(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0138031
(43) 공개일자 2018년12월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05F 1/67 (2006.01) *H02M 3/155* (2006.01)
H02S 40/30 (2014.01)
(52) CPC특허분류
G05F 1/67 (2013.01)
H02M 3/155 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0078067
(22) 출원일자 2017년06월20일
심사청구일자 2017년06월20일
기술이전 희망 : 기술양도

전체 청구항 수 : 총 14 항

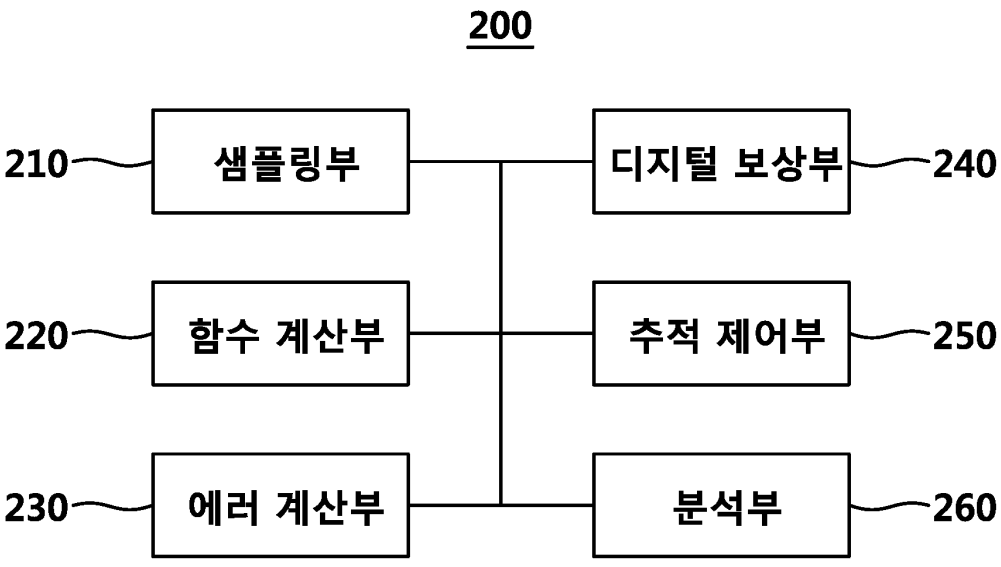
(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
최성진
울산광역시 남구 북부순환도로 35, 107동 901호 (무거동, 무거위브자이)
웰라와타게 투시타 란디마 웰라와타
울산광역시 남구 대학로 93, 국제관 203호 (무거동, 울산대학교)
서영태
경상북도 포항시 북구 장량로32번길 55, 102동 705호 (장성동, 경성홈타운)
(74) 대리인
김종선, 이형석

(54) 발명의 명칭 **보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치 및 방법에 관한 것으로서, 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치는, 태양광 패널에 대해 측정된 단자 전압 및 출력 전류를 입력받고, 상기 입력된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산하는 함수 계산부; 상기 계산된 피크-전력 평가 함수와 기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값을 이용하여 에러 신호를 계산하는 에러 계산부; 상기 계산된 에러 신호에 기설정된 디지털 필터링을 적용하고, 상기 디지털 필터링된 에러 신호에 따라 듀티 신호를 업데이트하는 디지털 보상부; 및 상기 업데이트된 듀티 신호를 이용하여 최대 전력점의 추적을 제어하는 추적 제어부;를 포함한다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
H02S 40/30 (2015.01)
Y02E 10/58 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711049459
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(미래부)
연구과제명 차세대 태양광패널 하드웨어 모사장치 핵심기술 연구
기 여 율 1/1
주관기관 울산대학교 산학협력단
연구기간 2017.03.01 ~ 2018.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

태양광 패널에 대해 측정된 단자 전압 및 출력 전류를 입력받고, 상기 입력된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산하는 함수 계산부;

상기 계산된 피크-전력 평가 함수와 기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값을 이용하여 에러 신호를 계산하는 에러 계산부;

상기 계산된 에러 신호에 기설정된 디지털 필터링을 적용하고, 상기 디지털 필터링된 에러 신호에 따라 듀티 신호를 업데이트하는 디지털 보상부; 및

상기 업데이트된 듀티 신호를 이용하여 최대 전력점의 추적을 제어하는 추적 제어부;

를 포함하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 측정된 태양광 패널에 대한 단자 전압 및 출력 전류를 샘플링하는 샘플링부;를 더 포함하고,

상기 에러 계산부는, 상기 샘플링된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 디지털 보상부는,

상기 디지털 필터링된 에러 신호를 기반으로 증분 컨덕턴스(INC: incremental conductance)에 대한 듀티 신호를 업데이트하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 디지털 보상부는,

상기 계산된 에러 신호와 기설정된 디지털 필터의 임펄스 응답의 컨볼루션(convolution) 연산을 통해 상기 디지털 필터링된 에러 신호를 계산하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 추적 제어부는,

상기 계산된 피크-전력 평가 함수가 제로가 되도록 상기 업데이트된 듀티 신호에 대한 듀티 사이클을 조절하여 최대 전력점을 추적하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 추적 제어부는,

상기 업데이트된 듀티 신호를 이용한 펄스폭 변조 과정을 통해 상기 태양광 패널 및 부하 사이에 연결된 부스트

컨버터의 게이트 펄스 신호를 생성하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치.

청구항 7

제1항에 있어서

상기 태양광 패널을 기설정된 등가 회로로 모델링하고, 외부 외란에 따른 상기 태양광 패널의 출력 전류의 변화를 모델링하여 전력 스테이지에 대한 분석을 수행하는 분석부;

를 더 포함하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치.

청구항 8

태양광 패널에 대해 측정된 단자 전압 및 출력 전류를 입력받고, 상기 측정된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산하는 단계;

상기 계산된 피크-전력 평가 함수와 기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값을 이용하여 에러 신호를 계산하는 단계;

상기 계산된 에러 신호에 기설정된 디지털 필터링을 적용하고, 상기 디지털 필터링된 에러 신호에 따라 듀티 신호를 업데이트하는 단계; 및

상기 업데이트된 듀티 신호를 이용하여 최대 전력점의 추적을 제어하는 단계;

를 포함하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 측정된 태양광 패널에 대한 단자 전압 및 출력 전류를 샘플링하는 단계;를 더 포함하고,

상기 에러 신호를 계산하는 단계는, 상기 샘플링된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 듀티 신호를 업데이트하는 단계는,

상기 디지털 필터링된 에러 신호를 기반으로 증분 컨덕턴스(INC: incremental conductance)에 대한 듀티 신호를 업데이트하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 듀티 신호를 업데이트하는 단계는,

상기 계산된 에러 신호와 기설정된 디지털 필터의 임펄스 응답의 컨볼루션(convolution) 연산을 통해 상기 디지털 필터링된 에러 신호를 계산하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 최대 전력점의 추적을 제어하는 단계는,

상기 계산된 피크-전력 평가 함수가 제로가 되도록 상기 업데이트된 듀티 신호에 대한 듀티 사이클을 조절하여 최대 전력점을 추적하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 업데이트된 듀티 신호를 이용한 펄스폭 변조 과정을 통해 상기 태양광 패널 및 부하 사이에 연결된 부스트 컨버터의 게이트 펄스 신호를 생성하는 단계;

를 더 포함하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법.

청구항 14

제8항에 있어서

상기 태양광 패널을 기설정된 등가 회로로 모델링하고, 외부 외란에 따른 상기 태양광 패널의 출력 전류의 변화를 모델링하여 전력 스테이지에 대한 신호 분석을 수행하는 단계;

를 더 포함하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 실시 예는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 디지털 필터링을 통해 보상된 증분 컨덕턴스(Compensated Incremental Conductance)를 이용함으로써, 최대 전력점 추적 성능을 극대화할 수 있는, 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 태양광 발전(PV, Photovoltaic) 시스템은 녹색 에너지 생산 방법으로서 핵심적인 역할을 한다. 최대 전력점 추적(MPPT, Maximum power point tracking)은 태양 에너지 이용 효율을 극대화하는데 필수적이다.

[0003] 도 1은 일반적인 최대 전력점 추적 시스템의 기본 구조를 나타낸 도면이다.

[0004] 도 1을 참조하면, 일반적인 최대 전력점 추적 시스템(100)은 태양광 발전 패널(PV pannel, 110), 컨버터(130), 배터리(battery) 부하 및 MPPT 제어기(120)를 포함한다.

[0005] 그러나 이러한 최대 전력점 추적 시스템(100)에서 MPPT 알고리즘은 일반적으로 속도(speed)와 정상-상태 동작(steady-state behavior) 간에 균형을 유지한다.

[0006] 최대 전력점 추적 기술 중에서 섭동 및 관측(P&O, Perturbation and Observation) 방법은 최대 전력점(MPP, Maximum power point) 변화에 대해 빠르게 응답할 수 있다. 하지만, 최대 전력점(MPP) 주변에서 발생하는 진동(oscillations)은 전체 효율을 감소시킬 수 있다.

[0007] 반대로, 최대 전력점 추적 기술 중에서 증분 컨덕턴스(INC, Incremental Conductance) 방법은 응답 속도가 감소되지만 최대 전력점(MPP) 주변에서 발생하는 진동을 감소시킬 수 있다. 일반적으로, 종래의 증분 컨덕턴스(INC) 방법은 하기의 [수학식 1]에서 정의된 피크-전력 평가 함수, k에 기초하여 동작한다.

수학식 1

[0008] $$\frac{dp_{pv}}{dv_{pv}} = i_{pv} + v_{pv}\frac{di_{pv}}{dv_{pv}} \Rightarrow k(v_{pv}, i_{pv}) = \frac{i_{pv}}{v_{pv}} + \frac{\Delta i_{pv}}{\Delta v_{pv}}$$

[0009] 여기서, p_{pv}, i_{pv} 및 v_{pv} 는 각각 PV 패널의 출력 전력, 출력 전류 및 단자 전압을 나타낸다.

[0010] 상기의 [수학식 1]에서 동작점이 정확히 최대 전력점(MPP)에 도달하면 피크-전력 평가 함수(k)는 제로(0)가 된다. 듀티 사이클의 업데이트는 하기의 [수학식 2]에서 보여지는 k 값의 극성에 의해 수행된다.

수학식 2

[0011] $$d[n] = d[n-1] - sign(k)\delta$$

[0012] 여기서, d[n]은 최대 전력점 추적기의 양자화된 듀티 사이클이고, δ는 듀티 변화의 특정 고정 스텝 크기를 나타낸다.

[0013] 그러나 섭동 및 관측(P&O) 방식뿐만 아니라 고정된 스텝 크기의 증분 컨덕턴스(INC) 방법은 속도와 정상-상태 행동 사이에 균형을 이룬다. 그러므로 이러한 증분 컨덕턴스(INC) 방법은 급변하는 환경에서 PV 패널의 사용 효율을 감소시킬 수 있다.

[0014] 가변 스텝의 증분 컨덕턴스(INC) 방법은 전력 추적 성능을 향상시킨다. 하지만, 이러한 가변 스텝의 증분 컨덕턴스(INC) 방법은 시행착오 없이 스텝 크기와 같은 알고리즘 파라미터를 결정하기 위한 절차나 가이드 라인이 없다는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0015] (특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 제10-2007-0043746호 (2007년04월25일 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명의 실시 예들은 디지털 필터링을 통해 보상된 증분 컨덕턴스(Compensated Incremental Conductance)를 이용함으로써, 최대 전력점 추적 성능을 극대화할 수 있는, 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

[0017] 본 발명의 실시 예들은 종래의 증분 컨덕턴스 MPPT를 개선하기 위한 것으로, 디지털 필터링된 에러 신호에 따라 듀티 신호를 업데이트하여 최대 전력점 추적을 제어함으로써, 최대 전력점 추적 성능을 향상시킬 수 있는, 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

[0018] 또한, 본 발명의 실시 예들은 MPPT 안정 상태뿐만 아니라 과도 응답에서의 성능을 향상시킬 수 있는, 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0019] 본 발명의 제1 측면에 따르면, 태양광 패널에 대해 측정된 단자 전압 및 출력 전류를 입력받고, 상기 입력된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산하는 함수 계산부; 상기 계산된 피크-전력 평가 함수와 기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값을 이용하여 에러 신호를 계산하는 에러 계산부; 상기 계산된 에러 신호에 기설정된 디지털 필터링을 적용하고, 상기 디지털 필터링된 에러 신호에 따라 듀티 신호를 업데이트하는 디지털 보상부; 및 상기 업데이트된 듀티 신호를 이용하여 최대 전력점의 추적을 제어하는 추적 제어부;를 포함하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치가 제공될 수 있다

[0020] 상기 최대 전력점 추적 장치는, 상기 측정된 태양광 패널에 대한 단자 전압 및 출력 전류를 샘플링하는 샘플링부;를 더 포함하고, 상기 에러 계산부는, 상기 샘플링된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산할 수 있다.

[0021] 상기 디지털 보상부는, 상기 디지털 필터링된 에러 신호를 기반으로 증분 컨덕턴스(INC: incremental conductance)에 대한 듀티 신호를 업데이트할 수 있다.

[0022] 상기 디지털 보상부는, 상기 계산된 에러 신호와 기설정된 디지털 필터의 임펄스 응답의 컨볼루션(convolution) 연산을 통해 상기 디지털 필터링된 에러 신호를 계산할 수 있다.

[0023] 상기 추적 제어부는, 상기 계산된 피크-전력 평가 함수가 제로가 되도록 상기 업데이트된 듀티 신호에 대한 듀티 사이클을 조절하여 최대 전력점을 추적할 수 있다.

[0024] 상기 추적 제어부는, 상기 업데이트된 듀티 신호를 이용한 펄스폭 변조 과정을 통해 상기 태양광 패널 및 부하 사이에 연결된 부스트 컨버터의 게이트 펄스 신호를 생성할 수 있다.

[0025] 상기 최대 전력점 추적 장치는, 상기 태양광 패널을 기설정된 등가 회로로 모델링하고, 외부 외란에 따른 상기 태양광 패널의 출력 전류의 변화를 모델링하여 전력 스테이지에 대한 분석을 수행하는 분석부;를 더 포함할 수 있다.

[0026] 한편, 본 발명의 제2 측면에 따르면, 태양광 패널에 대해 측정된 단자 전압 및 출력 전류를 입력받고, 상기 측정된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산하는 단계; 상기 계산된 피크-전력 평가 함수와 기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값을 이용하여 에러 신호를 계산하는 단계; 상기 계산된 에러 신호에 기설정된 디지털 필터링을 적용하고, 상기 디지털 필터링된 에러 신호에 따라 듀티 신호를 업데이트하는 단계; 및 상기 업데이트된 듀티 신호를 이용하여 최대 전력점의 추적을 제어하는 단계;를 포함하는 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법이 제공될 수 있다.

[0027] 상기 최대 전력점 추적 방법은, 상기 측정된 태양광 패널에 대한 단자 전압 및 출력 전류를 샘플링하는 단계;를 더 포함하고, 상기 에러 신호를 계산하는 단계는, 상기 샘플링된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산할 수 있다.

[0028] 상기 듀티 신호를 업데이트하는 단계는, 상기 디지털 필터링된 에러 신호를 기반으로 증분 컨덕턴스(INC: incremental conductance)에 대한 듀티 신호를 업데이트할 수 있다.

[0029] 상기 듀티 신호를 업데이트하는 단계는, 상기 계산된 에러 신호와 기설정된 디지털 필터의 임펄스 응답의 컨볼루션(convolution) 연산을 통해 상기 디지털 필터링된 에러 신호를 계산할 수 있다.

[0030] 상기 최대 전력점의 추적을 제어하는 단계는, 상기 계산된 피크-전력 평가 함수가 제로가 되도록 상기 업데이트된 듀티 신호에 대한 듀티 사이클을 조절하여 최대 전력점을 추적할 수 있다.

[0031] 상기 최대 전력점 추적 방법은, 상기 업데이트된 듀티 신호를 이용한 펄스폭 변조 과정을 통해 상기 태양광 패널 및 부하 사이에 연결된 부스트 컨버터의 게이트 펄스 신호를 생성하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0032] 상기 최대 전력점 추적 방법은, 상기 태양광 패널을 기설정된 등가 회로로 모델링하고, 외부 외란에 따른 상기 태양광 패널의 출력 전류의 변화를 모델링하여 전력 스테이지에 대한 신호 분석을 수행하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0033] 본 발명의 실시 예들은 디지털 필터링을 통해 보상된 증분 컨덕턴스(Compensated Incremental Conductance)를 이용함으로써, 최대 전력점 추적 성능을 극대화할 수 있다.

[0034] 본 발명의 실시 예들은 종래의 증분 컨덕턴스 MPPT를 개선하기 위한 것으로, 디지털 필터링된 에러 신호에 따라 듀티 신호를 업데이트하여 최대 전력점 추적을 제어함으로써, 최대 전력점 추적 성능을 향상시킬 수 있다.

[0035] 또한, 본 발명의 실시 예들은 MPPT 안정 상태뿐만 아니라 과도 응답에서의 성능을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0036] 도 1은 일반적인 최대 전력점 추적 시스템의 기본 구조를 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치의 구성도이다.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치의 블록도를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 최대 전력점 추적 장치가 적용되는 전력 스테이지의 회로도를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치의 소신호 블록도를 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법에 대한 흐름도이다.

도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 최대 전력점 추적 장치에서의 보상기 설계를 나타낸 도면이다.

도 8 및 도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치가 구현된 PSIM 시뮬레이션 회로도를 나타낸 도면이다.

도 10 내지 도 14는 P&O, 고정 스텝 INC 및 본 발명의 실시 예에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 설명한다. 본 발명에 따른 동작 및 작용을 이해하는 데 필요한 부분을 중심으로 상세히 설명한다. 본 발명의 실시 예를 설명하면서, 본 발명이 속하는 기술 분야에 익히 알려졌고 본 발명과 직접적으로 관련이 없는 기술 내용에 대해서는 설명을 생략한다. 이는 불필요한 설명을 생략함으로써 본 발명의 요지를 흐리지 않고 더욱 명확히 전달하기 위함이다.

[0038] 또한, 본 발명의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 동일한 명칭의 구성 요소에 대하여 도면에 따라 다른 참조부호를 부여할 수도 있으며, 서로 다른 도면임에도 동일한 참조부호를 부여할 수도 있다. 그러나 이와 같은 경우라 하더라도 해당 구성 요소가 실시 예에 따라 서로 다른 기능을 갖는다는 것을 의미하거나, 서로 다른 실시 예에서 동일한 기능을 갖는다는 것을 의미하는 것은 아니며, 각각의 구성 요소의 기능은 해당 실시 예에서의 각각의 구성 요소에 대한 설명에 기초하여 판단하여야 할 것이다.

[0039] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치의 구성도이다.

[0040] 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치(200)는 함수 계산부(220), 에러 계산부(230), 디지털 보상부(240) 및 추적 제어부(250)를 포함한다. 여기서, 최대 전력점 추적 장치(200)는 샘플링부(210) 및 분석부(260)를 더 포함할 수 있다.

[0041] 본 발명의 실시 예에 따른 최대 전력점 추적 장치(200)는 자동 제어 시스템의 보상기(Compensator)와 같이, 평가 함수(evaluation function)의 지연된 에러 정보(delayed error information)를 이용하고 전력 추적 기능을 향상시킨다. 본 발명의 실시 예에 따른 알고리즘 파라미터에 대한 체계적인 설계 절차를 수학적 모델링 및 컨트롤러 설계와 함께 설명하기로 한다.

[0042] 이하, 도 2의 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치(200)의 각 구성 요소들의 구체적인 구성 및 동작을 설명한다.

[0043] 함수 계산부(220)는 태양광 패널에 대해 측정된 단자 전압 및 출력 전류를 입력받고, 그 입력된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산한다.

[0044] 함수 계산 이전에, 샘플링부(210)는 측정된 태양광 패널에 대한 단자 전압 및 출력 전류를 샘플링한다.

[0045] 샘플링 단계 이후, 함수 계산부(220)는 샘플링부(210)에서 샘플링된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산한다.

[0046] 함수 계산 이후, 에러 계산부(230)는 함수 계산부(220)에서 계산된 피크-전력 평가 함수와 기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값을 이용하여 에러 신호를 계산한다.

[0047] 디지털 보상부(240)는 에러 계산부(230)에서 계산된 에러 신호에 기설정된 디지털 필터링을 적용하고, 디지털 필터링된 에러 신호에 따라 듀티 신호를 업데이트한다. 여기서, 디지털 보상부(240)는 상기 디지털 필터링된 에러 신호를 기반으로 증분 컨덕턴스(INC: incremental conductance)에 대한 듀티 신호를 업데이트할 수 있다. 디지털 보상부(240)는, 에러 계산부(230)에서 계산된 에러 신호와 기설정된 디지털 필터의 임펄스 응답의 컨볼루션(convolution) 연산을 통해 상기 디지털 필터링된 에러 신호를 계산할 수 있다.

[0048] 추적 제어부(250)는 디지털 보상부(240)에서 업데이트된 듀티 신호를 이용하여 최대 전력점의 추적을 제어한다.

[0049] 여기서, 추적 제어부(250)는, 함수 계산부(220)에서 계산된 피크-전력 평가 함수가 제로(0)가 되도록 업데이트된 듀티 신호에 대한 듀티 사이클을 조절하여 최대 전력점을 추적할 수 있다. 또한, 추적 제어부(250)는, 디지털 보상부(240)는에서 업데이트된 듀티 신호를 이용한 펄스폭 변조 과정을 통해 태양광 패널 및 부하 사이에 연결된 컨버터의 게이트 펄스 신호를 생성할 수 있다.

[0050] 본 발명의 일례로, 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 과정을 구체적으로 살펴보기로 한다.

[0051] v_{pv} 및 i_{pv} 가 측정된 후, 듀티 사이클은 k 값으로 디지털 필터링된 에러 정보에 따라 업데이트된다. 보다 구체적으로, 에러 신호 e[n]은 하기의 [수학식 3]을 이용하여 계산되고, 듀티 신호는 하기의 [수학식 4]와 같이 디지털 필터로 업데이트된다.

수학식 3

[0052] $$e[n] = k_{ref} - k(v_{pv}, i_{pv})$$

수학식 4

[0053] $$d[n] = c[z] * e[n]$$

[0054] 여기서 *는 컨볼루션(convolution)을 나타내고, c[n]은 디지털 필터의 임펄스 응답을 나타낸다. 2차 디지털 필터가 c[n]에서 적용된다.

[0055] 한편, 분석부(260)는 태양광 패널을 기설정된 등가 회로로 모델링하고, 외부 외란에 따른 상기 태양광 패널의 출력 전류의 변화를 모델링하여 전력 스테이지에 대한 분석을 수행한다.

[0056] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치의 블록도를 나타낸 도면이다.

[0057] 스테이지 (a)에서, 단자 전압(v_{pv}) 및 출력 전류(i_{pv})가 측정된다. 측정된 단자 전압(v_{pv}) 및 출력 전류(i_{pv})가 최대 전력점 추적 장치(200)로 입력되어 피크-전력 평가 함수를 계산하는 데 이용된다. 이때, 단자 전압(v_{pv}) 및 출력 전류(i_{pv})는 샘플링되고, 최대 전력점 추적 장치(200)는 샘플링된 단자 전압($v_{pv}[n]$) 및 샘플링된 출력 전류($i_{pv}[n]$)를 이용하여 $v_{pv}[n]$, $i_{pv}[n]$을 변수로 갖는 피크-전력 평가 함수(k[n])를 계산한다.

[0058] 스테이지 (b)에서, 최대 전력점 추적 장치(200)는 믹서를 통해 피크-전력 평가 함수(k[n])와 기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값(k_{ref}=0)으로부터 에러 신호(e[n])를 계산한다.

[0059] 그리고 최대 전력점 추적 장치(200)는 디지털 보상기 블록(C)을 이용하여 다음 듀티 정보를 업데이트한다. 피크-전력 평가 레퍼런스가 제로(k_{ref} = 0)일 때, 최대 전력점 추적 장치(200)는 듀티 사이클을 자동으로 조정하여 k 값을 제로로 조절하고, 동작점이 최대 전력점 추적에 접근하도록 제어한다. 최대 전력점 추적 장치(200)의 모든 블록은 자동 제어 시스템에 따라 분석되고 최적화될 수 있다.

[0060] 이후, 업데이트된 듀티 신호(d[n])는 샘플 간격 동안 각 샘플 값을 유지하는 제로 오더 홀드(ZOH, zero order hold)를 통해 연속적인 듀티 신호(d(t))로 변환된다.

[0061] 그리고 최대 전력점 추적 장치(200)는 변환된 듀티 신호(d(t))를 전달받고, 펄스폭 변조를 통해 게이트 펄스 신호를 출력한다.

[0062] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 최대 전력점 추적 장치가 적용되는 전력 스테이지의 회로도를 나타낸 도면이다.

[0063] 도 4에는 본 발명의 실시 예에 따른 최대 전력점 추적 장치(200)에 대한 일반적인 전력 스테이지(power stage)가 도시되어 있다. 여기서, CCM(continuous conduction mode) 부스트 컨버터(boost converter)가 일례로서 사용된다. 그러나 CCM 부스트 컨버터로 한정되지 않는다.

[0064] 도 4에 도시된 부스트 컨버터에서 배터리는 부하로 사용된다. PV 패널은 테브난(Thevenin) 등가 회로로 모델링된다.

[0065] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치의 소신호 블록도를 나

타낸 도면이다.

[0066] 도 5에는 전체 MPPT 시스템의 소신호 블록도가 도시되어 있다. 외부 외란(external disturbance) $\hat{d}$에 따른 PV 전류의 변화는 $G_{id}(s)$로 모델링될 수 있다. 전력 스테이지에 대한 소신호(small signal) 분석은 하기의 [수학식 5]와 같이 전달 함수를 생성한다.

수학식 5

$$G_{id} = \frac{\hat{i}_{pv}(s)}{\hat{d}(s)} = \frac{V_o}{R} \frac{1}{1 + \frac{L}{R}s + LCs^2}$$

[0067]

[0068] 여기서, k 값에 대한 전달 함수는 하기의 [수학식 6] [수학식 7]과 같이 산출될 수 있다.

수학식 6

$$G_{kv} = \frac{\hat{k}}{\hat{v}_s} = \frac{\partial k}{\partial v_{PV}} \cdot \frac{\partial v_{PV}}{\partial v_{PV}} = \frac{I_{PV}}{V_{PV}^2}$$

[0069]

수학식 7

$$G_{ki} = \frac{\hat{k}}{\hat{i}_{PV}} = \frac{\partial k}{\partial i_{PV}} = \frac{I_{PV}R - V_{pv}}{V_{PV}^2}$$

[0070]

[0071] 동작 지점이 최대 전력점 추적(MPPT)에서 올바르게 동작하려면, 최대 전력점 추적 장치(200)는 PV 패널의 테브난 등가 전압에 대한 어느 섭동(perturbation)도 차단해야 한다. 평가 함수의 증분 변경은 기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값 k_{ref} 과 비교된다. 에러 신호는 디지털 보상기(C(z))에 삽입되어 듀티 신호 d[n]는 업데이트된다. 업데이트된 듀티 신호 d[n]는 연속적인 듀티 사이클을 생성한다. 블록 감소 기법 및 근원 위치 결정과 같은 자동 제어 기술에 의해 MPPT 성능을 극대화하기 위해 디지털 제어 기술이 설계에 반영될 수 있다.

[0072] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법에 대한 흐름도이다.

[0073] 최대 전력점 추적 장치(200)는 태양광 패널에서 측정된 단자 전압 및 출력 전류를 입력받는다(S101).

[0074] 그리고 최대 전력점 추적 장치(200)는 측정된 태양광 패널에 대한 단자 전압 및 출력 전류를 샘플링한다(S102).

[0075] 샘플링 단계 이후, 최대 전력점 추적 장치(200)는 기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값을 입력받는다(S103).

[0076] 그리고 최대 전력점 추적 장치(200)는 기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값과 샘플링된 단자 전압 및 출력 전류를 파라미터로 갖는 피크-전력 평가 함수를 계산한다(S104).

[0077] 이어서, 최대 전력점 추적 장치(200)는 계산된 피크-전력 평가 함수와 기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값을 이용하여 에러 신호를 계산한다(S105).

[0078] 그리고 최대 전력점 추적 장치(200)는 계산된 에러 신호에 기설정된 디지털 필터링을 적용한다(S106).

[0079] 이어서, 최대 전력점 추적 장치(200)는 디지털 필터링된 에러 신호에 따라 듀티 신호를 업데이트한다(S107). 여기서, 최대 전력점 추적 장치(200)는 디지털 필터링된 에러 신호를 기반으로 증분 컨덕턴스(INC)에 대한 듀티 신호를 업데이트할 수 있다. 최대 전력점 추적 장치(200)는 계산된 에러 신호와 기설정된 디지털 필터의 임펄스 응답의 컨볼루션 연산을 통해 상기 디지털 필터링된 에러 신호를 계산할 수 있다.

[0080] 이후, 최대 전력점 추적 장치(200)는 최대 전력점의 추적을 제어한다(S108).

[0081] 추적 제어부(250)는 디지털 보상부(240)에서 업데이트된 듀티 신호를 이용하여 최대 전력점의 추적을 제어한다.

[0082] 여기서, 추적 제어부(250)는, 함수 계산부(220)에서 계산된 피크-전력 평가 함수가 제로(0)가 되도록 업데이트된 듀티 신호에 대한 듀티 사이클을 조절하여 최대 전력점을 추적할 수 있다. 또한, 추적 제어부(250)는, 디지털 보상부(240)는에서 업데이트된 듀티 신호를 이용한 펄스폭 변조 과정을 통해 태양광 패널 및 부하 사이에 연결된 컨버터의 게이트 펄스 신호를 생성할 수 있다.

[0083] 한편, 분석부(260)는 태양광 패널을 기설정된 등가 회로로 모델링하고, 외부 외란에 따른 상기 태양광 패널의 출력 전류의 변화를 모델링하여 전력 스테이지에 대한 분석을 수행한다.

[0084] 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 최대 전력점 추적 장치에서의 보상기 설계를 나타낸 도면이다.

[0085] 도 7의 (a)에는 보상기 C(s)의 근원 궤적(Root locus)과 보데 플롯(Bode plot)이 도시되어 있다.

[0086] 도 7의 (b)에는 피크-전력 평가 레퍼런스값 k_{ref} 에 대한 스텝 응답(Step response)과, 전압 vs에 대한 외란 차단(disturbance rejection)이 도시되어 있다.

[0087] 도 8 및 도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치가 구현된 PSIM 시뮬레이션 회로도를 나타낸 도면이다.

[0088] 도 8 및 도 9에 도시된 PSIM 시뮬레이션 회로도를 이용한 시뮬레이션 결과를 살펴보기로 한다.

[0089] 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치(200)의 타당성을 확인하기 위해, PSIM 시뮬레이션 회로도는 도 8 및 도 9에 구현되어 있다.

[0090] PV 모듈 및 전력 스테이지에 대한 파라미터의 사양은 [표 1]에 나와 있다.

표 1

Table 1: Simulation parameter

Category	Parameter	Value
PV panel BP MSX 120	P_{max}	120W
	V_{mpp}	33.7V
	I_{mpp}	3.56A
	V_{oc}	42.1V
	I_{sc}	3.87A
	Shunt res.	1000Ω
	Series res.	0.0015 Ω
Power circuit	C	22uF
	L	56uH
	V_o	48V
	f_{sw}	100kHz
Controller C(z)	f_s	10kHz
	b_0	0.33902
	b_1	-0.27764
	b_2	0.04862
	a_1	-1
	a_2	0

[0091]

[0092] 도 8에서와 같이, 아날로그 PID 보상기 C(s)가 MATLAB 시소툴(sisotool)을 사용하여 설계된 후, 디지털 MPPT 보상기 C(z)는 s-to-z 도메인 변환에 의해 획득된다. 하기의 [수학식 8]에서 C(z)는 2차(n=2)로 계산되며 그 계수도 [표 1]에 나타나 있다.

수학식 8

[0093]
$$C(z)=\frac{b_0+b_1z^{-1}+b_2z^{-2}+\ldots+b_mz^{-m}}{1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}+\ldots+a_nz^{-n}};(m<n)$$

[0094] 정상 상태 추적 성능은 EN50530 표준에 따라 하기의 [수학식 9]의 공식을 사용하여 MPPT 효율을 측정하여 결정된다. 과도 응답은 스텝 방사 변화에 대한 응답으로 전력 출력 언더슈트(undershoot)와 2% 정착 시간에 의해 측정된다. 효율 공식의 적분 시간은 T_m으로 간주된다.

수학식 9

[0095]
$$\eta = \frac{\int_{T_m} P_{sense} dt}{\int_{T_m} P_{mpp} dt}$$

[0096] 도 10 내지 도 14는 P&O, 고정 스텝 INC 및 본 발명의 실시 예에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

[0097] 도 10 내지 도 14는 방사 조도 변화(irradiance change)의 정상 상태 및 과도 응답을 나타내며, A, B, C, D는 주 곡선의 배율이다.

[0098] 본 발명의 실시 예에 대한 추가 검증을 위해, 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법은 이전의 두 가지 방식인 P&O 방법과 고정 스텝 INC 방법과 비교되었으며, 시뮬레이션 결과는 도 10 내지 도 14에 도시되어 있다.

[0099] 도 10 내지 도 14에 도시된 바와 같이, 모든 곡선은 전력(W) 대 시간(sec.)으로 표시된다. 시뮬레이션은 각 디지털 알고리즘이 사용된 경우에 대해 표준 테스트 조건(STC) -1000W/m^2와 25°C 및 0.1msec 샘플링 시간에서 수행되었다. MPPT 효율은 반응이 안정화된 후에 측정되었다.

[0100] 여기서, P_{max}는 PV 패널로부터 얻을 수 있는 최대 출력 전력을 나타내고 P_{sense}는 PV 패널로부터의 순간 출력 전력을 나타낸다. 시뮬레이션 파형의 몇 가지 중요한 변경 사항은 확대되어 도 10 내지 도 14에서 A, B, C 및 D로 표시된다. 출력 전력의 오차 P_{max} - P_{sense} 는 P_{error} 로 표시된다.

[0101] 종래의 알고리즘의 테스트에서, P&O에 대한 전압 섭동 크기와 고정 스텝 INC에 대한 듀티-사이클 해상도는 각각 0.02V 및 0.01로 설정되었다. 하기의 [표 2]의 결과에 따르면, 본 발명의 실시 예에 따른 디지털 보상된 INC 방법은 종래의 방법과 비교하여 더욱 양호한 성능을 나타낸다. P&O 방법과 고정 스텝 INC 방법은 정상 상태에서 낮은 효율이 얻어지는 진동들을 만들 뿐만 아니라, 과도 상태에서 더 느린 속도를 가진 더 높은 언더슈트를 나타낸다.

표 2

Table 2: Comparission of system performance

[0102]

Condition	MPPT method	Undershoot (% P_{PV})	2% Settling time (s)	Oscillations at MPP (W)	MPPT efficiency η in steady state (%)
Star-up 1000W/m² 25°C T_m = 0.0046s	P&O	17.48	0.0022	2.0000	96.6
	Fixed step INC	17.52	0.0046	0.3380	92.9
	Proposed INC	15.25	0.0021	0.0070	96.7
Irradiance 1000→200W/m² 25°C T_m =0.25s	P&O	5.83	0.0007	0.0880	99.51
	Fixed step INC	1.96	0.0014	0.0160	99.49
	Proposed INC	11.77	0.0010	0.0026	99.78

[0103] 이와 같이, 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 장치(200)에서는 새로운 디지털 필터 기반의 INC 알고리즘이 수행된다. 최대 전력점 추적 장치(200)에서 PID 디지털 컨트롤러는 듀티 사이클을 자동으로 조정하여 평가 함수가 제로가 되도록 조절하고 동작점을 MPPT에 접근시킨다.

[0104] 전술된 바와 같이, 본 발명의 실시 예는 PSIM 시뮬레이션에서 P&O 및 고정 스텝 INC와 비교되었다. 비교 결과에 따르면, 본 발명의 실시 예에 따른 보상된 증분 컨덕턴스를 이용한 최대 전력점 추적 방법은 MPPT 안정 상태뿐만 아니라 과도 응답에서의 성능을 향상시킬 수 있다.

[0105] 이상에서 설명한 실시 예들은 그 일 예로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발

명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시 예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시 예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0106] 100: 최대 전력점 추적 시스템 110: 태양광 발전 패널(PV pannel)

120: MPPT 제어기 130: 컨버터

200: 최대 전력점 추적 장치 210: 샘플링부

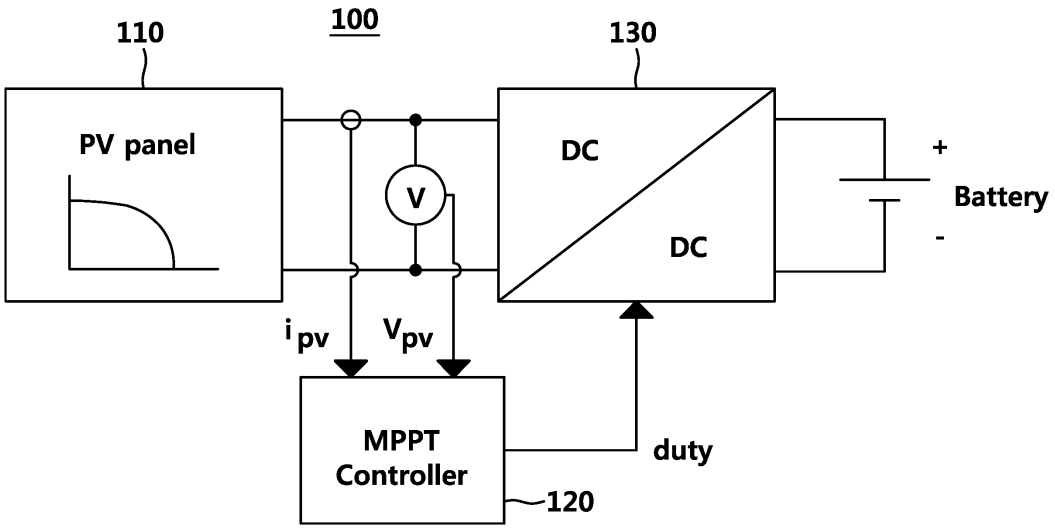
220: 함수 계산부 230: 에러 계산부

240: 디지털 보상부 250: 추적 제어부

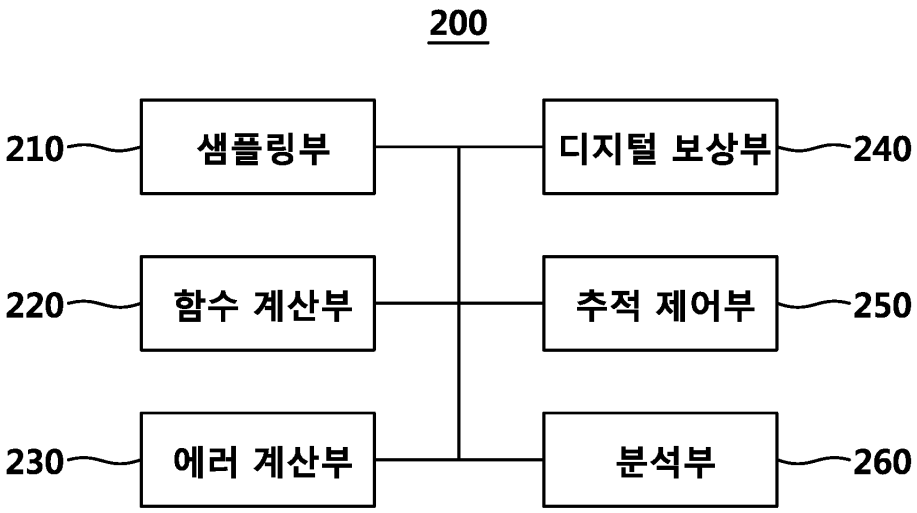
260: 분석부

도면

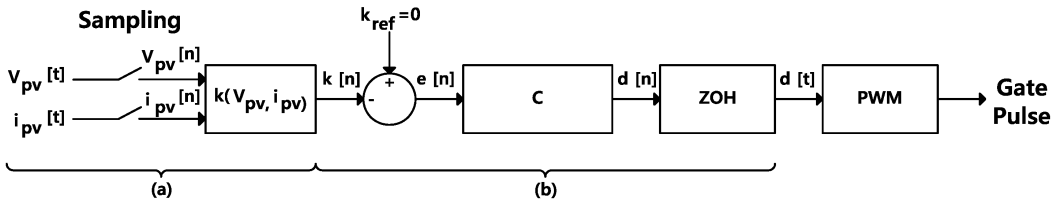
도면1



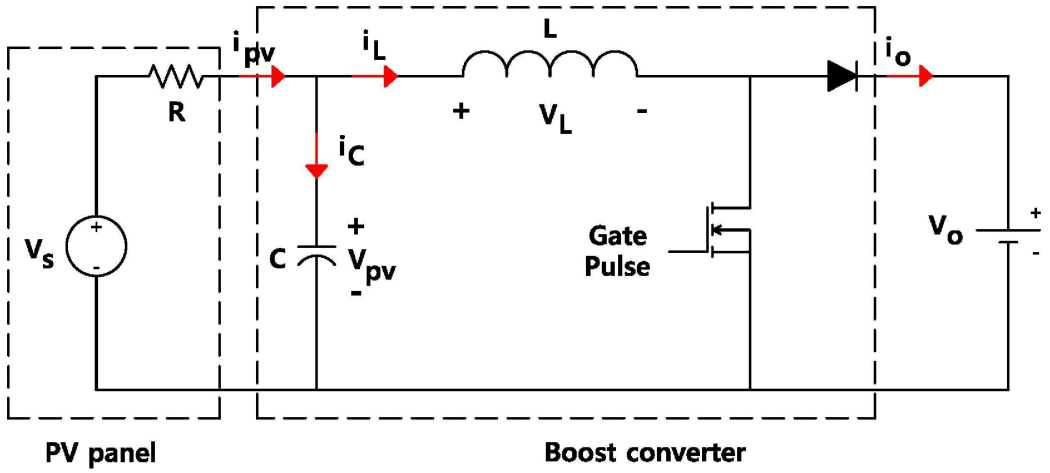
도면2


200
210
샘플링부
220
함수 계산부
230
에러 계산부
디지털 보상부
240
추적 제어부
250
분석부
260

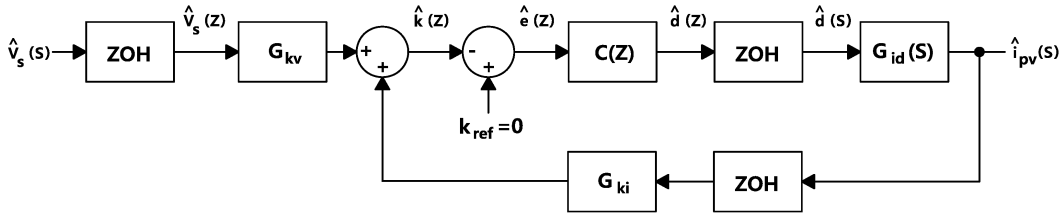
도면3


Sampling
V pv [t]
i pv [t]
V pv [n]
i pv [n]
k(V pv, i pv)
k [n]
k ref =0
e [n]
C
d [n]
ZOH
d [t]
PWM
Gate Pulse
(a)
(b)

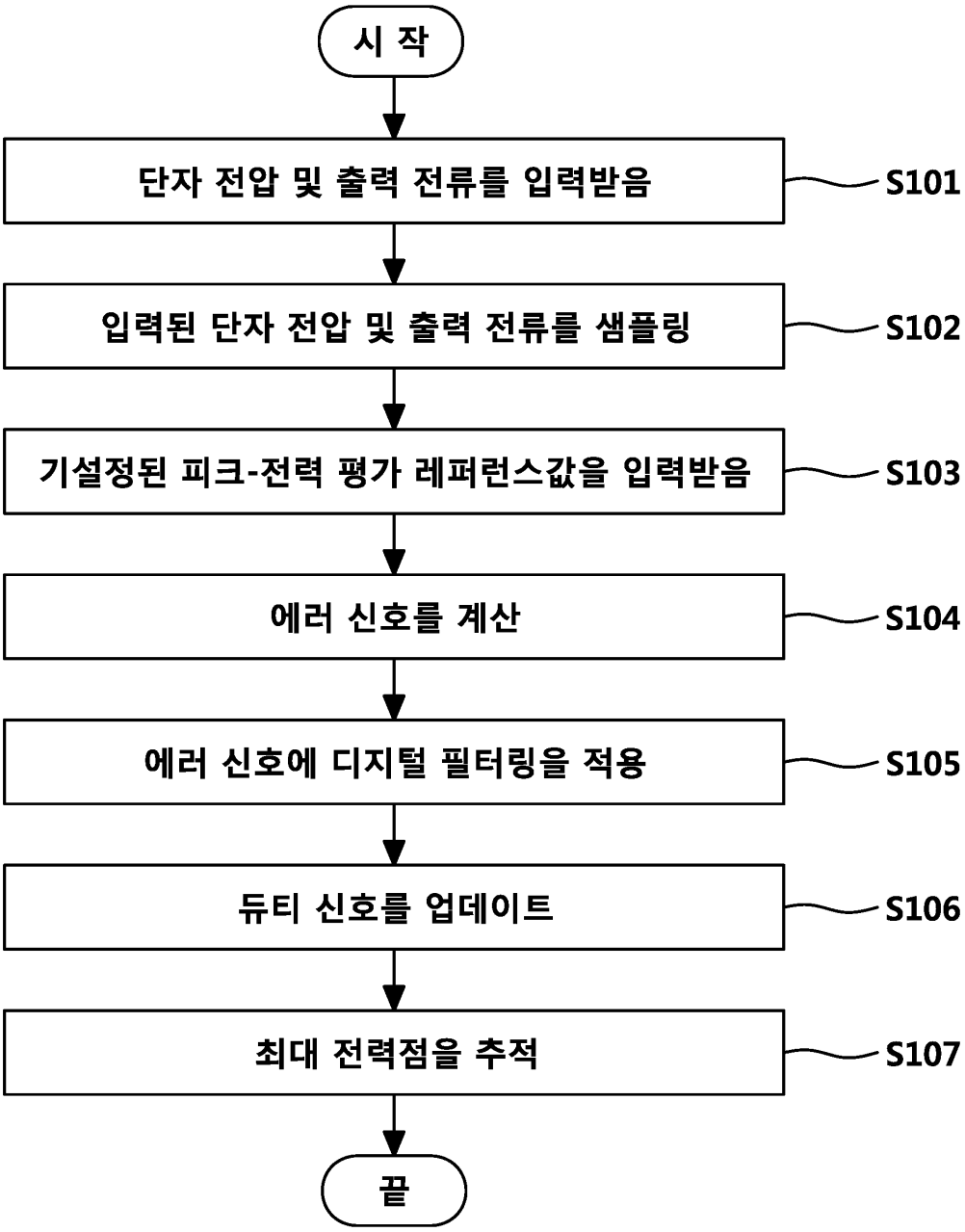
도면4


i pv
i L
L
i o
R
+
V L
-
i C
V s
C
+
V pv
-
Gate Pulse
V o
PV panel
Boost converter

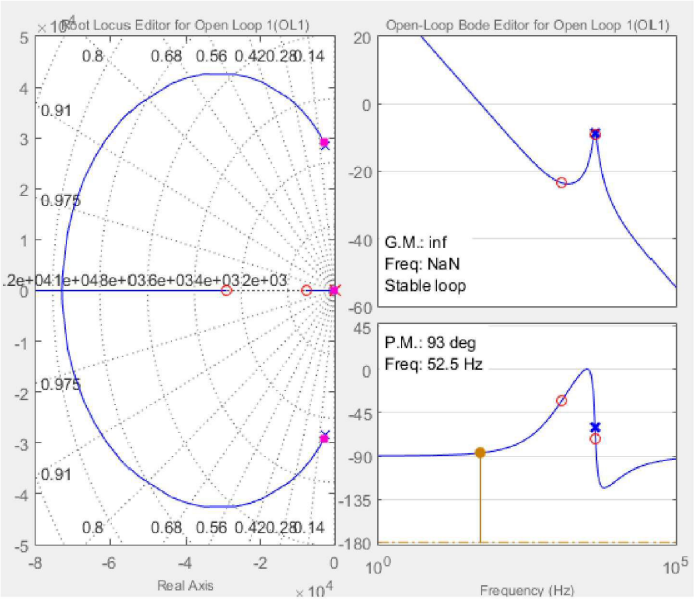
도면5

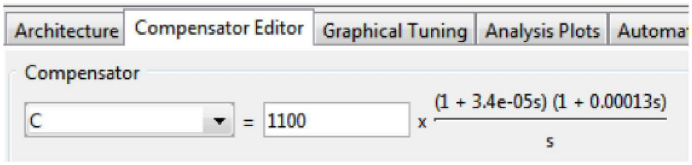

$\hat{v}_s(S)$
ZOH
$\hat{v}_s(Z)$
G_{kv}
$\hat{k}(Z)$
$\hat{e}(Z)$
C(Z)
$\hat{d}(Z)$
ZOH
$\hat{d}(S)$
$G_{id}(S)$
$\hat{i}_{pv}(S)$
$k_{ref}=0$
G_{ki}
ZOH

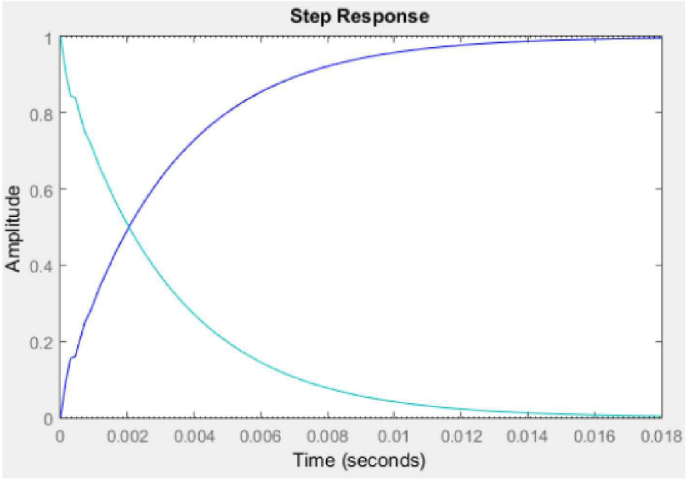
도면6


시 작
단자 전압 및 출력 전류를 입력받음
S101
입력된 단자 전압 및 출력 전류를 샘플링
S102
기설정된 피크-전력 평가 레퍼런스값을 입력받음
S103
에러 신호를 계산
S104
에러 신호에 디지털 필터링을 적용
S105
듀티 신호를 업데이트
S106
최대 전력점을 추적
S107
끝

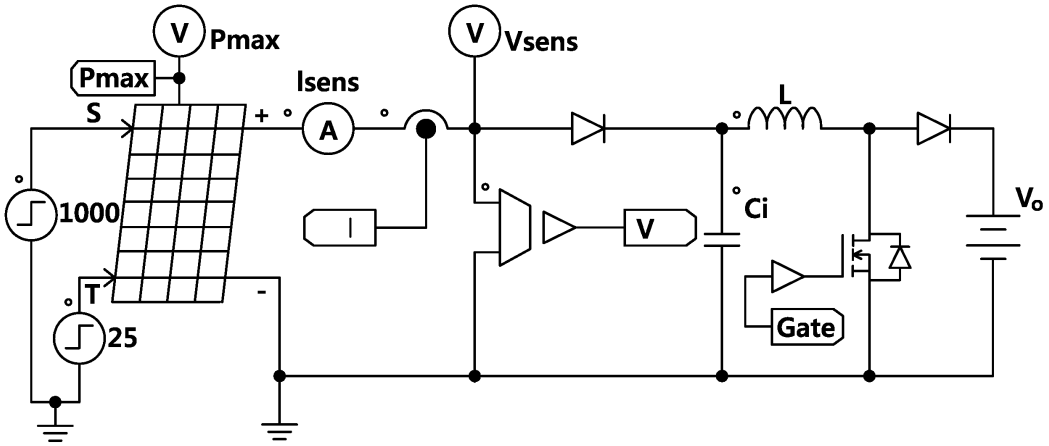
도면7


Root Locus Editor for Open Loop 1(OL1)
Open-Loop Bode Editor for Open Loop 1(OL1)
G.M.: inf
Freq: NaN
Stable loop
P.M.: 93 deg
Freq: 52.5 Hz
Real Axis
Frequency (Hz)

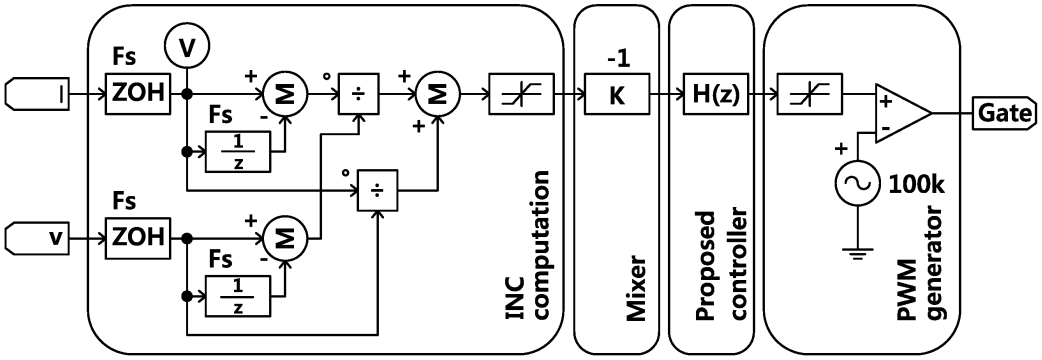

Architecture
Compensator Editor
Graphical Tuning
Analysis Plots
Compensator
C
= 1100
x (1 + 3.4e-05s) (1 + 0.00013s) / s


Step Response
Amplitude
Time (seconds)

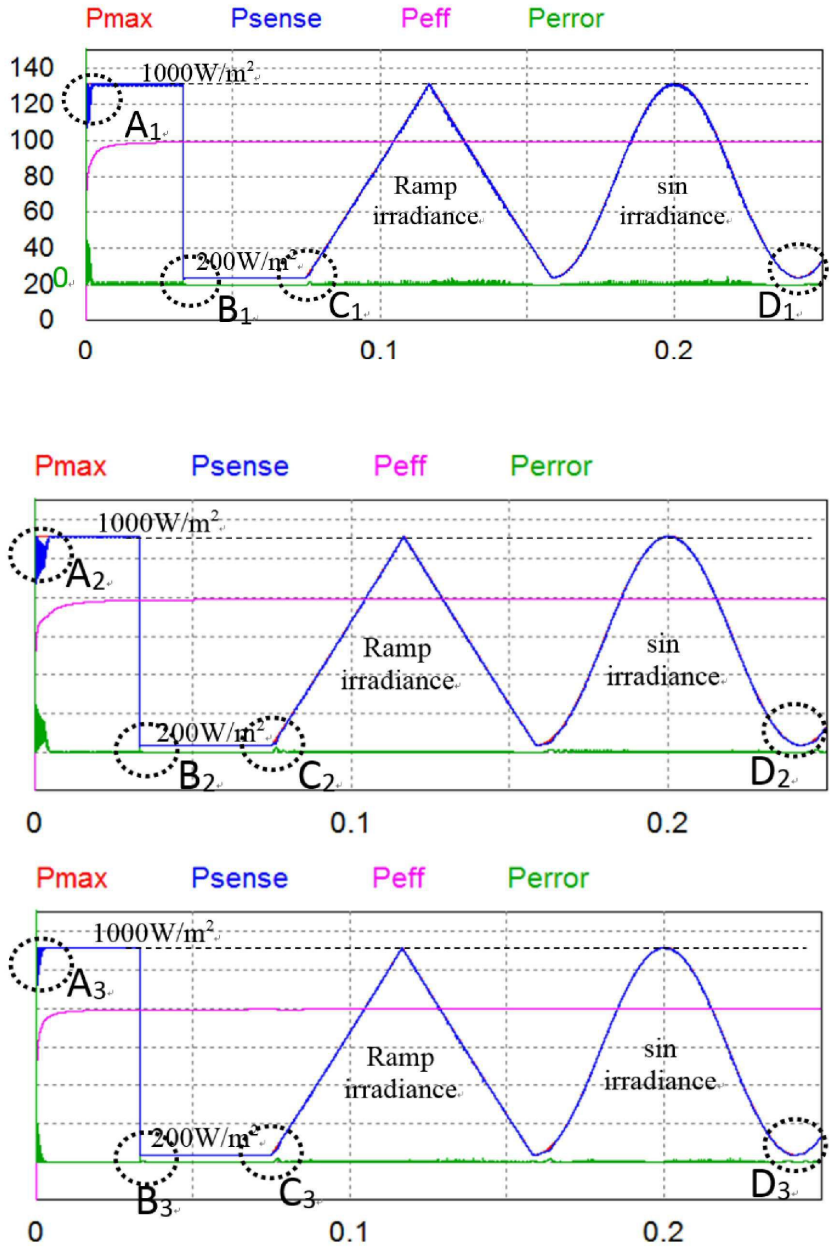
도면8


V
Pmax
Pmax
S
1000
T
25
Isens
A
V
Vsens
L
Ci
V
Gate
Vo

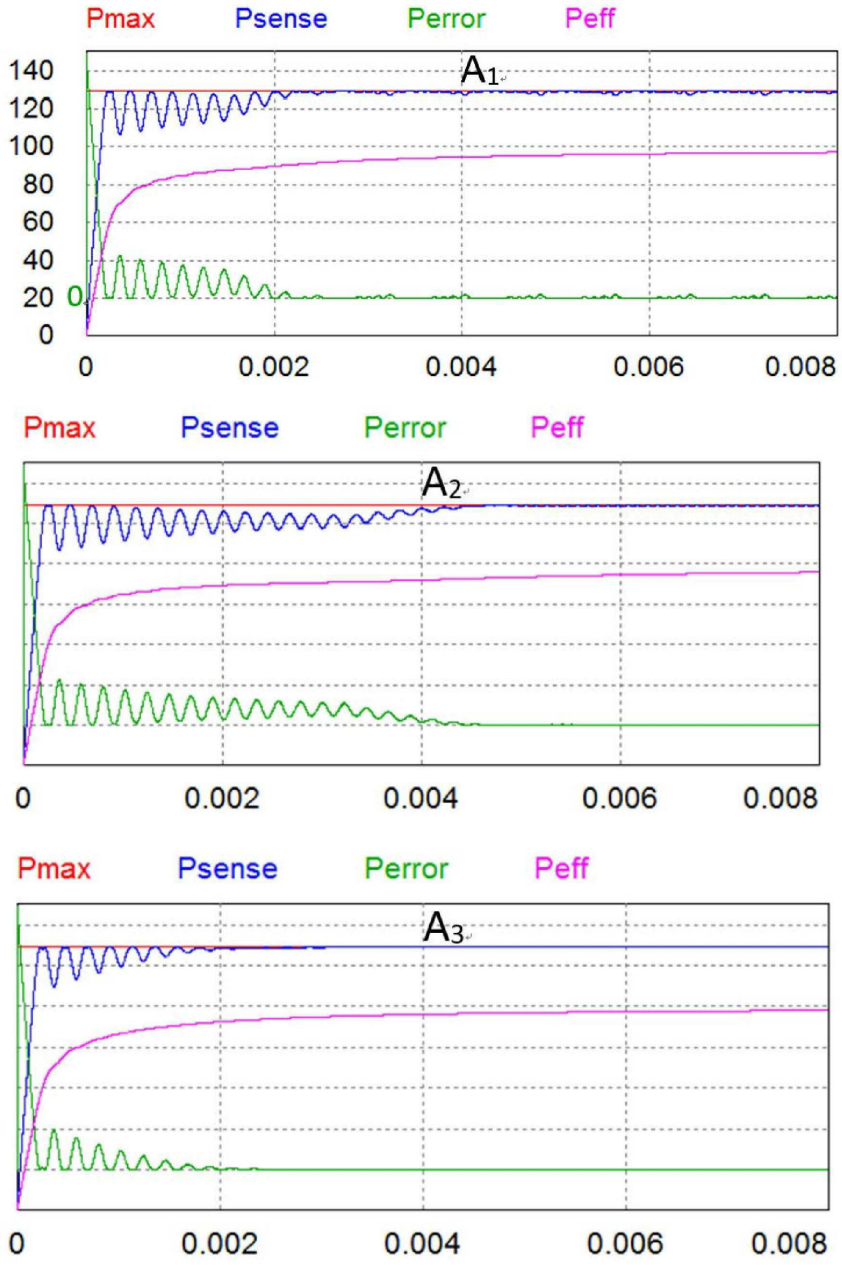
도면9


I
V
Fs
ZOH
Fs
1
z
Fs
ZOH
Fs
1
z
INC computation
-1
K
Mixer
H(z)
Proposed controller
100k
PWM generator
Gate

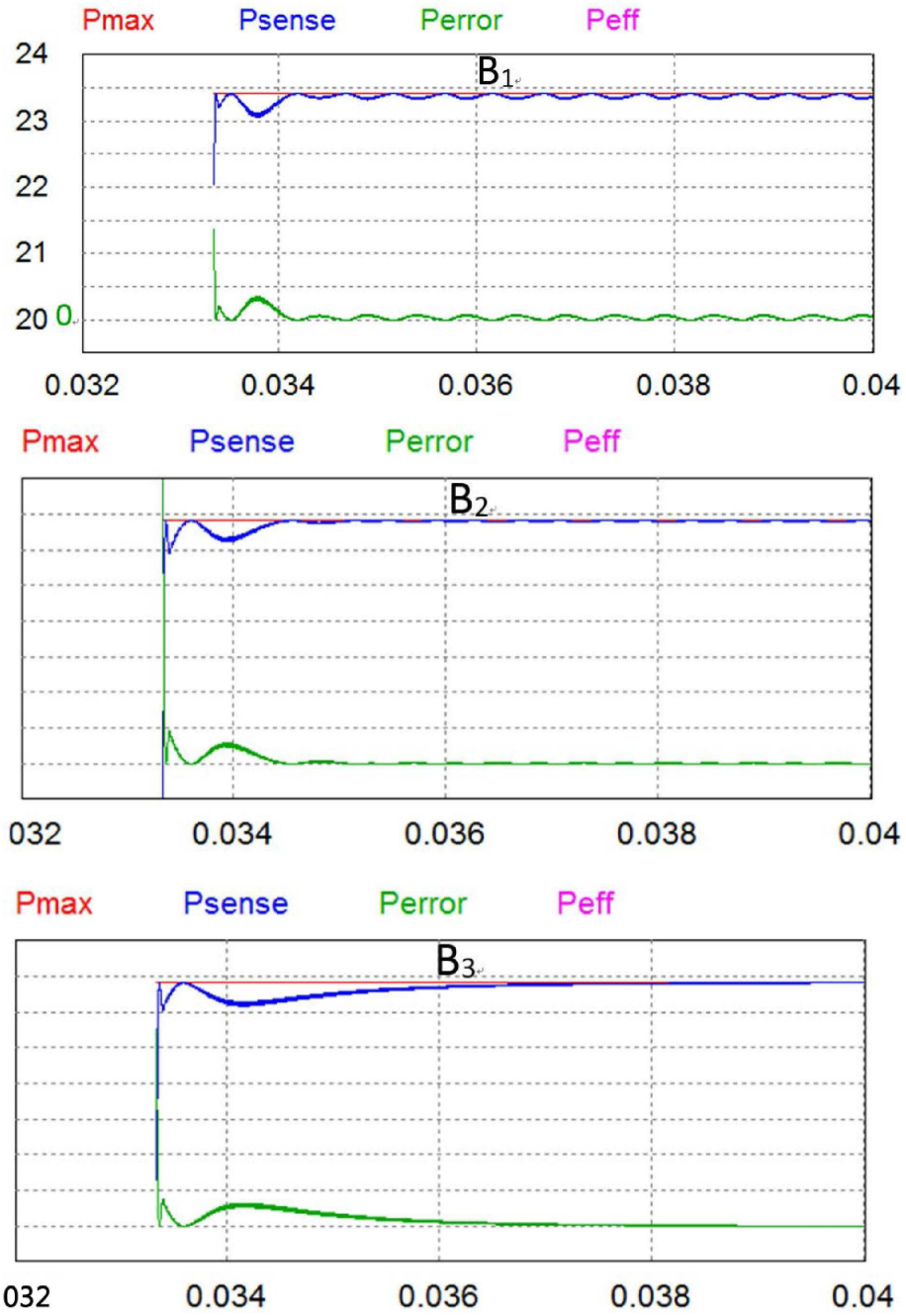
도면10


Pmax
Psense
Peff
Perror
140
120
100
80
60
40
20
0
1000W/m²
A1
Ramp
irradiance
sin
irradiance
200W/m²
B1
C1
D1
0
0.1
0.2
Pmax
Psense
Peff
Perror
1000W/m²
A2
Ramp
irradiance
sin
irradiance
200W/m²
B2
C2
D2
0
0.1
0.2
Pmax
Psense
Peff
Perror
1000W/m²
A3
Ramp
irradiance
sin
irradiance
200W/m²
B3
C3
D3
0
0.1
0.2

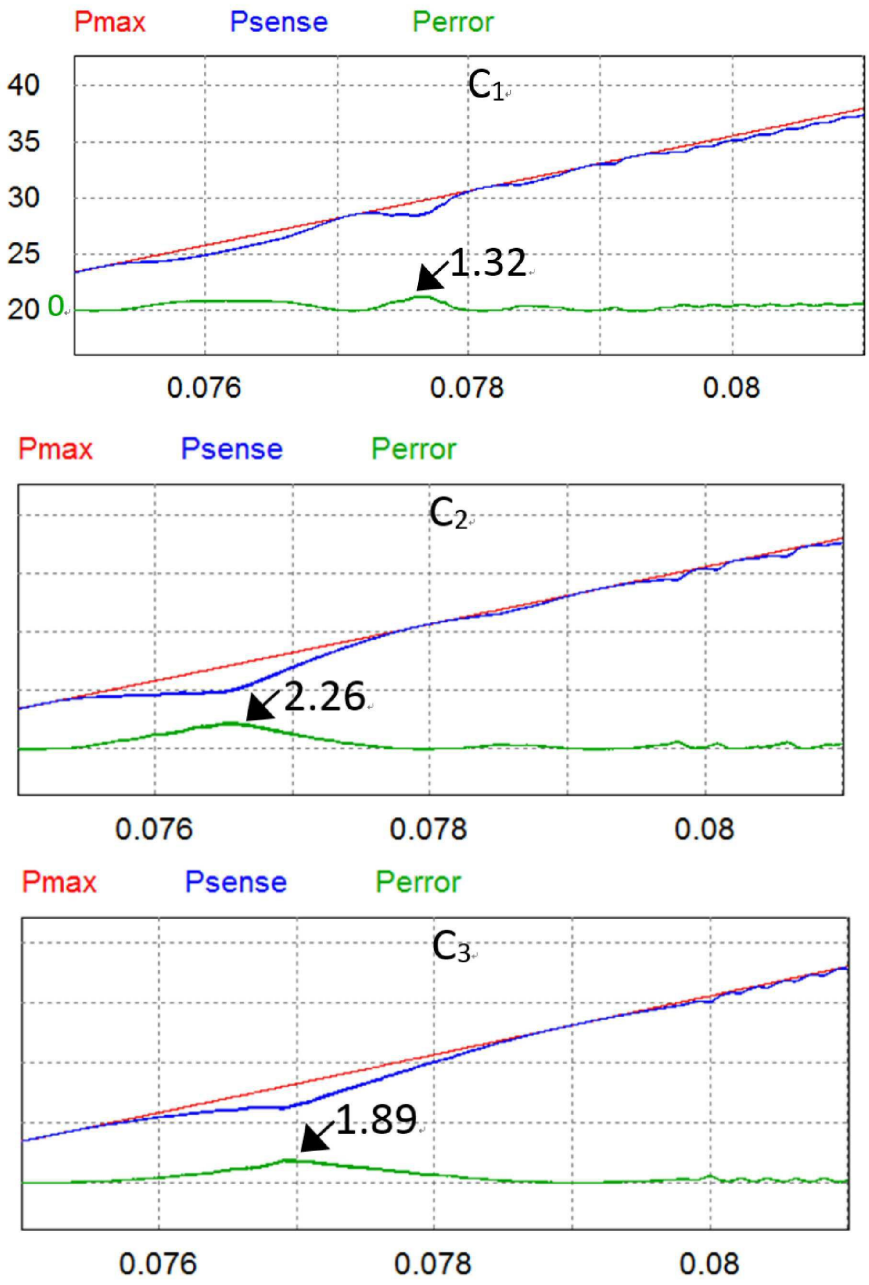
도면11


Pmax
Psense
Perror
Peff
A1
140
120
100
80
60
40
20
0
0
0.002
0.004
0.006
0.008
Pmax
Psense
Perror
Peff
A2
0
0.002
0.004
0.006
0.008
Pmax
Psense
Perror
Peff
A3
0
0.002
0.004
0.006
0.008

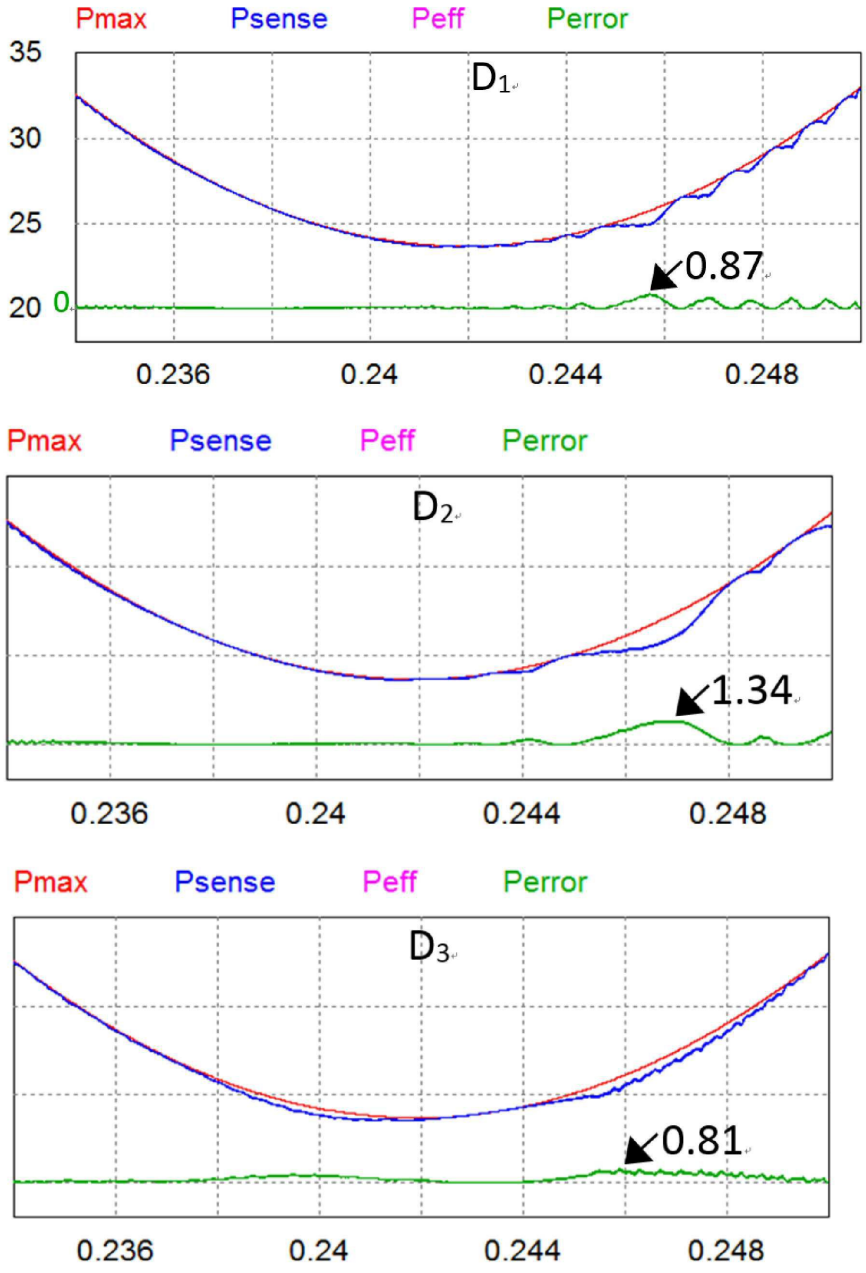
도면12


Pmax
Psense
Perror
Peff
24
23
22
21
20
0
B1
0.032
0.034
0.036
0.038
0.04
Pmax
Psense
Perror
Peff
B2
032
0.034
0.036
0.038
0.04
Pmax
Psense
Perror
Peff
B3
032
0.034
0.036
0.038
0.04

도면13


Pmax
Psense
Perror
C1
40
35
30
25
20
0
1.32
0.076
0.078
0.08
Pmax
Psense
Perror
C2
2.26
0.076
0.078
0.08
Pmax
Psense
Perror
C3
1.89
0.076
0.078
0.08

도면14


Pmax
Psense
Peff
Perror
35
30
25
20
0
D1
0.87
0.236
0.24
0.244
0.248
Pmax
Psense
Peff
Perror
D2
1.34
0.236
0.24
0.244
0.248
Pmax
Psense
Peff
Perror
D3
0.81
0.236
0.24
0.244
0.248