(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0083779
(43) 공개일자 2024년06월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02S 50/10 (2014.01) *H02J 3/00* (2006.01)
H02S 40/32 (2014.01)
(52) CPC특허분류
H02S 50/10 (2015.01)
H02J 3/001 (2023.08)
(21) 출원번호 10-2023-0004586
(22) 출원일자 2023년01월12일
심사청구일자 2023년01월12일
(30) 우선권주장
1020220167403 2022년12월05일 대한민국(KR)

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
김인수
인천광역시 연수구 송도문화로84번길 84, 102동 2104호(송도동, 베르디움 더퍼스트)
장지연
전라남도 목포시 신흥로 13, 103동 903호(상동, 우성아파트)
(74) 대리인
양성보

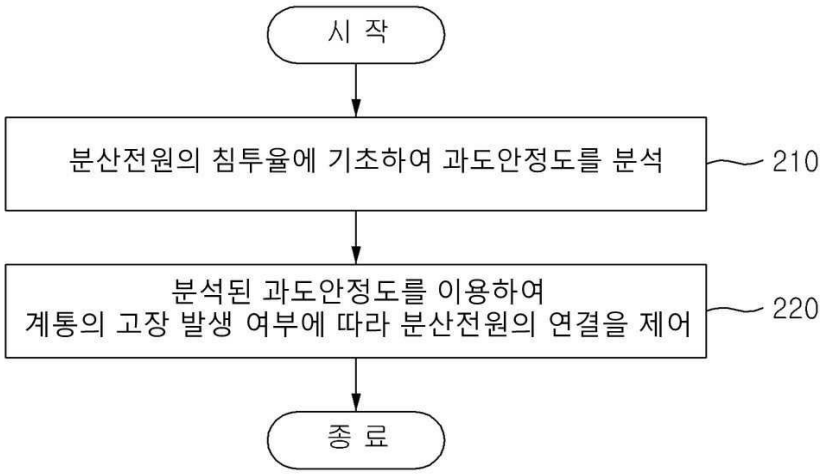
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **태양광 시스템이 침투한 계통의 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정**

(57) 요 약

태양광 시스템이 침투한 계통의 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 기술이 개시된다. 일 실시예에 따른 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법은, 분산전원의 침투율에 기초하여 과도안정도를 분석하는 단계; 및 상기 분석을 통해 계통의 고장 발생 여부에 따라 상기 분산전원의 연결을 제어하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
H02J 3/381 (2023.08)
H02S 40/32 (2015.01)
H02J 2203/10 (2023.08)
H02J 2203/20 (2023.08)
H02J 2300/22 (2023.08)
Y02E 10/50 (2020.08)
Y04S 10/123 (2020.08)
Y04S 10/30 (2020.08)
Y04S 40/20 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711156272
과제번호	2019M3F2A1073401
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	에너지클라우드기술개발사업
연구과제명	[Ezbaro] 에너지 클라우드 가상물리시스템 설계 및 최적 운영 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

컴퓨터 시스템에 의해 수행되는 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법에 있어서,

분산전원의 침투율에 기초하여 과도안정도를 분석하는 단계; 및

상기 분석된 과도안정도를 이용하여 계통의 고장 발생 여부에 따라 상기 분산전원의 연결을 제어하는 단계

를 포함하는 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 진행하는 단계는,

기 설정된 간격으로 분산전원 침투율에 대한 시뮬레이션을 진행함에 따라 상기 분산전원의 침투율에 따른 영향을 시각화하는 단계

를 포함하는 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 진행하는 단계는,

상기 분산전원 침투율에 대한 주파수와 로터각의 크기 변동을 확인하는 단계

를 포함하는 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 분산전원은, 인버터 기반의 태양광 시스템인 것을 특징으로 하는 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 진행하는 단계는,

상기 과도안정도 분석을 통해 주파수를 기준으로 임계 고장 제거 시간을 결정하는 단계

를 포함하는 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제어하는 단계는,

고장이 발생하고 고장이 제거되기까지 고장 위치와 가장 가까운 모선에 연결된 분산전원의 연결을 중단시키는 단계

를 포함하는 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제어하는 단계는,

제어 고장 발생, 스위치 개방, 고장 제거, 스위치 닫힘을 포함하는 프로세스를 기반으로 분산전원의 고장해석을 위한 시뮬레이션을 수행하는 단계

를 포함하는 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제어하는 단계는,

제어 고장 발생, 스위치 개방, 고장 제거, 스위치 닫힘을 포함하는 프로세스를 기반으로 제어 동작 여부에 따라 분산전원의 고장해석을 위한 시뮬레이션을 수행하는 단계

를 포함하는 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법.

청구항 9

과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정을 위한 컴퓨터 시스템에 있어서,

분산전원의 침투율에 기초하여 과도안정도를 분석하는 과도안정도 분석부; 및

상기 분석된 과도안정도를 이용하여 계통의 고장 발생 여부에 따라 상기 분산전원의 연결을 제어하는 연결 제어부

를 포함하는 컴퓨터 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 아래의 설명은 분산전원의 과도안정도를 분석하는 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 탄소 중립과 같은 친환경 정책이 시행됨에 따라 많은 국가는 화석연료의 사용으로 인한 탄소 배출량을 줄이기 위해 재생에너지 발전을 늘리고 있으며 이에 따라 재생에너지 기반의 분산전원의 침투율이 증가하고 있다. 하지만 분산전원은 동기 발전기와 출력특성이 다르므로 계통에 주입되었을 때 그리드의 전력 흐름과 전력 품질에 영향을 미친다. 따라서 분산전원이 전력계통에 주입되었을 때 과도상태 반응 및 안정도에 대한 분석이 필요하다.

[0004] 참고로, 대한민국공개특허 제10-2018-0131311호(공개일 2018.12.10)에 분산전원용 PCS를 보호하기 위한 전원 감시 시스템 및 그 방법이 개시된 바 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 태양광 시스템이 주입한 계통에서, 분산전원의 침투율에 따른 과도안정도를 해석하고 임계 고장 제거 시간을 결정하는 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.

[0007] 스위치 개방 시간에 따른 과도안정도를 해석하는 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.

[0008] 고장에 대한 태양광 시스템 제어 전략을 제시하고 침투율에 따른 제어 방법론의 영향을 확인하는 방법 및 시스

템을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 컴퓨터 시스템에 의해 수행되는 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법은, 분산전원의 침투율에 기초하여 과도안정도를 분석하는 단계; 및 상기 분석된 과도안정도를 이용하여 계통의 고장 발생 여부에 따라 상기 분산전원의 연결을 제어하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 진행하는 단계는, 기 설정된 간격으로 분산전원 침투율에 대한 시뮬레이션을 진행함에 따라 상기 분산전원의 침투율에 따른 영향을 시각화하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 진행하는 단계는, 상기 분산전원 침투율에 대한 주파수와 로터각의 크기 변동을 확인하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 분산전원은, 인버터 기반의 태양광 시스템일 수 있다.

[0014] 상기 진행하는 단계는, 상기 과도안정도 분석을 통해 주파수를 기준으로 임계 고장 제거 시간을 결정하는 단계를 포함할 수 있다

[0015] 상기 제어하는 단계는, 고장이 발생하고 고장이 제거되기까지 고장 위치와 가장 가까운 모선에 연결된 태양광 시스템의 연결을 중단시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 제어하는 단계는, 제어 고장 발생, 스위치 개방, 고장 제거, 스위치 닫힘을 포함하는 프로세스를 기반으로 분산전원의 고장해석을 위한 시뮬레이션을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 상기 제어하는 단계는, 제어 고장 발생, 스위치 개방, 고장 제거, 스위치 닫힘을 포함하는 프로세스를 기반으로 제어 동작 여부에 따라 분산전원의 고장해석을 위한 시뮬레이션을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정을 위한 컴퓨터 시스템은, 분산전원의 침투율에 기초하여 과도안정도를 분석하는 과도안정도 분석부; 및 상기 분석된 과도안정도를 이용하여 계통의 고장 발생 여부에 따라 상기 분산전원의 연결을 제어하는 연결 제어부를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0020] 과도안정도 분석과 임계 고장 제거 시간 결정을 바탕으로 보호계전기를 세팅하고 계전기 간의 협조 관계를 세우며, 계통에서 발생할 수 있는 고장에 대한 파급 효과를 감소시킬 수 있다.

[0021] 분산전원에 제어 동작을 적용할 때 분산전원의 침투율에 따른 효과를 제시할 수 있다.

[0022] 분산전원이 계통에 침투했을 때, 각각의 침투율에 따른 주파수와 로터각의 과도반응을 확인함으로써 적절한 보호 협조의 필요성을 제시할 수 있다.

[0023] 분산전원의 다양한 침투율에 대해 임계 고장 제거 시간을 결정할 수 있다. 분산전원이 침투한 계통의 보호 협조를 구성할 때, 임계 고장 제거 시간을 활용할 수 있다.

[0024] 소규모 및 대규모 분산전원이 전력계통에 미치는 효과를 확인함으로써, 실제 전력계통에 주입될 분산전원의 영향을 다방면으로 확인할 수 있다.

[0025] 분산전원의 각 침투율에 따른 동작 제어 및 각 상황에 따른 임계 침투율에 기초하여 빠른 고장 구간을 차단시킬 수 있고, 분산전원의 무분별한 주입 및 제어에 대한 위험성을 확인할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 일 실시예에 있어서, 컴퓨터 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이다.

도 2는 일 실시예에 있어서, 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 3은 일 실시예에 있어서, 과도상태 안정도를 확인하기 위한 예이다.

도 4는 일 실시예에 있어서, 태양광 시스템에 제어 동작을 적용하였을 때 태양광 시스템의 유효전력 및 무효전력의 출력을 설명하기 위한 그래프이다.

도 5 및 도 6은 일 실시예에 있어서, 고장해석을 위한 시뮬레이션 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 일 실시예에 있어서, 태양광 시스템의 침투율에 따른 주파수 차이를 설명하기 위한 그래프이다.

도 8은 일 실시예에 있어서, 태양광 시스템의 침투율에 따른 로터각 차이를 설명하기 위한 그래프이다.

도 9는 일 실시예에 있어서, 제어 동작 적용 여부에 따른 주파수 변동을 설명하기 위한 그래프이다.

도 10은 일 실시예에 있어서, 제어 동작 여부와 태양광 시스템의 침투율에 따른 임계 고장 제거 시간을 설명하기 위한 그래프이다.

도 11은 일 실시예에 있어서, 스위치 개방 시간과 제어 동작 적용 여부에 따른 주파수의 피크 추세를 설명하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하, 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0030] 도 1은 일 실시예에 있어서, 컴퓨터 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이고, 도 2는 일 실시예에 있어서, 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0031] 컴퓨터 시스템(100)의 프로세서는 과도안정도 분석부(110) 및 연결 제어부(120)를 포함할 수 있다. 이러한 프로세서의 구성요소들은 컴퓨터 시스템에 저장된 프로그램 코드가 제공하는 제어 명령에 따라 프로세서에 의해 수행되는 서로 다른 기능들(different functions)의 표현들일 수 있다. 프로세서 및 프로세서의 구성요소들은 도 2의 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법이 포함하는 단계들(210 내지 220)을 수행하도록 컴퓨터 시스템을 제어할 수 있다. 이때, 프로세서 및 프로세서의 구성요소들은 메모리가 포함하는 운영체제의 코드와 적어도 하나의 프로그램의 코드에 따른 명령(instruction)을 실행하도록 구현될 수 있다.

[0032] 프로세서는 과도안정도 해석 및 임계 고장 제거 시간 결정 방법을 위한 프로그램의 파일에 저장된 프로그램 코드를 메모리에 로딩할 수 있다. 예를 들면, 컴퓨터 시스템에서 프로그램이 실행되면, 프로세서는 운영체제의 제어에 따라 프로그램의 파일로부터 프로그램 코드를 메모리에 로딩하도록 컴퓨터 시스템을 제어할 수 있다. 이때, 프로세서는 과도안정도 분석부(110) 및 연결 제어부(120) 각각은 메모리에 로딩된 프로그램 코드 중 대응하는 부분의 명령을 실행하여 이후 단계들(210 내지 220)을 실행하기 위한 프로세서의 서로 다른 기능적 표현들일 수 있다.

[0033] 단계(210)에서 과도안정도 분석부(110)는 분산전원의 침투율에 기초하여 과도안정도를 분석할 수 있다. 과도안정도 분석부(110)는 기 설정된 간격(예를 들면, 10% 간격)의 모든 분산전원 침투율에 대한 시뮬레이션을 진행하여, 분산전원의 침투율에 따른 영향을 시각화할 수 있다. 과도안정도 분석부(110)는 분산전원으로 선정한 태양광 시스템의 침투율에 따른 과도안정도 해석을 진행할 수 있다. 과도안정도 분석부(110)는 과도안정도 해석을 주파수와 로터각을 지표로 진행할 수 있다. 과도안정도 분석부(110)는 분산전원 침투율에 대한 주파수와 로터각의 크기 변동을 확인할 수 있다. 과도안정도 분석부(110)는 과도안정도 분석을 통해 주파수를 기준으로 임계 고장 제거 시간을 결정할 수 있다. 예를 들면, 과도안정도 분석부(110)는 선로의 계전기가 동작하는 시간을 두 종류로 구분하고 분산전원의 침투율에 따른 과도상태의 주파수 안정도를 분석할 수 있다.

[0034] 단계(220)에서 연결 제어부(120)는 분석된 과도안정도를 이용하여 계통의 고장 발생 여부에 따라 분산전원의 연결을 제어할 수 있다. 연결 제어부(120)는 고장이 발생하고 고장이 제거되기까지 고장 위치와 가장 가까운 모선에 연결된 분산전원의 연결을 잠시 끊어주는 제어 동작을 제공할 수 있다. 연결 제어부(120)는 제어 고장 발생, 스위치 개방, 고장 제거, 스위치 닫힘을 포함하는 프로세스를 기반으로 분산전원의 고장해석을 위한 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 연결 제어부(120)는 제어 고장 발생, 스위치 개방, 고장 제거, 스위치 닫힘을 포함하는 프로세스를 기반으로 제어 동작 여부에 따라 분산전원의 고장해석을 위한 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 연결 제어부(120)는 분산전원의 침투율에 따른 제어 방법론의 효과 및 영향을 파악한 결과를 제공할 수 있다. 연결 제어부(120)는 제어 동작을 적용한 경우와, 적용하지 않은 경우에 각각의 기 설정된 간격의 모든 침투율에

따른 임계 고장 제거 시간을 결정할 수 있다.

[0035] 도 3은 일 실시예에 있어서, 과도상태 안정도를 확인하기 위한 예이다.

[0036] 도 3을 참고하면, IEEE 9-bus system의 단선 다이어그램을 나타낸 예이다. IEEE 9-bus system은 환상형 계통이며, 3 개의 동기 발전기, 3 개의 변압기, 3개의 부하를 가지는 시스템이다. 계통에 고장이 발생했을 때, 고장으로 인한 분산된 발전기들의 과도반응을 확인할 수 있다. 발전기, 변압기, 부하만 가져 단순하긴 하지만 실제 전력시스템의 모델링에 적용되는 원리를 잘 포함하기 때문에, IEEE 9-bus system을 테스트 피더로 선정하기로 한다.

[0037] 일례로, 테스트 피더에 5, 6, 8번 버스에 총 3대의 태양광 시스템이 설치될 수 있다. 과도상태 안정도를 확인하기 위하여 모선 6, 9 사이의 50% 위치에 3상 단락 고장이 발생될 수 있다. 또한, 고장이 발생한 후 선로에 설치된 릴레이가 개방되는 효과를 위해 스위치를 개방하는 이벤트가 설정될 수 있다. 또한, 과도상태 분석을 위해 DIgSILENT PowerFactory 프로그램의 RMS/EMT Simulation 기능이 사용될 수 있다.

[0038] 컴퓨터 시스템은 인버터를 통해 계통과 연계되는 재생에너지 기반의 발전원인 태양광 시스템을 분산전원으로 선정할 수 있다. 인버터 기반의 분산전원은 동기 발전기와 달리 관성이 약하다는 단점이 있다. 이에 따라 고장이 발생하였을 때 분산전원의 출력 값에 변동이 발생하며, 동기 시스템의 과도 반응과는 다르다. 또한, 시스템 전체의 측면에서 분산전원의 예측 불가능한 과도 반응은 시스템의 복잡도를 높일 수 있다.

[0039] 컴퓨터 시스템은 고장이 발생하였을 때 고장 위치와 가장 가까운 태양광 시스템의 계통과의 연결을 기 설정된 시간동안 끊어주는 제어 동작을 제공할 수 있다. 예를 들면, 시뮬레이션을 위해 분산전원으로 주입된 태양광 시스템의 전력전자 설비를 능동적으로 제어하여 고장 전류의 방향 및 크기를 감지하고 고장 위치를 판별할 수 있음을 가정하기로 한다.

[0040] 도 4는 일 실시예에 있어서, 태양광 시스템에 제어 동작을 적용하였을 때 태양광 시스템의 유효전력 및 무효전력의 출력을 설명하기 위한 그래프이다.

[0041] 일정한 양의 유효전력을 출력하고 있던 태양광 시스템은 제어 동작이 적용되는 시간에 유효전력을 출력하지 않고 다시 계통에 주입되었을 때 유효전력을 출력한다. 이에, 계통에 다시 주입될 때 유효전력 출력이 변동하다가 점차 안정해져 가는 모습을 확인할 수 있다. 실시예에서 태양광 시스템은 역률 1을 가정하였고 무효전력제어 기능을 사용하지 않는다.

[0042] 컴퓨터 시스템은 임계 고장 제거 시간을 결정하기 위한 기준을 설정할 수 있다. 컴퓨터 시스템은 주파수를 기준으로 임계 고장 제거 시간을 계산할 수 있다. 표 1을 참고하면, 과도상태에서 주파수의 상한 및 하한이 $\pm$ 0.2Hz 내에서 유지될 수 있는 최대 고장 제거 지연 시간을 의미한다.

[0043] 표 1: 임계 고장 제거 시간 결정을 위한 주파수 상한 및 하한

[0044]

상한 (Hz)	하한 (Hz)
60.2	59.8

[0045] 도 5 및 도 6은 일 실시예에 있어서, 고장해석을 위한 시뮬레이션 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0046] 도 5는 제어 동작을 적용하지 않은 경우, 고장해석을 위한 시뮬레이션 과정을 나타낸 것이다. 제어 동작을 적용하지 않은 경우, 태양광 시스템이 계통과 연결이 끊어지고 다시 주입되는 일련의 과정이 존재하지 않게 된다. 컴퓨터 시스템은 고장 발생, 스위치 개방, 고장 제거, 스위치 닫힘을 포함하는 프로세스를 기반으로 고장해석을 수행할 수 있다. 도 5에서 n은 고장이 발생하고 고장이 제거되기까지의 지연 시간을 주기로 표현하기 위한 값이고, 0.016667은 60Hz 기준으로 1주기의 값을 초로 나타낸 것이다.

[0047] 도 6을 참고하면, 제어 동작을 적용한 경우, 고장해석을 위한 시뮬레이션 과정을 나타낸 것이다. 제어 동작을 적용한 경우, 1.001초에 고장 위치와 가장 가까운 태양광 시스템은 계통과의 연결이 끊어진다. 고장이 제거된 후, 0.05초가 지연된 후 스위치가 닫히고 연결이 끊어졌던 태양광 시스템이 다시 계통과 연결된다.

[0048] 도 5과 도 6에서 태양광 시스템이 계통으로부터 연결이 끊어지고 고장이 제거된 후 다시 연결되는 두 가지 부분에서 차이가 있으며, 나머지 과정은 도5와 동일하게 적용된다.

[0049] 컴퓨터 시스템은 IEEE 9-bus system에서의 고장해석 및 과도안정도 해석을 수행할 수 있다. 도 3의 테스트 피더에 5, 6, 8번 버스에 총 3대의 태양광 시스템이 설치될 수 있다. 컴퓨터 시스템은 태양광 시스템의 용량에

따른 계통의 과도안정도를 확인하기 위해, 태양광 시스템이 침투하지 않을 경우를 침투율 0%로 설정하고, 침투율을 기 설정된 비율(예를 들면, 10%)씩 증가시키면서 계통의 과도상태 안정도를 확인할 수 있다. 컴퓨터 시스템은 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100%로 침투율을 구분하여 복수 개(예를 들면, 11가지)의 경우에 대해 각각 RMS/EMT 시뮬레이션을 진행할 수 있다.

[0050] 컴퓨터 시스템은 도 3의 1, 2, 3번 버스에 연결된 3 대의 발전기 용량을 시스템 전체의 발전 용량이라고 하고, 시스템 전체의 발전용량 값을 기준으로 태양광 시스템의 침투율을 계산할 수 있다. 예를 들면, 태양광 시스템의 침투율이 10%라는 것은 전체 발전 용량의 10%에 해당하는 용량을 태양광 시스템 3대가 나누어 발전한다는 것을 의미한다. 그리고, 태양광 시스템의 침투율이 0%라는 것은 태양광 시스템 3대의 발전량이 0이라는 것이며, 계통에 태양광 시스템이 침투하지 않은 기본 IEEE 9-bus system을 의미한다.

[0051] 컴퓨터 시스템은 3 대의 태양광 시스템을 동일한 용량을 발전하도록 모델링할 수 있다. 다시 말해서, 태양광 시스템의 침투율이 10%라는 것은 태양광 시스템 3대의 침투율을 합한 값이고, 각각의 태양광 시스템은 약 3.333%의 침투율을 가지는 것을 의미한다.

[0052] 표 2를 참고하면, 태양광 시스템의 침투율에 따른 태양광 시스템의 용량 및 주파수 편향(Bias)를 나타낸 것이다. 침투율에 따라 복수 개(예를 들면, 11가지)의 경우로 구분하고 1개의 태양광 시스템 용량을 나타낸 것이다. 1개의 태양광 시스템 용량 값의 3배의 용량이 전체 태양광 시스템의 발전용량이 된다.

[0053] 표 2: 태양광 시스템의 침투율에 따른 태양광 시스템의 용량

태양광 시스템의 침투율 (%)	1개의 태양광 시스템의 발전용량 (kW)	주파수 Bias (kW/Hz)
0	0	0
10	10653.33	300
20	21306.67	600
30	31960.00	900
40	42613.33	1200
50	53266.67	1500
60	63920.00	1800
70	74573.33	2100
80	85226.67	2400
90	95880.00	2700
100	106533.33	3000

[0054]

[0055] 도 7은 일 실시예에 있어서, 태양광 시스템의 침투율에 따른 주파수 차이를 설명하기 위한 그래프이고, 도 8은 일 실시예에 있어서, 태양광 시스템의 침투율에 따른 로터각 차이를 설명하기 위한 그래프이다.

[0056] 도 7, 도 8에서 고장 제거 지연 시간(n)이 6으로 설정될 수 있다. 다시 말해서, 고장이 발생하고 6 주기 후 고장이 제거되는 시나리오가 구성될 수 있다.

[0057] 도 7을 참고하면, 주파수 차이란, 계통에 고장이 발생하여 생기는 과도상태 최대 주파수에서 최소 주파수를 감산한 값을 의미한다. 도 7에서 태양광 시스템의 침투율이 60%넘어가는 지점부터 주파수 차이를 나타내는 그래프의 기울기가 약간 증가한 것을 확인할 수 있다.

[0058] 도 8을 참고하면, 도 1의 G1 발전기를 기준 발전기로 설정할 때, 나머지 발전기인 G2와 G3의 로터각 변동을 확인했을 때, 각각의 로터각 변동에 따른 로터각 차이를 구한 것이다. 로터각 차이란 과도상태 최대 로터각에서 최소 로터각의 차이를 나타내는 값을 의미한다. 태양광 시스템의 침투율이 증가함에 따라 G2와 G3 발전기 모두에서 로터각의 차이가 증가한 것을 확인할 수 있다. 또한, 주파수 특성과 마찬가지로 태양광 시스템의 침투율이 60%를 넘어설 때 두 개의 로터각 차이 그래프의 기울기가 약간 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0059] 도 9는 일 실시예에 있어서, 제어 동작 적용 여부에 따른 주파수 변동을 설명하기 위한 그래프이다.

[0060] 도 9는 태양광 시스템의 침투율이 40%인 계통에서 고장 제거 지연 시간이 6, 12주기일 때 제어 동작의 적용 여부에 따른 4 가지의 주파수 특성 곡선을 나타낸 것이다. 제어 동작을 적용하지 않은 경우를 실선으로, 제어 동작을 적용한 경우를 점선으로 나타낸 것이다. 고장 제거 지연 시간이 6주기인 경우와 12주기인 경우 모두에서 태양광 시스템 제어를 했을 때 주파수의 피크 값이 낮으며 주파수 변동이 작게 나타난 것을 확인할 수 있다.

[0061] 표 3을 참고하면, 분산전원의 침투율에 따른 임계 고장 제거 시간을 나타낸 것이다. 제어 동작을 적용한 경우, 제어 동작을 적용하지 않은 경우를 모두 나타낸다.

[0062] 표 3: 제어 동작 적용 여부와 태양광 시스템의 침투율에 따른 임계 고장 제거 시간

태양광 시스템의 침투율 (%)	임계 고장 제거 시간 (주기)	
	PV Control 미적용	PV Control 적용
0	20	20
10	17	21
20	17	21
30	15	19
40	14	16
50	13	14
60	11.5	11.5
70	9.5	9.5
80	8	7
90	5.5	4
100	1.5	0

[0063]

[0064] 도 10은 일 실시예에 있어서, 제어 동작 여부와 태양광 시스템의 침투율에 따른 임계 고장 제거 시간을 설명하기 위한 그래프이다.

[0065] 태양광 시스템의 침투율이 60% 이하인 지점에서는 태양광 시스템을 제어한 경우 계통의 임계 고장 제거 시간이 길고, 태양광 시스템의 침투율이 60%를 넘어서는 지점에서는 제어 동작을 적용한 경우 오히려 임계 고장 제거 시간이 짧은 것을 확인할 수 있다. 다시 말해서, 태양광 시스템의 침투율이 60%를 넘지 않은 경우, 제어 동작을 적용한 경우가 계통의 안정도 측면에서 긍정적인 효과를 보인 것을 확인할 수 있다. 이처럼 과도 상태에서 태양광 시스템을 계통으로부터 끊어주는 제어 방법이 분산전원의 침투율이 높지 않은 경우에서는 효과적임을 확인할 수 있다. 그러나 태양광 시스템의 침투율이 높은 경우 제어 동작을 통해 계통으로부터 연결을 끊으면 오히려 계통에 큰 변동을 일으켜 주파수 안정도를 해칠 수 있다.

[0066] 도 11은 일 실시예에 있어서, 스위치 개방 시간과 제어 동작 적용 여부에 따른 주파수의 피크 추세를 설명하기 위한 그래프이다.

[0067] 도 5와 도 6에서 표현된 것처럼 고장 발생 후 0.001초만에 스위치가 개방될 수 있다. 이처럼 빠르게 고장을 차단함으로써 임계 고장 제거 시간을 증가시키고 주파수 및 로터각의 변화를 줄일 수 있다.

[0068] 스위치의 개방 속도가 과도안정도에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 스위치의 개방 지연 시간을 0.01초로 변경하여 두 가지 스위치 개방 시간에 따른 계통의 주파수 특성을 확인할 수 있다. 도 5와 도 6에 표현된 것에서 1초에 고장이 발생하고 스위치 개방 시간이 1.001초에서 1.01초로 수정된 것 이외에 모든 사항은 동일하다. 즉, 스위치 개방 시간이 1.001초, 1.01초인 두 가지 경우가 비교될 수 있다.

[0069] 표 4를 참고하면, 스위치 개방 시간과 제어 동작 적용 여부에 따라 4 가지의 경우로 시나리오가 구분될 수 있다. 태양광 시스템의 침투율을 0%에서 10%씩 증가시키며 100%까지, 침투율에 따른 네 가지 시나리오의 주파수 특성을 확인할 수 있다.

[0070] 표 4: 스위치 개방 시간과 제어 동작 적용 여부에 따른 네 가지 시나리오

Case	스위치 개방 시간 (초)	PV Control 적용 여부
1	1.001	미적용
2	1.001	적용
3	1.01	미적용
4	1.01	적용

[0071]

[0072] 도 11을 참고하면, 표 4의 4 가지의 경우에 대해 시뮬레이션을 진행하였을 때 주파수 피크 값을 나타낸 것이다. 먼저, 제어 동작을 적용하지 않았을 때 스위치 개방 시간이 1.001초, 1.01초인 두 가지 경우 모두에 대해서 태양광 시스템의 침투율이 높아질수록 과도상태 주파수의 피크 값이 높아지는 것을 확인할 수 있다.

[0073] 제어 동작을 적용하지 않고 스위치 개방 시간이 1.001초일 때 그래프는 태양광 시스템의 침투율이 60%인 지점을 기준으로 약간 증가한 것을 확인할 수 있다. 이때, 그래프의 기울기가 변하는 지점은 약 한 번이었다.

[0074] 그러나 제어 동작을 적용하지 않고 스위치 개방 시간이 1.01초일 때 그래프는 태양광 시스템의 침투율이 60, 70, 80%로 바뀔 때마다 기울기가 변하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 태양광 시스템의 침투율이 60%를 넘어선 이후 태양광 시스템의 침투율에 대해 민감하게 반응하고 주파수의 피크 값이 큰 폭으로 증가한 것을 확인할 수 있

다.

[0075] 요약하자면, 표 4의 case 1과 case 3에 대해 시뮬레이션을 진행했을 때, case 1의 경우 1번, case 3의 경우 총 3번에 걸쳐 주파수의 피크 그래프의 기울기가 변화하였다. 또한, 제어 동작을 적용하지 않은 경우 태양광 시스템의 침투율이 증가함에 따라 주파수의 피크가 감소하는 구간은 없었다.

[0076] 컴퓨터 시스템은 제어 동작을 적용한 경우인 표 4의 case 2와 case 4에 대해 시뮬레이션을 진행할 수 있다. 이때, 제어 동작을 적용하지 않은 경우와 달리 제어 동작을 적용한 경우 주파수의 피크를 나타낸 그래프는 감소하는 구간이 존재함을 확인할 수 있다.

[0077] 스위치 개방 시간에 따라 주파수의 피크 그래프의 기울기가 음수일 수 있는 최대 침투율이 다르다. 스위치 개방 시간이 1.001초인 경우 스위치가 빠르게 개방되다 보니 태양광 시스템의 침투율이 40%인 지점까지 주파수의 피크를 낮추는 효과가 있다. 그리고 스위치의 개방 시간이 1.01초인 경우 스위치 개방 시간이 지연되었기 때문에 주파수의 피크를 낮출 수 있는 최대 침투율이 30%이었다.

[0078] 제어 동작을 통해 주파수의 피크를 낮출 수 있는 최대의 태양광 시스템 침투율을 임계 침투율이라 정의했을 때, 스위치 개방 시간에 따라 각각의 임계 침투율은 case 2와 case 4에 대해 30, 40%로 나타났다. 이와 같이 정의한 임계 침투율을 넘어선 침투율에 대해 태양광 시스템의 침투율이 증가했을 때 주파수의 피크는 증가하는 추세를 보인다.

[0079] 스위치 개방 시간이 동일할 때 제어 동작의 효과를 확인하기 위해 표 4의 case 1과 case 2를, case 3과 case 4가 비교될 수 있다. 그래프를 확인해보면 태양광 시스템의 침투율이 70%인 점을 기점으로 두 개의 그래프가 역전된 것을 확인할 수 있다. 태양광 시스템 침투율이 70%보다 높은 경우에 대해 제어 동작을 적용하면 오히려 주파수의 피크 값을 높일 수 있다.

[0080] 정리하자면, 제어 동작을 적용하지 않은 case 1과 case 3의 경우 태양광 시스템의 침투율이 증가할수록 과도상태 주파수의 피크 값이 증가하였으며, 제어 동작을 적용한 case 2와 case 4는 각각의 스위치 개방 시간에 따라 서로 다른 임계 침투율을 보인다. 그리고 해당 임계 침투율 이하의 구간에서 침투율이 증가할수록 주파수의 피크 값이 감소하고, 임계 침투율 이상의 구간에서는 침투율이 증가할수록 주파수의 피크가 증가한다.

[0081] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0082] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0083] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media),

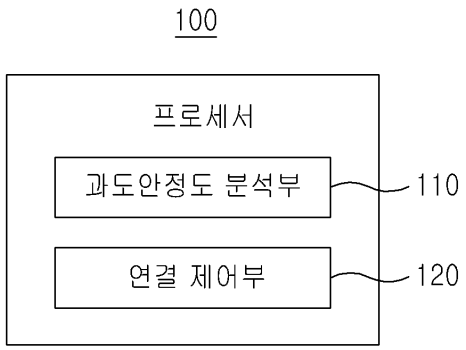
CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0084] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

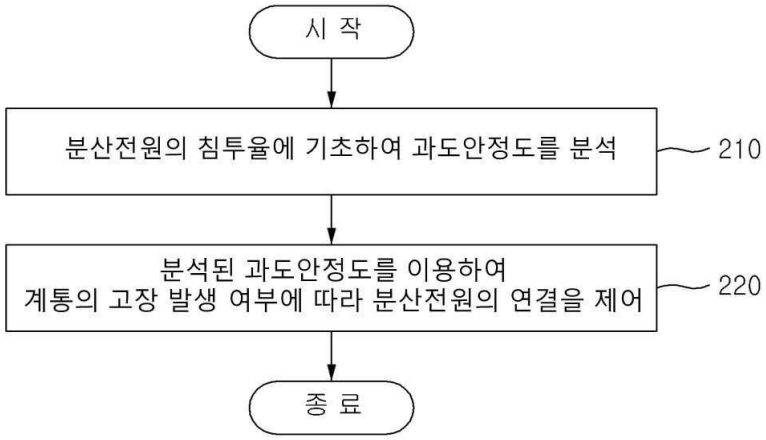
[0085] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

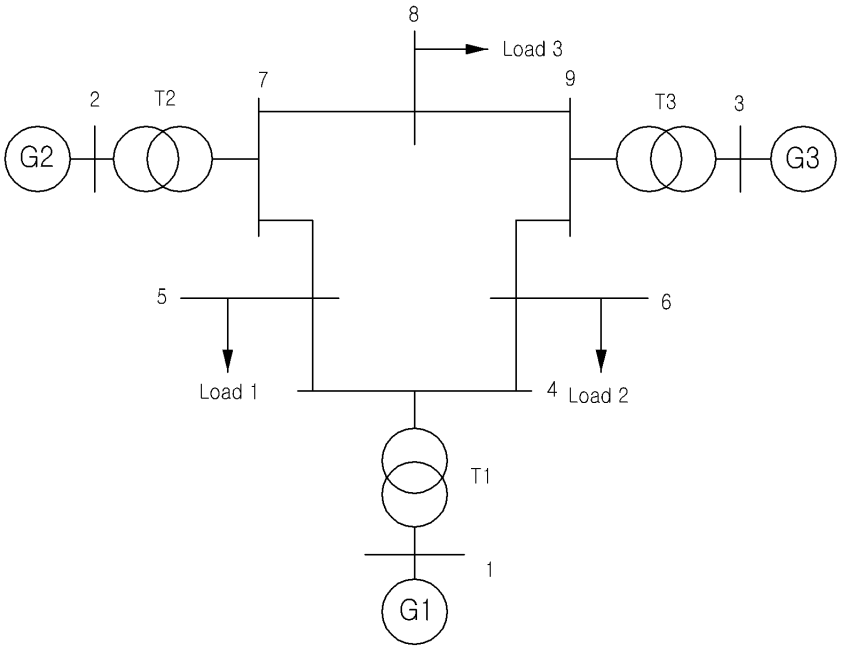
도면1



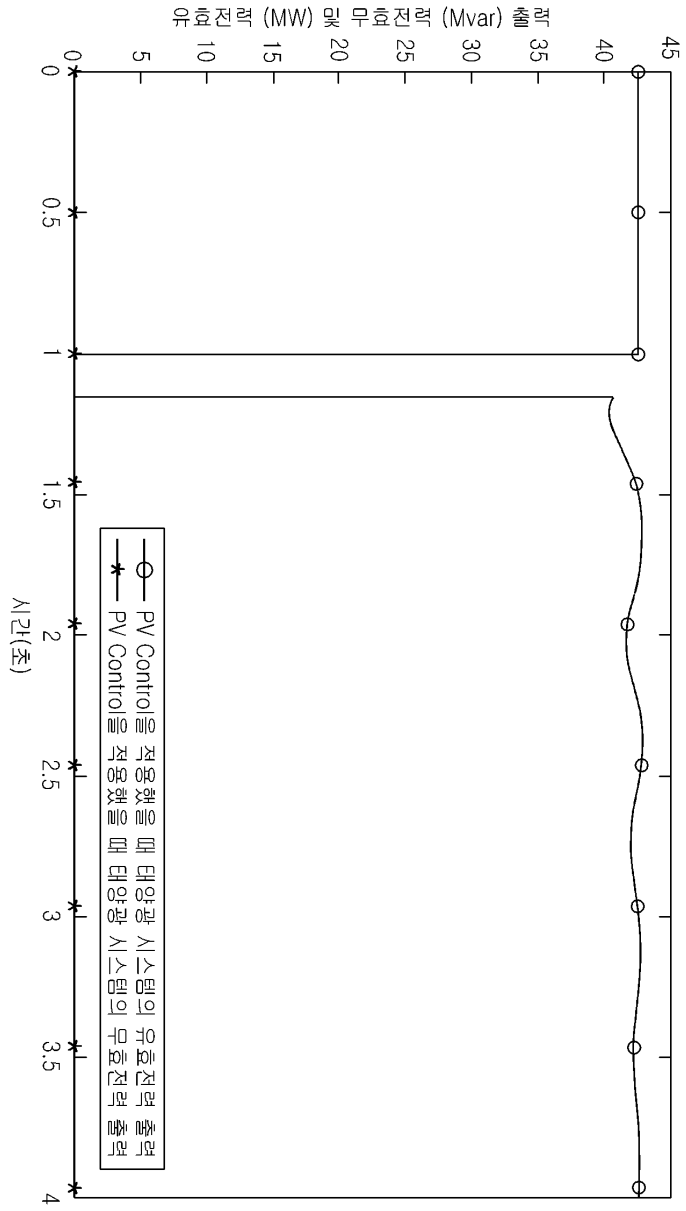
도면2



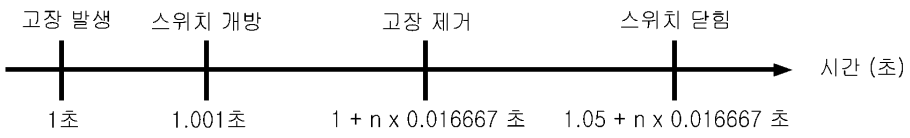
도면3



도면4


유효전력 (MW) 및 무효전력 (Mvar) 출력
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
시간(초)
PV Control을 적용했을 때 태양광 시스템의 유효전력 출력
PV Control을 적용했을 때 태양광 시스템의 무효전력 출력

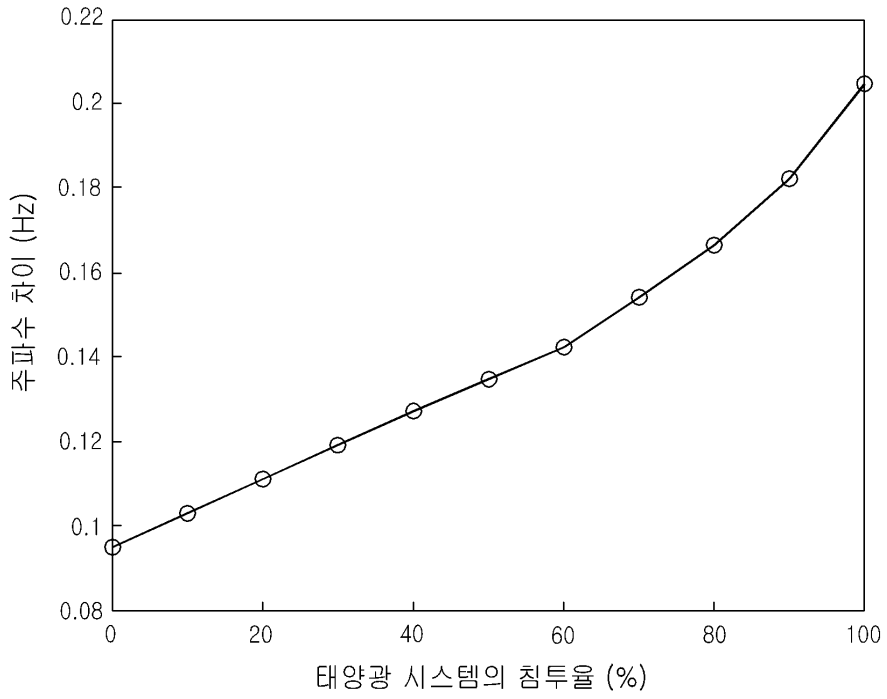
도면5


고장 발생
스위치 개방
고장 제거
스위치 닫힘
시간 (초)
1초
1.001초
1 + n x 0.016667 초
1.05 + n x 0.016667 초

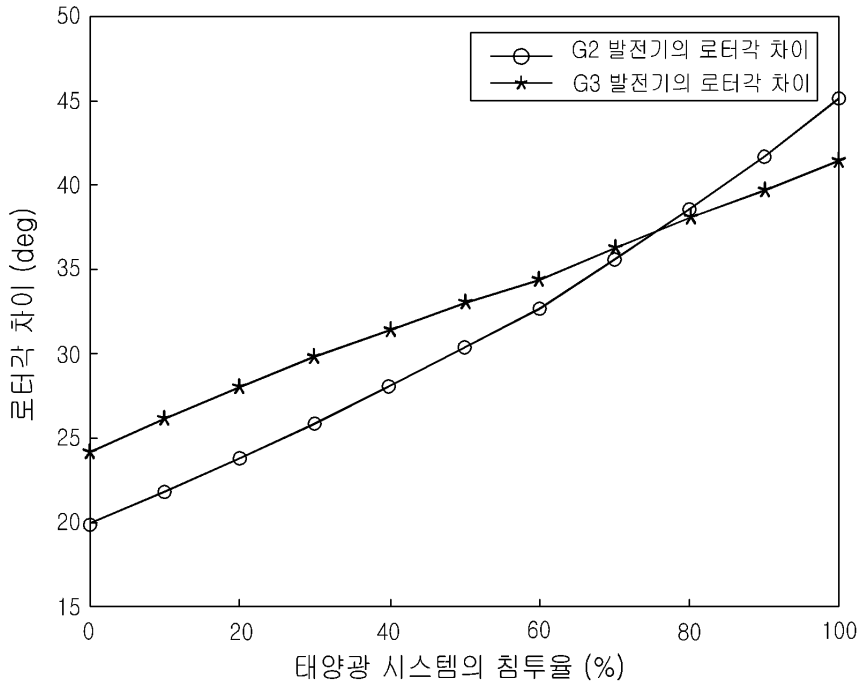
도면6


고장 발생
스위치 개방 및
PV Control (개방)
고장 제거
스위치 닫힘 및
PV Control (닫힘)
시간 (초)
1초
1.001초
1 + n x 0.016667 초
1.05 + n x 0.016667 초

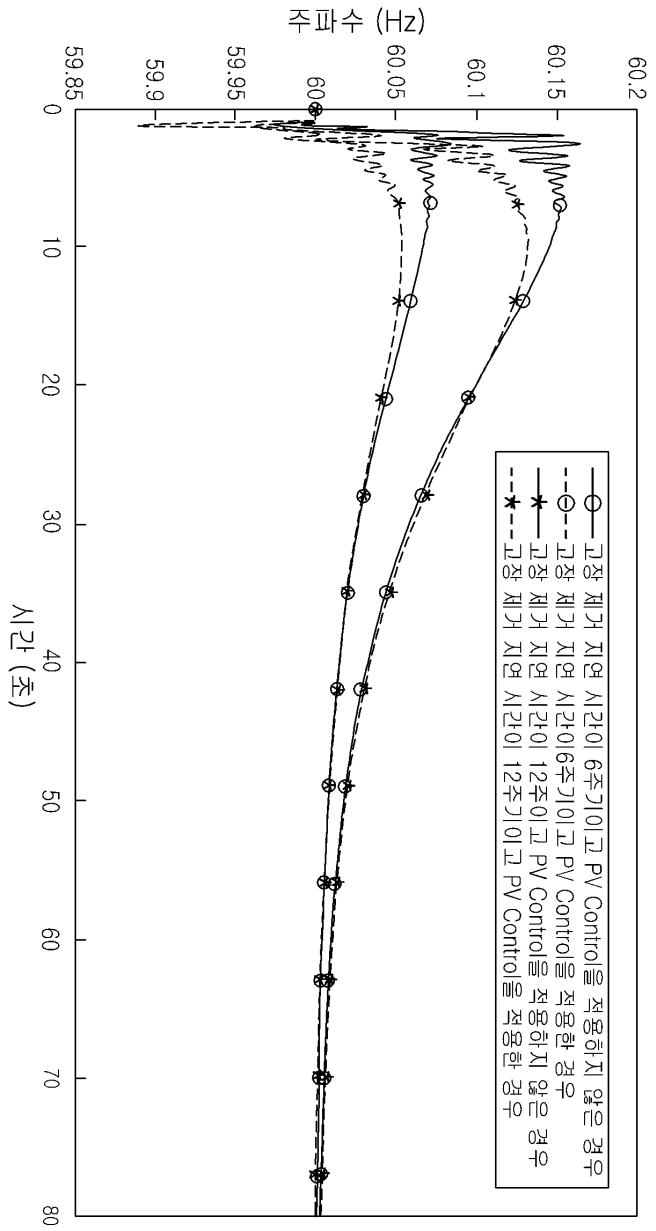
도면7


0.22
0.2
0.18
0.16
0.14
0.12
0.1
0.08
주파수 차이 (Hz)
0
20
40
60
80
100
태양광 시스템의 침투율 (%)

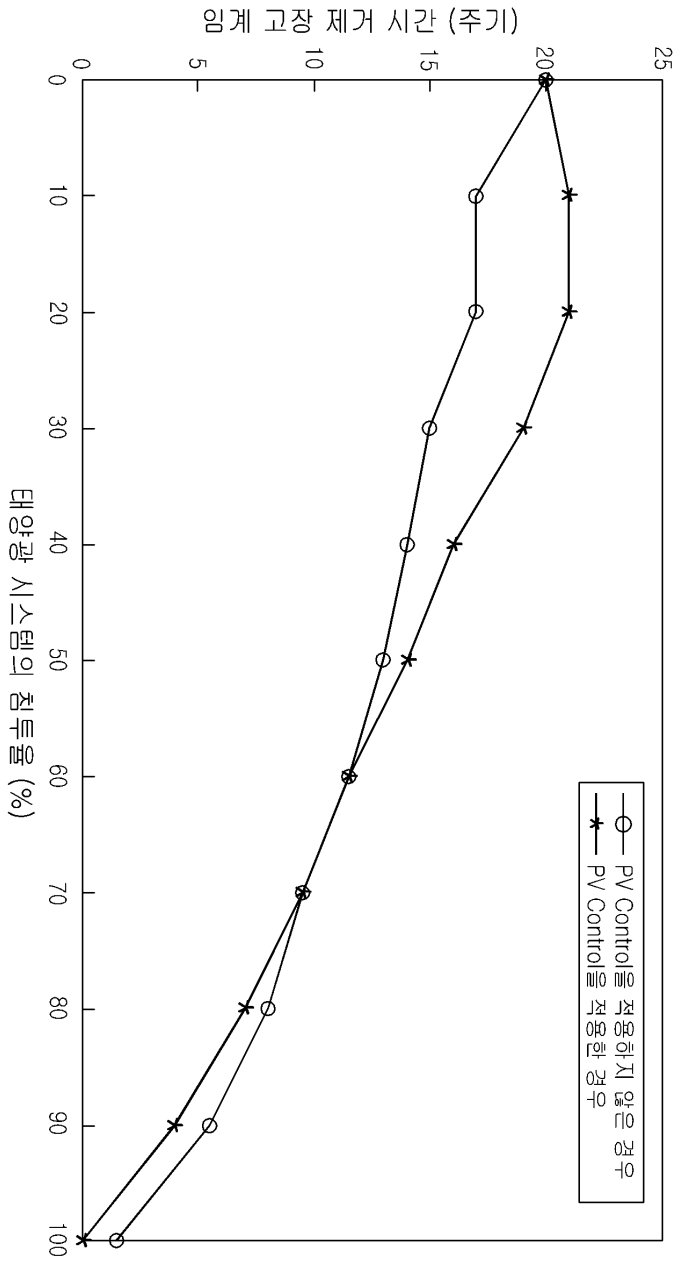
도면8


G2 발전기의 로터각 차이
G3 발전기의 로터각 차이
로터각 차이 (deg)
태양광 시스템의 침투율 (%)
50
45
40
35
30
25
20
15
0
20
40
60
80
100

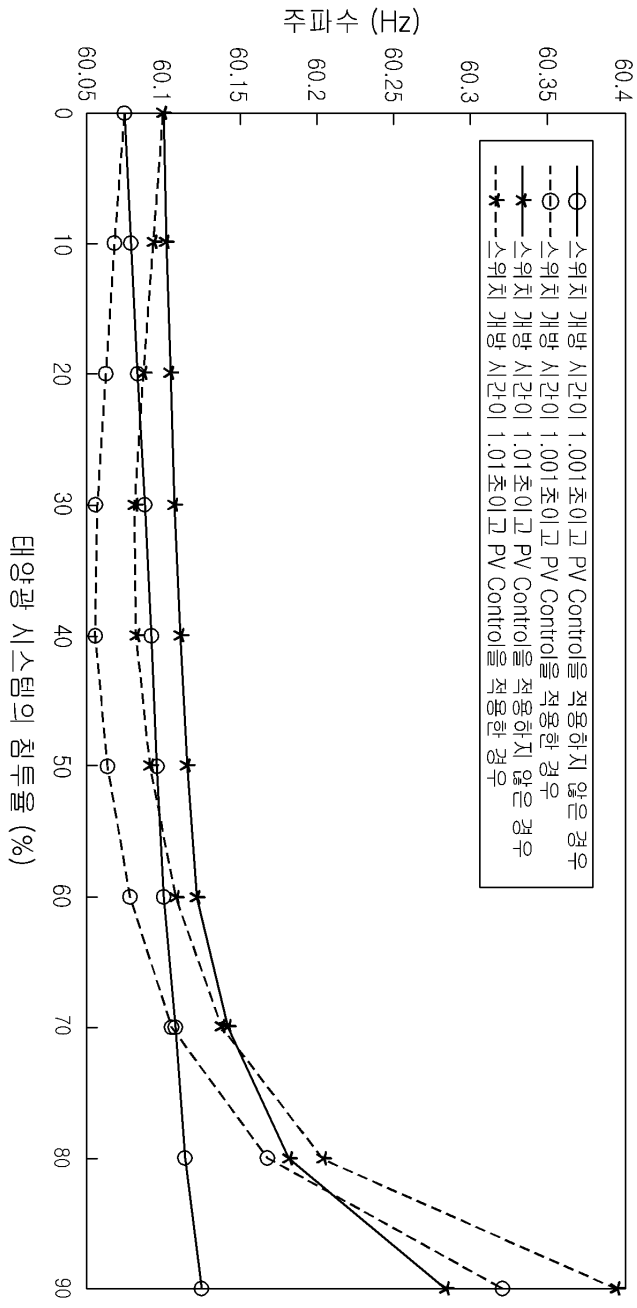
도면9


주파수 (Hz)
59.85
59.9
59.95
60
60.05
60.1
60.15
60.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
시간 (초)
고장 제거 지연 시간이 6주기이고 PV Control을 적용하지 않은 경우
고장 제거 지연 시간이6주기이고 PV Control을 적용한 경우
고장 제거 지연 시간이 12주이고 PV Control을 적용하지 않은 경우
고장 제거 지연 시간이 12주기이고 PV Control을 적용한 경우

도면10


임계 고장 제거 시간 (주기)
0
5
10
15
20
25
태양광 시스템의 첨두율 (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
PV Control을 적용하지 않은 경우
PV Control을 적용한 경우

도면11


주파수 (Hz)
60.4
60.35
60.3
60.25
60.2
60.15
60.1
60.05
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
태양광 시스템의 점유율 (%)
스위치 개방 시간이 1.001초이고 PV Control을 적용하지 않은 경우
스위치 개방 시간이 1.001초이고 PV Control을 적용한 경우
스위치 개방 시간이 1.01초이고 PV Control을 적용하지 않은 경우
스위치 개방 시간이 1.01초이고 PV Control을 적용한 경우