(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0053131
(43) 공개일자 2014년05월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02S 50/00 (2014.01) *H02S 40/32* (2014.01)
(21) 출원번호 10-2014-7001994
(22) 출원일자(국제) 2012년06월12일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2014년01월24일
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/042076
(87) 국제공개번호 WO 2013/003030
국제공개일자 2013년01월03일
(30) 우선권주장
13/169,978 2011년06월27일 미국(US)

(71) 출원인
선파워 코포레이션
미국 95134 캘리포니아주 산 호세 리오 로블레스 77
(72) 발명자
존슨 라르스
미국 94815 캘리포니아주 콘코드 지라르디 드라이브 1961
(74) 대리인
백만기, 양영준

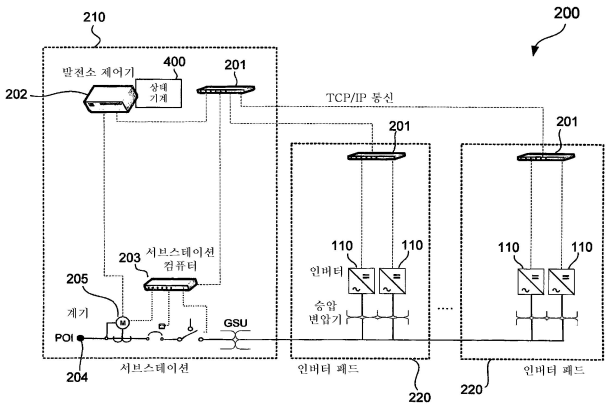
전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 발명의 명칭 **태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법 및 장치**

(57) 요 약

태양광 발전소(200)는 태양 전지들에 의해 발생된 직류를 교류로 변환시키는 광기전 인버터(110)를 포함한다. 광기전 인버터(110)의 출력은 전력 그리드에의 상호접속점(204)에 제공된다. 상호접속점에 있는 계기(205)는 전력 그리드에서의 광기전 인버터(110)의 출력을 검출하기 위해 판독될 수 있다. 태양광 발전소(200)는 상태 기계(400)를 갖는 발전소 제어기(202)를 포함한다. 발전소 제어기(202)는 태양광 발전소(200)의 출력을 제어하기 위해 광기전 인버터(110)의 설정점들을 조절하도록 구성된다. 발전소 제어기(202)는 또한 자동 전압 조정(AVR)의 교란을 방지하기 위해 태양광 발전소(200)의 AVR을 소프트 스타트 및 소프트 스톱시키도록 구성된다.

대 표 도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

태양광 발전소(photovoltaic power plant)의 작동을 제어하는 방법으로서,

복수의 태양 전지들을 사용하여 직류를 발생시키는 단계;

태양 전지들에 의해 발생되는 직류를 광기전 인버터(photovoltaic inverter)를 사용하여 교류로 변환시키는 단계;

광기전 인버터의 출력을 전력 그리드에 결합시키는 단계;

태양광 발전소가 태양광 발전소의 최대 허용 출력 한계를 초과하는 태양광 발전소 출력을 발생시키는 것을 검출하는 단계; 및

태양광 발전소가 태양광 발전소의 최대 허용 출력 한계를 초과하는 태양광 발전소 출력을 발생시키는 것을 검출한 것에 응답하여, 광기전 인버터의 설정점 가변 한계를 제1 인버터 설정점 한계로부터 제2 인버터 설정점 한계로 낮추는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 태양광 발전소 출력은 광기전 인버터에 의해 내보내지거나 흡수되는 무효 전력(reactive power)을 포함하고, 태양광 발전소의 최대 허용 출력 한계는 발전소에 의해 내보내지는 최대 허용 무효 전력을 포함하며, 제1 및 제2 인버터 설정점 한계들 각각은 인버터의 무효 전력 설정점 한계를 포함하는, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 태양광 발전소가 태양광 발전소의 최대 허용 출력 한계를 초과하는 태양광 발전소 출력을 발생시키는 것을 검출하는 단계는 제1 태양광 발전소 작동 상태에서 수행되고, 광기전 인버터의 설정점 가변 한계를 제1 인버터 설정점 한계로부터 제2 인버터 설정점 한계로 낮추는 단계는 제2 태양광 발전소 작동 상태에서 수행되는, 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 태양광 발전소 출력이 태양광 발전소의 최대 허용 출력 한계를 초과하지 않는 것을 검출한 것에 응답하여, 제1 태양광 발전소 작동 상태로 복귀하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 태양광 발전소는 제1 태양광 발전소 작동 상태에서 자동 전압 조정(automatic voltage regulation, AVR)에 의해 제어되는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 태양광 발전소 출력은 전력 그리드에의 상호접속점(point of interconnection, POI)에서 검출되는, 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 태양광 발전소가 태양광 발전소의 최대 허용 출력 한계를 초과하는 태양광 발전소 출력을 발생시키는 것을 검출하는 단계는 제1 태양광 발전소 작동 상태에서 수행되고, POI에서의 태양광 발전소 출력을 검출하는 계기(meter)와의 통신이 상실될 때 제3 작동 상태에 들어가는, 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 태양광 발전소 출력은 태양광 발전소의 역률을 포함하고, 발전소의 최대 허용 출력 한계는 태양광 발전소의 최대 허용 역률을 포함하며, 제1 및 제2 인버터 설정점 한계들 각각은 인버터의 역률 설정점 한

계를 포함하는, 방법.

청구항 9

태양광 발전소로서,

복수의 태양 전지들;

복수의 태양 전지들에 의해 발생된 직류를 교류로 변환시키도록 구성된 광기전 인버터;

전력 그리드에의 상호접속점에서 광기전 인버터의 출력을 검출하는 계기; 및

상태 기계(state machine)를 포함하는 발전소 제어기를 포함하며,

상기 발전소 제어기는 제1 작동 상태에서 상호접속점에서의 태양광 발전소의 출력을 검출하기 위해 계기를 판독하고, 태양광 발전소의 출력이 최대 허용 출력을 초과할 때 광기전 인버터의 설정점 가변 한계를 제1 인버터 설정점 한계로부터 제2 인버터 설정점 한계로 동적으로 조절하도록 구성되는, 태양광 발전소.

청구항 10

제9항에 있어서, 태양광 발전소의 출력은 무효 전력을 포함하고, 설정점 가변 한계는 인버터 무효 전력 설정점을 포함하는, 태양광 발전소.

청구항 11

제9항에 있어서, 태양광 발전소의 출력은 역률을 포함하고, 설정점 가변 한계는 인버터 역률 설정점을 포함하는, 태양광 발전소.

청구항 12

제9항에 있어서, 계기로부터 판독치를 수신하고 처리하도록 구성된 보상기(compensator)를 추가로 포함하는, 태양광 발전소.

청구항 13

제12항에 있어서, 보상기는 비례-적분(proportional-integral, PI) 보상기를 포함하는, 태양광 발전소.

청구항 14

제9항에 있어서, 태양광 발전소는 제1 작동 상태에서 자동 전압 조정(automatic voltage regulation, AVR)을 사용하여 제어되는, 태양광 발전소.

청구항 15

태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법으로서,

태양광 발전소의 유효 전력 출력이 최소 유효 전력 발생 수준 미만인 것을 검출하는 단계; 및

태양광 발전소의 유효 전력 출력이 최소 유효 전력 발생 수준 미만인 것을 검출한 것에 응답하여, 태양광 발전소의 광기전 인버터의 무효 전력 설정점을 단위 역률(unity power factor)로 하강(ramping down)시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

광기전 인버터의 무효 전력 설정점을 하강시킨 후에, 태양광 발전소의 유효 전력 출력이 활성화(enabling) 유효 전력 발생 수준 초과인 것을 검출하는 단계; 및

태양광 발전소의 유효 전력 출력이 활성화 유효 전력 발생 수준 초과인 것을 검출한 것에 응답하여, 광기전 인버터의 무효 전력 설정점을 상승(ramping up)시키는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 17

제16항에 있어서, 광기전 인버터의 유효 전력 출력은 전력 그리드에의 상호접속점에서 측정되는, 방법.

청구항 18

태양광 발전소로서,

복수의 태양 전지들;

복수의 태양 전지들에 의해 발생된 직류를 교류로 변환시키도록 구성된 광기전 인버터;

전력 그리드에의 상호접속점에서 광기전 인버터의 출력을 검출하도록 구성된 계기; 및

상호접속점에서의 태양광 발전소의 유효 전력 출력을 검출하기 위해 계기를 판독하고, 태양광 발전소의 유효 전력 출력을 최소 유효 전력 발생 수준과 비교하며, 태양광 발전소의 유효 전력 출력이 최소 유효 전력 발생 수준 미만인 것을 검출한 것에 응답하여 광기전 인버터의 무효 전력 설정점을 단위 역률로 하강시키도록 구성된 발전소 제어기를 포함하는, 태양광 발전소.

청구항 19

제18항에 있어서, 발전소 제어기는 태양광 발전소의 유효 전력 출력이 활성화 유효 전력 발생 수준 초과인 것을 검출한 것에 응답하여, 광기전 인버터의 무효 전력 설정점을 상승시키도록 추가로 구성되는, 태양광 발전소.

청구항 20

제19항에 있어서, 계기로부터 판독치를 수신하고 처리하도록 구성된 보상기를 추가로 포함하는, 태양광 발전소.

청구항 21

제20항에 있어서, 보상기는 비례-적분(PI) 보상기를 포함하는, 태양광 발전소.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 태양광 발전소(photovoltaic power plant)에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 태양광 발전소는 태양 복사선으로부터 전기를 발생시키기 위해 광기전 시스템(photovoltaic system)을 채용한다. 광기전 시스템은 상호접속된 태양 전지들을 각각 포함하는 태양광 패널들의 어레이를 포함할 수 있다. 태양 전지는 P-형 및 N-형 확산 영역들을 포함한다. 태양 전지에 부딪치는 태양 복사선은 확산 영역들로 이동하는 전자들 및 정공들을 생성함으로써, 확산 영역들 사이에 전압차를 생성한다. 배면 접점(backside contact) 태양 전지에서, 확산 영역들 및 이들에 결합된 금속 접촉 핑거(finger)들 둘 모두는 태양 전지의 배면 상에 있다. 접촉 핑거들은 외부 전기 회로가 태양 전지에 결합되게 하고 태양 전지에 의해 급전되게 한다.

[0003] 광기전 인버터(photovoltaic inverter)는 태양 전지들에 의해 발생된 직류를 상호접속점(point of interconnection, POI)에서 전력 그리드(power grid)에 결합시키기에 적합한 교류로 변환시킨다. 무효 전력(reactive power), 유효 전력(real power) 및 역률(power factor)과 같은 POI에서의 태양광 발전소의 출력이 요건들을 충족시키기 위해 지정된 값들의 범위 내에 있도록 제어된다. 본 발명의 실시예들은 POI 또는 다른 전달 노드(node)에서의 태양광 발전소 출력을 제어하기 위해 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

발명의 내용

[0004] 일 실시예에서, 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법은 복수의 태양 전지들을 사용하여 직류를 발생시키는 단계를 포함한다. 태양 전지들에 의해 발생되는 직류는 광기전 인버터(photovoltaic inverter)를 사용하여 교류로 변환된다. 광기전 인버터의 출력은 전력 그리드에 결합된다. 태양광 발전소가 태양광 발전소의 최대 허용 출력 한계를 초과하는 태양광 발전소 출력을 발생시키는 것으로 검출된다. 태양광 발전소가 태양광 발전소의 최대 허용 출력 한계를 초과하는 태양광 발전소 출력을 발생시키는 것을 검출한 것에 응답하여, 광기전 인버터

의 설정점 가변 한계가 제1 인버터 설정점 한계로부터 제2 인버터 설정점 한계로 낮춰진다.

[0005] 다른 실시예에서, 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법은 태양광 발전소의 유효 전력 출력이 최소 유효 전력 발생 수준 미만인 것을 검출하는 단계를 포함한다. 태양광 발전소의 유효 전력 출력이 최소 유효 전력 발생 수준 미만인 것을 검출한 것에 응답하여, 태양광 발전소의 광기전 인버터의 무효 전력 설정점이 단위 역률(unity power factor)로 하강(ramp down)된다.

[0006] 다른 실시예에서, 태양광 발전소는 복수의 태양 전지들, 복수의 태양 전지들에 의해 발생된 직류를 교류로 변환시키도록 구성된 광기전 인버터, 전력 그리드에의 상호접속점에서 광기전 인버터의 출력을 검출하는 계기, 및 상태 기계(state machine)를 포함하는 발전소 제어기를 포함한다. 발전소 제어기는 제1 작동 상태에서 상호접속점에서의 태양광 발전소의 출력을 검출하기 위해 계기를 판독하고, 태양광 발전소의 출력이 최대 허용 출력을 초과할 때 광기전 인버터의 설정점 가변 한계를 제1 인버터 설정점 한계로부터 제2 인버터 설정점 한계로 동적으로 조절하도록 구성된다.

[0007] 다른 실시예에서, 태양광 발전소는 복수의 태양 전지들, 복수의 태양 전지들에 의해 발생된 직류를 교류로 변환시키도록 구성된 광기전 인버터, 전력 그리드에의 상호접속점에서 광기전 인버터의 출력을 검출하도록 구성된 계기, 및 발전소 제어기를 포함한다. 발전소 제어기는 상호접속점에서의 태양광 발전소의 유효 전력 출력을 검출하기 위해 계기를 판독하고, 태양광 발전소의 유효 전력 출력을 최소 유효 전력 발생 수준과 비교하며, 태양광 발전소의 유효 전력 출력이 최소 유효 전력 발생 수준 미만인 것을 검출한 것에 응답하여 광기전 인버터의 무효 전력 설정점을 단위 역률로 하강시키도록 구성된다.

[0008] 본 발명의 이들 및 기타 특징들은, 첨부 도면 및 특허청구범위를 포함하는 본 개시 내용 전체를 읽을 때, 당업자에게 용이하게 명백할 것이다.

도면의 간단한 설명

[0009] 유사한 도면 부호가 도면들 전체에 걸쳐 유사한 요소를 가리키는 첨부 도면과 관련하여 고려될 때, 상세한 설명 및 특허청구범위를 참조함으로써 발명 요지의 보다 완전한 이해가 얻어질 수 있다.

<도 1>

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 구성요소들을 개략적으로 도시하는 도면.

<도 2>

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 부가 구성요소들을 개략적으로 도시하는 도면.

<도 3>

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 추가의 상세 사항을 개략적으로 도시하는 도면.

<도 4>

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 자동 전압 조정을 위한 상태 기계의 상태 다이어그램을 도시하는 도면.

<도 5 내지 도 7>

도 5 내지 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법의 흐름도.

<도 8>

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법의 흐름도.

<도 9>

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법의 흐름도.

<도 10>

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법의 흐름도.

<도 11>

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법의 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 본 개시 내용에서, 본 발명의 실시예들의 완전한 이해를 제공하기 위해, 장치, 구성요소 및 방법의 예들과 같은 다수의 구체적인 상세 사항이 제공된다. 그러나, 당업자는 본 발명이 구체적인 상세 사항들 중 하나 이상이 없이도 실시될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 다른 경우에, 본 발명의 태양들을 불명료하게 하는 것을 피하기 위해, 잘 알려진 상세 사항은 도시되거나 기술되지 않는다.

[0011] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소(200)의 구성요소들을 개략적으로 도시한다. 도 1의 예에 도시된 태양광 발전소(200)의 구성요소들은 복수의 결합기 상자(combiner box)(112)들, 복수의 태양광 패널(114)들 및 광기전 인버터(110)를 포함한다. 태양광 발전소는 복수의 광기전 인버터들을 포함할 수 있지만, 예시의 명확함을 위해 도 1에는 단지 하나만이 도시되어 있다. 태양광 패널(114)은 동일한 프레임 상에 장착되는 전기적으로 연결된 태양 전지들을 포함한다. 일 실시예에서, 각각의 태양광 패널(114)은 복수의 직렬 연결된 배면 접점 태양 전지(115)들을 포함한다. 전면 접점 태양 전지들이 또한 채용될 수 있다. 예시의 명확함을 위해, 배면 접점 태양 전지(115)들 중 일부만이 도 1에서 도면 부호가 붙어 있다.

[0012] 도 1에서와 같이, 광기전 스트링(photovoltaic string)은 복수의 직렬 연결된 태양광 패널(114)들을 포함한다. 일군의 태양광 패널(114)들이 결합기 상자(112)에 전기적으로 연결되며, 여기서 태양광 패널(114)들은 직렬로 연결된다. 광기전 스트링 내의 모든 태양광 패널(114)들이 직렬로 연결되도록 결합기 상자(112)들이 전기적으로 연결된다. 광기전 스트링의 출력은 인버터(110)에 전기적으로 연결되고, 인버터는 태양 전지(115)들에 의해 발생된 직류(DC)를, 예를 들어, 유틸리티 전력 그리드(utility power grid)로 전달하기에 적합한 교류(AC)로 변환시킨다.

[0013] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소(200)의 부가 구성요소들을 개략적으로 도시한다. 도 2는 도 1과 관련하여 기술된 인버터(110)들을 도시한다. 태양광 패널(114)들은 예시의 명확함을 위해 도 2에 도시되어 있지 않다. 도 2의 예에서, 태양광 발전소(200)의 구성요소들은 광기전 서브스테이션(photovoltaic substation)(210) 및 인버터 패드(inverter pad)(220)들에 위치된다.

[0014] 인버터 패드(220)는 인버터들이 위치되는 일반적인 영역이다. 인버터 패드(220)들은 전형적으로 서브스테이션(210)으로부터 떨어져, 전력 그리드와의 상호접속점(POI)(204)으로부터 멀리 위치된다. 통신 모듈(201)들은 인버터(110)들과 서브스테이션(210)에 위치된 구성요소들 사이에서의 데이터 통신을 허용한다. 인버터 패드(220)는 또한 아날로그-디지털 변환기, 디지털-아날로그 변환기, 및 인버터(110)의 작동을 지원하는 기타 구성요소들과 같은, 도 2에 구체적으로 도시되지 않은 부가 구성요소들을 포함할 수 있다.

[0015] 일 실시예에서, SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)를 사용하여 태양광 발전소(200)의 작동이 제어되며, 이때 발전소 제어기(202)는 중앙 제어 컴퓨터로서 역할한다. 일 실시예에서, 인버터(110), 발전소 제어기(202) 및 서브스테이션 컴퓨터(203)는 모드버스(Modbus) TCP/IP 통신 프로토콜에 따라 통신한다. 그 실시예에서, 통신 모듈(201)은 태양광 발전소(200)의 구성요소들 사이의 데이터 통신 링크를 제공하는 이더넷(Ethernet) 스위치를 포함한다. 모니터링 및 제어는 또한, 아날로그 시그널링에 의해, 예를 들어 신호를 위한 개별 배선을 제공하는 것에 의해 수행될 수 있다.

[0016] 도 2의 예에서, 인버터 패드(220)에서의 승압 변압기(step-up transformer)는 인버터(110)의 AC 전압 출력을 서브스테이션(210)으로의 분배를 위한 보다 높은 전압으로 승압시킨다. 또한 도 2의 예에서, 서브스테이션(210)에서의 발전기 승압(generator step-up, GSU) 변압기는, 전력 그리드(도시되지 않음)로의 분배를 위해 POI(204)에 결합되기 전에, 인버터 패드(220)들로부터 받은 AC 전압을 추가로 승압시킨다. 서브스테이션 컴퓨터(203)는 서브스테이션(210)의 제어 및 모니터링을 허용한다. 서브스테이션 컴퓨터(203)는 보호 회로를 제어하고, 계기(205)에 의해 POI(204)에서의 전압을 판독하도록 구성될 수 있다. 계기(205)는 종래의 전기 계기 또는 기타 감지 요소(예컨대, RMS 송신기)를 포함할 수 있다.

[0017] 서브스테이션(210)에서의 발전소 제어기(202)는 POI(204)에서의(또는 그 근방에서의) 전압, 역률, 유효 전력 또는 무효 전력의 제어를 용이하게 하도록 구성된 전용 또는 범용 컴퓨터를 포함할 수 있다. 도 2의 예에서, 발전소 제어기(202)는 태양광 발전소(200)의 무효 전력과 역률, 및/또는 인버터 단자 전압을 동적으로 제한하는 그리고 자동 전압 조정의 소프트 스타트(soft start) 및 소프트 스톱(soft stop)을 제공하는 상태 기계(400)를 포함한다.

[0018] 일 실시예에서, 발전소 제어기(202)는 제1 작동 상태에서 POI에서의 태양광 발전소(200)의 출력(예컨대, 무효 전력, 역률)을 검출하기 위해 POI 계기(205)를 판독하고, 태양광 발전소(200)의 출력이 최대 허용 출력(예컨대, 최대 무효 전력 또는 역률)을 초과할 때 광기전 인버터(110)의 설정점 가변 한계(예컨대, 인버터 무효 전력 또는 역률 설정점)를 제1 인버터 설정점 한계로부터 제2 인버터 설정점 한계로 동적으로 조절하도록 구성된다.

[0019] 일 실시예에서, 발전소 제어기(202)는 POI(204)에서의 태양광 발전소(200)의 유효 전력 출력을 검출하기 위해 POI 계기(205)를 판독하고, 태양광 발전소(204)의 유효 전력 출력을 최소 유효 전력 발생 수준과 비교하며, 태양광 발전소(200)의 유효 전력 출력이 최소 유효 전력 발생 수준 미만인 것을 검출한 것에 응답하여 광기전 인버터(110)의 무효 전력 설정점을 단위 역률(즉, 1.0 PF 또는 0의 무효 전력)로 하강시키도록 구성된다. 발전소 제어기(202)는, 태양광 발전소(200)의 유효 전력 출력이 최소 유효 전력 발생 수준보다 더 높은 활성화 유효 전력 발생 수준(enabling real power generation level) 초과인 것을 검출한 것에 응답하여, 태양광 발전소(200)의 무효 전력 출력을 증가시키기 위해 광기전 인버터(110)의 무효 전력 설정점을 상승(ramp up)시키도록 추가로 구성될 수 있다.

[0020] 상호접속점에서의 전압이 자동 전압 조정(automatic voltage regulation, AVR)에 의해 제어될 수 있다. 일반적으로 말하면, AVR은 그리드에의 분배부, 전달부 또는 다른 전기 연결부와의 상호접속점에서의 전압을 제어하기 위해 인버터에서의 무효 및/또는 역률 설정점들을 조작하는 것에 의한 태양광 발전소로부터의 무효 전력 내보냄/가져옴(export/import)의 조작을 수반할 수 있다. AVR은 또한 정적 VAR 보상기(static VAR compensator) 및 용량성 뱅크(capacitive bank)와 같은 무효 전력원을 갖는 태양광 발전소의 작동을 조정하는 데 채용될 수 있다.

[0021] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소(200)의 추가의 상세 사항을 개략적으로 도시한다.

[0022] 도 3의 예에서, 발전소 제어기(202)에 의해 기능 블록(301 내지 313)들이 수행된다. 잘 알 수 있는 바와 같이, 이들 기능은 소프트웨어, 하드웨어, 하드웨어/소프트웨어의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 발전소 제어기(202)는 아날로그 입력 직접 측정 및 제어, 데이터 통신(예컨대, 이더넷 네트워크 어댑터), 데이터 획득(예컨대, 신호의 수신) 및 제어(예컨대, 제어 신호의 송신)를 위한 하드웨어 인터페이스, 그리고 연관된 드라이버 소프트웨어를 갖는 컴퓨터를 포함할 수 있다. 발전소 제어기(202)는 그의 기능들을 수행하기 위해 애플리케이션 소프트웨어와 조합하여 전용 프로세서 또는 코-프로세서(co-processor)를 이용할 수 있다. 발전소 제어기(202)는 또한 정적 VAR 보상기 및 용량성 뱅크 등과 같은 무효 전력원을 갖는 태양광 발전소(200)의 작동을 조정하기 위해 다른 제어기들과 마스터-슬레이브(master-slave) 구성으로 채용될 수 있다.

[0023] 도 3의 예에서, 전역적 인버터 무효 전력 설정점 신호가 기능 블록(302 내지 306)들로부터 처리된다. 기능 블록(306)으로부터, 개별적 인버터 무효 전력 설정점 신호가 각각의 인버터(110)로 송신된다. 인버터(110)는 수신된 인버터 무효 전력 설정점에 기초하여 무효 전력을 내보낸다/흡수한다.

[0024] 도 3을 참조하면, 발전소 제어기(202)는 POI(204)에서의 전압을 설정하기 위해 설정값 전압으로서 채용되는 기준 전압(V_{REF})을 받는다. 합산기(301)는 기준 전압(V_{REF})에 의해 지시되는 바와 같은 POI(204)에서의 원하는 전압과 계기(205)에 의해 측정되는 바와 같은 POI(204)에서의 전압(V_{METER}) 사이의 차이에 기초하여 오차 신호(V_{ERR})를 발생시킨다.

[0025] 일 실시예에서, 기준 전압(V_{REF})과 계기 전압 판독치(V_{METER})는 발전소 제어기(202)에서 디지털 신호로서 처리된다. 이들 전압은 아날로그-디지털 변환기(ADC)를 사용하여 디지털로 변환되고, 이어서 데이터 통신 네트워크를 거쳐서 발전소 제어기(202)에 제공될 수 있다. 특정 예로서, 기준 전압(V_{REF})과 계기 전압 판독치(V_{METER})는 모드버스TCP 레지스터를 통해 발전소 제어기(202)에 제공될 수 있다. 발전소 제어기(202)에 의해 수신된 명령 및 입력(기준 전압(V_{REF}) 및 계기 전압 판독치(V_{METER})를 포함함)에 대해 경계 검사(bounds checking)가 수행될 수 있다.

[0026] 기준 전압(V_{REF}), 계기 전압 판독치(V_{METER}), 및 태양광 발전소에서의 다른 전압/전류가 태양광 발전소(200)의 나머지에 대한 적절한 변경에 의해 다른 유형의 신호들에 의해 나타내어질 수 있다. 예를 들어, 전압 신호가 전류 신호에 의해 나타내어질 수 있고, 그 반대도 가능할 수 있다. 다른 예로서, 태양광 발전소에서의 전압 및 전류는 RMS(제곱 평균 제곱근(root mean square))로 표현될 수 있다.

[0027] 응용에 따라 언로딩 데드밴드 기능(unloading deadband function)(302)이 활성화되거나 그렇지 않을 수 있다.

언로딩 데드밴드 기능(302)은 오차 전압(V_{ERR})이 인버터(110)에 대한 제어 신호를 조절함이 없이 소정 범위 내에서 변하게 한다. 보다 구체적으로는, 언로딩 데드밴드 기능(302)은, 그리드 전압(즉, POI(204)에서의 전압)이 한도(전형적으로 공칭값의 ±1%) 내에 있을 때 보상기(303)에 대한 입력이 위로 또는 아래로 변하게 하며, 인버터(110)를 인버터(110)가 단위 역률을 내보내도록 하는 설정값에서 유지하게 한다. 다시 말하면, 그리드 전압이 예를 들어 ±1% 내에 있는 경우, 보상기(303)에의 입력은 실제로 그리드 전압뿐이다. 이는 또한, 그리드 전압이 데드밴드 한계 내에 있는 경우, 인버터(110)가 단위 역률로 되게 할 것이다.

[0028] 일 실시예에서, 보상기(303)는 비례-적분(proportional-integral, PI) 제어 방식을 사용하여 오차 전압(V_{ERR})으로부터 전역적 인버터 무효 전력 설정점 신호를 발생시킨다. 사용될 수 있는 다른 제어 방식은 비례, 적분, 미분, 비례-적분, 적분-미분, 비례-미분, 및 비례-적분-미분을 포함한다. PI 보상기(303)는 절대적(absolute)일 수 있고, 이는 인버터 무효 전력 설정점이 오차 신호(V_{ERR}) 및 PI 보상기(303)의 비례 이득(Kp)과 적분 이득(Ki)에 기초하여 위로 또는 아래로 편의된다는(biased) 것을 의미한다. 보상기(303)는 또한 증분식(incremental)일 수 있다. 보상기(303)는 적분 와인드업 보호(integral windup protection) 및 포화 한계를 가질 수 있다. 보상기(303)는 그리드 장애가 일어날 때 트리거링되는 상태 기계 논리로 인해 활성화되거나 비활성화될 수 있다.

[0029] 무효 전력 한계 선택 기능(304)은, 인버터 전압 제한기 서브루프(inverter voltage limiter sub-loop)(330), 역률 제한기 서브루프(331) 및 무효 전력 제한기 서브루프(332)로부터의 입력들에 기초하여, 보상기(303)의 인버터 무효 전력 설정점 신호 출력을 감소 또는 증가시키도록 구성된다. 무효 전력 한계 선택 기능(304)은, 인버터(110)가 전압 한계(V_{INV} 한계), 역률 한계(PF 한계) 및 무효 전력 한계(Q 한계)를 초과하는 출력을 발생하지 않도록, 인버터 무효 전력 설정점 신호를 조절한다.

[0030] 인버터 전압 제한기 서브루프(330)는, 인버터(110)들의 단자들에서의 전압 출력에 기초하여, 인버터 무효 전력 설정점을 제한하도록 구성된다. 일 실시예에서, 태양광 발전소(200)에서의 모든 인버터(110)들의 단자 전압들이 함께 평균되어, 모든 인버터(110)들의 단자 전압을 나타내는 단일의 인버터 단자 전압을 발생시킨다. 다른 실시예에서, 모든 인버터들(110) 중에서 가장 높은 인버터 단자 전압은 모든 인버터(110)들의 단자 전압을 나타내는 데 사용된다. 인버터 단자 전압(인버터(110)들의 단자 전압들의 평균치, 최고치, 또는 다른 표현)이 전압 필터(341)에 의해 필터링되고, 합산기(309)에 의해 인버터 기준 전압 한계(V_{INV} 한계)와 비교된다. 합산기(309)의 출력은 보상기(308)에 입력되고, 보상기는 그의 출력을 무효 전력 한계 선택 기능(304)에 제공한다. 역률 및 무효 전력 서브루프와 달리, 인버터 전압 제한기 서브루프(330)는 (계기(205)로부터가 아니라) 인버터(110)로부터 직접 그의 측정치를 얻는다. 인버터 전압 제한기 서브루프(330)는 그 자신의 보상기(308)를 가지는데, 그 이유는 발전소 AC 집전 시스템을 통해 흐르는 유효 전력에서의 임피던스 변화로 인해 POI(204)에서의 전압이 인버터 단자들에서의 전압과 반드시 동일한 것은 아니기 때문이다. 보상기(308)는 PI 또는 다른 제어 방식을 채용할 수 있다.

[0031] 역률 제한기 서브루프(331)는, POI(204)에서 계기(205)에 의해 측정된 역률이 태양광 발전소(200)의 역률 한계(PF 한계)에 가깝거나, 그 한계이거나, 그 한계를 초과할 때, 인버터 무효 전력 설정점을 제한하도록 구성된다. 계기(205)로부터의 역률 판독치는 역률 필터(342)에 의해 필터링되고, 합산기(313)에 의해 역률 한계와 비교된다. 계기(205)로부터의 역률 판독치와 역률 한계 사이의 차이가 보상기(310)에 입력되고, 보상기는 그의 출력을 무효 전력 한계 선택 기능(304)에 제공한다. 역률 제한기 서브루프(331)는 그 자신의 보상기(310)를 가지는데, 그 이유는 발전소 AC 집전 시스템을 통해 흐르는 유효 전력에서의 임피던스 변화로 인해 POI(204)에서의 역률이 인버터 단자들에서의 역률과 반드시 동일한 것은 아니기 때문이다. 보상기(310)는 PI 또는 다른 제어 방식을 채용할 수 있다.

[0032] 무효 전력 제한기 서브루프(332)는, POI(204)에서 계기(205)에 의해 측정된 무효 전력이 태양광 발전소(200)의 무효 전력 한계(Q 한계)에 가깝거나, 그 한계이거나, 이 한계를 초과할 때, 인버터 무효 전력 설정점을 제한하도록 구성된다. 계기(205)로부터의 무효 전력 판독치는 무효 전력 필터(343)에 의해 필터링되고, 합산기(312)에 의해 무효 전력 한계와 비교된다. 계기(205)로부터의 무효 전력 판독치와 무효 전력 한계 사이의 차이가 보상기(311)에 입력되고, 보상기는 그의 출력을 무효 전력 한계 선택 기능(304)에 제공한다. 무효 전력 서브루프(332)는 그 자신의 보상기(311)를 가지는데, 그 이유는 발전소 AC 집전 시스템을 통해 흐르는 유효 전력에서의 임피던스 변화로 인해 POI(204)에서의 무효 전력이 인버터 단자들에서의 무효 전력과 반드시 동일한 것은 아니기 때문이다. 보상기(311)는 PI 또는 다른 제어 방식을 채용할 수 있다.

[0033] 무효 전력 변화율 제한 기능(305)은 인버터 무효 전력 설정점 신호의 변화율을 제한한다. 이는 인버터 무효 전력 설정점에 대한 빠르고 급격한 변화에 대해 보호한다.

[0034] 인버터 이용가능 기능(306)은 인버터 정지(inverter outage)를 검출하기 위해 하트비트 신호(340)를 주기적으로 수신한다. 도 3에서는 예시의 명확함을 위해 하나의 인버터(110)로부터의 하나의 하트비트 신호(340)만이 도시되어 있다. 실제로, 각각의 인버터(110)로부터 개별적인 하트비트 신호(340)가 수신될 수 있다. 각각의 이용가능한 인버터(110)에 대해, 인버터 이용가능 기능(306)은 대응하는 인버터 무효 전력 설정점 신호를 개별적 무효 전력 변화율 제한 기능(307)에 출력한다.

[0035] 개별적 무효 전력 변화율 제한 기능(307)은 대응하는 인버터(110)에 제공되는 각각의 개별 인버터 무효 전력 설정점 신호에 적용된다. 일 실시예에서, 인버터 무효 전력 설정점 신호(Inv Q SP)가 모드버스TCP 레지스터를 통해 대응하는 인버터(110)에 제공된다. 인버터 무효 전력 설정점 신호가 레지스터로부터 판독되고 아날로그 전압 신호로 변환되며, 이 신호는 이어서 인버터(110)가 위치된 인버터 패드(220)에서의 인버터(110)의 단자에 제공된다.

[0036] 개별적 무효 전력 변화율 제한 기능(307)은 또한 인버터 정지에 응답하여 인버터 무효 전력 설정점을 상승 또는 하강시키도록 구성된다. 예를 들어, 인버터(110)가 오프라인(예컨대, 하트비트를 놓침)인 경우, 기능(307)은 그 인버터(110)를 위한 인버터 무효 전력 설정점을 단위 역률로 또는 0의 무효 전력으로 설정할 수 있다. 그 인버터(110)가 다시 온라인으로 될 때, 기능(307)은 그 인버터(110)에 대한 인버터 무효 전력 설정점을 AVR에 의해 지시되는 전역적 무효 전력 설정점으로 다시 설정할 수 있다.

[0037] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 자동 전압 조정을 위한 상태 기계(400)의 상태 다이어그램을 도시한다. 발전소 제어기(202)(도 2 참조)는 상태 기계(400)에 의해 지시되는 작동들을 수행할 수 있다.

[0038] 상태 기계(400)에서, 상태(423, 424, 425, 426, 427, 429)들은, AVR이 온(on) 상태이지만 태양광 발전소(200)가 무효 전력, 역률, 전압 또는 최소 유효 전력 발생 한계에 도달하는 것으로 인해 전압 제어가 상실되는 조건을 나타낸다. 상태(470, 480)들은 태양광 발전소(200) 및 인버터(110)들의 무효 전력 설정점(즉, 발전소 전체에 대한 무효 전력 설정점)이 수동으로 설정되고, 폐루프 제어가 없으며, AVR이 오프 상태로 되는 조건을 나타낸다. 상태(421, 422, 430)들은 순간적(상태(421, 430)들의 경우) 또는 지속적(상태(422)의 경우) 이상 조건(anomalous condition)이 검출되고 전역적 인버터 무효 전력 설정점의 마지막 값이 유지되는 조건을 나타낸다.

[0039] 상태 기계(400)는 상태 기계(400)가 초기화될 때의 디폴트(default) 상태인 초기 상태(410)로부터 시작한다. 초기 상태(410)로부터, 상태 기계(400)는 운전으로의 천이(transition to run) 상태(429)로 천이한다. 상태(429)에서, 태양광 발전소(200)의 비례-적분-미분(PID) 또는 다른 제어 방식이 초기화하기 위해 스캔 사이클을 수행한다. 일 실시예에서, PID 제어 방식은 상태(420, 423, 426, 427, 425)들에서 채용된다. 상태(429)에서 AVR이 활성화될 수 있는지를 확인하기 위해 입력 파라미터들이 또한 검사된다.

[0040] 상태(429)로부터, 상태 기계(400)는 폐루프 제어가 활성화되고 올바르게 작동하며 그리드 전압이 설정점 데드밴드 내에 있는 AVR 상태(420)로 천이한다. 더 구체적으로는, 상태(420)에서, AVR이 활성화되고 폐루프 제어에서 작동하고 있다. 상태(420)에서, AVR 제어 방식은 POI(204)에서의 전압을 제어하기 위해 발전소 및 인버터 무효 전력 설정점을 제어한다. 설정점 데드밴드는, 예를 들어 인버터(110)들이 무효 전력을 제공하라고 명령받기 전에, POI(204)에서 측정되는 그리드 전압이 +/- 1% 변하게 할 수 있다. 상태(420)로부터, 상태 기계(400)는 태양광 발전소(200)의 조건들에 따라 다른 상태들로 천이할 수 있다.

[0041] 상태 기계(400)는, AVR이 오프 상태로 되고 활성화되지 않을 때, AVR 상태(420)로부터 수동 인버터 설정점 상태(470)로 그리고 수동 발전소 설정점 상태(480)로 천이한다. 대신에, 인버터(110)들(상태(470)) 및 태양광 발전소(200)(상태(480))는 특정의 무효 전력(단위: kVAR)을 지시할 수 있는 특정의 무효 전력 설정점으로 명령받는다. 일 실시예에서, 모드를 스위칭할 때, 즉 무효 전력 설정점의 AVR 제어(상태(420))로부터 수동 제어(상태(470, 480)들)로 천이할 때, 무충돌 전환(bumpless transfer)이 사용된다. 다시 AVR 모드로 가기 위해, 상태 기계(400)는 상태(470, 480)들로부터 운전으로의 천이 상태(429)로 그리고 이어서 AVR 상태(420)로 천이한다.

[0042] 상태 기계(400)는, POI 계기(이 예에서는, 계기(205)임)와의 통신의 순간적인 상실의 발생 시에, AVR 상태(420)로부터 페일 세이프(fail safe) 상태(421)로 천이한다. 상태(421)에서, AVR 루틴은 전역적 인버터 무효 전력 설정점을 그의 마지막 위치(즉, 마지막 값)에 유지시킨다. 상태 기계(400)는, POI 계기와의 통신 문제가 해결될 때 AVR을 재개하기 위해, 자동으로 다시 상태(420)로 천이한다.

[0043] 상태 기계(400)는 순간적인 POI 계기 판독 오류의 발생 시에 AVR 상태(420)로부터 페일 세이프 상태(430)로 천이한다. 예를 들어, 계기(205)가 짧은 순간 동안 허용 범위를 벗어난 판독치를 제공할 때와 같이, 계기(205)가 의심스런 유효 전력, 무효 전력, 역률 또는 전류 측정치를 제공할 때, 상태(420)로부터 상태(430)로의 천이가 일어날 수 있다. 상태(430)에서, 자동 전압 조정 루틴은 인버터 무효 전력 설정점들을 그들의 마지막 위치에 유지시킨다. 상태 기계(400)는, 계기(205)의 판독치에 대한 문제가 해결될 때 AVR을 재개하기 위해, 자동으로 다시 상태(420)로 천이한다.

[0044] 상태 기계(400)는, 지속적인 오류성 POI 계기 판독 또는 지속적인 POI 계기 통신 실패와 같은 지속적인 오류성 POI 계기-관련 문제의 발생 시에, AVR 상태(420)로부터 페일 세이프 상태(422)로 천이한다. 예를 들어, 계기(205)가 허용 범위를 벗어난 판독치를 제공할 때와 같이, 계기(205)가 지속적으로 의심스런 유효 전력, 무효 전력, 역률 또는 전류 측정치를 제공할 때, 상태(420)로부터 상태(422)로의 천이가 일어날 수 있다. 다른 예로서, 상태 기계(400)는, 소정의 양의 시간 초과 동안 계기(205)와의 통신이 확립될 수 없을 때, 상태(420)로부터 상태(422)로 천이할 수 있다. 상태(422)는, 순간적이거나 일시적인 것과 달리, 지속적인 POI 계기 관련 문제가 있는 조건에 대한 것이기 때문에, AVR 루틴은 전역적 인버터 무효 전력 설정점을 단위 역률로 변화시키도록 구성된다. 상태 기계(400)는, POI 계기에 대한 문제가 해결될 때 자동 전압 조정을 재개하기 위해, 자동으로 다시 상태(420)로 천이한다.

[0045] 상태 기계(400)는, 태양광 발전소(200)의 역률이 POI 계기에 의해(즉, POI(204)에서) 측정된 최대 허용 역률(PFmax)을 초과할 때, AVR 상태(420)로부터 AVR 역률 제한 상태(426)로 천이한다. 상태(426)는 발전소(200)의 역률을 최대 허용 역률(PFmax)보다 낮은 값으로 감소시킨다. 태양광 발전소(200)의 역률이 역률 제한기 서브루프(331)(도 3 참조)를 통해 검출되고 처리될 수 있다. 상태(426)에서, 인버터 무효 전력 설정점은 그대로 유지되거나 발전소 역률 값을 허용 한계 내에 가져오도록 수정될 수 있다. 상태 기계(400)는, 태양광 발전소(200)의 역률이 허용 한계로 돌아갈 때, 자동으로 다시 상태(420)로 천이한다.

[0046] 상태 기계(400)는, POI 계기에 의해 측정되는 바와 같은 태양광 발전소(200)에 의해 내보내지는 무효 전력이 최대 허용 무효 전력(Qmax)을 초과할 때, AVR 상태(420)로부터 AVR 무효 전력 제한 상태(423)로 천이한다. 상태(423)는 발전소의 무효 전력을 최대 허용 무효 전력(Qmax)보다 낮은 값으로 감소시킨다. 태양광 발전소(200)에 의해 내보내지는 무효 전력이 무효 전력 제한기 서브루프(332)(도 3 참조)를 통해 검출되고 처리될 수 있다. 상태(423)에서, 인버터 무효 전력 설정점은 그대로 유지되거나 발전소 무효 전력 값을 허용 한계 내에 가져오도록 수정될 수 있다. 상태 기계(400)는, 태양광 발전소(200)에 의해 내보내지는 무효 전력이 허용 한계로 돌아갈 때, 자동으로 다시 상태(420)로 천이한다.

[0047] 상태 기계(400)는, 인버터 단자 전압(예컨대, 인버터(110)들의 단자들에서의 전압들의 평균)이 최대 허용 단자 전압에 도달할 때, AVR 상태(420)로부터 AVR 인버터 전압 제한 상태(427)로 천이한다. 인버터 단자 전압이 전압 제한기 서브루프(330)(도 3 참조)를 통해 검출되고 처리될 수 있다. 상태(427)에서, 인버터 무효 전력 설정점은 그대로 유지되거나 인버터 단자 전압을 허용 한계 내에 가져오도록 수정될 수 있다. 상태 기계(400)는, 인버터 단자 전압이 허용 한계로 돌아갈 때, 자동으로 다시 상태(420)로 천이한다.

[0048] 상태 기계(400)는, 태양광 발전소(200)에 의해 발생된 유효 전력이 최소 유효 전력 발생 수준 미만으로 될 때, AVR 상태(420)로부터 AVR 유효 전력 컷아웃 상태(424)로 천이한다. 태양광 발전소(200)에 의해 발생되는 유효 전력이 POI 계기(도 2의 계기(205) 참조)로부터 발전소 제어기(202)에 의해 판독될 수 있다. 상태(424)에서, 인버터 무효 전력 설정점이 점차적으로 단위 설정점(unity setpoint)으로 변화된다. 상태 기계(400)는 유효 전력 발생 수준이 히스테리시스를 위한 최소 유효 전력 발생 재개 수준(minimum real power resume generation level)보다 더 높은 활성화 수준 위로 상승할 때까지 상태(424)에 머물러 있다.

[0049] 상태 기계(400)는, 상태 기계(400)가 이전에 낮은 유효 전력 발생 상태(즉, 상태(424))의 상태에 있었고, 태양광 발전소(200)에 의해 발생된 유효 전력이 활성화 수준 위로 상승하고 인버터 무효 전력 설정점이 이제 AVR 제어를 위한 적절한 값으로 상승될 때, AVR 상태(420)로부터 AVR 상승 상태(425)로 천이한다. 상태 기계(400)는, 태양광 발전소(200)에 의해 발생된 유효 전력이 최소 유효 전력 발생 수준 위로 상승할 때, 상태(425)로부터 상태(420)로 자동으로 천이한다.

[0050] 도 5 내지 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법의 흐름도를 도시한다. 도 5 내지 도 7의 흐름도는 발전소 제어기(202)에 의해 수행되는 바와 같은 상태 기계(400)의 작동의 상세 사항을 도시한다.

[0051] 도 5로부터 시작하면, 상태 기계(400)는 초기 상태(410)에서 시작한다. 상태 기계(400)가 AVR 모드로 가라는 명령을 수신할 때(블록(503)), 상태 기계(400)는 운전으로의 천이 상태(429)로 천이한다. 발전소 조작자는 또한 AVR을 온 상태로 하라는 명령을 발행할 수 있다. 상태(429)로부터 AVR 상태(420)로 천이하기 전에, AVR이 활성화될 수 있는지를 확인하기 위해 일련의 검사들이 수행된다.

[0052] 운전으로의 천이 상태(429)에서, 상태 기계(400)는 수동 인버터 설정점 모드에서 운전하라는 명령에 대해 검사한다. 수동 발전소 무효 전력 설정점 모드에서 운전하라는 명령이 있는 경우(블록(504)), 상태 기계(400)는 수동 발전소 설정점 상태(480)로 천이하고 자동 전압 조정 모드로 가라는 명령이 수신될 때까지(블록(506)) 상태(480)에 머물러 있는다. 유사하게, 수동 인버터 무효 전력 설정점 모드에서 운전하라는 명령이 있는 경우(블록(505)), 상태 기계(400)는 수동 인버터 설정점 상태(470)로 천이하고 자동 전압 조정 모드로 가라는 명령이 수신될 때까지(블록(507)) 상태(470)에 머물러 있는다.

[0053] 적절한 작동을 위해 POI 계기와의 통신 및 그의 판독치가 검사된다(도 5의 노드 "D"에서 도 6의 노드 "D"로). 상태 기계(400)는, 판독치들이 5초 초과의 시간 동안 불량일 때 또는 POI 계기와의 통신이 상실되고 소정의 기간 내에 재확립될 수 없을 때와 같이 POI 계기 판독치(예컨대, 유효 전력, 무효 전력, 역률 및 전류)가 지속적으로 불량일 때(블록(551)), 페일 세이프 상태(422)에 들어갈 수 있다. 상태 기계(400)는, 측정치가 5초 미만의 시간 동안 불량일 때와 같이 POI 계기 측정치가 순간적으로 불량일 때(블록(552)), 페일 세이프 상태(430)에 들어간다. 상태 기계(400)는, POI 계기와의 통신이 순간적으로 상실될 때(블록(553)), 페일 세이프 상태(421)에 들어간다. 상태 기계(400)는, 이들 POI 계기 관련 문제가 해결될 때, 운전으로의 천이 상태(429)의 시작으로 되돌아간다(블록(554, 555, 556)들; 도 6의 노드 "B"에서 도 5의 노드 "B"로).

[0054] 상태 기계(400)는 설정점 데드밴드를 포함할 수 있다(블록(701); 도 6의 노드 "E"에서 도 7의 노드 "E"로). 일 실시예에서, 설정점 데드밴드는, 예를 들어 인버터(110)들이 무효 전력을 제공하라고 명령받기 전에, POI(204)에서 측정되는 그리드 전압이 +/- 1% 변하게 한다.

[0055] 태양광 발전소(200)에 의해 발생되는 유효 전력이 최소 유효 전력 발생 수준과 비교된다(블록(702)). 태양광 발전소(200)에 의해 발생되는 유효 전력이 최소 유효 전력 발생 수준에 도달할 때, 상태 기계(400)는 인버터 무효 전력 설정점을 단위 설정점으로 하강시키기 위해 AVR 유효 전력 발생 컷아웃 상태(424)에 들어간다. 광기전 시스템(200)에 의해 발생되는 유효 전력이 활성화 수준 위로 상승할 때(블록(706)), 상태 기계(400)는 인버터 무효 전력 설정점을 AVR 제어에 적절한 값으로 상승시키기 위해 AVR 상승 상태(425)에 들어간다(블록(707)). 상태 기계(400)는 이어서 운전으로의 천이 상태(429)의 시작으로 되돌아간다(도 7의 노드 "A"에서 도 5의 노드 "A"로).

[0056] 상태 기계(400)는, 인버터(110)들의 평균 단자 전압이 최대 허용 단자 전압을 초과할 때, AVR 인버터 전압 제한 상태(427)에 들어간다(블록(703)). 도 7의 예에서, 인버터(110)들의 단자 전압들의 평균(Vinv_avg)이 최대 허용 단자 전압(Vmax)과 비교하기 위한 인버터 단자 전압으로 간주된다. 상태 기계(400)는, 태양광 발전소(200)에 의해 내보내지는 무효 전력이 최대 허용 무효 전력(Qmax)을 초과할 때, AVR 무효 전력 제한 상태(423)에 들어간다(블록(704)). 상태 기계(400)는, 태양광 발전소(200)의 역률이 최대 허용 역률(PFmax)를 초과할 때, AVR 역률 제한 상태(426)에 들어간다(블록(705)). 상태 기계(400)는, 이들 조건이 해결될 때, 운전으로의 천이 상태(429)의 시작으로 되돌아간다(블록(708, 709, 710)들; 도 7의 노드 "A"에서 도 5의 노드 "A"로).

[0057] 운전으로의 천이 상태(429)(도 5 참조)로부터, 상태 기계(400)는, 전술된 일련의 검사들이 자동 전압 조정 모드에 들어갈 수 있는 것으로 확인할 때, AVR 상태(420)로 천이한다. 상태(420)의 자동 전압 조정 모드로부터, 상태 기계(400)는 태양광 발전소(200)의 후속 조건에 따라 다른 상태들에 들어갈 수 있다.

[0058] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법(800)의 흐름도를 도시한다. 도 8의 예에서, 방법(800)은 상태(424, 425)들을 수반하는 상태 기계(400)의 작동들을 포함한다. 방법(800)에서, 태양광 발전소(200)에 의해 발생되는 유효 전력이 도 8의 예에서의 최소 유효 전력 발생 수준인 트리거점(trigger point)과 비교된다(블록(702); 역시 도 7 참조). 태양광 발전소(200)에 의해 발생되는 유효 전력이 POI 계기에 의해 측정되는 것과 같은 최소 유효 전력 발생 수준(Pmin) 미만일 때, 상태 기계(400)는 인버터 무효 전력 설정점을 단위 역률(즉, 1.0 PF 또는 0 kVar)로 하강시키기 위해 AVR 유효 전력 발생 컷아웃 상태(424)에 들어간다(블록(424)). 광기전 시스템(200)에 의해 발생되는 유효 전력이 활성화 수준(P_resume) 위로 상승할 때(블록(722)), 상태 기계(400)는 인버터 무효 전력 설정점을 AVR 제어에 적절한 값으로 상승시키기 위해 AVR 상승 상태(425)에 들어간다. 일 실시예에서, 상태(425) 하에서 인버터 무효 전력 설정점을 상승시키는 것은, 예를 들어, 태양광 발전소(200)가 AVR 상태(420)에 들어감으로써 AVR 모드에 놓이게 되기 전에 정상 상태에 도달하기

위해, 적어도 8분 동안 수행된다(블록(723)). 발전소 발전 규모, 무효 전력 필요량, 또는 기타 발전소 및 지역 특성에 기초하여 특정의 태양광 발전소에 대해 상승 기간 구간이 최적화될 수 있다.

[0059] 방법(800)은 태양광 발전소에 관한 문제를 해결한다. 소정의 과도 조건이 발생할 때, AVR 자체가 POI 전압의 엄격한 제어를 회복할 수 없을 수도 있다. 예를 들어, 인버터들이 온라인으로 되는 아침에, 전력을 내보내기에 충분한 DC(직류) 전압이 존재하기 때문에, 인버터들이 슬립 모드(sleep mode)로부터 깨어날 수 있다. 그러나, 인버터들이 이 조건 하에서 전력 게이팅(gating) 및 내보내기를 시작할 때, 인버터들은 내보내기에 충분한 전력이 없는지를 감지할 수 있고, 결과적으로 정지될 것이다. 하나 이상의 인버터들에 대해 여러번 기동 및 정지 사이클이 반복될 수 있고, AVR을 교란시킬 수 있다. 방법(800)에서, 인버터들이 방법(800)(블록(702, 722)들을 참조)의 경우에 POI에서 또는 인버터 단자들에서 측정되는 충분한 유효 전력(P_resume)을 발생할 수 있을 때까지 AVR에 들어가지 않음으로써, 소프트 스타트가 수행된다. 일단 인버터들이 충분한 유효 전력 수준 초과의 유효 전력을 발생시키면, AVR의 제어 변수인 인버터 무효 전력 설정점이 AVR 제어 방식에 의해 결정되는 그의 최종 값으로 선형적으로 매끄럽게 상승될 수 있다. 이는 태양광 발전소가 전력 그리드 또는 발전소 작동을 교란시킬 가능성이 적은 매끄러운 방식으로 오전 동안에 또는 발전소 정지로부터 온라인으로 되게 한다.

[0060] 유사하게, 태양광 발전소가 저녁에 또는 계획된 정지를 위해 막 정지하려 할 때(예컨대, 감축 명령), AVR은 정의된 기간 구간(도 8의 예에서, 8분임)(블록(723)을 참조)에 걸쳐 인버터 무효 전력 설정점을 0의 무효 전력(0 kVar) 또는 단위 역률로 선형적 방식으로 하강시킴으로써 소프트 스톱될 수 있다. 발전소 발전 규모, 무효 전력 필요량, 또는 기타 발전소 및 지역 특성에 기초하여 특정의 태양광 발전소에 대해 기간 구간이 최적화될 수 있다. 태양광 발전소가, 예를 들어, 방사조도 유도된(irradiance induced) 전력 변동, 인버터 정지/기동, 차단기 트립(breaker trip) 등으로 인해 반복하여 뜻하지 않게 정지 또는 기동하지 않도록 소프트 스타트와 소프트 스톱 임계값들 사이에 적절한 데드밴드가 구성될 수 있다.

[0061] 방법(800)에서, 인버터 무효 전력 설정점이 AVR을 소프트 스타트 또는 소프트 스톱시키도록 변화된다. 다른 실시예들에서, 역률 설정점이 AVR을 소프트 스타트시키기 위해 그의 최종 목적지로 상승되거나, AVR을 소프트 스톱시키기 위해 단위 역률 또는 0의 무효 전력(0 kVar)으로 하강된다.

[0062] 전술된 소프트 스타트 및 소프트 스톱 기법이 주 제어 루프인 AVR과 관련하여 설명된다. 소프트 스타트 및 소프트 스톱 기법으로부터 역시 이득을 볼 수 있는 다른 주 제어 루프들이 역률 제어 및 무효 전력 제어를 포함한다.

[0063] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법(900)의 흐름도를 도시한다. 도 9의 예에서, 방법(900)은 상태(423)를 수반하는 상태 기계(400)의 작동들을 포함한다. 도 9의 흐름도에서, 상태 기계(400)는, 태양광 발전소(200)에 의해 내보내지는 무효 전력(예컨대, POI(204)에서 측정됨)이 최대 허용 무효 전력(Qmax)를 초과할 때, AVR 무효 전력 제한 상태(423)에 들어간다(블록(704); 역시 도 7 참조). 그렇지 않은 경우, 상태 기계(400)는, AVR 상태(420)에 대한 다른 조건들 모두가 충족되는 것으로 가정하여, AVR 상태(420)에 들어간다. 서브루프(332)(도 3 참조)의 PI 보상기(311)(블록(732)에서의 "POI Q PI 보상기")는 무효 전력 한계(블록(732)에서의 "입력: SP=Qlimit") 및 POI 계기 무효 전력 판독치("입력: PV=POI_Q") 둘 모두를 수신한다. PI 보상기(311)의 출력(Q_Qlimit)(블록(732)에서의 "출력: Q_Qlimit=PID_out")이 무효 전력 한계 선택 기능(304)에 입력되고, 이 기능은 AVR에 의해 설정된 설정점(Q_AVR)과 PI 보상기(311)의 출력(Q_Qlimit) 중 더 낮은 것으로서 인버터 무효 전력 설정점을 출력한다(블록(733)).

[0064] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법(950)의 흐름도를 도시한다. 도 10의 예에서, 방법(950)은 상태(426)를 수반하는 상태 기계(400)의 작동들을 포함한다. 도 10의 흐름도에서, 상태 기계(400)는, 태양광 발전소(200)의 역률이 최대 허용 역률(PFmax)을 초과할 때, AVR 역률 제한 상태(426)에 들어간다(블록(705); 역시 도 7을 참조). 그렇지 않은 경우, 상태 기계(400)는, AVR 상태(420)에 대한 다른 조건들 모두가 충족되는 것으로 가정하여, AVR 상태(420)에 들어간다. 서브루프(331)(도 3 참조)의 PI 보상기(310)(블록(742)에서의 "POI PF PI 보상기")는 역률 한계("입력: SP=PFlimit) 및 POI 계기 역률 판독치("입력: PV=POI_PF") 둘 모두를 수신한다. PI 보상기(311)의 출력(Q_PFlimit)(블록(742)에서의 "출력: Q_PFlimit=PID_out")이 무효 전력 한계 선택 기능(304)에 입력되고, 이 기능은 AVR에 의해 설정된 설정점(Q_AVR)과 PI 보상기(311)의 출력(Q_PFlimit) 중 더 낮은 것으로서 인버터 무효 전력 설정점을 출력한다(블록(743)).

[0065] 종종, 태양광 발전소는 인버터들이 내보내거나 흡수할 수 있는 무효 전력 전부를 내보내거나 흡수할 필요는 없다. 때때로, 계약상의 협약은 태양광 발전소가 어떤 무효 전력 및/또는 역률을 내보내거나 흡수할 수 있어야

하는지를 나타낼 수 있다. 태양광 발전소가 인버터 무효 전력의 완전한 내보내기/흡수를 허용하는 경우, 인버터들은 인버터들의 겉보기 전력 한계(apparent power limit)로 인해 태양광 발전소의 유효 전력 출력을 감축시킬 수 있다. 방법(900, 950)들은, 방법(900)의 경우에 발전소 무효 전력을 그리고 방법(950)의 경우에 역률을 동적으로 제한함으로써, 태양광 발전소와 연관된 이들 문제를 해결한다. 한계는 인버터의 능력을 사용하는 것 대신에 상호접속점(또는 어떤 다른 위치)으로부터의 공정 값 측정을 이용한다는 점에서 동적이다. 동적 한계는 태양광 발전 설비 AC 집전, 변압기, 필터, 스위칭 요소 등 내에서 일어나는 무효 전력 내보내기/흡수의 변화들을 고려할 수 있다.

[0066] 예를 들어, 방법(900)의 경우에, 발전소에 의해 발생되는 무효 전력이 발전소에 대한 최대 허용 무효 전력을 초과하는 경우, 무효 전력 하한이 인버터 무효 전력 설정점에 부과된다. 인버터 무효 전력 설정점에 대한 무효 전력 하한은 발전소 무효 전력 한계를 원하는 한계로 낮춘다. 발전소에 의해 발생되는 무효 전력의 크기가 발전소에 대한 최대 허용 무효 전력 미만인 경우, 상태(423)에서 인버터 무효 전력 설정점에 대해 부과되는 무효 전력 하한은 상태(420)에서 AVR 모드로 다시 가는 것에 의해 제거된다. 인버터들이 발전소 무효 전력 한계 근방에서 작동하게 하기 위해, 발전소 무효 전력의 크기가 상태(423)에서의 무효 전력 하한에 아주 가깝거나 거의 동일한 값을 가질 때, 상태(423)에서 인버터 무효 전력 설정점에 부과되는 무효 전력 하한이 또한 상태(423)에 머무르기 위해 약간 상승될 수 있다.

[0067] 유사하게, 방법(950)의 경우에, 발전소 역률이 최대 허용 역률을 초과할 때 인버터 역률 설정점에 제한이 부과된다. 인버터 역률 설정점에 대한 인버터 역률 하한은 발전소 역률을 원하는 한계로 낮춘다. 발전소 역률의 크기가 최대 허용 발전소 역률 미만인 경우, 상태(426)에서 발전소 역률 설정점에 대해 부과되는 인버터 역률 하한은 상태(420)에서 AVR 모드로 다시 가는 것에 의해 제거된다. 인버터들이 발전소 역률 한계 근방에서 작동하게 하기 위해, 발전소 역률의 크기가 상태(426)에서의 발전소 역률 하한에 아주 가깝거나 거의 동일한 값을 가질 때, 상태(426)에서 인버터 역률 설정점에 부과되는 발전소 역률 하한이 또한 상태(426)에 머무르기 위해 약간 상승될 수 있다.

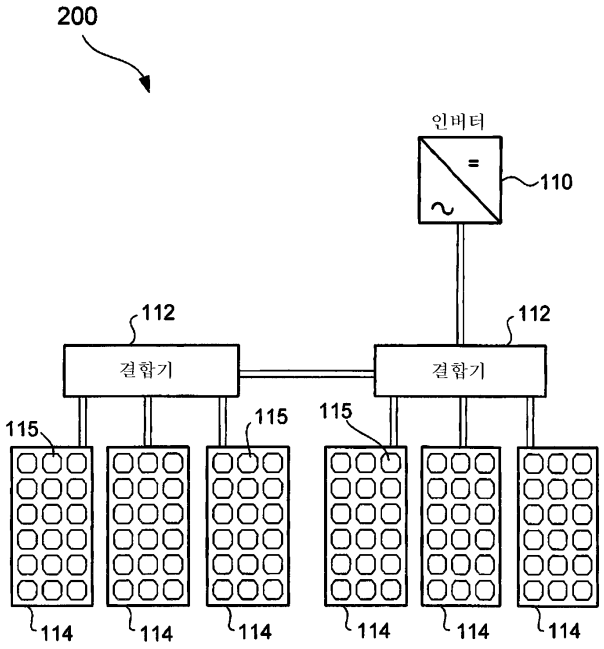
[0068] 방법(900, 950)들의 동적 한계가 동시에 부과되고 제어될 수 있다. 또한, 방법(900, 950)들이 AVR과 관련하여 기술되어 있지만, 방법(900, 950)들이 또한 자동 역률 제어, 무효 전력 제어, 응급 VAR 지원 제어, 및 기타 제어 방식에 적용될 수 있다.

[0069] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 발전소의 작동을 제어하는 방법의 흐름도를 도시한다. 도 11의 흐름도는 상태(427)를 수반하는 상태 기계(400)의 추가의 상세 사항을 도시한다. 도 11의 흐름도에서, 발전소 제어기(202)와 적절히 통신하는 각각의 인버터(110)(블록(751))는 인버터 단자 전압 신호를 형성하도록 단자 전압들이 함께 평균되는 인버터(110)들의 그룹에 포함된다(블록(752)). 상태 기계(400)는, 인버터(110)들의 평균 단자 전압이 최대 허용 단자 전압(Vmax)을 초과할 때, AVR 인버터 전압 제한 상태(427)에 들어간다(블록(703); 역시 도 7을 참조). 그렇지 않은 경우, 상태 기계(400)는, AVR 상태(420)에 대한 다른 조건들 모두가 충족되는 것으로 가정하여, AVR 상태(420)에 들어간다. 서브루프(330)(도 3 참조)의 PI 보상기(308)(블록(754)의 "POI 인버터 단자 전압 PI 보상기")는 인버터 기준 전압 한계("입력: Vinv=Vinv_limit) 및 평균 인버터 단자 전압("입력: PV=Vinv_avg") 둘 모두를 수신한다. PI 보상기(308)의 출력(Q_Vlimit)(블록(754)에서의 "출력: Q_Vlimit=PID_out")이 무효 전력 한계 선택 기능(304)에 입력되고, 이 기능은 AVR에 의해 설정된 설정점(Q_AVR)과 PI 보상기(308)의 출력(Q_Vlimit) 중 더 낮은 것으로서 인버터 무효 전력 설정점을 출력한다(블록(755)).

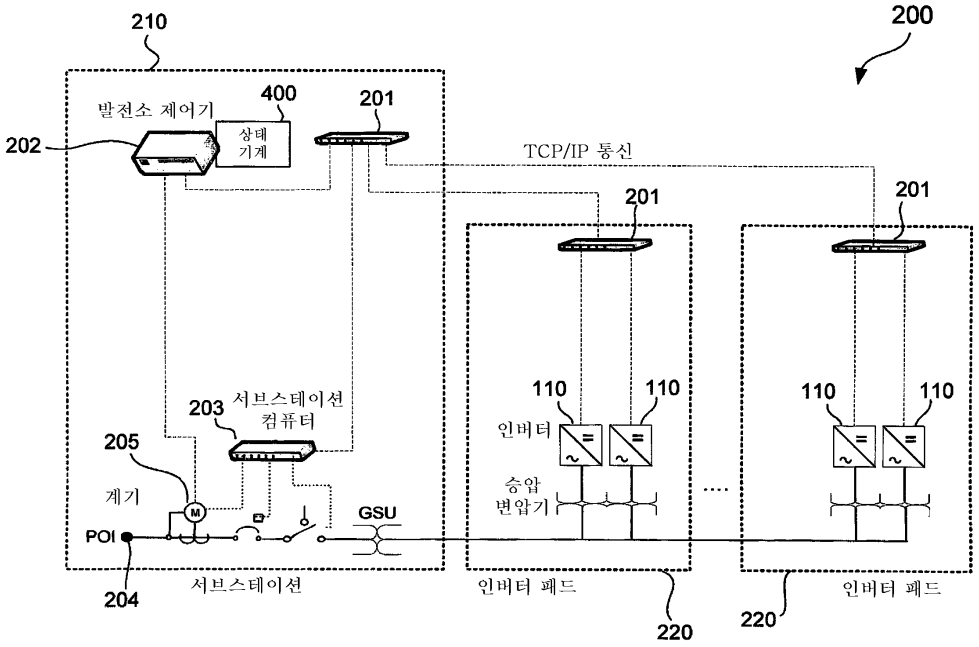
[0070] 태양광 발전소를 위한 개선된 자동 전압 조정 기법이 개시되었다. 본 발명의 특정의 실시예들이 제공되었지만, 이들 실시예가 예시 목적을 위한 것이고 제한하는 것이 아님을 이해할 것이다. 많은 부가의 실시예들이 본 개시 내용을 읽는 당업자에게 명백할 것이다.

도면

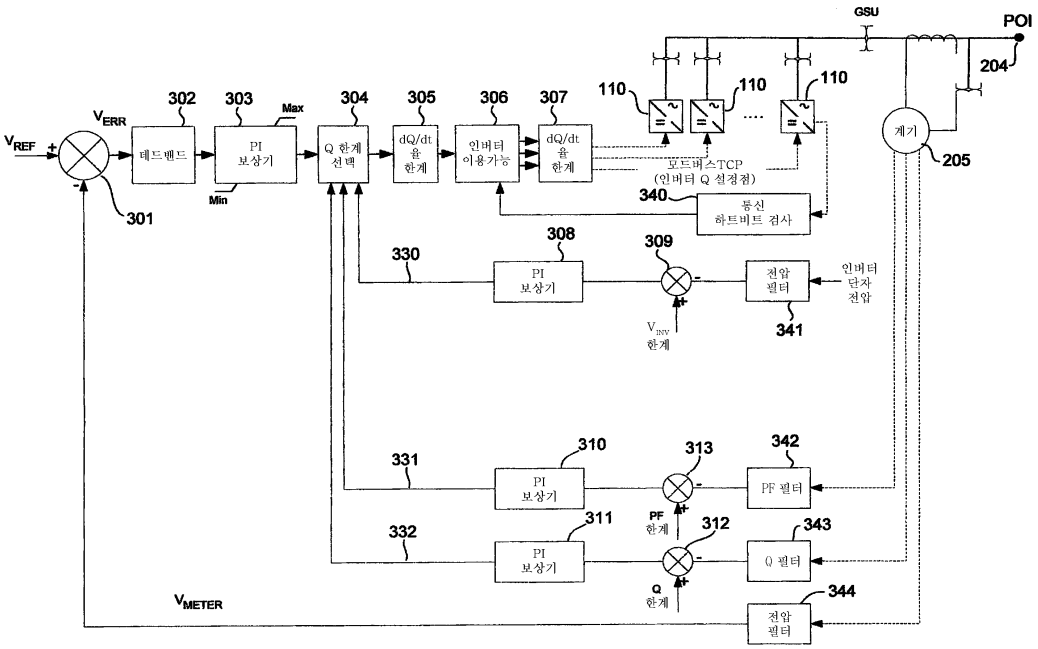
도면1


200
인버터
110
112
112
결합기
결합기
115
115
115
114
114
114
114
114
114

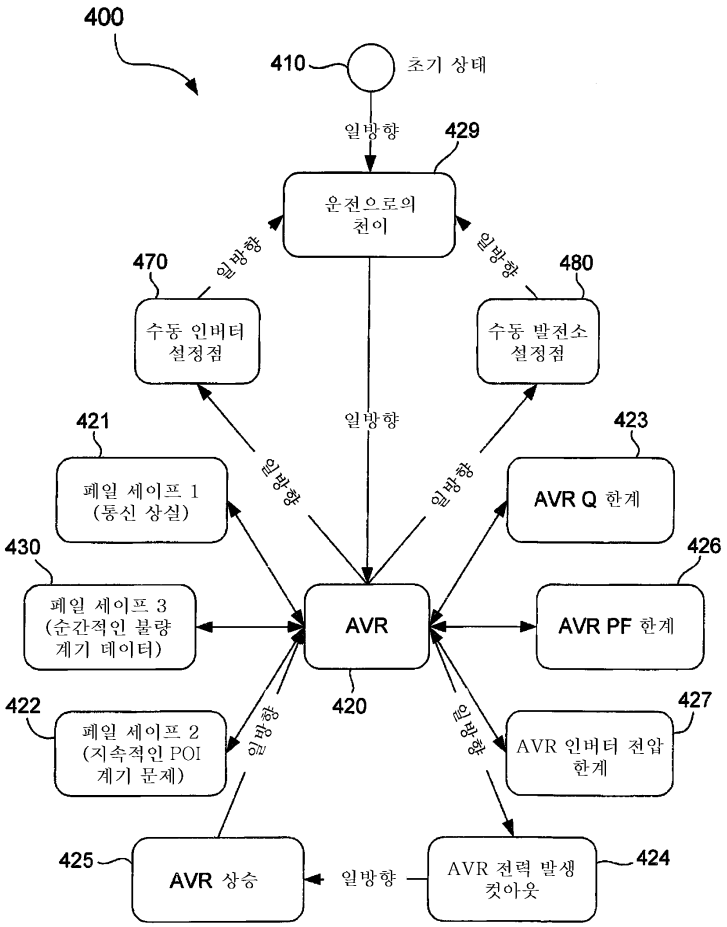
도면2


210
200
발전소 제어기
400
201
202
상태
기계
TCP/IP 통신
201
201
110
110
110
110
인버터
203
서브스테이션
컴퓨터
205
계기
승압
변압기
GSU
POI
204
서브스테이션
인버터 패드
220
인버터 패드
220

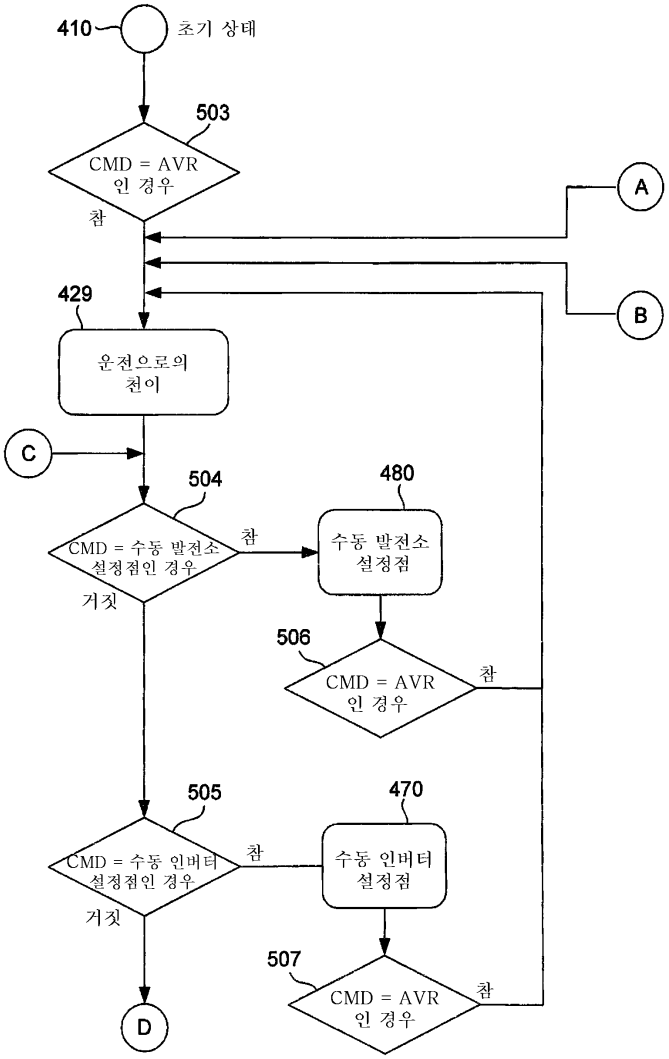
도면3


GSU
POI
204
110
110
110
302
303
304
305
306
307
Max
Min
VERR
VREF
+
-
301
데드밴드
PI 보상기
Q 한계 선택
dQ/dt 율 한계
인버터 이용가능
dQ/dt 율 한계
모드버스TCP (인버터 Q 설정점)
340
통신 하트비트 검사
계기
205
330
308
PI 보상기
309
전압 필터
인버터 단자 전압
341
VINV 한계
331
310
PI 보상기
313
342
PF 필터
PF 한계
332
311
PI 보상기
312
343
Q 필터
Q 한계
344
전압 필터
VMETER

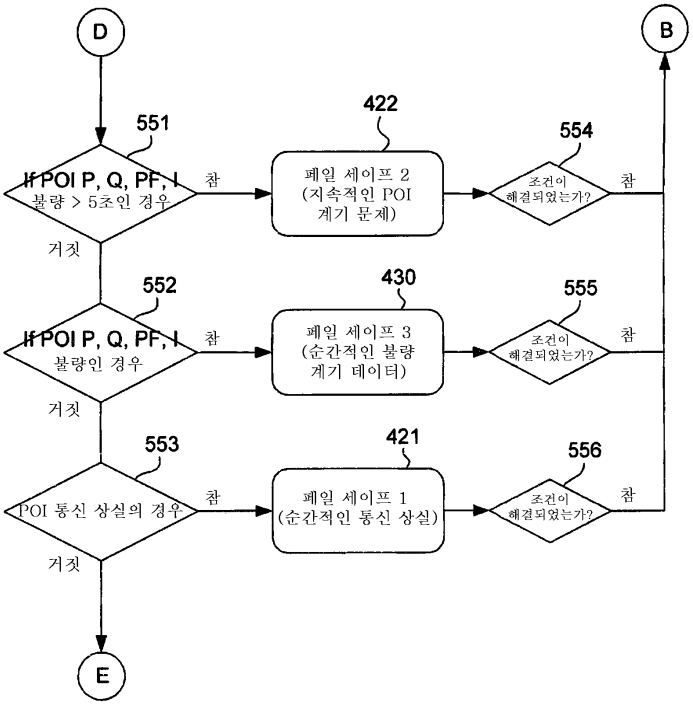
도면4


400
410
초기 상태
일방향
429
운전으로의 천이
470
수동 인버터 설정점
480
수동 발전소 설정점
일방향
421
페일 세이프 1 (통신 상실)
423
AVR Q 한계
430
페일 세이프 3 (순간적인 불량 계기 데이터)
AVR
426
AVR PF 한계
420
422
페일 세이프 2 (지속적인 POI 계기 문제)
427
AVR 인버터 전압 한계
425
AVR 상승
AVR 전력 발생 컷아웃
424

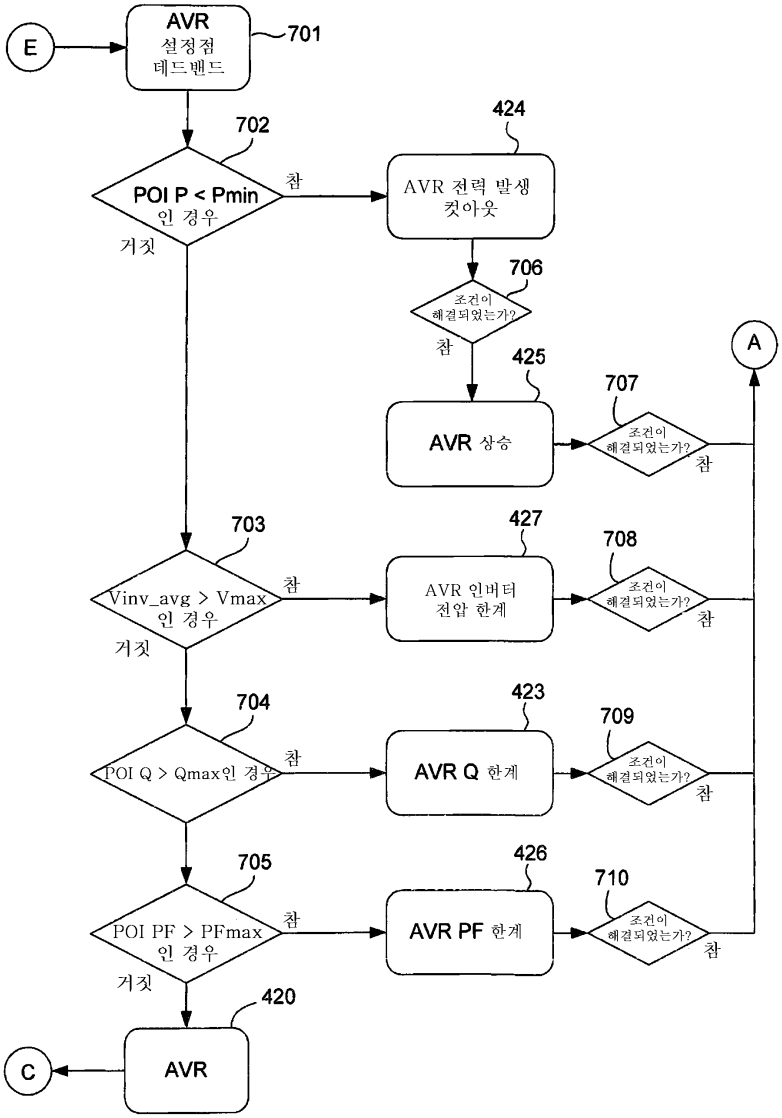
도면5


410
초기 상태
503
CMD = AVR
인 경우
참
A
B
429
운전으로의
천이
C
504
CMD = 수동 발전소
설정점인 경우
참
거짓
480
수동 발전소
설정점
506
CMD = AVR
인 경우
참
505
CMD = 수동 인버터
설정점인 경우
참
거짓
470
수동 인버터
설정점
507
CMD = AVR
인 경우
참
D

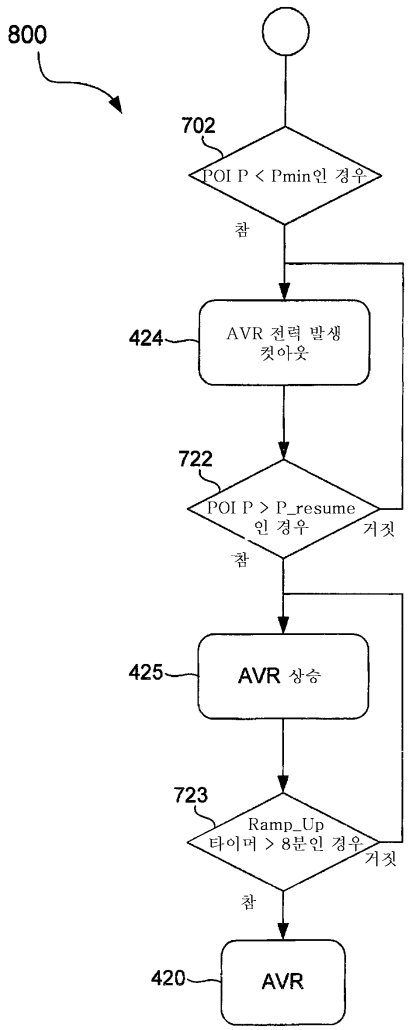
도면6


D
B
551
If POI P, Q, PF, I
불량 > 5초인 경우
참
422
페일 세이프 2
(지속적인 POI
계기 문제)
554
조건이
해결되었는가?
참
거짓
552
If POI P, Q, PF, I
불량인 경우
참
430
페일 세이프 3
(순간적인 불량
계기 데이터)
555
조건이
해결되었는가?
참
거짓
553
POI 통신 상실의 경우
참
421
페일 세이프 1
(순간적인 통신 상실)
556
조건이
해결되었는가?
참
거짓
E

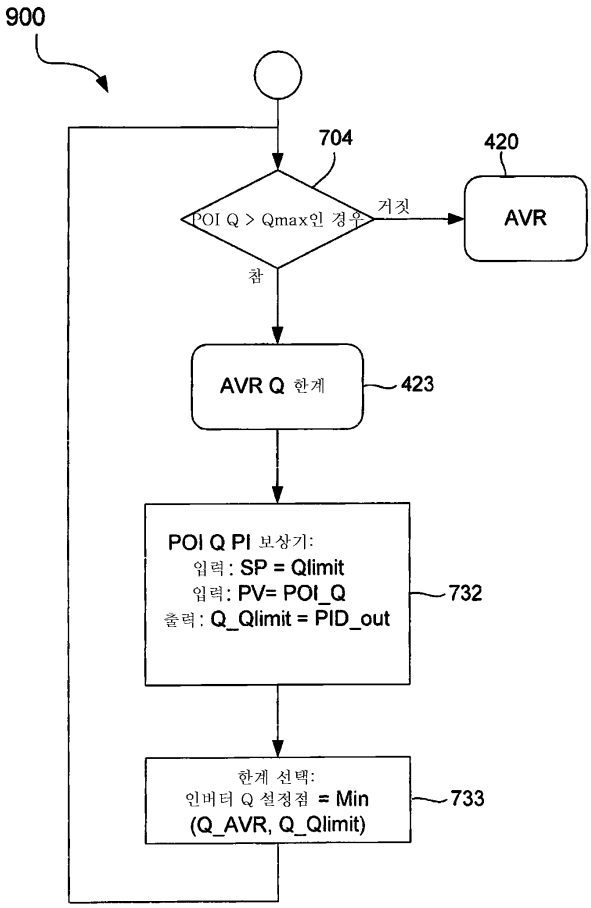
도면7


E
AVR
설정점
데드밴드
701
702
POI P < Pmin
인 경우
참
거짓
424
AVR 전력 발생
컷아웃
706
조건이
해결되었는가?
참
425
AVR 상승
707
조건이
해결되었는가?
참
A
703
Vinv_avg > Vmax
인 경우
참
거짓
427
AVR 인버터
전압 한계
708
조건이
해결되었는가?
참
704
POI Q > Qmax인 경우
참
423
AVR Q 한계
709
조건이
해결되었는가?
참
705
POI PF > PFmax
인 경우
참
거짓
426
AVR PF 한계
710
조건이
해결되었는가?
참
420
C
AVR

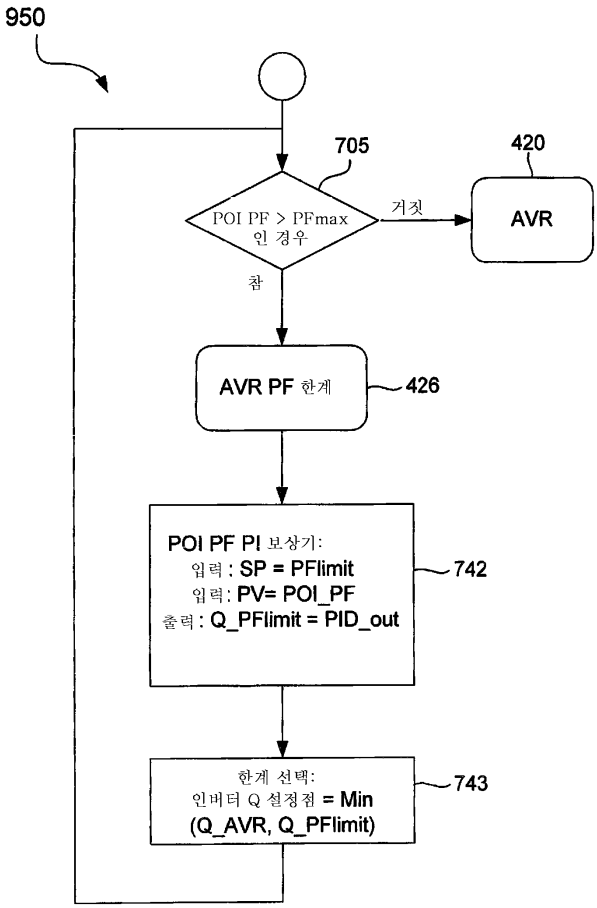
도면8


800
702
POI P < Pmin인 경우
참
424
AVR 전력 발생
컷아웃
722
POI P > P_resume
인 경우
거짓
참
425
AVR 상승
723
Ramp_Up
타이머 > 8분인 경우
거짓
참
420
AVR

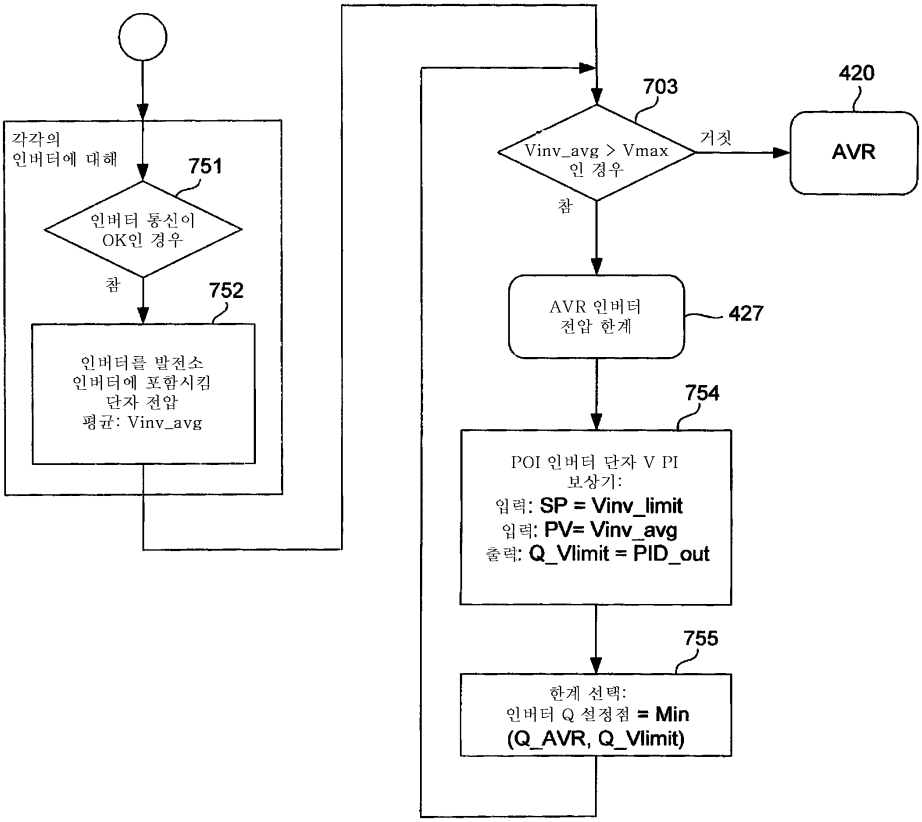
도면9


900
704
420
POI Q > Qmax인 경우
거짓
AVR
참
AVR Q 한계
423
POI Q PI 보상기:
입력 : SP = Qlimit
입력 : PV= POI_Q
출력 : Q_Qlimit = PID_out
732
한계 선택:
인버터 Q 설정점 = Min
(Q_AVR, Q_Qlimit)
733

도면10


950
705
420
POI PF > PFmax
인 경우
거짓
AVR
참
AVR PF 한계
426
POI PF PI 보상기:
입력 : SP = PFlimit
입력 : PV= POI_PF
출력 : Q_PFlimit = PID_out
742
한계 선택:
인버터 Q 설정점 = Min
(Q_AVR, Q_PFlimit)
743

도면11


각각의
인버터에 대해
751
인버터 통신이
OK인 경우
참
752
인버터를 발전소
인버터에 포함시킴
단자 전압
평균: Vinv_avg
703
Vinv_avg > Vmax
인 경우
거짓
참
420
AVR
AVR 인버터
전압 한계
427
754
POI 인버터 단자 V PI
보상기:
입력: SP = Vinv_limit
입력: PV= Vinv_avg
출력: Q_Vlimit = PID_out
755
한계 선택:
인버터 Q 설정점 = Min
(Q_AVR, Q_Vlimit)