 블록 다이어그램이다. 이 예시에서, 상기 고전압 파형 발생기(300)는 예를 들면 동축 케이블 또는 트윈 리드 케이블과 같은 구동 케이블(124)을 포함할 수 있다.

[0042] 일부 실시예들에서, 상기 발생기 커패시터(120)는, 예를 들어, 도 3b에 회로(350)에 의해 보여지는 것과 같은 부하(110)와 직렬일 수 있다.

[0043] 도 4a는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기(400) 예시의 블록 다이어그램이다. 이 예시에서, 상기 고전

압 파형 발생기(400)는 상기 나노초 펄서(105)와 부하(110) 사이에 변압기(121)를 포함한다. 발생기 L 및/또는 C가 존재할 수 있고, 예를 들어 C는 예를 들어 상기 부하(110)와 직렬일 수 있다. 일부 실시예들에서, 펄스 발생기(105)는 직류 전기에 의해(galvanically) 상기 펄서 출력을 그것의 입력으로부터 분리할 수 있는 변압기를 포함할 수도 있다.

[0044] 일부 실시예들에서, 상기 발생기 커패시터(120)는 도 4b에 도시된 회로(450)에서 보여지듯이 상기 부하(110)와 직렬일 수 있다.

[0045] 도 5a는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기(500) 예시의 블록 다이어그램이다. 이 예시에서, 상기 고전압 파형 발생기(500)는 풀다운 저항(130)을 포함한다. 상기 풀다운 저항(130)과 직렬로 스위치가 포함될 수도 있다. 상기 풀다운 저항(130)은, 예를 들어, 미국 특허출원 제15/941,731호 "HIGH PASSIVE OUTPUT STAGE CIRCUIT"에 기술된 실시예를 포함할 수 있고, 이는 모든 목적을 위해 전체적으로 본 개시에 포함된다.

[0046] 일부 실시예들에서, 상기 발생기 커패시터(120)는 도 5b의 회로(550)에 보여지듯이 부하(110)와 직렬일 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 발생기 커패시터(120)는 상기 부하(110)의 일부일 수 있고 그리고/또는 상기 부하(110)의 커패시턴스의 전부 또는 일부를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 풀다운 저항(130)은 상기 발생기 커패시터(120), 유효(effective) 부하 커패시턴스(115), 및/또는 다이오드(125) 앞에, 즉, 발생기(105)와 더 가까이 위치될 수 있다.

[0047] 도 6은 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기(600) 예시의 블록 다이어그램이다. 이 예시에서, 상기 고전압 파형 발생기(600)는 유효 부하 커패시턴스(115), 유효 부하 전류 발생기(140), 및/또는 유효 부하 다이오드(142) 및 유효 시스템 인덕턴스(115)를 갖는 부하를 포함할 수 있다. 플라즈마는, 예를 들어, 상기 유효 전류 발생기(140), 유효 부하 다이오드(142), 및 유효 부하 커패시턴스(143)에 의해 최적화될(idealized) 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 유효 전류 발생기(140)는 플라즈마 이온 전류를 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 이온 플라즈마 전류는 입력 펄스들 사이에서 출력 펄스의 지속 기간동안 상당히 꾸준하게 흐를 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 유효 부하 커패시턴스(143)는 플라즈마 내에 형성된 커패시턴스를 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 유효 부하 커패시턴스(115)는 플라즈마에 의해 다뤄지는 재료/물품(item)/부품(component), 예를 들면 식각되는 반도체 웨이퍼에 걸친 커패시턴스를 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 상기 유효 부하 다이오드(142)는 입력 펄스 버스트의 지속 기간에 발생하는 플라즈마 내의 전자 이동도 및/또는 입력 나노초 펄스들에 의해 구동되는 플라즈마를 통하는 전류 흐름을 나타낼 수 있다.

[0048] 도 7은 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기(700)의 다른 예를 보여준다. 상기 고전압 파형 발생기(700)는 5 스테이지(stage)로 일반화 될 수 있다(이 스테이지들은 다른 단계들로 쪼개지거나 더 적은 단계로 일반화될 수 있음). 상기 고전압 파형 발생기(700)는 펄서 및 변압기 스테이지(706), 저항성 출력 스테이지(707), 리드 스테이지(710), 차단 커패시터와 직류 바이어스 전원 스테이지(711), 및 부하 스테이지(110)를 포함한다.

[0049] 이 예시에서, 부하 스테이지(110)는 플라즈마 증착 시스템, 플라즈마 식각 시스템, 또는 플라즈마 스퍼터링 시스템을 위한 유효 회로를 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 커패시터 (C1) 및/또는 커패시터 C12의 용량은 약 50 F, 10 F, 1 F, 100 nF 등 보다 작을 수 있다. 커패시터 C2는 웨이퍼가 안착될 유전성 물질의 커패시턴스를 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 커패시터 C2는 약 50 F, 10 F, 1 F, 100 nF 등보다 작을 수 있다. 커패시터 C3는 웨이퍼에 대한 플라즈마의 시스 커패시턴스를 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 커패시터 C3는 약 50 F, 10 F, 1 F, 100 nF 등 보다 작을 수 있다. 커패시터 C9는 웨이퍼의 상단 표면과 체임버 벽 사이의 플라즈마 내의 커패시턴스를 나타낼 수 있다. 전류원 I2 및 전류원 I1은 시스를 통한 이온 전류를 나타낼 수 있다.

[0050] 이 예시에서, 저항성 출력 스테이지(707)는 인덕터 L1) 및/또는 인덕터 L5로 대표되는 하나 이상의 유도성 요소들을 포함할 수 있다. 인덕터 L5는, 예를 들어, 상기 저항성 출력 스테이지(707) 내 리드들의 부유 인덕턴스를 나타낼 수 있다. 인덕터 L1은 펄서 및 변압기 스테이지(706)로부터 저항 R1까지 직접 흐르는 전력을 최소화하도록 설정될 수 있다. 일부 실시예들에서, 저항 R1의 저항은 약 2,000 Ohms, 200 Ohms, 20 Ohms, 2 Ohms 등보다 작을 수 있다.

[0051] 일부 실시예들에서, 인덕터 L2, 인덕터 L5, 및/또는 인덕터 L6는 약 100 H, 10 H, 1 H, 100 nH 등보다 작은 인덕턴스를 가질 수 있다.

[0052] 일부 실시예들에서, 저항 R1은 예를 들면 빠른 시간 비율(예를 들어, 1 ns, 10 ns, 100 ns, 250 ns, 500 ns, 1,000 ns 등의 시간 비율)로 상기 부하(110)로부터 전하를 소멸시킬 수 있다. 저항 R1의 저항은 낮아서 상기 부하(110)에 걸친 펄스가 빠른 하강 시간(tf)을 가지는 것을 보장할 수 있다.

[0053] 일부 실시예들에서, 저항 R1은 직렬 및/또는 병렬로 배치되는 복수의 저항들을 포함할 수 있다. 커패시터 C11은 직렬 및/또는 병렬 배열의 저항들의 커패시턴스를 포함하는 저항 R1의 부유 커패시턴스를 나타낼 수 있다. 부유 커패시턴스 C11은, 예를 들어, 2000 pF, 500 pF, 250 pF, 100 pF, 50 pF, 10 pF, 1 pF 등보다 작을 수 있다. 부유 커패시턴스 C11의 커패시턴스는, 예를 들어, C2, C3 및/또는 C9의 커패시턴스와 같은 부하 커패시턴스보다 낮을 수 있다.

[0054] 일부 실시예들에서, 복수의 펄서 및 변압기 스테이지(706)들은 병렬로 갱업되고(ganged up), 인덕터 L1 및/또는 저항 R1을 가로질러 저항성 출력 스테이지(707)와 연결될 수 있다. 상기 복수의 펄서 및 변압기 스테이지(706)들 각각은 다이오드 D1 및/또는 다이오드 D6를 각각 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 인덕터 L1의 인덕턴스는 약 1,000 H, 100 H, 10 H 등보다 낮을 수 있다.

[0055] 일부 실시예들에서, 커패시터 C8은 차단 다이오드 D1의 부유 커패시턴스를 나타낼 수 있다. 일부 실시예들에서, 커패시터 C4는 다이오드 D6의 부유 커패시턴스를 나타낼 수 있다.

[0056] 일부 실시예들에서, 직류 바이어스 전원 스테이지(711)는 출력 전압을 양으로 또는 음으로 바이어스하는데 사용될 수 있는 직류 전압원 V1을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 커패시터 C12는 저항성 출력 스테이지 및 다른 회로 요소들로부터 직류 바이어스 전압을 분리한다(isolates/separates). 커패시터 C12는 차단 커패시터 및/또는 바이어스 커패시터로 참조될 수 있다. 일부 실시예들에서, 커패시터 C12는 단일 용량성 요소, 또는 조합된 다수의 용량성 요소들을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 커패시터 C12는 회로의 일 부분으로부터 다른 곳으로 전위 이동(potential shift)을 허용할 수 있다. 일부 실시예들에서, 커패시터 C12가 확립하는 전위 이동은 정전력을 이용하여 웨이퍼를 제자리에 고정하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 커패시터 C12의 커패시턴스는 약 1000 F, 100 F, 10 F, 1 F 등보다 낮을 수 있다.

[0057] 저항 R2는 펄서 및 변압기 스테이지(706)로부터의 고전압 펄스 출력으로부터 직류 바이어스 공급을 보호/분리할 수 있다. 일부 실시예들에서, 예를 들면, 모든 목적을 위해 전체적으로 본 개시에 포함되는 미국 특허출원 제62/711,406호 "NANOSECOND PULSER BIAS COMPENSATION"과 같은 출력 펄스 사이클의 온오프처럼, 직류 바이어스 전원 스테이지는 스위치, 다이오드, 및 커패시터와 같은 추가 요소들을 포함하여 웨이퍼를 제자리에 고정하는 정전력을 상당히 일정하게 유지하도록 도울 수 있다.

[0058] 일부 실시예들에서, 펄서 및 변압기 스테이지(706)는 복수의 스위치들 및 복수의 신호 발생기들을 포함할 수 있다. 복수의 스위치들은, 예를 들어, 나노초 펄서가 더 높은 주파수 펄스들을 생성하게 허용할 수 있다.

[0059] 일부 실시예들에서, 전압원 V2는 스위치 S1에 의해 전환되는 일관된 직류 전압을 제공한다. 스위치 S1은, 예를 들어, IGBT, MOSFET, SiC MOSFET, SiC 접합 트랜지스터, FETs, SiC 스위치, GaN 스위치, 광전도성 스위치 등과 같은 하나 이상의 고체 상태 스위치들을 포함할 수 있다. 스위치 S1은 매우 빨리 전환되어 전환된 전압이 절대 최대 전압이 되지 않게 할 수 있다. 예를 들어, 전압원 V2가 500V의 직류 전압을 제공하면, 스위치 S1은 매우 빠르게 켜지고 꺼져서 상기 스위치에 걸친 전압이 500V보다 작을 수 있다. 일부 실시예들에서, 스위치 S1과 연결되는 게이트 저항은 짧은 턴온 펄스들(turn on pulses)로 설정될 수 있다.

[0060] 도 8a는 펄서 파형 예시를 도시하고, 도 8b는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 출력 파형의 예시를 도시한다. 이 예시에서, 펄서에 의해 생성되는 파형은 제1 버스트 및 제2 버스트를 포함하고, 버스트 주기 B1의 제1 버스트는 각 펄스가 펄스 폭 T1을 가지고, 버스트 주기 B2의 제2 버스트는 각 펄스가 펄스 폭 T2를 가진다. 파형 출력은 펄서에 의해 생성되는 파형에 기초한 파형 발생기의 출력이다. 이 예시에서, 상기 파형 발생기는 제1 펄스 및 제2 펄스를 출력하고, 제1 펄스는 펄스 폭 PW1 및 전압 V1을 가지고, 제2 펄스는 펄스 폭 PW2 및 전압 V2를 가진다. 이 예시에서, 상기 PW1은10% 내에서 상기 버스트 주기 B1과 동일한 길이이고, 상기 제1 펄스 전압 V1은 상기 펄스 폭 T1의 (예를 들어, 비례하는) 함수다. 또한, 상기 PW2는10% 내에서 상기 버스트 주기 B2와 동일한 길이이고, 상기 제1 펄스 전압 V2는 상기 펄스 폭 T2의 (예를 들어, 비례하는) 함수다. PW1 및 PW2는 회로 위상 지연 및 다양한 회로 요소들의 충전 및 방전으로 인해 B1 및 B2로부터 벗어나는 폭을 가질 수 있다. 그러나, 입력 버스트 길이가 출력 펄스 길이를 제어하는 데 사용되면서 입력과 출력 길이는 강하게 상관된다. 부하 특성은 또한 입력 버스트 폭과 출력 펄스 폭 사이의 정확한 상관관계에 영향을 미친다. 출력 펄스의 평탄도는 또한 선택한 회로 요소에 따라 달라지거나 버스트를 구성하는 입력 펄스에 대한 자연스러운 진동/반응을 보일 수 있다.

[0061] 일부 실시예들에서, 펄스 사이의 시간은 어떤 값이든 될 수 있다. 일부 실시예들에서, 펄스 사이의 시간은 개별 펄스의 펄스 폭과 유사할 수 있다.

[0062] 일부 실시예들에서, 각 버스트 내의 펄스 주파수가 약 1kHz, 10kHz, 100kHz, 1,000kHz 등보다 클 수 있다.

[0063] 도 8c는 펄서 파형의 예시를 도시하고, 도 8d는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 출력 파형의 예시를 도시한다. 이 예시에서, 입력 파형들은 도 8a에 도시된 그것들과 비교하여 반전되어, 도 8d에 도시된 반전 출력 파형들(inverted output waves)이 발생한다. 이 예시에서, 출력 펄스 PW1 및 PW2의 펄스 폭은 버스트 주기 B1 및 B2와 실질적으로 유사하다. 도 9, 10 및 11에 도시된 파형들도 마찬가지로 반전될 수 있다. 출력 펄스의 평탄도는 선택한 회로 요소에 따라 달라질 수 있고, 그리고/또는 버스트를 구성하는 입력 펄스에 대한 자연스러운 진동/반응을 보일 수 있다.

[0064] 도 9a는 펄서에 의해 생성된 파형의 예시를 도시하고, 도 9b는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 출력 파형의 예시를 도시한다. 이 예시에서, 도 9a에 도시된 바와 같이 펄서 출력의 제1 버스트의 첫 번째 두 펄스가 버스트 내의 다른 펄스들보다 짧다. 이로 인해 출력 펄스가 도 9b에 도시된 것처럼 V2 또는 V1까지 서서히 상승하게 된다. 이는 펄서의 상시첨두출력 전류 및/또는 에너지를 제한하기 위해 수행될 수 있다.

[0065] 도 8b, 8d 및 9b에 출력 파형들은 '이중 레벨(bi-level)' 제어의 한 형태로 참조될 수 있고, 이는 하나의 전압의 일련의 하나 이상의 출력 펄스들을 다른 하나의 전압의 일련의 하나 이상의 출력 펄스들과 교대로 적용하려는 의도다. 예를 들어, 이는 고 에너지 이온들이 표면/물질과 상호작용하게 하고, 뒤이어 저 에너지 이온들이 표면/물질과 상호작용하게 할 수 있다.

[0066] 도 10a는 펄서에 의해 생성되는 파형의 예시를 도시하고, 도 10b는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 출력 파형의 예시를 도시한다. 이 예시에서, 버스트 내 각 펄스의 펄스 폭은 도 10a에 도시된 바와 같이 선형으로 증가하여, 출력 파형 전압이 도 10b에 도시된 바와 같이 비슷하게 선형으로 감소하게 한다.

[0067] 도 11a는 펄서에 의해 생성된 파형의 예시를 도시하고, 도 11b는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기 출력 파형의 예시를 도시한다. 이 예시에서, 3개의 버스트들은 3개의 서로 다른 버스트 폭을 가지고, 각 버스트 내의 펄스들은 도 11a에 도시된 바와 같이 서로 다른 펄스 폭을 갖는다. 이는 도 11b에 도시된 것과 같이 3개의 서로 다른 펄스 폭과 다른 전압을 갖는 3개의 출력 펄스를 생성한다.

[0068] 출력 파형의 형상은 버스트 및/또는 버스트 폭 내의 각 펄스의 펄스 폭에 의해 지시될 수 있다. 출력 파형의 모든 형태는 이러한 매개변수를 변화시킴으로써 생성될 수 있다. 이러한 형상은 반복하여 출력 펄스 형상의 다른 세트와 상호 작용될 수 있으며, 반복적인 방법으로 수행될 수 있다. 일부 실시예들에서, 출력 파형의 형상은 개별 펄스의 전압을 변화시켜 제어/설정할 수 있다. 펄스 폭을 변경하면 펄스 전압도 달라질 수 있다.

[0069] 일부 실시예들에서, 복수의 나노초 펄서들은 함께 위상화될(phased) 수 있다. 예를 들면, 상기 나노초 펄서(105)는 병렬적으로 함께 위상화된 하나 이상의 펄서들을 포함할 수 있다. 이는, 예를 들면, 더 높은 주파수에서 파형 발생기로부터 출력 펄스들을 발생시킨다.

[0070] 도 12는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기의 다양한 회로 요소들 내의 파형들 예시를 도시한다. 도 12에 도시된 상기 파형들은 도 7에 도시된 부품들과 관련한다.

[0071] 도 13 및 도 14는 일부 실시예들에 따른 고전압 파형 발생기의 다양한 회로 요소들 내의 파형들 예시를 도시한다. 도 12에 도시된 상기 파형들은 도 7에 도시된 부품들과 관련한다.

[0072] 일부 실시예들에서, 고전압 파형 발생기는 출력 파형의 출력 전압을 조정하기 위한 실시간 피드백을 사용할 수 있다. 예를 들면, 회로는 출력 파형의 전압이 예상보다 낮다고 판단할 수 있고, 이에 대응하여 나노초 펄서의 펄스 폭이 조정되어 원하는 출력 펄스를 생성할 수 있다. 대안적으로, 버스트 내의 펄스 수가 조정될 수 있고 그리고/또는 그들의 주파수가 조정될 수 있다.

[0073] 일부 실시예들에서, 복수의 펄서들은 고전압 파형 발생기(750)에 사용될 수 있다. 예를 들면, 제1 펄서 및 제2 펄서가 하나 이상의 스위치들과 함께 위상화될 수 있다. 부하에 제공되는 펄스의 주파수를 증가시키기 위해 이들 펄스들을 함께 연결할 수 있다. 일부 실시예들에서, 펄서들 각각은 다른 구동 전압을 생성할 수 있다.

[0074] 일부 실시예들에서, 펄서 내의 하나 이상의 MOSFET의 게이트에 있는 저항은 이중-레벨 작동에서 높은 수준과 낮은 수준 사이 작업 범위를 가동하도로 선택될 수 있다. 일부 실시예들에서, 하나 이상의 MOSFET의 게이트에 있는 저항은 단락 보호를 제공할 수 있다. 일부 실시예들에서, 상이한 게이트 전압들이 펄서 내의 하나 이상의 MOSFET에 가해질 수 있다.

[0075] 일부 실시예들에서, 나노초 펄서(105) 내의 하나 이상의 스위치들을 켜면 펄스 폭이 상승 시간보다 작을 때 펄

서의 출력 전압이 더 낮아질 수 있다. 이는 도 15c에 도시되어 있다. V3는, 예를 들면, 5kV 이상일 수 있고, and V4는, 예를 들면, 200V보다 클 수 있다.

[0076] 펄서는 고체 상태 스위치들 또는 게이트 전압을 제어하기 위한 고전압 직류 입력 및 저전압 직류 파형을 포함할 수 있다. 도 15a에 도시된 파형은 각각 버스트 주기 B1과 B2를 갖는 두 개의 버스트를 갖는 게이트 전압 및 서로 다른 펄스 폭을 갖는 각 버스트 내의 펄스를 보여준다. 도 15b의 파형은 펄서(예를 들어, 도 7의 R1에 걸친 전압)에 의해 생성된 예시 펄스들을 보여준다. 제1 버스트 내의 펄스들의 전압은 V1 이고, 제2 버스트 내의 펄스들은 V2이다. 상기 제2 버스트의 펄스 전압들은 더 낮은데 이는 게이트 전압 펄스 폭이 짧기 때문이다. 특히, 게이트 전압 펄스들은 펄스 스위치들이 게이트 입력 펄스에 의해 다시 꺼지기 전까지 펄서 스위치들이 충분히 켜지기 위한 (예를 들어, 그들의 상시첨두출력 전압에 도달하기 위한) 시간이 없을 정도로 상당히 짧다. 도 15d의 파형은 펄서의 스위치에 (예를 들어, 도 7의 스위치 S1) 걸친 전압이다. 스위치들은 충분히 짧은 시간 동안 켜져서 스위치에 걸친 전압은 일반적으로 완전히 켜지고 완전히 전도된 스위치를 위한 낮은 레벨로 떨어질 수 없다. 도 15c에 도시된 결과 출력 파형에는 두 가지 전압 레벨이 있다. 제2 전압 레벨은 게이트 전압 파형(도 15a)의 펄스 폭 함수다. 두 번째 펄스의 펄스 폭은 스위치 상승 시간 또는 스위치 켜기 시간 또는 최대 전도에 도달하는 데 필요한 전환 시간보다 짧기 때문에 펄서에 의해 더 낮은 전압 펄스가 생성된다. 도 15c의 제2 전압 레벨은 도 15b에 도시된 펄서에 의해 생성되는 전압과 펄스 폭의 함수다. 펄서에 있는 하나 이상의 스위치들의 게이트 저항은 펄서가 제공하는 펄스의 상승 시간과 전압을 결정할 수 있다.

[0077] 일부 실시예들에서, 도 15c에 도시된 출력 전압은 도 15a에 도시된 단일 펄스의 함수다. 일부 실시예들에서, 스위치들을 사용하여 출력 전압을 제어하는 출력 전압 제어가 제공된다. 일부 실시예들은 이중-레벨 전압 출력에서 매우 빠른, 나노초 스케일의, 출력 전압 조절을 가능하게 할 수 있다. 예를 들어, 이는 고속 전압 변조(예를 들어, 1 MHz 초과)를 허용할 수 있다.

[0078] 청구된 주제에 대한 철저한 이해를 제공하기 위해 많은 구체적인 세부사항이 여기에 제시되어 있다. 그러나, 통상의 기술자는 청구된 주제들이 이러한 구체적인 세부사항 없이 실행될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 다른 경우, 통상의 기술에 의해 알 수 있는 방법, 장치 또는 시스템은 청구된 주제를 모호하게 하지 않기 위해 상세하게 설명되지 않았다.

[0079] 일부 부분은 컴퓨터 메모리와 같은 컴퓨팅 시스템 메모리에 저장된 데이터 비트 또는 이진 디지털 신호에 대한 작동의 상징적 표현 또는 알고리즘의 측면에서 제시된다. 이러한 알고리즘적 설명 또는 표현은 데이터 처리 기술에서 통상의 기술자들이 그들의 작업의 요지를 다른 통상의 기술자들에게 전달하기 위해 사용하는 기법의 예들이다. 알고리즘은 원하는 결과를 이끌어내는 일관된 작업 시퀀스 또는 유사한 처리이다. 이러한 맥락에서, 작동이나 처리는 물리적 양의 물리적 조작을 포함한다. 일반적으로, 반드시 그렇지는 않지만, 그러한 양은 저장, 전송, 결합, 비교 또는 조작이 가능한 전기 또는 자기 신호의 형태를 취할 수 있다. 주로 일반적인 용도의 이유로 비트, 데이터, 값, 요소, 기호, 문자, 용어, 숫자, 번호 등의 신호를 참조하는 것이 때로는 편리하다는 것이 입증되었다. 그러나 이 모든 용어 및 유사한 용어들은 적절한 물리적 양과 연관되어야 하며 단지 편리한 라벨에 불과하다는 점을 이해해야 한다. 달리 명시되지 않은 한, 이 명세서 논의 전체에서 "처리", "컴퓨팅", "계산", "결정" 및 "식별"과 같은 용어가, 하나 이상의 컴퓨터나 유사한 전자 컴퓨팅 장치나 장치들과 같은, 메모리, 레지스터 또는 기타 정보 저장 장치, 전송 장치 또는 컴퓨터 플랫폼의 디스플레이 장치 내에서 물리적 전자적 또는 자기적 양으로 표현되는 데이터를 조작하거나 변환하는 컴퓨팅 장치의 동작이나 프로세스를 참조하는 것이 인정된다.

[0080] 여기서 논의되는 시스템 또는 시스템은 특정 하드웨어 아키텍처 또는 구성에 국한되지 않는다. 컴퓨팅 장치는 하나 이상의 입력에 대해 조건화된 결과를 제공하는 구성요소의 적절한 배치를 포함할 수 있다. 적절한 컴퓨터 장치는, 범용 컴퓨팅 장치에서 본 주제의 하나 이상의 실시예들을 구현하는 특수 컴퓨팅 장치로 컴퓨터 시스템을 프로그래밍하거나 구성하는 저장 소프트웨어에 접근하는 다목적 마이크로프로세서 기반 컴퓨터 시스템을 포함한다. 적절한 프로그래밍, 스크립트 또는 다른 유형의 언어 또는 언어의 조합을 사용하여 프로그래밍 또는 컴퓨팅 장치 구성에 사용할 소프트웨어에 포함된 가르침을 구현할 수 있다.

[0081] 여기에 개시된 방법의 실시예들은 그러한 컴퓨팅 장치들의 작동에서 수행될 수 있다. 위의 예에 제시된 블록의 순서는 예를 들어 블록이 다시 정렬되고, 결합되고, 그리고/또는 하위 블록으로 분해되는 등 다양할 수 있다. 특정 블록 또는 프로세스는 병렬로 수행될 수 있다.

[0082] 여기에서 "적용되는" 또는 "구성되는"을 사용하는 것은 추가 작업이나 단계를 수행하도록 조정되거나 구성되는 장치를 배제하지 않는 개방적이고 포괄적인 언어를 의미한다. 또한, 프로세스, 단계, 계산 또는 하나 이상의

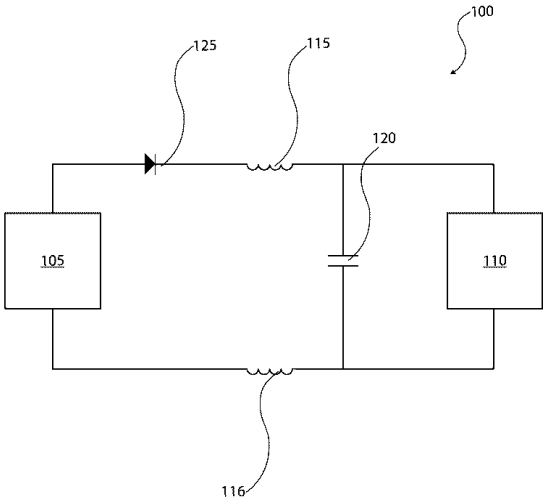
인용된 조건이나 가치에 "기초하는" 다른 조치가 실제로 인용된 조건을 초과하는 추가 조건이나 값에 기초할 수 있다는 점에서 "기초하는"의 사용은 개방적이고 포괄적이어야 한다는 것을 의미한다. 여기에 포함된 표제, 목록 및 번호 지정은 설명의 용이성만을 위한 것이며 제한하려는 것은 아니다.

[0083] "제1"과 "제2"라는 용어는 반드시 항목의 순서의 절대적 또는 아주 첫 번째 또는 두 번째를 식별하기 위해 사용되는 것은 아니다. 오히려 이러한 용어는 특정 순서나 절대 위치를 명시하는 의미가 명확하지 않은 한 항목과 다른 항목 또는 후속 항목에 라벨을 붙이는 데만 사용된다. "제1"과 "제2"로 표시된 항목의 순서는 절대 순서가 될 수도 있고 또는 그 사이에 다른 항목을 포함할 수도 있다.

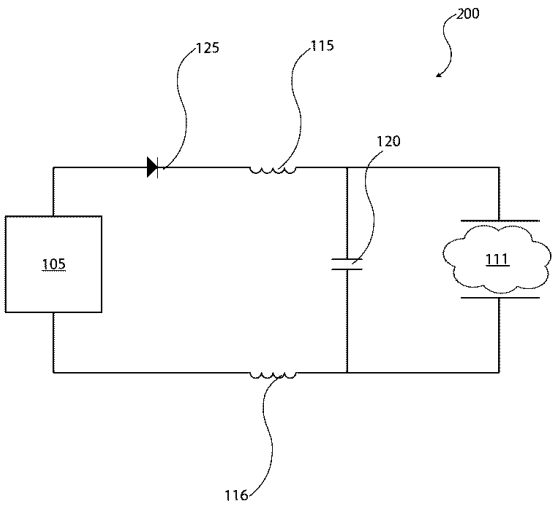
[0084] 본 주제가 그것의 구체적인 실시예들과 관련하여 상세하게 기술되어 있지만, 통상의 기술자는 전술한 내용을 이해함에 따라 그러한 실시예들에 대한 변경, 변형 및 등가물을 쉽게 생성할 수 있다는 것이 인정될 것이다. 따라서, 본 개시는 제한보다는 예시 목적으로 제시되었으며, 통상의 기술자에게 쉽게 명백해질 수 있듯 본 주제에 대한 그러한 변경, 변형 및/또는 추가의 포함을 배제하지 않는다는 점을 이해해야 한다.

도면

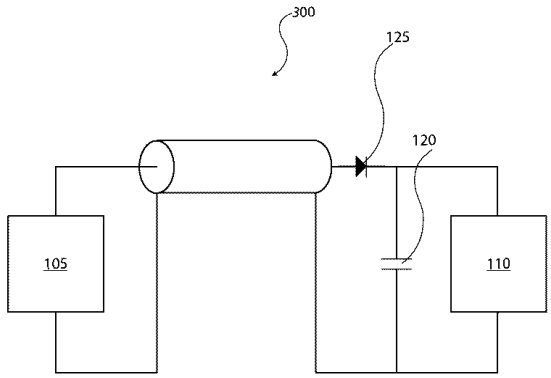
도면1



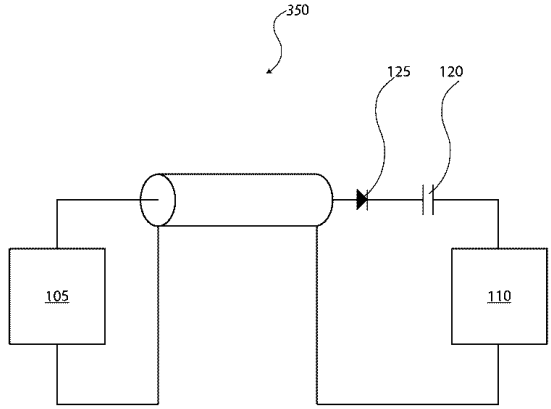
도면2



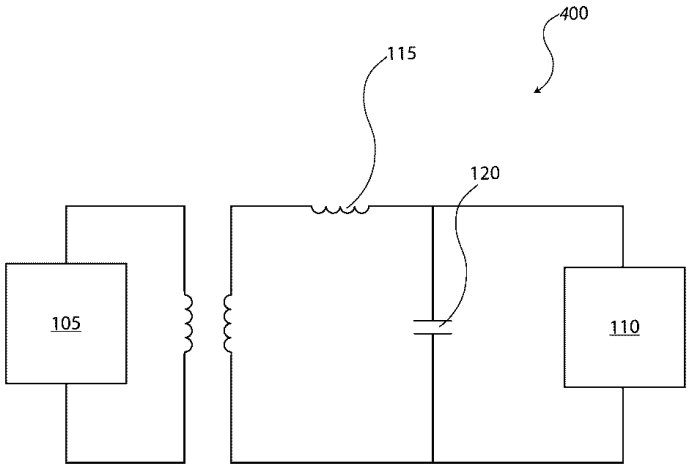
도면3a



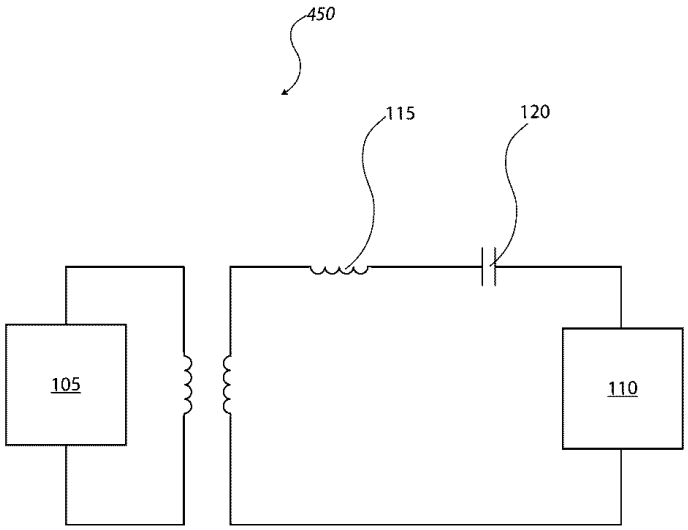
도면3b



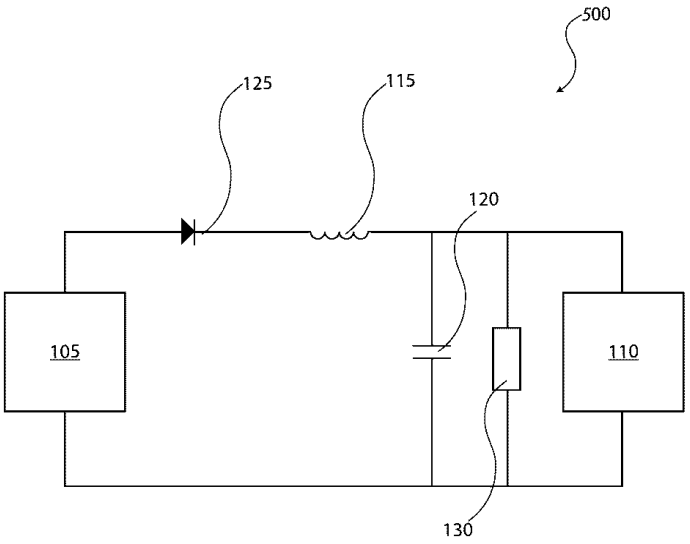
도면4a



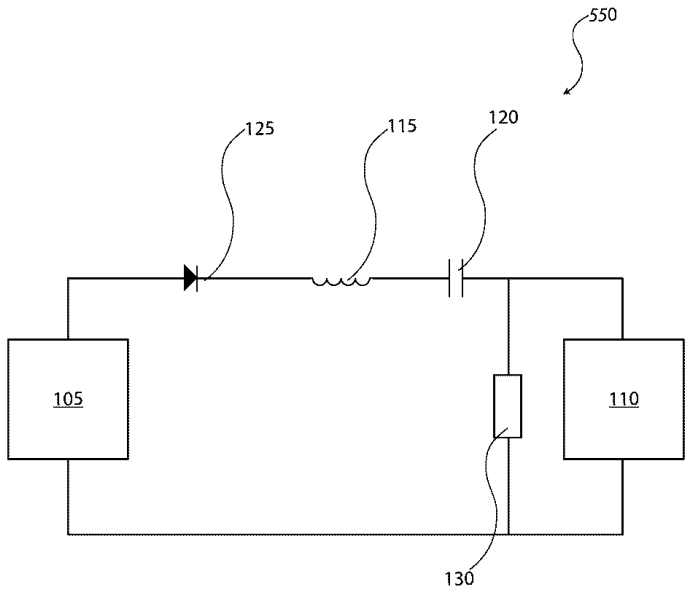
도면4b



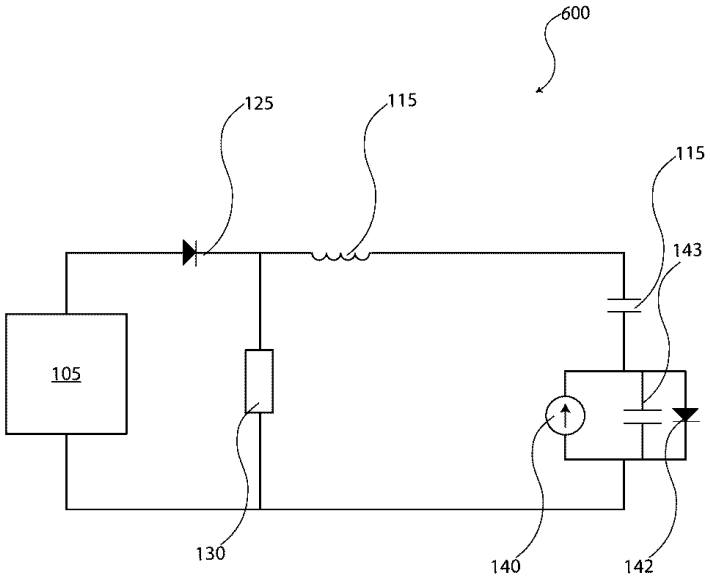
도면5a



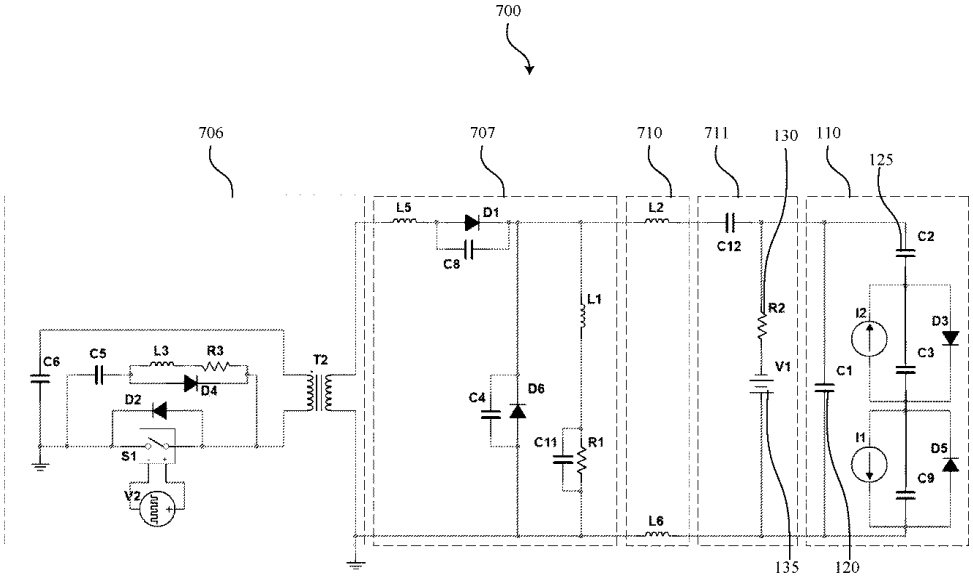
도면5b



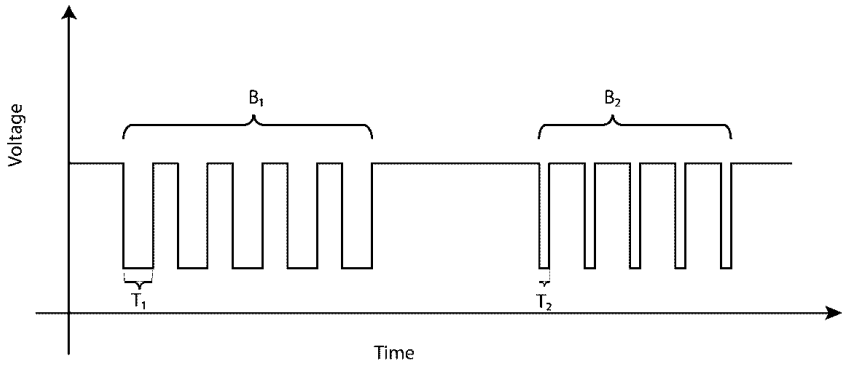
도면6



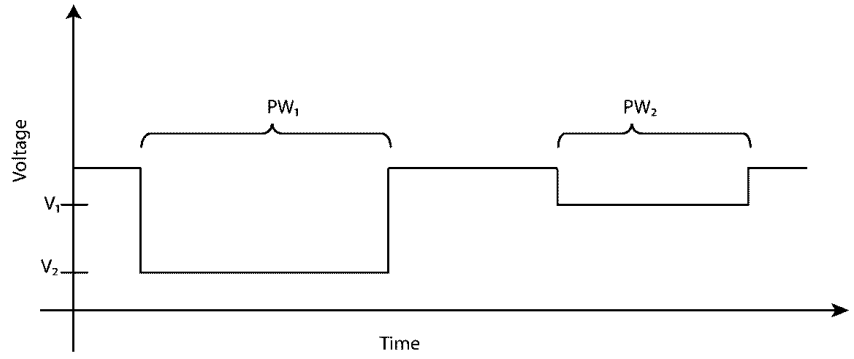
도면7



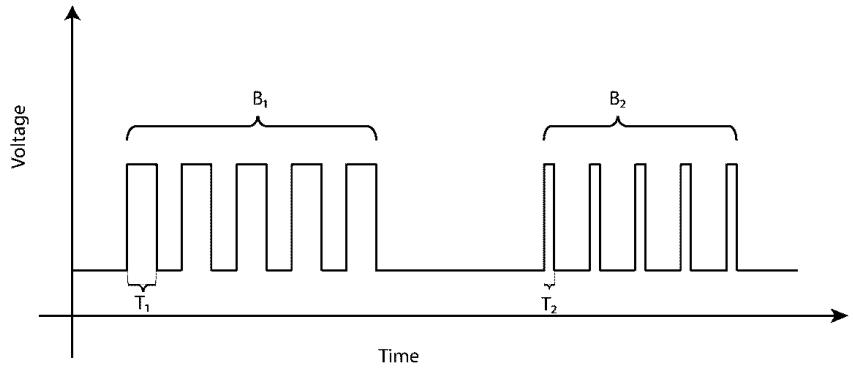
도면8a



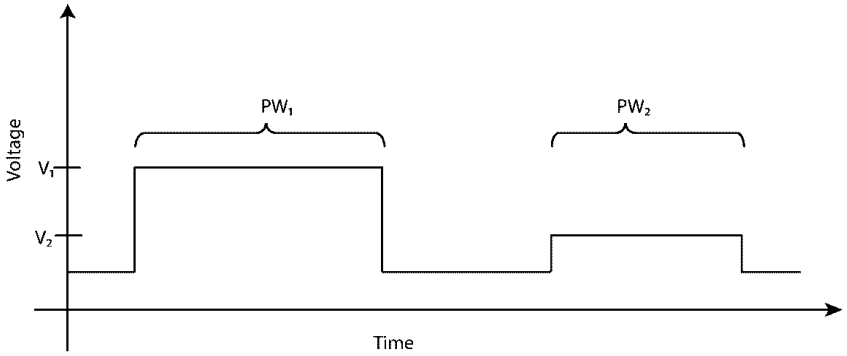
도면8b



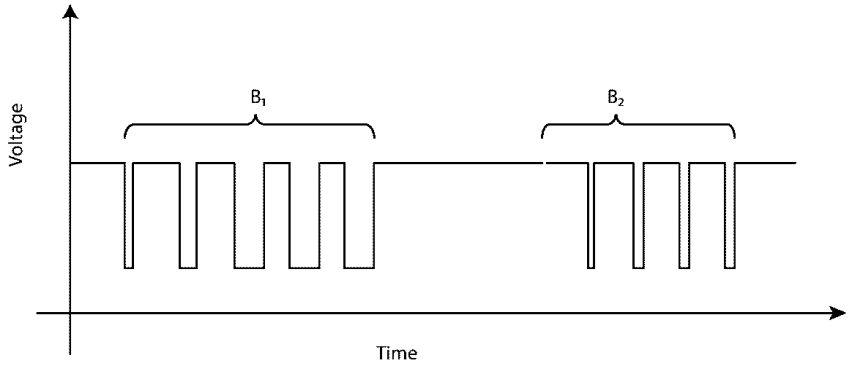
도면8c



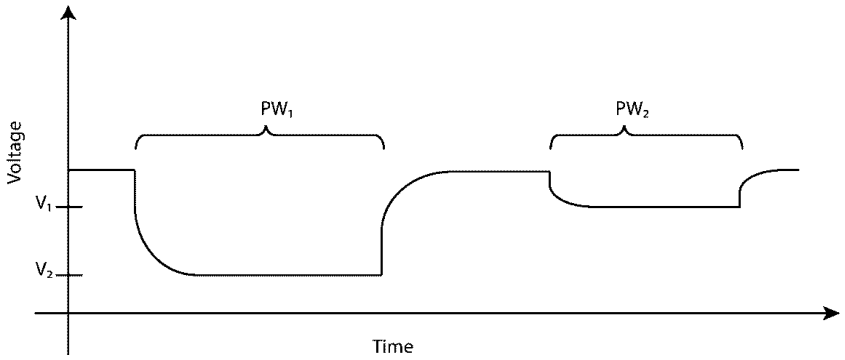
도면8d



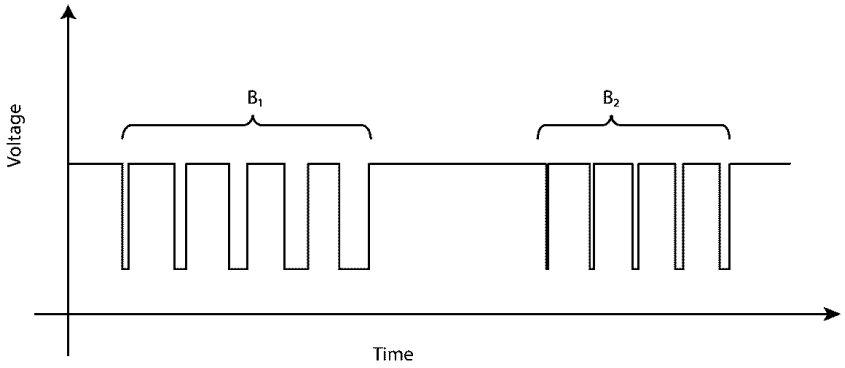
도면9a



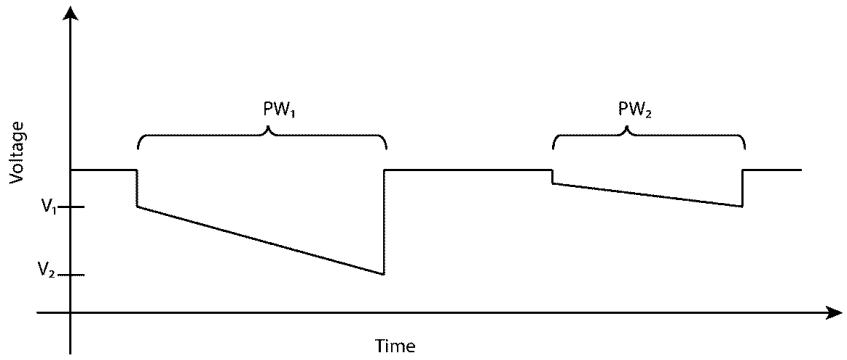
도면9b



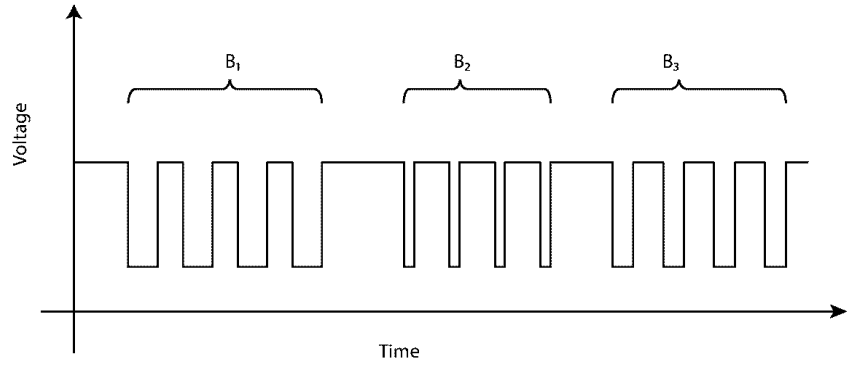
도면10a



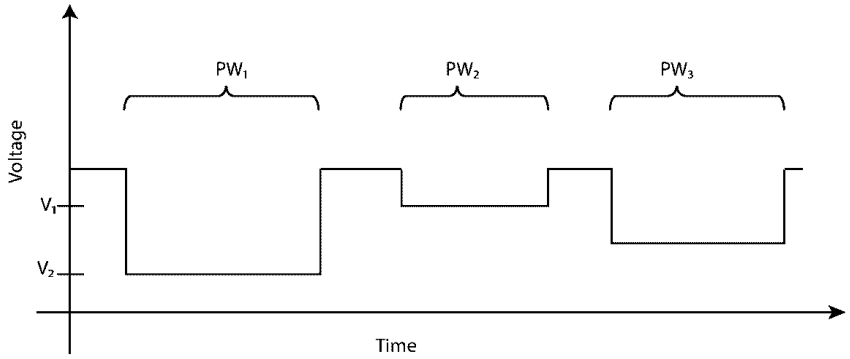
도면10b



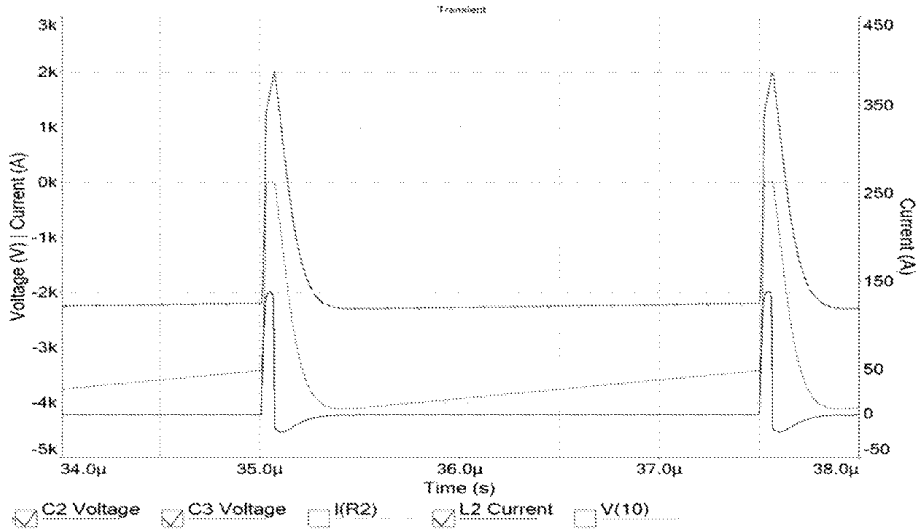
도면11a



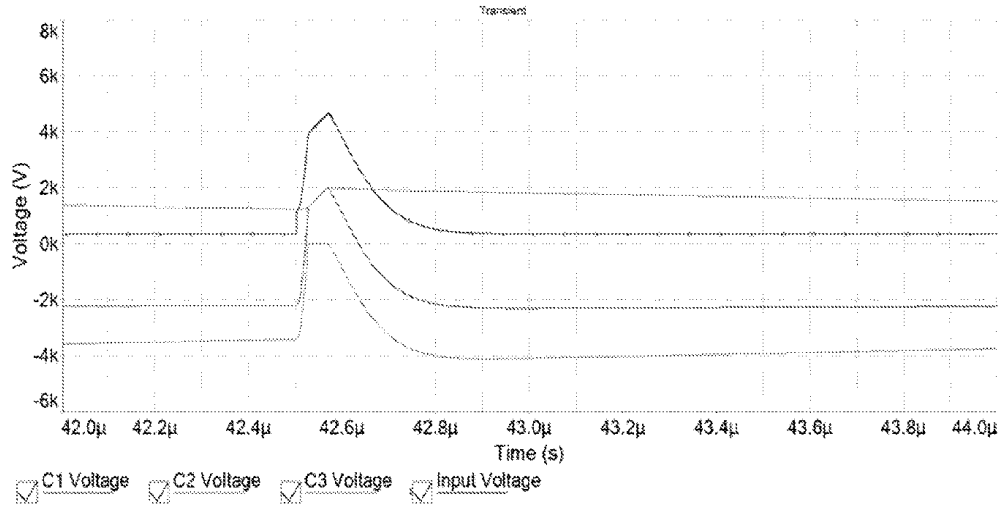
도면11b



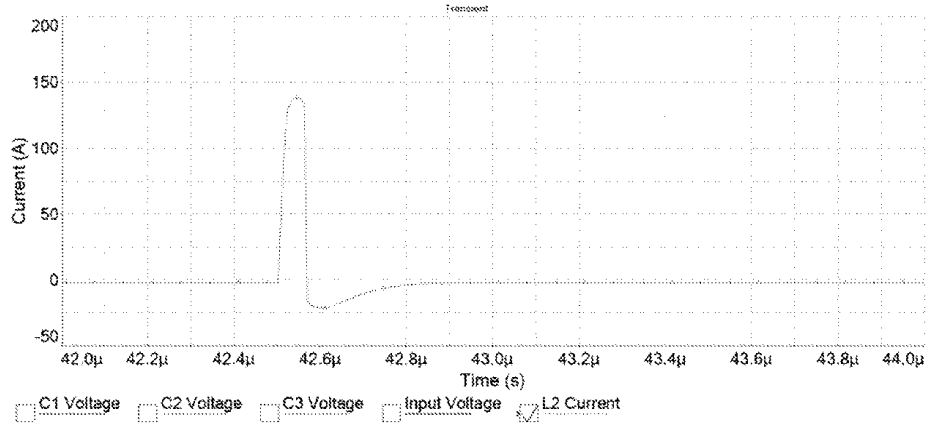
도면12



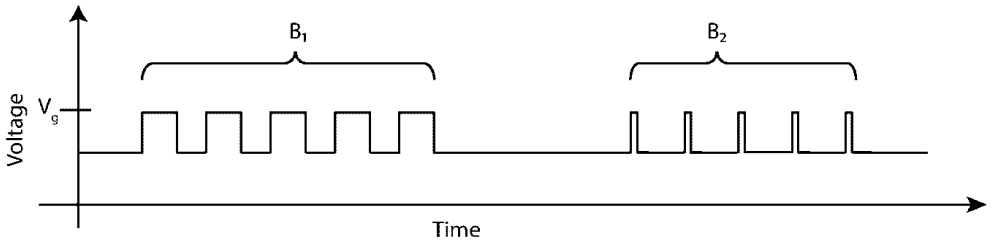
도면13



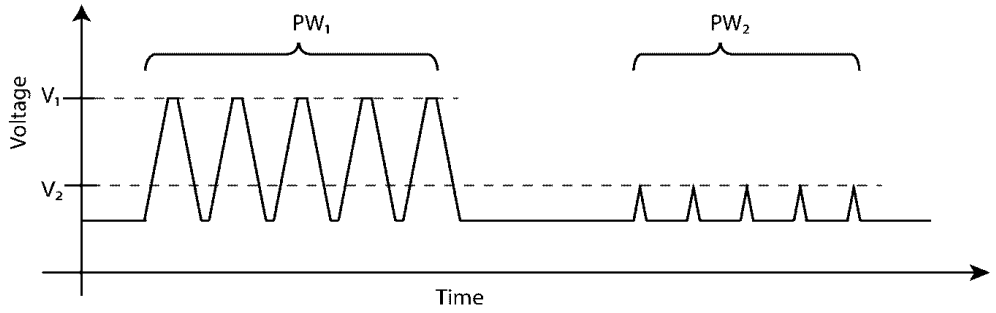
도면14



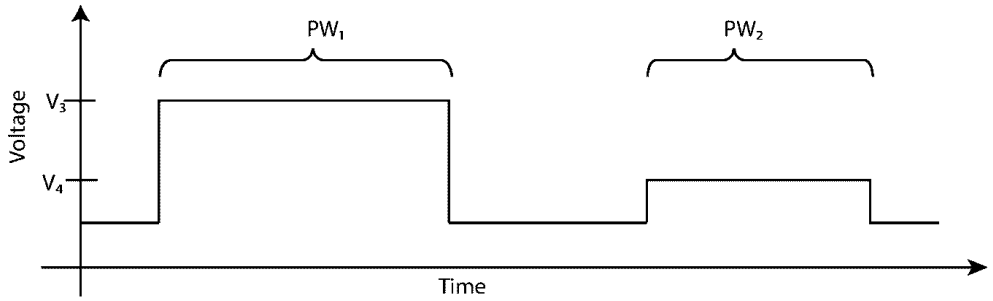
도면15a



도면15b



도면15c



도면15d

