



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년12월28일
(11) 등록번호 10-1690742
(24) 등록일자 2016년12월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02J 3/02 (2006.01) G05F 1/70 (2006.01)
H02J 3/01 (2006.01) H02J 3/18 (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H02J 3/02 (2013.01)
G05F 1/70 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0117210

(22) 출원일자 2015년08월20일

심사청구일자 2015년08월20일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020110034898 A
JP2013258806 A
US20110012352 A1
US20070177319 A1

(73) 특허권자

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)

(72) 발명자

김학만

서울특별시 서대문구 성산로7길 45 (연희동)

유형준

인천광역시 남동구 논현남로30번길 9 (논현동)

(74) 대리인

특허법인충정

기술이전 희망 : 기술양도

전체 청구항 수 : 총 13 항

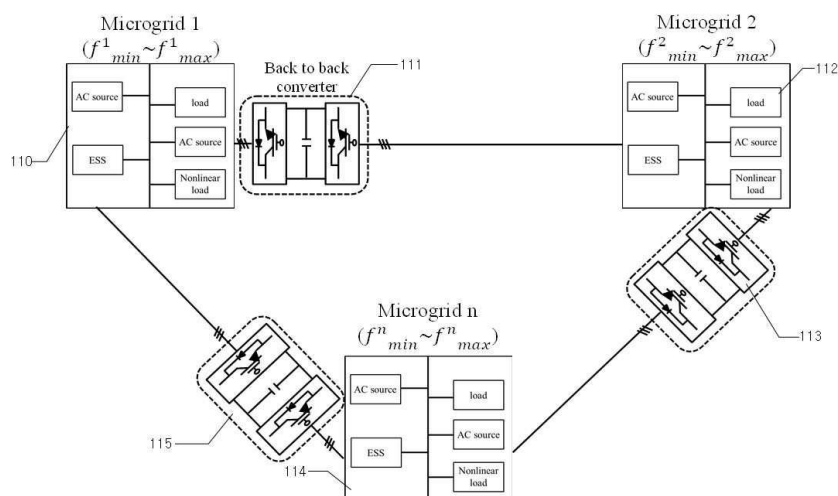
심사관 : 추형석

(54) 발명의 명칭 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 마이크로그리드의 연계점에 연결된 정류기(rectifier)와 인버터(inverter)로 구성된 다기능 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC)를 통해 각 마이크로그리드별 주파수를 각 허용 범위로 제어할 뿐 아니라 각 마이크로그리드의 전력 품질 저하가 발생할 경우 이를 해결하기 위한 전력 품질 보상 및 향상을 위해 적어도 하나 이상의 분산 전원과 에너지 저장 장치를 포함하는 독립형(stand-alone 또는 off-grid) 마이크로그리드와, 정류기(rectifier)부와 인버터(inverter)부로 구성되어 상기 정류기부와 인버터 간 공통의 DC 링크를 공유하고, 다수의 상기 독립형 마이크로그리드들을 AC 선로를 통해 연계하여 각 마이크로그리드별 부하 품질 수준이 고려된 멀티 주파수 제어 수행을 위한 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC)를 포함함을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H02J 3/01 (2013.01)

H02J 3/18 (2013.01)

H02J 3/382 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20141020402350

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 에너지기술평가원

연구사업명 에너지기술개발사업

연구과제명 HILS 환경에서 멀티 마이크로그리드 Flexible 연계 및 다이내믹 최적 운용 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 국립 인천대학교

연구기간 2014.12.01 ~ 2017.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

적어도 하나 이상의 분산 전원과 에너지 저장 장치를 포함하는 독립형(stand-alone 또는 off-grid) 마이크로그리드와,

정류기(rectifier)부와 인버터(inverter)부로 구성되어 상기 정류기부와 인버터 간 공통의 DC 링크를 공유하고, 다수의 상기 독립형 마이크로그리드들을 AC 선로를 통해 연계하여 각 마이크로그리드별 부하 품질 제어와 동시에 멀티 주파수 제어 수행을 위한 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC)를 포함함을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, BTB VSC는,

마이크로그리드의 연계점에 연결되어 각 마이크로그리드별 주파수를 정규화하는 멀티 주파수 제어부를 포함함을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, BTB VSC는,

AC 선로 연계 기반 다수의 마이크로그리드별 대응하는 각 BTB VSC 상호 간 로컬(local) 제어를 통해 인접 마이크로그리드 제어 기반 BTB VSC간 상호 데이터 공유를 위한 통신 경로가 생성되지 않음을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서, BTB VSC부는,

상기 마이크로그리드 내 비선형 부하에 대응하는 고조파 패턴을 기설정된 사이클 기준으로 추출하는 고조파(harmonic) 전류 추출부와,

제1 전류 제어부를 통해 기설정된 기준 전류를 기반으로 추출된 고조파 보상을 위한 전류 지령치를 설정하고, DC 링크 전압 제어부를 통해 공유된 상기 DC 링크로부터 측정된 전압을 기반으로 DC 링크 전압 제어를 위한 전압 지령치를 설정하도록 제어하는 BTB VSC 제어부와,

상기 BTB VSC 제어부 제어 하에 상기 마이크로그리드 내 부하(load)에 병렬 연결된 정류기부로부터 측정된 유효 전류 및 무효 전류 기반 무효 전력 제어를 통해 기설정된 유효 전류 및 무효 전류를 추종하여 역률 보상 및 전압 제어를 수행하는 정출력 제어부를 포함하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 BTB VSC 제어부 제어 하에 상기 정류기부와 백투백으로 연결된 인버터부로부터 측정된 유효 전류 및 무효 전류 기반 무효 전력 제어부의 무효 전력 제어를 통해 기설정된 유효 전류 및 무효 전류를 추종하여 상기 인버터부 측의 마이크로그리드에 무효전력 공급이 수행되도록 동작하는 무효전력 보상부를 더 포함함을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 인버터부는,

상기 BTB VSC 제어부 제어 하에 출력된 유효 전류 및 무효 전류 기반 제2 전류부로부터 기설정된 유효 전류 및

무효 전류를 추종하여 유효 전력 제어를 통해 제1 마이크로그리드와 제2 마이크로그리드 간의 유효 전력 제어 및 주파수 제어를 수행함을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템.

청구항 7

제2항에 있어서, 상기 멀티 주파수 제어부는,

하기의 수학적식을 이용하여 각 마이크로그리드별 상이하게 설정된 허용 주파수를 $-1 \sim 1$ 로 정규화함을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템.

$$f_{normal}^n = \frac{f - 0.5(f_{max}^n + f_{min}^n)}{0.5(f_{max}^n - f_{min}^n)}, -1 \leq f_{normal}^n \leq 1$$

(상기에서 f_{normal}^n 는 각 마이크로그리드의 정규화된 주파수, f_{max}^n 는 각 마이크로그리드의 최대 허용 주파수, f_{min}^n 는 각 마이크로그리드의 최소 허용 주파수, f 는 각 마이크로그리드의 주파수)

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 멀티 주파수 제어부는,

BTB VSC의 로컬 제어를 통해 상기 BTB VSC 기반 제1 및 제2 마이크로그리드간 정규화된 주파수의 차이를 0이 되게 하여 계통 연계된 다수의 마이크로그리드의 허용 주파수 관련 정규화된 주파수를 동일하게 제어함을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템.

청구항 9

정류기(rectifier)부와 인버터(inverter)부로 구성되어 상기 정류기부와 인버터부 간 공통의 DC 링크를 공유하고, 다수의 독립형 마이크로그리드들을 AC 선로를 통해 연계하여 각 마이크로그리드별 부하 품질 수준이 고려된 멀티 주파수 제어 수행을 위한 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC)부를 통해 입력된 다수의 독립형 마이크로그리드별 허용 주파수를 정규화하는 과정과,

오차 출력부를 통해 정규화된 마이크로그리드별 주파수에 대응하는 주파수 간 오차를 출력하는 과정과,

PI 제어부를 통해 정규화된 주파수간의 출력된 오차를 0이 되게 하기 위한 보정을 수행하고, 기설정된 수학적식을 통해 기준 d축 전류를 결정하는 과정과,

결정된 상기 기준 d축 전류와 실제 d축 전류의 오차를 오차 출력부를 통해 출력하여 전류 제어부를 통해 멀티 주파수 제어를 위한 제어 신호를 발생하는 과정을 포함함을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 멀티 주파수 제어를 위한 제어 신호를 발생하는 과정은,

상기 BTB VSC부의 로컬 제어를 통해 상기 BTB VSC 기반 제1 및 제2 마이크로그리드간 정규화된 주파수의 차이를 0이 되게 하기의 수학적식을 이용하여 각 마이크로그리드별 상이하게 설정된 허용 주파수를 $-1 \sim 1$ 로 정규화하여 다수의 마이크로그리드의 허용 주파수 관련 정규화된 주파수를 동일하게 제어함을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 방법.

$$f_{normal}^n = \frac{f - 0.5(f_{max}^n + f_{min}^n)}{0.5(f_{max}^n - f_{min}^n)}, -1 \leq f_{normal}^n \leq 1$$

(상기에서 f_{normal}^n 는 각 마이크로그리드의 정규화된 주파수, f_{max}^n 는 각 마이크로그리드의 최대 허용 주파수,

$f_{\min}^n$ 는 각 마이크로그리드의 최소 허용 주파수, f 는 각 마이크로그리드의 주파수)

청구항 11

제9항에 있어서, BTB VSC부는,

AC 선로 연계 기반 다수의 마이크로그리드별 대응하는 각 BTB VSC 상호 간 로컬(local) 제어를 통해 인접 마이크로그리드 제어 기반 BTB VSC간 상호 데이터 공유를 위한 통신 경로가 생성되지 않음을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 방법.

청구항 12

제9항에 있어서, 상기 BTB VSC부는,

상기 마이크로그리드 내 비선형 부하에 대응하는 고조파 패턴을 기설정된 사이클 기준으로 추출하여 제1 전류 제어부를 통해 기설정된 기준 전류를 기반으로 추출된 고조파 보상을 위한 전류 지령치를 설정하고, 공유된 상기 DC 링크로부터 측정된 전압을 기반으로 DC 링크 전압 제어를 위한 전압 지령치를 설정하도록 제어하여 상기 마이크로그리드 내 부하(load)에 병렬 연결된 정류기부로부터 측정된 유효 전류 및 무효 전류 기반 무효 전력 제어를 통해 기설정된 유효 전류 및 무효 전류를 추종하여 역률 보상 및 전압 제어를 수행함을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 BTB VSC부는,

상기 정류기부와 백투백으로 연결된 인버터부로부터 측정된 유효 전류 및 무효 전류 기반 무효 전력 제어를 통해 기설정된 유효 전류 및 무효 전류를 추종하여 상기 인버터부 측의 마이크로그리드에 무효 전력 공급이 수행되도록 동작함을 특징으로 하는 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC) 기반 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 신재생에너지원 기반의 분산전원과 에너지저장장치를 적용한 독립형 마이크로그리드가 도서지방에 보급이 활발하게 진행되고 있으며, 육지에서는 계통 연계형으로 캠퍼스 마이크로그리드, 군용 마이크로그리드, 산업단지 마이크로그리드 등 다양한 형태로 보급이 진행되고 있다.

[0003] 특히, 독립형 또는 연계형의 독립 운전모드(이하, 독립 운전모드)의 경우 종래 마이크로그리드는 상용 정격 주파수 (60Hz 또는 50Hz)로 운전되도록 설계되어 운전되고 있으나, 부하의 전기품질 요구수준이 다른 마이크로그리드에 동일하게 상용 정격 주파수로 운전하는 것은 경제적인 측면에서 다소 과도한 설비투자가 요구된다.

[0004] 또한, 현재는 주로 단일 마이크로그리드의 기술이 보급되고 있으나, 도서 지역에 다수의 마이크로그리드가 설치되고 경제적이고 안정한 운영을 위해서 독립 마이크로그리드 간의 연계(이하 다수 독립형 마이크로그리드)는 불가피하며, 추후 많은 다수 독립형 마이크로그리드의 출현이 예상된다.

[0005] 이와 관련하여 경제적인 관점에서 독립형 또는 독립 운전 모드의 마이크로그리드별 부하 전력품질 수준에 맞는 주파수 관리가 요구되며, 이와 관련한 기술 개발이 요구되고 있는 실정이다.

[0006] 특히, 다수 독립형 마이크로그리드가 AC 전력선으로 연계하여 운전하는 경우 모든 마이크로그리드의 주파수가 동일하게 되므로 각 마이크로그리드의 부하의 전력 품질 수준을 고려한 멀티 주파수 제어가 불가능하여 이를 실현할 새로운 기술이 필요하다.

[0007] 또한, 마이크로그리드 내에 전력변환장치를 이용한 분산전원 및 비선형 부하가 증가함에 따라 고조파 및 역률 저하와 같은 전력품질 문제가 발생한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 이를 해결하기 위해 본 발명은 마이크로그리드의 연계점에 연결된 정류기(rectifier)와 인버터(inverter)로 구성된 다기능 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC)를 통해 각 마이크로그리드의 주파수를 각 허용 범위로 제어할 뿐 아니라 각 마이크로그리드의 전력 품질 저하가 발생할 경우 이를 해결하기 위한 전력 품질 보상 및 향상 기술을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 발명의 일 견지에 따르면, 적어도 하나 이상의 분산 전원과 에너지 저장 장치를 포함하는 독립형(stand-alone 또는 off-grid) 마이크로그리드와, 정류기(rectifier)부와 인버터(inverter)부로 구성되어 상기 정류기부와 인버터 간 공통의 DC 링크를 공유하고, 다수의 상기 독립형 마이크로그리드들을 AC 선로를 통해 연계하여 각 마이크로그리드별 부하 품질 제어와 동시에 멀티 주파수 제어 수행을 위한 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC)를 포함함을 특징으로 한다.
- [0010] 본 발명의 다른 견지에 따르면, 정류기(rectifier)부와 인버터(inverter)부로 구성되어 상기 정류기부와 인버터 부 간 공통의 DC 링크를 공유하고, 다수의 독립형 마이크로그리드들을 AC 선로를 통해 연계하여 각 마이크로그리드별 부하 품질 제어와 동시에 멀티 주파수 제어 수행을 위한 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC)부를 통해 입력된 다수의 독립형 마이크로그리드별 허용 주파수를 정규화하는 과정과, 오차 출력부를 통해 정규화된 마이크로그리드별 주파수에 대응하는 주파수 간 오차를 출력하는 과정과, PI 제어부를 통해 정규화된 주파수간의 출력된 오차를 0이 되게 하기 위한 보정을 수행하고, 기설정된 수학적식을 통해 기준 d축 전류를 결정하는 과정과, 결정된 상기 기준 d축 전류와 실제 d축 전류의 오차를 오차 출력부를 통해 출력하여 전류 제어부를 통해 멀티 주파수 제어를 위한 제어 신호를 발생하는 과정을 포함함을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0011] 본 발명은 각각의 마이크로그리드 간의 조류 제어 필요 시 정출력 제어를 통하여 조류 제어가 가능할 뿐만 아니라, 고조파 및 역률 저하를 개선 가능한 효과가 있다.
- [0012] 또한, 마이크로그리드별 전력 공급과 수요의 균형을 제어하여 연계된 다수 독립형 마이크로그리드별 부하 품질 제어와 동시에 멀티 주파수 제어를 적응적으로 실행 가능하고, 마이크로그리드의 전력 수급을 조정하여 주파수 변동에 신속하게 대응할 수 있으며, 이를 통해 과도상태를 최소화시켜 마이크로그리드 시스템을 안정적으로 운영할 수 있는 효과가 있다.
- [0013] 그리고 본 발명은 다수 독립형 마이크로그리드의 연계 기술 진화에 따른 다수 독립형 마이크로그리드에서의 멀티 주파수 제어 기술의 미미함을 극복하여 AC 전력선을 기반으로 동일한 주파수 허용 범위에 한해 운용되는 다수 마이크로그리드 시스템에서 각각의 마이크로그리드 내에 전력수급 문제에 기인한 주파수가 허용 주파수를 벗어날 경우 주파수 제어를 통하여 주파수 유지·제어 가능한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템을 개략적으로 도시한 구성도.
- 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템의 상세 제어 블록도.
- 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템에 있어서, n개의 마이크로그리드에 대해서 각 마이크로그리드별 VSC의 주파수 제어 수행을 위한 블록도.
- 도 4 내지 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 방법이 적용된 시뮬레이션 결과를 보인 예시도.
- 도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 방법에 관한 전

체 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 하기 설명에서는 구체적인 구성 장치 등과 같은 특정 사항들이 나타나고 있는데, 이는 본 발명에 있어서 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐 이러한 특정 사항들이 본 발명의 범위 내에서 소정의 변형이나 혹은 변경이 이루어질 수 있음은 이 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게는 자명하다 할 것이다.
- [0017] 본 발명은 다수 독립형 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 마이크로그리드의 연계점에 연결된 정류기(rectifier)와 인버터(inverter)로 구성된 다기능 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC)를 통해 각 마이크로그리드별 주파수를 각 허용 범위로 제어할 뿐 아니라 각 마이크로그리드의 전력 품질 저하가 발생할 경우 이를 해결하기 위한 전력 품질 제어를 위해 마이크로그리드 내 비선형 부하에 병렬로 연결되어 있는 정류기로부터 비선형 부하에서 발생하는 고조파를 추출하여 추출된 고조파 보상을 위한 전류 지령치와 DC 링크 전압 제어를 위한 전류 지령치를 기반으로 정류기의 d축 전류가 생성되고, 기설정된 무효 전력을 추종하는 q축 전류를 생성하여 역률 보상 및 전압 제어를 수행한다. 또한, 인버터부로부터 측정된 유효 전류 및 무효 전류 기반 유효 전력 및 무효 전력 제어를 통해 기설정된 유효 전류 및 무효 전류를 추종하여 각각의 마이크로그리드 간의 조류 제어 필요 시 정출력 제어를 통하여 조류 제어가 가능할 뿐만 아니라, 고조파 및 역률 저하를 개선 가능한 기술을 제공하고자 한다.
- [0018] 또한, 본 발명은 다수 독립형 마이크로그리드별 허용 주파수를 정규화하고, 정규화된 마이크로그리드별 주파수에 대응하는 주파수 간 오차를 0이 되게 보정하기 위하여 상기 BTB VSC부의 로컬 제어를 통해 상기 BTB VSC 기반 제1 및 제2 마이크로그리드간 정규화된 주파수의 차이를 0이 되게 각 마이크로그리드별 상이하게 설정된 허용 주파수를 -1 ~ 1로 정규화하여 다수의 마이크로그리드의 허용 주파수 관련 정규화된 주파수를 동일하게 제어함으로써 마이크로그리드별 전력 공급과 수요의 균형을 제어하여 연계된 다수 독립형 마이크로그리드별 부하 품질 수준이 고려된 멀티 주파수 제어를 적응적으로 실행 가능하고, 마이크로그리드의 전력 수급을 조정하여 주파수 변동에 신속하게 대응할 수 있으며, 이를 통해 과도상태를 최소화시켜 마이크로그리드 시스템을 안정적으로 운영할 수 있을 뿐만 아니라, 최근 성장하는 다수 독립형 마이크로그리드의 연계 기술 진화에 따른 다수 독립형 마이크로그리드에서의 멀티 주파수 제어 기술의 미미함을 극복하여 AC 전력선을 기반으로 동일한 주파수 허용 범위에 한해 운용되는 다수 마이크로그리드 시스템에서 각각의 마이크로그리드 내에 전력수수 문제로 주파수가 허용 주파수를 벗어날 경우 주파수 제어를 통하여 주파수 유지·제어 가능한 기술을 제공하고자 한다.
- [0020] 그리고 이하 후술되는 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템 설명에서 단위 마이크로그리드 및 단위 마이크로그리드 연계점에 연결되어 있는 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC)를 각각 소정 개로 예를 들어 설명하지만 본 발명이 이에 한정되지 않음은 자명하며, 본 발명이 적용된 시스템은 적어도 2개 이상의 다수 마이크로그리드가 BTB VSC를 통하여 연결되어 전력 공급 및 수전이 가능함을 미리 밝혀 두는 바이다.
- [0022] 또한, 본 발명은 다수 독립형 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어에 적용되며, 이하 후술 되는 본 발명에서 계통연계형의 독립운전 모드와 독립형 마이크로그리드는 동일한 개념이므로 다수 계통연계형 마이크로그리드의 독립 운전 모드의 멀티 주파수 제어 방법까지 적용 범위를 확장하여 제안됨을 미리 밝혀 두는 바이다.
- [0024] 이하, 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템의 구성을 도 1 내지 도 2를 참조하여 자세히 살펴보기로 한다.
- [0025] 우선, 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템을 개략적으로 도시한 구성도이다.
- [0026] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 마이크로그리드 시스템(100)은 다수 독립형 마이크로그리드(110, 112, 114)와 상기 각 마이크로그리드(110, 112, 114)별 대응되는 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC, 111, 113, 115)를 포함한다.
- [0027] 상기 마이크로그리드(110, 112, 114)는 적어도 하나 이상의 분산 전원과 에너지 저장 장치를 포함하는 독립형 마이크로그리드를 의미한다.
- [0028] 이러한 마이크로그리드(110, 112, 114)는 비록, 도 1에는 도시되어 있지 않지만, 상용 에너지저장장치(Energy Storage System), 비상용 에너지저장장치, 정지형 절체 스위치(STS: Static Transfer Switch), 스위치, 자동

부하 전환 스위치 및 전력을 소모하는 부하(Load)를 더 포함하며, 풍력발전기, 태양광 어레이, 엔진 발전기와 같은 분산 전원 등의 전력 요소를 필요에 따라 선택적으로 포함한다.

- [0029] 상기 BTB VSC(11, 113, 115)는 정류기(rectifier)부와 인버터(inverter)부로 구성되어 상기 정류기부와 인버터 간 공통의 DC 링크를 공유하고, 다수의 상기 독립형 마이크로그리드들(110, 112, 114)을 AC 선로를 통해 연계하여 각 마이크로그리드별 부하 품질 수준이 고려된 멀티 주파수 제어를 수행한다.
- [0030] 여기서, 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB VSC(11, 113, 115)이 포함된 마이크로그리드 시스템(100)은 는 무효 전력과 유효 전력을 독립적으로 제어하며, 상기 정류기부와 인버터부를 위해 PWM(Pulse Width Modulation) 제어 전략 하에 상기 정류기부와 인버터부가 백투백(back-to-back)으로 서로 연결된 서로 다른 타입의 VSC로 구성된다.
- [0031] 상기 정류기부는 백투백(back-to-back)컨버터의 DC 링크 전압제어를 위한 DC 전압 제어모드로 운영하고, 상기 인버터부는 전력을 전송하기 위한 유효전력 및 무효전력 제어 모드로 운영한다.
- [0032] 이러한 BTB VSC(11, 113, 115)는 독립형 마이크로그리드(110, 112, 114)의 연계점에 설치되어 단위 독립형 마이크로그리드(110, 112, 114) 내 AC 전력을 DC로 변환하고, 다시 AC로 변환하여 단위 독립형 마이크로그리드(110, 112, 114)로 공급하는 전력변환 기능을 수행하며, 또한 각 마이크로그리드(110, 112, 114)별 부하 품질 수준이 고려된 멀티 주파수 제어를 수행한다.
- [0033] 더욱 상세하게는 도 2를 참조하여 단위 독립형 마이크로그리드에 대응하는 BTB VSC의 제어 동작을 설명하도록 한다.
- [0034] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템의 상세 제어 블록도이다.
- [0035] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명이 적용된 BTB VSC(210)은 정류기(rectifier)부(212)와 인버터(inverter)부(214)로 구성되어 상기 정류기부(212)와 인버터부(214) 간 공통의 DC 링크(215)를 공유한다(여기서, P: BTB VSC의 유효 전력, Q_{REC} : BTB VSC의 정류기부(Rec.)측 무효 전력, D_{NL} : 비선형 부하의 고조파를 보상하기 위한 BTB VSC의 보상 전류, Q_{inv} : BTB VSC의 인버터(Inv.)측 무효 전력).
- [0036] 더욱 상세하게는, 상기 BTB VSC부(210)는, 고조파(harmonic) 전류 추출부(216), 제1 전류 제어부(218), DC 링크 전압 제어부(220), 정출력 제어부(222), 제2 전류 제어부(224), 멀티 주파수 제어부(226), 무효 전력 보상부(228) 및 BTB VSC 제어부(230)를 포함한다.
- [0037] 상기 BTB VSC부(210)는, 마이크로그리드(205) 내 비선형 부하(Nonlinear load, 206)에 대응하는 고조파 패턴을 기설정된 사이클 기준으로 추출하는 고조파(harmonic) 전류 추출부(216)를 포함하여 해당 전력 계통의 전류파형을 분석하고, 고조파 차수별 파형의 분해 등을 수행하여 전력 계통에 대해 고조파를 포함한 전력 품질을 평가할 수 있다.
- [0038] 상기 BTB VSC 제어부(230)는 BTB VSC(210)의 전반적인 동작을 제어하며, 상술한 고조파(harmonic) 전류 추출부(216), 제1 전류 제어부(218), DC 링크 전압 제어부(220), 정출력 제어부(222), 제2 전류 제어부(224), 멀티 주파수 제어부(226), 무효 전력 보상부(228)를 이용하여 능동 필터(active filter), 역률 향상을 위한 무효 전력 보상(reactive power compensation) 동작을 제어하여 고조파 문제 및 역률 저하 문제를 해결하고, 마이크로그리드별 조류 제어 필요 시 정출력(constant power) 제어를 수행하고, 상기 마이크로그리드별 전력 수수 문제로 주파수 및 전압이 허용 주파수 이상으로 유지될 경우 전압 및 주파수 제어를 모두 수행하는 다기능 역할을 위한 제어를 수행한다.
- [0039] 보다 상세하게는, BTB VSC 제어부(230)는 제1 전류 제어부(218)를 통해 기설정된 기준 전류를 기반으로 추출된 고조파 보상을 위한 전류 지령치를 설정하고, DC 링크 전압 제어부(220)를 통해 공유된 상기 DC 링크(215)로부터 측정된 전압을 기반으로 DC 링크 전압 제어를 위한 전압 지령치를 설정하도록 제어한다.
- [0040] 그리고 상기 BTB VSC 제어부(230)는 상기 마이크로그리드(205) 내 부하(load, 206)에 병렬 연결된 정류기부(212)로부터 측정된 유효 전류 및 무효 전류 기반 무효 전력 제어를 통해 기설정된 유효 전류 및 무효 전류를 추종하여 역률 제어부(225)를 통한 역률 보상 및 제1 전압 제어부(223)을 통한 전압 제어를 수행한다.
- [0041] 또한, 상기 BTB VSC 제어부(230)는 상기 정류기부(212)와 백투백으로 연결된 인버터부(214)로부터 측정된 유효

전류 및 무효 전류 기반으로 한 무효 전력(reactive power) 제어부(227), 제2 전압 제어부(229)를 통해 기설정된 유효 전류 및 무효 전류를 추종하여 상기 인버터부(214) 측의 마이크로그리드(미도시)에 무효전력 공급이 수행되도록 동작하는 무효전력 보상부(228)를 제어한다.

[0042] 상기 인버터부(214)는, 상기 BTB VSC 제어부(230) 제어 하에 출력된 유효 전류 및 무효 전류 기반 제2 전류부(224)로부터 기설정된 유효 전류 및 무효 전류를 추종하여 유효 전력 제어를 통해 제1 마이크로그리드와 제2 마이크로그리드 간의 유효 전력 제어 및 주파수 제어를 수행하며 이는 각각 유효전력 제어부(233) 및 주파수 제어부(231)을 통해 수행된다.

[0043] 계속해서, 상기 BTB VSC(210)는 마이크로그리드(205)의 연계점에 연결되어 각 마이크로그리드별 주파수를 정규화하는 멀티 주파수 제어부(226)를 포함한다.

[0044] 여기서, 상기 멀티 주파수 제어부(226)는 하기의 수학적 식 1을 이용하여 각 마이크로그리드별 상이하게 설정된 허용 주파수를 -1 ~ 1로 정규화한다.

수학적 식 1

$$f_{normal}^n = \frac{f - 0.5(f_{max}^n + f_{min}^n)}{0.5(f_{max}^n - f_{min}^n)}, -1 \leq f_{normal}^n \leq 1$$

[0046] 즉, 상기 멀티 주파수 제어부(226)는 BTB VSC 제어부(230)의 제어 하에 BTB VSC(210)의 로컬 제어를 통해 상기 BTB VSC(210) 기반 제1 및 제2 마이크로그리드간 정규화된 주파수의 차이를 0이 되게 하여 연계된 다수의 마이크로그리드의 허용 주파수 관련 정규화된 주파수를 동일하게 제어한다.

[0047] 이때, 상기 BTB VSC(210)의 로컬 제어는, 인접 마이크로그리드와의 상호 데이터 공유를 위한 통신 경로의 생성 없이 소정 BTB VSC에 대응하는 제1 마이크로그리드와 상기 인버터부(214)의 출력단에 연계된 상기 제1 마이크로그리드와 인접한 마이크로그리드 예컨대, 제2 마이크로그리드간을 제어 가능함을 의미한다. 다시 말해, 본 발명이 적용된 BTB VSC는, AC 선로 연계 기반 다수의 마이크로그리드별 대응하는 각 BTB VSC 상호 간 상호 데이터 공유를 위한 통신 경로가 생성되지 않는다.

[0048] 본 발명이 적용된 다수 독립형 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템의 멀티 주파수 제어부(226)에서는 다수의 마이크로그리드별 대응하는 BTB VSC를 통해 연결되어 각 마이크로그리드별 서로 상이한 부하 전력 품질 제어와 동시에 적응적 멀티 주파수 제어가 수행된다.

[0049] 여기서, 상기 적응적 멀티 주파수 제어에 관해 살펴보면, 먼저 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 마이크로그리드는 서로 상이한 주파수가 설정되며, 이는 해당 마이크로그리드별 허용 주파수가 된다. 예컨대, 도 1에서의 제1 마이크로그리드(110)는 59.2~60.8Hz, 제2 마이크로그리드(112)는 59.7~60.3Hz, 제3 마이크로그리드(114)는 59.5~60.5Hz와 같이 허용 주파수 범위가 서로 상이하다.

[0050] 상기 BTB VSC(210)는 멀티주파수 제어부(226)를 통해 입력된 다수의 마이크로그리드별 주파수를 정규화하며, 각 독립형 마이크로그리드별 정규화된 주파수(-1 ~ 1)는 동일한 값으로 유지하도록 제어한다. 예컨대, 1개의 마이크로그리드의 주파수 $f_{normal}^1 = 0.1$ 이 되면 모든 마이크로그리드의 주파수 $f_{normal}^2, f_{normal}^n = 0.1$ 로 유지되도록 제어한다.

[0051] 이를 위해, 본 발명이 적용된 BTB VSC(210)는 멀티주파수 제어부(226)를 통해 수학적 식 1을 이용하여 각 마이크로그리드별 상이하게 설정된 허용 주파수를 -1 ~ 1로 정규화한다.

[0052] 이때, 상기 BTB VSC(210)는 계통 연계된 전체 마이크로그리드의 정규화값을 동일하게 하기 위하여 인접한 두 개의 마이크로그리드 정규화 값의 차이를 "0"으로 만들기 위한 제어를 수행한다.

[0053] 환언하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB VSC를 통하여 마이크로그리드 시스템 내 각 독립형 마이크로그리드별 정규화된 주파수를 동일하게 하기 위한 제어는 도 3을 통해 제어 유닛별 블록화되어 설명된다.

[0054] 연결된 마이크로그리드의 정규화된 주파수 차를 0으로 만들기 위한 제어를 수행하기 위하여 마이크로그리드 i, 마이크로그리드 (i+1)의 정규화된 주파수 차를 PI 제어부에 입력한다. 여기서, 상기 PI 제어부는 정규화된 주파

수 차를 0으로 제어하기 위한 BTB VSC의 전력량 P^* 을 출력한다.

[0055] BTB VSC의 전력량(P^*)를 출력하기 위한 d축 전류(I_d^*)를 구하기 위하여 식 ($I_d^* = \frac{2P^*}{3V}$)을 이용하고, 이를 통하여 얻은 d축 전류 지령치(I_d^*)는 측정된 I_d 와 비교하여 그 차이를 “0” 으로 줄이기 위하여 전류 제어부에 입력된다.

[0056] 이때, $MG_i-freq, MG_{-(i+1)}freq$ 는 i, (i+1)번째 마이크로그리드의 주파수, P^* 는 정규화된 주파수의 차를 “0”으로 만들기 위한 BTB 컨버터의 전력량, V는 마이크로그리드의 AC 전압을 나타낸다.

[0057] 즉, 도 3에 도시된 바와 같이 각 마이크로그리드별 BTB VSC의 멀티주파수 제어부(300)은 입력된 다수의 마이크로그리드의 허용 주파수($MG^{ref}-freq$)를 정규화하고, 정규화된 마이크로그리드별 주파수에 대응하는 주파수 간 오차를 0이 되게 보정하기 위하여 상기 멀티주파수 제어부(300)로부터 해당 각 오차 출력부(310)로 각각 인접하는 두 마이크로그리드간 정규화된 주파수가 각각 입력되고, PI 제어부(312)를 이용하여 정규화된 주파수 간의 출력된 오차를 0이 되게 하기 위한 보정을 수행한다. 상기 PI 제어부(310)에서는 두 마이크로그리드별 주파수 차이 관련 오차 출력부(310)로부터 출력된 e에 기반하여 적당한 비례 상수 이득을 곱하고, 상기 e를 적분하여 P^* 를 출력한다.

[0058] 이후, BTB VSC 제어부의 기설정된 전류 결정 식을 통해 각 마이크로그리드별 전류를 결정한다.

[0059] 이때, 상기 전류 결정 식은 $I_{d1}^* = \frac{2P_1^*}{3V_1}$ 형태이며, 공지된 주파수 공식 및 유효전력 공식을 전제로 마이크로그리드의 주파수를 변동시키기 위해서는 유효전력을 바꿔야 하므로 BTB VSC 제어부를 통해 주파수 제어를 위한 d축 전류를 결정하고, 결정된 상기 d축 전류와 실제 d축 전류의 오차를 각각 출력하여 멀티 주파수 제어를 위한 제어 신호를 전류 제어부를 통해 출력한다.

[0060] 한편, 도 4 내지 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 독립형 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 방법이 적용된 시뮬레이션 결과를 보인 것으로, 각 마이크로그리드의 허용주파수는 각각 59.2~60.8Hz(마이크로그리드 1, MG1), 59.6~60.6Hz(마이크로그리드 2, MG 2), 59.4~60.4Hz(마이크로그리드 3, MG 3)으로 가정하여 시뮬레이션 시나리오는 35초에 마이크로그리드 2의 부하량 감소, 45초에 마이크로그리드 1의 부하량 증가, 55초에 마이크로그리드 3의 부하량이 증가되도록 설정한다.

[0061] 이를 기반으로 먼저, 도 4를 살펴보면, 도 4a에 도시된 바와 같이, MG 1과 MG 2를 연결하는 BTB 컨버터는 그림 7과 같이 35초, 45초, 55초에 MG 2, MG 1, MG 3의 부하량 변화로 MG 1에서 MG 2로 흐르는 전력량이 변화함을 확인할 수 있다.

[0062] 상술한 MG 1과 MG 2를 연결하는 BTB 컨버터의 출력량 변동에 따라 MG 1의 주파수는 도 4b와 같이 허용주파수 (59.2~60.8Hz)내에서 제어되는 것을 확인할 수 있다.

[0063] MG 2와 MG 3를 연결하는 BTB 컨버터는 도 5a에 도시된 바와 같이, 35초, 45초, 55초에 MG 2, MG 1, MG 3의 부하량 변화로 MG 2에서 MG 3로 흐르는 전력량이 변화함을 알 수 있다.

[0064] 상술한 MG 2와 MG 3를 연결하는 BTB 컨버터의 출력량 변동에 따라 MG 2의 주파수는 도 5b와 같이 허용 주파수 (59.6~60.4Hz)내에서 제어되는 것을 확인할 수 있다.

[0065] MG 3과 MG 1을 연결하는 BTB 컨버터는 도 6a와 같이 35초, 45초, 55초에 MG 2, MG 1, MG 3의 부하량 변화로 MG 3에서 MG 1로 흐르는 전력량이 변화함을 알 수 있다.

[0066] 전술한 MG 3과 MG 1을 연결하는 BTB 컨버터의 출력량 변동에 따라 MG 3의 주파수는 도 6b와 같이 허용 주파수 (59.4~60.6Hz)내에서 제어되는 것을 확인할 수 있다.

[0067] 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템에 있어서, BTB VSC의 능동 필터 동작에 대한 시뮬레이션을 보인 것으로, 최초 마이크로그리드 내에 비선형 부하를 추가하고 0초 ~ 1초에서는 BTB 컨버터의 기능을 투입하지 않을 경우를 나타내고 있으며, 부하전류의 왜곡 상태를 확인할 수 있고, 1초 ~ 2초에서는 BTB 컨버터의 능동 필터(active filter) 기능을 투입할 경우를 나타내고 있으며, 부하전류의 왜곡이 투입하기 전보다 감소하였음을 확인할 수 있으며, 도 7에 도시된 바와 같이 0초 ~1초 사

이의 전류 THD(total harmonics distortion)는 12.37%과 같고, 1~2초 사이의 전류 THD는 1.89% 로 고조파 함유량이 감소됨을 확인할 수 있다.

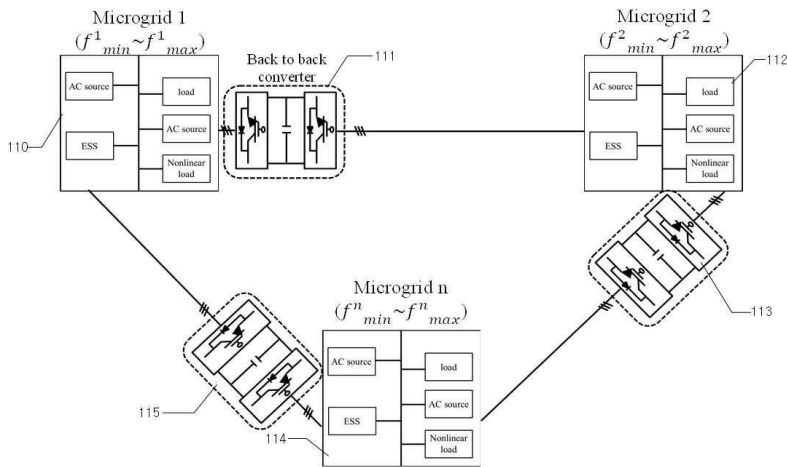
- [0069] 이상 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 독립형 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템의 구성을 살펴보았다.
- [0070] 이하, 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 독립형 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 방법에도 8을 참조하여 자세히 살펴보기로 한다.
- [0071] 도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 독립형 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 방법에 관한 전체 흐름도이다.
- [0072] 도 8을 참조하면, 먼저 810 과정에서는 정류기(rectifier)부와 인버터(inverter)부로 구성되어 상기 정류기부와 인버터부 간 공통의 DC 링크를 공유하고, 다수의 독립형 마이크로그리드들을 AC 선로를 통해 연계하여 각 마이크로그리드별 부하 품질 수준이 고려된 멀티 주파수 제어 수행을 위한 백투백(back-to-back, BTB) 전압형 컨버터(voltage source converter, VSC)부를 통해 입력된 다수의 독립형 마이크로그리드별 허용 주파수를 정규화한다.
- [0073] 812 과정에서는 오차 출력부를 통해 정규화된 마이크로그리드별 주파수에 대응하는 주파수 간 오차를 출력한다.
- [0074] 814 과정에서는 PI 제어부를 통해 정규화된 주파수간의 출력된 오차를 0이 되게 하기 위한 보정을 수행한다.
- [0075] 816 과정에서는 기설정된 수학적식을 통해 기준 d축 전류를 결정하고, 818 과정에서 결정된 상기 기준 d축 전류와 실제 d축 전류의 오차를 오차 출력부를 통해 출력한다.
- [0076] 이후, 마이크로그리드별 부하 품질 제어와 동시에 멀티 주파수 제어 수행을 위한 유효 전력 및 주파수 제어를 820 과정 내지 822 과정을 통해 수행한다.
- [0077] 이때, 상기 BTB VSC부는, 상기 마이크로그리드 내 비선형 부하에 대응하는 고조파 패턴을 기설정된 사이클 기준으로 추출하여 제1 전류 제어부를 통해 기설정된 기준 전류를 기반으로 추출된 고조파 보상을 위한 전류 지령치를 설정하고, 공유된 상기 DC 링크로부터 측정된 전압을 기반으로 DC 링크 전압 제어를 위한 전압 지령치를 설정하도록 제어하여 상기 마이크로그리드 내 부하(load)에 병렬 연결된 정류기부로부터 측정된 유효 전류 및 무효 전류 기반 무효 전력 제어를 통해 기설정된 유효 전류 및 무효 전류를 추종하여 역률 보상 및 전압 제어를 수행한다.
- [0078] 그리고, 상기 BTB VSC부는, 상기 정류기부와 백투백으로 연결된 인버터부로부터 측정된 유효 전류 및 무효 전류 기반 무효 전력 제어를 통해 기설정된 유효 전류 및 무효 전류를 추종하여 상기 인버터부 측의 마이크로그리드에 무효전력 공급이 수행되도록 동작한다.
- [0079] 이때, BTB VSC부는, AC 선로 연계 기반 다수의 마이크로그리드별 대응하는 각 BTB VSC 상호 간 로컬(local) 제어를 통해 인접 마이크로그리드 제어 기반 BTB VSC간 상호 데이터 공유를 위한 통신 경로가 생성되지 않는다.
- [0081] 상기과 같이 본 발명에 따른 BTB 컨버터 기반 다수 마이크로그리드의 멀티 주파수 제어 시스템 및 방법에 관한 동작이 이루어질 수 있으며, 한편 상기한 본 발명의 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나 여러 가지 변형이 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 실시될 수 있다. 따라서 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 의하여 정할 것이 아니고 청구범위와 청구범위의 균등한 것에 의하여 정하여져야 할 것이다.

부호의 설명

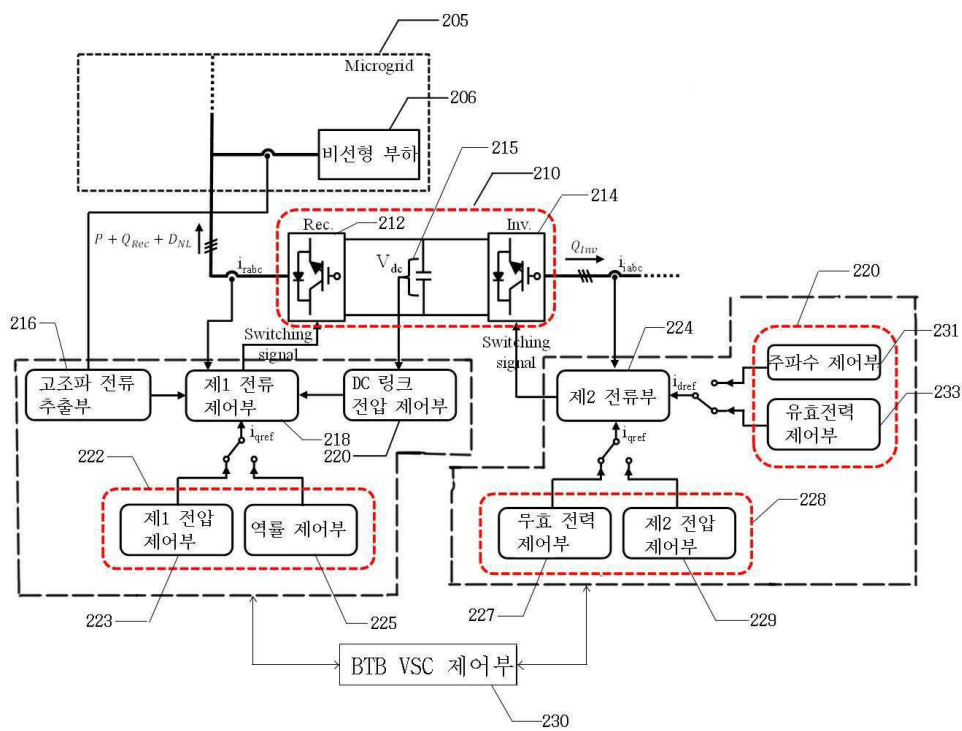
- [0082]
- | | |
|--------------------|--------------------|
| 110: 독립형 마이크로그리드 1 | 112: 독립형 마이크로그리드 2 |
| 114: 독립형 마이크로그리드 3 | 111: BTB 컨버터 1 |
| 113: BTB 컨버터 2 | 115: BTB 컨버터 3 |

도면

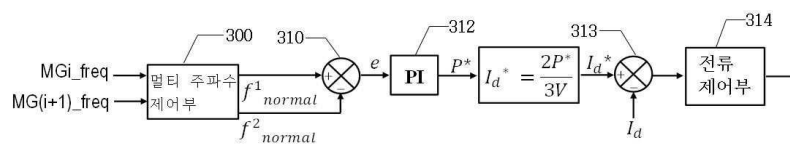
도면1



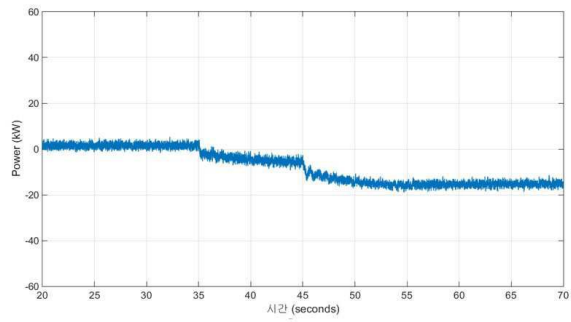
도면2



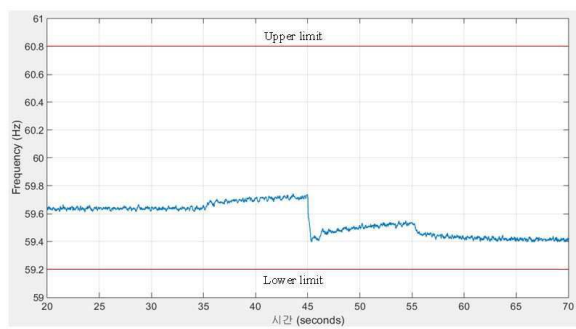
도면3



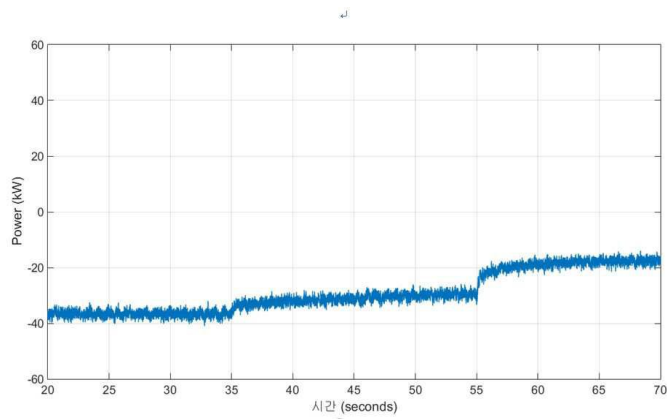
도면4a



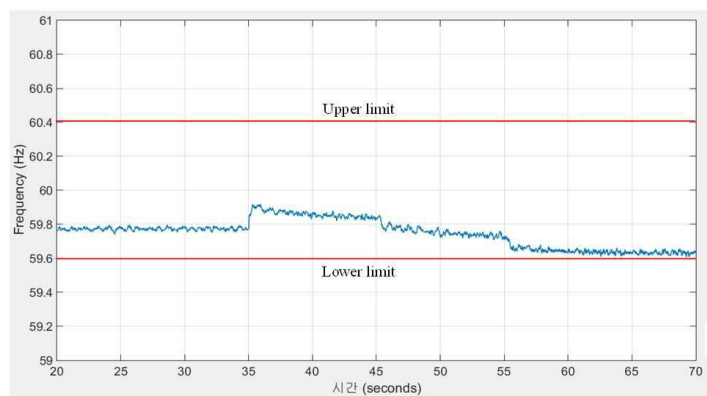
도면4b



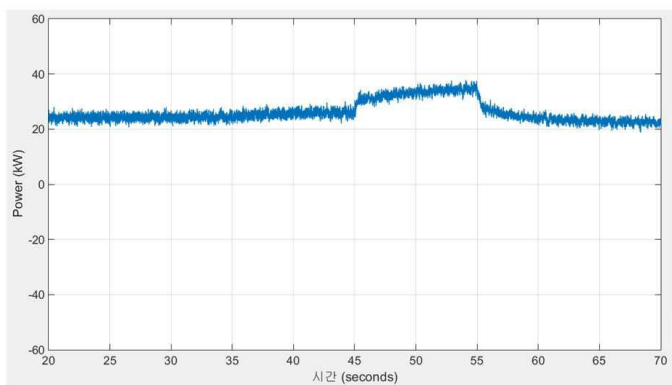
도면5a



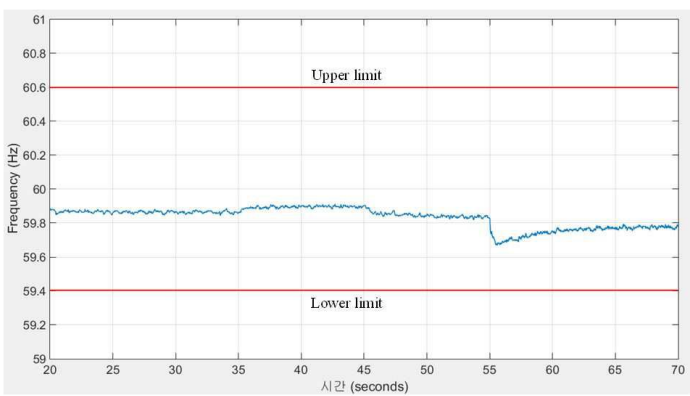
도면5b



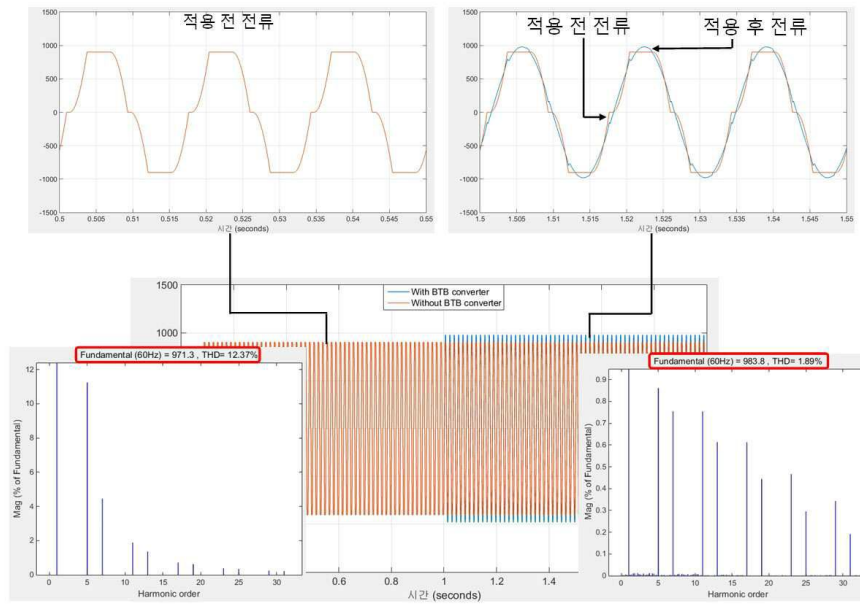
도면6a



도면6b



도면7



도면8

