(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년11월10일
(11) 등록번호 10-1795901
(24) 등록일자 2017년11월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02S 50/10 (2014.01) *G01R 19/165* (2006.01)
G01R 27/02 (2006.01) *G01R 31/02* (2006.01)
G01R 31/40 (2014.01) *G05F 1/67* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02S 50/10 (2015.01)
G01R 19/165 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0005475
(22) 출원일자 2016년01월15일
심사청구일자 2016년01월15일
(65) 공개번호 10-2017-0085838
(43) 공개일자 2017년07월25일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020140061099 A*
KR101458363 B1*
JP2011170835 A*
KR1020100023309 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
기술이전 희망 : **기술양도**

(73) 특허권자
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
최성진
울산광역시 남구 북부순환도로 35, 107동 901호 (무거동, 무거위브자이)
박준영
울산광역시 북구 상방로 160, 104동 703호 (연암동, 벽산늘푸른아파트)
(74) 대리인
김종선, 이형석

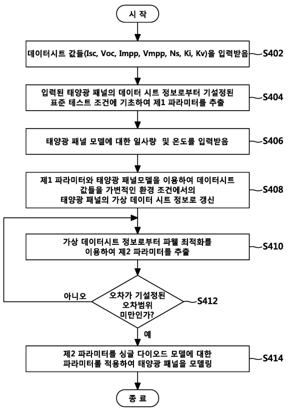
전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 이규재

(54) 발명의 명칭 **데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법 및 장치**

(57) 요 약

본 명세서는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법 및 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보로부터 기설정된 표준 테스트 조건에 따른 태양광 패널의 제1 파라미터를 추출하는 단계; 상기 추출된 제1 파라미터와 일사량 및 온도가 가변적인 환경 조건에서 변하는 일사량 및 온도를 이용하여 상기 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보를 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 가상 데이터시트 정보로 갱신하는 단계; 상기 갱신된 가상 데이터시트 정보로부터 최대전력지점(MPP)의 전압 및 전류 조건을 이용해서 목표함수를 설정하고 상기 설정된 목표함수를 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터를 추출하는 단계; 및 상기 추출된 태양광 패널의 제1 및 제2 파라미터를 이용하여 태양광 패널 모델을 생성하고 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널을 시뮬레이션하는 단계를 포함한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
G01R 27/02 (2013.01)
G01R 31/025 (2013.01)
G01R 31/40 (2013.01)
G05F 1/67 (2013.01)
Y02E 10/50 (2013.01)

공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보로부터 기설정된 표준 테스트 조건에 따른 태양광 패널의 제1 파라미터를 추출하는 단계;

상기 추출된 제1 파라미터와 일사량 및 온도가 가변적인 환경 조건에서 변하는 일사량 및 온도를 이용하여 상기 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보를 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 가상 데이터시트 정보로 갱신하는 단계;

상기 갱신된 가상 데이터시트 정보로부터 최대전력지점(MPP: max power point)의 전압 및 전류 조건을 이용해서 목표함수를 설정하고 상기 설정된 목표함수를 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터를 추출하는 단계; 및

상기 추출된 태양광 패널의 제1 및 제2 파라미터를 이용하여 태양광 패널 모델을 생성하고 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널을 시뮬레이션하는 단계를 포함하고,

상기 제2 파라미터를 추출하는 단계는 태양광 패널의 싱글 다이오드 등가회로의 물리적인 비선형 특성과 상기 갱신된 가상 데이터시트 정보로부터 추출된 단락전류, 개방전압, 최대전력지점, 최대전력지점에서의 전압 및 전류 조건을 이용하여 목표 함수를 설정하고, 상기 설정된 목표 함수가 최소화되는 태양광 패널에서의 싱글 다이오드 등가회로의 제2 파라미터를 추출하는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 가상 데이터시트 정보로 갱신하는 단계는

상기 입력된 데이터시트 정보에서의 단락전류 및 개방전압의 온도변화율로 근사화된 최대전력지점(MPP)에서의 전류 및 전압의 온도변화율을 이용하여 가상 데이터시트 정보를 갱신하는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 가상 데이터시트 정보로 갱신하는 단계는

상기 입력된 데이터시트 정보로부터 산출된 단락전류, 개방전압, 최대전력지점(MPP)에서의 전류 및 전압을 이용하여 가상 데이터시트 정보를 갱신하는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제2 파라미터를 추출하는 단계는

추가적인 조건이나 근사화 및 회로적 생략을 사용하지 않고 최대전력지점(MPP)의 전압 및 전류 조건을 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터인 직렬 저항(Rs), 병렬 컨덕턴스(Gsh) 또는 병렬 저항

(Rsh), 다이오드의 이상계수(A)를 추출하고, 단락전류(Isc) 및 개방전압(Voc)을 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터인 광 전류(Iph), 암전류(Io)를 추출하는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법.

청구항 7

태양광 패널의 데이터시트 정보 및 일사량 및 온도가 가변적인 환경 조건에서의 일사량 및 온도를 입력받는 데이터 입력부;

상기 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보로부터 기설정된 표준 테스트 조건에 기초하여 제1 파라미터를 추출하는 제1 파라미터 추출부;

상기 추출된 제1 파라미터와 상기 입력된 가변적인 환경 조건에서 변하는 일사량 및 온도를 이용하여 상기 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보를 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 가상 데이터시트 정보로 갱신하는 데이터시트 갱신부;

상기 갱신된 가상 데이터시트 정보로부터 최대전력지점(MPP)의 전압 및 전류 조건을 이용해서 목표함수를 설정하고 상기 설정된 목표함수를 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터를 추출하는 제2 파라미터 추출부; 및

상기 추출된 태양광 패널의 제1 및 제2 파라미터를 이용하여 태양광 패널 모델을 생성하고 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널을 시뮬레이션하는 태양광 패널 모델링부를 포함하고,

상기 제2 파라미터 추출부는 태양광 패널의 싱글 다이오드 등가회로의 물리적인 비선형 특성과 상기 갱신된 가상 데이터시트 정보로부터 추출된 단락전류, 개방전압, 최대전력지점, 최대전력지점(MPP)의 전압 및 전류 조건을 이용하여 목표 함수를 설정하고, 상기 설정된 목표 함수가 최소화되는 태양광 패널에서의 싱글 다이오드 등가회로의 제2 파라미터를 추출하는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 데이터시트 갱신부는

상기 입력된 데이터시트 정보에서의 단락전류 및 개방전압의 온도변화율로 근사화된 최대전력지점(MPP)에서의 전류 및 전압의 온도변화율을 이용하여 가상 데이터시트 정보를 갱신하는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 장치.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 데이터시트 갱신부는

상기 입력된 데이터시트 정보로부터 산출된 단락전류, 개방전압, 최대전력지점(MPP)에서의 전류 및 전압을 이용하여 가상 데이터시트 정보를 갱신하는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 장치.

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 제2 파라미터 추출부는

추가적인 조건이나 근사화 및 회로적 생략을 사용하지 않고 최대전력지점(MPP)의 전압 및 전류 조건을 이용하여

가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터인 직렬 저항(Rs), 병렬 컨덕턴스(Gsh) 또는 병렬 저항(Rsh), 다이오드의 이상계수(A)를 추출하고, 단락전류(Isc) 및 개방전압(Voc)을 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터인 광 전류(Iph), 암전류(Io)를 추출하는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 명세서는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법 및 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 입력된 데이터시트 정보로부터 일사량 및 온도가 가변적인 환경 조건에 맞는 태양광 패널 모델의 파라미터를 산출하여 태양광 패널을 시뮬레이션함으로써, 우수한 성능의 태양광 패널의 등가 모델을 신속하고 정확하게 제공할 수 있는, 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 태양광 발전시스템의 개발에서 중요한 이슈는 높은 효율의 시스템을 사용하여 태양광 패널로부터 최대의 에너지를 얻어내는 것이다. 이는 태양광 패널의 특성을 정확하게 파악하여 사용해야 함을 의미한다. 특히, 태양광 PCS(power conditioning system)의 개발과정에서는 다양한 외부환경(예컨대, 온도, 일사량 등)의 변화에 따른 태양광 패널의 동작특성을 파악하고 사용하는 것이 중요하다. 그런데 실제 태양광 패널을 이용하여 외부환경의 변화에 따른 특성을 평가하는 것이 어렵다. 따라서 주로 태양광 시뮬레이터나 시뮬레이션 프로그램이 태양광 발전시스템의 개발 과정에 많이 사용하게 된다.

[0003] 태양광 시뮬레이터는 직접적으로 다양한 조건에서의 태양광 패널의 출력을 표현하지만, 추가적인 하드웨어가 필요하다. 그러므로 태양광 시뮬레이터는 개발 단계에서 주로 PSIM(POWERSIM)과 같은 회로 시뮬레이션 프로그램을 많이 이용하게 된다. 사용자는 PSIM을 사용하게 되면 실제 태양광 패널이 없어도 컴퓨터만으로 태양광 시스템의 전체적인 동작특성을 파악할 수 있다. 이를 위해서, PSIM 회로 시뮬레이션은 자체적인 두 개의 태양광 패널의 등가회로 모델인 함수 모델(functional model)과 물리적 모델(physical model)을 제공하고 있다.

[0004] 먼저, PSIM의 태양광 패널 모델 중 함수 모델은 데이터시트만으로 태양광 패널의 출력특성을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 함수 모델은 표준 테스트 조건(STC: Standard test condition)에서만 성립하며, 시간에 따라 변하는 온도나 일사량에 대해서는 이러한 함수 모델을 제공할 수 없다는 단점을 가진다. 다음으로, 물리적 모델은 온도나 일사량의 변화에 대한 출력값을 얻을 수 있다. 하지만, 물리적 모델은 이를 얻기 위해서 함수 모델보다 자세한 파라미터의 설정이 필요하다. 파라미터는 사용자에 의해서 결정되므로 그에 따른 오차가 발생할 수 있다.

[0005] 도 1은 일반적인 태양광 시스템의 시뮬레이션을 위한 함수 모델(a) 및 물리적 모델(b)에 대한 설명도이다.

[0006] 도 1에 도시된 바와 같이, PSIM은 태양광 시스템의 시뮬레이션을 위해서 두 개의 태양광 패널 모델을 제공하고 있는데 바로 함수 모델과 물리적 모델이다. 여기서, 물리적 모델의 T는 온도를 의미하고, S는 일사량을 의미한다. 외부적으로 사용자가 설정할 수 있다.

[0007] 먼저, 함수 모델은 하기의 [표 1]과 같이 데이터시트로부터 표준 테스트 조건(STC)에서의 단락전류(I_{sc}), 개방전압(V_{oc}), 최대전력지점(MPP: maximum power point)의 전압 및 전류를 알고 있으면 특정 태양광 패널의 표준 테스트 조건(STC)에서의 I-V 및 P-V 특성곡선을 쉽고 빠르게 얻을 수 있다. 하지만, 이러한 함수 모델은 시간에 따라 변하는 온도와 일사량에 대해서 표현할 수 없기 때문에, 실제 태양광 시스템의 개발과정에서는 사용할 수가 없다. 이 문제는 물리적 모델을 사용해서 해결할 수 있다.

표 1

[0008]

User setting parameter	Value	Unit
Open circuit voltage(Voc)	32.9	V
Short circuit current(Isc)	8.21	A
Maximum power voltage(Vmpp)	26.3	V
Maximum power current(Impp)	7.61	A

[0009] 도 2는 태양광 패널의 전기적 등가 회로인 싱글 다이오드 등가 회로에 대한 회로도이다.

[0010] 도 2에 도시된 바와 같이, 태양광 패널은 싱글 다이오드를 이용하여 전기적 등가 회로로 나타낼 수 있다. 물리적 모델은 태양광 패널의 전기적 등가 회로를 사용하는 모델로 내부는 회로적으로 도 2와 같은 싱글 다이오드 등가 회로를 사용하고 있다.

[0011] 여기서, 싱글 다이오드 등가 회로의 물리적인 비선형 특성을 표현할 수 있는 기본적인 수학식은 하기의 [수학식 1]과 같다.

수학식 1

[0013]

$$i = I_{ph} - I_o(e^{\frac{v+iR_s}{N_S A V_T}} - 1) - (v + iR_s)G_{sh}$$

[0014] V_T는 하기의 [수학식 2]로 정의된다.

수학식 2

[0016]

$$V_T = \frac{kT}{q}$$

[0017] 이때, 각 파라미터를 살펴보면, I_o는 암전류(A), I_{ph}는 광 전류(A), R_s는 직렬저항(Ω), G_{sh}는 병렬컨덕턴스(S), N_s는 직렬연결된 PV cell의 수, V_T는 열전압(V), A는 다이오드의 이상계수(예컨대, 1~2 for silicon), k는 볼츠만 상수(1.38 X 10^{-23} J/K), q는 전자의 전하량(1.602 X 10^{-19} C), T는 절대온도(K)를 나타낸다.

[0018] 물리적 모델은 변하는 온도와 일사량이 입력되면, 그에 따라서 변하는 출력특성이 산출될 수 있다. 물리적 모델은 싱글 다이오드 모델의 파라미터(R_s, R_{sh}, A, I_{ph}, I_o)를 이용해서 I-V 및 P-V 특성곡선을 얻는 것이 가능하다. PSIM의 모델은 R_s, R_{sh}, A의 변화는 없이 I_{ph}와 I_o만을 온도와 일사량에 따라서 값을 바꾼다. 그리고 변하는 I_{ph}와 I_o를 이용해서 가변환경에 대한 출력 그래프를 제공하게 된다.

[0019] 하지만, 최근의 연구동향을 살펴보면, 실제 태양광 패널에서는 내부 파라미터(R_s, R_{sh}, A)도 온도와 일사량에 따라서 변한다. 하지만, PSIM의 모델은 이를 고려하지 않았다. 또한, 사용자는 물리적 모델을 사용하면서 하기의 [표 2]와 같이 태양광 패널의 싱글 다이오드 등가회로의 구성에 필요한 직렬저항(R_s), 병렬저항(R_{sh}), 암전류(I_o), 반도체의 밴드 갭 에너지(E_g), 다이오드의 이상계수(A) 등의 파라미터를 직접 입력해야 한다.

표 2

[0021]

User setting parameter	Value	Unit
Number of cells(Ns)	54	-
Standard light intensity(S0)	1000	W/m^2
Ref. temperature(Tref)	25	K
Series Resistance(Rs)	0.0061	Ω
Shunt Resistance(Rsh)	1000	Ω
Short circuit current(Isc0)	8.21	A
Saturation current(Is0)	3.97e-10	A
Band energy(Eg)	1.12	eV
Ideality factor(A)	1.2	-
Temperature coefficient(Ct)	0.0002614	A/K
Coefficient(Ks)	0	-

[0022] 이는 결국 추가로 태양광 패널의 등가회로 파라미터를 추출하는 방법이 필요하거나, 반복적인 과정을 통해서 적절한 값을 얻을 필요가 있다는 것을 의미한다. PSIM에서는 물리적 모델의 파라미터를 추출해주는 솔라 모듈(Solar module)이라는 유틸리티를 이용하도록 권장하고 있다.

[0023] PSIM의 솔라 모듈 유틸리티(solar module utility)를 살펴보면, PSIM에서 제공하는 파라미터 추출 프로그램은 데이터시트의 값과 함께 사용자가 직접 R_{sh}, A와 함께 V_{oc}에서의 기울기를 입력해야 한다. 그러면, 파라미터 추출 프로그램은 나머지 파라미터 R_s와 I_o 등을 추출해주는 것이다. PSIM에서 제공하는 파라미터 추출 방법의 핵심은 R_s에 대해서 추출하는 것이다. 이때, 파라미터의 추출은 V_{oc}에서의 기울기 조건인 하기의 [수학식 3]을 이용한다.

수학식 3

[0025]
$$Rs = -\left.\frac{dv}{di}\right|_{@V_{oc}}$$

[0026] 파라미터 추출 프로그램을 이용하기 위해서, V_{oc}에서의 기울기를 얻는 유일한 방법은 사용자가 데이터시트로부터 I-V 곡선을 직접 작도하는 것이다. 그리고 나머지 입력 파라미터인 A와 R_{sh}는 태양광 패널의 출력곡선을 맞추기 위해서 사용자가 직접 반복적으로 입력해야 하는 값이다. 결국, 이 방법은 사용자가 시행착오적인 과정을 통해서 최적의 값을 찾을 때까지 반복할 필요가 있다.

[0027] 시행착오적인 과정은 태양광 패널 모델의 오차 원인이 될 수 있다. 그러므로 시행착오적으로 반복을 하는 것을 개선하고 사용자의 개입을 최소화로 하기 위한 태양광 패널의 시뮬레이션 방법이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0028] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1006100호(2010.12.29. 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0029] 본 명세서의 실시 예들은 입력된 데이터시트 정보로부터 일사량 및 온도가 가변적인 환경 조건에 맞는 태양광 패널 모델의 파라미터를 산출하여 태양광 패널을 시뮬레이션함으로써, 우수한 성능의 태양광 패널의 등가 모델을 신속하고 정확하게 제공할 수 있는, 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법 및 장치를 제공하고자 한다.

[0030] 본 명세서의 실시 예들은 외부의 입력을 통해서 얻은 변하는 온도와 일사량에 대한 정보를 바탕으로 매 순간 파라미터 튜닝을 해주는 태양광 패널 모델을 제공함으로써, 사용자가 추가로 파라미터를 추출하기 위한 노력을 하지 않아 사용이 용이하고 최적화 방법을 이용하여 정확도 및 속도가 향상된 모델을 제공할 수 있는, 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법 및 장치를 제공하고자 한다.

[0031] 본 명세서의 실시 예들은 데이터시트 기반의 태양광 패널의 등가 모델을 MPPT 시뮬레이션에 적용함으로써, 시뮬레이션을 통해서 시스템의 효율을 예측할 때 성능의 저평가나 고평가 없이 보다 정확하게 예측할 수 있어 MPPT 알고리즘의 평가 및 시뮬레이션의 성능평가에 유용하게 이용될 수 있는, 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법 및 장치를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0032] 본 명세서의 제1 측면에 따르면, 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보로부터 기설정된 표준 테스트 조건에 따른 태양광 패널의 제1 파라미터를 추출하는 단계; 상기 추출된 제1 파라미터와 일사량 및 온도가 가변적인 환경 조건에서 변하는 일사량 및 온도를 이용하여 상기 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보를 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 가상 데이터시트 정보로 갱신하는 단계; 상기 갱신된 가상 데이터시트 정보로부터 최대전력지점(MPP: max power point)의 전압 및 전류 조건을 이용해서 목표함수를 설정하고 상기 설정된 목표함수를 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터를 추출하는 단계; 및 상기 추출된 태양광 패널의 제1 및 제2 파라미터를 이용하여 태양광 패널 모델을 생성하고 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널을 시뮬레이션하는 단계를 포함하는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법이 제공될 수 있다.

[0033] 상기 가상 데이터시트 정보로 갱신하는 단계는 상기 입력된 데이터시트 정보에서의 단락전류 및 개방전압의 온도변화율로 근사화된 최대전력지점(MPP)에서의 전류 및 전압의 온도변화율을 이용하여 가상 데이터시트 정보를 갱신할 수 있다.

[0034] 상기 가상 데이터시트 정보로 갱신하는 단계는 상기 입력된 데이터시트 정보로부터 산출된 단락전류, 개방전압, 최대전력지점(MPP)에서의 전류 및 전압을 이용하여 가상 데이터시트 정보를 갱신할 수 있다.

[0035] 상기 제2 파라미터를 추출하는 단계는 태양광 패널의 싱글 다이오드 등가회로의 물리적인 비선형 특성과 상기 갱신된 가상 데이터시트 정보로부터 추출된 단락전류, 개방전압, 최대전력지점, 최대전력지점(MPP)의 전압 및 전류 조건을 이용하여 목표 함수를 설정할 수 있다.

[0036] 상기 제2 파라미터를 추출하는 단계는 상기 설정된 목표 함수가 최소화되는 태양광 패널에서의 싱글 다이오드 등가회로의 제2 파라미터를 추출할 수 있다.

[0037] 상기 제2 파라미터를 추출하는 단계는 추가적인 조건이나 근사화 및 회로적 생략을 사용하지 않고 최대전력지점(MPP)의 전압 및 전류 조건을 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터인 직렬 저항(Rs), 병렬 컨덕턴스(Gsh) 또는 병렬 저항(Rsh), 다이오드의 이상계수(A)를 추출하고, 단락전류(Isc) 및 개방전압(Voc)을 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터인 광 전류(Iph), 암전류(Io)를 추출할 수 있다.

[0038] 한편, 본 명세서의 제2 측면에 따르면, 태양광 패널의 데이터시트 정보 및 일사량 및 온도가 가변적인 환경 조건에서의 일사량 및 온도를 입력받는 데이터 입력부; 상기 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보로부터 기설정된 표준 테스트 조건에 기초하여 제1 파라미터를 추출하는 제1 파라미터 추출부; 상기 추출된 제1 파라미터와 상기 입력된 가변적인 환경 조건에서 변하는 일사량 및 온도를 이용하여 상기 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보를 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 가상 데이터시트 정보로 갱신하는 데이터시트 갱신부; 상기 갱신된 가상 데이터시트 정보로부터 최대전력지점(MPP)의 전압 및 전류 조건을 이용해서 목표함수를 설정하고 상기 설정된 목표함수를 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터를 추출하는 제2 파라미터 추출부; 및 상기 추출된 태양광 패널의 제1 및 제2 파라미터를 이용하여 태양광 패널 모델을 생성하고 가변

적인 환경 조건에서의 태양광 패널을 시뮬레이션하는 태양광 패널 모델링부를 포함하는 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 장치가 제공될 수 있다.

[0039] 상기 데이터시트 갱신부는 상기 입력된 데이터시트 정보에서의 단락전류 및 개방전압의 온도변화율로 근사화된 최대전력지점(MPP)에서의 전류 및 전압의 온도변화율을 이용하여 가상 데이터시트 정보를 갱신할 수 있다.

[0040] 상기 데이터시트 갱신부는 상기 입력된 데이터시트 정보로부터 산출된 단락전류, 개방전압, 최대전력지점(MPP)에서의 전류 및 전압을 이용하여 가상 데이터시트 정보를 갱신할 수 있다.

[0041] 상기 제2 파라미터 추출부는 태양광 패널의 싱글 다이오드 등가회로의 물리적인 비선형 특성과 상기 갱신된 가상 데이터시트 정보로부터 추출된 단락전류, 개방전압, 최대전력지점, 최대전력지점(MPP)의 전압 및 전류 조건을 이용하여 목표 함수를 설정할 수 있다.

[0042] 상기 제2 파라미터 추출부는 상기 설정된 목표 함수가 최소화되는 태양광 패널에서의 싱글 다이오드 등가회로의 제2 파라미터를 추출할 수 있다.

[0043] 상기 제2 파라미터 추출부는 추가적인 조건이나 근사화 및 회로적 생략을 사용하지 않고 최대전력지점(MPP)의 전압 및 전류 조건을 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터인 직렬 저항(Rs), 병렬 컨덕턴스(Gsh) 또는 병렬 저항(Rsh), 다이오드의 이상계수(A)를 추출하고, 단락전류(Isc) 및 개방전압(Voc)을 이용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 제2 파라미터인 광 전류(Iph), 암전류(Io)를 추출할 수 있다.

발명의 효과

[0044] 본 명세서의 실시 예들은 입력된 데이터시트 정보로부터 일사량 및 온도가 가변적인 환경 조건에 맞는 태양광 패널 모델의 파라미터를 산출하여 태양광 패널을 시뮬레이션함으로써, 우수한 성능의 태양광 패널의 등가 모델을 신속하고 정확하게 제공할 수 있다.

[0045] 본 명세서의 실시 예들은 외부의 입력을 통해서 얻은 변하는 온도와 일사량에 대한 정보를 바탕으로 매 순간 파라미터 튜닝을 해주는 태양광 패널 모델을 제공함으로써, 사용자가 추가로 파라미터를 추출하기 위한 노력을 하지 않아 사용이 용이하고 최적화 방법을 이용하여 정확도 및 속도가 향상된 모델을 제공할 수 있다.

[0046] 본 명세서의 실시 예들은 데이터시트 기반의 태양광 패널의 등가 모델을 MPPT 시뮬레이션에 적용함으로써, 시뮬레이션을 통해서 시스템의 효율을 예측할 때 성능의 저평가나 고평가 없이 보다 정확하게 예측할 수 있어 MPPT 알고리즘의 평가 및 시뮬레이션의 성능평가에 유용하게 이용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0047] 도 1은 일반적인 태양광 시스템의 시뮬레이션을 위한 함수 모델(a) 및 물리적 모델(b)에 대한 설명도이다.

도 2는 태양광 패널의 전기적 등가 회로인 싱글 다이오드 등가 회로에 대한 회로도이다.

도 3은 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 장치의 구성도이다.

도 4는 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법에 대한 흐름도이다.

도 5는 본 명세서의 실시 예에 적용되는 파웰 최적화 방법에서의 수도코드에 대한 설명도이다.

도 6은 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법이 구현된 태양광 패널 모델의 블록도이다.

도 7은 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 하드웨어 시뮬레이터의 블록도이다.

도 8은 본 명세서의 실시 예에 따른 도 7에서의 데이터시트 기반의 태양광 패널의 하드웨어 시뮬레이터의 회로 구성도이다.

도 9는 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM 모델의 P-V 곡선 성능에 대한 비교도이다.

도 10은 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM 모델의 온도 변화 조건에서의 모델 정확도에 대한 비교도이다.

도 11은 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM 모델의 일사량 변화 조건에서의 모델 정확도에

대한 비교도이다.

도 12 및 도 13은 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델이 적용된 독립형 태양광 발전 시스템의 블록 구성도 및 회로 구성도이다.

도 14는 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델이 적용된 독립형 태양광 발전 시스템에서의 시뮬레이션 환경 변화와 그 결과에 대한 설명도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0048] 이하, 본 명세서의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 설명한다. 본 명세서에 따른 동작 및 작용을 이해하는 데 필요한 부분을 중심으로 상세히 설명한다. 본 명세서의 실시 예를 설명하면서, 본 명세서가 속하는 기술 분야에 익히 알려졌고 본 명세서와 직접적으로 관련이 없는 기술 내용에 대해서는 설명을 생략한다. 이는 불필요한 설명을 생략함으로써 본 명세서의 요지를 흐리지 않고 더욱 명확히 전달하기 위함이다.

[0049] 또한, 본 명세서의 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.

[0050] 도 3은 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 장치의 구성도이다.

[0051] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 데이터 입력부(110), 제1 파라미터 추출부(120), 데이터시트 갱신부(130), 제2 파라미터 추출부(140) 및 태양광 패널 모델링부(150)를 포함한다.

[0052] 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 데이터시트 정보, 온도 및 일사량의 정보만을 입력받는다. 이후, 시뮬레이션 장치는 변하는 온도 및 일사량의 조건을 따라 내부 파라미터(제1 및 제2 파라미터)의 변화를 모두 표현하고 추종할 수 있는 태양광 패널 모델을 제공하기 위한 것이다.

[0053] 이를 위해, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 파웰 최적화 방법의 수도 코드(Pseudo code of Powell's optimization)를 이용하여 제2 파라미터를 신속하게 추출한다. 그리고 변하는 파라미터의 값이 기설정된 표준 테스트 조건(STC)에서의 값에 기초하여 산출된다. 그래서 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 파라미터의 추출 초기에 표준 테스트 조건에서의 제1 파라미터들을 추출하고, 제1 파라미터를 기반으로 해서 변하는 온도와 일사량에 대한 초기값을 결정한다. 이후, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 최종적으로 제2 파라미터를 추출한다. 결과적으로, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 사용자로부터 온도와 일사량의 정보와 함께 데이터시트에서 제공하는 정보만을 입력받으면 쉽게 태양광 패널을 모델링할 수 있다.

[0054] 이하, 도 3의 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)의 각 구성요소들의 구체적인 구성 및 동작을 설명한다.

[0055] 데이터 입력부(110)는 태양광 패널의 데이터시트 정보를 입력받는다.

[0056] 제1 파라미터 추출부(120)는 데이터 입력부(110)에서 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보로부터 기설정된 표준 테스트 조건에 기초하여 제1 파라미터를 추출한다.

[0057] 데이터시트 갱신부(130)는 태양광 패널의 일사량 및 온도가 가변적인 환경 조건에서의 일사량 및 온도를 입력받는다. 그리고 데이터시트 갱신부(130)는 제1 파라미터 추출부(120)에서 추출된 제1 파라미터와 데이터 입력부(110)에서 입력된 일사량 및 온도를 이용하여, 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보를 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 가상 데이터시트 정보로 갱신한다.

[0058] 여기서, 데이터시트 갱신부(130)는 데이터 입력부(110)에서 입력된 데이터시트 정보에서의 단락전류 및 개방전압의 온도변화율로 근사화된 최대전력지점(MPP)에서의 전류 및 전압의 온도변화율을 이용하여 가상 데이터시트 정보를 갱신한다.

[0059] 데이터시트 갱신부(130)는 데이터 입력부(110)에서 입력된 데이터시트 정보로부터 산출된 단락전류, 개방전압, 최대전력지점(MPP)에서의 전류 및 전압을 이용하여 가상 데이터시트 정보를 갱신할 수 있다.

[0060] 제2 파라미터 추출부(140)는 데이터시트 갱신부(130)에서 갱신된 가상 데이터시트 정보로부터 파웰 최적화를 이

용하여 제2 파라미터를 추출한다. 여기서, 제2 파라미터 추출부(140)는 싱글 다이오드 등가회로의 물리적인 비선형 특성을 나타내는 기본 수학식과 데이터시트 정보로부터 산출된 단락전류, 개방전압, 최대전력지점, 최대전력지점(MPP)의 전압 및 전류 조건을 이용하여 목표 함수를 설정한다. 그리고 제2 파라미터 추출부(140)는 그 설정된 목표 함수가 최소화되는 태양광 패널의 내부 파라미터를 추출할 수 있다. 제2 파라미터 추출부(140)는 설정한 온도 및 일사량에 대한 패널의 동작점 갱신을 통해서 가변환경에서의 출력한다.

[0061] 태양광 패널 모델링부(150)는 제2 파라미터 추출부(140)에서 추출된 제2 파라미터를 태양광 패널의 물리적 모델에 대한 파라미터에 적용하여 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널을 시뮬레이션한다.

[0062] 도 4는 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법에 대한 흐름도이다.

[0063] 도 4에 도시된 바와 같이, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법을 수행한다.

[0064] 구체적으로 살펴보면, 데이터 입력부(110)는 데이터시트 값들(I_{sc}, V_{oc}, I_{mpp}, V_{mpp}, N_s, k_i, k_v)을 입력받는다(S402).

[0065] 그리고 제1 파라미터 추출부(120)는 입력된 태양광 패널의 데이터시트 정보로부터 기설정된 표준 테스트 조건에 기초하여 제1 파라미터를 추출한다(S404).

[0066] 이후, 데이터시트 갱신부(130)는 태양광 패널의 일사량 및 온도가 가변적인 환경 조건에서의 일사량 및 온도를 입력받는다(S406).

[0067] 그리고 데이터시트 갱신부(130)는 그 추출된 제1 파라미터와 태양광 패널 모델의 일사량 및 온도를 이용하여 데이터시트 정보들을 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 가상 데이터시트 정보로 갱신한다(S408).

[0068] 여기서, 태양광 패널의 가상 데이터시트 정보를 갱신하는 S408 과정을 구체적으로 살펴보기로 한다.

[0069] 제2 파라미터 추출부(140)는 가상 데이터시트 정보로부터 파웰 최적화를 이용하여 제2 파라미터를 추출한다(S410).

[0070] 제2 파라미터 추출부(140)는 그 추출된 제2 파라미터에 따른 오차가 기설정된 오차범위 미만인지를 확인한다(S412).

[0071] 상기 확인 결과(S412), 오차가 기설정된 오차범위 미만이면, 태양광 패널 모델링부(150)는 제2 파라미터를 싱글 다이오드 모델에 대한 파라미터로 적용하여 태양광 패널을 모델링한다(S414).

[0072] 반면, 상기 확인 결과(S412), 오차가 기설정된 오차범위 이상이면, 제2 파라미터 추출부(140)는 파웰 최적화를 이용하여 제2 파라미터를 추출하는 S410 과정부터 다시 수행한다.

[0073] 한편, 태양광 패널의 가상 데이터시트 정보를 갱신하는 S408 과정을 하기와 같이 구체적으로 살펴보기로 한다.

[0074] 실제 태양광 패널의 사용환경은 일사량과 온도가 실시간으로 변하며, 패널의 출력은 주로 일사량과 온도에 영향을 받는다. 이를 위해서, 표준 테스트 조건(STC)뿐만 아니라 환경에 따라 변하는 출력을 예측할 수 있어야 한다. 이를 위한 다양한 방법들이 존재한다. 하지만, 대부분의 방법은 온도와 일사량에 따라서 패널의 전류와 전압이 특정 비율에 따라서 변한다고 가정하고 모델링을 실시한다.

[0075] 하지만, 실제 태양광 패널에서는 전류나 전압뿐만 아니라 R_s, G_{sh}, A와 같은 내부 파라미터 또한 환경에 따라서 바뀐다. 따라서 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 이러한 내부 파라미터의 변화를 반영하기 위해, 데이터시트 정보로부터 제공되는 단락전류와 개방전압의 온도에 대한 변화율 정보를 이용한다.

[0076] 태양광 패널의 데이터시트에서는 태양광 패널의 단락전류와 개방전압이 온도에 따라 변하는 비율이 제공되는데, 이는 K_i와 K_v로 표현된다. 그리고 데이터시트 정보는 최대전력지점(MPP)에서의 온도변화율을 포함하지 않고 있다.

[0077] 하지만, 하기의 [수학식 4]와 같은 근사식에 따라 최대전력지점(MPP)에서의 온도변화율이 산출될 수 있다. 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 하기의 [수학식 4]와 같은 근사식에 따라 최대전력지점(MPP)에서의 온도변화율을 산출하여 실시간으로 태양광 패널의 시뮬레이션할 수 있다. 즉, 상기의 [수학식 4]는 데이터시트 기반의 파라미터 추출법과 결합된다.

수학식 4

[0079] $$k_{i,mpp} \cong k_i, \quad k_{v,mpp} \cong k_v$$

[0080] 여기서, K_{impp}와 K_{vmpp}는 각각 MPP에서의 전류와 전압의 온도변화율, K_i 및 K_v는 단락전류와 개방전압이 온도에 따라 변하는 비율을 나타낸다.

[0081] 이때, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 상기의 [수학식 4]의 근사식이 성립하지 않으면, 오차가 발생할 수 있다. 전류의 온도변화율은 태양광 패널에 따라 차이가 발생할 수 있다. 하지만, 하기의 [수학식 5] 및 [수학식 7]과 같이 표준 테스트 조건에서의 일사량(S_{stc})에 의해서 나눠져서 전류의 온도변화율이 산출되므로 그 영향은 적다. 그리고 전압의 온도변화율은 오차 범위가 5% 이내로 비슷한 값을 가지므로 근사될 수 있다. 다양한 재질의 태양광 패널에서도 성립하기 때문에 응용에는 문제가 없을 것이다.

[0082] 따라서 온도와 일사량의 변화를 모두 표현하는 수학식은 하기의 [수학식 5] 내지 [수학식 8]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

[0084] $$I_{sc} = I_{sc,STC} \frac{S}{S_{STC}} \left[1 + k_i (T - T_{STC})\right]$$

수학식 6

[0086] $$V_{oc} = V_{oc,STC} + N_s A_{STC} V_T ln\left(\frac{S}{S_{STC}}\right) + k_v (T - T_{STC})$$

수학식 7

[0088] $$I_{mpp} = I_{mpp,STC} \frac{S}{S_{STC}} \left[1 + k_{i,mpp} (T - T_{STC})\right]$$

수학식 8

[0090] $$V_{mpp} = V_{mpp,STC} + N_s A_{STC} V_T ln\left(\frac{S}{S_{STC}}\right) + k_{v,mpp} (T - T_{STC})$$

[0091] 여기서, I_{sc}는 단락전류, V_{oc}는 개방전압, I_{mpp}는 최대전력지점(MPP)에서의 전류, V_{mpp}는 최대전력지점(MPP)에서의 전압, S는 가변적인 환경에서의 일사량, S_{STC}는 STC 조건에서의 일사량, T는 가변적인 환경에서의 온도, T_{STC}는 STC 조건에서의 온도, N_s는 직렬연결된 PV cell의 수, V_T는 열전압(V), A_{STC}는 STC 조건에서의 다이오드의 이상계

수를 나타낸다.

[0092] 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 상기의 [수학식 5] 내지 [수학식 8]을 통해서 변하는 온도와 일사량에 대해 새로운 가상 데이터시트 정보를 갱신할 수 있다. 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 그 갱신된 가상 데이터시트 정보를 이용해서 가변적인 환경에서의 새로운 제2 파라미터(R_s, R_{sh}, A, I_{ph}, I_o)를 추출할 수 있다. 그 결과, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 데이터시트의 정보만을 이용해서 변하는 온도 및 일사량의 조건하에서의 태양광 패널의 가상적인 데이터시트 값을 설정할 수 있다.

[0093] 한편, 가상 데이터시트 정보로부터 파웰 최적화를 이용하여 제2 파라미터를 추출하는 S410 과정에 대해서 구체적으로 살펴보기로 한다.

[0094] 태양광 패널의 파라미터를 추출하는 방법에 대해 다양한 연구가 최근까지 진행되어 왔다. 하지만, 주로 실제 태양광 패널의 출력을 측정한 뒤에 이를 이용해서 등가회로의 파라미터를 추출하는 방법과 데이터시트만으로 모델의 파라미터를 추출하는 방법이 존재한다. 그런데 데이터시트 기반의 방법은 실제 패널이 없어도 등가 회로 모델을 얻을 수 있다. 또한, 데이터시트 기반의 방법은 빠르고 쉽게 모델을 제공한다는 장점이 있다.

[0095] 이러한 데이터시트 기반의 파라미터 추출방법은 주로 수치해석적인 방법을 이용해서 전기적 등가 회로의 파라미터를 추출한다. 이는 실제 추출해야 하는 파라미터의 수와 데이터시트의 정보로부터 얻을 수 있는 수학식의 수가 일치하지 않기 때문이다. 이러한 문제를 극복하기 위해서, 종래의 데이터시트 기반의 방법은 추가적인 근사조건을 사용하거나 직렬저항이나 병렬저항을 제거하여 더욱 단순한 등가회로를 구성하고 있다.

[0096] 이에 반해, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 도 5에 도시된 파웰 최적 방법의 수도 코드를 이용하여 제2 파라미터를 추출한다.

[0097] 도 5는 본 명세서의 실시 예에 적용되는 파웰 최적화 방법에서의 수도코드에 대한 설명도이다.

[0098] 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 실제 추출해야 하는 파라미터의 수와 데이터시트의 정보로부터 얻을 수 있는 수학식의 수가 일치하지 않는 문제를 극복할 수 있다.

[0099] 도 5에 도시된 바와 같이, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 파웰 최적화 방법의 수도 코드(Pseudo code of Powell's optimization)를 이용하여 제2 파라미터를 추출할 수 있다.

[0100] 파웰 최적화 방법은 전기적 등가회로의 물리적인 의미를 최대한 살리면서, 추가적인 근사조건을 이용하지 않고도 동시에 모든 파라미터를 추출할 수 있다. 이는 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)가 데이터시트 정보만으로 모든 파라미터를 산출할 수 있다는 것을 의미한다. 이때, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)에서는 제2 파라미터의 추출 속도 또한 빠르다. 따라서 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 제2 파라미터를 추출한 후, PSIM의 모델을 거치지 않고 직접적으로 변하는 온도와 일사량에 대한 정보에 대한 태양광 패널 모델을 제공할 수 있다.

[0101] 우선, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 파웰 최적화 방법을 이용하여 전기적 등가회로의 파라미터를 추출하기 위한 목표함수를 설정한다. 목표함수는 이어지는 과정을 통해서 설정될 수 있다. 이때, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 추가적인 조건이나 근사화 및 회로적인 생략을 이용하지 않고 목표함수를 설정할 수 있다.

[0102] 또한, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 최대전력지점(MPP)의 정보만을 이용해서 목표함수를 유도한다. 통상적으로 태양광 발전 시스템이 최대전력지점 추종방법(MPPT)을 사용한다는 점을 고려해 볼 때, 최대전력지점(MPP) 부근의 정확도가 중요함을 의미한다.

[0103] 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 기본수학식인 [수학식 1]과 데이터시트 정보로부터 획득할 수 있는 4가지 조건인 단락전류(I_{sc}), 개방전압(V_{oc}), MPP, P-V 곡선의 MPP로부터의 기울기 조건을 이용한다. 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 이러한 과정을 통해서 목표함수 및 나머지 제2 파라미터의 추출식을 산출할 수 있다.

[0104] 목표함수부터 살펴보면, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 목표함수를 MPP에서의 두 개의 조건을 이용해서 구할 수 있다. 먼저 [수학식 1]과 MPP의 조건을 이용해서 산출된 수학식은 하기의 [수학식 9]와 같이 나타나진다.

수학식 9

[0106] $$I_{mpp} = I_{ph} - I_o e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s}{N_S A V_T}} - (V_{mpp} + I_{mpp} R_s) G_{sh}$$

[0107] 여기서, I_{mpp}는 최대전력지점(MPP)에서의 전류, V_{mpp}는 최대전력지점(MPP)에서의 전압, I_o는 암전류(A), I_{ph}는 광전류(A), R_s는 직렬저항(Ω), G_{sh}는 병렬컨덕턴스(S), N_s는 직렬연결된 PV cell의 수, V_T는 열전압(V), A는 다이오드의 이상계수를 나타낸다.

[0108] 상기의 [수학식 9]는 추가적인 유도과정이 없이, 하기의 [수학식 10]과 같은 음함수 형태로 변경될 수 있다.

수학식 10

[0110] $$f(R_s, G_{sh}, A) - I_{mpp} = 0$$

[0111] 여기서, R_s는 직렬저항(Ω), G_{sh}는 병렬컨덕턴스(S), A는 다이오드의 이상계수, I_{mpp}는 최대전력지점(MPP)에서의 전류를 나타낸다.

[0112] 다음으로, 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 최대전력지점(MPP)에서의 기울기 조건을 이용하기 위해서 하기의 [수학식 11]의 미분 과정을 이용한다.

수학식 11

[0114] $$\frac{dp}{dv} = \frac{d(iv)}{dv} = i + \frac{di}{dv} v$$

[0115] 상기의 [수학식 11]에 최대전력지점(MPP)의 조건을 대입하면 하기의 [수학식 12]가 산출될 수 있다.

수학식 12

[0117] $$\left.\frac{dp}{dv}\right|_{@mpp} = I_{mpp} - V_{mpp} \frac{G_{sh}\left(\frac{(I_{sc}/G_{sh} - V_{oc} + I_{sc} R_s)}{N_S A V_T} e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s - V_{oc}}{N_S V_T}} + 1\right)}{1 + R_s G_{sh}\left(\frac{(I_{sc}/G_{sh} - V_{oc} + I_{sc} R_s)}{N_S A V_T} e^{\frac{V_{mpp} - I_{mpp} R_s - V_{oc}}{N_S V_T}} + 1\right)} = 0$$

[0118] 상기의 [수학식 12]는 하기의 [수학식 13]과 같은 음함수 형태가 된다.

수학식 13

[0120] $$g(R_s, G_{sh}, A) = 0$$

[0122] 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 상기의 [수학식 11] 및 [수학식 13]과 같이 산출한 두 개의 음함수를 이용하여 목표함수를 하기의 [수학식 14]와 같이 설정할 수 있다. 태양광 패널의 내부 파라미터는 목표함수를 최소로 하는 값으로 추출된다.

수학식 14

[0124]
$$E(R_s, G_{sh}, A) \equiv (f(R_s, G_{sh}, A) - I_{mpp})^2 + g^2(R_s, G_{sh}, A)$$

[0126] 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 목표함수를 통해서 추가적인 조건이나 근사화 및 회로적 생략을 이용하지 않고 두 개의 MPP 조건을 이용하여 3개의 미지수 R_s, G_{sh}, A를 산출할 수 있다. 이는 물리적인 의미도 훼손하지 않는다. 그리고 남아있는 I_{sc}와 V_{oc} 조건은 나머지 2개의 미지수 I_{ph}와 I_o를 산출하기 위해서 사용할 수 있다. 그 수학식은 하기의 [수학식 15] 및 [수학식 16]과 같이 나타나진다.

수학식 15

[0128]
$$I_{ph} = I_o e^{\frac{V_{oc}}{N_S A V_T}} + V_{oc} G_{sh}$$

수학식 16

[0130]
$$I_o = \left[I_{sc} - (V_{oc} - I_{sc} R_s) G_{sh} \right] e^{-\frac{V_{oc}}{N_S A V_T}}$$

[0132] 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 결과적으로 파웰 최적화 방법을 통해서 4개의 데이터시트 조건만으로 5개의 전기적 등가회로의 미지수를 모두 추출할 수 있다. 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 미리 설정한 온도 및 일사량에 대한 패널의 동작점 갱신을 통해서 온도 및 일사량의 가변 환경에서의 전압 및 전류 출력값을 용이하게 산출할 수 있다.

[0133] 도 6은 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법이 구현된 태양광 패널 모델의 블록도이다.

[0134] 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법은 PSIM을 이용하여 도 6에 도시된 바와 같이 구현되어 있다.

[0135] 이때, 도 6에 도시된 태양광 패널 모델과 비교할 대상은 온도와 일사량의 변화를 비교할 수 있는 PSIM의 물리적 모델이다. 태양광 패널을 모델링하기 위한 다양한 종래의 방법이 존재하지만, PSIM을 통해서 블록화된 모델은 존재하지 않는다.

[0136] 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법은 PSIM만으로 구성하여 자동화하고 사용성을 증대시키는 것이다. 그러므로 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM의 모델과의 비교를 통해 본 명세서의 실시 예에 대한 검증을 수행하였다.

[0137] 일례로, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널의 시뮬레이션 방법에 의해 구현된 태양광 패널 모델은 PSIM의 C 블록(block)으로 구현하였다. 여기서, C 블록은 DLL과 같이 추가적인 프로그램이 필요하지 않고 PSIM만으로 C 언어를 이용해서 알고리즘을 구현할 수 있다. 그리고 PSIM을 이용하는 것이 데이터시트 정보로부터 도통 손실이나 스위칭 손실과 같은 회로적인 특성을 잘 표현할 수 있다. 그러므로 향후 태양광 발전 시스템에도 본 명세서의 실시 예에 다른 태양광 패널 모델을 적용한다고 생각하면 확장성 면에서나 회로적인 면에서 더 유리할 수 있다.

[0138] 이때, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널의 시뮬레이션 방법은 파웰 최적화를 이용하여 파라미터를 실시간으로 갱신한다. 이 방법은 해를 찾는 과정에서 미분식을 이용하지 않아 구현이 간단하며, 빠른 수렴속도를 보장할 수 있다. 시뮬레이션 모델의 특성상 시뮬레이션 시간을 고려해야 하므로 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널의 시뮬레이션 방법은 적절한 방법일 수 있다.

[0139] 여기서, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM의 모델을 이용해서 각각 추출한 P-V 특성곡선을 서로 비교해서 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델을 타당성을 검증할 수 있다.

[0140] 추가로 최적화 방법을 사용하기 위해서는 초기값 및 탐색범위를 설정해야 하는데 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델의 경우 아래와 같이 탐색범위를 설정하였다.

수학식 17

[0142]
$$0 \le R_s \le \frac{V_{oc} - V_{mpp}}{I_{mpp}}$$

수학식 18

[0144]
$$0 \le G_{sh} \le \frac{I_{sc} - I_{mpp}}{V_{mpp}}$$

수학식 19

[0146]
$$1 \le A \le 2$$

[0147] 여기서, 탐색범위는 모델의 물리적인 의미를 훼손하지 않는 범위로 설정되었었다. 탐색범위를 이용해서 초기값은 하기의 [수학식 20]과 같이 정할 수 있다.

수학식 20

[0149]
$$X_1 = [R_{s,1}\ G_{sh,1}\ A_1] = [0, 0, 1]$$

[0150] 결과적으로 파라미터가 빠르게 최적화를 통해서 갱신되는 것을 확인할 수 있다. 이때, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 사용자에 의한 작도 등의 추가적인 추출 방법이 없이 데이터시트 정보만을 이용하여 태양광 패널 모델을 신속하게 생성할 수 있다.

[0151] 도 7은 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 하드웨어 시뮬레이터의 블록도이다.

[0152] 도 7에 도시된 바와 같이, 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 장치(100)는 소프트웨어 기반이 아닌 태양광 패널에 대한 하드웨어 시뮬레이터(Hardware Simulator)(700)로 구현될 수 있다.

[0153] 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널의 하드웨어 시뮬레이터(700)는 PV 엔진 모듈(710), OP 앰프(720), 비교기(730), DC 전원(740), 벅 컨버터(750) 및 DAQ(Data Acquisition)(750)를 포함한다.

[0154] 도 8은 본 명세서의 실시 예에 따른 도 7에서의 데이터시트 기반의 태양광 패널의 하드웨어 시뮬레이터의 회로구성도이다.

[0155] 본 명세서의 실시 예에 따른 도 7에서의 데이터시트 기반의 태양광 패널의 하드웨어 시뮬레이터(700)는 도 8에

도시된 바와 같이 태양광 패널의 하드웨어 시뮬레이터 회로(800)로 구현될 수 있다.

[0156] 도 8에 도시된 태양광 패널의 시뮬레이터 회로(800)는 PV 시뮬레이터(820)의 회로 및 동작 부하(830)의 회로를 포함한다.

[0157] PV 시뮬레이터(820)는 내부에 PV 엔진(810)의 회로를 포함하여 이루어진다.

[0158] 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널 모델에 대한 타당성 검증 결과를 살펴보기로 한다.

[0159] 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델에 대한 타당성 검증은 실제 태양광 패널 중 실리콘 타입의 결정형 패널(예컨대, KC200GT)을 사용하여 실제 태양광 패널의 데이터와 각 모델의 결과를 추출하고 EN50530의 기준에 따라서 결과를 비교하는 것으로 진행하였다. 여기서, KC200GT의 결정형 패널은 제조사로부터 제공되는 데이터시트가 명확하고 많이 사용해온 패널이며, 온도와 일사량의 변화에 대한 결과 그래프도 제조사에서 제공하고 있다. 따라서 이러한 KC200GT의 결정형 패널은 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM 모델의 비교 검증에 이용하였다.

[0160] 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델을 생성하기 위해서 필요로 하는 KC200GT 패널의 데이터시트 값은 하기의 [표 3]에 나타나 있다. 하기의 [표 3]의 값은 제조사가 표준 테스트 조건(STC)에서 실험을 통해서 얻은 데이터로서 데이터시트 기반의 태양광 패널 모델링에 유용하게 이용될 수 있다.

표 3

[0161]

Electrical performance under STC	Value	Unit
Maximum power(Pmax)	200 (+10%/-5%)	W
Number of cells(Ns)	54	-
Short circuit current(Isc)	8.21	A
Open circuit voltage(Voc)	32.9	V
Maximum power current(Impp)	7.61	A
Maximum power voltage(Vmpp)	26.3	V
Temperature coefficient of Voc	-0.123	V/°C
Temperature coefficient of Isc	$3.18\cdot10^{-3}$	A/°C

[0163] 다음으로, EN50530의 평가기준은 태양광 시뮬레이터의 MPP부근에서의 허용오차에 대해서 규정하고 있다. 이는 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM의 모델이 파라미터에 따라 어느 정도의 오차를 가지는지 평가하는 기준으로 이용하였다. 이때, 규격에 따른 오차는 하기의 [수학식 21] 및 [수학식 22]와 같은 수학식으로 정의될 수 있다.

수학식 21

[0165]
$$Total\ \varepsilon_P = \frac{1}{V_{oc}} \int \left| \frac{i_{model}(v) - i_{measured}(v)}{i_{measured}(v)} \right| dv$$

수학식 22

[0167]
$$MPP \pm 10\%\ \varepsilon_P = \frac{1}{0.2V_{mpp}} \int_{V_{mpp}\pm 10\%} \left| \frac{p_{model}(v) - p_{measured}(v)}{p_{measured}(v)} \right| dv$$

[0168] 여기서, $Total\,\varepsilon_P$는 P-V 특성곡선의 전체오차, $MPP \pm 10\%\,\varepsilon_P$는 MPP부근의 오차, $i_{model}(v)$은 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM 모델로부터 얻은 값, $i_{measured}(v)$는 KC200GT 패널의 데이터시트로부터 얻은 각각의 온도와 일사량에서의 P-V 특성곡선의 값을 의미한다.

[0169] 상기의 [수학식 21] 및 [수학식 22]는 각각 P-V 특성곡선의 전체오차와 MPP부근의 오차를 의미한다.

[0170] 도 9는 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM 모델의 P-V 곡선 성능에 대한 비교도이다.

[0171] 도 9의 (a)에는 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델의 P-V 곡선이 도시되어 있다.

[0172] 도 9의 (b)에는 본 명세서의 실시 예에 따른 PSIM 모델의 P-V 곡선이 도시되어 있다.

[0173] 도 9의 (a) 및 (b)를 비교한 결과, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM 모델은 모두 온도와 일사량의 변화에 대해서 잘 대응하는 것을 확인할 수 있다.

[0174] 하지만, 두 모델 간의 더 정확한 비교를 위해서 상기의 [수학식 21]과 [수학식 22]을 이용하여 오차를 계산하였다. 그 오차 계산 결과는 각각 도 10 및 도 11에 도시되어 있다.

[0175] 도 10은 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM 모델의 온도 변화 조건에서의 모델 정확도에 대한 비교도이다.

[0176] 여기서, 온도와 일사량 변화의 기준은 태양광 패널의 데이터시트 정보에 포함된 온도와 일사량의 변화를 이용하였다.

[0177] 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM의 모델의 P-V 출력 특성을 각각 추출하였다. 그리고 PSIM 모델에 대해 V_{oc}에서의 기울기와 A값을 일정한 간격으로 변화를 주면서 결과를 추출하여 비교하였다. 이는 사용자가 직접 입력하는 파라미터가 회로의 정확도에 어떤 영향을 주는지 확인하기 위함이다.

[0178] 그 결과를 살펴보면, 먼저 온도의 변화에 대응하는 각 모델의 결과가 도 10과 같이 나타나 있다.

[0179] 도 10의 (a)와 (b)는 V_{oc}에서의 기울기를 고정한 뒤에 A를 0.2의 간격으로 변화시키면서 얻은 그래프를 비교한 것이다.

[0180] 도 10의 (c)와 (d)는 A를 1.2로 고정한 후에 V_{oc}에서의 기울기를 0.1 간격으로 변화시키면서 얻은 그래프를 비교한 것이다.

[0181] 도 10에 도시된 바와 같이, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널의 시뮬레이션 방법은 온도에 따라서 변하는 내부의 파라미터를 잘 추종하여 온도 변화에 관계없이 일정한 전체오차와 MPP부근의 오차를 가지는 것을 확인할 수 있다.

[0182] 하지만, PSIM의 모델은 사용자가 입력해준 파라미터에 따라서 전체 및 MPP부근의 오차가 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 한 예로, V_{oc}에서의 기울기를 -0.68, A를 1.0으로 선정하여 STC에서의 전체오차를 크게 줄일 수 있다. 하지만, PSIM의 모델은 온도가 변하면 오차가 크게 발생하며, MPP부근의 오차 또한 온도에 따라 오차가 달라지는 것을 확인할 수 있다.

[0183] 도 11은 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM 모델의 일사량 변화 조건에서의 모델 정확도에 대한 비교도이다.

[0184] 다음으로, 일사량의 변화에 대응하는 출력 특성의 결과는 도 11에 도시되어 있다. 도 11에서 추출된 그래프의 파라미터 조건은 온도변화에서의 조건과 동일하다. 도 11에서 전체오차는 PSIM 모델과 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델이 비교적 비슷한 양상을 보이며, PSIM 모델이 더 좋은 경우도 존재한다.

[0185] 한 예로, PSIM 모델의 V_{oc}에서의 기울기가 -0.68이고 A는 1.4인 경우, 200W/m2을 제외한 부분은 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델보다 더 좋은 성능을 제공한다.

[0186] 하지만, MPP 부근의 오차를 살펴보면, 200W/m2뿐만 아니라 나머지 일사량에서도 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델의 결과가 균등하고 작은 것을 확인할 수 있다.

[0187] 결과적으로, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델은 PSIM의 물리적 모델과 다르게 사용자의 입력 파라

미터에 영향을 받지 않는다. 또한, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널의 시뮬레이션 방법은 데이터시트와 온도와 일사량 정보만으로 가변환경에 맞게 내부 파라미터를 튜닝한다. 그래서 태양광 패널의 시뮬레이션 방법은 우수한 성능의 태양광 패널의 등가 모델을 제공할 수 있다.

[0188] 도 12 및 도 13은 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델이 적용된 독립형 태양광 발전 시스템의 블록 구성도 및 회로 구성도이다.

[0189] 태양광 패널의 등가 모델은 주로 태양광 발전 시스템의 개발을 위한 시뮬레이션 과정에서 이용될 수 있다. 이때, 대부분의 태양광 모델은 MPPT와 함께 동작하게 된다. 결국, MPPT 알고리즘의 특성상 태양광 발전 시스템의 시뮬레이션 과정에서 초기 과도 상태를 제외한다면, 주로 최대전력지점(MPP) 부근의 정보만을 이용하게 된다. MPP부근의 오차가 적은 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델이 매우 유용하게 이용될 수 있다.

[0190] 도 12에 도시된 바와 같이, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델은 태양광 패널 모델과 Perturb and Observe(P&O) 알고리즘으로 벅-컨버터를 이용하는 독립형 태양광 발전 시스템을 적용될 수 있다. 이는 태양광 패널 모델이 MPPT 시뮬레이션에도 이용될 수 있음을 보이기 위함이다. 도 12에 도시된 독립형 태양광 발전 시스템은 태양광 패널 모델에서 생성된 전력을 배터리에 충전하는 배터리 충전 회로로 이루어진다

[0191] 도 12에 도시된 독립형 태양광 발전 시스템의 시뮬레이션 회로는 도 13에 도시되어 있다.

[0192] 독립형 태양광 발전 시스템의 시뮬레이션 회로에는 벅-컨버터가 포함된다. 여기서, 벅-컨버터의 하드웨어 스펙은 하기의 [표 4]에 나타나 있다. 이 시뮬레이션 회로를 통해서 태양광 패널 모델을 이용한 독립형 태양광 발전 시스템이 구현되어 있다.

표 4

[0194]

Electrical specification	Value	Unit
Input voltage range	30-45	V
Maximum input current	4	A
Output power	120	W
Output voltage	12	V
Switching frequency	100	kHz
Inductor	55	uH

[0195] 이러한 독립형 태양광 발전 시스템의 회로 구성은 벅-컨버터의 동작 특성이 포함된 시뮬레이션을 실행할 수 있다.

[0196] 도 14는 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델이 적용된 독립형 태양광 발전 시스템에서의 시뮬레이션 환경 변화와 그 결과에 대한 설명도이다.

[0197] 시뮬레이션의 환경 변화 중에서 온도 및 일사량 변화 조건이 각각 도 14의 (a) 및 (b)에 도시되어 있다. 시뮬레이션의 환경 변화는 일사량이 900과 1000 W/m^2사이에서 주기적으로 변하도록 삼각파를 이용해서 설정되어 있다. 예를 들면, 일사량이 2주기로 변할 때, 온도는 25에서 50℃로 1주기로 변하도록 설정되어 있다. 이러한 온도 및 일사량 변화 조건에서 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델과 PSIM 모델별 결과가 도 14의 (c) 및 (d)에 각각 나타나 있다.

[0198] 도 14의 (c) 및 (d)에서, P_real은 P&O 알고리즘에 의해서 패널이 실제로 발생시키는 출력이며, P_panel은 데이터시트로부터 예상할 수 있는 최대전력을 의미한다. 그리고 P_real 값이 P_panel을 따라 최대전력지점을 추종하는 것을 확인할 수 있다. 일시적으로 추종이 틀어지는 부분은 PSIM의 모델에서도 관찰할 수 있는 부분으로 P&O 알고리즘의 추종 문제로 사료된다.

[0199] 도 14의 실험 결과에 따르면, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델이 온도와 일사량에 따라서 변하는 조건에서도 태양광 패널의 성능을 정확하게 시뮬레이션할 수 있다는 것을 보여준다. 여기서, 시간 스텝(time step) = 0.1sec 이고 전체 시간(total time) = 200sec의 시뮬레이션 조건하에서 PSIM 모델의 총 시뮬레이션 시간은 1sec가 소요되었다. 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델의 총 시뮬레이션 시간은 10sec의 시간

이 소요되고 5msec/step의 시간이 걸린 것으로 확인된다.

[0200] 결론적으로, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델의 최대전력지점 부근의 오차가 PSIM 모델보다 더 적은 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델을 이용한 태양광 시뮬레이션 방법을 통해서 태양광 시스템의 효율을 정확하게 예측할 수 있다. 즉, 태양광 시뮬레이션 방법은 태양광 시스템의 예측 성능을 저평가나 고평가 없이 더욱 정확하게 예측할 수 있다. 이에 따라, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델은 MPPT 알고리즘의 평가 및 태양광 시뮬레이션의 성능 평가에 유용하게 이용될 수 있다.

[0201] 상기와 같이, 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법 및 장치는 데이터시트 정보만을 이용해서 온라인으로 실제 태양광 패널의 전기적 특성을 모사할 수 있다. 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델은 태양광 패널 제조사의 데이터시트 정보만을 입력받으면 신속하고 용이하게 태양광 패널의 등가 모델을 생성할 수 있다. 이때, 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널 모델은 외부의 입력을 통해서 획득된 온도 및 일사량 변화에 대한 정보를 기초로 하여 실시간으로 파라미터를 튜닝할 수 있다. 이는 사용자가 추가로 파라미터를 추출하기 위한 노력을 하지 않아도 된다. 그러므로 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법은 사용이 용이하고 최적화 방법을 이용하여 정확도 및 속도가 향상된 태양광 패널 모델을 제공할 수 있다. 이때, 최적화 방법은 파웰 최적화 방법이 이용된다.

[0202] 상기와 같이, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델의 성능의 검증은 EN50530의 규격을 따라서 PSIM의 물리적 모델과의 비교 검증을 통해 수행되었다. 이때, 성능 검증은 실제 결정형 패널 KC200GT의 데이터 값을 이용해서 데이터를 추출하고 비교하였다.

[0203] 결과를 살펴보면, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널의 시뮬레이션 방법은 온도와 일사량의 변화에 대응할 수 있음을 확인하였다. 또한, 태양광 패널의 시뮬레이션 방법 정확도가 종래의 PSIM 모델보다 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

[0204] 이를 위해서, 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델은 데이터시트 정보만을 이용하였다. 본 명세서의 실시 예에 따른 태양광 패널 모델은 P&O 알고리즘과의 시뮬레이션을 통해서 태양광 시스템을 시뮬레이션할 수 있다는 것을 나타내었다. 여기서, 본 명세서의 실시 예에 따른 데이터시트 기반의 태양광 패널의 시뮬레이션 방법은 미분식을 이용하는 최속 강하법(steepest descent method), 공액 구배법(conjugate gradient method) 등의 최적화 방법을 적용할 수 있다. 이는 시뮬레이션 속도를 더욱 향상시키기 위함이다.

[0205] 이상에서 설명한 실시 예들은 그 일 예로서, 본 명세서가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 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

[0206] 100: 태양광 패널의 시뮬레이션 장치

110: 데이터 입력부

120: 제1 파라미터 추출부

130: 데이터시트 갱신부

140: 제2 파라미터 추출부

150: 태양광 패널 모델링부

700: 태양광 패널의 하드웨어 시뮬레이터

710: PV 엔진

720; OP 앰프

730: 비교기

740: DC 전원

750: 벅 컨버터

760: DAQ

800: 하드웨어 시뮬레이터 회로

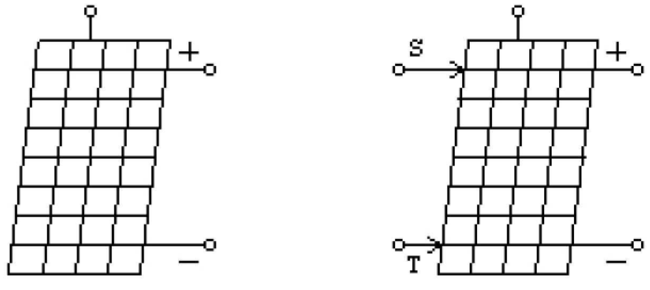
810: PV 엔진

820: PV 시뮬레이터

830: 동작 부하

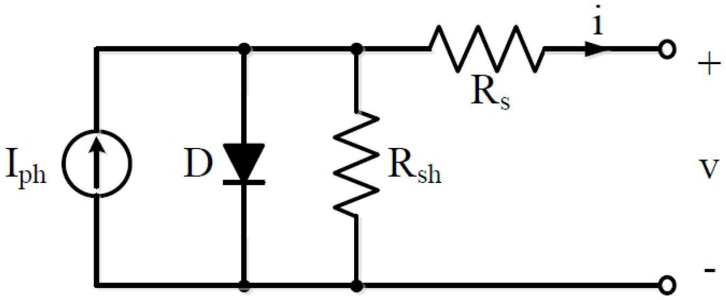
도면

도면1

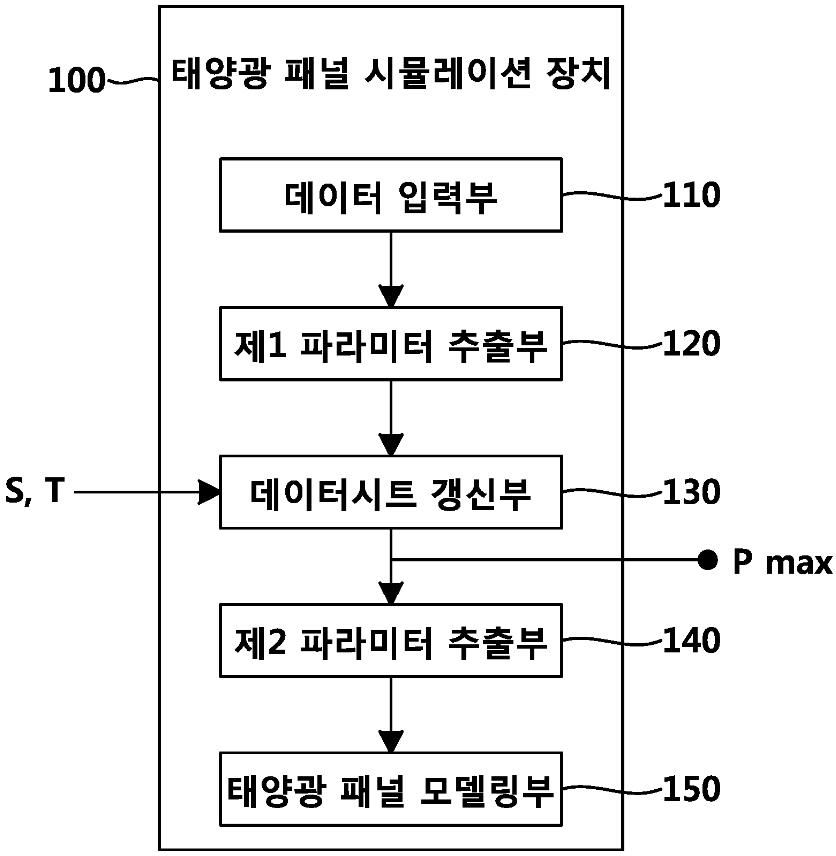


(a) (b)

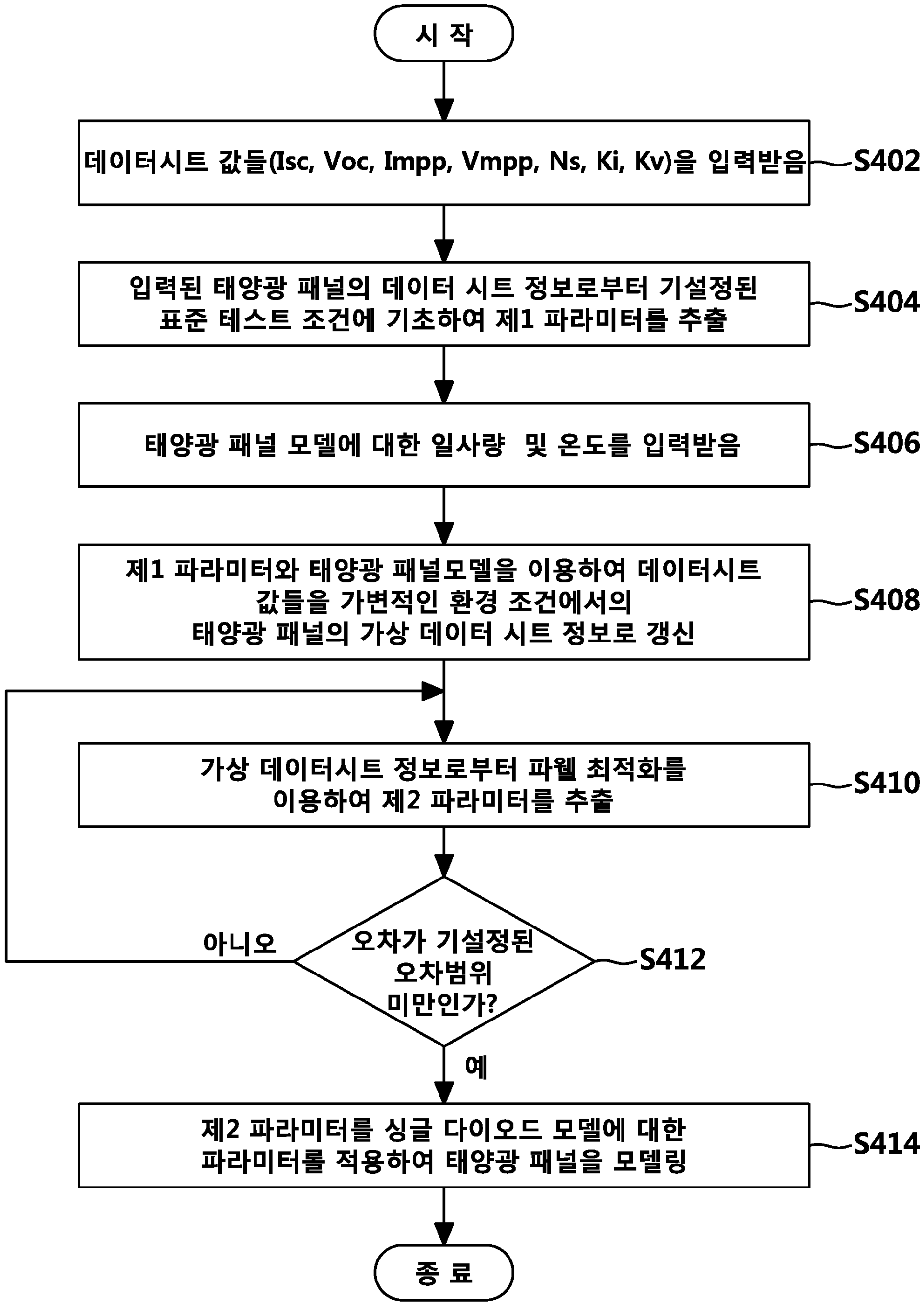
도면2



도면3


100
태양광 패널 시뮬레이션 장치
데이터 입력부
110
제1 파라미터 추출부
120
S, T
데이터시트 갱신부
130
P max
제2 파라미터 추출부
140
태양광 패널 모델링부
150

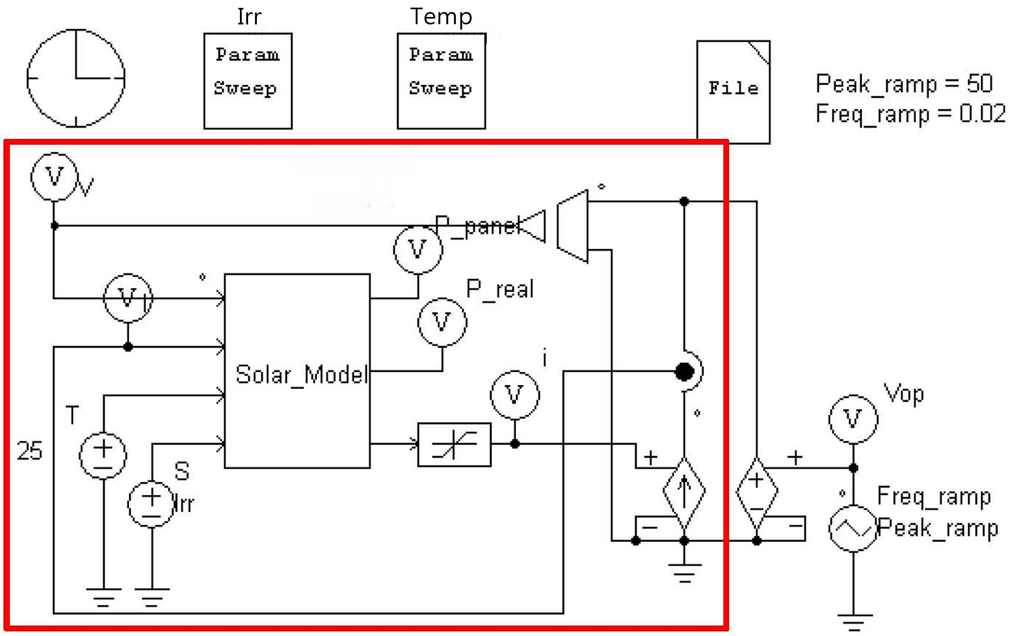
도면4


시 작
데이터시트 값들(Isc, Voc, Impp, Vmpp, Ns, Ki, Kv)을 입력받음
S402
입력된 태양광 패널의 데이터 시트 정보로부터 기설정된 표준 테스트 조건에 기초하여 제1 파라미터를 추출
S404
태양광 패널 모델에 대한 일사량 및 온도를 입력받음
S406
제1 파라미터와 태양광 패널모델을 이용하여 데이터시트 값들을 가변적인 환경 조건에서의 태양광 패널의 가상 데이터 시트 정보로 갱신
S408
가상 데이터시트 정보로부터 파웰 최적화를 이용하여 제2 파라미터를 추출
S410
아니오
오차가 기설정된 오차범위 미만인가?
S412
예
제2 파라미터를 싱글 다이오드 모델에 대한 파라미터롤 적용하여 태양광 패널을 모델링
S414
종 료

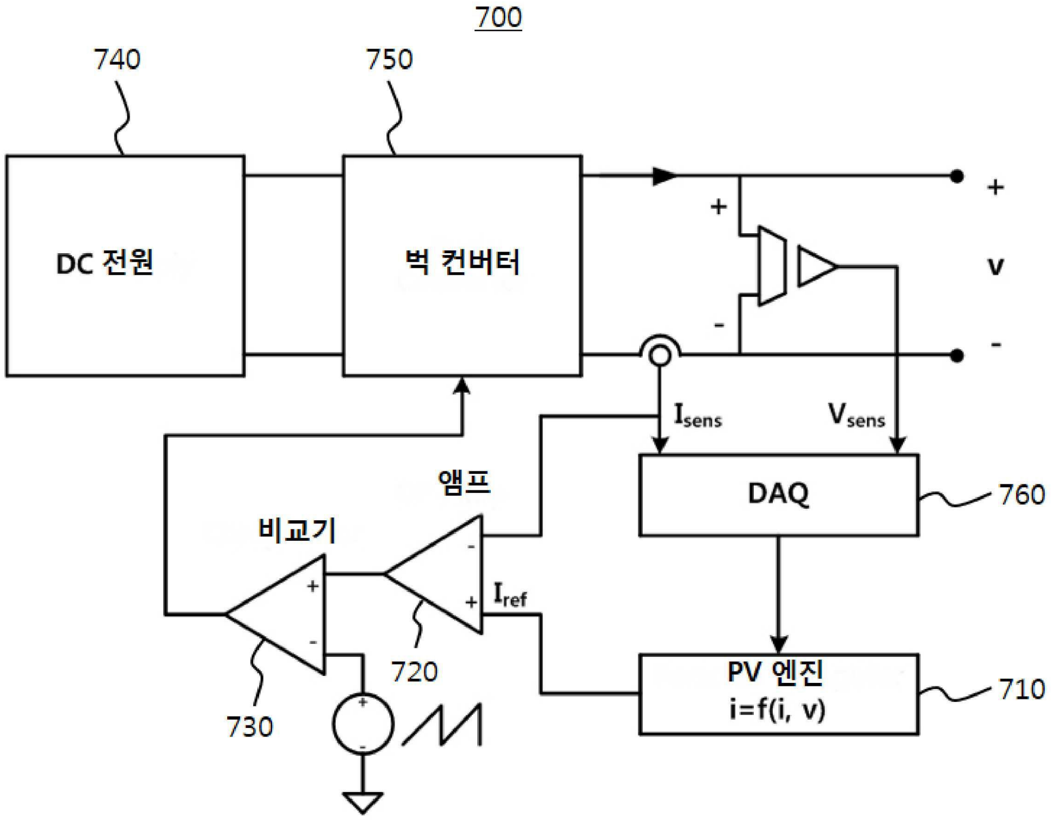
도면5

Step 1:	Choose initial X_1, N_c(number of cycle)
	Determine the ε : tolerance
	Calculate $f(X_1)$;
	Set $j = 1$; (initialize powell cycle)
	For $i = 1$; (initialize univariate cycle)
	$S_i = e_i$ (univariate step)
Step 2:	For each cycle j
	For $i = 1:3$;
	If $(j >= 2)$ $S_i = S_i+1$
	$X_{i+1} = X_i + \alpha_i \cdot S_i$
	→ α is determined by minimizing $f(X_{i+1})$
	End (i cycle)
	$S_j = X_4 - X_1$
	$X_j = X_4 + \alpha_j \cdot S_j$
	Calculate $f(X_j)$
Step 3:	$\Delta f = f(X_{j+1})-f(X_j)$
	$\Delta X = X_{j+1} - X_j$
	If $\lvert\Delta f\rvert \le \varepsilon$; stop
	If $\Delta X^T \Delta X \le \varepsilon$; stop
	If $j = N_c$; stop
	$X_1 = X_j$;
	$j = j+1$;
	Go to Step2

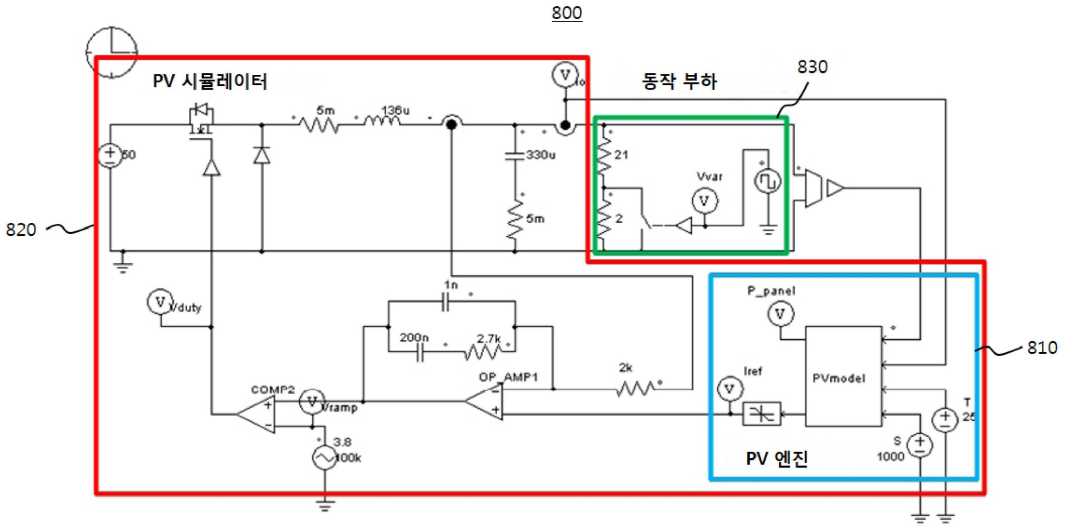
도면6



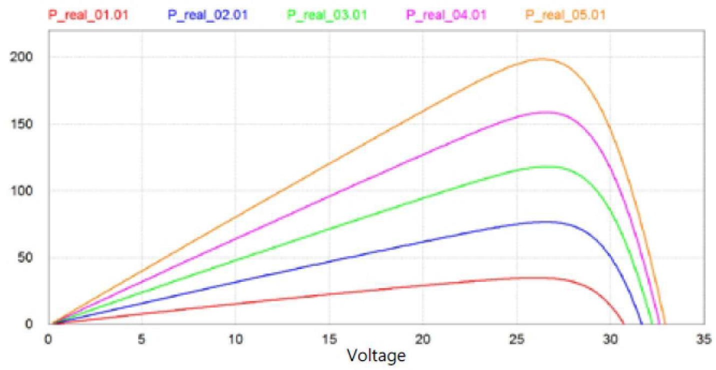
도면7


700
740
750
DC 전원
벅 컨버터
+
v
-
Isens
Vsens
DAQ
760
앰프
비교기
Iref
720
730
PV 엔진
i=f(i, v)
710

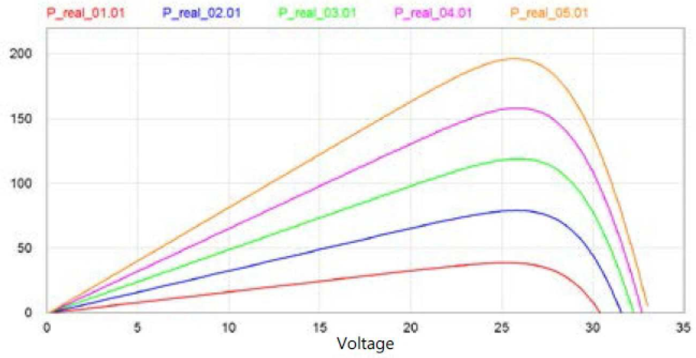
도면8


800
PV 시뮬레이터
동작 부하
830
820
810
5m
136u
330u
5m
50
21
2
Vvar
Vduty
1n
200n
2.7k
2k
OP_AMP1
COMP2
Vramp
3.8
100k
P_panel
Iref
PVmodel
PV 엔진
1000

도면9

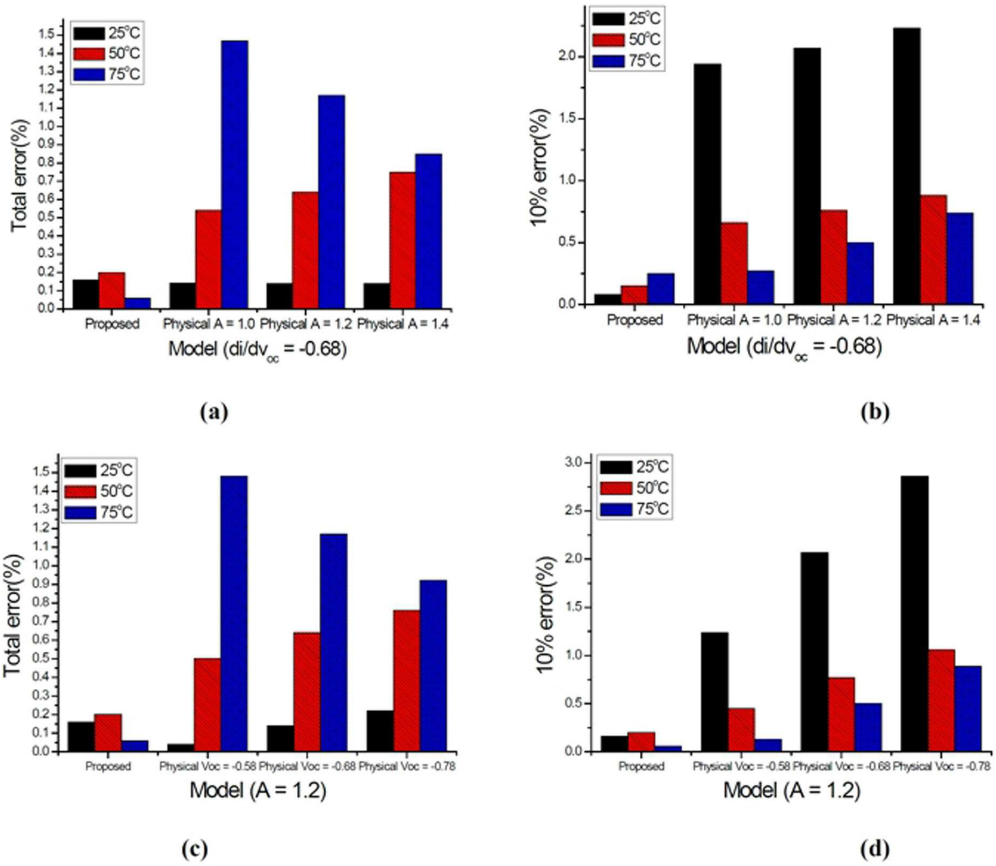

P_real_01.01
P_real_02.01
P_real_03.01
P_real_04.01
P_real_05.01
200
150
100
50
0
0
5
10
15
20
25
30
35
Voltage

(a)

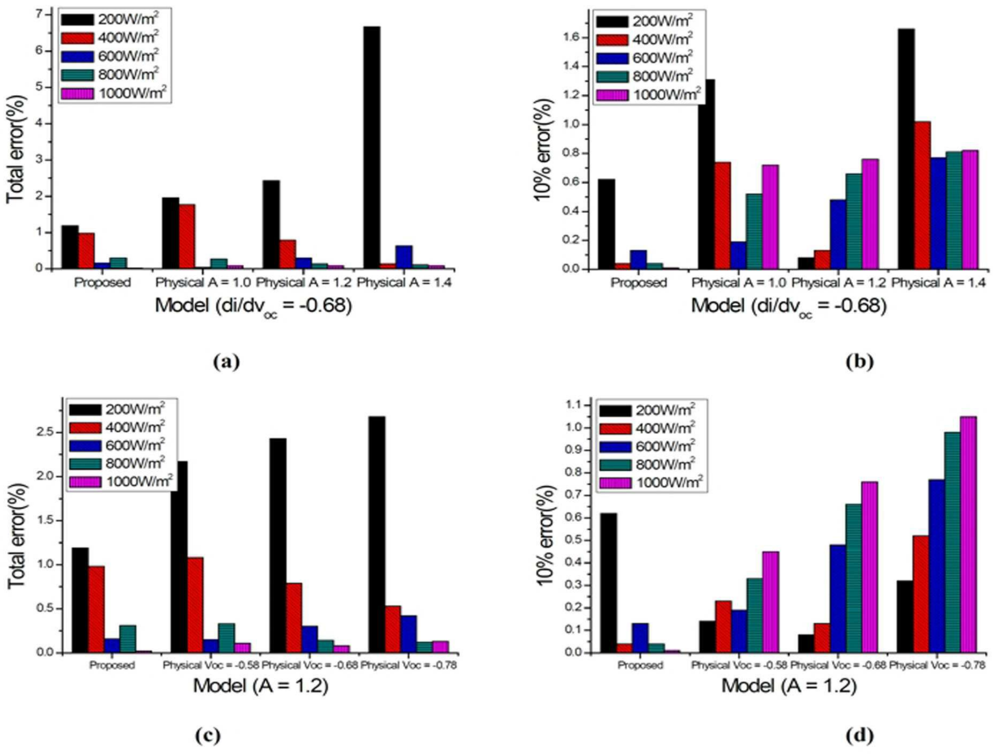

P_real_01.01
P_real_02.01
P_real_03.01
P_real_04.01
P_real_05.01
200
150
100
50
0
0
5
10
15
20
25
30
35
Voltage

(b)

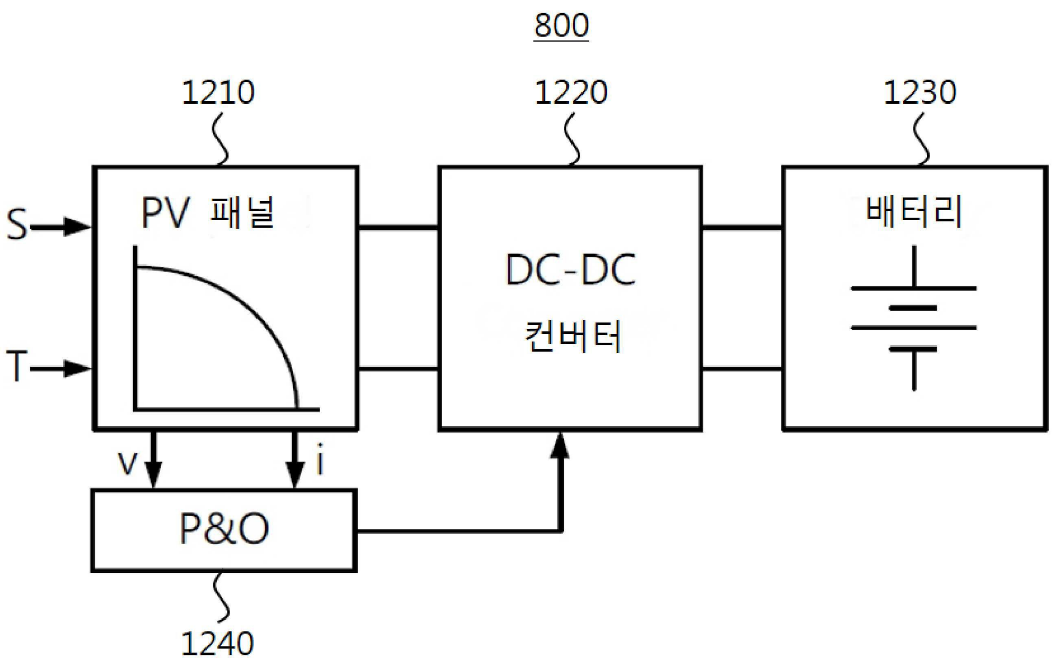
도면10


25°C
50°C
75°C
Total error(%)
Proposed
Physical A = 1.0
Physical A = 1.2
Physical A = 1.4
Model (di/dv$_{oc}$ = -0.68)
(a)
10% error(%)
Model (di/dv$_{oc}$ = -0.68)
(b)
Total error(%)
Physical Voc = -0.58
Physical Voc = -0.68
Physical Voc = -0.78
Model (A = 1.2)
(c)
10% error(%)
Model (A = 1.2)
(d)

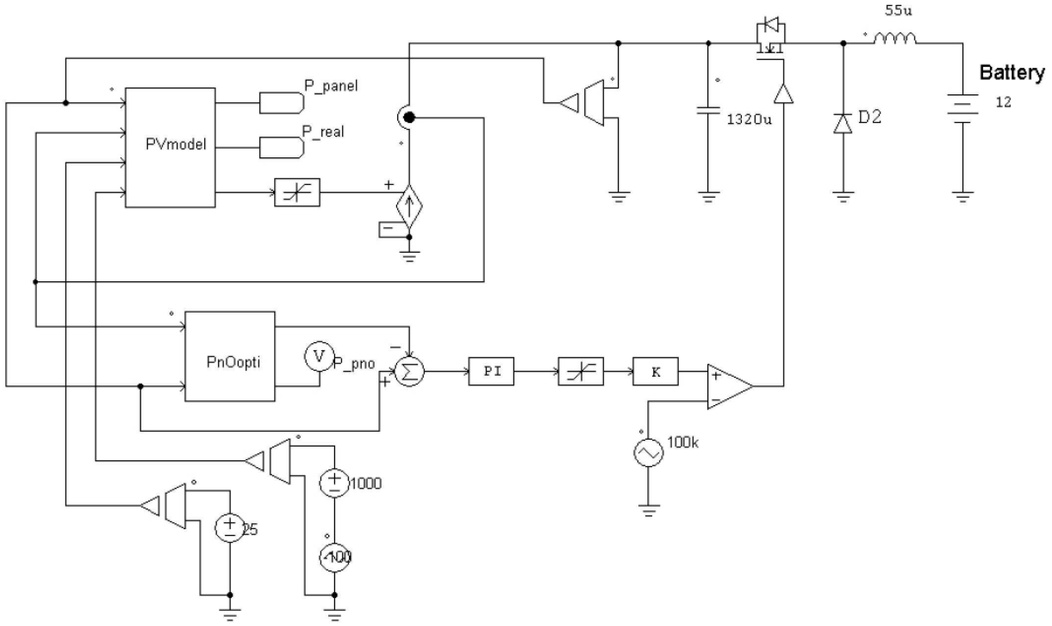
도면11


200W/m^2
400W/m^2
600W/m^2
800W/m^2
1000W/m^2
Total error(%)
Proposed
Physical A = 1.0
Physical A = 1.2
Physical A = 1.4
Model (di/dv$_{oc}$ = -0.68)
(a)
10% error(%)
Model (di/dv$_{oc}$ = -0.68)
(b)
Total error(%)
Physical Voc = -0.58
Physical Voc = -0.68
Physical Voc = -0.78
Model (A = 1.2)
(c)
10% error(%)
Model (A = 1.2)
(d)

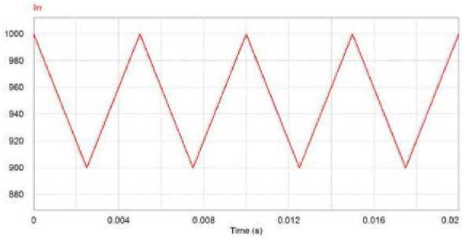
도면12


800
1210
1220
1230
S
T
PV 패널
DC-DC
컨버터
배터리
v
i
P&O
1240

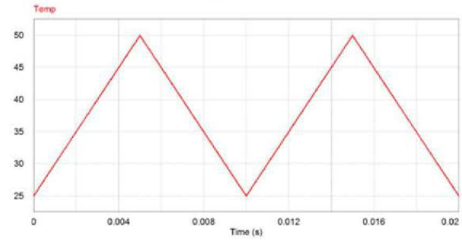
도면13


55u
Battery
12
P_panel
P_real
PVmodel
1320u
D2
PnOopti
P_pno
PI
K
100k
1000
25

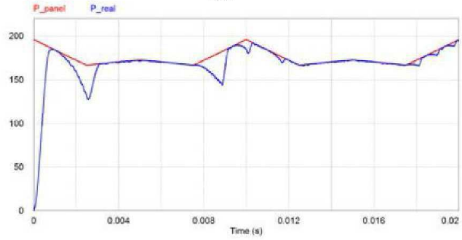
도면14


Irr
1000
980
960
940
920
900
880
0
0.004
0.008
0.012
0.016
0.02
Time (s)

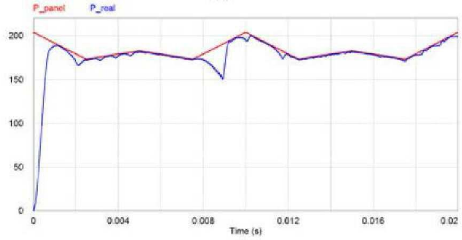
(a)


Temp
50
45
40
35
30
25
0
0.004
0.008
0.012
0.016
0.02
Time (s)

(b)


P_panel
P_real
200
150
100
50
0
0
0.004
0.008
0.012
0.016
0.02
Time (s)

(c)


P_panel
P_real
200
150
100
50
0
0
0.004
0.008
0.012
0.016
0.02
Time (s)

(d)