



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년07월02일
(11) 등록번호 10-2272665
(24) 등록일자 2021년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 3/38 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H02J 3/382 (2013.01)
Y04S 10/123 (2020.08)

(21) 출원번호 10-2019-0158735

(22) 출원일자 2019년12월03일

심사청구일자 2019년12월03일

(65) 공개번호 10-2021-0069223

(43) 공개일자 2021년06월11일

(56) 선행기술조사문헌

KR101845703 B1*

KR1020190018155 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

서울과학기술대학교 산학협력단

서울특별시 노원구 공릉로 232 (공릉동, 서울과학기술대학교)

(72) 발명자

누옌 반 티

서울특별시 노원구 공릉로 232 서울과학기술대학교 전기정보공학과

김경화

서울시 서초구 서초대로65길 13-10104동 703호 (서초동, 서초래미안아파트)

(74) 대리인

이준성

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 박성민

(54) 발명의 명칭 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템 및 방법

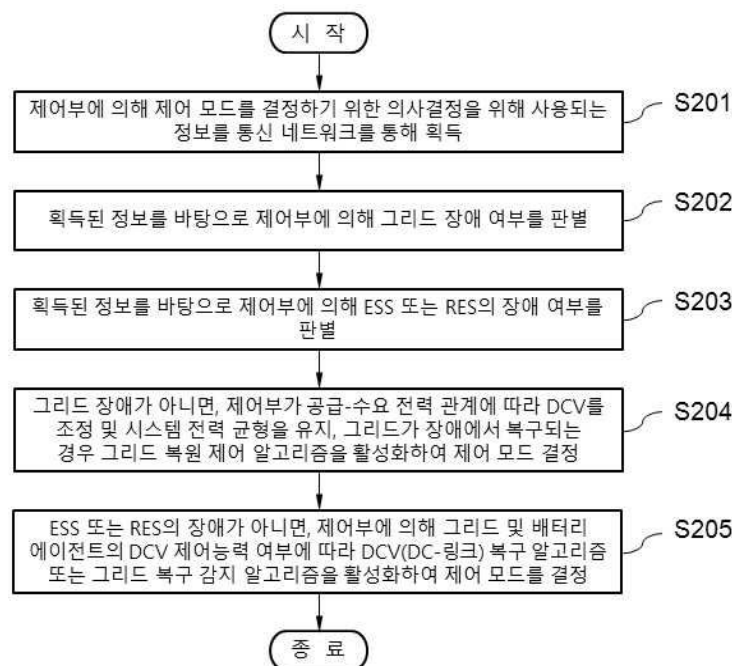
(57) 요약

본 발명은 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템 및 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 방법은, a) 제어부에 의해 제어 모드를 결정하기 위한 의사결정을 위해 사용되는 정보를 통신 네트워크를 통해 획득하는 단계와; b) 획득된 정보를 바탕으로

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



제어부에 의해 그리드 장애(고장) 여부를 판별하는 단계와; c) 획득된 정보를 바탕으로 제어부에 의해 ESS 또는 RES의 장애(고장) 여부를 판별하는 단계와; d) 단계 b)의 판별에서 그리드 장애(고장)가 아닌 경우, 제어부에 의해 공급-수요 전력 관계에 따라 DCV를 조정 및 시스템 전력 균형을 유지하고, 그리드가 장애에서 복구되는 경우 그리드 복구 제어 알고리즘을 활성화하여 제어 모드를 결정하는 단계; 및 e) 단계 c)의 판별에서 ESS 또는 RES의 장애(고장)가 아닌 경우, 제어부에 의해 그리드 및 배터리 에이전트의 DCV 제어능력 여부에 따라 DCV(DC-링크) 복구 알고리즘 또는 그리드 복구 감지 알고리즘을 활성화하여 제어 모드를 결정하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

Y04S 10/20 (2020.08)

Y04S 40/00 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	NRF-2019R1A6A1A03032119
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공분야 대학중점연구소지원사업
연구과제명	클라우드 기반의 에너지 블록 융합형 스마트 에너지 타운 플랫폼
기 여 율	1/1
과제수행기관명	서울과학기술대학교 산학협력단
연구기간	2019.06.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

상용 전력 그리드와 연결되며, 상용 교류 전압을 입력받아 직류 전압으로 변환하여 부하 또는 에너지 저장 시스템(Energy Storage Systems; ESS)에 공급하는 3상 양방향 그리드 연계 컨버터와;

분산형 재생 에너지 소스(Renewable Energy Sources; RES)에 연결되며, 재생 에너지 소스로부터 교류 전압을 입력받아 직류 전압으로 변환하여 부하 또는 에너지 저장 시스템에 공급하는 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터와;

상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터와 상기 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터에 각각 연결되며, 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터 또는 상기 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터에 의해 공급되는 직류 전압을 입력받아 배터리에 저장하고, 배터리에 저장된 전기 에너지를 부하에 공급하는 인터리브 (interleaved) 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터와;

상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터, 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터, 인터리브 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터의 상태 체크 및 동작을 제어하고, 그리드 또는 통신 장애시 그리드 복구 제어 알고리즘을 활성화시켜 그리드를 복구하며, DCV(DC grid voltage)가 정상 범위를 벗어날 때 DCV 복구 알고리즘을 활성화시켜 DCV를 공칭 값으로 복구하는 제어부; 및

상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터, 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터, 인터리브 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터, 제어부 및 부하 간을 서로 전기적으로 연결하며, 상호 간에 통신이 가능하도록 하는 통신 네트워크를 포함하며,

상기 제어부는 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터를 포함하는 그리드 에이전트(agent)와, 상기 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터를 포함하는 재생 에너지 소스 에이전트와, 상기 인터리브(interleaved) 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터를 포함하는 에너지 저장 시스템 에이전트 및 상기 부하를 포함하는 부하 에이전트의 각 에이전트의 작동 모드를 상기 통신 네트워크를 통해 얻은 로컬 에이전트 상태와 인접 에이전트 상태를 모두 고려하여 실시간으로 결정하고,

상기 제어부는 DCV(DC grid voltage)의 비정상적인 변화를 감지함으로써, ESS(Energy Storage Systems) 및 RES(Renewable Energy Sources)의 로컬 비상 제어 모드를 즉시 활성화시켜 상기 통신 네트워크를 통해 획득한 정보에 관계없이 DCV를 공칭 값으로 복구시키며,

상기 DCV 복구 알고리즘은 배터리 에이전트에 대한 DCV 복구 알고리즘을 포함하고, 배터리 에이전트에 대한 DCV 복구 알고리즘은, DCV가 미리 정의된 첫 번째 최소 레벨 ($V_{DC, fault}^{min1}$)보다 큰 경우, 배터리 에이전트는 유틸 (IDLE) 모드로 유지되고, DCV가 $V_{DC, fault}^{min1}$ 보다 낮아지자마자, CPCM은 최대 방전 전력으로 배터리를 방전하도록 활성화되며, DCV가 미리 정의된 제 2 최소 레벨($V_{DC, fault}^{min2}$)보다 낮은 한, 배터리의 동작 모드는 CPCM으로 유지되고, DCV가 $V_{DC, fault}^{min2}$ 보다 높아지면, 배터리가 자동으로 DCVM-DIS로 전환되어 DCV를 공칭 레벨로 조절하는 것을 특징으로 하는 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

3상 양방향 그리드 연계 컨버터와, 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터와, 인터리브 양방향 에너지 저장

시스템 연계 컨버터와, 제어부 및 통신 네트워크를 포함하는 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템을 바탕으로 한 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 방법으로서,

- a) 상기 제어부에 의해 제어 모드를 결정하기 위한 의사결정을 위해 사용되는 정보를 상기 통신 네트워크를 통해 획득하는 단계와;
- b) 상기 획득된 정보를 바탕으로 상기 제어부에 의해 그리드 장애(고장) 여부를 판별하는 단계와;
- c) 상기 획득된 정보를 바탕으로 상기 제어부에 의해 ESS(Energy Storage Systems) 또는 RES(Renewable Energy Sources)의 장애(고장) 여부를 판별하는 단계와;
- d) 상기 단계 b)의 판별에서 그리드 장애(고장)가 아닌 경우, 상기 제어부에 의해 공급-수요 전력 관계에 따라 DCV를 조정 및 시스템 전력 균형을 유지하고, 그리드가 장애에서 복구되는 경우 그리드 복구 제어 알고리즘을 활성화하여 제어 모드를 결정하는 단계; 및
- e) 상기 단계 c)의 판별에서 ESS 또는 RES의 장애(고장)가 아닌 경우, 상기 제어부에 의해 그리드 및 배터리 에이전트의 DCV 제어능력 여부에 따라 DCV(DC-링크) 복구 알고리즘 또는 그리드 복구 감지 알고리즘을 활성화하여 제어 모드를 결정하는 단계를 포함하고,

상기 단계 e)에서 상기 제어부에 의해 DCV 복구 알고리즘(DC-링크 복구 알고리즘)을 활성화시켜 제어 모드를 결정함에 있어서, DCV(DC grid voltage)가 정상 범위를 벗어났을 때, 상기 제어부에 의해 DCV 복구 알고리즘(DC-링크 복구 알고리즘)을 활성화시켜 DCV를 공칭 값으로 복구하며,

상기 DCV 복구 알고리즘은 배터리 에이전트에 대한 DCV 복구 알고리즘을 포함하고, 배터리 에이전트에 대한 DCV 복구 알고리즘은, DCV가 미리 정의된 첫 번째 최소 레벨 ($V_{DC,fault}^{min1}$)보다 큰 경우, 배터리 에이전트는 유틸(IDLE) 모드로 유지되고, DCV가 $V_{DC,fault}^{min1}$ 보다 낮아지자마자, CPCM은 최대 방전 전력으로 배터리를 방전하도록 활성화되며, DCV가 미리 정의된 제 2 최소 레벨($V_{DC,fault}^{min2}$)보다 낮은 한, 배터리의 동작 모드는 CPCM으로 유지되고, DCV가 $V_{DC,fault}^{min2}$ 보다 높아지면, 배터리가 자동으로 DCVM-DIS로 전환되어 DCV를 공칭 레벨로 조절하는 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 단계 d)에서 상기 그리드 복구 제어 알고리즘은 DCV가 $V_{DC, reco}^{min}$ (그리드 복구를 위해 사용된 최소 DCV) 및 $V_{DC, reco}^{max}$ (그리드 복구를 위해 사용된 최대 DCV)에 의해 생성된 사전 정의된 범위를 벗어날 경우, SCCM을 DCVM-REC 또는 DCVM-INV로 전환하여 DCV를 조정하는 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 방법.

청구항 5

삭제

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 DC 마이크로그리드(microgrid)에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 더 상세하게는 MAS 기반의 분산형 제어에서 통신 장애가 발생하더라도 다양한 조건에서 시스템의 전력 균형 및 안정성을 보장할 수 있는 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0001]

- [0003] 오늘날 쉬운 자원 통합, 유연한 설치 위치 및 신뢰할 만한 작동의 이점으로 인해, 분산 발전 기반 DCMG(DC microgrid)는 전력 시스템의 미래 트렌드가 되었다.
- [0004] DCMG는 재생 가능한 에너지 자원, 에너지 저장 시스템, 그리드 연결 시스템 및 로드와 같은 여러 장치로 구성된 복잡한 시스템이다. 그들의 서로 다른 특성과 작동 방식으로 인해 전체 시스템의 안정적이고 신뢰할 만한 작동을 보장하기 위해 효과적인 조절된 전력 흐름 제어 전략이 필요하다.
- [0005] 통신 네트워크는 DCMG의 분산 제어에서 중요한 역할을 한다. 그러나 데이터 전송 과정에서 어디에나 있는 지연 또는 고장과 같은 통신 문제로 인해 시스템 장애 및 불안정이 발생할 수 있다. 통신 고장은 전체 DCMG 시스템이 올바르게 작동하는 것을 방해한다. 또한, 이 고장은 DC 그리드 전압 안정화, 특히 그리드 고장 및 그리드 복구 중인 두 가지 상황에서 심각한 영향을 미친다.
- [0006] 그리드 오류의 일 예를 들면, 장애 발생 직후 그리드 오류가 감지되면 시스템 작동이 아일랜드 모드(고립 모드)로 빠르게 전환되어 DC 그리드 전압을 제어하여 RES(Renewable Energy Resource) 또는 ESS(Energy Storage System)가 시스템 전력 균형의 역할을 수행한다. 불행하게도, 결합 감지 지연 및 통신 지연을 포함하여 의도하지 않은 큰 지연으로 인해 그리드 결합을 즉시 감지할 수 없다. 지연 기간 동안 전원 공급원이 전원 균형을 유지하는데 도움이 되지 않아 시스템이 중단될 수 있다.
- [0007] 그리드 복구의 사례를 들면, 그리드 연결 모드에서, 그리드 에이전트는 주 전원 공급원으로 사용되어 공급-수요 전력의 균형을 유지한다. 그리드 결합(오류)이 발생하면, 전력 균형의 임무는 구현 VCM(voltage control mode)에 따라 RES 또는 ESS에 의해 인수된다. 그리드가 복구되면, 그리드 에이전트는 RES 및 ESS에 복구 상태를 알리고 결과적으로 RES 또는 ESS는 그들의 VCM을 종료한다. 불행하게도, 통신 문제로 인해, RES 및 ESS는 그리드 복구를 인식하지 못한다. 따라서, DC 그리드 전압(DCV)의 제어는 두 개의 전압 제어 소스와 충돌하게 되는 문제가 있다.
- [0008] 한편, 한국 공개특허공보 제10-2019-0118436호(특허문헌 1)에는 "다중 DC 마이크로그리드 시스템에서의 마이크로그리드 간의 전력 공유 방법"이 개시되어 있는 바, 이에 따른 마이크로그리드 간의 전력 공유 방법은, (a) 각 마이크로그리드가 장기 전력 스케줄링에 따라 마이크로그리드 내부에 포함된 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC)와 DC/DC 컨버터에 대하여 전압 동작점과 드롭(droop) 기울기의 기준치를 설정하고, 드롭 제어를 통해 전압을 제어하는 단계; (b) 각 마이크로그리드에서, 부하와 발전량의 예측 오차가 발생하여, 드롭 제어를 통해 증가시키고자 하는 전력값이 제1 임계값보다 큰 상태가 임계시간 이상 지속되는 경우, 단기 전력 스케줄링을 통해 상기 전압 동작점과 드롭 기울기의 기준치를 재산출하는 단계; 및 (c) 상기 (b) 단계에서 상기 단기 전력 스케줄링 과정에서 제약조건을 만족하는 전압 동작점과 드롭 기울기의 기준치가 산출되지 않는 경우, 다른 마이크로그리드로부터 전력을 공유 받는 단계를 포함하되, 상기 (c) 단계는 전압형 컨버터 또는 DC/DC 컨버터의 상기 전력값이 제1 임계값을 초과하지 않은 마이크로그리드로부터 전력을 공유 받는 것을 특징으로 한다.
- [0009] 이상과 같은 특허문헌 1의 경우, 다중 DC 마이크로그리드 시스템에서의 신재생 발전량의 변화 또는 부하량의 변화에 따른 시스템의 불안정이 발생하는 경우 전력 공유를 통해 이를 해소할 수 있는 장점이 있기는 하나, MAS 기반의 분산형 제어에서 통신 장애가 발생하는 경우에 대한 대책은 마련되어 있지 않아, MAS 기반의 분산형 제어에서 통신 장애가 발생할 경우 시스템의 전력 균형 및 안정성을 확실하게 보장하기 어려운 문제점을 내포하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 제10-2019-0118436호(2019.10.18.)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 상기와 같은 사항을 종합적으로 감안하여 창출된 것으로서, DC 마이크로그리드를 위한 비상 작동 알고리즘 및 DCV(DC-grid voltage) 안정화 솔루션을 마련하고, MAS(Multi-Agent Systems) 기반 분산 제어 방식을

사용하여 DCMG(DC microgrid)에 대해 조절된 제어를 구현함으로써, MAS 기반의 분산형 제어에서 통신 장애가 발생하더라도 다양한 조건에서 시스템의 전력 균형 및 안정성을 보장할 수 있는 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템 및 방법을 제공함에 그 목적이 있다.

[0012] 또한, 본 발명의 다른 목적은 통신 장애시에도 의도하지 않은 그리드 결함 감지 지연의 영향에 대비하여 DCV를 공칭 값으로 빠르게 복구할 수 있고, 통신 문제 발생시 DCV 제어에서의 충돌을 방지할 수 있는 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템 및 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0014] 상기의 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템은,
 [0015] 상용 전력 그리드와 연결되며, 상용 교류 전압을 입력받아 직류 전압으로 변환하여 부하 또는 에너지 저장 시스템(Energy Storage Systems; ESS)에 공급하는 3상 양방향 그리드 연계 컨버터와;

[0016] 분산형 재생 에너지 소스(Renewable Energy Sources; RES)에 연결되며, 재생 에너지 소스로부터 교류 전압을 입력받아 직류 전압으로 변환하여 부하 또는 에너지 저장 시스템에 공급하는 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터와;

[0017] 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터와 상기 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터에 각각 연결되며, 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터 또는 상기 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터에 의해 공급되는 직류 전압을 입력받아 배터리에 저장하고, 배터리에 저장된 전기 에너지를 부하에 공급하는 인터리브(interleaved) 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터와;

[0018] 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터, 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터, 인터리브 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터의 상태 체크 및 동작을 제어하고, 그리드 또는 통신 장애시 그리드 복구 제어 알고리즘을 활성화시켜 그리드를 복구하며, DCV(DC grid voltage)가 정상 범위를 벗어날 때 DCV 복구 알고리즘을 활성화시켜 DCV를 공칭 값으로 복구하는 제어부; 및

[0019] 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터, 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터, 인터리브 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터, 제어부 및 부하 간을 서로 전기적으로 연결하며, 상호 간에 통신이 가능하도록 하는 통신 네트워크를 포함하며,

[0020] 상기 제어부는 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터를 포함하는 그리드 에이전트(agent)와, 상기 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터를 포함하는 재생 에너지 소스 에이전트와, 상기 인터리브(interleaved) 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터를 포함하는 에너지 저장 시스템 에이전트 및 상기 부하를 포함하는 부하 에이전트의 각 에이전트의 작동 모드를 상기 통신 네트워크를 통해 얻은 로컬 에이전트 상태와 인접 에이전트 상태를 모두 고려하여 실시간으로 결정하는 점에 그 특징이 있다.

[0021] 여기서, 상기 제어부는 DCV(DC grid voltage)의 비정상적인 변화를 감지함으로써, ESS(Energy Storage Systems) 및 RES(Renewable Energy Sources)의 로컬 비상 제어 모드를 즉시 활성화시켜 상기 통신 네트워크를 통해 획득한 정보에 관계없이 DCV를 공칭 값으로 복구시킬 수 있다.

[0022] 또한, 상기 분산형 재생 에너지 소스는 풍력 발전 시스템(Wind Power Generation Systems; WPGS)으로 구성될 수 있다.

[0023] 또한, 상기의 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 방법은,

[0024] 3상 양방향 그리드 연계 컨버터와, 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터와, 인터리브 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터와, 제어부 및 통신 네트워크를 포함하는 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템을 바탕으로 한 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 방법으로서,

[0025] a) 상기 제어부에 의해 제어 모드를 결정하기 위한 의사결정을 위해 사용되는 정보를 상기 통신 네트워크를 통해 획득하는 단계와;

[0026] b) 상기 획득된 정보를 바탕으로 상기 제어부에 의해 그리드 장애(고장) 여부를 판별하는 단계와;

[0027] c) 상기 획득된 정보를 바탕으로 상기 제어부에 의해 ESS(Energy Storage Systems) 또는 RES(Renewable

Energy Sources)의 장애(고장) 여부를 판별하는 단계와;

- [0028] d) 상기 단계 b)의 판별에서 그리드 장애(고장)가 아닌 경우, 상기 제어부에 의해 공급-수요 전력 관계에 따라 DCV를 조정 및 시스템 전력 균형을 유지하고, 그리드가 장애에서 복구되는 경우 그리드 복구 제어 알고리즘을 활성화하여 제어 모드를 결정하는 단계; 및
- [0029] e) 상기 단계 c)의 판별에서 ESS 또는 RES의 장애(고장)가 아닌 경우, 상기 제어부에 의해 그리드 및 배터리 에이전트의 DCV 제어능력 여부에 따라 DCV(DC-링크) 복구 알고리즘 또는 그리드 복구 감지 알고리즘을 활성화하여 제어 모드를 결정하는 단계를 포함하는 점에 그 특징이 있다.
- [0030] 여기서, 상기 단계 a)에서 상기 정보를 상기 통신 네트워크를 통해 그리드 운용자, 로컬 측정(장치), 인접 에이전트 중 적어도 어느 하나로부터 획득할 수 있다.
- [0031] 또한, 상기 단계 d)에서 상기 그리드 복구 제어 알고리즘은 DCV가 $V_{DC, reco}^{min}$ (그리드 복구를 위해 사용된 최소 DCV) 및 $V_{DC, reco}^{max}$ (그리드 복구를 위해 사용된 최대 DCV)에 의해 생성된 사전 정의된 범위를 벗어날 경우, SCCM을 DCVM-REC 또는 DCVM-INV로 전환하여 DCV를 조정하도록 구성될 수 있다.
- [0032] 또한, 상기 단계 e)에서 상기 제어부에 의해 DCV 복구 알고리즘(DC-링크 복구 알고리즘)을 활성화시켜 제어 모드를 결정함에 있어서, DCV(DC grid voltage)가 정상 범위를 벗어났을 때, 상기 제어부에 의해 DCV 복구 알고리즘(DC-링크 복구 알고리즘)을 활성화시켜 DCV를 공칭 값으로 복구할 수 있다.

발명의 효과

- [0034] 이와 같은 본 발명에 의하면, DC 마이크로그리드를 위한 비상 작동 알고리즘 및 DCV(DC-grid voltage) 안정화 솔루션을 마련하고, MAS(Multi-Agent Systems) 기반 분산 제어 방식을 사용하여 DCMG(DC microgrid)에 대해 조절된 제어를 구현함으로써, MAS 기반의 분산형 제어에서 통신 장애가 발생하더라도 다양한 조건에서 시스템의 전력 균형 및 안정성을 보장할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0036] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템의 구성을 개략적으로 나타낸 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 방법의 실행 과정을 나타낸 흐름도이다.
- 도 3은 MAS 기반 분산 제어 방식에서 그리드 에이전트의 로컬 컨트롤러를 위해 설계된 제어 방법을 나타낸 흐름도이다.
- 도 4는 도 3의 흐름도에서의 그리드 복구 제어 알고리즘(Grid recovery control algorithm)을 나타낸 흐름도이다.
- 도 5는 MAS 기반 분산 제어 방식에서 배터리 에이전트를 위해 설계된 제어 방법을 나타낸 흐름도이다.
- 도 6은 도 5의 흐름도에서의 DC-링크 복구 알고리즘 및 그리드 복구 감지 알고리즘을 각각 나타낸 흐름도이다.
- 도 7은 MAS 기반 분산 제어 방식에서 WPGS 에이전트를 위해 설계된 제어 방법을 나타낸 흐름도이다.
- 도 8은 도 7의 흐름도에서의 DC-링크 복구 알고리즘 및 그리드 복구 감지 알고리즘을 각각 나타낸 흐름도이다.
- 도 9는 배터리 에이전트 및 WPGS 에이전트에 의한 각각의 DCV 복구 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 10은 통신 장애 조건 하에서의 배터리 에이전트 및 WPGS 에이전트에 의한 그리드 복구 감지의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0037] 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정되어 해석되지 말아야 하며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원

칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 한다.

- [0038] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "장치" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0039] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.
- [0040] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템의 구성을 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [0041] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템(100)은 3상 양방향 그리드 연계 컨버터(110)와, 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터(120)와, 인터리브(interleaved) 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터(130)와, 제어부(140) 및 통신 네트워크(150)를 포함하여 구성된다.
- [0042] 3상 양방향 그리드 연계 컨버터(110)는 상용 전력 그리드와 연결되며, 상용 교류 전압을 입력받아 직류 전압으로 변환하여 부하(160) 또는 에너지 저장 시스템(Energy Storage Systems; ESS)(본 실시예에서는 ESS로서 배터리(170)가 채용된 경우를 예시함)에 공급한다.
- [0043] 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터(120)는 분산형 재생 에너지 소스(Renewable Energy Sources; RES)(본 실시예에서는 RES로서 풍력 발전 시스템이 채용된 경우를 예시함)에 연결되며, 재생 에너지 소스로부터 교류 전압을 입력받아 직류 전압으로 변환하여 부하(160) 또는 에너지 저장 시스템(즉, 배터리(170))에 공급한다.
- [0044] 인터리브 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터(130)는 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터(110)와 상기 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터(120)에 각각 연결되며, 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터(110) 또는 상기 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터(120)에 의해 공급되는 직류 전압을 입력받아 배터리(170)에 저장하고, 배터리(170)에 저장된 전기 에너지를 부하(160)에 공급한다.
- [0045] 제어부(140)는 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터(110), 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터(120), 인터리브 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터(130)의 상태 체크 및 동작을 제어하고, 그리드 또는 통신 장애 시 그리드 복구 제어 알고리즘을 활성화시켜 그리드를 복구하며, DCV(DC grid voltage)가 정상 범위를 벗어날 때 DCV 복구 알고리즘을 활성화시켜 DCV를 공칭 값으로 복구한다.
- [0046] 통신 네트워크(150)는 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터(110), 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터(120), 인터리브 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터(130), 제어부(140) 및 부하(160) 간을 서로 전기적으로 연결하며, 상호 간에 통신이 가능하도록 한다.
- [0047] 이상과 같은 구성을 가지는 본 발명에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템(100)에 있어서, 상기 제어부(140)는 상기 3상 양방향 그리드 연계 컨버터(110)를 포함하는 그리드 에이전트(agent)와, 상기 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터(120)를 포함하는 재생 에너지 소스 에이전트(즉, WPGS(wind power generation system) 에이전트)와, 상기 인터리브 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터(130)를 포함하는 에너지 저장 시스템 에이전트(즉, 배터리 에이전트) 및 상기 부하(160)를 포함하는 부하 에이전트의 각 에이전트의 작동 모드를 상기 통신 네트워크(150)를 통해 얻은 로컬 에이전트 상태와 인접 에이전트 상태를 모두 고려하여 실시간으로 결정하도록 구성될 수 있다.
- [0048] 여기서, 또한 상기 제어부(140)는 DCV(DC grid voltage)의 비정상적인 변화를 감지함으로써, ESS(Energy Storage Systems) 및 RES(Renewable Energy Sources)의 로컬 비상 제어 모드를 즉시 활성화시켜 상기 통신 네트워크(150)를 통해 획득한 정보에 관계없이 DCV를 공칭 값으로 복구시키도록 구성될 수 있다.
- [0049] 또한, 상기 분산형 재생 에너지 소스는 풍력 발전 시스템(Wind Power Generation Systems; WPGS)으로 구성될 수 있다.
- [0050] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 방법의 실행 과정을 나타낸 흐름도이다.
- [0051] 도 2를 참조하면, 본 발명에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 방법은, 전술한 바와 같은 3상 양방향 그리드 연계 컨버터(110)와, 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터(120)와, 인터리브 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터(130)와, 제어부(140) 및 통신 네트워크(150)를 포함하는 DC 마이크로그리드에서

의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템(100)을 바탕으로 한 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 방법으로서, 먼저 상기 제어부(140)에 의해 제어 모드를 결정하기 위한 의사결정을 위해 사용되는 정보를 상기 통신 네트워크(150)를 통해 획득한다(단계 S201). 여기서, 상기 정보를 상기 통신 네트워크(150)를 통해 그리드 운전자, 로컬 측정(장치), 인접 에이전트 중 적어도 어느 하나로부터 획득할 수 있다.

[0052] 이렇게 하여 정보가 획득되면, 그 획득된 정보를 바탕으로 상기 제어부(140)에 의해 그리드 장애(고장) 여부를 판별한다(단계 S202).

[0053] 또한, 상기 획득된 정보를 바탕으로 상기 제어부(140)에 의해 ESS(Energy Storage Systems)(여기서는 배터리 에이전트) 또는 RES(Renewable Energy Sources) (여기서는 WPGS 에이전트)의 장애(고장) 여부를 판별한다(단계 S203).

[0054] 상기 단계 S202의 판별에서 그리드 장애(고장)가 아닌 경우, 상기 제어부(140)에 의해 공급-수요 전력 관계에 따라 DCV를 조정 및 시스템 전력 균형을 유지(보장)하고, 그리드가 장애에서 복구되는 경우 그리드 복구 제어 알고리즘을 활성화하여 제어 모드를 결정한다(단계 S204). 여기서, 상기 그리드 복구 제어 알고리즘은 DCV가 $V_{DC, reco}^{min}$ (그리드 복구를 위해 사용된 최소 DCV) 및 $V_{DC, reco}^{max}$ (그리드 복구를 위해 사용된 최대 DCV)에 의해 생성된 사전 정의된 범위를 벗어날 경우, SCCM(special current control mode)을 DCVM-REC(그리드 에이전트의 컨버터 모드에 의한 DC-링크 전압 제어 모드) 또는 DCVM-INV(그리드 에이전트의 인버터 모드에 의한 DC-링크 전압 제어 모드)로 전환하여 DCV를 조정하도록 구성될 수 있다.

[0055] 또한, 상기 단계 S203의 판별에서 ESS 또는 RES의 장애(고장)가 아닌 경우, 상기 제어부(140)에 의해 그리드 및 배터리 에이전트의 DCV 제어능력 여부에 따라 DCV(DC-링크) 복구 알고리즘 또는 그리드 복구 감지 알고리즘을 활성화하여 제어 모드를 결정한다(단계 S205). 여기서, 상기 제어부(140)에 의해 DCV 복구 알고리즘(DC-링크 복구 알고리즘)을 활성화시켜 제어 모드를 결정함에 있어서, DCV(DC grid voltage)가 정상 범위를 벗어났을 때, 상기 제어부(140)에 의해 DCV 복구 알고리즘(DC-링크 복구 알고리즘)을 활성화시켜 DCV를 공칭 값으로 복구할 수 있다.

[0056] 이하에서는 이상과 같은 본 발명에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 방법과 관련하여 부연 설명을 해보기로 한다.

[0057] 도 3은 MAS 기반 분산 제어 방식에서 그리드 에이전트의 로컬 컨트롤러를 위해 설계된 제어 방법을 나타낸 흐름도이다.

[0058] 도 3에 도시된 바와 같이, 제어 알고리즘은 3개의 계층, 즉 정보 수집, 제어 모드의 결정 및 통신의 결정으로 구분된다. 정보 수집 계층에서 정보는 GO(grid operator), 로컬 측정 및 인접 에이전트의 3개의 소스에서 얻을 수 있다. GO는 그리드의 최대 교환 전력 및 상태에 대한 정보를 제공한다. 로컬 측정 및 인접 에이전트는 전압, 전류 및 공급-수요 전력 관계에 대한 정보를 제공한다. 필요한 정보를 수신한 후, 제어 전략은 적절한 제어 모드를 해제하도록 구현된다. 그리드에 결함이 있거나 유지 보수되는 경우, 그리드 에이전트는 유희(IDLE) 모드로 전환되고, 동시에 G^{ctrl} 은 0으로 설정된다. 이는 그리드 에이전트(도 1 참조)가 DCV 제어를 수행할 수 없음을 의미한다.

[0059] 그리드에 결함이 없는 상태는 두 개의 하위 상태로 더 구분된다. 그리드는 정상이며 그리드는 복구된다. 그리드가 정상이면, 공급-수요 전력 관계에 따라 그리드 에이전트는 "DCVM-REC"(그리드 에이전트의 컨버터 모드에 의한 DC-링크 전압 제어 모드) 또는 "DCVM-INV"(그리드 에이전트의 인버터 모드에 의한 DC-링크 전압 제어 모드)에서 작동하여 DCV를 조정하고 시스템 전력 균형을 보장한다. 특히, DCVM-REC는 그리드로부터 DCMG로 더 많은 전력을 주입함으로써 전력 부족을 보상하기 위해 사용된다. 한편, DCVM-INV는 DC-링크의 전력 잉여를 흡수하도록 구현된다. 시스템 전력 균형을 위해 사용되는 요구된 전력이 GO에서 얻은 최대 레벨보다 더 커지면, 그리드 에이전트는 작동을 CPCM(constant power control mode)으로 전환한다. CPCM이 구현될 때, 그리드와 DCMG 간에 교환되는 전력은 가능한 최대 수준이며 그 결과, 그리드 에이전트는 DCV 제어를 수행할 수 없다. 그리드가 고장(장애)에서 복구되는 경우, 그리드 복구 제어 알고리즘이 트리거된다. 이 알고리즘 및 플래그 F_{G1} , F_{G2} 및 F_{G3} 의 기능에 대해서는 뒤에서 설명하기로 한다. 로컬 제어 모드의 결정이 해제된 후, 그리드 에이전트의 DCV 제어 능력은 통신 라인을 통해 다른 에이전트에게 통보된다. 도 3에서 P_L 은 총 부하 전력, P_W 는 WPGS 에이전트의 출력

전력, P_{rec}^{req} 는 그리드로부터 DCMG로 공급된 요구 전력, P_{rec}^{max} 는 그리드로부터 DCMG로 공급된 최대 전력, P_{inv}^{req}

는 DCMG로부터 그리드로 주입된 요구 전력, P_{inv}^{max} 는 DCMG로부터 그리드로 주입된 최대 전력, G^{ctrl} 은 그리드 에이전트에 의한 DCV 제어 능력을 나타내는 것으로, $G^{ctrl}=1$ 은 그리드 에이전트가 DCV를 제어할 수 있는 것을 의미하고, $G^{ctrl}=0$ 은 그리드 에이전트가 DCV를 제어할 수 없는 것을 각각 의미한다.

[0060] 도 4는 도 3의 흐름도에서의 그리드 복구 제어 알고리즘(Grid recovery control algorithm)을 나타낸 흐름도이다.

[0061] 도 4를 참조하면, 이는 통신 네트워크 문제에서 그리드 복구 사례에 대한 그리드 에이전트의 제어 전략 알고리즘을 보여준다. 이 알고리즘이 활성화되자마자, 그리드 에이전트는 특수 전류 제어 모드(special current control mode; SCCM)에서 작동하여 DC 링크에 특수 전류 패턴을 주입한다. 본 실시예에서 현재 패턴은 f_G 의 고주파를 가진 구형파이다. 배터리 또는 WPGS 에이전트의 DCV 제어 모드(DCVM)에서, DC-링크에 주입된 모든 전력은 시스템 전력 균형을 보장하기 위해 흡수된다. 결과적으로, 배터리 전류(I_B) 또는 WPGS의 q축 전류(I_W^q)에 유사한 파형이 나타난다. 배터리 및 WPGS 에이전트는 그리드 복구를 인식하기 위해 I_B 또는 I_W^q 의 분석에 의존할 수 있다. 그리드 복구를 인식한 후, 배터리 또는 WPGS 에이전트는 DCVM을 중지한다. 그 결과, 어떤 소스도 DCV를 제어하지 않기 때문에 DCV가 달라진다. DCV가 $V_{DC, reco}^{min}$ (그리드 복구 사례를 위해 사용된 최소 DCV) 및 $V_{DC, reco}^{max}$ (그리드 복구 사례를 위해 사용된 최대 DCV)에 의해 생성된 사전 정의된 범위를 벗어나자마자, 그리드 에이전트는 도 4에 도시된 바와 같이, SCCM을 DCVM-REC 또는 DCVM-INV로 전환하여 DCV를 조정한다. 플래그 F_{G2} 또는 F_{G3} 은 해당 작동 모드를 나타내도록 설정된다. 알고리즘의 다음 시퀀스에서 F_{G2} 또는 F_{G3} 가 1이므로 그리드는 해당 DCVM에서 계속 작동한다.

[0062] 도 5는 MAS 기반 분산 제어 방식에서 배터리 에이전트를 위해 설계된 제어 방법을 나타낸 흐름도이다.

[0063] 도 5를 참조하면, 전술한 도 3과 마찬가지로, 이 배터리 에이전트의 제어 알고리즘도 3개의 계층으로 구분된다. 정보 수집 계층에서, 정보는 로컬 측정 및 인접 에이전트로부터 얻을 수 있다. 로컬 측정을 사용함으로써, 배터리 고장, SOC(state of charge), 전압 및 전류에 관한 정보는 국부적으로 얻을 수 있다. 공급-수요 전력 관계 및 그리드 에이전트의 DCV 제어 능력을 포함하는 인접 에이전트로부터의 정보는 통신 라인을 통해 얻을 수 있다. DCV 복구 및 전류 식별 알고리즘과 관련해서는 뒤에서 설명하기로 한다. 또한, 플래그 F_{B1} 및 F_{B2} 의 기능에 대해서도 뒤에서 설명하기로 한다.

[0064] 배터리에 결함이 있는 경우, 배터리 에이전트가 유희(IDLE) 모드로 전환되고 동시에 B^{ctrl} (배터리 에이전트에 의한 DCV 제어 능력을 표시함)은 0으로 설정되며, 이는 배터리 에이전트가 DCV 제어를 수행할 수 없음을 나타낸다. 배터리가 정상인 경우, 공급-수요 전력 관계, 배터리 SOC, 전압 및 전류에 따라, 다양한 조건에서 DCMG의 시스템 전력 균형을 보장하기 위해 적절한 제어 모드가 결정된다. SOC, 전압 및 필요한 전력의 배터리 매개 변수가 사전 정의된 범위 내에 있으면, 배터리 에이전트는 DCVM-DIS(배터리 방전에 의한 DC-링크 전압 제어 모드)가 DC-링크에 전력을 주입하도록 또는 DCVM-CHA(배터리 충전에 의한 DC-링크 전압 제어 모드)가 DC-링크로부터 전력을 흡수하도록 실현하고, 그 결과 DCV는 공칭값으로 조정된다. 배터리 SOC가 SOC^{min} 및 SOC^{max} 로 구성된 안전 범위를 벗어나면, 배터리 에이전트는 과충전 또는 과방전을 피하기 위해 유희(IDLE) 모드로 전환한다. 또한, $P_{B, cha}^{req}$ 의 필수 충전 전력 및 $P_{B, dis}^{req}$ 의 필수 방전 전력이 $P_{B, cha}^{max}$ 및 $P_{B, dis}^{max}$ 의 최대 레벨을 초과하는 경우, CPCM(constant power control mode)은 최대 용량으로 배터리를 충전/방전하도록 실현되었다. 결과적으로, 배터리 작동 중 과열 또는 손상이 제거될 수 있다. 마찬가지로, 정전압 제어 모드(CVCM)는 배터리를 최대 전압 레벨로 충전하도록 실현되었으며, 그것은 배터리가 과충전되는 것을 방지한다. 로컬 제어 모드의 결정이 해제된 후, 배터리 에이전트의 DCV에 대한 능력(B^{ctrl})은 통신 라인을 통해 다른 에이전트에 동시에 알려진다.

[0065] 도 6은 도 5의 흐름도에서의 DC-링크 복구 알고리즘 및 그리드 복구 감지 알고리즘을 각각 나타낸 흐름도이다.

[0066] 도 6의 (A)를 참조하면, 이는 배터리 에이전트에 대한 DCV 복구 알고리즘의 세부 내용을 보여주는 것으로서, DCV

가 여전히 미리 정의된 첫 번째 최소 레벨 ($V_{DC,fault}^{min1}$)보다 큰 경우, 배터리 에이전트는 유휴(IDLE) 모드이다. DCV가 $V_{DC,fault}^{min1}$ 보다 낮아지자마자, CPCM은 최대 방전 전력으로 배터리를 방전하도록 활성화된다. 동시에, 플래그 F_{B1} 은 1로 설정된다. 알 수 있는 바와 같이, DCV가 미리 정의된 제 2 최소 레벨($V_{DC,fault}^{min2}$)보다 낮은 한, 배터리의 동작 모드는 CPCM으로 유지된다. 이 구현의 목표는 가능한 한 빨리 DCV를 복구하는 것이다. DCV가 $V_{DC,fault}^{min2}$ 보다 높아지면, 배터리가 자동으로 DCVM-DIS로 전환되어 DCV를 공칭 레벨로 조절하고 플래그 F_{B2} 가 1로 설정된다. 다음 시퀀스에서 F_{B1} 과 F_{B2} 가 1이기 때문에 배터리는 DCVM-DIS에서 계속 작동한다. 도 6의 (A)의 알고리즘을 사용하여 통신 문제가 있는 배터리 에이전트의 작동 모드를 결정한 후, 통신 결정은 출력(1 또는 2)에 따라 도 5에 도시된 바와 같이 선택된다.

[0067] 도 6의 (B)를 참조하면, 이는 그리드 에이전트에 의해 생성된 특수 전류 패턴을 감지하기 위해 사용되는 전류 식별 알고리즘을 보여준다. 고역 통과 필터를 사용하면 저주파 성분이 제거된다. 해당 출력의 주파수(f_G')는 제로 검출에 의존하여 계산될 수 있다. 검출된 주파수 f_G' 가 그리드 에이전트에 의해 생성된 주파수 f_G 와 동일하면, 카운터는 단계 1로 카운트 업 한다. 카운터가 사전 정의된 N의 수에 도달하면, 배터리 또는 WPGS 에이전트는 그리드 복구를 검출한다. 다음 동작을 위해 카운터가 재설정된다. 출력(1 또는 2)을 결정한 후, 배터리 에이전트의 제어 알고리즘은 도 5와 같이 지속적으로 실행된다.

[0068] 도 7은 MAS 기반 분산 제어 방식에서 WPGS 에이전트를 위해 설계된 제어 방법을 나타낸 흐름도이다.

[0069] 도 7을 참조하면, 위에서 설명한 그리드 에이전트 및 배터리 에이전트와 마찬가지로 WPGS 에이전트의 제어 알고리즘도 3개의 계층으로 구분된다. 정보 수집 계층에서 정보는 로컬 측정 및 인접 에이전트에서 얻을 수 있다. 로컬 측정을 사용하여 풍력 터빈(P_W)에서 추출된 전력을 얻을 수 있다. 인접 에이전트로부터의 정보는 배터리와 그리드 에이전트의 공급-수요 전력 관계와 DCV 제어 능력을 제공한다. DCV(DC-링크) 복구 알고리즘 및 전류 식별 알고리즘(그리드 복구 감지 알고리즘)은 위에서 설명하기로 한다.

[0070] WPGS에 결함이 있는 경우, WPGS 에이전트는 유휴(IDLE) 모드를 전환하고 동시에 W^{ctrl} (WPGS 에이전트에 의한 DCV 제어 능력의 표시)은 0으로 설정되어 WPGS 에이전트가 DCV 제어를 수행할 수 없음을 나타낸다. 공급-수요 전력 관계에 따라, 적절한 제어 모드가 다양한 조건에서 시스템 전력 균형을 유지하기 위해 결정된다. 특히 MPPT(maximum power point tracking) 모드는 풍력 터빈으로부터 DC-링크로 최대 전력을 추출하기 위해 사용된다. 한편, 풍력 터빈의 출력 전력을 제한함에 의한 DCV 제어(DCVM-LIM)는 풍력 터빈의 출력 전력을 부하 요구에 맞게 조정하도록 구현된다. 로컬 제어 모드의 결정이 해제된 후, WPGS 에이전트의 DCV 제어 능력(W^{ctrl})은 통신 라인을 통해 다른 에이전트에 동시에 알려진다.

[0071] 도 8은 도 7의 흐름도에서의 DC-링크 복구 알고리즘 및 그리드 복구 감지 알고리즘을 각각 나타낸 흐름도이다.

[0072] 도 8의 (A)를 참조하면, 이는 WPGS 에이전트에 대한 DCV(DC-링크) 복구 알고리즘의 세부 내용을 보여주는 것으로서, DCV가 사전 정의된 최대 레벨($V_{DC,fault}^{max}$)보다 낮은 경우 WPGS 에이전트는 MPPT 모드에서 작동한다. DCV가 $V_{DC,fault}^{max}$ 보다 높아지면 DCVM-LIM이 트리거되어 WPGS의 출력 전력을 총 부하 요구량과 같은 수준으로 제한한다. 따라서, 공급-수요 전력 관계가 보장되므로 DCV는 공칭 값으로 안정적으로 유지된다. 동시에, 플래그 F_W 는 1로 설정된다. 알고리즘의 다음 시퀀스에서, F_W 는 1과 같기 때문에 WPGS는 DCVM-LIM에서 계속 작동한다. 통신 문제가 나타나는 WPGS 에이전트의 작동 모드를 결정한 후, 통신 결정은 도 7과 같이 출력(1 또는 2)에 따라 해제된다.

[0073] 도 8의 (B)를 참조하면, 이는 그리드 에이전트에 의해 생성된 특수 전류 패턴을 감지하기 위해 사용되는 전류 식별 알고리즘을 보여준다. 고역 통과 필터를 사용하면 저주파 성분이 제거된다. 해당 출력의 주파수(f_G')는 제로 검출에 의존하여 계산될 수 있다. 검출된 주파수 f_G' 가 그리드 에이전트에 의해 생성된 주파수 f_G 와 동일하

면, 카운터는 단계 1로 카운트 업 한다. 카운터가 사전 정의된 N의 수에 도달하면, 배터리 또는 WPGS 에이전트는 그리드 복구를 검출한다. 다음 동작을 위해 카운터가 재설정된다. 출력(1 또는 2)을 결정한 후, 배터리 에이전트의 제어 알고리즘은 도 5와 같이 지속적으로 실행된다.

[0074] 도 9는 배터리 에이전트 및 WPGS 에이전트에 의한 각각의 DCV 복구 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

[0075] 도 9의 (A)를 참조하면, 이는 그리드 결함 감지 및 통신 지연이 있는 상태에서 SHED가 없는 배터리 에이전트에 의해 구현된 DCV 복구 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 보여주는 것으로서, 그리드 결함이 발생하기 전에 그리드 에이전트가 DCV 제어 및 시스템 전력 균형을 인계받는다. 한편, 배터리 에이전트는 유휴 모드에 있으며 WPGS 에이전트는 MPPT에서 작동하여 풍력 터빈에서 최대 전력을 추출한다. $t = 0.3$ 초에서 그리드는 종료되지만 그리드 결함 감지 및 통신 지연으로 인해 GO 및 모든 시스템 에이전트가 이를 즉시 인식할 수 없다. 결과적으로, 배터리가 여전히 유휴 모드에 있는 동안 그리드 에이전트는 여전히 DCVM-REC에서 작동한다. 도 9의 (A)에서 볼 수

있듯이, DCV(c) 참조는 전력 불균형으로 인해 급격히 감소한다. DCV가 370V의 $V_{DC,faulb}^{min1}$ 로 떨어지자마자, 배터리 에이전트는 CPCM으로 전환하여 2kW의 최대 방전 전력으로 배터리를 방전한다. DCV가 390V의 $V_{DC,faulb}^{min2}$ 에 도달할 때, 배터리의 제어 모드는 DCVM-DIS로 전환되어 공칭 값 400V에서 DCV를 점진적으로 조정한다. 그리드 오류가 $t = 0.5$ 초에서 감지된 경우, 그리드 에이전트의 작동이 유휴(IDLE)로 전환되고 배터리 에이전트는 DCVM-DIS에 의해 DCV를 지속적으로 제어한다. 도 9의 (A)에서 (a)는 a상 그리드 전압, (b)는 에이전트들의 출력 전력, (c)는 DCV를 각각 나타낸다.

[0076] 도 9의 (B)를 참조하면, 이는 그리드 결함 감지 및 통신 지연이 있는 상태에서 WPGS 에이전트에 의해 구현된 DCV 복구 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 보여주는 것으로서, 그리드 결함이 발생하기 전에 배터리가 유휴(IDLE) 상태인 동안 WPGS 에이전트는 MPPT 모드에서 작동한다. DCV는 그리드 에이전트의 DCVM-REC에 의해 400V로 조정된다. $t = 0.3$ 초에서 그리드 결함이 발생하지만 그리드 결함 감지 및 통신 지연으로 인해 GO 및 모든 에이전트

가 이를 인식하지 못한다. 이는 공급-수요 전력 불균형으로 인해 DCV의 빠른 증가를 초래한다. DCV가 $V_{DC,faul}^{max}$ 에 도달하자마자, WPGS 에이전트는 DCVM-LIM으로 전환하여 WPGS의 출력 전력을 제한한다. 그리드 오류가 $t = 0.5$ 초에서 감지되면, 그리드 에이전트의 작동이 유휴(IDLE)로 전환되고 WPGS 에이전트는 DCVM-LIM에 의해 DCV를 지속적으로 제어한다. 도 9의 (B)에서 (a)는 a상 그리드 전압, (b)는 에이전트들의 출력 전력, (c)는 DCV를 각각 나타낸다.

[0077] 도 10은 통신 장애 조건 하에서의 배터리 에이전트 및 WPGS 에이전트에 의한 그리드 복구 감지의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

[0078] 도 10의 (A)를 참조하면, 이는 배터리 에이전트를 이용한 그리드 복구 감지 방식의 시뮬레이션 결과를 보여주는 것으로서, 그리드가 복구되기 전에 배터리 에이전트의 DCVM-CHA를 구현함으로써 DCV가 조정된다. $t = 0.2$ 초에서 그리드는 복구되지만 통신 장애로 인해 배터리 에이전트가 이를 인식할 수 없다. 동시에 그리드 에이전트는 SCCM(special current control mode)을 활성화하여 DC-링크에 특수한 전류 패턴을 주입한다. 전류 패턴은 20Hz의 주파수를 갖는 구형파이다. 그리드 에이전트에 의해 생성된 특수 전류 패턴의 영향으로 인해, 도 10의 (A)의 (e)에서 볼 수 있는 것처럼, 유사한 파형이 배터리 전류 I_b 에 나타났다. 그런 다음, 배터리 전류 파형은 도 6의 (B) 및 도 8의 (B)에서 설명된 전류 식별 알고리즘으로 분석된다. 풍력 전력 및 부하 전력의 변동은 식별 과정 동안 방해로 간주된다. 카운터가 사전 정의된 N 레벨에 도달한 후, 그리드 복구가 감지되고, 배터리 에이전트는 DCVM-CHA를 중지한다. DCV가 410V의 $V_{DC,rec0}^{max}$ 에 도달하자마자, 그리드 에이전트는 SCCM을 DCVM-INV로 전환하여 DCV를 조정한다. 도 10의 (A)에서 (a)는 DCV, (b)는 그리드 에이전트의 출력 전력, (c)는 부하 전력, (d)는 WPGS의 출력 전력, (e)는 배터리 전류를 각각 나타낸다.

[0079] 도 10의 (B)를 참조하면, 이는 통신 장애 조건 하에서의 WPGS 에이전트에 의한 그리드 복구 감지의 시뮬레이션 결과를 보여주는 것으로서, 그리드가 복구되기 전에 DCV는 WPGS 에이전트의 DCVM-LIM을 구현함으로써 조정된다. $t = 0.2$ 초에서 그리드는 복구되지만, WPGS 에이전트는 이를 인식하지 못하고 DCVM-LIM에서 여전히 작동한다. 카운터가 N 레벨에 도달하면, 그리드 복구가 감지되고, WPGS 에이전트는 DCVM-LIM을 MPPT로 전환한다. DCV가 410V의 $V_{DC,rec0}^{max}$ 에 도달하자마자, 그리드 에이전트는 SCCM을 DCVM-INV로 전환하여 DCV를 제어한다. 본 발명의 방법

을 사용함으로써, 풍력 및 부하 전력의 변화로 인한 통신 장애 하에서도 그리드 복구가 감지될 수 있음을 확인하였다. 또한, DCV는 전압 제어의 충돌없이 잘 조정된다. 도 10의 (B)에서 (a)는 DCV, (b)는 그리드 에이전트의 출력 전력, (c)는 부하 전력, (d)는 WPGS 전류를 각각 나타낸다.

[0080] 이상의 설명과 같이, 본 발명에 따른 DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템 및 방법은 DC 마이크로그리드를 위한 비상 작동 알고리즘 및 DCV(DC-grid voltage) 안정화 솔루션을 마련하고, MAS(Multi-Agent Systems) 기반 분산 제어 방식을 사용하여 DCMG(DC microgrid)에 대해 조절된 제어를 구현함으로써, MAS 기반의 분산형 제어에서 통신 장애가 발생하더라도 다양한 조건에서 시스템의 전력 균형 및 안정성을 보장할 수 있는 장점이 있다.

[0081] 또한, 통신 장애시에도 의도하지 않은 그리드 결함 감지 지연의 영향에 대비하여 DCV를 공칭 값으로 빠르게 복구할 수 있고, 통신 문제 발생시 DCV 제어에서의 충돌을 방지할 수 있는 효과가 있다.

[0082] 또한, 본 발명의 제어 시스템 및 방법을 적용할 경우, 공급-수요 전력 균형, 시스템 안정성, 그리드 결함, 그리드 복구 및 통신 장애를 포함한 DCMG의 제어 및 관리에 대한 우려를 효과적으로 동시에 해결할 수 있는 효과가 있다.

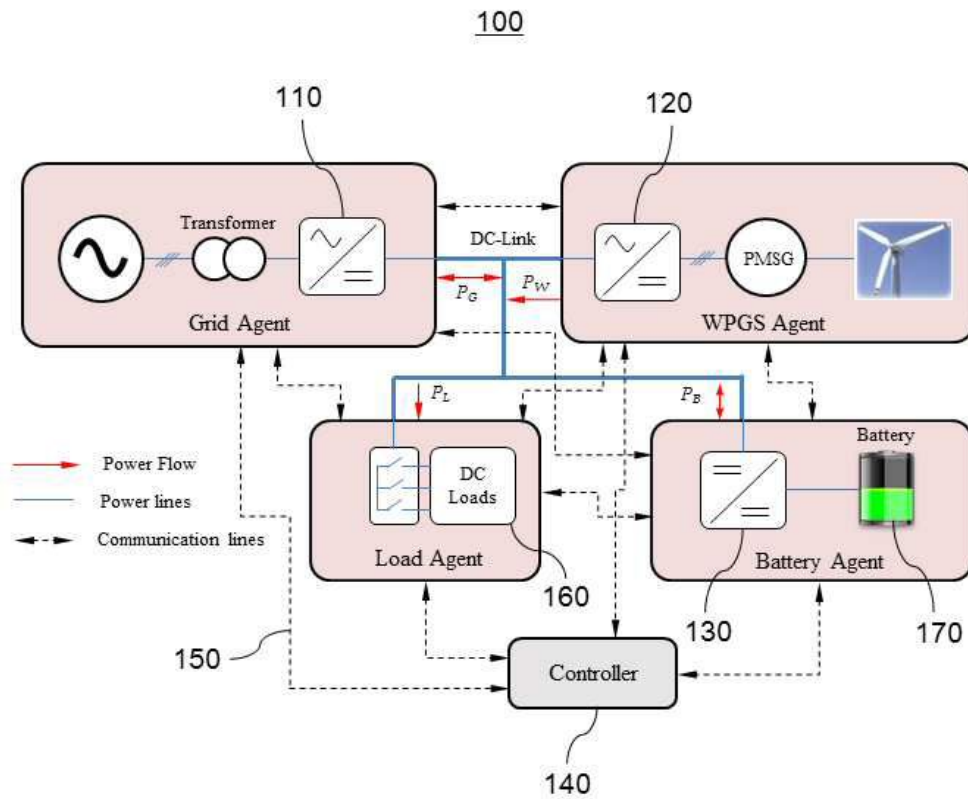
[0083] 이상, 바람직한 실시예를 통하여 본 발명에 관하여 상세히 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양하게 변경, 응용될 수 있음은 당해 기술분야의 통상의 기술자에게 자명하다. 따라서, 본 발명의 진정한 보호 범위는 다음의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술적 사상은 본 발명의 권리 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

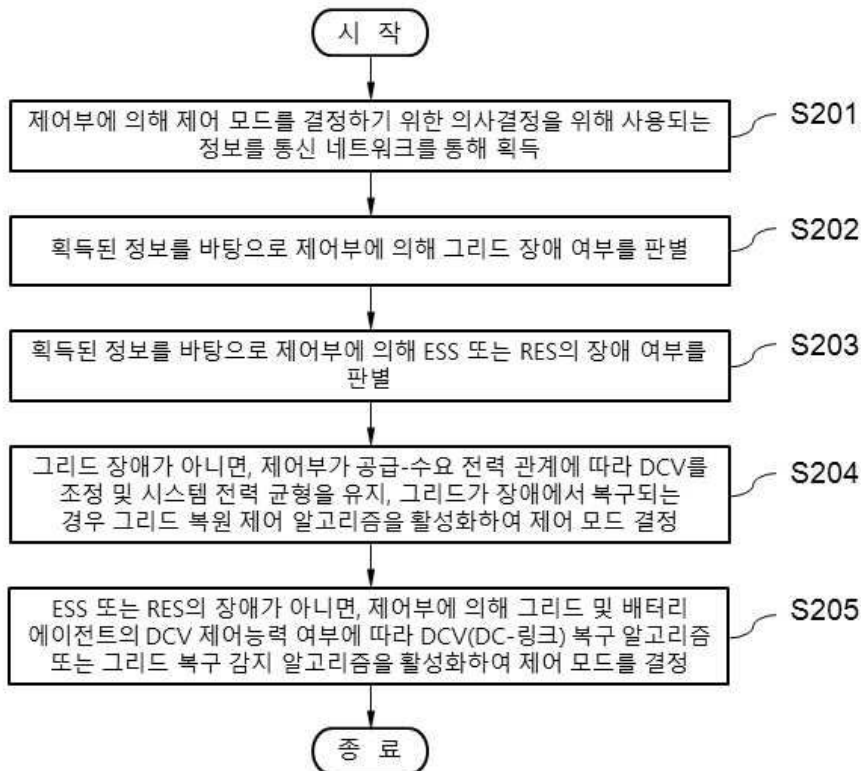
- [0084] 100:(본 발명)DC 마이크로그리드에서의 MAS 기반의 분산형 제어 시스템
- 110: 3상 양방향 그리드 연계 컨버터
- 120: 3상 단방향 재생 에너지 소스 연계 컨버터
- 130: 인터리브(interleaved) 양방향 에너지 저장 시스템 연계 컨버터
- 140: 제어부 150: 통신 네트워크
- 160: 부하 170: 배터리

도면

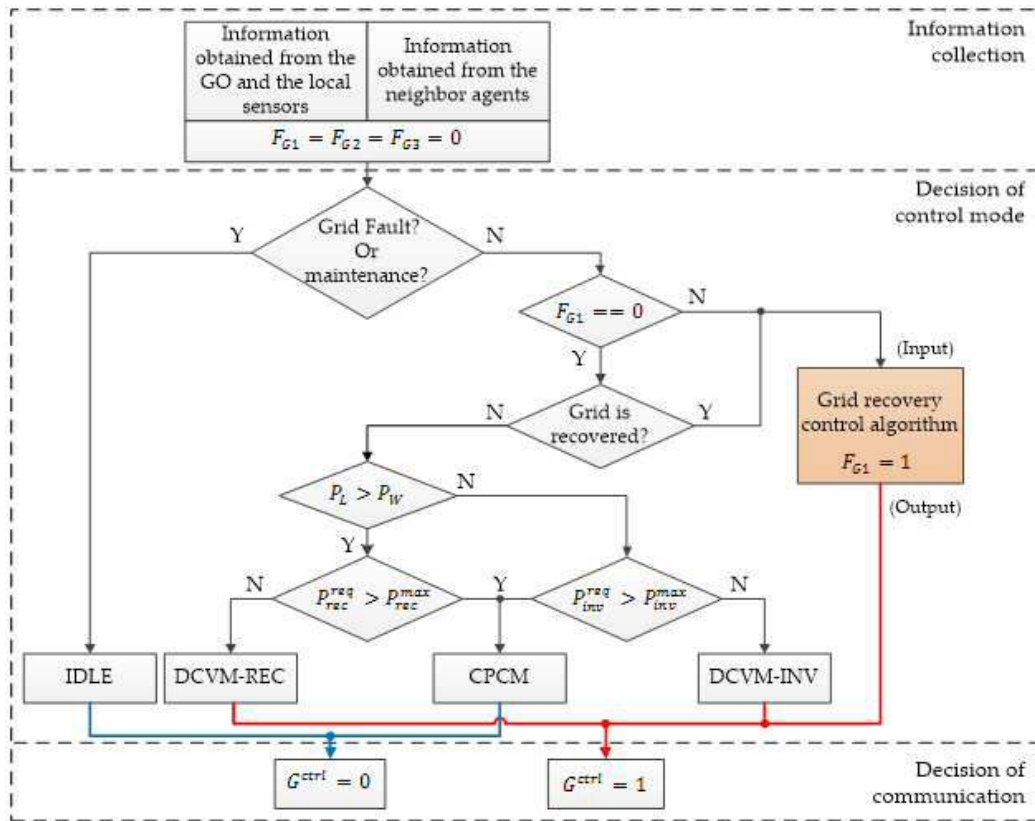
도면1



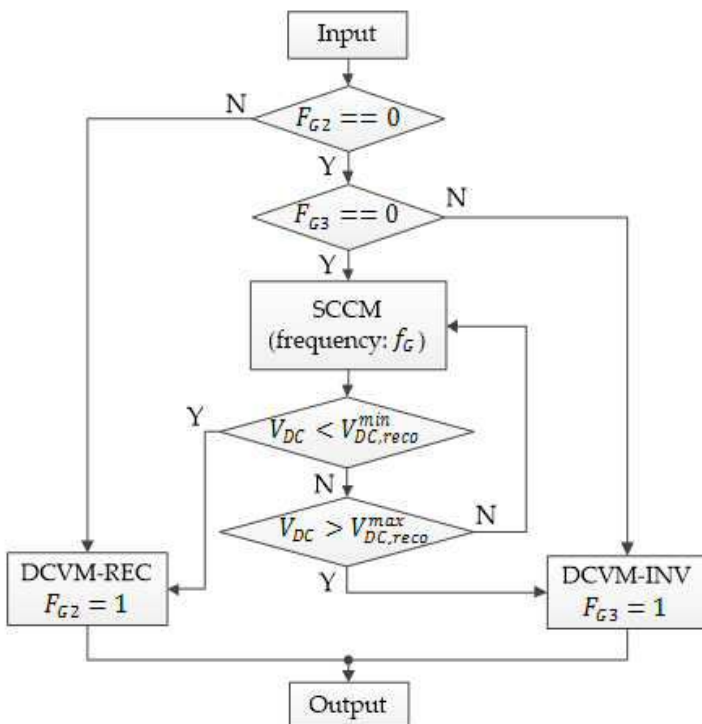
도면2



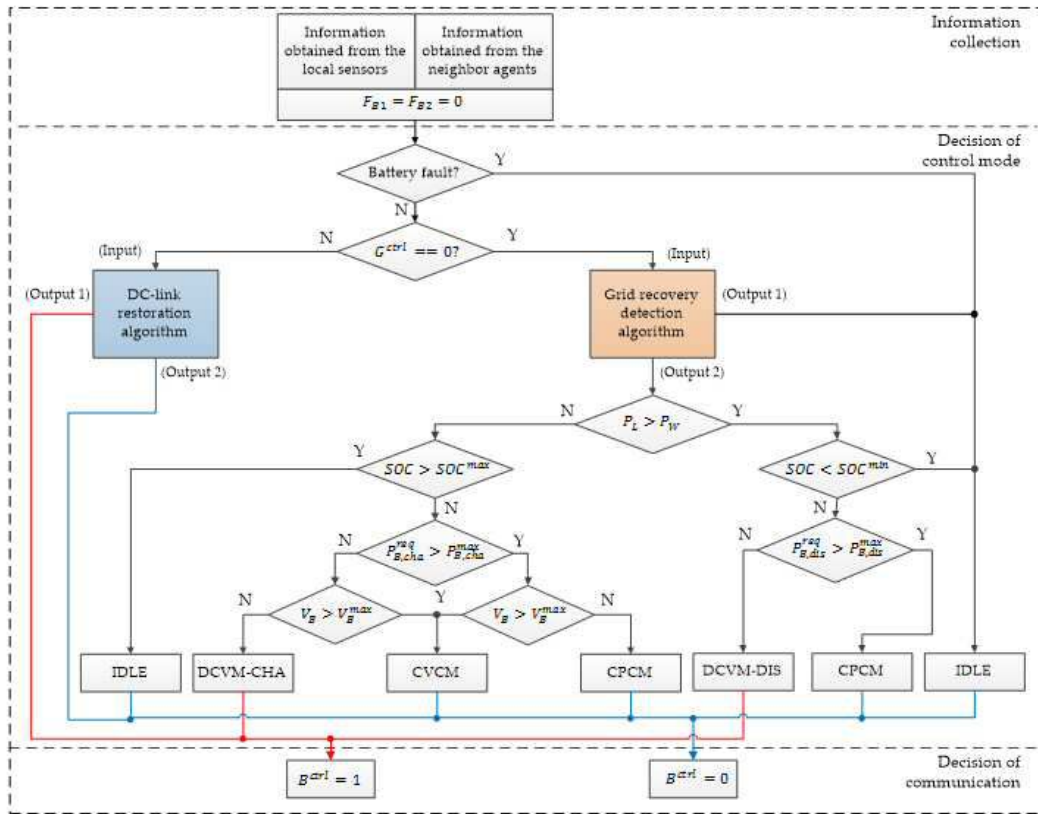
도면3



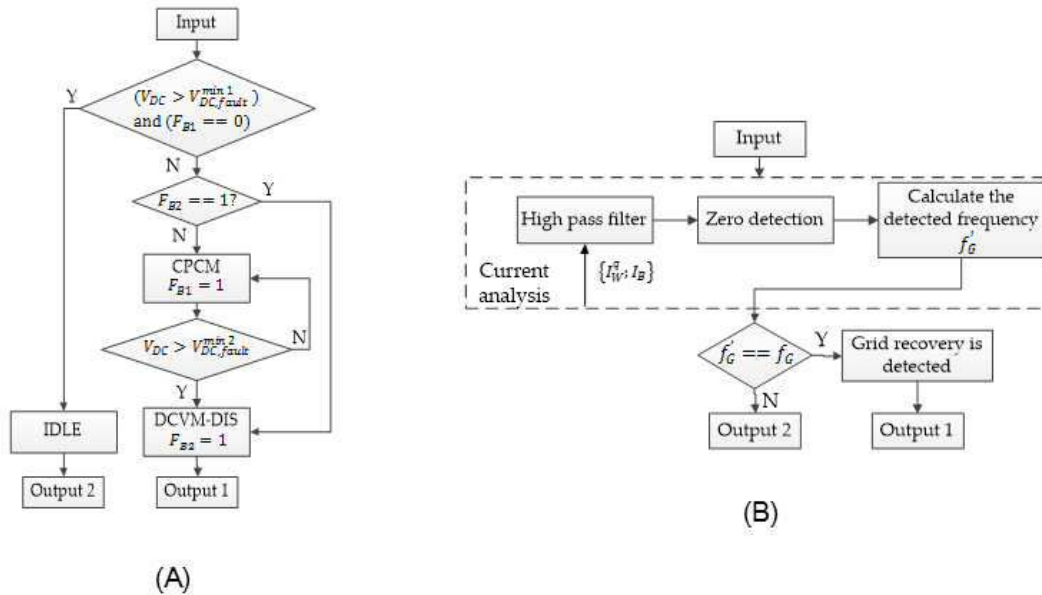
도면4



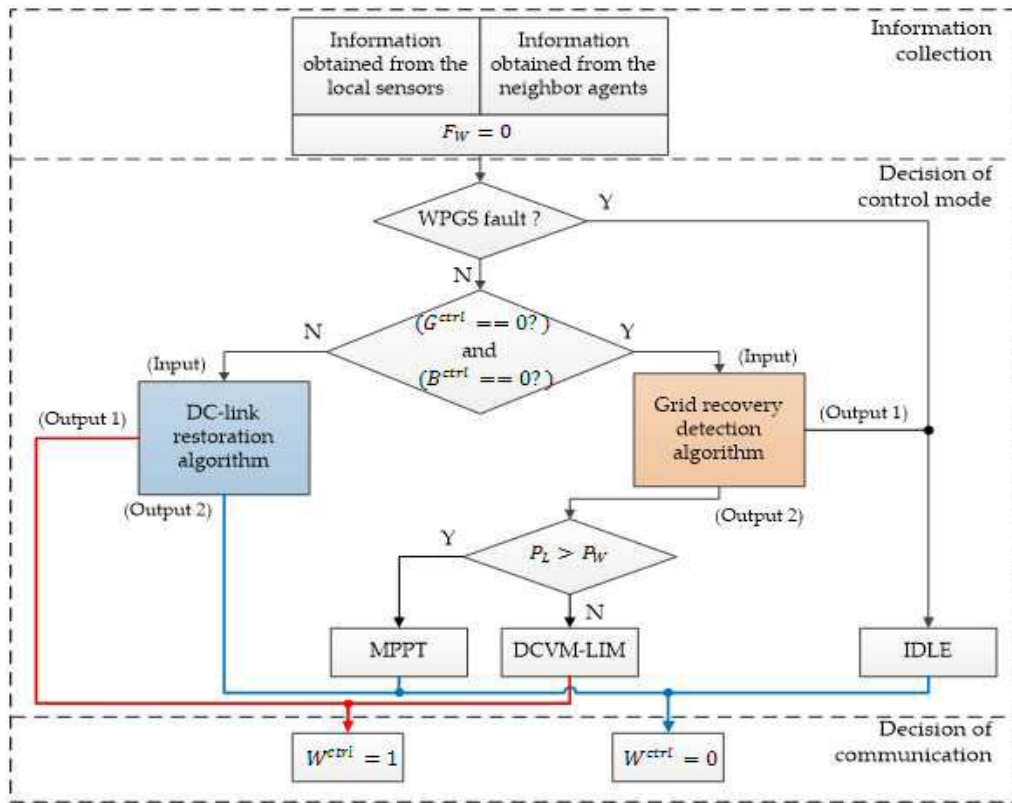
도면5



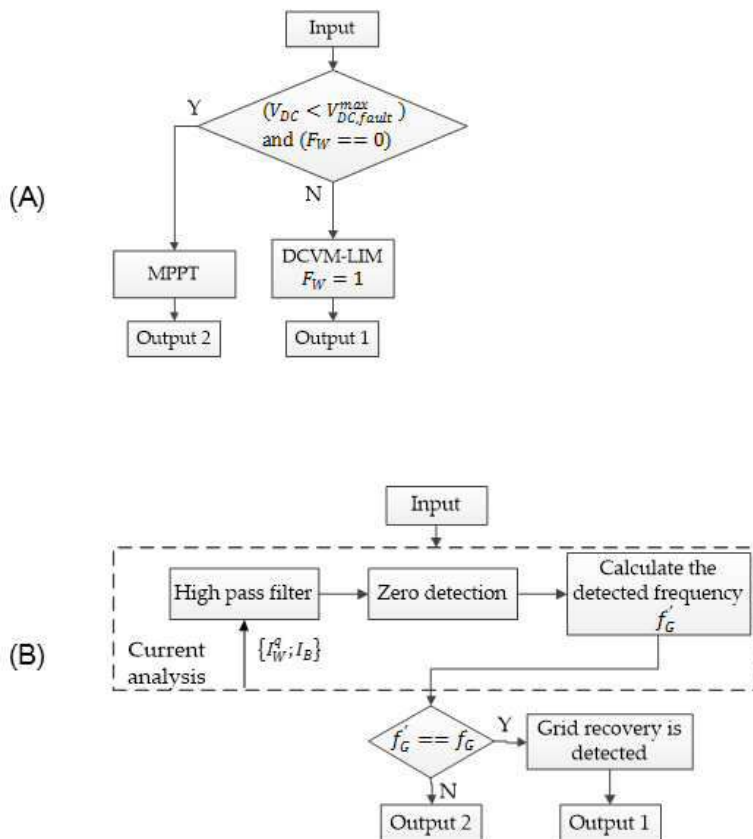
도면6



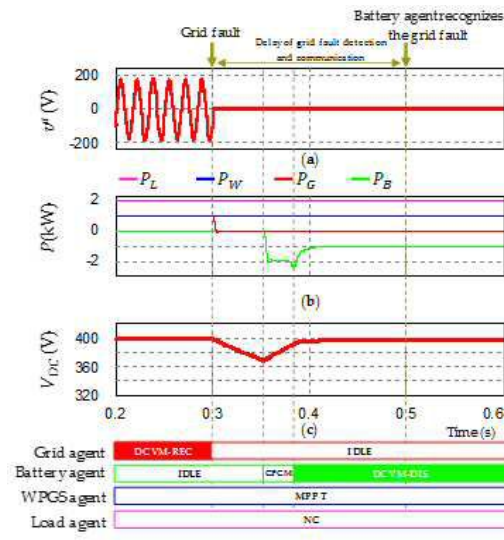
도면7



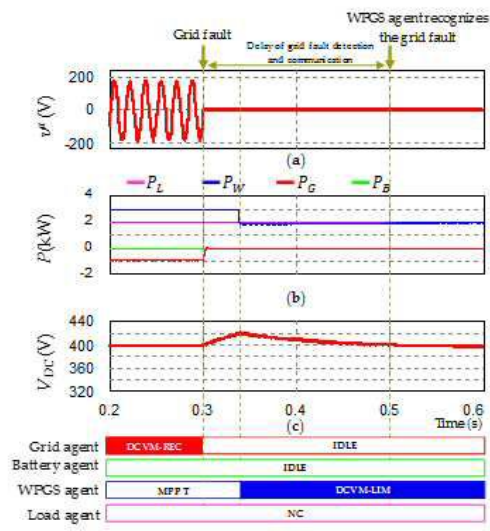
도면8



도면9

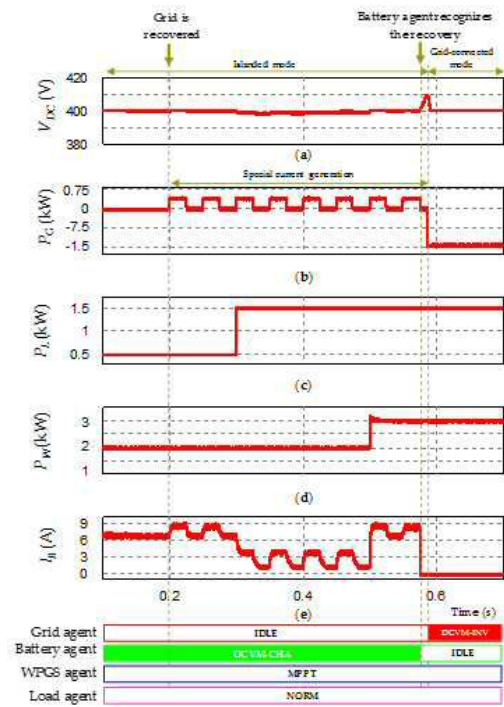


(A)

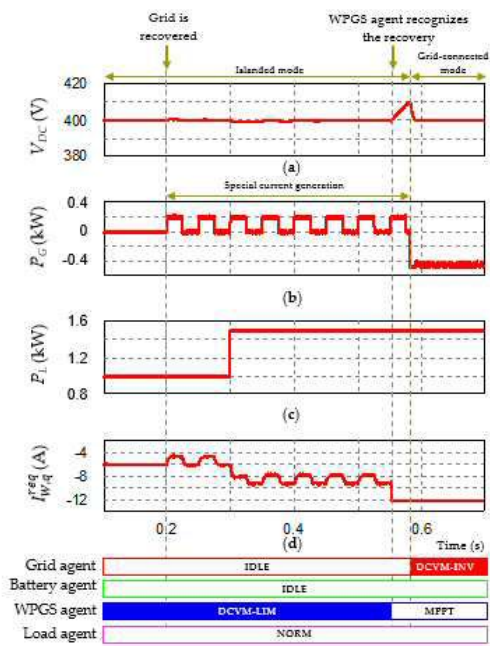


(B)

도면10



(A)



(B)