



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0039209
(43) 공개일자 2023년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02S 50/00 (2014.01)

(52) CPC특허분류

H02S 50/00 (2013.01)

Y02E 10/50 (2020.08)

(21) 출원번호 10-2021-0122227

(22) 출원일자 2021년09월14일

심사청구일자 2021년09월14일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

박정욱

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C621

전형선

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C727

(74) 대리인

권성현, 유광철, 백두진, 강일신, 김정연

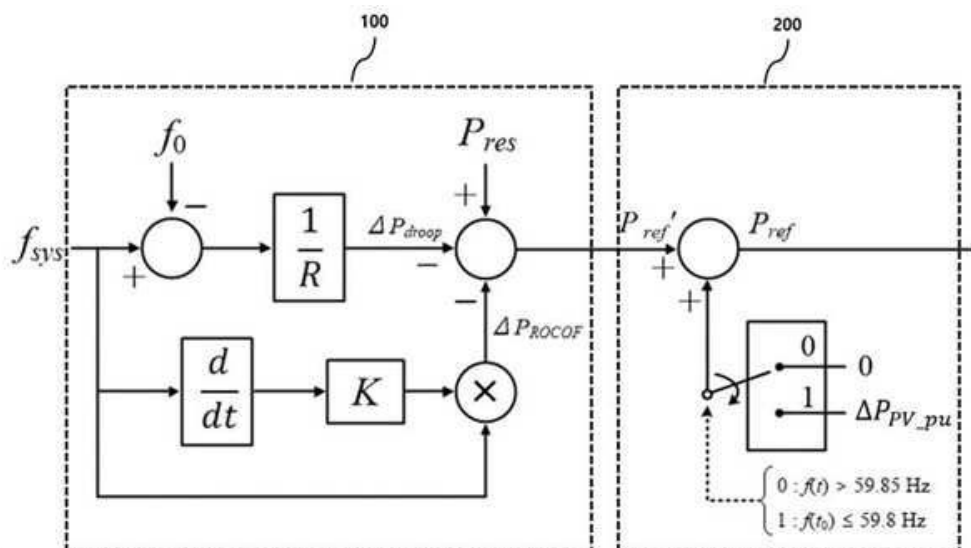
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 태양광 발전기의 출력 제어를 이용한 주파수 조정 시스템

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 조정 시스템은 주파수 드롭 제어 및 주파수 변동률 제어를 기반으로 제1 주파수 조정을 수행함으로써 전력 계통 주파수 측정값이 목표 주파수 범위 내로 진입하기 위한 제1 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 제1 주파수 조정 모듈; 목표 전력 계통 주파수 회복률을 지정하고, 지정된 상기 목표 전력 계통 주파수 회복률을 기반으로 제2 주파수 조정을 수행함으로써 제2 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 제2 주파수 조정 모듈; 및 상기 제1 출력 지령값 또는 상기 제2 출력 지령값에 따라 태양광 발전기의 출력을 증가시키도록 구성되는 발전기 출력 제어 모듈을 포함한다.

대표도 - 도4



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711130713
과제번호	2020R1A3B2079407
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	에너지 대전환 전력망 연구단
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

주파수 드롭 제어 및 주파수 변동률 제어를 기반으로 제1 주파수 조정을 수행함으로써 전력 계통 주파수 측정값이 목표 주파수 범위 내로 진입하기 위한 제1 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 제1 주파수 조정 모듈;

목표 전력 계통 주파수 회복률을 지정하고, 지정된 상기 목표 전력 계통 주파수 회복률을 기반으로 제2 주파수 조정을 수행함으로써 제2 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 제2 주파수 조정 모듈; 및

상기 제1 출력 지령값 또는 상기 제2 출력 지령값에 따라 태양광 발전기의 출력을 증가시키도록 구성되는 발전기 출력 제어 모듈을 포함하는, 주파수 조정 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2 주파수 조정 모듈은:

상기 제1 주파수 조정에도 불구하고 기 설정된 시간이 경과한 뒤의 전력 계통 주파수 측정값인 안정화 주파수가 목표 주파수 범위 내로 진입하지 못한 경우, 목표 전력 계통 주파수 회복률을 지정하고, 지정된 상기 목표 전력 계통 주파수 회복률을 기반으로 제2 주파수 조정을 수행함으로써 상기 전력 계통 주파수 측정값이 상기 목표 주파수 범위 내로 진입하기 위한 제2 출력 지령값을 산출하고,

상기 발전기 출력 제어 모듈은:

상기 제2 출력 지령값에 따라 태양광 발전기의 출력을 기 설정된 시간동안 증가시켰다가 원래 출력으로 감소시키도록 구성되는, 주파수 조정 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 주파수 조정 모듈은:

주파수 드롭 제어 이득값, 전력 계통 주파수 측정값 및 정격 주파수를 기반으로 주파수 드롭 제어 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 주파수 드롭 제어 출력 지령값 산출부;

주파수 변동률 제어 이득값, 전력 계통 주파수 측정값 및 전력 계통 주파수 측정값 회복률을 기반으로 주파수 변동률 제어 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 주파수 변동률 제어 출력 지령값 산출부; 및

출력 제어값, 주파수 드롭 제어 출력 지령값 및 주파수 변동률 제어 출력 지령값을 기반으로 제1 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 제1 출력 지령값 산출부를 포함하는, 주파수 조정 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제2 주파수 조정 모듈은:

목표 전력 계통 주파수 회복률을 지정하고, 지정된 상기 목표 전력 계통 주파수 회복률, 전력 계통 전체 관성상수 및 정격 주파수에서의 태양광 발전기의 각속도를 기반으로 전력 계통 전체 필요 출력을 산출하도록 구성되는 전력 계통 전체 필요 출력 산출부;

전력 계통 전체 필요 출력, 전력 계통 전체 설비 용량 및 태양광 발전기 용량을 기반으로 추가 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 추가 출력 지령값 산출부; 및

상기 제1 출력 지령값 및 상기 추가 출력 지령값을 기반으로 제2 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 제2 출력 지령값 산출부를 포함하는, 주파수 조정 시스템.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 주파수 드롭 제어 출력 지령값 산출부는:

아래 [수식 1]을 통해 주파수 드롭 제어 출력 지령값을 산출하고,

[수식 1]

$$\Delta P_{droop} = \frac{1}{R} (f_{sys} - f_0)$$

ΔP_{droop} 은 주파수 드롭 제어 출력 지령값이고,

$\frac{1}{R}$ 은 주파수 드롭 제어 이득값이고,

f_{sys} 는 전력 계통 주파수 측정값이고,

f_0 는 정격 주파수인, 주파수 조정 시스템.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 주파수 변동률 제어 출력 지령값 산출부는:

아래 [수식 2]를 통해 주파수 변동률 제어 출력 지령값을 산출하고,

[수식 2]

$$\Delta P_{ROCOF} = K \cdot f_{sys} \cdot \frac{df_{sys}}{dt}$$

ΔP_{ROCOF} 는 주파수 변동률 제어 출력 지령값이고,

K 는 주파수 변동률 제어 이득값이고,

f_{sys} 는 전력 계통 주파수 측정값이고,

$\frac{df_{sys}}{dt}$ 는 전력 계통 주파수 측정값 회복률인, 주파수 조정 시스템.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 제1 출력 지령값 산출부는:

아래 [수식 3]을 통해 제1 출력 지령값을 산출하고,

[수식 3]

$$P_{ref}' = P_{res} - \Delta P_{droop} - \Delta P_{ROCOF}$$

P_{ref}' 는 제1 출력 지령값이고

P_{res} 는 출력 제어값이고,

ΔP_{droop} 는 주파수 드롭 제어 출력 지령값이고,

ΔP_{ROCOF} 는 주파수 변동률 제어 출력 지령값인, 주파수 조정 시스템.

청구항 8

제4항에 있어서,

상기 전력 계통 전체 필요 출력 산출부는:

아래 [수식 4]를 통해 전력 계통 전체 필요 출력을 산출하고,

[수식 4]

$$\Delta P_{sys-pu} = 4\pi \cdot \frac{H}{w_0} \cdot \frac{df}{dt}$$

ΔP_{sys-pu} 는 전력 계통 전체 필요 출력이고,

H 는 전력 계통 전체 관성 상수이고,

w_0 는 정격 주파수에서의 태양광 발전기의 각속도이고,

$\frac{df}{dt}$ 는 목표 전력 계통 주파수 회복률인, 주파수 조정 시스템.

청구항 9

제4항에 있어서,

상기 추가 출력 지령값 산출부는:

아래 [수식 5]를 통해 추가 출력 지령값을 산출하고,

[수식 5]

$$\Delta P_{PV-pu} = \Delta P_{sys-pu} \frac{S_{sys}}{S_{PV}}$$

ΔP_{PV-pu} 는 추가 출력 지령값이고,

ΔP_{sys-pu} 는 전력 계통 전체 필요 출력이고,

S_{sys} 는 전력 계통 전체 설비 용량이고,

S_{PV} 는 태양광 발전기 용량인, 주파수 조정 시스템.

청구항 10

제4항에 있어서,

상기 제2 출력 지령값 산출부는:

아래 [수식 6]을 통해 제2 출력 지령값을 산출하고,

[수식 6]

$$P_{ref} = P'_{ref} + \Delta P_{PV-pu}$$

P_{ref} 는 제2 출력 지령값이고,

P'_{ref} 는 제1 출력 지령값이고,

ΔP_{PV-pu} 는 추가 출력 지령값인, 주파수 조정 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 태양광 발전기의 출력 제어를 이용한 주파수 조정 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 태양광 발전기를 포함하는 전력 계통의 경우, 전력 계통의 정상 운전 상황에서도 일사량 변화로 인한 전력의 초과 공급 등의 이유로 주파수 변동이 크게 일어날 수 있다.

[0004] 이러한 주파수 변동이 발생할 경우, 전력 계통의 타 발전기의 발전량 조절이나 태양광 발전기를 보호하기 위한 분리 동작 등이 요구되며, 이는 안정적인 전력 공급에 해가 된다.

[0005] 이에 따라 전력 계통을 안정적으로 운영하기 위하여, 태양광 발전기의 비중이 높은 전력 계통에서는 태양광 발전기에 대한 최대 전력점 추종 제어(Maximum Power Point Tracking, MPPT)를 실시하지 않고, 전력 계통의 운영자의 제어에 따라 일정한 전력을 출력하도록 하는 출력 제어가 필요하게 된다.

[0006] 기존에 주로 사용되는 태양광 발전기의 주파수 제어 방식의 경우, ESS(Energy Storage System)를 이용한 DC 링크 전압의 가상 관성 제어(Virtual Inertia Control, VIC), 주파수 드롭 제어(Frequency Droop Control, FDC) 및 주파수 변동률 제어(Rate Of Change Of Frequency, ROCOF) 등이 있다.

[0007] 하지만 이러한 기존 방식들은 태양광 발전기에 이벤트(일사량 변화로 인한 전력의 초과 공급)가 발생할 경우, 이벤트 발생 후 주파수가 급격히 변동하는 순간의 1차 주파수 조정(제1 주파수 조정)에만 기여할 뿐, 주파수가 안정화된 이후의 2차 주파수 조정(제2 주파수 조정)에는 기여하지 않는다는 단점을 갖고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 10-2020-0144410

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명의 일 실시예는 제1 주파수 조정 이후의 안정화된 주파수가 AGC(Automatic Generation Control) 동작 범위에 도달하지 못하는 경우, 목표 전력 계통 주파수 회복률을 기반으로 태양광 발전기에서 일정량의 출력 (ΔP)을 일정 시간(ΔT)동안 증가시켰다가 원래 출력으로 감소시키는 제2 주파수 조정을 통해 주파수가 AGC 동작 범위 내에 돌아갈 수 있도록 추가적인 주파수 조정이 가능한, 태양광 발전기의 출력 제어를 이용한 주파수 조정 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0011] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 조정 시스템은 주파수 드롭 제어 및 주파수 변동률 제어를 기반으로 제1 주파수 조정을 수행함으로써 전력 계통 주파수 측정값이 목표 주파수 범위 내로 진입하기 위한 제1 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 제1 주파수 조정 모듈; 목표 전력 계통 주파수 회복률을 지정하고, 지정된 상기 목표 전력 계통 주파수 회복률을 기반으로 제2 주파수 조정을 수행함으로써 제2 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 제2 주파수 조정 모듈; 및 상기 제1 출력 지령값 또는 상기 제2 출력 지령값에 따라 태양광 발전기의 출력을 증가시키도록 구성되는 발전기 출력 제어 모듈을 포함한다.
- [0014] 상기 제2 주파수 조정 모듈은: 상기 제1 주파수 조정에도 불구하고 기 설정된 시간이 경과한 뒤의 전력 계통 주파수 측정값인 안정화 주파수가 목표 주파수 범위 내로 진입하지 못한 경우, 목표 전력 계통 주파수 회복률을 지정하고, 지정된 상기 목표 전력 계통 주파수 회복률을 기반으로 제2 주파수 조정을 수행함으로써 상기 전력 계통 주파수 측정값이 상기 목표 주파수 범위 내로 진입하기 위한 제2 출력 지령값을 산출하고, 상기 발전기 출력 제어 모듈은: 상기 제2 출력 지령값에 따라 태양광 발전기의 출력을 기 설정된 시간동안 증가시켰다가 원래 출력으로 감소시키도록 구성될 수 있다.
- [0015] 상기 제1 주파수 조정 모듈은: 주파수 드롭 제어 이득값, 전력 계통 주파수 측정값 및 정격 주파수를 기반으로 주파수 드롭 제어 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 주파수 드롭 제어 출력 지령값 산출부; 주파수 변동률 제어 이득값, 전력 계통 주파수 측정값 및 전력 계통 주파수 측정값 회복률을 기반으로 주파수 변동률 제어 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 주파수 변동률 제어 출력 지령값 산출부; 및 출력 제어값, 주파수 드롭 제어 출력 지령값 및 주파수 변동률 제어 출력 지령값을 기반으로 제1 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 제1 출력 지령값 산출부를 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 제2 주파수 조정 모듈은: 목표 전력 계통 주파수 회복률을 지정하고, 지정된 상기 목표 전력 계통 주파수 회복률, 전력 계통 전체 관성 상수 및 정격 주파수에서의 태양광 발전기의 각속도 ω^0 를 기반으로 전력 계통 전체 필요 출력을 산출하도록 구성되는 전력 계통 전체 필요 출력 산출부; 전력 계통 전체 필요 출력, 전력 계통 전체 설비 용량 및 태양광 발전기 용량을 기반으로 추가 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 추가 출력 지령값 산출부; 및 상기 제1 출력 지령값 및 상기 추가 출력 지령값을 기반으로 제2 출력 지령값을 산출하도록 구성되는 제2 출력 지령값 산출부를 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 주파수 드롭 제어 출력 지령값 산출부는: 아래 [수식 1]을 통해 주파수 드롭 제어 출력 지령값을 산출하고, [수식 1]
$$\Delta P_{droop} = \frac{1}{R} (f_{sys} - f_0)$$
, ΔP_{droop} 은 주파수 드롭 제어 출력 지령값이고, $\frac{1}{R}$ 은 주파수 드롭 제어 이득값이고, f_{sys} 는 전력 계통 주파수 측정값이고, f_0 는 정격 주파수일 수 있다.
- [0018] 상기 주파수 변동률 제어 출력 지령값 산출부는: 아래 [수식 2]를 통해 주파수 변동률 제어 출력 지령값을 산출하고, [수식 2]
$$\Delta P_{ROCOF} = K \cdot f_{sys} \cdot \frac{df_{sys}}{dt}$$
, ΔP_{ROCOF} 은 주파수 변동률 제어 출력 지령값이고, K 는 주

파수 변동률 제어 이득값이고, f_{sys} 는 전력 계통 주파수 측정값이고, $\frac{df_{sys}}{dt}$ 는 전력 계통 주파수 측정값 회복률일 수 있다.

[0019] 상기 제1 출력 지령값 산출부는: 아래 [수식 3]을 통해 제1 출력 지령값을 산출하고, [수식 3] $P_{ref}' = P_{res} - \Delta P_{droop} - \Delta P_{ROCOF}$, P_{ref}' 는 제1 출력 지령값이고, P_{res} 는 출력 제어값이고, ΔP_{droop} 는 주파수 드롭 제어 출력 지령값이고, ΔP_{ROCOF} 는 주파수 변동률 제어 출력 지령값일 수 있다.

[0020] 상기 전력 계통 전체 필요 출력 산출부는: 아래 [수식 4]를 통해 전력 계통 전체 필요 출력을 산출하고, [수식 4] $\Delta P_{sys-pu} = 4\pi \cdot \frac{H}{w_0} \cdot \frac{df}{dt}$, ΔP_{sys-pu} 는 전력 계통 전체 필요 출력이고, H 는 전력 계통 전체 관성 상수이고, w_0 는 정격 주파수에서의 태양광 발전기의 각속도이고, $\frac{df}{dt}$ 는 목표 전력 계통 주파수 회복률일 수 있다.

[0021] 상기 추가 출력 지령값 산출부는: 아래 [수식 5]를 통해 추가 출력 지령값을 산출하고, [수식 5] $\Delta P_{PV-pu} = \Delta P_{sys-pu} \frac{S_{sys}}{S_{PV}}$, ΔP_{PV-pu} 는 추가 출력 지령값이고, ΔP_{sys-pu} 는 전력 계통 전체 필요 출력이고, S_{sys} 는 전력 계통 전체 설비 용량이고, S_{PV} 는 태양광 발전기 용량일 수 있다.

[0022] 상기 제2 출력 지령값 산출부는: 아래 [수식 6]을 통해 제2 출력 지령값을 산출하고, [수식 6] $P_{ref} = P_{ref}' + \Delta P_{PV-pu}$, P_{ref} 는 제2 출력 지령값이고, P_{ref}' 는 제1 출력 지령값이고, ΔP_{PV-pu} 는 추가 출력 지령값일 수 있다.

발명의 효과

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전기의 출력 제어를 이용한 주파수 조정 시스템은, 제1 주파수 조정 이후의 안정화된 주파수가 AGC(Automatic Generation Control) 동작 범위에 도달하지 못하는 경우, 목표 전력 계통 주파수 회복률을 기반으로 태양광 발전기에서 일정량의 출력(ΔP)을 일정 시간(ΔT)동안 증가시켰다가 원래 출력으로 감소시키는 제2 주파수 조정을 통해 주파수가 AGC 동작 범위 내에 돌아갈 수 있도록 추가적인 주파수 조정을 할 수 있다.

[0025] 한편, 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 일반적인 태양광 발전기의 P-V 곡선을 나타낸 것이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 주파수 조정 모듈(100)에 대한 블록 다이어그램이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 주파수 조정 모듈(200) 및 발전기 출력 제어 모듈(300)을 통한 제2 주파수 조정 과정에서 시간에 따라 태양광 발전기의 출력을 제어하는 모습을 나타낸 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 주파수 조정 모듈(100) 및 제2 주파수 조정 모듈(200)에 대한 블록 다이어그램이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 조정 시스템(10)이 적용된 태양광 발전기의 출력을 나타낸 그래프이

다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 조정 시스템(10)이 적용된 태양광 발전기의 주파수를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 본 발명의 다른 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술 되는 실시 예를 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시 예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0029] 만일 정의되지 않더라도, 여기서 사용되는 모든 용어들(기술 혹은 과학 용어들을 포함)은 이 발명이 속한 종래 기술에서 보편적 기술에 의해 일반적으로 수용되는 것과 동일한 의미를 가진다.
- [0030] 일반적인 사전들에 의해 정의된 용어들은 관련된 기술 그리고/혹은 본 출원의 본문에 의미하는 것과 동일한 의미를 갖는 것으로 해석될 수 있고, 그리고 여기서 명확하게 정의된 표현이 아니더라도 개념화되거나 혹은 과도하게 형식적으로 해석되지 않을 것이다.
- [0031] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시 예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다.
- [0032] 명세서에서 사용되는 '포함한다' 및/또는 이 동사의 다양한 활용형들 예를 들어, '포함', '포함하는', '포함하고', '포함하며' 등은 언급된 조성, 성분, 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 조성, 성분, 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다. 본 명세서에서 '및/또는'이라는 용어는 나열된 구성들 각각 또는 이들의 다양한 조합을 가리킨다.
- [0033] 한편, 본 명세서 전체에서 사용되는 '~부', '~기', '~블록', '~모듈' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미할 수 있다. 예를 들어 소프트웨어, FPGA 또는 ASIC과 같은 하드웨어 구성요소를 의미할 수 있다.
- [0034] 그렇지만 '~부', '~기', '~블록', '~모듈' 등이 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니다. '~부', '~기', '~블록', '~모듈'은 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 재생시키도록 구성될 수도 있다.
- [0035] 따라서, 일 예로서 '~부', '~기', '~블록', '~모듈'은 소프트웨어 구성요소들, 객체지향 소프트웨어 구성요소들, 클래스 구성요소들 및 태스크 구성요소들과 같은 구성요소들과, 프로세스들, 함수들, 속성들, 프로시저들, 서브루틴들, 프로그램 코드의 세그먼트들, 드라이버들, 펌웨어, 마이크로 코드, 회로, 데이터, 데이터베이스, 데이터 구조들, 테이블들, 어레이들 및 변수들을 포함한다.
- [0036] 구성요소들과 '~부', '~기', '~블록', '~모듈'들 안에서 제공되는 기능은 더 작은 수의 구성요소들 및 '~부', '~기', '~블록', '~모듈'들로 결합되거나 추가적인 구성요소들과 '~부', '~기', '~블록', '~모듈'들로 더 분리될 수 있다.
- [0037] 이하, 본 명세서의 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명한다.
- [0038] 도 1은 일반적인 태양광 발전기의 P-V 곡선을 나타낸 것이다.
- [0039] 도 1을 참조하면, 태양광 발전기의 출력 제어는 최대전력점(Maximum Power Point, MPP)의 왼쪽 점(Left-Power Reserved Point, L-PRP) 또는 오른쪽 점(Right-Power Reserved Point, R-PRP)으로 전압을 제어함으로써 이루어진다.
- [0040] 이때 태양광 발전기는 최대 전력값 P_{mppt} 과 출력 제어값 P_{res} 의 차이만큼의 예비력을 가지게 되며, 해당 예비력을 이용하여 주파수 조정에 참여함으로써 전력 계통의 안전 운영에 기여할 수 있다.
- [0041] 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 조정 시스템(10)은 태양광 발전기와 함께 전력 계통에 포함되며, 태양광 발전기에서 발생한 이벤트(예를 들어, 일사량 변화로 인한 전력의 초과 공급)로 인해 전력 계통의 주파수가 불안정해질 태양광 발전기의 출력을 제어함으로써 주파수를 안정시킬 수 있다.

- [0042] 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 조정 시스템(10)은 제1 주파수 조정 모듈(100), 제2 주파수 조정 모듈(200) 및 발전기 출력 제어 모듈(300)을 포함할 수 있다.
- [0043] 제1 주파수 조정 모듈(100)과 발전기 출력 제어 모듈(300)은 제1 주파수 조정(1차 주파수 조정)을 수행할 수 있다.
- [0044] 제1 주파수 조정(1차 주파수 조정)에 관해 보다 상세히 말하면, 제1 주파수 조정 모듈(100)은 주파수 드롭 제어 및 주파수 변동률 제어를 기반으로 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys} 이 목표 주파수 범위 내로 진입하기 위한 제1 출력 지령값 P_{ref}' 을 산출하도록 구성될 수 있다.
- [0045] 이때, 목표 주파수 범위는 정격 주파수 f_0 로부터 $\pm 0.33\%$ 에 해당하는 주파수일 수 있으며, 예를 들어 정격 주파수 f_0 가 60[Hz]일 경우 목표 주파수 범위는 59.8[Hz] 내지 60.2[Hz]일 수 있다.
- [0046] 제1 출력 지령값 P_{ref}' 산출 이후, 발전기 출력 제어 모듈(300)은 제1 출력 지령값 P_{ref}' 만큼 태양광 발전기의 출력을 기 설정된 시간 동안 증가시켰다가 원래 출력으로 감소시키도록 구성될 수 있다.
- [0047] 통상적으로 태양광 발전기에 이벤트가 발생할 경우 수행되는 제1 주파수 조정에 의해 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys} 은 목표 주파수 범위 내로 회복되게 되며, 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys0} 이 목표 주파수 범위 내로 회복되면 자동 발전 제어(Automatic Generation Control, AGC)에 의해 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys} 은 정격 주파수 f_0 로 복귀할 수 있다.
- [0048] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 주파수 조정 모듈(100)에 대한 블록 다이어그램이다.
- [0049] 도 2를 참조하면, 제1 주파수 조정 모듈(100)은 주파수 드롭 제어 출력 지령값 산출부(110), 주파수 변동률 제어 출력 지령값 산출부(120) 및 제1 출력 지령값 산출부(130)를 포함할 수 있다.
- [0050] 이벤트 발생 시 제1 주파수 조정 모듈(100)은 주파수 드롭 제어와 주파수 변동률 제어를 혼합한 형태로 이루어질 수 있다.
- [0051] 주파수 드롭 제어의 경우 이벤트 발생에 따라 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys0} 이 최저 주파수에 도달하는 시점에 가장 효과적으로 동작하며, 이때 주파수 변동률 제어 출력 지령값 ΔP_{ROCOF} 은 가장 작아지게 된다.
- [0052] 주파수 변동률 제어의 경우 이벤트 발생에 따라 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys0} 이 가장 급격하게 하락하는 순간(변동률이 가장 큰 순간)에 가장 효과적으로 동작하며, 이때 주파수 드롭 제어 출력 지령값 ΔP_{droop} 은 서서히 커지게 된다.
- [0053] 따라서, 제1 주파수 조정 모듈(100)은 주파수 드롭 제어와 주파수 변동률 제어, 두 가지 방식을 함께 사용함으로써 서로 간의 단점을 상호 보완할 수 있다.
- [0054] 주파수 드롭 제어 출력 지령값 산출부(110)는 주파수 드롭 제어 이득값 $\frac{1}{R}$, 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys} 및 정격 주파수 f_0 를 기반으로 주파수 드롭 제어 출력 지령값 ΔP_{droop} 을 산출하도록 구성될 수 있다.
- [0055] 보다 상세히 말하면, 주파수 드롭 제어 출력 지령값 산출부(110)는 아래 [수식 1]을 통해 주파수 드롭 제어 출력 지령값 ΔP_{droop} 을 산출할 수 있다.
- [0056] [수식 1]
- [0057]
$$\Delta P_{droop} = \frac{1}{R} (f_{sys} - f_0)$$

- [0058] 주파수 변동률 제어 출력 지령값 산출부(120)는 주파수 변동률 제어 이득값 K , 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys} 및 전력 계통 주파수 측정값 회복률 $\frac{df_{sys}}{dt}$ 을 기반으로 주파수 변동률 제어 출력 지령값 ΔP_{ROCOF} 을 산출하도록 구성될 수 있다.
- [0059] 보다 상세히 말하면, 주파수 변동률 제어 출력 지령값 산출부(120)는 아래 [수식 2]를 통해 주파수 변동률 제어 출력 지령값 ΔP_{ROCOF} 을 산출할 수 있다.
- [0060] [수식 2]
- [0061]
$$\Delta P_{ROCOF} = K \cdot f_{sys} \cdot \frac{df_{sys}}{dt}$$
- [0062] 제1 출력 지령값 산출부(130)는 출력 제어값 P_{res} , 주파수 드롭 제어 출력 지령값 ΔP_{droop} 및 주파수 변동률 제어 출력 지령값 ΔP_{ROCOF} 을 기반으로 제1 출력 지령값 $P_{ref'}$ 을 산출하도록 구성될 수 있다.
- [0063] 보다 상세히 말하면, 제1 출력 지령값 산출부(130)는 아래 [수식 3]을 통해 제1 출력 지령값 $P_{ref'}$ 을 산출할 수 있다.
- [0064] [수식 3]
- [0065]
$$P_{ref'} = P_{res} - \Delta P_{droop} - \Delta P_{ROCOF}$$
- [0066] 제1 주파수 조정 모듈(100)에 의해 제1 출력 지령값 $P_{ref'}$ 이 산출되면, 발전기 출력 제어 모듈(300)은 산출된 제1 출력 지령값 $P_{ref'}$ 만큼 태양광 발전기의 출력을 변화시킴으로써 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys0} 이 목표 주파수 범위 내로 진입하도록 할 수 있다.
- [0067] 하지만 경우에 따라 제1 주파수 조정(1차 주파수 조정)에도 불구하고 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys0} 이 목표 주파수 범위 내로 진입하지 않을 수 있다.
- [0068] 이때, 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 조정 시스템(10)은 제2 주파수 조정 모듈(200) 및 발전기 출력 제어 모듈(300)을 통해 추가적인 주파수 조정인 제2 주파수 조정(2차 주파수 조정)을 수행할 수 있다.
- [0069] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 주파수 조정 모듈(200) 및 발전기 출력 제어 모듈(300)을 통한 제2 주파수 조정 과정에서 시간에 따라 태양광 발전기의 출력을 제어하는 모습을 나타낸 그래프이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 주파수 조정 모듈(100) 및 제2 주파수 조정 모듈(200)에 대한 블록 다이어그램이다.
- [0070] 도 3 및 도 4를 참조하면, 제2 주파수 조정 모듈(200)은 전력 계통 전체 필요 출력 산출부(210), 추가 출력 지령값 산출부(220) 및 제2 출력 지령값 산출부(230)를 포함할 수 있다.
- [0071] 제2 주파수 조정 모듈(200)과 발전기 출력 제어 모듈(300)은 제2 주파수 조정(2차 주파수 조정)을 수행할 수 있다.
- [0072] 제2 주파수 조정(2차 주파수 조정)에 관해 보다 상세히 말하면, 제2 주파수 조정 모듈(200)은 제1 주파수 조정에도 불구하고 기 설정된 시간이 경과한 뒤의 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys} 인 안정화 주파수 f_{set} 가 목표 주파수 범위 내로 진입하지 못한 경우, 목표 전력 계통 주파수 회복률 $\frac{df}{dt}$ 을 지정하고, 지정된 목표 전력 계통 주파수 회복률 $\frac{df}{dt}$ 을 기반으로 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys} 이 목표 주파수 범위 내로 진입하기 위한 제2 출력 지령값 P_{ref} 을 산출하도록 구성될 수 있다.

[0073] 이때, 제2 출력 지령값 P_{ref} 은 제1 출력 지령값 P_{ref}' 에 추가 출력 지령값 ΔP_{PV-pu} 를 더한 값일 수 있다.

[0074] 추가 출력 지령값 ΔP_{PV-pu} 이 작을 경우 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys} 이 정격 주파수 f_0 에 도달하기까지의 시간이 길어지는 단점이 있으며, 추가 출력 지령값 ΔP_{PV-pu} 이 크면 빠르게 정격 주파수 f_0 에 도달할 수 있지만 제2 주파수 조정 이후 태양광 발전기의 출력이 다시 낮아지며 주파수가 크게 재하락할 가능성이 크다.

[0075] 따라서, 제2 주파수 조정 모듈(200)에서는 목표 전력 계통 주파수 회복률 $\frac{df}{dt}$ 을 지정하고, 지정된 목표 전력 계통 주파수 회복률 $\frac{df}{dt}$ 을 기반으로 추가 출력 지령값 ΔP_{PV-pu} 을 산출함으로써 위의 단점들을 최소화할 수 있는 제2 출력 지령값 P_{ref} 을 얻을 수 있다.

[0076] 전력 계통 전체 필요 출력 산출부(210)는 목표 전력 계통 주파수 회복률 $\frac{df}{dt}$ 을 지정하고, 지정된 목표 전력 계통 주파수 회복률 $\frac{df}{dt}$, 전력 계통 전체 관성 상수 H 및 정격 주파수에서의 태양광 발전기의 각속도 w_0 를 기반으로 전력 계통 전체 필요 출력 ΔP_{sys-pu} 을 산출하도록 구성될 수 있다.

[0077] 보다 상세히 말하면, 전력 계통 전체 필요 출력 산출부(210)는 아래 [수식 4]를 통해 전력 계통 전체 필요 출력 ΔP_{sys-pu} 을 산출할 수 있다.

[0078] [수식 4]

$$\Delta P_{sys-pu} = 4\pi \cdot \frac{H}{w_0} \cdot \frac{df}{dt}$$

[0079]

[0080] 추가 출력 지령값 산출부(220)는 전력 계통 전체 필요 출력 ΔP_{sys-pu} , 전력 계통 전체 설비 용량 S_{sys} 및 태양광 발전기 용량 S_{PV} 을 기반으로 추가 출력 지령값 ΔP_{PV-pu} 을 산출하도록 구성될 수 있다.

[0081] 보다 상세히 말하면, 추가 출력 지령값 산출부(220)는 아래 [수식 5]를 통해 추가 출력 지령값 ΔP_{PV-pu} 을 산출할 수 있다.

[0082] [수식 5]

$$\Delta P_{PV-pu} = \Delta P_{sys-pu} \frac{S_{sys}}{S_{PV}}$$

[0083]

[0084] 제2 출력 지령값 산출부(230)는 제1 주파수 조정 모듈(100)을 통해 산출된 제1 출력 지령값 P_{ref}' 과 추가 출력 지령값 산출부(220)를 통해 산출된 추가 출력 지령값 ΔP_{PV-pu} 을 기반으로 제2 출력 지령값 P_{ref} 을 산출하도록 구성될 수 있다.

[0085] 보다 상세히 말하면, 제2 출력 지령값 산출부(230)는 아래 [수식 5]를 통해 제2 출력 지령값 P_{ref} 을 산출할 수 있다.

[0086] [수식 6]

$$P_{ref} = P_{ref}' + \Delta P_{PV-pu}$$

[0087]

[0088] 제2 주파수 조정 모듈(200)에 의해 제2 출력 지령값 P_{ref} 이 산출되면, 발전기 출력 제어 모듈(300)은 산출된 제

2 출력 지령값 P_{ref} 만큼 태양광 발전기의 출력을 기 설정된 시간 ΔT 동안 증가시켰다가 원래 출력으로 감소시킴으로써 전력 계통 주파수 측정값 f_{sys} 이 목표 주파수 범위 내로 진입하도록 할 수 있다.

[0089] ΔT 와 P_{ref} 는 본 발명이 적용되는 전력 계통의 특성에 달라질 수 있음은 자명할 것이다.

[0090] 또한, 주파수 제하락을 고려하여 목표 주파수 범위는 AGC가 동작하는 최소 주파수보다 조금 더 높게, 예를 들어 AGC가 동작할 수 있는 주파수의 최소 범위가 59.8[Hz]인 경우 이보다 조금 높게 설정하는 것이 바람직할 수 있다.

[0091] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 조정 시스템(10)이 적용된 태양광 발전기의 출력을 나타낸 그래프이고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 조정 시스템(10)이 적용된 태양광 발전기의 주파수를 나타낸 그래프이다.

[0092] 도 5 및 도 6을 참조하면, 각각의 그래프에는 일반적인 태양광 발전기의 출력 제어(Reserved)를 수행했을 때, 제1 주파수 조정만을 수행했을 때(Conventional) 및 본 발명의 일 실시예에 따른 주파수 조정 시스템(10)을 적용했을 때(Proposed)의 그래프가 도시되어 있다.

[0093] 각각의 그래프는 동기발전기 총 설비용량이 500[MVA], 부하 총량이 300[MW]인 전력 계통에서 60[MVA]의 태양광 발전기가 90%로 출력 제어를 시행할 때, 40[MW]의 출력을 내보내고 있던 동기발전기가 탈락된 상황을 모의하여 나타낸 것이다.

[0094] Conventional 방식의 경우 Reserved 방식과 비교했을 때 비록 주파수가 하락하는 최저점과 안정화 주파수는 개선되었으나, AGC 동작 범위인 59.8[Hz]엔 도달하지 못함에 따라 AGC를 통한 주파수 회복은 이루어질 수 없다.

[0095] 하지만, 본 발명에 따른 Proposed 방식의 경우 안정화 주파수가 AGC의 동작 범위인 목표 주파수 범위에 도달하지 못한 것을 감지할 경우 제2 주파수 조정을 통해 주파수를 상승시킴으로써 AGC 동작 범위에 들어갈 수 있도록 하였다.

[0096] 즉, 제2 주파수 조정 모듈(200)을 통해 주파수를 목표 주파수 범위 내로 진입시킴으로써 AGC가 동작하도록 할 수 있다.

[0097] 이상에서 실시예를 통해 본 발명을 설명하였으나, 위 실시예는 단지 본 발명의 사상을 설명하기 위한 것으로 이에 한정되지 않는다. 통상의 기술자는 전술한 실시예에 다양한 변형이 가해질 수 있음을 이해할 것이다. 본 발명의 범위는 첨부된 특허청구범위의 해석을 통해서만 정해진다.

부호의 설명

[0099] 10 주파수 조정 시스템

100 제1 주파수 조정 모듈

110 주파수 드롭 제어 출력 지령값 산출부

120 주파수 변동률 제어 출력 지령값 산출부

130 제1 출력 지령값 산출부

200 제2 주파수 조정 모듈

210 전력 계통 전체 필요 출력 산출부

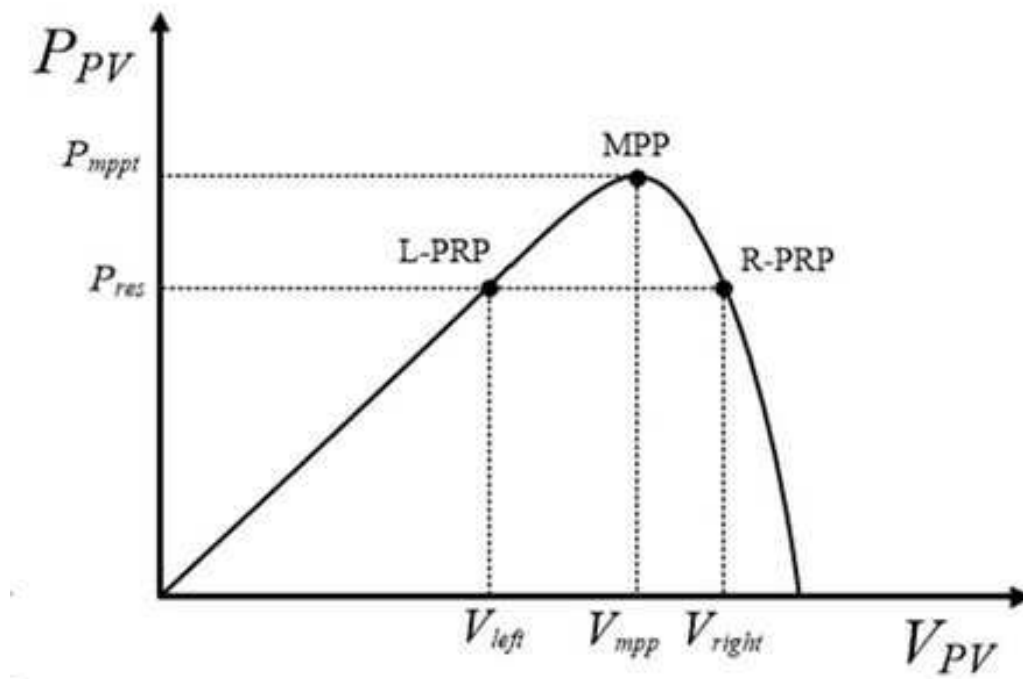
220 추가 출력 지령값 산출부

230 제2 출력 지령값 산출부

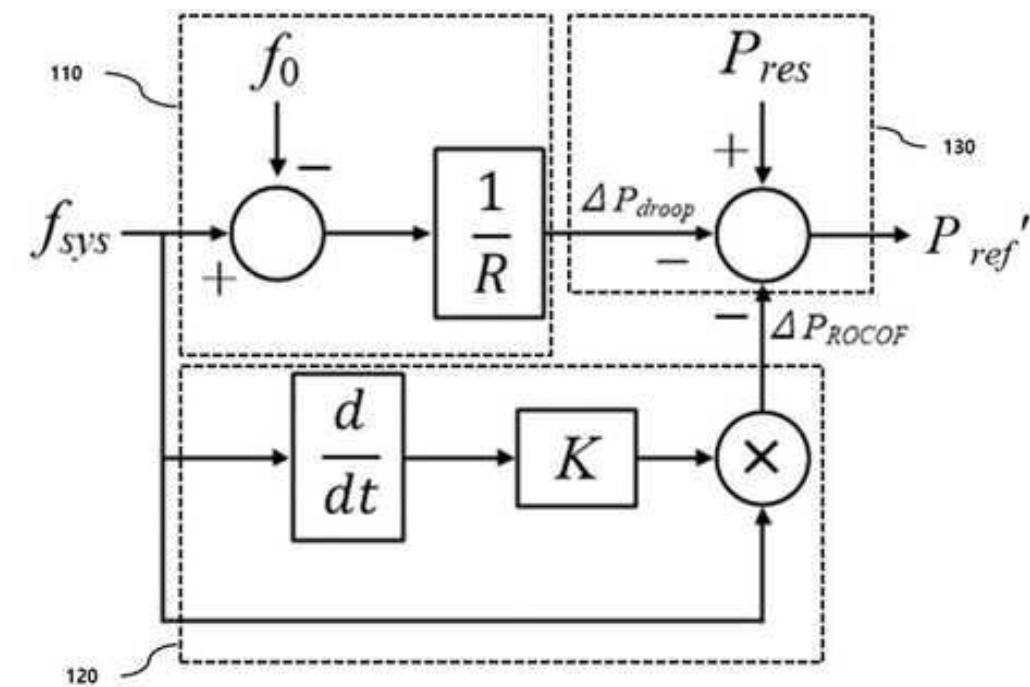
300 발전기 출력 제어 모듈

도면

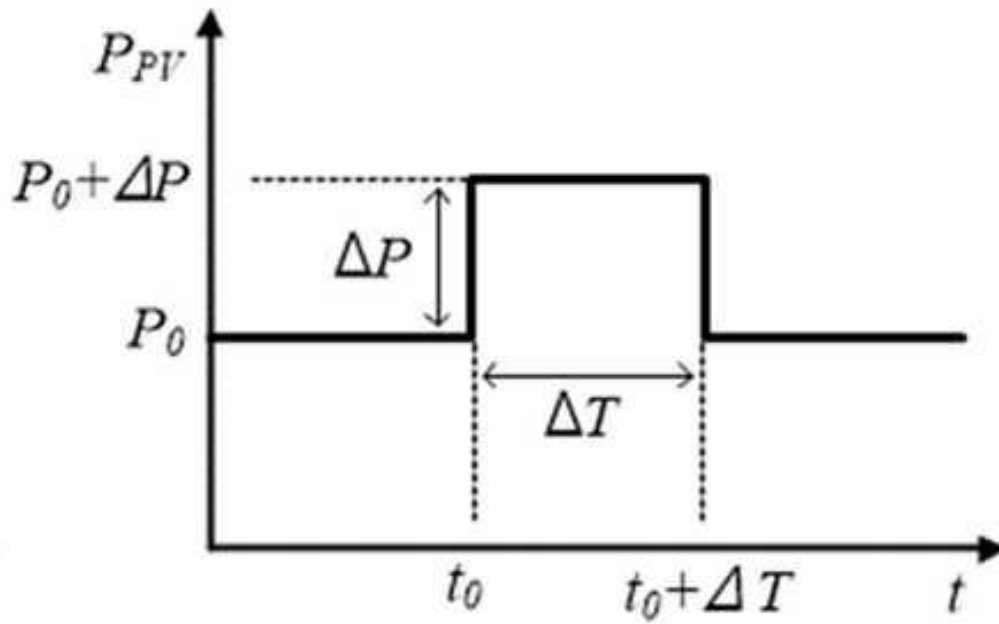
도면1



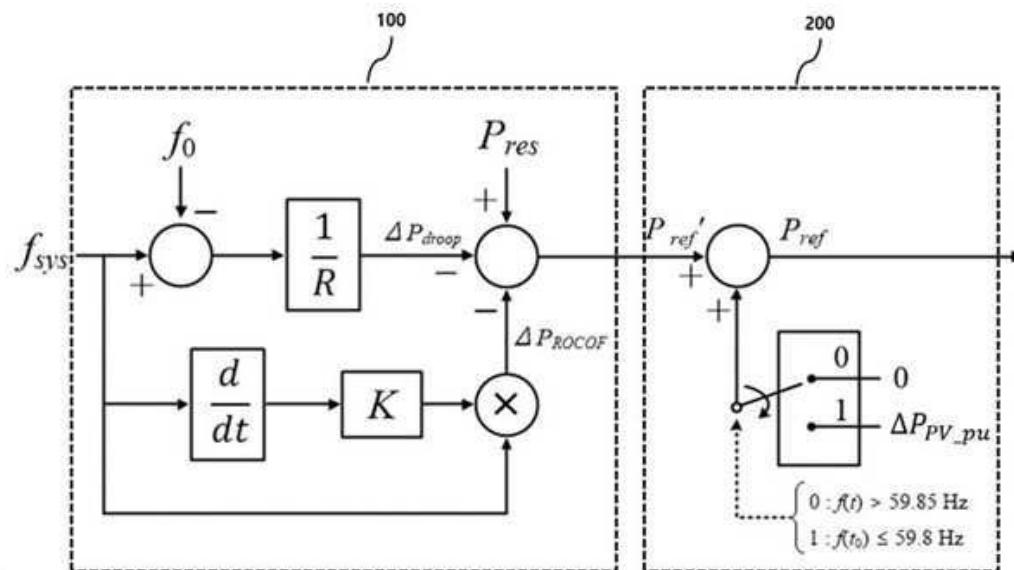
도면2



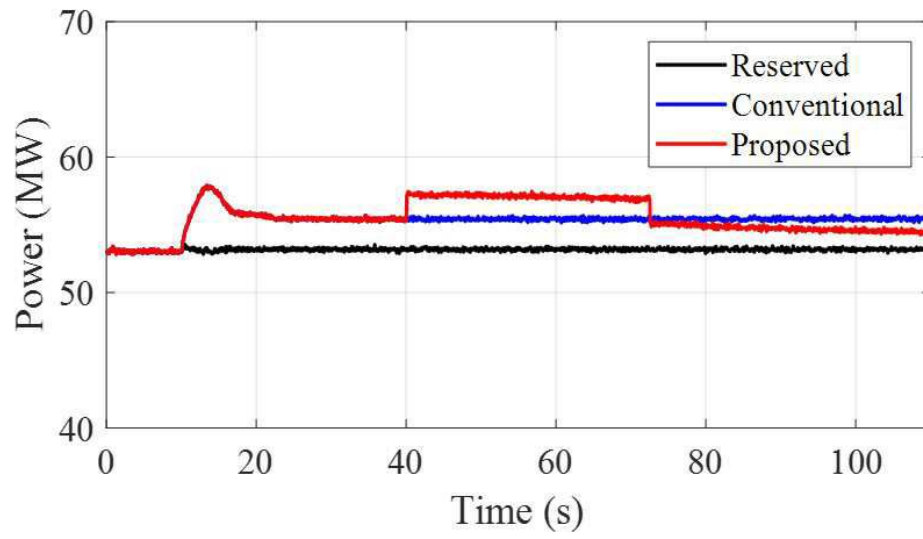
도면3



도면4



도면5



도면6

