



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년01월02일
 (11) 등록번호 10-1346609
 (24) 등록일자 2013년12월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01S 3/22 (2006.01) H01S 3/097 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2008-7004734
 (22) 출원일자(국제) 2006년07월12일
 심사청구일자 2011년07월07일
 (85) 번역문제출일자 2008년02월27일
 (65) 공개번호 10-2008-0033465
 (43) 공개일자 2008년04월16일
 (86) 국제출원번호 PCT/US2006/027015
 (87) 국제공개번호 WO 2007/021406
 국제공개일자 2007년02월22일
 (30) 우선권주장
 11/199,691 2005년08월09일 미국(US)
 11/323,604 2005년12월29일 미국(US)
 (56) 선행기술조사문헌
 US06590922 B2*
 US20020154668 A1
 US5017499 A
 US5023884 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
사이머 엘엘씨
 미국 캘리포니아 92127-2413 샌디에고 쏘민트 코
 트 17075
 (72) 발명자
자크 로버트 엔.
 미국 캘리포니아주 92129 샌디에고 셀본 레인
 7163
파트로 윌리엄 엠.
 미국 캘리포니아주 92064 포웨이 페드리자 درا이
 브 12634
브라운 다니엘 제이. 더블유.
 미국 캘리포니아주 92128 샌디에고 브루스터 코트
 11981
 (74) 대리인
송봉식, 정삼영

전체 청구항 수 : 총 13 항

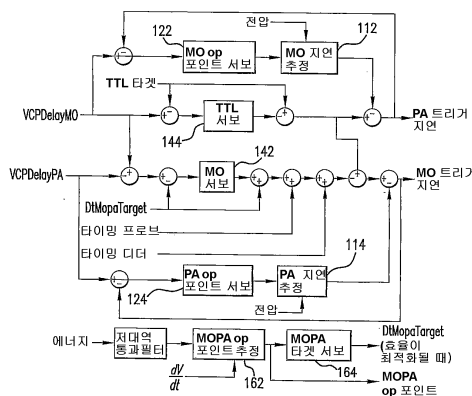
심사관 : 조성찬

(54) 발명의 명칭 방전 타이밍을 통한 멀티 챔버 가스 방전 레이저 대역폭제어 시스템 및 그 방법

(57) 요약

라인 협대화된 시드 펄스를 증폭 레이저 시스템부로 제공하는 제 1 라인 협대화된 오실레이터 레이저 시스템부를 구비하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법 및 장치로서, 상기 방법 및 장치는 대역폭이 아닌 제 1 레이저 시스템 동작 파라미터와 타이밍 차이 사이의 관계를 정의하는 타이밍 차 곡선과 및 원하는 타이밍 차이를 정의하는 곡선상의 원하는 포인트를 활용하는 것을 포함하고, 여기서 곡선상의 각 고유한 동작 포인트는 각각의 대역폭 값에 대응하고; 곡선상의 원하는 포인트에서의 타이밍 차이로부터 곡선상의 실제 동작 포인트까지의 실제 오프셋을 판정하고; 실제 오프셋과 원하는 대역폭에 해당하는 원하는 오프셋 사이의 오차를 판정하고; 실제 오프셋과 원하는 오프셋 사이의 오차를 제거하기 위해 발사 차동 타이밍을 변형하는 것을 포함한다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

- 청구항 16
삭제
- 청구항 17
삭제
- 청구항 18
삭제
- 청구항 19
삭제
- 청구항 20
삭제
- 청구항 21
삭제
- 청구항 22
삭제
- 청구항 23
삭제
- 청구항 24
삭제
- 청구항 25
삭제
- 청구항 26
삭제
- 청구항 27
삭제
- 청구항 28
삭제
- 청구항 29
삭제
- 청구항 30
삭제
- 청구항 31
삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

라인 협대화된 시드 펄스를 제 2 이득 생성기 레이저 시스템부로 제공하는 제 1 라인 협대화된 오실레이터 레이저 시스템부를 구비하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법으로서, 여기서 제 1 레이저 시스템부에서의 전극 사이의 전기 방전과 제 2 레이저 시스템부에서의 전극 사이의 전기 방전 사이의 차동 발사 시간의 선택이 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템으로부터의 레이저 출력 광 펄스의 대역폭에 영향을 주는, 대역폭 제어를 위한 방법에 있어서,

측정된 대역폭과 타겟 대역폭의 함수로서 타겟동작 포인트를 조정하는 단계;

현재 차동 발사 시간과 기준 차동 발사 시간의 차이를 추정함으로써 현재 동작 포인트를 추정하는 단계; 및

상기 현재 동작 포인트를 상기 타겟 동작 포인트로 드라이브하기 위해 현재 동작 포인트와 타겟 동작 포인트의 함수로서 차동 발사 시간을 조정하는 단계;를 포함하고 있으며,

상기 현재 동작 포인트를 추정하는 단계는 레이저 시스템 동작 파라미터의 가용한 측정치로부터 쉽게 연산가능

하거나 또는 추정가능한 함수로서, 또한 예측된 동작 범위에 대해 차동 발사 시간에 대해 단조인 함수를 사용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 45

제 44 항에 있어서,

현재 동작 포인트와 원하는 동작 포인트의 함수로서 할로겐 가스 주입을 조정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 46

제 44 항에 있어서,

원하는 동작 포인트를 타겟 대역폭, 레이저 시스템 듀티 사이클 및 레이저 시스템 출력 펄스 에너지 중 적어도 하나의 함수로서 결정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

제 44 항에 있어서,

일정한 전압에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수(dE/dt)와 추정된 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지(E) 중 적어도 하나의 함수로서 현재 차동 발사 시간과 기준 차동 발사 시간 사이의 차이를 추정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 56

삭제

청구항 57

제 55 항에 있어서,

상기 dE/dt 는 디더신호를 상기 차동 발사 시간에 적용하고, 실제 차동 발사 시간과 레이저 출력 펄스 에너지와 디더의 상호관계의 각각의 비율을 취함으로써 추정되는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

제 44 항에 있어서,

일정한 에너지에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압의 도함수와, 레이저 시스템 방전 전압에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수와, 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지 중 적어도 하나의 함수로서, 현재 차동 발사 시간과 기준 차동 발사 시간 사이의 차이를 추정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 64

삭제

청구항 65

제 63 항에 있어서,

디더 신호를 차동 발사 시간에 적용함으로써 일정한 에너지에서 차동 발사 시간에 대해 레이저 시스템 방전 전압의 도함수(dV/dt)를 추정하는 단계;

디더 신호의 스케일링된 버전을 전압에 적용하는 단계;

상기 스케일을 에너지 오차를 최소화하도록 적용하는 단계; 및

스케일 팩터로서 상기 dV/dt 를 취하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 66

삭제

청구항 67

제 44 항에 있어서,

일정한 에너지에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압의 도함수와 현재 동작 포인트에서의 레이

저 시스템 출력 펄스 에너지 중 적어도 하나의 함수로서, 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 68

삭제

청구항 69

제 67 항에 있어서,

현재 동작 포인트를 $(1/E) \cdot dV/dt$ 로 추정하는 단계를 더 포함하고, 여기서 E는 레이저 시스템 출력 펄스 에너지이고, dV/dt 는 현재 동작 포인트에서 일정한 에너지의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압의 도함수인 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 70

삭제

청구항 71

삭제

청구항 72

삭제

청구항 73

제 67 항에 있어서,

디더 신호를 차동 발사 시간에 적용함으로써 일정한 에너지에서 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압의 도함수(dV/dt)를 추정하는 단계;

디더 신호의 스케일링된 버전을 전압에 적용하는 단계;

상기 스케일을 에너지 오차를 최소화하도록 적용하는 단계; 및

스케일 팩터로서 상기 dV/dt 를 취하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 74

삭제

청구항 75

제 44 항에 있어서,

일정한 전압에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수와 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지 중 적어도 하나의 함수로서, 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 76

삭제

청구항 77

제 75 항에 있어서,

현재 동작 포인트의 추정 단계는 관계식 $(1/E) \cdot dE/dt$ 를 활용하는 단계를 포함하고, 여기서 E는 레이저 시스템 출력 펄스 에너지이고, dE/dt 는 현재 동작 포인트에서 일정한 전압에서 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수인 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위

한 방법.

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

청구항 81

삭제

청구항 82

삭제

청구항 83

삭제

청구항 84

삭제

청구항 85

제 44 항에 있어서,

상기 타겟 동작 포인트를 측정된 대역폭과 타겟 대역폭 사이의 오차의 함수로서 조정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법.

청구항 86

삭제

청구항 87

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 멀티-챔버 라인 협대역 가스 방전, 예를 들면 엑시머, 레이저 시스템에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 예를 들면, 248nm의 KrF, 193nm의 ArF, 또는 157nm의 F2와 같은, 예를 들면, 엑시머 레이저 기술로 그리고 현재 이물질 기술과 같은 리소그래피에 대해 활용하는, 예를 들면 집적회로 제조 포토리소그래피 공정에서 사용하기 위한 고 파워 레이저광원에 대해, 예를 들면 60와트 이상, 원하는 포토리소그래피 쓰루풋을 유지하기위해 200와트까지도, 레이저 출력 파워가 필요하게 되었다. 과거에, 예를 들면 집적회로 포토리소그래피 사업의 필요에 부합하기 위한 파워에서의 증가는 상대적으로 일정하게 유지하는 펄스당 에너지와, 더 높은 평균 출력 와트수를 생성하는 더 높은 반복률로, 펄스 반복률을 지속해서 증가시키는 것을 통해 이루어졌다. 예를 들면, KrF와 ArF 모두에서, 스펙트럼 파워에 대한 요구는 100W/pm 또는 최근에는 그 이상으로 증가하였다.

[0003] 따라서 1년여까지의 일반적인 레이저 시스템은 최대 출력 파워에 대해 약 4kHz에서 동작되고, 예를 들면 엑시머 가스 방전 레이저 시스템과 같은, 단일 챔버 라인 협대역 가스 방전에는 60와트의 더 높은 반복률에 달하는 것

이 필요하다. 50%까지, 즉 6kHz까지 펄스 반복률을 증가시키는 때 다수의 공학적 문제를 해결하기 위해 다수의 작업이 진행되고 있으며, 60 플러스 와트를 얻는 문제는, 예를 들면 마스터 오실레이터("MO") 및 파워 증폭기("PA"), 더불어 "MOPA" 레이저 시스템/아키텍처를 구비한, 멀티-챔버 구성을, 출원인의 양수인인 Cymer, Inc.가 일년여 전에 도입함으로써 해답이 되었다. 파워 오실레이터("PO")와 같은 다른 증폭기 구성을 가진 유사한 마스터 오실레이터 시드 공급 레이저 시스템이 또한 사용될 수 있다. 그러나, 간략화의 목적으로, 명시적으로 표시되지 않는다면, MOPA라는 용어, 또는 MO 및 PA라는 용어는 개별적으로, 예를 들면 상기의 예에서는 증폭기능을 수행하고 이러한 증폭 프로세스에 대해 튜닝되고, 다소 상기 마스터 오실레이터 섹션에서 최적화된 특정한 빔 품질 파라미터에 편중된, 임의의 시드 펄스를 수신하는 증폭부에 의해 상기 시드 펄스의 증폭에 이어지는 빔 파라미터 품질을 최적화하는 오실레이터 시드 펄스 생성부를 포함하는, 예를 들면 2 챔버 레이저 시스템과 같은, 멀티-챔버 레이저 시스템을 의미하는 것으로 번역되어야 한다.

[0004] 상기 마스터 오실레이터는 예를 들면 6XXX 또는 7XXX 시리즈 레이저 시스템 설계하에서 출원인의 양수인에 의해 판매되는 것과 같은, 다소 일반적인 단일 챔버 레이저 오실레이터 캐비티를 형성한다. 그러나, MOPA 또는 MOPO 구성에서의 마스터 오실레이터는, 부가된 라인 협대화 광학기기, 예를 들면 5-10mJ의 고 파워 출력으로, 동일한 레이저 챔버에서 또한 산출하려는 시도에 기인한 상기 오실레이터 레이저 시스템 전반에서의 과도한 에너지 흡수에 대한 걱정없이, 대역폭 최적화 및 중심 파장 제어, 및/또는 다른 빔 파라미터 품질 최적화와 같은 것들에 대해 특정하게 미세한 튜닝이 될 수 있다. 이러한 손실들은, 특히 나노미터로 측정된, 예를 들면 엑시머 레이저와 같은, 가스 방전 레이저의 일반적으로 상대적으로 넓은 대역의 출력이 약 피코미터 이하의 출력 대역폭으로 감소되는 소위 라인 협대화 패키지("LNP")에서 발생할 수 있다. 또한, 그런 다음 증폭부는, MO의 이러한 출력의 증폭이 레이징 이득 매체를 통하여, 예를 들면 PO 구성에서 레이징 발진을 여기하기 위해, 예를 들면 상기 MO의 출력이 상기 이득 매체를 통과하는 시간 동안, 예를 들면 상기 PA의 전극 사이에서 생성되기 때문에 상기 MO의 이러한 출력의 증폭에 대해 최적화될 수 있다. 이것은, 4kHz에서 펄스당 약 15mJ 이상의 출원인의 양수인의 XLA 200시리즈 MOPA 구성의 레이저 시스템으로, 예를 들면 ArF에 대해 60와트 출력의 레이저 파워를, KrF에 대해서는 더 높은 펄스 에너지와 예를 들면 80 플러스 와트의 출력 파워를, 248nm(KrF) 또는 193nm(ArF) 또는 157nm(F₂)에서의 결과적인 에너지 밀도 하에서 광학적 수명까지 더 구동되는 제한을 가지는 결과를 생성할 수 있다.

[0005] 예를 들면, 빔 파라미터를 최적화하기 위한 이러한 기능과 함께, 예를 들면 MO에서의 대역폭과 예를 들면 PA와 같은 증폭부에서의 파워 출력은, 예를 들면 포토리소그래피 스캐너로부터 트리거 신호를 수신한 후에 MO에서의 전극으로 전기 에너지를 공급하는 타이밍과, 그런 다음 MO에서의 가스 방전 후에 제어된 시간에 PA의 전극으로 전기 에너지를 공급하는 타이밍을 포함하는, 예를 들면 MOPA 아키텍처와 같은, 멀티 챔버로부터 발생하는 예를 들면, 대역폭 안정성, 도우즈 제어 및 안정성 등에 대한 고객의 요구사항을 끊임없이 만족시켜야 하는 공학적 난제에 도달하게 된다.

[0006] 출원인은 예를 들면 상술한 바와 같은 제시된 요구사항을 처리하기 위한 멀티-챔버 레이저 제어 시스템에 대한 특정한 제어 피처를 제시한다.

발명의 상세한 설명

[0007] 라인 협대화된 시드 펄스를 제 2 증폭 레이저 시스템부로 제공하는 제 1 라인 협대화된 오실레이터 레이저 시스템부를 구비하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법 및 장치로서, 여기서 제 1 레이저 시스템부에서의 시드 펄스의 생성과, 증폭 레이저 시스템부에서의 레이저 이득 매체의 생성 사이의 차동 발사 시간의 선택이 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템으로부터의 레이저 출력 광 펄스의 대역폭에 영향을 주는 상기 방법 및 장치는, 측정된 대역폭 및 대역폭 타겟의 함수로서 차동 발사 시간을 조정하는 단계; 현재 동작 포인트 추정 단계; 및 현재 동작 포인트 및 원하는 동작 포인트의 함수로서 할로젠 가스 주입을 조정하는 단계를 포함하는 것으로 개시된다. 상기 현재 동작 포인트 추정 단계는 동작의 예측된 범위에 대한 차동 발사 시간에 대해 단조인 레이저 시스템 동작 파라미터의 가용한 측정치로부터 쉽게 연산가능하거나 또는 추정가능한 함수를 사용하는 것을 포함한다. 상기 원하는 동작 포인트는 타겟 대역폭, 레이저 시스템 듀티 사이클 및 레이저 시스템 출력 펄스 에너지 중 적어도 하나의 함수로서 판정된다. 상기 현재 동작 포인트 추정 단계는 현재 차동 발사 시간과 기준 차동 발사 시간 사이의 차이를 활용하는 것을 포함한다. 상기 방법 및 장치는 대역폭 오차의 함수로서 차동 발사 시간을 조정하는 것을 포함한다. 상기 방법 및 장치는 레이저 시스템 효율을 최적화하기 위해 기준 차동 타이밍을 선택하는 것을 포함한다. 상기 방법 및 장치는 일정한 전압에서의 차동 발사 시간에 대해 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수와, 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에

너지 중 적어도 하나의 함수로서 현재 차동 발사 시간과 기준 차동 발사 시간 사이의 차이를 추정하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 일정한 에너지에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압의 도함수와, 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 방전 전압에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수와 레이저 시스템 출력 펄스 에너지 중 어느 하나의 함수로서 현재 차동 발사 시간과 기준 차동 발사 시간 사이의 차이를 추정하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 일정한 에너지에서 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압의 도함수와 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지 중 적어도 하나의 함수로서 상기 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 현재 동작 포인트를 $(1/E) \cdot dV/dt$ 로 추정하는 단계를 포함하고, 여기서 E는 레이저 시스템 출력 펄스 에너지이고, dV/dt 는 현재 동작 포인트에서 일정한 에너지의 차동 발사 시간에 대해 레이저 시스템 방전 전압의 미분이다. 상기 방법 및 장치는 일정한 전압에서 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수와 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지 중 적어도 하나의 함수로서 상기 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는, 관계식 $(1/E) \cdot dE/dt$ 를 활용하는 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 포함하고, 여기서 E는 레이저 시스템 출력 펄스 에너지이고, dE/dt 는 현재 동작 포인트에서의 일정한 전압의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수이다. dE/dt 는 디더 신호를 차동 발사 시간에 적용함으로써 추정되고, 디더, 레이저 출력 펄스 에너지 및 실제 차동 발사 시간을 활용하여 dE/dt 를 연산한다. dE/dt 는 디더 신호를 차동 발사 시간에 적용하고, 디더와 레이저 출력 펄스 에너지의 상호 관계 및 실제 차동 발사 시간의 각각의 비율을 취함으로써 추정된다. dE/dt 는 dE/dV 및 dV/dt 의 곱으로부터 판정된다. 상기 방법 및 장치는 디더 신호를 차동 발사 시간에 적용함으로써 일정한 에너지에서 차동 발사 시간에 대해 레이저 시스템 방전 전압의 도함수를 추정하는 단계; 디더 신호의 스케일링된 버전을 전압에 적용하는 단계; 에너지 오차를 최소화하도록 스케일을 적용하는 단계; 및 스케일 팩터로서 dV/dt 를 취하는 단계를 포함한다. 원하는 동작 포인트는 레이저 시스템 효율을 최대화하는 것을 포함한다. 상기 장치 및 방법은 현재 동작 포인트와 원하는 동작 포인트 사이의 차이의 함수로서 할로겐 가스 주입 크기를 조정하는 단계를 포함한다. 라인 협대화된 시드 펄스를 제 2 증폭 레이저 시스템부로 제공하는 제 1 라인 협대화된 오실레이터 레이저 시스템부를 구비하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법 및 장치로서, 여기서 제 1 레이저 시스템부에서의 시드 펄스의 생성과, 증폭 레이저 시스템부에서의 레이저 이득 매체의 생성 사이의 차동 발사 시간의 선택이 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템으로부터의 레이저 출력 광 펄스의 대역폭에 영향을 주는 상기 방법 및 장치는, 측정된 대역폭 및 타겟 대역폭의 함수로서 타겟 동작 포인트를 조정하는 단계; 현재 동작 포인트 추정 단계; 타겟 동작 포인트로 현재 동작 포인트를 드라이브하기 위해 현재 동작 포인트와 타겟 동작 포인트의 함수로서 차동 발사 시간을 조정하는 단계; 및 현재 타겟 동작 포인트 및 원하는 타겟 동작 포인트의 함수로서 할로겐 가스 주입을 조정하는 단계를 포함하는 것으로 개시된다. 상기 현재 동작 포인트 추정단계는 동작의 예측된 범위에 대해 차동 발사 시간에 대해 단조인 레이저 시스템 동작 파라미터의 가용한 측정치로부터 쉽게 연산가능하거나 추정가능한 함수의 사용을 포함한다. 상기 현재 동작 포인트의 추정 단계는 현재 차동 발사 시간과 기준 차동 발사 시간 사이의 차이를 활용하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 일정한 에너지에서 차동 발사 시간에 대해 레이저 시스템 방전 전압의 도함수와 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지 중 적어도 하나의 함수로서 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 디더 신호를 차동 발사 시간에 적용함으로써 일정한 에너지에서 차동 발사 시간에 대해 레이저 시스템 방전 전압의 도함수를 추정하는 단계; 디더 신호의 스케일링된 버전을 전압에 적용하는 단계; 상기 스케일을 에너지 오차를 최소화하도록 적응시키는 단계; 및 스케일 팩터로서 dV/dt 를 취하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 일정한 전압에서 차동 발사 시간에 대해 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수와 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지 중 적어도 하나의 함수로서 상기 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 포함한다. 시간에 대한 상기 레이저 시스템 동작 에너지의 미분은 디더 신호를 상기 차동 발사 시간에 적용하고, 디더와 레이저 출력 펄스 에너지의 상호관계와, 실제 차동 발사 시간의 각각의 비율을 취함으로써 추정된다. 시간에 대한 상기 레이저 시스템 동작 에너지의 미분은 디더 신호를 차동 발사 시간에 적용하고, 디더, 레이저 출력 펄스 에너지 및 실제 차동 발사 시간을 활용하여 dE/dt 를 연산함으로써 추정된다. 시간에 대한 상기 레이저 시스템 동작 에너지의 미분은 dE/dV 와 dV/dt 의 곱으로부터 판정된다. 상기 원하는 동작 포인트는 레이저 시스템 효율을 최대화하는 것을 포함한다.

실시예

[0033] 하나 이상의 XLA XXX(1XX, 2XX, 3XX 등)으로 현재 지정된 출원인의 양수인의 레이저 시스템으로 사용되는 것과 같은, 본 발명의 일실시예의 측면으로 사용할 수 있는 에너지 및 타이밍 컨트롤러를 위한 동작 원리에 따라, 본 출원서는 적절한 알고리즘을 통한 데이터 흐름 및 타이밍과, 또한 알고리즘 설계 자체와 함께, 예를 들면 에너지 및 타이밍 컨트롤러 설계에 연관된 시스템 레벨 요구조건과, 예를 들면 에너지 및 타이밍 컨트롤러가 전체

멀티-챔버 레이저 시스템에 어떻게 들어맞는지를 기술한다.

- [0034] 하기의 두문자 약자가 본 출원서에서 활용된다: 아날로그-디지털 컨버터("ADC"), 발사 제어 회로("FCC"), 발사 제어 프로세서("FCP"), 인터넷 서비스 루틴("ISR"), 예를 들면 라인 협대화 ("MSD")를 포함하는 마스터 오실레이터-파워 증폭기("MOPA") 또는 마스터 오실레이터-파워 오실레이터("MOPA") 시스템에서의 레이저 공진기와 같은, 마스터 오실레이터("MO"), 포토디텍터 모듈("PDM"), 공진 충전기("RC"), 신호 처리 그룹("SPG) 및 타이밍 에너지 제어 모듈("TEM").
- [0035] 상기 에너지 및 타이밍 컨트롤러의 목적은 예를 들면, 1500 내지 1875Hz의 펄스 반복률 동작으로부터의 펄스 버스트에서의 30 레이저 시스템 출력 광 펄스에 대해 0.3%의 에너지/조사량 안정성, 및 1875 내지 4000Hz 펄스 반복률 동작에서의 약 16ms의 기간 동안 0.3%의 에너지/조사량 안정성과 같은 일정한 동작 파라미터 요구조건을 레이저가 만족시키도록 돕는 것이다. 이러한 조사량 안정성 요구조건은, 예를 들면 ELS 6XXX 또는 7XXX 레이저 시스템, 즉 5mJ 레이저 내지 10mJ-15mJ 까지 변하는 플러스 시스템과 같은, 예를 들면 이전 출원인의 양수인의 단일 챔버 레이저 시스템으로부터의 확장과 같은, 예를 들면 일련의 정의된 시간창 및/또는 정의된 펄스의 수에 대한 집적된 출력에서의 요구되는 정확성, 및 임의의 조사량 안정성 요구조건을 만족시키기 위해 필요한 창 내에서의 선택된 최소수의 펄스를 나타낸다. 조사량 규격에 대한 창의 크기는 예를 들면 1500Hz 내지 1875Hz, 30 펄스에서 일정하고, 대략 예를 들면, (a)사다리꼴의 조사량 창이 사용되고, (b) 1000 버스트에 대해 최악의 전체 창의 99.7%의 컴플라이언스(최대 및 최소)가 요구되는 4kHz에서의 64 펄스에 대한 펄스율로 전형적으로 증가한다.
- [0036] 동시에, 이러한 제어 시스템은, 예를 들면 집적 회로 리소그래피 스캐너로부터의 트리거 신호를 수신할 때, 예를 들면 외부의 트리거 신호 제어 하에서 적절하게 동작하도록 일정한 타이밍 요구조건, 즉, 예를 들면, 약 ± 0.1msec의 지정된 단기간 지터, 및 약 ±1msec의 지터에서의 레이저에서 레이저로의 변화를 가지고, 예를 들면 약 ±10-50nsec와 비슷한, 1 달의 드리프트의 장기간 지터 변화를 가진, 약 100 내지 150μs의 외부 트리거에서 광출력까지의 시간, 및 예를 들면 약 ±10nsec의 단기간: 드리프트/지터 및 약 ±10nsec의, 예를 들면 챔버 수명 동안의 장기간 드리프트를 가진, 약 500ns 내지 100ns와 비슷한 광출력에서 싱크 아웃까지의 시간과 같은 요구조건을 만족시켜야한다. 그것은 또한, 예를 들면 발사 제어 패널("FCP")에 대해, 일정한 다른 타이밍 요구조건, 예를 들면, (1) 약 20μs 오더의 (펄스 트리거가 수신된 때로부터 공진 충전기(RC)로의 명령이 상기 발사 제어 회로(FCC)로 기록된 때 까지의 시간의) 에너지 전방 공급 연산 창, (2) 약 75μs 오더의 (펄스 트리거가 수신된 때로부터 타이밍 및 에너지 모듈(TEM)에 대한 트리거 지연이 FCC에 기록되어야만 하는 때 까지의 시간의) ("CSC") 전방 공급 연산 창, (3) 약 200μs 오더의 (TEM으로부터 수신된 에너지 데이터가 상기 FCC로부터 판독된 때로부터 RC 전압이 FCC로 기록되어야만 하는 때까지의 시간의) 에너지 피드백 연산 창, 및 (4) 약 180μs의 (TEM으로부터 수신된 타이밍 데이터가 상기 FCC로부터 판독된 때로부터 상기 TEM에 대한 트리거 지연이 FCC로 기록되어야만 하는 때까지의 시간의) CSC 전방 공급 연산 창과 같은 요구조건을 만족시켜야한다.
- [0037] 예를 들면 에너지 및 타이밍 컨트롤러(22)와 상기 레이저 타이밍 및 에너지 제어 시스템(20)의 다른 엘리먼트 사이의 관계를 도시하는, 예시적인 레이저 타이밍 및 에너지 제어 시스템(20)을 도시하는, 예시적인 시스템 아키텍처가 도 1에 도시된다. 상기 에너지 및 타이밍 컨트롤러(22)는 레이저 타이밍 및 에너지 제어 시스템(20)이 부품인 발사 제어 프로세서(FCP)(도시되지 않음) 상에 상주하는 소프트웨어를 포함한다. 상기 에너지 및 타이밍 컨트롤러(22)는 발사 제어 회로(FCC)(24)를 통해 타이밍 및 에너지 제어 시스템(20)에서의 서브-시스템의 잔여부분과 통신할 수 있다. 상기 FCC(24)는 타이밍 및 에너지 메트롤러지 모듈("TEM")(26), 공진 충전기("RC")(28), 및 커스터머 인터페이스(32)와 통신한다.
- [0038] 상기 FCC(24)는 예를 들면, 통신선(44)을 통해 에너지 및 타이밍 컨트롤러(20)로부터 TEM(26)으로 MO 및 PA 지연 명령을 전송한다. 상기 TEM(26)은 예를 들면, 솔리드 스테이트 펄스 파워 모듈("SSPPM")(30)에서의 솔리드 스테이트 스위칭 엘리먼트(도시되지 않음)를 통해 충전 커패시터(도시되지 않음)의 방전을 시작하기 위해, 통신선(36)을 통해 MO 및 PA 정류자 트리거를 펄스 파워 시스템(30)으로 더 전송한다. 전기 에너지에 따른 그 결과로 발생하는 가스 방전을 생성하는 각각의 트리거가 각각의 MO와 PA에서의 전극 사이에 레이징 가스 매체를 통해 각각의 전극 쌍에 제공된다. 이것은, 예를 들면, 상기 각각의 MO 및 PA 각각에 대한 SSPPM(30)에서의 수평 펄스 보상 및 변환 엘리먼트(도시되지 않음)에 대한 전기 에너지에 대한 비교적 동등한 시간 지연 이후이다.
- [0039] 라인(44) 상의 상기 MO 및 PA 지연 명령은 기준 트리거후에, 각각의 트리거를 발급하기 위한 고객 인터페이스로부터 라인(36) 상의 예를 들면 각각의 MO 및 PA SSPPMs(30)로의 기간이 얼마나 긴지를 상기 TEM(26)에 대해 지시하기 위해 사용될 수 있다. (예를 들면 MO 및 PA 각각에 대한 어느 하나가 될 수 있는) 상기 펄스 파워 시스

템(들)(30)은 차례로 라인(38) 상의 MO 및 PA V_{CP} 파형을 다시 TEM(26)으로 전송할 수 있다. 이러한 파형은, 예를 들면 MO 및 PA의 각각의 하나에서 전극을 가로질러 연결된 피킹 커패시터 V_{CP} 상의 전압이 영점을 교차할때, MO 발사 시간과 PA 발사 시간을 연산하기 위해 TEM(26)에 의해 사용되고, 또한 그 결과 상기 MO 및 PA의 각각의 하나의 레이징 가스 매체를 통한 방전의 각각의 초기 시간을 지시한다. 상기 TEM(26)은 예를 들면 기준 트리거에 대한, MO 및 PA V_{CP} 파형의 각각의 부호변환점(zero crossing)을 측정하고, 이러한 정보를 예를 들면 하나 이상의 포토 다이오드 모듈(PDM's)(50)로부터 수집된 에너지 데이터와 함께 라인(42)상의 FCC로 다시 전송할 수 있다. 상기 FCC는 또한 라인(52) 상의 에너지 및 타이밍 컨트롤러로부터 수신된 전압 명령을 라인(40)을 통해 공진 충전기(28)로 중계할 수 있다(이것은 예를 들면 MO에 대해 하나 PA에 대해 하나씩 2 개가 있다면, 각 펄스 파워 시스템 모듈(30)에 대해 하나씩 2개의 RCs(28)가 있을 수 있다). 상기 FCC는 또한 펄스 간격을 연산한다(라인(36) 상의 연속한 트리거 사이의 시간, 그리고 이것을 라인(52)을 통해 에너지 및 타이밍 컨트롤러(22)로 제공한다).

[0040] 단계의 시퀀스는 에너지 및 타이밍 알고리즘을 구현하기 위해, 예를 들면 도 2에 도시된 것과 같은 에너지 및 타이밍 컨트롤러(22)에 의해 실행된다. 상기 에너지 및 타이밍 컨트롤러는 예를 들면, (1) 트리거 펄스가 FCC(24)를 통해 커스터머 인터페이스(32)로부터 도달하거나, 또는 (2) 에너지 모드 또는 타겟 전압/에너지가 변하는 2가지 이벤트 중 어느 하나의 특정한 이벤트의 발생에 대응하여 실행한다. 도 2에는 예를 들면 발사 제어 프로세서 회로(24)를 위한 발사 시퀀스가 도시된다. 상기 프로세서는 예를 들면, 라인(34) 상의 트리거 펄스의 수신시 개시한다. 박스(60)에 의해 표시된 인터럽트 서비스 루틴은 트리거 펄스(34)를 처리하고, FCC의 메모리에 저장된 마지막 트리거 펄스의 이후의 시간을 검색하고, 또한 이러한 정보를 가지고 상기 공진 충전기(28)에서의 공진 충전기 디바이스 관리자(62)를 호출한다. 상기 디바이스 관리자(62)는 전압 검색 테이블로부터 전압을 검색하기 위해 트리거 사이의 기간을 이용한다. 상기 전압 검색 테이블은 상기 알고리즘의 전방 공급 부분에 의해 생성된다. 에너지 서보, 에너지 타겟 및 에너지 디더에 기인한 전압에 대한 기여가 FCC에서 이러한 값들에 추가되고, 그 결과값, 예를 들면 명령 전압 V_C 가, 피킹 커패시터 C_{CP} 와 전극을 가로질러 선택된 V 를 달성하기 위해 각각의 SSPPM 또는 단일 SSPPM에서의 충전 커패시터 C_0 를 충전하는 공진 충전기(28)에 대한 전압 명령의 형태로 라인(40)을 통해 상기 공진 충전기(28)로 전송된다. 2개의 RCs(28)가 있는 이벤트에서, 2 개의 고전압 명령이 MO에 대해 하나, PA에 대해 하나씩 연산되고, 전송된다.

[0041] 상기 FCC(24)는, 상기 전압 명령이 예를 들면 인터버스트 간격 또는 펄스 반복률 중 어느 하나인, 트리거 펄스(34)의 도착 타이밍에 연관된 팩터에 맞게 할 수 있기 위해, 상기 트리거 펄스(34)가 수신된 후 까지 상기 공진 충전기(28)로의 전압 신호(들)의 전송을 지연시킬 필요가 있다. 이러한 간격 및/또는 비율은 예를 들면 상기 SSPPM들에서의 온도에 영향을 주고, 그 결과 예를 들면 선택된 피킹 커패시터 전압과, 예를 들면 원하는 레이저 출력 에너지를 달성하기 위해 필요한 충전 전압에 영향을 준다. 이러한 전체 시퀀스는 예를 들면 C_0 의 충전을 제어하기 위한 공진 충전기(28)로의 전압 명령의 전송을 위한 $20\mu s$ 의 시한을 맞추는 것을 보장하기 위해 인터럽트 레벨에서 발생한다.

[0042] 전압 명령이 전송된 후, 전송된 값은 MO 및 PA 트리거 지연에 대한 보정에 적용하기 위해 사용될 수 있고, 이것은 ISR(60)이 종료할 수 있게된 후에 TEM(26)으로 전송될 수 있다. 레이저 발사후에 TEM(26)은 FCC(24)로 새로운 에너지 및 타이밍 데이터(42)를 전송하고, 여기서 에너지 및 타이밍 태스크(80)가 액티브하게 되고 에너지 및 타이밍 SPG(82)는 블록해제된다. 상기 태스크(80)는 예를 들면 메모리(84)로부터 이러한 데이터를 판독하는 SPG(82)를 호출하고, 그런 다음 샷 및 판단 SPG(90)로 연관된 샷 데이터(92)를 전송한다. 상기 SPG(82)는 예를 들면 연속한 샷에 대한 오차를 감소시키기 위해 시스템의 내부 상태를 조정하는 데에 사용되는 오차를 연산하기 위해 라인(42) 상에서 에너지 및 타이밍 데이터를 이용한다. 새로운 전압 검색 테이블(66), 에너지 서보 명령, 에너지 타겟 및 에너지 디더는 예를 들면, 에너지 및 타이밍 SPG에 의해 연산되고, 공진 충전기 디바이스 관리자(64)로 전송된다. 마지막으로, 전압의 함수로서의 MO 및 PA 지연을 연산하기 위한 새로운 값들이 예를 들면 라인(101)을 통해 TEM 디바이스 관리자(70)로 전송된다.

[0043] 에너지/전압 타겟 또는 에너지 모드 변화에 대한 이벤트의 시퀀스는 (1) FCC(24)에서의 발사 제어 관리자에 의해 레이저 제어 프로세서("LCP")(도시되지 않음)로부터의 변경 명령을 수신하는 단계, (2) 상기 에너지 및 타이밍 SPG(82)로 상기 변경을 전송하는 단계를 포함한다. 상기 SPG(82)는 그런 다음 상기 적절한 값(에너지 타겟, 에너지 모드, 또는 전압 명령 중 어느 하나)을 변경하기 위해, 예를 들면 라인(100) 상에서 RC 디바이스 관리자(64)를 호출한다.

- [0044] 상기 에너지 및 타이밍 컨트롤러(22)는 자신의 로직을 실행하기 위해 선택된 알고리즘을 사용한다. 상기 알고리즘은 레이저링의 개념을 채용하며, 그에 의해, 예를 들면, 상기 제어가 레이저로된 시스템에 적용된다. 제어의 각각의 연속한 레이어는 이전의 레이어(들)의 유효성을 감소시키지 않으면서 상기 이전의 레이어(들)에 의해 고정되지 않는 문제점들을 보정하도록 설계된다.
- [0045] 제어의 최고 레벨에는, 예를 들면 타이밍 제어와 에너지 제어의 2 가지 제어의 레이어가 있다. 상기 타이밍 제어는 레이저의 효율에 심하게 그리고 직접적으로 영향을 주기 때문에, 상기 타이밍 제어 루프는 주된 제어 루프로 설계되고 먼저 닫힌다. 상기 에너지 루프는 그런 다음 제 2 제어 루프로 설계되고, 타이밍 루프의 탑에서 닫힌다. 예를 들면 에너지 및 타이밍 루프 사이에서 발생하는 피드백 상호작용을 방지하기 위해, 피치가 그것을 전압 변화에 감도를 낮추게 하도록 타이밍 컨트롤러에 투입한다.
- [0046] 상기 타이밍 제어 루프는 실제로는 2 개의 목적으로 설계되는데, 우선 예를 들면 V_{CP} 변환점(crossing) 사이의 시간, $t_{V_{CP}PA} - t_{V_{CP}MO}$ 를 조정함으로써, MO 및 PA 발사 사이의 상대적 시간을 조정하고, 2 번째로는 TEM 기준 트리거와 PA V_{CP} 부호변환점 사이의 상대적 시간을 조정하는 것이 그것이다.
- [0047] MO와 PA 발사 사이의 시간을 최적 타겟에 근접하게 유지하는 것은, 예를 들면 레이저의 효율을 최대화시킬수 있다. 상기 시간에 지터를 감소시키는 것은 에너지 변동성을 감소시키고 그 결과 도우즈 제어를 개선할 수 있다. 예를 들면, V_{CP} 부호 변환점은 신호 증폭시 요동에 대해 덜 민감하게 되는 경향이 있기 때문에 V_{CP} 부호 변환점이 고속 광다이오드 임계 변환점 대신에 사용된다.
- [0048] 일반적으로, 본 목적은 예를 들면 나노초 또는 30ns±2-3ns의 지정된 타겟(일반적으로 예를 들면 30-40ns) 내의 MO 및 PA V_{CP} 변환점의 차이를 유지하도록 하는 것이다.
- [0049] 상기 레이저 싱크 신호는 TEM(26) 기준 트리거 이후에 고정된 듀레이션에 발사되고, 이것은 커스터머 트리거(34)후의 고정 듀레이션에 발사된다. 따라서, 기준 트리거로부터 PA 발사까지의 시간을 조절하는 것은 레이저 시스템이 싱크아웃 요구조건에 대해 발광하고 소등하기 위한 트리거를 만족하도록 돕는다.
- [0050] 타이밍 컨트롤러는 4개의 레이어, 즉, (1) 전압 효과를 보정하기 위한 주레이어, (2) 온도 효과를 위한 전압 보상을 조정하기 위한 제 2 레이어, (3) 펄스 변동에 대해 펄스를 보정하기 위한 제 3 레이어, 및 (4) 최적으로 드리프트에 대해 보상하기 위해 dtMOPA(예를 들면 t+ 차동 MO 및 PA 발사 시간, 예를 들면 $t_{V_{CP}PA} - t_{V_{CP}MO}$, 즉 V_{CP} 부호변환점에서의 차이) 타겟을 조정하기 위한 제 4 레이어로 배열된다.
- [0051] V_{CP} 지연에 대한 MO 또는 PA 트리거(36)에서의 변동성 소스는 예를 들면 펄스 길이를 단축시키는 가포화 자기소자와 승압 변압기를 통해 충전 커패시터 C_0 에서 피킹 커패시터 C_p 로의 전하의 전송시 MO 및 PA 정류자와 압축 헤드에서의 지연 시간이다. 이러한 지연은 적어도 부분적으로, 각각의 MO 및 PA SSPPM(들)의 정류자 및 압축 헤드 전기회로의 입력부에서의 RC(28)에서 충전 커패시터 C_0 로의 인가된 인가 전압에 따를 수 있다. 더구나, 이러한 전기 회로는 완전히 정합될 수 없기 때문에, 이들 둘 사이의 차이는 전압을 (20ns이상 까지) 변화시킬 수 있다. 이러한 타이밍 제어의 주 레이어는 예를 들면 측정된 지연 대 충전 전압에 대한 곡선 피팅을 활용함으로써 이러한 효과를 보상한다.

수학식 1

[0052]
$$\Delta t = \frac{\alpha}{V} + \beta + \gamma V$$

- [0053] 상기 수학식으로된 함수는 (여기서 Δt 는 SSPPM의 Δt)는 MO 및 PA 지연 곡선에 매우 양질의 피팅을 제공하는 것으로 밝혀졌다. $\Delta t_{SSPPM} = \alpha/V + \beta + \gamma V^2$ 을 이용한 곡선 피팅은 800 볼트에서 약 6.4μs로부터 1200볼트에서 5.1μs까지 변하면서 점멸하도록 트리거되고, 곡선을 따라 각각의 포인트에서 보다 빨라져 약 50ns가 되지만, 실질적으로는 800볼트에서 약 66ns로부터 850볼트에서 약 68ns까지 피크로 되어 변하고, 그런 다음 1200볼트에서 약 42ns로 감소는 PA 경향을 가지며, 실질적으로 조금 더 나빠진다. 타이밍 컨트롤러에 대한 주 레이어는 따라서 이러한 전압효과에 대한 간단한 대수적인 보상이 된다.

- [0054] 도 3은 FCC(24)에 있는 주 타이밍 컨트롤러(110)의 예를 간략하게 도시한다. 상기 주 타이밍 컨트롤러(110)는

타이밍 및 에너지 컨트롤러(22)로부터의 라인(52) 상의 전압 명령을 받고, 그것을 예를 들면 MO 및 PA SSPPM 정류자 지연의 추정치를 얻기 위해 수학적 1을 구현할 수 있는 MO 및 PA 지연 추정 블록(112)으로 통과시키고, 그런 다음 도 1에 개략적으로 도시된 바와 같이 TEM(26)에 의해 사용하도록 MO 및 PA 지연 명령 추정치(44)를 연산하기 위해 이들 값을 사용한다.

[0055] 타이밍 컨트롤러(22)의 제 2 레이어는 예를 들면 온도 효과에 대해 MO 및 PA 지연 추정치를 보상한다. 레이저 시스템이 동작하면서, 상기 MO 및 PA SSPPM이 가열된다. 이것은 예를 들면, 시간 지연, 즉, 온도가 상승할 때 트리거로부터 소등까지의 시간을 느리게 하고, 전압이 상승할 때 지연에서 감소하는, 시간 지연에 효과를 줄 수 있는 예를 들면, 정류자에서의 전기적 특성을 변화시킬 수 있다. 따라서, 예를 들면 SSPPM 정류자에서의 자기 회로가 가열될 때, 상기 MO 및 PA 지연 추정치는 점점더 부정확하게 될 수 있다.

[0056] 그러나, 상기 지연 곡선은 또한 모두 매우 유사한 형태이고, 실제로 x와 y축이 적절하게 이동될 때 단일 곡선으로 하나로 정리되어(collapse) 하기의 수학적 2가 자신의 전체 동작 온도범위에서의 Δt_{SSPPM} 지연의 양질의 근사치로서 사용될 수 있고,

수학적 2

$$\Delta t = \frac{\alpha}{(V + \delta(T)\nu)} + (\beta + \delta(T)b) + \gamma(V + \delta(T)\nu)$$

[0057] 여기서, $\delta(T)$ 는 온도에 종속되는 동작 포인트이다. 예를 들면 온도 종속 SSPPM 전압 동작 포인트 δ 의 추정치가 실시간으로 가용하다면, 그런다음 예를 들면 지연 추정치는 온도에서 변화를 추적하도록 할 수 있다. 이러한 추적은 측정된 지연과 예측된 지연 사이의 차이를 측정하고, 그런다음 모든 샷에서 이러한 오차를 감소시키기 위해 전압 동작 포인트를 조정 함으로써 달성된다.

수학적 3

$$\begin{aligned} \text{MoOpPoint}[k] &= \text{MoOpPoint}[k-1] \\ &+ \text{MoOpPointServoGain} * \text{MoDelayError}[k-1] \end{aligned}$$

수학적 4

$$\begin{aligned} \text{PaOpPoint}[k] &= \text{PaOpPoint}[k-1] \\ &+ \text{PaOpPointServoGain} * \text{PaDelayError}[k-1] \end{aligned}$$

[0061] 여기서 MoOpPoint와 PaOpPoint는 수학적 2에서의 δ 의 위치를 취한다. 이러한 제 2 레이어(120)를 도 3에 도시된 것과 같은 주 레이어(110)에 추가하는 것은 MoOpServo(122)와 PaOpServo(124)를 포함할 수 있다. 상기 MoOpServo는 샷[k-1]에 대한 MoOpPoint와, MoOpServoGain 곱하기 MoDelayError[샷 k-1에 대해]로부터 MoOpPoint[샷 k에 대해]를 판정하기 위해, 수학적 3에 따라 연산을 수행할 수 있고, 유사하게 상기 PA Op Servo(124)는 [샷 k에 대해] PA Op Point를 결정할 수 있다. 상기 MoDelayError와 PADelay Error는 각각의 서머(summer)(130, 132)에서의 합에 의해 결정되며, 이것은 각각 MoDelay 추정치를 MODelay 명령에 추가하고, MO 신호에 대해 기준 트리거를 차감하고, PA에 대해서도 동일하게 한다.

[0062] 에너지 및 타이밍 컨트롤러(22)의 주 레이어(110)에 제 2 레이어 제어(120)를 추가하는 것의 유용한 효과는 동일한 세트의 계수가 MO 및 PA 지연 추정에 사용될 수 있다는 것이다. 출원인은 상이한 정류자에 동일한 계수를 사용하는 것이 약 50V 만큼의 큰 전압 변화에 대해 약 5ns 미만의 MOPA 타이밍 오차를 가져온다고 믿는다.

[0063] 상기 제 2 레이어는 느린 온도 변화에 대해 대응하도록 활용된다. 예를 들면 펄스 변동성에 대해 펄스를 조정하기 위한, 추가 레이어의 제어를 가지는 것이 또한 바람직할 수 있다. 제 3 제어 레이어(140)는 2개의 추가적인 서버, MoPaServo(142) 및 TtlServo(144)와, 3 개의 써머(150, 152, 154)를 설계에 추가할 수 있다. 이들 서보(142, 144)의 목적은 가능한 빨리 가벼운 타이밍 오차에 대해 dtMOPA와 트리거를 감소시키는 것이다. 상기

MoPaServo(142)는 MO 및 PA Vcp 부호변환점 사이의 상대적 시간과 타겟 사이의 차이를 감소시키도록 동작한다.

수학식 5

[0064] $mopaError = dtMopaTarget - (refTrigToPaVcp - refTrigToMoVcp)$

수학식 6

[0065] $mopaAdjust[k] = mopaAdjust[k-1] + gain * mopaError[k-1]$

[0066] 여기서 refTrigToPAVcp와 refTrigToMOVcp는 예를 들면 각각의 MO 및 PA로부터의 기준 트리거로부터 발광까지 시간의 각각의 MOVcp 및 PAVcp 부호 변환점을 이용하여, 지시한다.

[0067] 가능한 빨리 커다란 오차를 감소시키기 위해, 예를 들면, $abs(mopaError) > ETMopaServoThreshold$ 일 때, $gain = ETMopaServoGainHigh$ 이거나, $gain = ETMopaServoGainLow$ 라면, 이득이 보다 큰 오차에 대해 보다 큰 값으로 스위칭될 수 있다.

[0068] 상기 TTL 서보는 예를 들면 하기 수학식과 같이, 타겟에 가능한 근접하도록 기준 트리거와 PA 방전 사이의 시간을 유지하도록 동작한다.

수학식 7

[0069] $ttlError = refTrigToLightTarget - refTrigToPaVcp$

수학식 8

[0070] $ttlAdjust[k] = ttlAdjust[k-1] + ETtTlServoGainLow * ttlError[k-1]$

[0071] 여기서 refTrigToLightTarget은 PA의 발광과 기준 트리거 사이의 시간이고, refTrigToMOVcp는 예를 들면 기준 트리거에서, 각각의 MO 및 PA로부터의 발광까지의 시간의 MOVcp 부호변환점을 이용하여 나타내는 것이다.

[0072] 조건이 변하면서, 최적 dtMOPA 타겟은 드리프트하고, 상기 제어 시스템은 예를 들면, 연속적으로 최적 타이밍 값을 추정함으로써 이것을 조절한다. 상기 최적 타이밍값은 예를 들면, 2 단계로 컨트롤러(22)에서의 최적 타이밍 값 단위로 연산될 수 있다. 우선, MOPA 기울기 추정(162)은 MOPA 타이밍 차이에 대한 레이저 출력 에너지의 감도를 추정하는 데에 사용된다. 상기 추정(160)은 Mo 지연 명령으로부터 차감될 수 있는 타이밍 디더링 값을 출력한다. 상기 디더 신호는, 주기, 즉 디더 사이의 간격, 홀드오프, 즉 디더가 시작되기 전의 버스트로의 샷의 수, 진폭 및 주기가 설정가능한, 즉 소프트웨어로 저장되는 고정값(이것은 또한 수시로 업데이트될 수 있다)이 되는, 사인파가 된다. 상기 추정(162)은 2가지 상태 변수, 예를 들면 inputCorrelation 및 outputCorrelation을 관리한다. 디더의 주기가 종료한 때, 상기 inputCorrelation 및 outputCorrelation이 다음의 형식으로 업데이트된다:

수학식 9

[0073] $inputCorrelation = inputCorrelation(1 - g) + g \sum_{i=0}^{N-1} mopa[k-i] dither[k-i]$

수학식 10

[0074] $outputCorrelation = outputCorrelation(1 - g) + g \sum_{i=0}^{N-1} energy[k-i] dither[k-i]$

[0075] 여기서 g는 설정가능한 이득, mopa[k-i], dither[k-i]는 각각 이전의 i번째 샷 MOPA 차동 타이밍(dtMOPA, 즉 t), 셔터 에너지 측정치 및 디더가 될 수 있다. 상기 값, N은 디더 주기이다.

[0076] 상기 MOPA 기울기는 하기의 2개의 관계식의 비로서 연산된다:

수학식 10a

$$\text{mopa slope} = \text{outputCorrelation} / \text{inputCorrelation}$$

[0077]

[0078]

상기 MOPA 타겟 서보(164)는 상기 mopa 기울기를 일련의 선택된 값, 예를 들면 0으로 드라이브하도록 기능을 한다. 상기 dtMOPA 타이밍 서보(142)는 예를 들면, 상기 MOPA 기울기 추정이 예를 들면 하기의 수학적식과 같은 방식으로 업데이트될 때 마다 실행한다.

수학식 11

$$\text{DtMopaTarget}[k] = \text{DtMopaTarget}[k-1] + \text{mopa slope}[k] *$$

ETMopaTargetServoGainLow

[0079]

[0080]

상기 MOPA 차동 타임 타겟, 즉, $t_0(\text{DtMopaTarget}(166))$ 은 전력 사이클 전체에서 지속되는 FCP에서의 상태 변수를 구성한다. 예를 들면, 레이저 시스템이 대기상태로 떨어질 때, 상기 MOPA 타겟의 현재값은 다시 데이터 레지스터리(도시되지 않음)에 기록된다. 레이저가 다시 부팅될 때, 상기 MOPA 타겟은 상기 레지스터리로부터 판독되어 가용할 수 있다.

[0081]

도 4의 블록도에 개략적으로 도시된 바와 같이, 타이밍 및 에너지 컨트롤러(22) 내의 에너지 컨트롤러(200)는 단일 목적을 만족하도록, 예를 들면 가능한 지정된 타겟값에 근접하도록 레이저 출력 시스템 출력 광선을 유지하도록 구축되고, 즉, 레이저 시스템에 의해 전달되는 레이저 시스템 출력 광선 펄스의 각 펄스에서의 에너지 레벨을 레이저 시스템 동작을 위한 펄스 반복률로 유지하는 것이다. 대부분의 경우, 상기 목적은 예를 들면, 이동 평균 에너지, 즉 도우즈를 최소화함으로써 구현될 수 있다. 그러나 일부 모드에서, 예를 들면 이동 평균 편차, 즉 시그마를 최소화하는 것이 더 강조되고 있다.

[0082]

도 4에 도시된 바와 같이, 상기 에너지 컨트롤러(200)는 예를 들면, (1) 에너지 타겟에서의 변화에 대응하는 주 레이어, (2) 드리프트 및 과도 에너지를 보정하기 위한 제 2 레이어, (3) 펄스 가변성에 대해 펄스를 조정하기 위한 제 3 레이어, 및 (4) 전압에 대한 에너지의 도함수를 추정하는 제 4 레이어로 이루어진, 4개의 레이어로 배열된다.

[0083]

에너지 제어시스템(200)은 다수의 에너지 제어 모드를 지원하는 데, 예를 들면 (1) 출력 에너지 제어 모드: 내부 시그마, 내부 시그마 ODC, 내부 도우즈, 내부 도우즈 ODC, 외부 시그마, 외부 시그마 ODC, 외부 도우즈, 외부 도우즈 ODC, 외부 전압 또는 일정한 전압(LEVELEnable=true); (2) 도우즈 제어 모드: 내부 도우즈, 내부 도우즈 ODC, 외부 도우즈, 외부 도우즈 ODC; (3) 시그마 제어 모드: 내부 시그마, 내부 시그마 ODC, 외부 시그마, 외부 시그마 ODC; (4) 내부 에너지 모드: 내부 도우즈, 내부 도우즈 ODC, 외부 시그마, 외부 시그마 ODC, 외부 전압 또는 일정한 전압(LEVELEnable=true); (5) 외부 에너지 모드: 외부 도우즈, 외부 도우즈 ODC, 외부 시그마, 외부 시그마 ODC; (6) ODC 모드: 내부 도우즈 ODC, 외부 도우즈 ODC, 내부 시그마 ODC, 외부 시그마 ODC; (7) 비 ODC 모드: 내부 도우즈, 외부 도우즈, 내부 시그마, 외부 시그마; (8) 전압 제어: 일정한 고전압 또는 외부 전압(LEVELEnable=false); (9) MO 제어: MO 에너지 제어 모드:를 지원한다. 이러한 제어 모드는 (1) 예를 들면 고정된 전압(구성가능한 것에 의해 설정될 수 있음)을 출력하기 위한 일정한 전압, (2) 셔터 에너지(레이저 시스템 광출력-셔터에서의 레이저 출력 광 펄스 빔 에너지)가 일정하게 유지되도록, 전압을 조정하기 위한 일정한 내부 도우즈로서, 제어 이득이 상기 에너지 오차의 이동 평균을 최소화하도록 설정된 내부 도우즈, (3) 셔터 에너지가 일정하게 유지되도록, 전압을 조정하기 위한 일정한 내부 시그마로서, 제어 이득이 에너지 오차의 이동 표준 편차에 대해 보다 강조하도록 설정된 일정한 내부 시그마, (4) 커스터머 에너지 센서에서의 에너지가 일정하게 유지되도록 전압을 조정하고, 예를 들면 여기서, 제어 이득이 에너지 오차의 이동 평균을 최소화하도록 설정된, 일정한 외부 도우즈, (5) 커스터머 에너지 센서에서의 에너지가 일정하게 유지되도록 전압을 조정하고, 그에 의해 예를 들면, 제어 이득이 에너지 오차의 이동 표준 편차에 보다 강조를 하도록 설정된, 일정한 내부 시그마, 및 (6) 예를 들면 샷기반에 의한 샷이 발생할 때 커스터머에 의해 요청된(예를 들면, 집적회로 제조 포토리소그래피 스캐너로부터 수신된 신호) 출력 전압을 명령하는 외부 전압에 대해 작용한다.

[0084]

주 레이어 에너지 제어 레이어(210)는 에너지 타겟의 기민함에 대비하여 배치되고, 예를 들면 에너지 전방공급

전방 신호(214)를 제공하기 위해 배율기(212)에서의 신호 라인(204) 상의 전압(dV/dE)에 대해 출력 에너지의 도함수의 역을 추정함으로써 에너지 타겟 신호(202)를 간단하게 스케일링한다. 이것은 예를 들면, 에너지 타겟(202)에서의 변화를 위해 수용하는 라인(40) 상의 지시를 받은 전압 레벨을 신속하게 조정할 수 있다. 예를 들면 일정한 에너지 모드에서, 상기 dV/dE 측정치(204)와 에너지 타겟(202) 신호는 셔터/외부 에너지에 대한 측정치 및 타겟이 될 수 있다.

[0085] 도 2의 블록도에서 간략히 도시된 바와 같이, 에너지 제어의 주 레이어(210)는 에너지 타겟(202)으로부터 차감된, 예를 들면 에너지의 일부 선택된 범위의 중간값인 에너지 타겟(202)에 대한 전형적인 값인 에너지 기준(202a)을 가진 에너지 타겟(202)으로 구현된다. 상기의 결과는 그런 다음 예를 들면 증폭기(212)에서 dV/dE가 곱해지고, 디폴트 전압(206)으로 그 결과가 합해져서 전압 포인트(40)를 얻는다,.

[0086] 에너지 제어(220)의 제 2 레이어는 예를 들면, 에너지 일시적인 에너지와 드리프트를 설명하고, 적응 전방 공급 시스템으로서 배치된다. 상기 제 2 레이어(220)는 예를 들면 에너지 대 전압 곡선이 0이 아닌 y축 절편을 가지는 주 제어 법칙에 고유한 DC 오차를 보정하도록 기능한다. 상기 제 2 레이어(220)는 또한 일시적인 에너지, 예를 들면 오차에 연관된 버스트를 보정하기 위해, 버스트시 제 1의 소수의 펄스에 대한 전압 명령을 수정한다. 상기 제 2 레이어(220)는 또한 일정한 에너지 모드에 적용된다. MO 에너지 제어시, 전방공급은 항상 0으로 설정된다.

[0087] 제 2 레이어에서, 에너지 타겟(202)은 예를 들면, 새로운 측정치가 예를 들면 하기의 수학적식에 따라 가용하기만 하면, 에너지 오차 신호(224)를 생성하도록 서머(222)에서 측정된 에너지 신호(52)에서 차감된다.

수학식 12

$$\text{energyError}[k] = \text{measuredEnergy}[k] - \text{energyTarget}[k]$$

[0088] 이러한 에너지 오차 신호(224)는, 등가의 전압 오차 신호(228)로 상기 에너지 오차 신호(224)를 변환하기 위해, 서머(240)로 에너지 전방 공급 신호(232)를 공급하는 적응 전방 공급 회로(230)에 의해 적용되는 전압 파형을 조정하는 데에 사용될 수 있고, 또한 주 레이어 컨트롤러(210)에서의 배율기(212)로부터 에너지 전방 신호(214)를 수신하는 배율기(226)에서 dV/dE 신호(204)에 의해 스케일링된다. 하기의 수학적식이 사용된다:

수학식 13

$$\text{voltageError}[k] = \text{dvde}[k] * \text{energyError}[k]$$

[0090] 여기서 수학식 14는 예를 들면, 이전의 버스트시에, 오차에 기초한 버스트를 위해 전압에 대해 에너지 전방 공급 업데이트에 사용되고, 여기서 F[i, k]는 i번째 버스트의 k번째 샷에 인가된 에너지 전방 공급 전압이고, K_{FF}는 적응 이득이다. 예를 들면, 방금 발사된 샷이 ETEnergyFFInversionSize를 초과할 때, 특별한 경우가 발생하는데, 이 경우, 마지막 값이 새로운 버스트가 시작될 때까지 계속해서 반복된다.

수학식 14

$$F[i,k] = F[i-1,k] + \text{voltage error}[k] * K_{FF}$$

[0091] 여기서 수학식 14는 예를 들면, 이전의 버스트시에, 오차에 기초한 버스트를 위해 전압에 대해 에너지 전방 공급 업데이트에 사용되고, 여기서 F[i, k]는 i번째 버스트의 k번째 샷에 인가된 에너지 전방 공급 전압이고, K_{FF}는 적응 이득이다. 예를 들면, 방금 발사된 샷이 ETEnergyFFInversionSize를 초과할 때, 특별한 경우가 발생하는데, 이 경우, 마지막 값이 새로운 버스트가 시작될 때까지 계속해서 반복된다.

[0092] 여기서 수학식 14는 예를 들면, 이전의 버스트시에, 오차에 기초한 버스트를 위해 전압에 대해 에너지 전방 공급 업데이트에 사용되고, 여기서 F[i, k]는 i번째 버스트의 k번째 샷에 인가된 에너지 전방 공급 전압이고, K_{FF}는 적응 이득이다. 예를 들면, 방금 발사된 샷이 ETEnergyFFInversionSize를 초과할 때, 특별한 경우가 발생하는데, 이 경우, 마지막 값이 새로운 버스트가 시작될 때까지 계속해서 반복된다.

[0093] 상기 레이어 시스템에서 발생할 것으로 언급된 현상은 효율에 대한 레이어 발사시의 효과이다. 도 7은 예를 들면 일정한 전압 모드에서 상기 언급된 종류의 레이어 시스템에 대한 전형적인 반응과 발사를 도시한다. 레이어가 연속해서 발사되면, 이러한 경우 효율이 증가한다. 예를 들면 레이어가 충분한 주기의 기간동안 발사를 중지한다면, 효율은 도 7에 도시된 바와 같이, 버스트가 시작된 때의 것과 동일한 값으로 다시 복귀될 수 있다. 보다 짧은 시간 동안, 레이어 시스템은 도시된 버스트의 시작시의 효율보다 어느 정도 더 큰 값으로 복귀될 수 있다.

[0094] 도 7에서 예시에 의해 도시된 것의 의미는 예를 들면, 버스트 시작에 대한 요구된 DC 오프셋이 이전의 버스트와 인터버스트 간격의 길이(및 반복률)에 의존할 수 있다는 것이다. 대개, 버스트 길이와 반복률은 많이 변하지 않지만, 다수의 인터 버스트 간격이 상이한 시간에 사용될 수도 있다. 예를 들면, 레이어 시스템, 예를 들면 집적회로 제조에 사용되는 스캐너에서의 레이어 시스템으로부터의 광에 의해 노출된 웨이퍼 상의 다이들 사이에서의 변화가 있을 때, 하나의 값이 발생한다. 또다른 값은 웨이퍼 사이에 발생하고, 제 3의 값은 다수의 웨이

퍼를 홀드하는 카세트사이에 발생할 수 있다. 따라서, 적어도 부분적으로 일련의 미리 정의된 윈도우 크기에 대한 인터버스트 간격 또는 듀티 사이클, 또는 그 둘 모두에 의존하는 버스트에 인가된 초기전압을 발생시키는 것이 중요하다. 또한 버스트에서 제 1 펄스가 발사된 후, 상기 시스템은 대응하는 전압을 저장하고, 예를 들면 그것을 버스트 내의 모든 후속하는 전압에 부가한다. 이것은 제 1 펄스 보정에 연관된 DC 오프셋을 효과적으로 버스트의 모든 펄스에 부과하는 것이다.

[0095] 바람직한 동작은 예를 들면, 고정된 버스트 간격에서, 수학적 14를 적용하는 것이다. 버스트 간격이 변할 때, 그러나, 예를 들면 상이한 세트의 저장소가 사용된다.

수학적 14a

$$F[i, k] = F_0[i, b] \quad k = 1$$

$$F[i, k] = F[i, 1] + F'[i, k] \quad k > 1$$

[0096]

[0097] 여기서 i는 버스트 수이고, k는 샷의 수이고, b는 예를 들면 선택가능한 버스트 간격의 저장소이다. 일반적으로, 예를 들면 0.35초 미만의 버스트 간격에 사용되는 하나의 저장소가, 0.35-4.5 초에 사용되는 또다른 저장소, 및 4.5초 이상의 간격에 사용되는 제 3의 저장소가 있을 수 있다.

[0098] 하기와 같은 업데이트 로직이 사용될 수 있다:

수학적 14b

$$F_0[i+1, b] = F_0[i+1, b] - e_v[i, k]K_{FF} = F_0[i+1, b] + dF_0[i, k] \quad k = 1$$

$$F'[i+1, k] = F'[i, k] - e_v[i, k]K_{FF} - dF_0[i, k] \quad k > 1$$

[0099]

[0100] 여기서, $e_v[i, k]$ 는 전압 오차이다. b가 상수로 유지될 때, 수학적 14b는 원한다면 수학적 14로 복귀한다.

[0101] 통합될 수 있는 또다른 효과는 순간적인 버스트에 대한 펄스 반복률의 효과이다. 도 8은 290 550 Hz, 291 1050 Hz, 292, 1550 Hz, 293 2050 Hz, 294 2550 Hz, 295 3050 Hz, 296 3550 Hz의, 펄스 반복률의 범위에 대해 다수의 버스트에 대해 평균화된 에너지 데이터를 예시한다. 볼 수 있는 바와 같이, 반복률이 변하기 때문에 펄스 버스트의 앞에서 과도 에너지가 주기적으로 변화한다. 이러한 동작은 예를 들면 상이한 범위의 반복률에 대해 독립적인 역으로된 파형을 포함함으로써 수용될 수 있고, 예를 들면 버스트에서의 제 1 펄스에 대해,

[0102] $energyFeedForward = firstPulseOutput = firstPulseWaveform(interval)$

[0103] 이고, 후속하는 펄스에 대해서는,

수학적 14c

[0104] $energyFeedForward = waveform(pulseNumber, rep rate) + firstOutput$

[0105] 일부 경우, 전압이 레일을 순간차단할 때, 전방 공급이 적응을 계속할 수 있다. 상기 전방 공급 알고리즘에서의 상태 변수(제 1 펄스 파형 및 파형)는 서보 와인드업으로 공지된 현상에서 경계없이 계속해서 증가할 수 있다. 이를 제한하기 위해, 로직이 상기 전방 공급 알고리즘에서 구현된다. 하기의 로직이 14b 다음에 적용된다:

수학적 14d

$$F_0[i+1, b] \rightarrow sat(F_0[i+1, b], F_{min}, F_{max}) \quad k = 1$$

$$F'[i+1, k] \rightarrow sat(F'[i+1, k], F_{min} - F_0[i, b], F_{max} - F_0[i, b]) \quad k > 1$$

[0106]

[0107] 여기서, 연산자 $sat(a, b, c)$ 는 포화 연산자이다:

수학식 14e

$$sat(a,b,c) = \begin{cases} b & a < b \\ a & b \leq a \leq c \\ c & a > c \end{cases}$$

[0108]

[0109]

제 3 에너지 제어 레이어(250)가 예를 들면 펄스 변동성에 대한 펄스를 설명하기 위해 사용되고, 예를 들면 에너지 서보(252)의 형태가 될 수 있다. 상기 에너지 서보(252)는 예를 들면 펄스의 베이스에 따라 펄스에 대한 전압의 보정을 하기 위해 사용된다. 상기 에너지 서보는 전압 오차 신호(228)를 수신하고, 이러한 전압 오차 신호(228)를 사용하여 서머(240)에서의 인가된 전압 출력 신호(40)에 직접 추가되는 보정 신호(254)를 제공하도록 기능하고, 또한 예를 들면 전압 오차 신호(228)에 대한 입력의 일부에 대해, 유닛(230)의 에너지 전방공급 신호(232) 출력의 형성에 대한 적응 전방 공급 유닛(230)으로의 입력에 대해 서머(260)에서 전압 오차 신호(228)(음으로 함해짐)로부터 차감될 수도 있다. 이것은 예를 들면 에너지 서보(252)가 적응 전방 공급 유닛(230)의 동작과 간섭하는 것을 방지하도록 활용될 수 있고, 그에 의해 적응 전방 공급 유닛(230)에 대해 사용된 오차 신호(262)는 에너지 서보 보정 신호(254) 미만의 전압 오차 신호(228)가 되고, 따라서, 예를 들면 그의 알고리즘 실행시에, 적응 전방 공급 유닛(230)에 대해 상기 에너지 서보 신호(254)를 식별 불가능하게 한다. 상기 적응 오차 신호(262)가 그런다음 하기의 수학식에 의해 주어진다:

수학식 15

[0110]

adaptError=voltageError-energyServo

[0111]

상기 에너지 서보(252)는 적분, 제곱적분 피드백을 사용한다:

수학식 15a

$$\begin{aligned} u[k+1] &= u[k] - K_1 e_v[k] & K_2 &= 0 \\ x[k+1] &= -u[k+1] \\ u[k+1] &= 2u[k] + 2x[k] - K_1 e_v[k] & K_2 &\neq 0 \\ x[k+1] &= -u[k] + (K_1 - K_2) e_v[k] \end{aligned}$$

[0112]

[0113]

여기서, K_1 은 적분 이득이고, K_2 는 I-제곱 이득이고 $u[k]$ 는 서보 출력이고, $x[k]$ 는 추가적인 서보 상태이고, $e_v[k]$ 는 전압 오차이다.

[0114]

예를 들면, 일정한 출력 에너지 모드에서, 에너지 서보(252)는 예를 들면 모든 버스트의 제 1 펄스에서 리셋된다. 이것은 하나의 버스트의 끝에서 DC 오프셋이 다음 버스트의 제 1 펄스에 인가된 전압에 영향을 주지 못하도록 하는 것을 보장하는 데에 활용된다. MO 에너지 제어에서, 또는 전방 공급이 디세이블되면, 서보는 버스트의 제 1 펄스에서 리셋되지 않는다. 상기 상태가 리셋될 때, 양 상태 변수가 0으로 설정된다. 전방 공급과 유사하게, 에너지 서보 또한 와인드업에 대해 보호된다. 예를 들면 수학식 15a를 적용한 후에, 하기의 로직이 또한 적용된다:

수학식 15b

$$\begin{array}{l} u[k+1] \rightarrow u_{\max} \\ x[k+1] \rightarrow -u_{\max} \\ \hline u[k+1] \rightarrow u_{\min} \\ x[k+1] \rightarrow -u_{\min} \end{array} \quad \begin{array}{l} u[k+1] > u_{\max} \\ \\ \\ u[k+1] < u_{\min} \end{array}$$

[0115]

[0116]

다양한 버전, 예를 들면 에너지 서보(252)의 3 가지 버전이 제공될 수 있다. 그 하나는 예를 들면 도우즈 오차(내부 및 외부 도우즈 제어 모드에 사용되는)를 최소화하는 목적이고, 또다른 것은 예를 들면 에너지 시그마(내

부 및 외부 시그마 제어 모드에 사용되는)를 최소화하기 위한 목적이고, 제 3의 것은 예를 들면 MO 에너지 제어를 위한 것이다. 도 5는 예를 들면 도우즈 제어를 위한 에너지 서보에 대한 이득 최적화를 예시한다. 플롯팅은 예시의 방식으로 예를 들면 가우시안 화이트 노이즈 교란(이 경우 에너지 오차에 대한 정당한 근사치)에 대한 개폐 루프 응답의 비에 대한 값을 도시한다. 최적 감소는 단일한 컨트롤러 이득을 가진 모든 윈도우 크기에 대해 달성된다. 표시된 펄스 윈도우 크기는 280 10 펄스 윈도우, 282 20 펄스 윈도우, 284 30 펄스 윈도우 286 40 펄스 윈도우이다.

[0117] 에너지 시그마 제어에 대해, 더 높은 주파수에서 보다 강조가 이루어진다. 도 6은 예시의 방식으로, 광대역 교란에 대한 개폐 루프 MSD의 예상된 값에 대한 폐 루프의 예측된 값("MSD")을 예시한다. 최적의 이득은 0에서이다. 도 6은 가우시안 화이트 노이즈 교란에 대한 개폐 루프 시그마의 비를 예시한다. 분석은 임의의 이득이 임의의 윈도우 크기에 대해 시그마를 열화시키는 경향이 있다는 것을 지시한다. 실제에 있어서, 일부 이득이 드리프트를 유도하기 위해 상기 서보에 대한 오더에 사용되어야하지만, 일반적으로 에너지 시그마에 대한 이득은 에너지 도우즈 제어에 대한 것보다 훨씬 낮아야한다.

[0118] 도 4에서 예로서 도시된 것과 같은, 에너지 제어의 제 4 레이어는 dV/dE 측정이다. 본 레이어의 목적은 예를 들면 출력(전체 레이저 시스템의 출력부에서의 서터)부, 또는 MO 출력 에너지 센서 중 어느 하나에서, 에너지의 원하는 변화를 산출하기 위해, 예를 들면 시스템에 인가되는 전압의 필수적인 양을 판정할 수 있다는 것이다. 예를 들면 7XXX 단일 챔버 컨트롤러에서, dE/dV가 대신 측정된다. 예를 들면 MOPA 시스템과 같은, 다중-챔버 시스템에 대해, 예를 들면 다수의 부분을 측정하기 위해 그의 역이 사용된다. 커스터머가 처리에 익숙한 형태로 커스터머 데이터를 주기 위해 상기 dV/dE 추정치(204)는 dE/dV로서 샷 레코드에 기록하기 전에 역으로 된다.

[0119] 상기 추정(들)은 하기의 형태로 수행될 수 있다. 디더 신호(255)가 예를 들면 전압 명령 출력(40)에 직접 부가되는 추정(270)에 의해 생성될 수 있다. 상기 디더 신호(255)는 주기, 주기 사이의 간격, 지연, 및 진폭이 설정가능한 사인파이다. 상기 추정(270)은 예를 들면 2 개의 상태 변수: inputCorrelation 및 outputCorrelation을 유지관리한다. 디더의 주기가 종료할 때, inputCorrelation 및 outputCorrelation은 하기의 형태로 업데이트된다:

수학식 26

[0120]
$$\text{inputCorrelation} = \text{inputCorrelation}(1-g) + g \sum_{i=0}^{N-1} \text{energy}[k-i] \text{dither}[k-i]$$

수학식 27

[0121]
$$\text{outputCorrelation} = \text{outputCorrelation}(1-g) + g \sum_{i=0}^{N-1} \text{voltage}[k-i] \text{dither}[k-i]$$

수학식 28

[0122]
$$\text{inputCorrelationQ} = \text{inputCorrelationQ}(1-g) + g \sum_{i=0}^{N-1} \text{energy}[k-i] \text{dither}[k-i-\tau]$$

수학식 29

[0123]
$$\text{outputCorrelationQ} = \text{outputCorrelationQ}(1-g) + g \sum_{i=0}^{N-1} \text{voltage}[k-i] \text{dither}[k-i-\tau]$$

[0124] 여기서 g는 예를 들면, 설정가능한 이득이고, 에너지[k-i], 전압[k-i] 및 디더[k-i]는 i번째의 이전의 에너지 측정치, 인가된 전압, 및 디더가 된다. 상기 값, N은 디더 주기이다. 0과 1 사이의 값, g에 대해, inputCorrelation 및 outputCorrelation이 예를 들면 에너지/디더 및 전압/디더 각각의 사이의 리얼 관계식의 스케일링된 추정치가 될 수 있다. 수학식 28 및 29는 예를 들면, τ 단위로 시프트된 디더 신호를 가지고 사용된다. 일반적으로 τ는 예를 들면 디더 주기의 약 1/4가 되도록 선택된다. 따라서, 수학식 28 및 29는 상기 관계식의 허수부를 주기위해 사용된다. 에너지에 대한 입력 및 전압에 대한 출력을 참조하여 예를 들면 상기 추정이 독립 변수로서 에너지와 종속변수로서의 전압을 처리하는 것을 강조하도록 신중히 수행된다.

[0125] 상기 이득 추정치는 예를 들면 2 개의 복소 관계식의 비의 리얼 부분을 구성한다:

수학식 30

$$dE / dV = \frac{\text{outputCorrelation} * \text{outputCorrelation}Q + \text{inputCorrelation} * \text{inputCorrelation}Q}{\text{inputCorrelation}^2 + \text{inputCorrelation}Q^2}$$

[0126]

[0127]

[0128]

[0129]

[0130]

여기서, 2 개의 이득 추정이 제어 시스템에서, 예를 들면, 출력 에너지에 대해 하나, MO 에너지에 대해 하나 씩 사용된다. 출력 에너지 dV/dE 추정(250)은 예를 들면 양 이득 추정에 대해 디더 신호를 제공한다.

본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 예를 들면 멀티-챔버 레이저에 대한 액티브 스펙트럼 제어가 2 개의 챔버 사이의 차동 발사 시간을 조정함으로써 달성된다. 이것은 레이저 효율을 최대화하기 위해 DtMopaTarget을 조정하는 대신에 DtMopaTarget에 대한 값을 판정하도록 대역폭 제어를 이용하여 수행된다. 이것은 예를 들면 에너지 및 타이밍 제어에 대한 2개의 기본적 문제점들을 야기할 수 있다. 제 1 문제점은 F₂ 제어 알고리즘에 의해 야기될 수 있다. 예를 들면 출원인의 양수인의 XLA 1XX, 3XX 및 3XX 시리즈 멀티 챔버 MOPA 및 레이저 등에서 활용되는 MO F₂ 주입 컨트롤러에서, MOPA 타이밍(최적 효율을 위해 조정됨)과 대역폭의 가중된 조합이, 예를 들면, MO 주입의 타이밍과 크기를 결정하기 위해 사용된다. 대역폭 제어를 위해 MOPA 타이밍을 사용하는 것은 F₂ 제어에 대해 이들 값 모두를 사용불가능하게 한다. MOPA Op 포인트라고 하는, 또다른 기본적인 양이 F₂ 주입 크기를 결정하기 위해 또한 필요하다. 제 2 문제는 예를 들면 상기 MOPA Op 포인트에 대해 필요한 타이밍 디더의 문제이다. 상기 레이저가 에너지 대 MOPA 타이밍 곡선의 피크로부터 떨어져서 동작하기 때문에, 에너지가 전체적으로는 차동 타이밍에서의 변동성에 훨씬 더 민감하고, 특히 타이밍 디더에 더 민감하다. 따라서 예를 들면 타이밍에 대해 레이저 효율의 도함수에 관한 정보를 제공하는 동안, 에너지에 대한 타이밍 디더의 효과를 감소시키기 위한 도해가 본 발명의 일실시예의 측면들에 따라 필요하다.

MOPA op 포인트의 선택의 목적은 예를 들면, 레이저 시스템이 동작할 때 최대한으로 효율적인 타이밍으로부터 벗어나 있는 "거리"의 일부 측정을 제공한다. MOPA op 포인트에 대한 선택은 예를 들면, 다수의 기본적인 요구 조건을 만족시키기 위해 선택되고: MOPA op 포인트는 예를 들면 레이저가 최대 효율을 주는 차동 타이밍에서 동작할 때 거의 0이 되도록 선택된다. MOPA op 포인트는 예를 들면 예측된 동작 범위에서 차동 타이밍에서 단조가 되어야한다. MOPA op 포인트는 에너지 타겟에서의 변화에 대해 무리없이 반응을 나타내지 않아야한다. MOPA op 포인트는 레이저 시스템의 동작동안 측정될 수 있다.

MOPA op 포인트에 대한 제 1 선택은 현재 차동 발사 시간, t_{mopa} 와 예를 들면, 최대 효율에 상당하는 기준 값, t_{ref} 사이의 차이를 단순히 이용할 수 있다. 그런다음 MOPA op 포인트는 간략하게 하기와 같이 된다:

수학식 30g

$$MopaOpPoint = t_{mopa} - t_{ref}$$

[0131]

[0132]

이것은 예를 들면 방금 언급된 것과 같이, MOPA op 포인트에 대한 제 1의 3개의 요구조건을 따르는 것으로 보여질 수 있지만, 그것이 필수적으로 측정가능성의 요구조건을 만족시키는 것은 아니다. t_{ref}는 예를 들면 듀티 사이클, F₂ 주입, 또는 에너지 세팅 포인트 변화에 기인하여, 동작 동안 변화하는 것으로 보여질 수 있다. 따라서, 예를 들면 연산을 위해 그것이 직접 가용한 것은 아니다. 그러나, 예를 들면 특정한 가정이 에너지, 전압 및 타이밍 사이의 관계식에 관해 이루어진다면, 이러한 MOPA op 포인트의 추정치가 도출될 수 있다. 이러한 관계식에 대한 정당한 근사치는 다음과 같다:

수학식 30h

$$E = (V - V_0)E'e^{-\left(t_{mopa} - t_{ref}\right)^2 / 2w^2}$$

[0133]

[0134]

여기서 E는 예를 들면 멀티-챔버 레이저 시스템, 즉 PA 또는 PO로부터의 전체 출력 에너지이고, V는 예를 들면 전압, 예를 들면, 편리하게 타이밍의 다른 이유에 대해, 동일한 전압이 되고, 예를 들면 MO 및 PA 각각에 대해 각각의 자기 펄스 전력 시스템으로 공진 충전기에 의해 공급되는 전압의 판정에 의해, 선택되는 MOPA 또는 MOPO 구성에서의 하나 또는 양 챔버에 대한 선택된 동작 전압이고, V₀는 예를 들면 전압 오프셋이고, E'은 예를 들면

최대 효율의 전압에 대한 에너지의 도함수이고, w 는 예를 들면 에너지 대 타이밍 곡선 또는 전압 대 타이밍 곡선에서의 피크(또는 다른 극값)의 폭을 기술하는 파라미터이다. t_{mopa} 에 대해 E 의 도함수를 취하면 다음과 같다:

수학식 30i

[0135]

$$\frac{\partial E}{\partial t_{mopa}} = -\frac{t_{mopa} - t_{ref}}{w^2} (V - V_0) E' e^{-(t_{mopa} - t_{ref})^2 / 2w^2}$$

[0136] 이들의 마지막 3 개의 수식을 함께 취해 MopaOpPoint에 대해 표현해보면:

수학식 30j

[0137]

$$MopaOpPoint = -w^2 \frac{1}{E} \frac{\partial E}{\partial t_{mopa}}$$

[0138] 예를 들면 타이밍 디터를 이용하여, MOPA 타이밍, $\frac{\partial E}{\partial t_{mopa}}$ 에 대한 에너지의 도함수가 추정될 수 있고,

에너지는 그런 다음 측정치로서 직접 가용하게 된다. $\frac{\partial E}{\partial t_{mopa}}$ 의 추정치는 일부의 저대역 통과 필터링을 필요로 하기 때문에, 수학식 30j는 에너지 측정에 유사한 수렴 시간을 제공하기 위해 변형될 수 있다:

수학식 30k

[0139]

$$MopaOpPoint = -w^2 \frac{1}{E_{ave}} \frac{\partial E}{\partial t_{mopa}}$$

[0140] 여기서 E_{ave} 는 에너지 측정치의 저대역 통과 필터링된 버전일 수 있다, 또한, 일부 구현에서, MOPA 타이밍에 대한 에너지의 도함수는 추정되지 않고, 대신에, 일정한 에너지에서의 MOPA 타이밍에 대한 전압의 도함수가 가용하고 활용될 수 있다. 이러한 경우, 수학식이 하기와 같이 사용되기 위해 변형될 수 있다:

수학식 30l

[0141]

$$MopaOpPoint = w^2 \frac{1}{E_{ave}} \frac{\partial E}{\partial V} \frac{dV}{dt_{mopa}} \Big|_E$$

[0142] 수학식 30k와 30l의 구조는 예를 들면, 어떻게 다른 MOPA op 포인트 추정치를 구축하는 지를 지시할 수 있다. 양 경우에, 타이밍에 대한 도함수가 예를 들면 타이밍이 거의 최대 효율일 때 0이고, 예를 들면 MOPA 타이밍에서 단조인 측정치를 생성하는 데에 사용될 수 있다. 상기 측정치는 그런 다음 예를 들면 에너지에 의해 분리함으로써 에너지에서의 변화에 대해 감도를 줄이게 될 수 있다. 상수 w 와 dE/dV 는 추정치에 임의의 상관관계를 실제로 추가하지는 않아서, 이들을 제거하였다면, MOPA op 포인트에 대한 새로운 표현식들이 하기와 같이 나타나고, 원하는 MOPA op 포인트의 판정의 구현을 반영하도록 한다.

수학식 30m

[0143]

$$MopaOpPoint = \frac{1}{E_{ave}} \frac{\partial E}{\partial t_{mopa}}$$

수학식 30n

$$MopaOpPoint = \frac{1}{E_{ave}} \frac{dV}{dt_{mopa}} \Big|_E$$

[0144]

[0145] 여기서, 수학식 30n은 이전의 출원인의 양수인의 XLA 모델 레이저 시스템 제어 시스템에서 구현되었다.

[0146]

본 발명의 일실시예의 측면들에 따라, ASC 구현에 사용될 수 있는 2 개의 기본적인 알고리즘이 있을 수 있다. 제 1 알고리즘에서, 예를 들면 대역폭 제어가 차동 타이밍을 직접 드라이브하는 데에 사용되고, 그렇지 않으면 MOPA op 포인트가 예를 들면 가스 주입 제어에 사용된다. 이것은 다음과 같이 구현된다: (1) 대역폭 오차의 함수로서 dtMopaTarget을 조정하고; (2) 에너지 및 타이밍 제어 알고리즘에서 MopaOpPoint를 측정하고; (3) 타겟 값(0와 같이)으로 MopaOpPoint를 구동하도록 F₂ 주입을 조정한다. 제 2 알고리즘은 예를 들면 대역폭을 제어하기 위해 MopaOpPoint를 이용한다. 이것은 하기와 같이 구현된다: (1) 원하는 MopaOpPoint를 대역폭 오차의 함수로서 조정한다; (2) 에너지 및 타이밍 제어 알고리즘에서 MopaOpPoint를 측정한다; (3) 대역폭 제어 관점에서 원하는 MopaOpPoint로 MopaOpPoint를 구동하기 위해 dtMopaTarget을 조정한다; 및 (4) MopaOpPoint 또는 원하는 MopaOpPoint 중 어느 하나를 타겟 값으로 구동하기 위해 F₂ 주입을 조정한다.

[0147]

도 23은 예를 들면 ASC를 지원하기 위해 상술한 변형을 지원하는 변형과 함께, 도 23에 도시된 것과 같은 타이밍 컨트롤러의 다소 간략한 구조를 도시한다. 상기와 같이 ASC를 지원하기 위해, 타이밍 컨트롤러(100)는 1) 예를 들면, MOPA 타이밍 모드가 ASC로 설정될 때, 대역폭 제어 알고리즘에 의해 제공된 MOPA 타겟을 수용하고, 2) 예를 들면 MOPA 타이밍 모드가 레이저 효율을 최대화하도록 설정될 때, MOPA 타겟을 조정하기 위해 에너지 및 타이밍 알고리즘으로부터 dV/dt 측정치를 이용하는 것이 가능해야만 한다. 도 14는 예를 들면 도 3의 알고리즘이 ASC를 지원하기 위해 어떻게 변형될 수 있는지를 예시한다. 에너지 신호(156)는, 예를 들면 가스 제어 시스템에 의해 사용되는 MOPA op 포인트를 생성하기 위해, 예를 들면 도 11에 도시된 바와 같이 예를 들면 저대역 통과 필터(420)에서 저 대역 필터링되고, 예를 들면 에너지 알고리즘으로부터 도 3에 도시된 것과 같은 MOPA 기울기 추정(162)으로부터의 dV/dt 추정치와 조합된다. ASC가 이네이블될 때, DtMopaTarget은 대역폭 제어 알고리즘으로부터 나온다. ASC가 디세이블될 때, 동작은 효율을 최대화하도록 복귀할 수 있다. 이를 수행하고, MOPA op 포인트는 또한, 예를 들면 최대한 효율적인 값으로 DtMopaTarget을 구동하기 위해, 도 3에 도시된 MOPA 타겟 서보(164)에 의해 이용될 수도 있다.

[0148]

상기 에너지 컨트롤러(200)는 예를 들면, 2 가지 목적을 달성하기 위해 활용될 수 있다. 먼저, dV/dt_{mopa}이고, 두번째로는 타이밍 디더에 대한 에너지 출력의 감도감소이다. 이것은 예를 들면, 도 24에서 블록도의 형태로 개략적으로, 예시의 방식으로 도시된 LMS 적응 필터(275)의 이용을 통해서, 달성된다. 도 24는, 알고리즘에 대한 변형과 함께 도 4에 보다 상세히 도시된 바와 같은 에너지 제어 시스템의 간략화된 버전을 도시한다. 개방 루프 에너지 오차, 예를 들면 에너지 서보(252)의 액션 미만의 전압 오차의 근사치가 예를 들면 필터(275)에 대한 오차 신호로서 사용된다. 예를 들면 도 3에 도시된 타이밍 알고리즘에서의 MOPA 기울기 추정(162)으로부터의 타이밍 디더 신호가 기준으로서 사용된다. 상기 필터(275)는 예를 들면 전압 명령에 부가될 때, 타이밍 디더 신호의 효과를 상쇄하도록 사용될 수 있는 신호 "타이밍디더상쇄"를 산출하는 타이밍 디더 신호의 스케일링된 버전을 생성한다. 부수적인 효과로서, LMS 필터(275)가 또한 dV/dt_{mopa}를 추정하기 위해 활용될 수 있다,

[0149]

상기 디더 상쇄 전압은 다음과 같이 연산된다:

수학식 40

$$V_{cancel}[k] = \frac{dV}{dt_{mopa}} [k] \cdot t_{dither}[k]$$

[0150]

[0151]

여기서 V_{cancel}은 상쇄 전압이고, t_{dither}는 타이밍 디더이고, dV/dt_{mopa}는 예를 들면 일정한 에너지에서의 MOPA 타이밍에 대한 전압의 도함수의 추정치이다. dV/dt_{mopa}는 예를 들면 하기의 수학식과 같은, LMS 적응 필터 수학식을 이용하여 업데이트된다:

수학식 41

$$\frac{dV}{dt_{mopa}}[k+1] = \frac{dV}{dt_{mopa}}[k] - \mu\varepsilon[k]t_{dither}[k]$$

[0152]

[0153] 여기서, μ 는 적응 이득이고, ε 는 개방 루프 에너지 오차이다.

[0154]

대역폭 및 F_2 제어 알고리즘은 다음과 같다. 상기 대역폭 제어 알고리즘은 예를 들면 타겟 대역폭 값으로 상기 시스템을 구동하기 위해, MOPA 타이밍을 조정한다. 상술한 바와 같은 레이저 시스템에서, 대역폭은 MOPA 타이밍, dt_{MOPA} 를 증가 시키는 것과 함께 감소한다. 따라서, 상기 대역폭 제어 법칙은 하기의 형태를 취할 수 있다:

수학식 42

$$DtMopaTarget[k+1] = DtMopaTarget[k] + k_{BW}(\Delta\lambda_{measured} - \Delta\lambda_{target})$$

[0155]

[0156]

레이저 시스템이 최대 효율로부터 벗어나는 것을 방지하는 것이 바람직하기 때문에, MOPA op 포인트를 이용하는 것이 이를 제한하는 한 방법이 될 수 있다. 예를 들면, MOPA op 포인트가 지정된 범위의 밖에 있다면, 하기의 로직이 사용될 수 있다:

수학식 43

[0157] 여기서 MOPAOpPoint가 최대의 원하는 값보다 클 때:

$$DtMopaTarget[k+1] = DtMopaTarget[k] - k_{OP}(MopaOpPoint[k] - MopaOpPoint_{max})$$

[0158]

[0159] 이고,

[0160] 여기서 MOPAOpPoint가 최소의 원하는 값보다 작을 때:

$$DtMopaTarget[k+1] = DtMopaTarget[k] - k_{OP}(MopaOpPoint[k] - MopaOpPoint_{min})$$

[0161]

[0162] 이다.

[0163]

상기 F_2 제어 알고리즘이, 예를 들면 상기 MOPA op 포인트를 타겟 값으로 드라이브 하기 위해, 예를 들면 MO 주입을 조정하는 데에 사용되는 것이 필요하다. MOPA op 포인트의 국부적 동작은 하기의 수학식에 의해 기술될 수 있다:

수학식 44

$$du = \frac{\partial u}{\partial F_2} dF_2 + \frac{\partial u}{\partial t_{mopa}} dt_{mopa}$$

[0164]

[0165]

여기서 u 는 MOPA op 포인트이고, F_2 는 챔버 예를 들면 MO 챔버에서의 F_2 의 양이다. 대역폭 제어 시스템은 대역폭을 일정하게 유지하기 위해 t_{mopa} 를 조정한다.

수학식 45

$$d\Delta\lambda = \frac{\partial\Delta\lambda}{\partial F_2} dF_2 + \frac{\partial\Delta\lambda}{\partial t_{mopa}} dt_{mopa} = 0 \Rightarrow dt_{mopa} = -\left(\frac{\partial\Delta\lambda}{\partial t_{mopa}}\right)^{-1} \frac{\partial\Delta\lambda}{\partial F_2} dF_2$$

[0166]

[0167]

dt_{mopa} 에 대해 이러한 표현식을 이용하면 다음과 같다:

수학식 46

$$\frac{du}{dF_2} = \frac{\partial u}{\partial F_2} - \frac{\partial u}{\partial t_{mopa}} \left(\frac{\partial \Delta \lambda}{\partial t_{mopa}} \right)^{-1} \frac{\partial \Delta \lambda}{\partial F_2}$$

[0168]

[0169]

MO 챔버가 주입될 때, 예를 들면 최대 효율 MOPA 타이밍이 시프트다운되고, 그 결과 MOPA op 포인트가 예를 들면 F₂ 주입에 대해 증가한다. 설계에 의해, MOPA op 포인트는 MOPA 타이밍으로 항상 증가하도록 이루어질 수 있다. MOPA 타이밍을 증가시키면 대역폭이 감소하고, F₂를 증가시키면 대역폭이 증가한다. 이러한 것을 함께 상기의 수학식에 집어넣으면 하기와 같이 될 수 있다:

수학식 47

$$\frac{\partial u}{\partial F_2} > 0, \frac{\partial u}{\partial t_{mopa}} > 0, \frac{\partial \Delta \lambda}{\partial t_{mopa}} < 0, \frac{du}{dF_2}, \frac{\partial \Delta \lambda}{\partial F_2} > 0 \Rightarrow \frac{du}{dF_2} > 0$$

[0170]

[0171]

상기 MOPA op 포인트는 예를 들면 타이밍이 일정한 대역폭을 유지하도록 조정될 때, MO F₂에 대해 단조로 증가하도록 이루어질 수 있다. 따라서, F₂ 알고리즘은 하기의 로직을 차용할 수 있다: MOPA op 포인트가 너무 높다면, F₂ 주입의 비를 감소시키고, MOPA op 포인트가 너무 낮다면, F₂ 주입의 비를 증가시킨다. 표 1은 본 발명의 일실시예의 측면을 기술하는 데에 사용되는 심볼 및 용어를 기술한다.

[0172]

본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 증가된 플랜트(350)의 개념을 포함하는, 상술한 바와 같이, 앞에서 언급된, 출원인의 양수인의 XLA 시리즈 레이저에서 사용되는 것과 같은, 기존의 컨트롤러에 추가하는 다른 형태가 예를 들면 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 도 13에 예시된 것과 같이 활용된다. 상기 증가된 플랜트(350)는 레이저(353), 에너지 컨트롤러(354), 및 타이밍 컨트롤러(366)를 포함할 수 있다. 상기 증가된 플랜트(350)는 예를 들면 4 개의 입력부, (1) 에너지 타겟, E₀, (2) 전압 디더 신호, V_d, (3) 타이밍 디더 신호, t_d, (4) 차동 MOPA 챔버 발사 시간 타겟, t₀를 포함한다.

[0173]

본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 전압 디더 신호 V_d는 예를 들면 타이밍 및 에너지 알고리즘에 대한 변형에 의해 도입된 추가적인 전압 입력으로서 사용된다. 예를 들면 dE/dV를 측정하기 위해 사용되는 전압 디더 신호와 상이하고, 이것은 본 발명의 일실시예의 현재 논의된 측면의 논의에 배타적으로 포함되는 것은 아니다. 증가된 플랜트(350)의 출력은 (1) 에너지 오차, E_e, (2) 에너지 대 전압 기울기 추정치, $\frac{\partial E}{\partial V}$, (3) 개방 루프 전압 오차, V_e, (4) 출력 에너지, E, 및 (4) 측정된 차동 MOPA 챔버 발사 시간, t를 포함한다. 레이저(352)에 인가된 전압은 예를 들면 전압 디더 입력 V_d와 에너지 컨트롤러(358)로부터 명령을 받은 전압 V_e의 합이다. 상기 에너지 컨트롤러(358)는 또한 예를 들면 E_e, $\frac{\partial E}{\partial V}$, V_e의 추정치를 생성한다. 차동 MOPA 정류자 발사 명령 t_a 신호는 예를 들면 타이밍 디더 신호 t_d와 타이밍 컨트롤러 t_c의 출력의 합이다. 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 레이저 시스템(352)은 예를 들면 입력으로서 발사 전압 V_e 신호와 차동 MOPA 정류자 발사 시간, t_a 신호(384)를 취하고, 예를 들면 출력으로서 측정된 에너지 E와 차동 MOPA 챔버발사 시간 t를 산출한다.

[0174]

본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 타이밍 제어의 추가적인 측면이 예를 들면, 발광 시간 T_{lit}에 대한 트리거를 조정하기 위해, MO 및 PA 정류자 발사 명령의 명령 모드 부분을 조정하도록 사용될 수 있다. 컨트롤러(350)의 이러한 부분은 예를 들면 본문의 논의 하에서는 에너지 및 타이밍 컨트롤러(354)와 완전히 분리되어 있고, 명료화를 위해 도면에서 생략되었다.

[0175]

본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 타이밍 컨트롤러(356)가 예를 들면, 원하는 t₀와 측정된 MOPA 챔버 발사 차이의 시간 t 사이의 오차에 대응하여, 예를 들면 명령을 받은 MOPA 정류자 발사 시간 t_c를 조정한다. 그의 가장 간단한 형태로, 타이밍 컨트롤러(356)에서의 타이밍 서보가 불연속 적분기가 된다:

수학식 48

$$t_c[k+1] = t_c[k] - g_t(t[k] - t_0[k])$$

[0176]

[0177]

여기서 g_t 는 일정한 이득이다. 예를 들면 상기에서 예시로 든 하나 이상의 출원인의 양수인의 XLA 시리즈 레이저 시스템에서 현재 사용되는 타이밍 제어에 대한 추가적인 강화는, 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 오차의 크기에 기반하여 정류자 지연 대 전압 효과 및/또는 이득 스케줄링에 대한 보상이다. 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 타이밍 컨트롤러(356)는 예를 들면 일련의 이득 g_t 에 의해 스케일링된 선행한 펄스 $k-1$ 에 대한 오차에 기반한 다가오는 펄스 k 에 대한, 예를 들면 원하는 t_0 과 측정된 MOPA 챔버 차동 발사 시간 t 에 기초한, 차동 MOPA 정류자 발사 명령 t_c 를 연산한다.

[0178]

본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 도 8A에 개략적으로 도시된 에너지 컨트롤러(354)는 다수의 레벨, 예를 들면 3 개 레벨의 제어를 사용한다. 제 1 레벨에서, 본 발명의 일 실시예의 측면에 따라, 도 8A에 개략적으로 그리고 블록도의 형태로 도시된 바와 같이, 에너지 타겟, E_0 신호(358)는 에너지 대 전압 기울기 측정치의 역수인, $\partial E / \partial V$, 즉 dV/dE 에 의해 E_0 에너지 스케일링 증폭기(480)에서 스케일링된다. 증폭기(480)에서의 이러한 스케일링은 예를 들면 명령을 받은 전압 V_c (3624)의 하나의 컴포넌트(481)를 생성한다. 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 이것은 예를 들면 에너지 타겟 E_0 에서의 커다란 변화에 대해, 에너지 오차 E_e 를 감도를 줄이도록 하기 위해 활용될 수 있다. 제어의 제 2 레벨에서, 예를 들면 에너지 타겟 E_0 입력 신호(358)(예를 들면 지연 유닛(486)에서 하나의 샘플에 의해 지연되는)와 측정된 에너지 E 입력 신호(390) 사이의 차이가 에너지 오차를 0으로 드라이브하는 경향을 가질 수 있는 함수 dV/dE 로부터 보상 신호(483)을 산출하도록 E_0-E 신호 증폭기(482)에서 필터링된다. 예시로서 상술한 바와 같은 XLA 시리즈 컨트롤러의 현재 구현에서, 이러한 제어 방법은 예를 들면 적분-계급적분 피드백이 될 수 있다. 에너지 오차 E_e 는 예를 들면 루프 이득을 일정하게 유지하기 위해 필터링되기 전에 $\partial E / \partial V$ 에 의해 스케일링될 수 있다. 제어의 제 3 레벨은 예를 들면 버스트에서 버스트로의 전방 공급 제어(도시되지 않음)가 될 수 있다. 이러한 컨트롤러(354)는 예를 들면 과도 에너지를 보정하기 위해, 예를 들면 제 1 샷(20) 또는 그와 같은 버스트의 샷에 대해 적용될 수 있는 전압 역 파형 dV/dE 를 연산할 수 있다. 이러한 파형 dV/dE 는 버스트에서 버스트 기반으로 적용될 수 있다.

[0179]

안정된 적응을 위해, 전방 공급 알고리즘은 예를 들면, 제거된 에너지 서보의 효과를 가지는 개방 루프 전압 오차의 측정 V_e 신호(404)를 활용한다. 이것은 도 15에 도시된 신호 V_e (404)이다. 이러한 V_e 신호(404)의 유용한 속성은, 전압 디더 V_d 로부터 V_e 까지의 페루프 전송 함수가, 에너지 대 전압 기울기 $\partial E / \partial V$ 에서의 추정치의 오차가 작을 때 거의 1이 될 수 있다는 것이다. $\partial E / \partial V$ 는 4 개의 펄스 전압 신호를 레이저 전압 V_c 로 부가하고, 예를 들면 이러한 신호를 에너지 대 전압 민감도 $\partial E / \partial V$ 신호(402)의 추정치에 도달하도록 레이저 입력 전압 V_c-V_d 와 출력 에너지 E 에 상관시키는 것에 의해 측정될 수 있다. 이러한 추정은 명확화를 위해 도 13에서 에너지 컨트롤러의 도면으로부터 생략될 수 있다. 에너지 컨트롤러(354)는 전압 명령 V_c 신호(404)를 연산하고, 이는 예를 들면 측정된 에너지 E 와 원하는 에너지 타겟 E_0 사이의 오차를 최소화하는 것을 의도한다.

[0180]

출원인의 양수인의 현재 레이저 시스템, 예를 들면 XLA 1XX 레이저 시스템에서, 예를 들면, MOPA 타이밍 타겟, t_0 (원하는 MO에서 PA 까지의 차동 방전 타이밍)는 예를 들면 레이저 시스템이 MOPA 타이밍 효율 곡선의 탐에서 동작하도록 조정될 수 있다. 도 16은 예를 들면, 고정된 전압, 예를 들면 V_c 에서의 에너지 대 MOPA 타이밍 곡선의 예를 도시한다. 상기 에너지 E 는 $t=t_{opt}$ 일 때 최대화될 수 있고 그다음 도시된 바와 같이, 타이밍이 t_{opt} 로부터의 곡선의 어느 한 면 상의 최적의 t_{opt} 로부터 벗어나서 변화될 때 급경사가 될 수 있다. 예를 들면 일반적인 에너지 대 차동 MOPA 챔버 발사 시간 곡선에서, 전압은 예를 들면 MOPA 타이밍이 변화될 수 있는 동안에는 일정하게 유지될 수 있다. 예로서 지시된 최적 차동 챔버 발사 시간(예를 들면 30ns)에서, 최대 에너지 출력이 달성될 수 있다. 도 17은 예시의 방식으로 상술한 현재 MOPA 타겟 제어가 출원인의 양수인의 XLA 1XX 시리즈 멀티 챔버 레이저에서 어떻게 구현될 수 있는지를 도시한다. 타이밍 디더 신호, t_d 는 증가된 플랜트(350)에

대한 입력으로서 생성될 수 있다.

[0181] 이러한 디더 신호 t_d 는 예를 들면 나이키스트 주파수에서 고정된 진폭의 사인파를 가진다. 즉, 디더 신호 t_d 는 예를 들면 모든 샷에서 양의 값과 음의 값 사이에서 발진한다. 에너지 대 타이밍 곡선의 기울기는, 타이밍 디더 신호를 예를 들면 차동 MOPA 챔버발사 시간 t 측정치(392)와 측정된 출력 에너지 E 신호(390)에 상관시키고, 출력 신호(436)을 형성하기 위해 $\partial E / \partial t$ 의 비를 취함으로써 측정될 수 있다. 이러한 동작은 도 9에 개략적으로 도시된다. 타이밍 타겟 서보(414)는 매우 간단한 제어 법칙을 실행할 수 있고, 이것은 예를 들면 추정된 MOPA 기울기 $\partial E / \partial t$ 신호(436)가 예를 들면 수학적 식 36에 따라 0이 될 때까지 MOPA 타이밍 타겟 t_0 값(372)이 "상방향으로" 스텝핑되도록 할 수 있다.

수학적 식 49

[0182]
$$t_0[k] = t_0[k-1] + g \frac{\partial E}{\partial t}[k]$$

[0183] 도 17은 이러한 컨트롤러(354)의 액션을 예시적으로 도시한다. 예를 들면 위에서 논의한 출원인의 양수인의 상술한 MOPA 레이저 시스템에서의 현재 MOPA 타이밍 컨트롤러의 액션에서, 타이밍 디더 t_d 신호(374)가 예를 들면, 이것이 레이저 컨트롤러(352)에 전송되기 전에, 예를 들면 현재 동작 포인트에서 명령을 받은 타이밍 t_c (376)에 적용될 수 있다. 상기 디더 신호 t_d 는 예를 들면 현재 동작 포인트에서 적용될 수 있고, 상기 컨트롤러(352)는 동작 포인트를 예를 들면 에너지 대 타이밍 곡선의 피크로 이동시키도록 동작할 수 있다. 이러한 컨트롤러(352)의 유용한 속성은 예를 들면 타이밍 타겟 t_0 이 수렴된(예를 들면, 레이저 시스템이 곡선의 탑에서 동작하는)다면, 타이밍 디더 t_d 에 대한 출력 에너지 E 의 감도가 0이 되도록 할 수 있다는 것이다. 따라서, 타이밍 디더 t_d 의 사용은 출력 에너지 E 의 안정성을 열화할 필요 없이 활용될 수 있다.

[0184] 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 시스템이 레이저 시스템 출력, 예를 들면 대역폭을 조정하기 위해, 예를 들면 MOPA 타이밍 곡선의 피크로부터 멀어져서 동작된다. 도 10은 본 발명의 일실시예의 측면을 도시한다. 예를 들면 에너지 대 타이밍 곡선의 탑에서 동작하는 대신에, 레이저는 피크로부터 벗어나도록 동작하게될 수 있다. 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 출원인은 피크로부터 떨어진 거리가 증가할 때 레이저 시스템으로부터 나온 광의 스펙트럼에 강한 영향을 줄 수 있다고 언급하였었다. 따라서, 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 레이저가 피크, t_{offset} 으로부터 멀어져서 동작하는 거리를 조정함으로써, 레이저 시스템의 대역폭 출력이 제어될 수 있다.

[0185] 도 14는 이러한 것을 수행하도록 설계된 컨트롤러를 예시적으로 그리고 개략적으로 도시한다. 피크, t_{offset} 으로부터의 원하는 오프셋은 대역폭 제어 서보(412)에 의해 연산된다. 이러한 제어 서보에 대한 간단한 법칙은 다음과 같다:

수학적 식 50

[0186]
$$t_{offset}[k] = t_{offset}[k-1] + g \Delta \lambda_{err}$$

[0187] 여기서 g 는 대역폭 오차가 시간에 따라 감소하도록 하기 위해 선택된 이득이다. 제어 서보(412)의 나머지는 예를 들면 이러한 원하는 오프셋으로 dE/dt MOPA 동작 곡선 상의 레이저의 동작 포인트를 드라이브하도록 설계된다. MOPA 기울기 추정(422)은 예를 들면 그것이 출원인의 양수인의 현재 XLA 제어 설계에서 수행하면서 동작을 계속한다. 이에 추가하여, 저대역 통과 필터(420)가 예를 들면 평균 에너지 E_{ave} 출력 신호(434) 측정치를 얻기 위해, 측정된 에너지 E 신호(390)에 적용된다. 이러한 필터(420)의 시간 상수는 예를 들면, MOPA 기울기를 측정하기 위해 사용되는 필터(462, 472)의 시간 상수에 매칭된다.

[0188] 곡선의 기울기와 에너지 값이 주어지면, dt MOPA 타이밍 곡선의 형태에 대한 몇가지 가정을 취함으로써 피크로부터의 오프셋을 추정할 수 있다. 적합한 모델은 하기의 형태의 법칙을 가정한다:

수학식 51

$$E_{ave} = E_p e^{-(\Delta t)^2 / (2\sigma^2)}$$

[0189]

[0190] 여기서 E_p 는 현재 전압에서 발사하는 동안 MOPA 타이밍 곡선의 피크에서 동작하는 것으로 예측할수 있는 피크 에너지이고, σ 는 곡선의 폭을 판정하는 공지의 파라미터이다. 기울기와 에너지의 비는 다음과 같이 나타낼 수 있다:

수학식 52

$$\frac{\partial E / \partial t}{E_{ave}} = \frac{-\Delta t}{\sigma^2}$$

[0191]

[0192] "최적 MOPA 타이밍 측정"(424)에 의해 구현될 수 있는 최적 타이밍으로부터의 오프셋에 대한 추정치는 따라서 예를 들면 다음과 같이 나타낼 수 있다:

수학식 53

$$\Delta t = -\frac{\sigma^2 \partial E / \partial t}{E_{ave}}$$

[0193]

[0194] 현재 타이밍 동작 포인트와 최적 효율 타이밍 동작 포인트 사이의 거리의 추정치 Δt 로, 도 14의 타이밍 타겟 서보(414)는 다음과 같은 형태를 취할 수 있다:

수학식 54

$$t_0[k] = t_0[k-1] + g(t_{offset} - \Delta t)$$

[0195]

[0196] 여기서 컨트롤러는 원하는 동작 포인트로 레이저를 드라이브하도록 동작할 수 있다.

[0197] 변형된 컨트롤러(408)의 이전의 예시한 버전의 현저한 단점은 컨트롤러(408)가 동작 포인트 상에 수렴할 때 타이밍 디터 t_d 의 효과는 레이저 출력 에너지 E에서 쉽게 관찰가능하다는 것이다. 이러한 단점은 예를 들면 도 15에 도시된 바와 같이 변형된 컨트롤러(408')의 제 2 버전의 예시적이고 개략적인 예시에 도시된 것과 같이 처리될 수 있다. 출력 에너지 E 상의 타이밍 디터 t_d 의 효과를 제거하기 위해, 타이밍 디터 t_d 신호(374)가 적응 전방 공급 컨트롤러(452)에 대한 기준으로서 사용될 수 있다. 이러한 컨트롤러(452)의 실시예는 타이밍 디터에 상관된 에너지 오차의 부분을 0으로 드라이브 하도록 전압 디터 신호 V_d 를 조정하는 오차 신호로서, 추정된 개방 루프 전압 오차 V_e 를 이용하는 LMS 알고리즘을 구현할 수 있다.

[0198] 이러한 방식으로 출력 에너지에서 타이밍 디터 신호의 효과를 상쇄시키는 것은 에너지 대 타이밍 곡선의 기울기를 추정하는 조금 상이한 방법을 필요로 할 수 있다. 타이밍 디터가 니카리스트 주파수에서 사인파가 될수 있다는 것을 상기하라:

수학식 55

$$t_d[k] = t_d^0 (-1)^k$$

[0199]

[0200] 이를 상쇄하는 데에 필요한 전압 디터가 다음과 같이 주어지면:

수학식 56

$$V_d[k] = V_d^0 (-1)^k$$

[0201]

[0202] 그런 다음, MOPA 타이밍 곡선의 기울기의 추정치가 다음과 같이 에너지 대 전압 기울기 추정치에 의해 스케일링 된 2 개의 디더 신호의 진폭의 비에 의해 주어질 수 있다는 것이 이어진다:

수학식 57

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{V_d^0}{t_d^0} \frac{\partial E}{\partial V}$$

[0203]

도 13을 참조하면, 증가된 플랜트(350)가 예시적이고 개략적인 블록도의 형태로 도시되고, 이것은 레이저 시스템 컨트롤러(352), 에너지 컨트롤러(354) 및 타이밍 컨트롤러(356)를 구비한다. 상기 레이저 시스템 컨트롤러(352)는 입력으로서 입력 신호(382, 384)를 형성하기 위해 하기에 기술한 바와 같이 변형된 V_d 및 t_d 를 갖고, 출력으로서 측정된 에너지 신호 E와 차동 MO 및 PA 발사 시간 신호 t를 제공한다. 상기 에너지 컨트롤러(354)는 E_0 입력신호(358)와 E 신호가 제공되고, 입력 신호(382)를 형성하기 위해 서머(370)에서 V_d 와 조합되는 출력 전압 명령 V_c 신호(362)를 제공한다. 상기 에너지 컨트롤러(354)는 또한 출력으로서 E_c 신호(400) $\partial E / dV$ 신호(402), 및 V_c 신호(404)를 제공한다.

[0205]

상기 타이밍 컨트롤러(356)는 입력으로서 t_0 및 t를 가지고, 출력으로서 t_c 를 제공하며, 이는 입력 신호(384)를 형성하기 위해 t_d 와 조합된다.

[0206]

도 14를 참조하면, 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 변형된 컨트롤러(408)가 예시적으로 그리고 개략적인 블록도의 형태로 도시되고, 이것은, 타이밍 디더 신호 t_d 를 생성하는 타이밍 디더 생성기(410), 및 예를 들면 원하는 $\Delta \lambda$ 에 대한 dtMOPA에서의 변화의 그래프 상의 포인트를 나타내는 검색 테이블에서의 값에 따라 0까지 가는 측정된 대역폭과 원하는 대역폭 사이의 차이 $\Delta \lambda_{err}$ 을 만드는 원하는 dtMOPA 차동 시간, t_{offset} 을 산출하고, 입력으로서 대역폭과 원하는 대역폭 사이의 오차, $\Delta \lambda_{err}$ 를 취하는 대역폭 제어 서보(410)을 구비하는 t_0 산출 회로와, 증가된 플랜트(350)를 포함한다. 타이밍 오프셋 서보(412)라고도 하는 상기 대역폭 제어 서보(412)는 타이밍 타겟 서보(414)로 t_{offset} 신호(432)를 공급할 수 있는데, 이는 또한 Δt 신호(438)를 수신하고 예를 들면 수학식 50에 따라 t_0 신호(372)를 산출할 수 있다. 상기 타이밍 타겟 서보(414)는 Δt 신호(438)를 최적 MOPA 타이밍 추정(424)으로부터 수신하고, 이는 MOPA 기울기 추정(422)으로부터 $\partial E / dt$ 를 수신하고, 증가된 플랜트(350) 상의 레이저 시스템으로부터 측정된 에너지 E 신호(390)를 저대역 필터링할 수 있는 저대역 필터(420)로부터 E_{ave} 출력신호(434)를 수신할 수 있다. 상기 MOPA 기울기 추정(422)은 도 14에 도시된 타이밍 디더 생성기(410)로부터의 타이밍 디더 신호 t_d 출력과 함께 증가된 플랜트(350)의 t 신호(392) 출력 및 증가된 플랜트(350)의 E_c 신호(400) 출력을 수신하고, 예를 들면 수학식 57에 따라 $\partial E / dt$ 신호(436)를 연산한다. 상기 최적 MOPA 타이밍 추정은 주어진 에너지에 대한 MO 및 PA 사이의 최적의 Δt , 필터링된 E_{ave} 신호(438) 값을 연산하고, 예를 들면 선택된 대역폭을 달성하기 위한 대역폭에서의 원하는 변화, 즉 t_{offset} 신호(432)에 기초한 t_0 의 원하는 값을 연산하기 위해 타이밍 타겟 서보(414)로 그를 제공한다.

[0207]

도 15를 참조하면, 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 변형된 컨트롤러 시스템이 도시되고, 이는 수학식 56에 따라 전압 디더 V_d 신호(360)를 연산하는 적응 전방 공급 회로(452)와 함께 도 14에 도시된 엘리먼트를 포함한다. 상기 적응 전압 공급 컴퓨터(452)는 또한 타이밍 디더 신호 t_d 에 따라 연산된 $\partial V / \partial t$ 출력 신호(440)를 MOPA 기울기 추정(422)으로 공급하고, 이는 그런 다음 증가된 플랜트(350)으로부터의 $\partial E / dV$ 출력 신호(402)로 적응 전방 공급 컴퓨터(452)로부터의 $\partial V / \partial t$ 출력 신호(440)를 곱함으로써 $\partial E / dt$ 신호(436)을 연산한다.

[0208]

도 8A를 참조하면, 예시적으로 그리고 개략적인 블록도의 형태로 에너지 컨트롤러(354)가 도시되고, 이는 예를

들면 z^{-1} 지연(486)에서의 하나의 펄스에 대해 지연된 E_0 신호(358)를 가진 값 $E_e = E - E_0$, 신호(484)를 얻기위해 서머(460)에서 합산된 입력 측정된 레이저 시스템 출력 에너지 E 신호(390)와 입력 E_0 신호(358)를 포함한다. 상기 원하는 레이저 출력 에너지 E_0 신호(358)는 또한 전압 명령 V_c 컴포넌트 출력 신호(481)를 제공하기 위해 에너지 컨트롤러 E_0 dV/dE 스케일링 증폭기(480)로 제공된다. 제 2 명령 전압 V_c 컴포넌트 신호(483)는 에너지 서보(488)로 출력 신호(483)를 제공하는 에너지 컨트롤러 $E_{(k)} - E_{0(k-1)}$ dV/dE 스케일링 증폭기(482)로부터 제공된다. 상기 컴포넌트(481, 483a)는 명령 전압 V_c 신호(362)를 형성하기 위해 서머(490)에서 합산된다. 추가로, 에너지 서보(488)의 출력(483a)은 예를 들면 z^{-1} 지연(492)에서 지연되고, 에너지 컨트롤러(354)의 개방 루프 전압 오차 V_e 신호(404) 출력을 얻기 위해 서머(494)에서의 에너지 서보(488)에 대해 입력(483)로부터 차감된다. $E_e = E_{(k)} - E_{0(k-1)}$ 신호(484)의 값은 에너지 컨트롤러(354)로부터의 E_e 출력(400)을 형성한다.

[0209] 도 18을 참조하면, 예시적으로 그리고 개략적인 블록도의 형태로 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 MOPA 기술 기 추정(422)이 도시되고, 이것은 E_e 신호(390)와 t_d 신호(392)의 입력을 수신하고, 분배기(466)로 $\partial E / dt$ 신호(436)의 에너지 부분을 제공하는 저대역 통과 필터(462)로 입력을 공급하는 배율기(460)를 포함한다. 유사하게, 배율기(470)는 출력 $\partial E / dt$ 신호(436)을 형성하기 위해 분배기(466)로 $\partial E / dt$ 신호(436)의 시간 부분(474)을 제공하도록 저대역 필터(472)로의 입력을 형성하도록 입력 t_d 신호(374)와 t 신호(392)를 곱한다.

[0210] 타이밍 제어의 목적은 그런다음 동작 곡선 상의 동작 포인트를 달성하도록 원하는 오프셋으로 시스템을 드라이브하고 그런다음 원하는 대역폭으로 시스템을 드라이브하도록 할 수 있게 하는 것이다. 이를 위해, 제어 시스템(408)은 어떤 타이밍이 피크 동작을 제공하고, 그런 다음 예를 들면 t_{offset} 의 현재값을 연산하는지를 판정할 수 있다. 그러나, 레이저는 피크로부터 떨어져서 동작하기 때문에, 어떤 타이밍이 실제로 도 16에 예시의 방식으로 도시된 에너지 대 타이밍 곡선의 형태에 대한 상세한 지식 없이 피크 효율을 가져오는지를 판정하는 것은 어려운 일이다. 이것은 도 16에 도시된 곡선의 형태가 예를 들면 레이저 동작 조건(예를 들면 듀티 사이클, 펄스 반복률, 출력 에너지 레벨 등)에 따라 변화될 수 있다는 사실에 의해 보다 복잡해진다. 그러나, 오프셋 타이밍 정보가 실제로 예를 들면 피드백 루프 주변의 대역폭에서 사용되기 때문에, 안정한 알고리즘이 예를 들면 오프셋 타이밍에서 단조인 값을 이용하여 달성될 수 있지만, 그러나 보다 쉽게 측정가능하게 된다. 이러한 값은 예를 들면 하기의 양이다:

수학식 58

[0211]
$$u = \frac{1}{E_{ave}} \left. \frac{\partial V}{\partial t} \right|_E$$

[0212] 여기서, 타이밍 동작 포인트라고 출원인이 지칭한 양, u 는 평균 에너지에 대해 고정된 출력 에너지에서의 타이밍에 대한 전압의 도함수의 비를 포함한다. 예를 들면 도 16, 17, 및 10의 에너지 대 타이밍 피크 주변의 넓은 범위에 대해 u 가 예를 들면 타이밍 오프셋에서 단조인 것으로 도시될 수 있다. 또한, 예를 들면 오프셋 타이밍 t_{offset} 이 0일 때 u 가 0인 것으로 도시될 수 있다. 따라서, 예시의 방식으로 도 11에 도시된 대역폭 컨트롤러(408)는 하기의 수학식의 제어 법칙을 구현한다:

수학식 59

[0213]
$$u_0[k] = u_0[k-1] + g\Delta\lambda_{err}$$

[0214] 여기서 u_0 는 원하는 타이밍 동작 포인트이고, 예를 들면 측정된 동작 포인트 u 를 u_0 로 드라이브하기 위한 타이밍 컨트롤러(408')의 목적을 가질수 있도록 이루어질 수 있다. 도 11은 이를 수행하기 위해 설계된 컨트롤러(408')를 도시한다. 상기 원하는 동작 포인트 u_0 는 수학식 59에 따라 대역폭 컨트롤러(412)에 의해 연산된다. 컨트롤러(408)의 나머지는 동작 파라미터, 예를 들면 E 를 이러한 원하는 동작포인트로 드라이브하도록 설계된다.

[0215] 에너지 대 타이밍 곡선의 피크로부터 떨어져서 동작하는 어려움은 출력 에너지가 에너지 대 타이밍 곡선의 기울기를 추정하기 위해 사용되는 타이밍 디더 신호에 대해 보다 민감하다는 것이다. 이것은 레이저 에너지 안정성에 대해 유해한 효과를 가질 수 있다. 출력 에너지에서의 타이밍 디더의 효과를 제거하기 위해, 상기 타이밍 디더 신호는 예를 들면 도 15 및 11에서의 적응 전방 공급 필터(452)에 대한 기준으로서 사용된다. 도 15 및 11의 컨트롤러(408, 408')에서의 이러한 적응 전방 공급 필터(452)의 구현은 예를 들면 타이밍 디더와 상관된 에너지 오차 부분을 0으로 드라이브하기 위해, 전압 디더 신호 V_d 를 조정하기 위해 오차로서 추정된 개방 루프 전압 오차 V_e 를 이용하는 알고리즘, 예를 들면 LMS 알고리즘을 구현할 수 있다. 원하는 전압 디더 신호를 산출하는 데에 추가하여, 적응 전방 공급 필터(452)의 동작의 이러한 예의 부수적 효과는 그것이 도 11에서 일정한

$\left. \frac{\partial V}{\partial t} \right|_E$ 에너지, 즉 $\left. \frac{\partial V}{\partial t} \right|_E$ 신호(500)에서 타이밍에 대해 전압의 도함수를 측정하는 데에 사용할 수도 있다는 것이다. 도 11의 동작 포인트 연산 블록(504)에서 평균 출력 에너지 E_{ave} 신호(434)에 대한 상기 식의 비를 취하는 것이 수학식 44에 따라 타이밍 동작 포인트 u 의 원하는 측정치를 주도록 사용될 수 있다.

[0216] 상기 측정된 그리고 원하는 동작 포인트는 그런 다음 타이밍 타겟 서보(414)에서의 MO 및 PA 챔버(t_0)에 대한 원하는 차동 발사 시간을 연산하는 데에 사용될 수 있다. 이러한 서보(414)는 다음의 수학식의 간단한 피드백 법칙을 구현할 수 있다:

수학식 60

$$t_0[k] = t_0[k-1] + g(u - u_0)$$

[0217] 컨트롤러(408 또는 408')을 이용하는 상술한 타이밍 제어의 결과는 최대 에너지를 공급하는 타이밍의 값이 더 이상 다른 레이저 서브 시스템에 대한 측정치로서 가용할 수 없다는 것이다. 이러한 값을 사용하는 시스템은 예를 들면 F_2 주입 제어 시스템이다. 이러한 시스템의 일부 버전은 예를 들면 하나 이상의 레이저 챔버, 예를 들면 2 챔버 MOPA 레이저 시스템에서의 MO 챔버에서 필요한 F_2 레벨을 판정하기 위해 기준 최적 타이밍 값으로부터 측정된 최적 타이밍의 도함수를 이용한다. 도 12는 이러한 아키텍처(520)의 예를 도시한다. 상기 F_2 컨트롤러(522)는 입력으로서 최적 발사 시간 t_{opt} 신호(524)를 취하고 주입 크기 신호(526)를 조정하기 위해 이러한 값을 이용할 수 있다. 상기 주입 크기 신호(526)는 레이저 시스템 챔버(들)로 주입된 플루오르의 레벨과 차례로 최적 발사 시간 차동에 영향을 주는 챔버(들)에 포함된 플루오르의 양에 영향을 주기 위해 사용될 수 있다. 도 19는 F_2 제어가 어떻게 상술한 바와 같은 타이밍 제어 알고리즘을 수용하도록 변형될 수 있는지를 도시한다.

[0219] 예를 들면, 여기서 주어진 원하는 대역폭에 대한 원하는 동작 포인트가 연산되고, 예를 들면 대역폭 컨트롤러가 원하는 타이밍 동작 포인트 u_0 를 연산한다. F_2 컨트롤러(522)는 입력으로 이러한 타겟 u_0 를 취할 수 있다. 상기 F_2 컨트롤러(522)는 그런 다음 원하는 값으로 타겟 동작 포인트 u_0 를 드라이브할 수 있는 알고리즘을 구현할 수 있다. 예를 들면, 레이저 동작 효율을 최대화시키고 그결과 레이저가 항상 예를 들면 최대 효율 또는 일정한 원하는 범위 내에서의 선택된 포인트에서 동작하는 것을 보장하기 위해, 동작 포인트를 0 또는, 0이 아닌 일정한 다른 값으로, 또는 다른 값으로 드라이브하도록 한다. 상기 타이밍 제어(408, 408')와 대역폭 제어(412)는 함께 신속하게 시스템이 원하는 대역폭이 되도록 할 수 있고, 그런다음 F_2 제어(522)는 가스 농도를 조정하여 레이저 시스템이 선택된 포인트, 예를 들면 최대 효율에서 동작하도록 할 수 있다.

[0220] 도 20을 참조하면, 도 19에 도시된 본 발명의 일실시예의 측면의 보다 상세한 내용을 예시의 방식으로 도시한다. 도 20에서 예시의 방식으로, 증가된 플랜트(350)가 u_0 , E , t_{VcpMO} 및 t_{VcpPA} 를 수신하고, 동작 전압 V , 예를 들면 MO 챔버에서의 전극 사이의 가스 방전 시간을 판정하는 솔리드 스테이트 스위치에 근접하는 트리거 신호, PA 챔버에서의 전극 사이의 가스 방전 시간을 판정하는 솔리드 스테이트 스위치의 폐쇄를 판정하는 트리거 신호, MO_{TRIG} , PA_{TRIG} , 및 실제 BW를 산출하는 동안, F_2 주입 제어 시스템(522)이 예를 들면 리필 사이의 레이저(353)로의 F_2 가스 주입을 판정하고 제어하는 시스템이 도시된다.

[0221] 보다 단기간 동안 에너지 및 타이밍 제어 시스템이 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 u 를 동일한 u_0 로 드라이브

하도록 동작할수록, 보다 긴 기간동안 시스템은 원하는 BW를 유지하기 위해 동작 포인트를 변화시키도록 플루오르가 고갈될 때까지의 가스의 수명동안, 또는 허용가능한 대역폭 값의 범위 내에서 BW 타겟을 이동시키기 위해 가스 수명에서 가스 수명까지 u_0 를 이동시킨다.

[0222] 당업자는, 라인 협대화된 시드 펄스를 제 2 증폭 레이저 시스템부로 제공하는 제 1 라인 협대화된 오실레이터 레이저 시스템부를 구비하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법 및 장치로서, 여기서 제 1 레이저 시스템부에서의 시드 펄스의 생성과, 증폭 레이저 시스템 부에서의 레이저 이득 매체의 생성 사이의 차동 발사 시간의 선택이 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템으로부터의 레이저 출력 광 펄스의 대역폭에 영향을 주는 방법 및 장치가 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 본 출원서에 개시되는 것을 당업자는 이해할 것이며, 상기 방법 및 장치는 측정된 대역폭과 대역폭 타겟의 함수로서 차동 발사 시간을 조정하는 단계; 현재 동작 포인트를 추정하는 단계; 및 현재 동작 포인트와 원하는 동작 포인트의 함수로서 할로젠 가스 주입을 조정하는 단계를 포함한다. 예를 들면 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 MO 및 PA 사이의 상기 차동 발사 시간은 예를 들면 수 나노초 내에서 당업자에 의해 이해되는 것과 같이, 적어도 가용한 전력 공급장치와 컨트롤러 장비의 톨러런스 내에서의 2 개의 방전사이의 선택된 타이밍 차이를 가지는, 레이저 시스템의 PA(또는 PO) 부분의 전극 사이 및 MO 레이저 부분의 전극 사이의 전기 방전의 타이밍을 제어하는 방식으로, PA에 대한 전력공급장치를 위한 전력 공급장치에서의 다른 스위치 및 MO에 대한 전력 공급장치에서의 스위치의 각각의 폐쇄를 지시하는 에너지 및 타이밍 컨트롤러에 의해 생성되는 타이밍 신호를 사용하여 조정된다. 상기 측정된 대역폭은 예를 들면 상술한 다양한 출원인의 양수인의 인용된 진행중인 특허출원과 발급된 특허에서 도시된 것과 같은 측정치에 대해 공지된 기술에 따라 측정되고, 상기 대역폭 타겟은 예를 들면 종래기술에 공지된 것과 같은 레이저에 의해 산출된 레이저 출력광 펄스를 사용하는 장치, 예를 들면 집적회로 포토리소그래피 장치로부터의 요청된 대역폭에 대응하여, 레이저 시스템의 컨트롤러에 의해 선택된 대역폭을 포함한다. 이러한 차이는 대역폭 오차를 포함할 수 있다. 현재 동작 포인트를 추정하는 단계는 예측된 동작 범위에 대해 차동 발사 시간에 대해 단조인 레이저 시스템 동작 파라미터의 가용한 측정치로부터 쉽게 연산가능하거나 또는 추정가능한 함수를 사용하는 것을 포함하고, 예를 들면 상기 동작 포인트는 예를 들면 일정한 에너지에서의 동작 전압, 또는 일정한 동작 전압에서의 동작 에너지의 함수로서 예를 들면 차동 발사 시간에서의 변화인, 동작 파라미터가 변하는 동작 포인트의 곡선상에 있거나, 또는 주어진 레이저 시스템 및/또는 개별 레이저 장치에 대해 경험적으로 판정되고, 예를 들면 측정된 레이저 시스템 동작 파라미터에 따라 주기적으로 업데이트된다. 할로젠 가스 주입은 종래 기술에 공지된 바와 같이 제어되고, 현재 동작 포인트는 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 이러한 주입에 의해 원하는 동작 포인트로 시프트된다.

[0223] 원하는 동작 포인트는 타겟 대역폭, 레이저 시스템 듀티 사이클 및 레이저 시스템 출력 펄스 에너지 중 적어도 하나의 함수로서 결정된다. 현재 동작 포인트를 추정하는 단계는 현재 차동 발사 시간과 기준 차동 발사 시간 사이의 차이를 활용하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 대역폭 오차로서 차동 발사 시간을 조정하는 것을 더 포함한다. 상기 방법 및 장치는 예를 들면 동작 전압 대 차동 타이밍 곡선 또는 동작 에너지 대 차동 타이밍 곡선의 극값에서의 레이저 시스템 효율을 최적화하기 위해 기준 차동 타이밍을 선택하는 것을 포함한다. 상기 방법 및 장치는 예를 들면 일정한 에너지에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수, 및 예를 들면 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수 중 적어도 하나의 함수로서 현재 차동 발사 시간과 기준 차동 발사 시간 사이의 차를 추정하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 예를 들면 일정한 에너지에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압의 도함수, 및 예를 들면 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 방전 전압 및 레이저 시스템 출력 펄스 에너지에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수 중 적어도 하나의 함수로서 현재 차동 발사 시간과 기준 차동 발사 시간사이의 차를 추정하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 일정한 에너지에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압의 도함수, 및 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지에 대한 도함수 중 적어도 하나의 함수로서 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 $(1/E) \cdot dV/dt$ 로서 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 포함하고, 여기서 E는 레이저 시스템 출력 펄스 에너지이고 dV/dt 는 예를 들면 현재 동작 포인트에서의 예를 들면 일정한 에너지에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압의 미분이다.

[0224] 상기 방법 및 장치는 예를 들면 일정한 전압에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지와 예를 들면 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수 중 적어도 하나의 함수로서 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 관계식 $(1/E) \cdot dE/dt$ 를 이용하는 단계를 포함하는 현재 동작 포인트의 추정 단계를 포함하고, 여기서 E는 레이저 시스템 출력 펄스 에너지이고, dE/dt 는 예를

들면 현대 동작 포인트에서의 예를 들면 일정한 전압에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수이다. dE/dt 는 디더 신호를 차동 발사 시간에 적용하고, 디더, 레이저 출력 펄스 에너지 및 실제 차동 발사 시간을 활용하는 dE/dt 를 연산함으로써 추정된다. dE/dt 는 디더 신호를 차동 발사 시간에 적용하고, 디더와 레이저 출력 펄스 에너지의 상호관계와 실제 차동 발사 시간의 각각의 비를 취함으로써 추정된다. dE/dt 는 dE/dV 와 dV/dt 의 곱으로부터 결정된다.

[0225] 상기 방법 및 장치는 디더 신호를 차동 발사 시간에 적용함으로써 일정한 에너지에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압의 도함수를 추정하는 단계; 디더 신호의 스케일링된 버전을 전압에 적용하는 단계; 상기 스케일을 에너지 오차를 최소화하도록 적응시키는 단계; 및 스케일 팩터로서 dV/dt 를 취하는 단계를 포함한다. 이러한 실시예에 따른 원하는 동작 포인트는 레이저 시스템 효율을 최대화하는 것을 포함한다. 상기 방법 및 장치는 현재 동작 포인트와 원하는 동작 포인트 사이의 차이의 함수로서 할로겐 가스 주입 크기를 조정하는 것을 포함한다.

[0226] 라인 협대화된 시드 펄스를 제 2 증폭 레이저 시스템부로 제공하는 제 1 라인 협대화된 오실레이터 레이저 시스템부를 구비하는 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템에서의 대역폭 제어를 위한 방법 및 장치로서, 여기서 제 1 레이저 시스템부에서의 시드 펄스의 생성과, 증폭기 레이저 시스템 부에서의 레이저 이득 매체의 생성 사이의 차동 발사 시간의 선택이 멀티-부분으로 구성된 레이저 시스템으로부터의 레이저 출력 광 펄스의 대역폭에 영향을 주는 방법 및 장치가 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 개시되고, 상기 방법 및 장치는: 측정된 대역폭과 타겟 대역폭의 함수로서 타겟 동작 포인트를 조정하는 단계; 현재 동작 포인트를 추정하는 단계; 및 현재 동작 포인트를 상기 타겟 동작 포인트로 드라이브하기 위해 현재 동작 포인트와 타겟 동작 포인트의 함수로서 차동 발사 시간을 조정하는 단계; 및 현재 타겟 동작 포인트와 원하는 동작 포인트의 함수로서 할로겐 가스 주입을 조정하는 단계를 포함한다. 당업자는, 원하는 동작 포인트가, 예를 들면 시스템이 또한 대역폭 제어를 관리하는 시스템 동작포인트로 드라이브 하도록 제어 시스템이 F_2 주입 제어를 활용하는 동작 포인트를 선택할 목적으로, 시스템에 의해 설정되는 동안, 타겟 동작 포인트가 예를 들면 대역폭 제어를 수용하기 위해 제어 시스템에 의해 설정된다는 것을 이해할 것이다.

[0227] 이러한 실시예에 따라 현대 동작 포인트를 추정하는 단계는, 상술한 바와 같이, 동작의 예측된 범위에 대해 차동 발사 시간에 대해 단조인 레이저 시스템 동작 파라미터의 가용한 측정치로부터 쉽게 연산가능하거나 또는 추정가능한 함수를 이용하는 것도 포함한다. 상기 현재 동작 포인트를 추정하는 단계는 또한 상술한 바와 같이 현재 차동 발사 시간과 기준 차동 발사 시간 사이의 차이를 활용하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 또한, 상술한 바와 같이, 일정한 에너지에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압 및 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수 중 적어도 하나의 함수로서 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 또한 상술한 바와 같이, 디더 신호를 차동 발사 시간에 적용함으로써, 일정한 에너지에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 방전 전압의 도함수를 추정하는 단계; 상기 디더 신호의 스케일링된 버전을 전압에 적용하는 단계; 상기 스케일을 에너지 오차를 최소화하도록 적응시키는 단계; 및 스케일 팩터로서 dV/dt 를 취하는 단계를 포함한다. 상기 방법 및 장치는 또한 상술한 바와 같이, 일정한 전압에서의 차동 발사 시간에 대한 레이저 시스템 출력 펄스 에너지와 현재 동작 포인트에서의 레이저 시스템 출력 펄스 에너지의 도함수 중 적어도 하나의 함수로서 상기 현재 동작 포인트를 추정하는 단계를 포함한다. 시간에 대한 레이저 시스템 동작 에너지의 미분은 상술한 바와 같이, 디더 신호를 차동 발사 시간에 적용하고, 레이저 출력 펄스 에너지 및 실제 차동 발사 시간과 디더의 상관관계의 각각의 비를 취하는 것에 의해 추정된다. 시간에 대한 레이저 시스템 동작 에너지의 미분은 상술한 바와 같이, 디더 신호를 차동 발사 시간에 적용하고, 디더, 레이저 출력 펄스 에너지 및 실제 차동 발사 시간을 활용하여 dE/dt 를 연산함으로써 추정된다. 시간에 대한 레이저 시스템 동작 에너지의 미분은 상술한 바와 같이 dE/dV 와 dV/dt 의 곱으로부터 결정된다. 상기 원하는 동작 포인트는 상술한 바와 같이 레이저 시스템 효율을 최대화하는 것을 포함한다.

[0228] 당업자는 상술한 본발명의 실시예들의 측면이 바람직한 실시예일 뿐 어떠한 방식으로든 본 발명의 기술을 한정 시키고 특정한 바람직한 실시예에만 특별히 한정되는 것은 아님을 이해할 것이다. 다양한 변형과 변경이 당업자에 이해되고 알려진 개시된 발명의 실시예의 개시된 측면에 대해 이루어질 수 있다. 첨부된 청구범위는 본 발명(들)의 실시예의 개시된 측면들 뿐 아니라 그의 등가물 및 당업자에 자명한 다른 변형 및 변경을 포함하는 범위에 있고 그를 의미하도록 의도된다. 상술한 본 발명의 개시된 그리고 청구된 실시예들의 측면에 대한 변형 및 변경에 추가하여, 다른 것들이 구현될 수 있다.

[0229] 35 U.S.C. § 112를 만족시키기 위해 필요한, 본 특허출원에 상세하게 기술되고 예시된 MOPA GAS DISCHARGE

LASER BANDWIDTH CONTROL THROUGH DISCHARGE TIMING의 실시예(들)의 특정한 측면들이 상술한 실시예의 측면의 목적에 대한 임의의 다른 이유에 의해 해결될 수 있는 문제점들에 대해 상술한 목적을 완전히 달성할 수 있지만, 당업자는, 본 발명의 기술된 실시예의 현재 기술된 측면들은 본 발명에 의해 광범위하게 인식된 주제의 단순한 예시, 일예 및 대표적인 것이라는 것을 이해할 것이다. 실시예의 현재 기술되고 청구된 측면의 범위는 명세서의 교안에 기초하여 당업자에 명확하게 되는 다른 실시예들을 포함한다. 본 MOPA GAS DISCHARGE LASER BANDWIDTH CONTROL THROUGH DISCHARGE TIMING의 범위는 첨부된 청구범위에 의해서만 단독으로 그리고 완전히 한정되며 그에 기술된 것을 벗어나는 어떤 것에 의해서도 한정되지 않는다. 단수로 된 상기와 같은 청구범위에서의 엘리먼트에 대한 참조는 그것이 명시적으로 언급되지 않는한, 이러한 청구범위에서의 엘리먼트는 "하나 및 하나만"은 "하나 이상"이라고 번역되지 않아야 하는 것으로 의도된다. 당업자에 공지된 또는 차후에 알려질 상술한 실시예(들)의 측면의 임의의 엘리먼트에 대한 모든 구조적 그리고 기능적 등가물들은 참조에 의해 본문에 명백히 통합되어 있고, 본 청구범위들에 의해 포함되도록 의도된다. 본 출원서의 명세서 및/또는 청구범위에서 의미가 명확하게 주어진 명세서 및/또는 청구범위에서 사용되는 용어는, 임의의 사전 또는 이러한 용어에 대한 의미에 공통으로 사용되는 기타의 것에 상관없이, 상기의 의미를 가진다. 본 출원에 개시된 실시예의 측면에 의해 해결하고자 하는 각각의 문제 및 모든 문제에 초점을 맞춘 실시예의 임의의 측면으로서 명세서에 개시된 디바이스 또는 방법이 본 청구범위에 의해 포함되는 것을 의도하거나 그것이 필수적인 것이 아니다. 본 개시물에서의 어떠한 엘리먼트, 컴포넌트, 또는 방법의 단계도 상기 엘리먼트, 컴포넌트 또는 방법의 단계가 명시적으로 청구범위에 언급되었는지 여부에 관계없이 공개될 것을 의도한 것은 아니다. 첨부된 청구범위에서의 어떠한 엘리먼트도, 상기 엘리먼트가 "~에 대해 의미한다"라는 문구를 이용하여 명시적으로 언급되거나, 또는 방법의 청구범위의 경우에, 상기 엘리먼트가 "동작" 대신에 "단계"로서 언급되지 않는다면, 35 U.S.C. § 112, 6번째 조항에 따라 해석되지 않는다.

도면의 간단한 설명

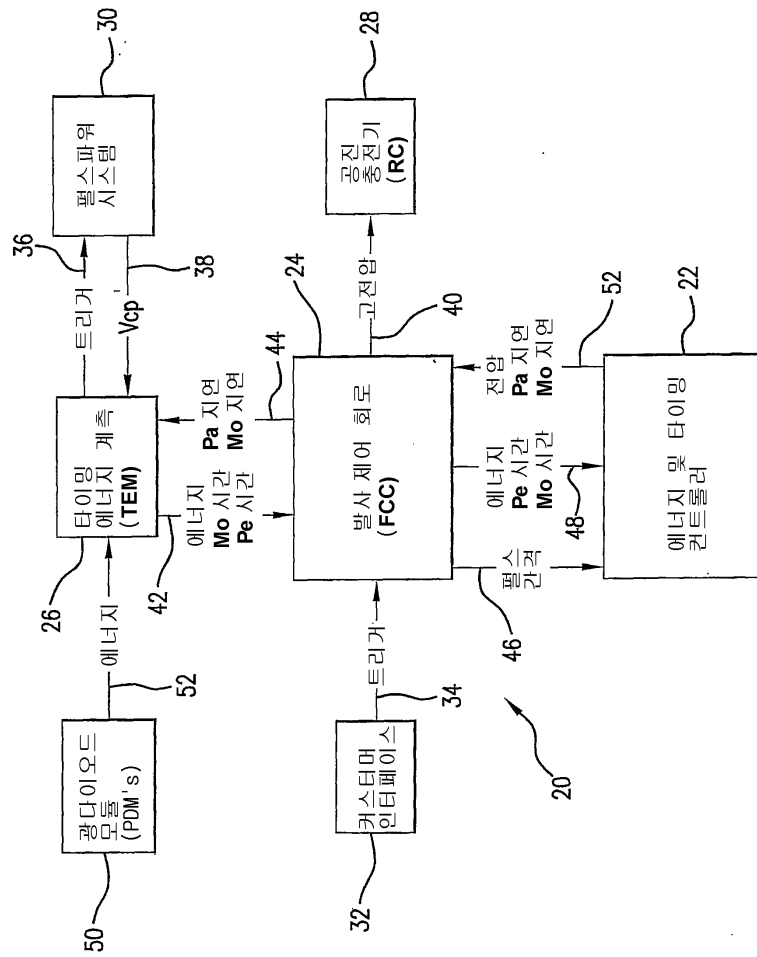
- [0008] 도 1은 개략적인 블록도 형태로 멀티-챔버 레이저 시스템 타이밍 및 에너지 제어에 유용한 예시적인 시스템 아키텍처를 도시한다.
- [0009] 도 2는 도 4의 컨트롤러 부분의 변형된 버전을 도시한다.
- [0010] 도 3은 개략적인 블록도의 형태로 타이밍 컨트롤러의 예를 도시한다.
- [0011] 도 4는 개략적인 블록도의 형태로 에너지 컨트롤러의 예를 도시한다.
- [0012] 도 5는 본 발명의 일 실시예의 측면에 따라 에너지 서보에 대한 이득 최적화를 도시한다.
- [0013] 도 6은 또한 이득 최적화의 예를 도시한다.
- [0014] 도 7은 일정한 전압 모드에서의 레이저 시스템 발사에 대한 에너지 반응을 도시한다.
- [0015] 도 8은 레이저 시스템 동작 에너지 데이터를 도시한다.
- [0016] 도 8A는 도 4에 도시된 컨트롤러의 부분에 대한 변형을 도시한다.
- [0017] 도 9는 도 3에 도시된 컨트롤러의 부분에 대한 변형을 도시한다.
- [0018] 도 10은 예를 들면, 동작 곡선 상의 원하는 포인트로 최적 동작 포인트(예를 들면 에너지 출력의 최대에서)로부터의 오프셋을 드라이빙함으로써, 원하는 대역폭 출력을 제공하는 동작 곡선 상의 포인트로 상기 컨트롤러가 상기 레이저 시스템의 동작을 구동시키는 예시적인 컨트롤러 시스템을 도시하는 도 17과 유사하다.
- [0019] 도 11은 본 발명의 일 실시예의 측면에 따라 예시적으로 그리고 블록도의 형태로 멀티-챔버 타이밍 및 출력 에너지 컨트롤러를 도시한다.
- [0020] 도 12는 본 발명의 일 실시예의 측면에 따라 개략적으로 그리고 블록도의 형태로 단기간과 장기간의 대역폭 제어의 조합을 도시한다.
- [0021] 도 13은 본 발명의 일 실시예의 측면에 따라 예시적으로 그리고 개략적인 블록도의 형태로 멀티-챔버 레이저 컨트롤러 시스템의 소위 증가 플랜트를 도시한다.
- [0022] 도 14는 예시적으로 그리고 개략적인 블록도의 형태로 멀티-챔버 레이저 컨트롤러 시스템을 도시한다.
- [0023] 도 15는 본 발명의 일 실시예의 측면에 따라 예시적으로 그리고 개략적인 블록도의 형태로 멀티-챔버 타이밍 및

출력 에너지 컨트롤러를 도시한다.

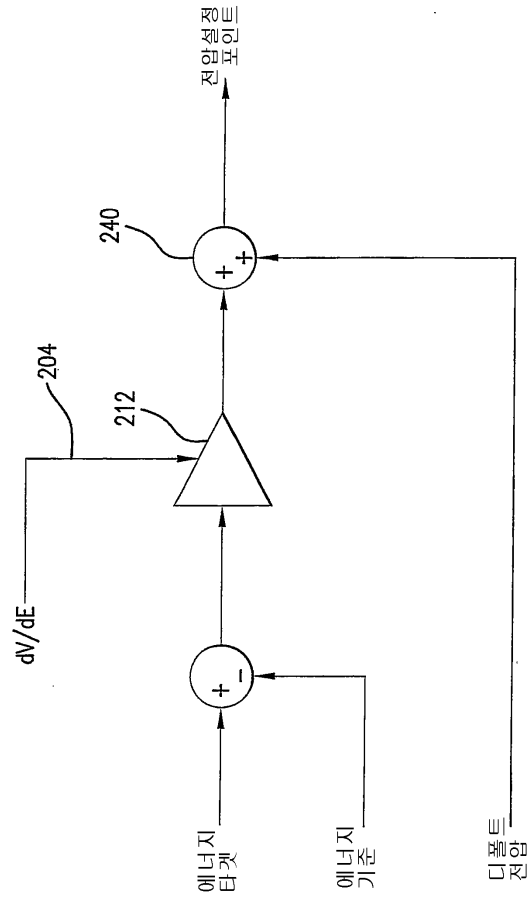
- [0024] 도 16은 또다른 레이저 시스템의 동작 파라미터, 예를 들면 dtMOPA의 값을 변화시키는 멀티-챔버 레이저 시스템의 동작, 및 동일한 파라미터, 예를 들면 dtMOPA의 변형에 대한 또다른 레이저 파라미터, 예를 들면 대역폭 사이의 예시적인 관계로부터 유발된, 멀티-챔버 레이저 시스템의 파라미터, 예를 들면 출력 에너지에 대한 동작 포인트 곡선의 예를 도시한다.
- [0025] 도 17은 하나의 동작 파라미터, 예를 들면 출력 에너지의 최대값으로 상기 곡선 상의 동작 포인트를 드라이브하는 컨트롤러로, 도 16에 도시된 것과 같은 예를 들면 에너지 대 dtMOPA에 대한 유사한 동작 포인트 곡선에 따른 동작 레이저 시스템의 예를 도시한다.
- [0026] 도 18은 개략적인 블록 도의 형태로 dtMOPA 곡선 기울기 추정 회로의 예를 도시한다.
- [0027] 도 19는 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 개략적으로 그리고 블록도의 형태로 대역폭 및 레이저 가스 주입 제어의 예를 도시한다.
- [0028] 도 20은 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 개략적으로 그리고 블록도의 형태로 대역폭 및 레이저 가스 주입 제어의 예를 도시한다.
- [0029] 도 21은 듀티 사이클에 대한 경험적으로 관정된 데이터의 예시적인 플롯을 예시적인 방식으로 도시한다.
- [0030] 도 22는 오더 또는 처리를 도시한다.
- [0031] 도 23은 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 개략적으로 그리고 블록도의 형태로 도 3의 컨트롤러에 대한 변형을 도시한다.
- [0032] 도 24는 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 개략적으로 그리고 블록도의 형태로 적응적인 컨트롤러 부분을 도시한다.

도면

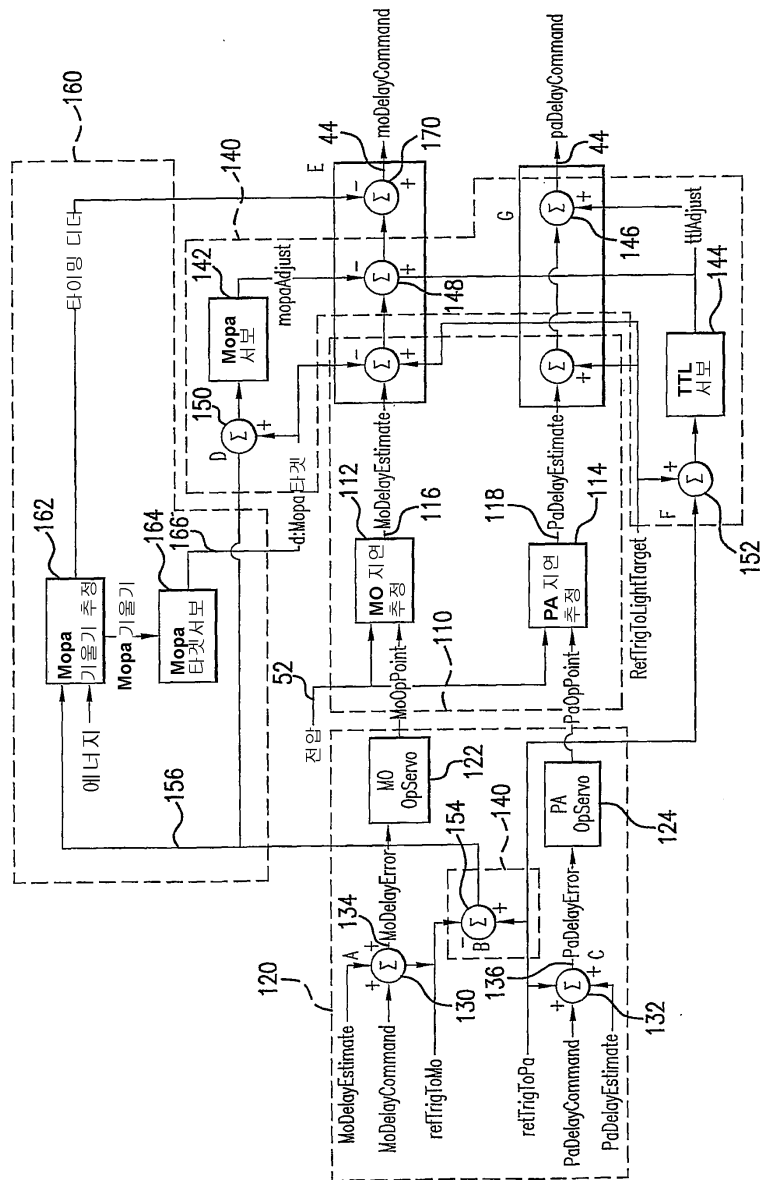
도면1



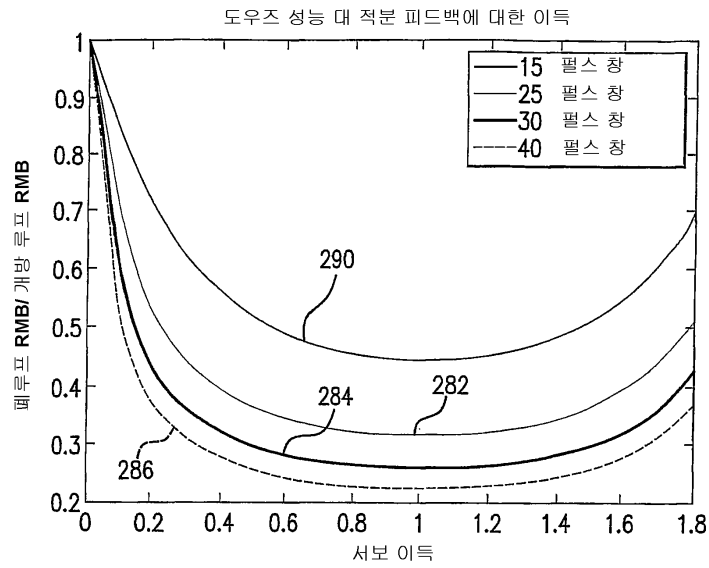
도면2



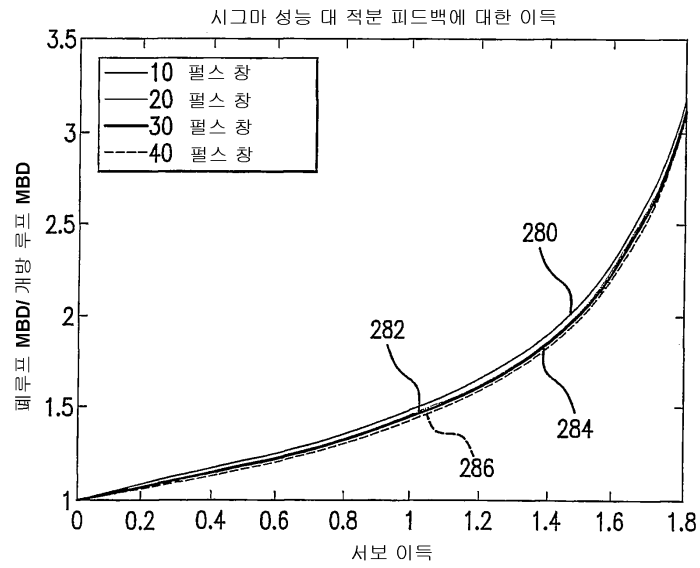
도면3



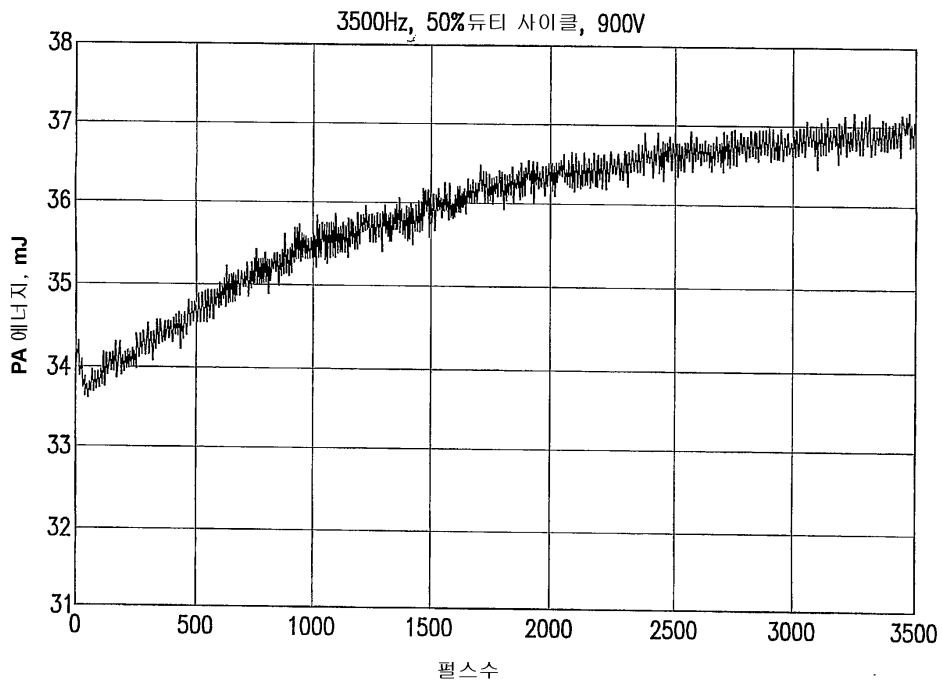
도면5



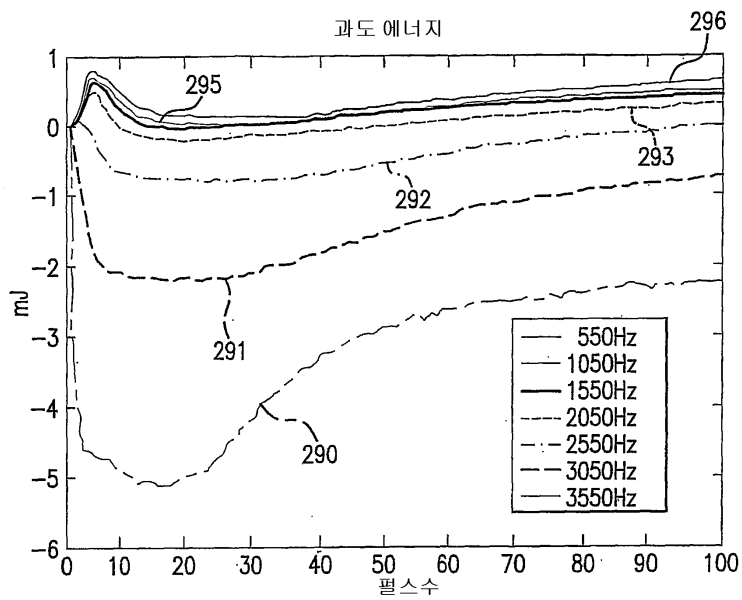
도면6



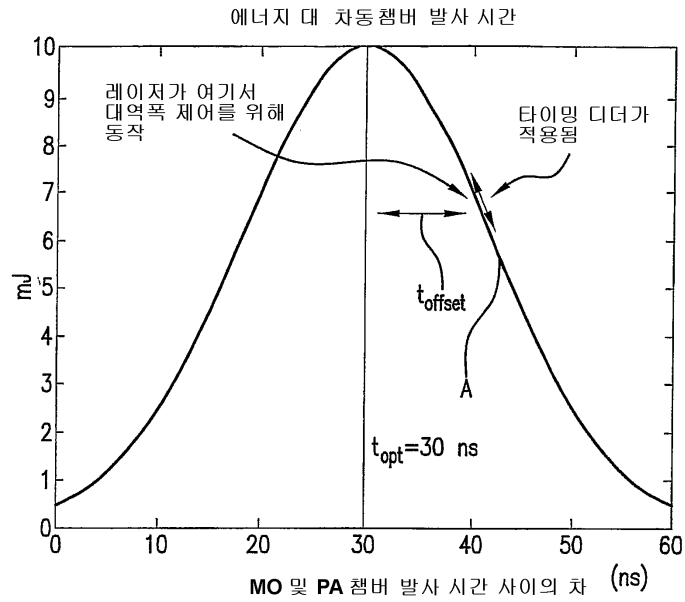
도면7



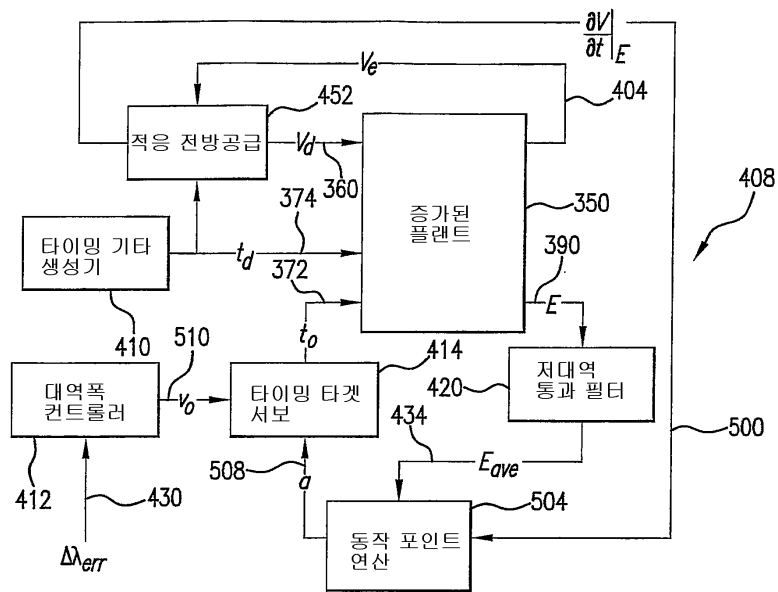
도면8



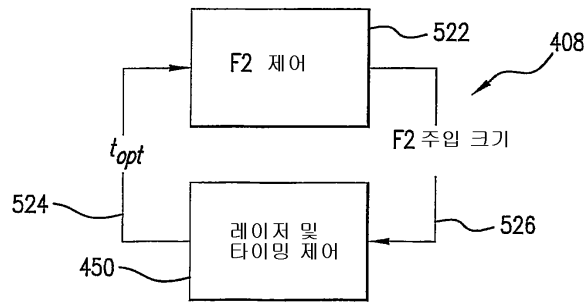
도면10



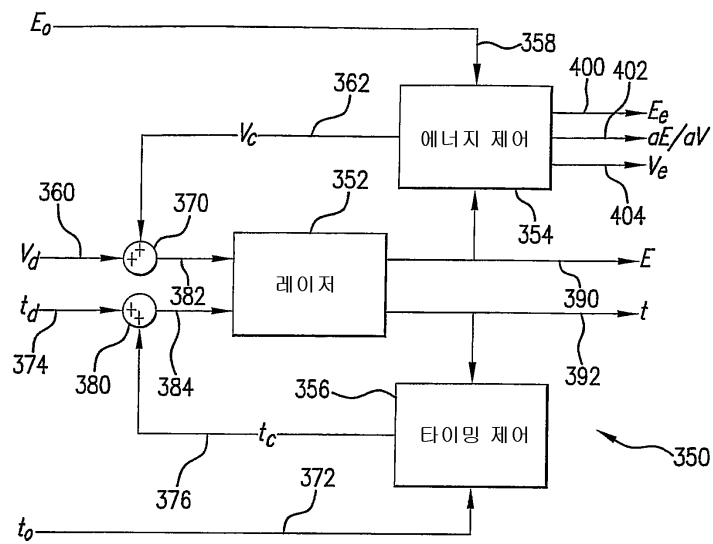
도면11



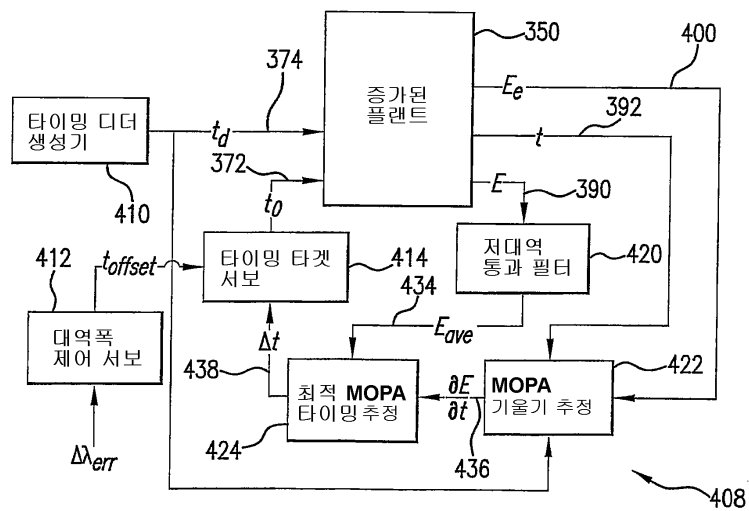
도면12



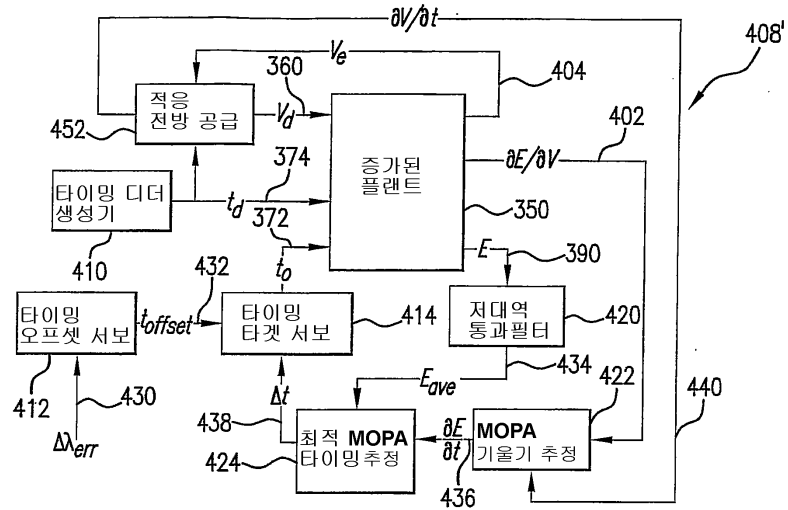
도면13



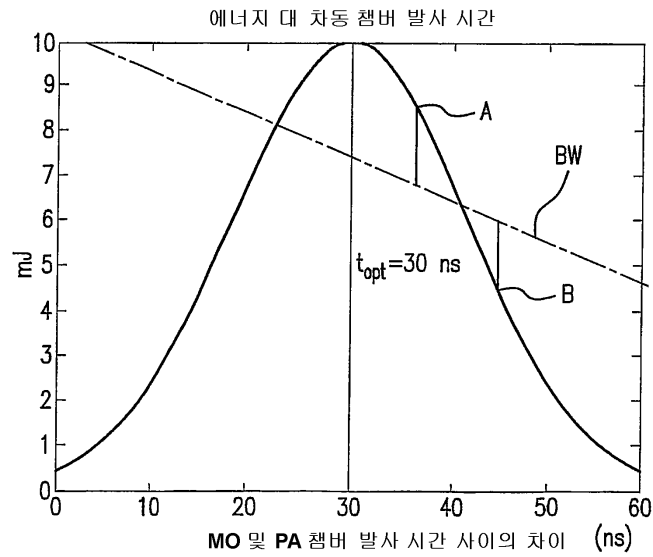
도면14



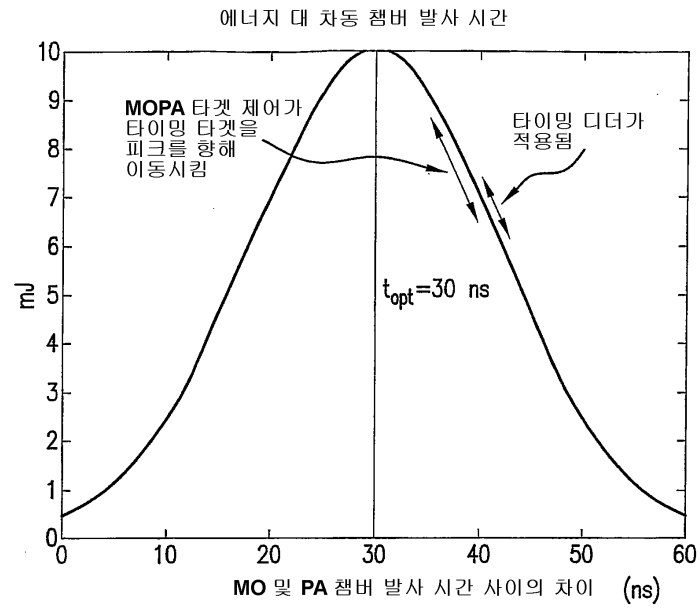
도면15



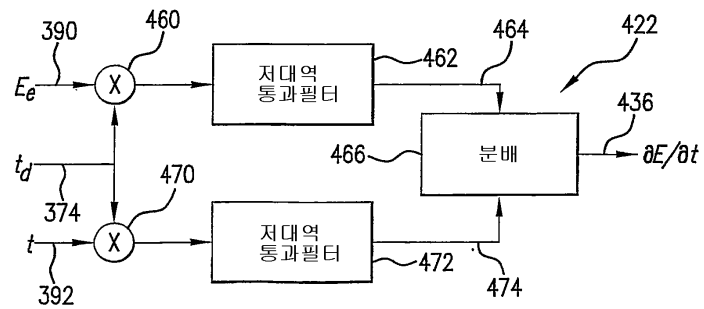
도면16



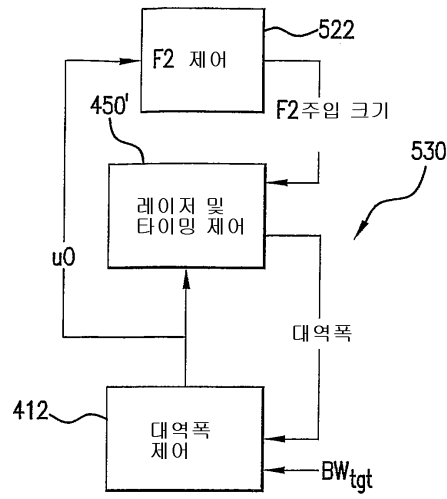
도면17



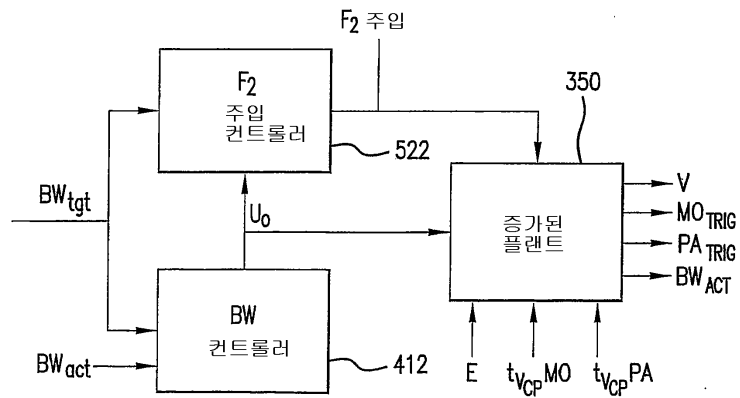
도면18



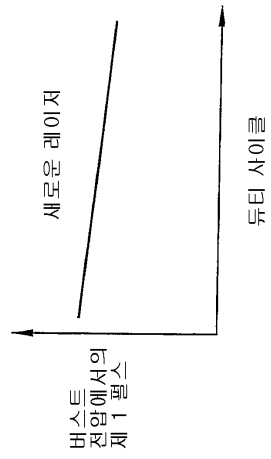
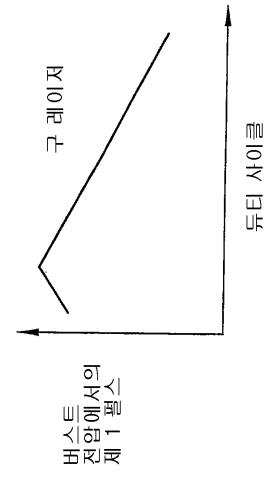
도면19



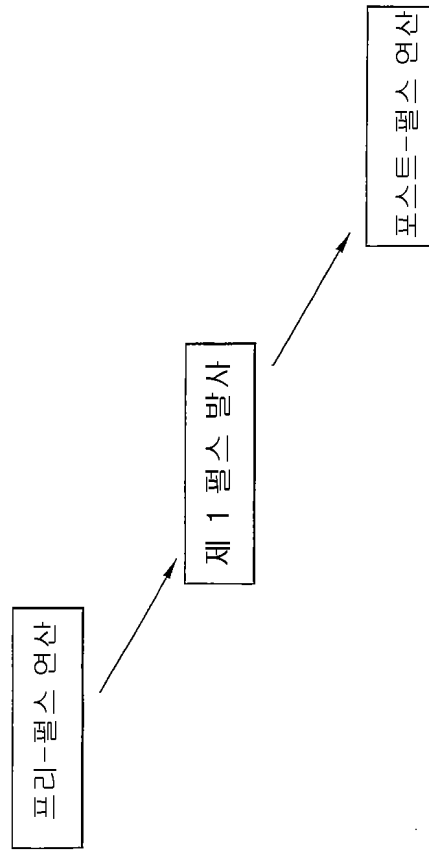
도면20



도면21



도면22



도면24

