

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2014-0048395 (43) 공개일자 2014년04월24일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) H02J 3/46 (2006.01)	(71) 출원인 고려대학교 산학협력단 서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)	
(21) 출원번호 10-2012-0113007	(72) 발명자 임종인 서울 종로구 사직로8길 20, 101동 901호 (내수동, 파크팰리스)	
(22) 출원일자 2012년10월11일 심사청구일자 없음	강현구 서울 관악구 관악로 1, 302동 512호 (신림동, 서울대학교공과대학) (뒷면에 계속)	
	(74) 대리인 특허법인충현	

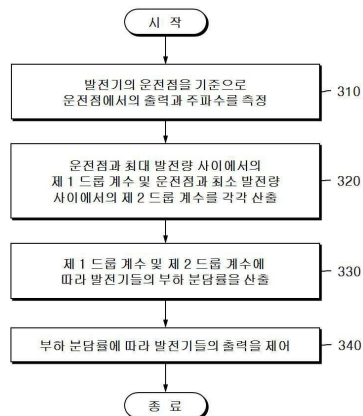
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 분산전원의 출력을 제어하는 장치 및 방법

(57) 요약

분산전원의 출력을 제어하는 장치 및 방법이 개시된다. 본 발명의 일례에 따라 계통에 연결되는 분산전원의 출력을 제어하는 방법은, 발전기의 운전점을 기준으로 운전점에서의 출력과 주파수를 측정하고, 측정된 출력과 주파수를 이용하여 운전점과 최대 발전량 사이에서의 제 1 드롭(droop) 계수 및 운전점과 최소 발전량 사이에서의 제 2 드롭 계수를 각각 산출하고, 제 1 드롭 계수 및 제 2 드롭 계수에 따라 분산전원을 구성하는 발전기들의 부하 분담률을 산출하며, 산출된 부하 분담률에 따라 발전기들의 출력을 제어한다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

안선주

광주광역시 북구 용봉동 300번지

문승일

서울 관악구 관악로 1, 302동 601호 (신림동, 서울
대학교공과대학)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415123237

부처명 지식경제부

연구사업명 정보통신기술인력양성사업

연구과제명 스마트 그리드 기술연구

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2010.06.01 ~ 2013.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

계통에 연결되는 분산전원의 출력을 제어하는 방법에 있어서,

발전기의 운전점을 기준으로 상기 운전점에서의 출력과 주파수를 측정하는 단계;

상기 측정된 운전점에서의 출력과 주파수를 이용하여 상기 운전점과 최대 발전량 사이에서의 제 1 드롭(droop) 계수 및 상기 운전점과 최소 발전량 사이에서의 제 2 드롭 계수를 각각 산출하는 단계;

상기 산출된 제 1 드롭 계수 및 제 2 드롭 계수에 따라 상기 분산전원을 구성하는 발전기들의 부하 분담률을 산출하는 단계; 및

상기 산출된 부하 분담률에 따라 상기 발전기들의 출력을 제어하는 단계;를 포함하되,

상기 제 1 드롭 계수 및 상기 제 2 드롭 계수는 서로 다른 변화량을 갖는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통으로부터 분리된 경우,

상기 발전기들은 상기 산출된 부하 분담률에 따라 각각의 발전기별로 자신의 발전 여유량에 따라 부하를 분담하며 독립운전을 수행하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 드롭 계수는 상기 운전점과 최대 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 제산한 값이고,

상기 제 2 드롭 계수는 상기 운전점과 최소 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 제산한 값인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 부하 분담률은 개별 발전기의 여유분을 전체 발전기들의 여유분의 합으로 제산한 값에 비례하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통에 연결되어 있고 유효전력이 상기 계통으로부터 유입되고 있는 경우,

상기 개별 발전기의 여유분은 상기 운전점으로부터 상기 최대 발전량 사이에서 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통에 연결되어 있고 유효전력이 상기 계통으로 유출되고 있는 경우,

상기 개별 발전기의 여유분은 상기 개별 발전기의 발전량으로 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통으로부터 분리된 경우,

유효전력의 변화량은 부하가 소비하는 전력의 총 합에서 부하전원이 상기 계통에 연결되어 있는 경우의 발전량을 감산함으로써 산출되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 분산전원의 출력 변화량은 상기 산출된 부하 분담률에 상기 유효전력의 변화량을 승산함으로써 산출되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

발전기의 탈락 또는 부하의 증가로 인하여 상기 발전기의 출력이 부족하여 주파수가 저하된 경우,

상기 제 1 드롭 계수를 이용하여 상기 발전기의 출력을 증가시키는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

발전기의 추가 또는 부하의 탈락으로 인하여 상기 발전기의 출력에 잉여가 발생하여 주파수가 증가된 경우,

상기 제 2 드롭 계수를 이용하여 상기 발전기의 출력을 감소시키는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

계통에 연결되는 분산전원의 출력을 제어하는 장치에 있어서,

발전기의 운전점을 기준으로 상기 운전점에서의 출력과 주파수를 측정하는 측정부; 및

상기 측정된 운전점에서의 출력과 주파수를 이용하여 상기 운전점과 최대 발전량 사이에서의 제 1 드롭(droop) 계수 및 상기 운전점과 최소 발전량 사이에서의 제 2 드롭 계수를 각각 산출하고, 상기 산출된 제 1 드롭 계수 및 제 2 드롭 계수에 따라 상기 분산전원을 구성하는 발전기들의 부하 분담률을 산출하며, 상기 산출된 부하 분담률에 따라 상기 발전기들의 출력을 제어하는 제어부;를 포함하되,

상기 분산전원은 상기 제어부를 통해 계통에 연결되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 제어부는,

전압의 크기와 위상각을 이용하여 제어를 수행하는 VSI(voltage sourced inverter)를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 분산전원의 연결단의 전압은 상기 분산전원의 무효출력에 영향을 받고, 전압의 위상각은 유효전력의 영향을 받되,

상기 제어부는 상기 유효전력과 상기 분산전원의 주파수를 제어하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 드롭 계수 및 상기 제 2 드롭 계수는 상기 발전기의 출력 제한과 주파수의 허용범위에 따라 서로 다른 변화량을 갖도록 산출되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통으로부터 분리된 경우,

정격 주파수가 상기 계통의 주파수보다 높으면 상기 제어부는 상기 제 2 드롭 계수를 선택하여 제어를 수행하고,

정격 주파수가 상기 계통의 주파수보다 낮으면 상기 제어부는 상기 제 1 드롭 계수를 선택하여 제어를 수행함으로써,

상기 발전기들은 상기 산출된 부하 분담률에 따라 각각의 발전기별로 자신의 발전 여유량에 따라 부하를 분담하며 독립운전을 수행하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 16

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 드롭 계수는 상기 운전점과 최대 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 제산한 값으로부터 산출되고,

상기 제 2 드롭 계수는 상기 운전점과 최소 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 제산한 값으로부터 산출되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 17

제 11 항에 있어서,

상기 부하 분담률은 개별 발전기의 여유분을 전체 발전기들의 여유분의 합으로 제산한 값에 비례하는 것을 특징으로 하는 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 분산전원의 출력을 제어하는 기술에 관한 것으로, 특히 계통에 연결되는 복수 개의 분산 전원이 계통으로부터 연결 또는 분리되는 다양한 상황에서 드롭(droop) 특성에 따라 분산전원의 출력을 제어하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 마이크로그리드(microgrid)는 독립적으로 전력과 열 등을 공급하는 소규모 전력 네트워크로 최근 신재생 에너지 등을 이용한 소규모 분산전원(distributed generator)의 대두와 함께 전력 시스템의 새로운 패러다임으로 등장하고 있다. 분산전원은 일반적으로 소비지 또는 계통에 위치하는 작은 규모의 전력 생산 기술을 말하는 것으로, 규모의 경제에 의한 대규모 발전기 투입으로 인해 도서 및 산간지역과 같은 고립된 지역을 위한 전력 공급과 병원 또는 군부대와 같은 중요시설의 정전시 보조 전력원의 용도로 이용되어 왔다. 그러나, 최근 막대한 설비 투자 비용 소모의 문제점 내지 입지 선정의 어려움으로 인한 대규모 설비 확충의 문제점, 그리고 지공난화 방지를 위한 국제적 규제를 극복하기 위해 신재생 에너지를 이용한 분산전원의 연계가 하나의 대안으로 제시되고 있다.

[0003] 이와 더불어 계통에 소극적으로 운영되는 분산전원을 적극적으로 활용하기 위해 소규모 독립 배전 시스템인 마이크로그리드가 주목받기에 이르렀다. 즉, 마이크로그리드는 다수의 소규모 분산전원과 부하의 집합체로서, 기존의 전력망과 연계 또는 분리 운전될 수 있는 소규모 전력망으로 요약될 수 있다. 또한, 마이크로그리드는 주 계통의 지/단락 사고 및 심각한 전력 품질 문제 발생시 주 계통으로부터 분리하여 분산전원만을 이용하여 마이

크로그리드의 부하에 지속적인 전력 공급을 유지할 수 있는 전력 시스템이다.

[0004] 따라서, 분산전원의 독립 운전 상황하에서 마이크로그리드는 분산전원의 정확한 제어 전략에 따라 안정적으로 운영되어야만 한다. 이와 관련하여 독립전환 이후에는 분산전원의 출력 제어, 주파수 제어 및 전압 제어 등의 다양한 기술적 이슈가 존재한다. 이하에서 인용되는 비특허문헌은 마이크로그리드의 고립운전시 부하변동에 대처하는 제어 원리를 소개하고 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0005] (비특허문헌 0001) 다중 분산전원으로 구성된 마이크로그리드의 유무효전력 제어원리 연구, 정일엽, 원동준, 문승일, 전기학회논문지 제57권 제4호 (2008년 4월) pp.582-588 1975-8359 KCI, 2008.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 마이크로그리드를 구성하는 계통에 연결되는 분산전원의 출력을 드롭(droop) 특성에 따라 제어함에 있어서 발전기를 제한된 범위 내에서 제어하는 추가적인 제어 수단이 필요하다는 한계를 극복하고, 분산전원이 계통으로부터 분리되어 단독운전시에 계통의 주파수가 떨어지는 현상을 해결하고, 특히 발전기가 최대 또는 최소 발전량 근처에서 운전시에 부족한 발전량을 보충하기 위해 계통의 주파수가 더욱 크게 흔들리는 문제점을 해소하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 계통에 연결되는 분산전원의 출력을 제어하는 방법은, 발전기의 운전점을 기준으로 상기 운전점에서의 출력과 주파수를 측정하는 단계; 상기 측정된 운전점에서의 출력과 주파수를 이용하여 상기 운전점과 최대 발전량 사이에서의 제 1 드롭(droop) 계수 및 상기 운전점과 최소 발전량 사이에서의 제 2 드롭 계수를 각각 산출하는 단계; 상기 산출된 제 1 드롭 계수 및 제 2 드롭 계수에 따라 상기 분산전원을 구성하는 발전기들의 부하 분담률을 산출하는 단계; 및 상기 산출된 부하 분담률에 따라 상기 발전기들의 출력을 제어하는 단계;를 포함하되, 상기 제 1 드롭 계수 및 상기 제 2 드롭 계수는 서로 다른 변화량을 갖는다.

[0008] 일 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 방법에서, 상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통으로부터 분리된 경우, 상기 발전기들은 상기 산출된 부하 분담률에 따라 각각의 발전기별로 자신의 발전 여유량에 따라 부하를 분담하며 독립운전을 수행한다.

[0009] 일 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 방법에서, 상기 제 1 드롭 계수는 상기 운전점과 최대 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 계산한 값이고, 상기 제 2 드롭 계수는 상기 운전점과 최소 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 계산한 값이다.

[0010] 일 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 방법에서, 상기 부하 분담률은, 개별 발전기의 여유분을 전체 발전기들의 여유분의 합으로 계산한 값에 비례한다. 또한, 상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통에 연결되어 있고 유효전력이 상기 계통으로부터 유입되고 있는 경우, 상기 개별 발전기의 여유분은 상기 운전점으로부터 상기 최대 발전량 사이에서 결정될 수 있다. 나아가, 상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통에 연결되어 있고 유효전력이 상기 계통으로 유출되고 있는 경우, 상기 개별 발전기의 여유분은 상기 개별 발전기의 발전량으로 결정될 수 있다.

[0011] 일 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 방법에서, 상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통으로부터 분리된 경우, 유효전력의 변화량은 부하가 소비하는 전력의 총 합에서 부하전원이 상기 계통에 연결되어 있는 경우의 발전량을 감산함으로써 산출된다. 또한, 상기 분산전원의 출력 변화량은 상기 산출된 부하 분담률에 상기 유효전력의 변화량을 승산함으로써 산출된다.

[0012] 일 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 방법에서, 발전기의 탈락 또는 부하의 증가로 인하여 상기 발전기의 출력이 부족하여 주파수가 저하된 경우, 상기 제 1 드롭 계수를 이용하여 상기 발전기의 출력을 증가

시킨다. 또한, 일 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 방법에서, 발전기의 추가 또는 부하의 탈락으로 인하여 상기 발전기의 출력에 잉여가 발생하여 주파수가 증가된 경우, 상기 제 2 드롭 계수를 이용하여 상기 발전기의 출력을 감소시킨다.

- [0013] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 다른 실시예에 따른 계통에 연결되는 분산전원의 출력을 제어하는 장치는, 발전기의 운전점을 기준으로 상기 운전점에서의 출력과 주파수를 측정하는 측정부; 및 상기 측정된 운전점에서의 출력과 주파수를 이용하여 상기 운전점과 최대 발전량 사이에서의 제 1 드롭(droop) 계수 및 상기 운전점과 최소 발전량 사이에서의 제 2 드롭 계수를 각각 산출하고, 상기 산출된 제 1 드롭 계수 및 제 2 드롭 계수에 따라 상기 분산전원을 구성하는 발전기들의 부하 분담률을 산출하며, 상기 산출된 부하 분담률에 따라 상기 발전기들의 출력을 제어하는 제어부;를 포함하되, 상기 분산전원은 상기 제어부를 통해 계통에 연결된다.
- [0014] 다른 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 장치에서, 상기 제어부는, 전압의 크기와 위상각을 이용하여 제어를 수행하는 VSI(voltage sourced inverter)를 포함할 수 있다.
- [0015] 다른 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 장치에서, 상기 분산전원의 연결단의 전압은 상기 분산전원의 무효출력에 영향을 받고, 전압의 위상각은 유효전력의 영향을 받되, 상기 제어부는 상기 유효전력과 상기 분산전원의 주파수를 제어한다.
- [0016] 다른 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 장치에서, 상기 제 1 드롭 계수 및 상기 제 2 드롭 계수는 상기 발전기의 출력 제한과 주파수의 허용범위에 따라 서로 다른 변화량을 갖도록 산출된다.
- [0017] 다른 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 장치에서, 상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통으로부터 분리된 경우, 정격 주파수가 상기 계통의 주파수보다 높으면 상기 제어부는 상기 제 2 드롭 계수를 선택하여 제어를 수행하고, 정격 주파수가 상기 계통의 주파수보다 낮으면 상기 제어부는 상기 제 1 드롭 계수를 선택하여 제어를 수행함으로써, 상기 발전기들은 상기 산출된 부하 분담률에 따라 각각의 발전기별로 자신의 발전 여유량에 따라 부하를 분담하며 독립운전을 수행한다.
- [0018] 다른 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 장치에서, 상기 제 1 드롭 계수는 상기 운전점과 최대 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 제산한 값으로부터 산출되고, 상기 제 2 드롭 계수는 상기 운전점과 최소 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 제산한 값으로부터 산출된다.
- [0019] 다른 실시예에 따른 상기 분산전원의 출력을 제어하는 장치에서, 상기 부하 분담률은 개별 발전기의 여유분을 전체 발전기들의 여유분의 합으로 제산한 값에 비례한다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명의 실시예들은 발전기의 운전점을 기준으로 각각 최대 발전량 및 최소 발전량에 따른 서로 다른 가변적인 드롭(variable droop) 계수를 활용함으로써, 추가적인 제어 없이도 각 발전기가 최대 및 최소 출력 내에서 발전이 가능하고, 분산전원이 계통으로부터 분리되어 단독운전시 발전기가 최대 또는 최소 발전량 근처에서 운전 중이더라도 드롭 특성에 따라 제한된 범위를 벗어나지 않으며, 결과적으로 급격한 주파수 저하를 방지함으로써 부하를 보호할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 고정된 드롭(fixed droop) 특성을 이용한 주파수 제어 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예들이 제안하는 가변적인 드롭(variable droop) 특성에 따라 분산전원의 출력을 제어하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 계통에 연결되는 분산전원의 출력을 제어하는 방법을 도시한 흐름도이다.
- 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 계통에 연결되는 분산전원의 출력을 제어하는 장치를 도시한 블록도이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예들의 성능을 검증하기 위한 시뮬레이션 다이어그램을 도시한 도면이다.
- 도 6은 도 5의 계통에 추가될 수 있는 유효전력 제어 블록을 예시한 도면이다.
- 도 7 내지 도 9는 다양한 상황 하에서 고정된 드롭 특성과 본 발명의 실시예들이 채택하고 있는 가변적인 드롭 특성을 비교하여 실험한 실험 결과를 예시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 본 발명의 실시예들을 설명하기에 앞서, 종래의 고정된 드롭 특성을 이용한 주파수 제어의 문제점을 검토한 후, 이들 문제점을 해결하기 위해 본 발명의 실시예들이 채택하고 있는 기술적 수단을 개괄적으로 소개하도록 한다.
- [0023] 도 1은 고정된 드롭(fixed droop) 특성을 이용한 주파수 제어 방법을 설명하기 위한 도면으로서, 두 개의 발전기가 계통에 연계되어 있는 경우를 가정하고 있다.
- [0024] 정상상태에서 Unit 1 과 Unit 2는 P_1 및 P_2 만큼 발전을 하고 있다. 부하량에 따라 주 계통으로부터 유효전력을 받아들일 수도 있고 계통으로 내보낼 수도 있다. 이 때, 분산전원들이 독립운전을 하게 되어야 한다면 발전량의 변화가 생기게 된다. 만약 계통으로부터 유효전력을 흡수하고 있었으면 각 발전기의 출력은 늘어나야 하고 주파수는 떨어진다. 반면, 계통으로 유효전력을 내보내고 있었다면 발전기의 출력은 줄어든다고 주파수는 높아진다.
- [0025] 분산전원에서의 고정된 드롭 특성을 적용하고 있는 도 1은 계통으로부터 유효전력을 받아들이다 계통으로부터 분리된 상황을 도시하고 있다. 이 경우, 발전기들의 발전량이 늘어나야 한다. 그러나, 도 1에 도시된 바와 같이 고정된 드롭 특성을 따라 발전을 하려면 Unit 1은 P_1' 에서 발전을 해야 하고, Unit 2는 P_2' 에서 발전을 해야 한다. 그러나, 도 1에서 P_2' 는 Unit 2의 최대 출력의 범위(P_2'')를 벗어나서 위치해 있다. 따라서, 물리적으로 Unit 2는 최대 발전량 이상을 출력할 수 없기 때문에 발전량이 최대로 고정되게 되고, 그만큼 부족한 발전량은 Unit 1이 감당하게 된다. 즉, Unit 1이 부족한 발전량을 감당함($P_1' \rightarrow P_1''$)으로 인해 계통의 주파수는 최초의 f_0 로부터 f_1 를 거쳐 f_2 로 더욱 떨어지게 된다.
- [0026] 상기된 고정된 드롭 특성을 이용한 종래의 방법은 분산전원의 최대 발전량 및 최소 발전량을 고려하여 제어하는 방법 중에 하나로서 활용될 수 있다. 그러나, 이러한 고정된 드롭 특성에 따르는 경우 발전기가 제한된 범위 내에서 발전하도록 하는 추가적인 제어 수단이 필요하다. 또한, 분산전원이 계통으로부터 분리되어 단독운전을 하게 되면 계통의 주파수가 더욱 크게 흔들린다는 문제점이 발견되었다.
- [0027] 따라서, 이하에서 기술되는 본 발명의 실시예들은 상기된 문제점을 해결하기 위한 기술적 수단으로서 하나의 고정된 드롭 특성이 아닌, 가변적인 드롭(variable droop) 특성을 이용한 주파수 제어 방법을 제안하고자 한다.
- [0028] 도 2는 본 발명의 실시예들이 제안하는 가변적인 드롭(variable droop) 특성에 따라 분산전원의 출력을 제어하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0029] 앞서 도 1을 통해 소개한 바와 같이, 종래의 고정적인 드롭 특성은 발전기가 최대 발전량 또는 최소 발전량 근처에서 운전하고 있을 때, 계통으로부터 분리되면 문제가 발생하였다. 이를 방지하기 위하여 이하에서 기술되는 본 발명의 실시예들은 운전점을 기준으로 가변적인 기울기를 갖는 드롭 특성을 채택하였다. 도 1에서 기술된 주파수 제어 방법은 발전기의 운전점과 상관없이 일정한 기울기의 드롭을 이용하는데 반해, 도 2를 통해 소개하고 있는 주파수 제어 방법은 발전기의 운전점에 따라 다른 기울기의 드롭 특성을 가지게 하는 것이다.
- [0030] 이와 같은 방법으로 계통 분리 시 각각의 발전기가 부하를 일정한 비율로 분담하는 것이 아니라, 각 발전기의 발전 여유량에 따라 분담하게 된다. 가변적인 드롭을 결정하기 위해서는 기존과 다르게 두 개의 드롭 계수 R을 결정해 주어야 한다.
- [0031] 도 2에 도시된 두 개의 구간에서의 드롭 계수(Upper Droop 및 Lower Droop)에서 볼 수 있듯이, 운전점을 기준으로 운전점과 최대 발전량 사이에서의 R_{upper} 과 운전점과 최소 발전량 사이에서의 R_{lower} 이 주어진 최대 발전량과 최소 발전량을 고려하여 서로 다른 기울기를 갖도록 설정되고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 두 개의 드롭 계수 R_{upper} 과 R_{lower} 를 정리하면 각각 다음의 수학적 식 1 및 수학적 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 1

$$R_{upper} = -\frac{f_{\min} - f_0}{P_{\max} - P_0} p.u.$$

[0032]

수학식 2

$$R_{lower} = -\frac{f_0 - f_{\max}}{P_o - 0} p.u.$$

[0033]

[0034] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 구체적으로 설명하도록 한다. 다만, 하기의 설명 및 첨부된 도면에서 본 발명의 요지를 흐릴 수 있는 공지 기능 또는 구성에 대한 상세한 설명은 생략한다. 또한, 도면 전체에 걸쳐 동일한 구성 요소들은 가능한 한 동일한 도면 부호로 나타내고 있음에 유의하여야 한다.

[0035] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 계통에 연결되는 분산전원의 출력을 제어하는 방법을 도시한 흐름도로서, 분산전원의 출력을 제어할 수 있는 제어 수단(예를 들어, 인버터를 포함하는 제어용 하드웨어가 될 수 있다.)을 통해 구현될 수 있다.

[0036] 310 단계에서, 제어 수단은 발전기의 운전점을 기준으로 상기 운전점에서의 출력과 주파수를 측정한다.

[0037] 320 단계에서, 제어 수단은 310 단계를 통해 측정된 운전점에서의 출력과 주파수를 이용하여 상기 운전점과 최대 발전량 사이에서의 제 1 드롭(droop) 계수 및 상기 운전점과 최소 발전량 사이에서의 제 2 드롭 계수를 각각 산출한다. 이 때, 상기 제 1 드롭 계수 및 상기 제 2 드롭 계수는 주어진 발전기들의 최대 발전량과 최소 발전량을 고려하여 산출되는 값으로서, 운전점을 기준으로 서로 다른 변화량을 갖는 것이 바람직하다.

[0038] 또한, 상기 제 1 드롭 계수는 상기 운전점과 최대 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 제산한 값으로부터 산출되고, 상기 제 2 드롭 계수는 상기 운전점과 최소 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 제산한 값으로부터 산출될 수 있다. 즉, 제 1 드롭 계수는 앞서 기술한 수학식 1에 해당하고, 제 2 드롭 계수는 수학식 2에 해당한다.

[0039] 330 단계에서, 제어 수단은 320 단계를 통해 산출된 제 1 드롭 계수 및 제 2 드롭 계수에 따라 상기 분산전원을 구성하는 발전기들의 부하 분담률을 산출한다. 가변적인 드롭 특성을 활용하여 분산전원의 출력을 제어하는 경우, 각 발전기들의 부하 분담률은 다음의 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다. 수학식 3의 분담률은 전체 발전기의 여유분의 합에 대한 각 발전기의 여유분의 비율로서 표현할 수 있고 K_p 로 표기하였다.

수학식 3

$$K_p = \frac{P_{r,i}}{\sum_{k=1}^n P_{r,k}}$$

[0040]

[0041] 여기서, $P_{r,i}$ 는 i th 분산전원의 여유분을 나타내므로, 수학식 3에 따른 부하 분담률은 개별 발전기의 여유분을 전체 발전기들의 여유분의 합으로 제산한 값에 비례하게 된다.

[0042] 만약 계통에 연결되어 있을 때 유효전력이 주 계통으로부터 받아들이고 있다면 여유분 $P_{r,i}$ 는 운전점에서부터 최대 발전량까지가 될 것이다. 반면, 주 계통으로 유효출력이 나가고 있다면 i th 분산전원의 발전량이 여유량이 될 것이다.

[0043] 요약하건대, 상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통에 연결되어 있고 유효전력이 상기 계통으로부터 유입되고 있는 경우 상기 개별 발전기의 여유분은 상기 운전점으로부터 상기 최대 발전량 사이에서 결정되고,

상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통에 연결되어 있고 유효전력이 상기 계통으로 유출되고 있는 경우 상기 개별 발전기의 여유분은 상기 개별 발전기의 발전량으로 결정되게 된다.

[0044] 마지막으로 340 단계에서, 제어 수단은 330 단계를 통해 산출된 부하 분담률에 따라 상기 발전기들의 출력을 제어한다.

[0045] 만약, 상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통으로부터 분리된 경우, 상기 발전기들은 상기 산출된 부하 분담률에 따라 각각의 발전기별로 자신의 발전 여유량에 따라 부하를 분담하며 독립운전을 수행하게 될 것이다.

[0046] 한편, 만약 분산전원들이 주 계통으로부터 분리되어 독립운전을 하게 되었을 때 유효전력의 변화는 다음의 수학적 식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 4

$$\Delta P = \sum_{k=1}^n \Delta P_{g,k} = \sum_{k=1}^m P_{L,k} - \sum_{k=1}^n P_{g,k}$$

$$\Delta P_{g,i} = K_P \times \Delta P$$

[0047]

[0048] 수학적 식 4에서, n은 분산전원의 수를 나타내고, m은 부하의 수를 나타낸다. 또한, $P_{g,i}$ 는 i th 분산전원이

주 계통에 연결되어 있을 때의 발전량을 나타내고, $P_{L,i}$ 는 i th 부하가 소비하는 전력을 나타내며,

$\Delta P_{g,i}$ 는 계통에서 분리되었을 때의 i th 분산전원의 출력 변화량을 나타낸다.

[0049] 즉, 상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통으로부터 분리된 경우, 유효전력의 변화량은 부하가 소비하는 전력의 총 합에서 부하전원이 상기 계통에 연결되어 있는 경우의 발전량을 감산함으로써 산출될 수 있다. 또한, 상기 분산전원의 출력 변화량은 상기 산출된 부하 분담률에 상기 유효전력의 변화량을 승산함으로써 산출될 수 있다.

[0050] 이와 같이 가변적인 드롭을 사용하면 각 발전기가 최대 출력 및 최소 출력 내에서 발전하게 하기 위해서 추가적인 제어가 필요 없다는 장점을 갖는다. 또한, 발전기가 최대 발전량 또는 최소 발전량 근처에서 운전 중이더라도 드롭 특성에 따라 제한된 범위를 벗어나지 않는다.

[0051] 나아가, 상기된 가변적인 드롭을 이용하여 출력을 제어하는 기법에 따른 경우, 분산전원이 계통과 분리되는 경우뿐만 아니라, 계통에 연결되어 있을 때 발전기의 출력에 변화가 발생하는 경우에도 활용될 수 있다. 계통 내에서 외란이 발생하는 경우의 예로는, 발전기가 탈락되거나 추가되는 경우 또는 부하가 증가되거나 탈락하는 경우가 예상 가능하다.

[0052] 첫째, 발전기가 탈락되거나 또는 부하가 증가하는 경우는 상대적으로 더 많은 전력을 필요로 하게 되므로, 현재의 발전기의 출력이 부족하게 된다. 따라서, 발전기의 출력 부족으로 인하여 계통의 주파수가 저하되게 되고, 이 경우 이상에서 제안된 제 1 드롭 계수(upper droop을 의미한다.)를 이용하여 발전기의 출력을 증가시킬 수 있다.

[0053] 둘째, 발전기가 추가되거나 또는 부하가 탈락하는 경우는 상대적으로 더 적은 전력을 필요로 하게 되므로, 현재의 발전기의 출력에 잉여가 발생하게 된다. 따라서, 계통의 주파수가 증가하게 되고, 이 경우 이상에서 제안된 제 2 드롭 계수(lower droop을 의미한다.)를 이용하여 발전기의 출력을 감소시킬 수 있다.

[0054] 따라서, 이상과 같이 분산전원이 계통에 연결되어 있는 경우일지라도, 계통의 전력 수급의 균형이 깨진 경우 주파수의 변화가 발생할 수 있고, 이상에서 제안된 가변적인 드롭을 사용하여 이를 적절히 제어할 수 있다.

[0055] 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 계통에 연결되는 분산전원의 출력을 제어하는 장치(30)를 도시한 블록도로서, 도 3에서 기술한 출력 제어 방법에 대응하는 기술적 수단을 포함한다. 따라서, 여기서는 설명의 중복을

피하기 위해 장치적 특징을 중심으로 개별 구성 요소의 개요만을 요약하도록 한다.

- [0056] 분산전원의 출력 제어 장치(30)는 주 계통(10)과 분산전원을 연결하며, 유효전력(21, 22) 및 부하를 고려하여 주 계통(10)과의 연결 및 분리 상황에서의 개별 발전기의 출력을 제어하는 역할을 수행한다. 이러한 분산전원의 출력 제어 장치(30)는 크게 측정부(33)와 제어부(35)를 구성 요소로서 포함한다.
- [0057] 측정부(33)는 발전기의 운전점을 기준으로 상기 운전점에서의 출력과 주파수를 측정한다.
- [0058] 제어부(35)는 상기 측정부(33)를 통해 측정된 운전점에서의 출력과 주파수를 이용하여 상기 운전점과 최대 발전량 사이에서의 제 1 드롭(droop) 계수 및 상기 운전점과 최소 발전량 사이에서의 제 2 드롭 계수를 각각 산출하고, 상기 산출된 제 1 드롭 계수 및 제 2 드롭 계수에 따라 상기 분산전원을 구성하는 발전기들의 부하 분담률을 산출하며, 상기 산출된 부하 분담률에 따라 상기 발전기들의 출력을 제어한다. 물론, 분산전원은 상기 제어부(35)를 통해 계통(10)에 연결되게 된다. 또한, 구현의 관점에서 상기 제어부(35)는 전압의 크기와 위상각을 이용하여 제어를 수행하는 VSI(voltage sourced inverter)를 포함할 수 있다.
- [0059] 도 4에서 상기 분산전원의 연결단의 전압은 상기 분산전원의 무효출력에 영향을 받고, 전압의 위상각은 유효전력의 영향을 받되, 상기 제어부(35)는 상기 유효전력과 상기 분산전원의 주파수를 제어한다. 또한 앞서 도 2 내지 도 3을 통해 설명한 바와 같이, 상기 제 1 드롭 계수 및 상기 제 2 드롭 계수는 상기 발전기의 출력 제한과 주파수의 허용범위에 따라 서로 다른 변화량을 갖도록 산출되는 것이 바람직하다.
- [0060] 만약 상기 분산전원을 구성하는 발전기들이 상기 계통으로부터 분리된 경우, 정격 주파수가 상기 계통의 주파수보다 높으면 상기 제어부는 상기 제 2 드롭 계수를 선택하여 제어를 수행하고, 정격 주파수가 상기 계통의 주파수보다 낮으면 상기 제어부는 상기 제 1 드롭 계수를 선택하여 제어를 수행함으로써, 상기 발전기들은 상기 산출된 부하 분담률에 따라 각각의 발전기별로 자신의 발전 여유량에 따라 부하를 분담하며 독립운전을 수행하게 된다.
- [0061] 또한, 상기 제 1 드롭 계수는 상기 운전점과 최대 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 계산한 값으로부터 산출되고, 상기 제 2 드롭 계수는 상기 운전점과 최소 발전량 사이의 주파수 차이를 발전량 차이로 계산한 값으로부터 산출될 수 있다. 나아가, 수식 3을 통해 설명한 바와 같이 상기 부하 분담률은 개별 발전기의 여유분을 전체 발전기들의 여유분의 합으로 계산한 값에 비례한다.
- [0062] 이하에서는, 가변적인 드롭을 이용한 본 발명의 실시예들을 시뮬레이션을 통해 소개하도록 한다.
- [0063] 도 5는 본 발명의 실시예들의 성능을 검증하기 위한 시뮬레이션 다이어그램을 도시한 도면으로서, 분산전원들이 계통에서 분리되었을 때 부하의 분담을 확인하기 위하여 도 5에 도시된 바와 같은 모의 계통을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다.
- [0064] 모의 계통은 두 개의 분산전원이 존재하고 각각의 용량은 20kW이다. 또한 분산전원의 유효전력과 주파수의 제어에 초점을 맞추기 위하여 모든 부하들은 순수한 임피던스부하로 가정하였고 시뮬레이션은 PSCAD/EMTDC를 이용하여 수행하였다.
- [0065] 도 6은 도 5의 계통에 추가될 수 있는 유효전력 제어 블록을 예시한 도면으로서, 본 발명의 실시예들이 제안하고 있는 가변적인 드롭을 구현하기 위하여 전압의 크기와 위상각을 가지고 제어하는 VSI(voltage sourced inverter)를 이용하여 분산전원들을 계통에 연결하였다.
- [0066] 분산전원의 연결단의 전압은 분산전원의 무효출력에 영향을 받고 전압의 위상각은 유효전력에 영향을 받는다. 그러므로 도 5의 계통에 VSI의 유효전력 제어 블록도인 도 6과 같은 유효전력과 주파수 제어블록이 인버터에 추가되어야 한다. R_{upper} (Upper Droop)과 R_{lower} (Lower Droop)은 발전기의 출력 제한과 주파수의 허용범위에 의하여 산출되고, 운전점이 바뀐다면 각각의 드롭 계수는 다시 산출된다. 또한, 분산전원이 주 계통으로부터 분리되었을 때, 정격 주파수가 계통의 주파수보다 높으면 Lower Droop이 선택되고, 반대로 정격 주파수가 계통의 주파수보다 낮다면 Upper Droop이 선택된다.
- [0067] 가변적인 드롭의 성능을 검증하기 위하여 이하에서는 크게 3가지 경우를 가정하여 분리 시뮬레이션하였다. 주 계통과 분산전원을 3초에서 분리하여 분산전원들이 독립운전을 하게 하였다. 또한 주파수의 정상 범위는 61~59Hz로 설정하였다. 더불어, 가변적인 드롭 방식의 성능을 확인하기 위하여 기존의 고정된 드롭 방식과 비교하여 시뮬레이션을 수행하였다. 고정된 드롭의 경우 드롭 계수 R을 0.0333 p.u.로 설정하였다.
- [0068] 다음의 표 1 및 표 2에 시뮬레이션 결과를 정리해 놓았다. 표 1은 종래의 고정된 드롭 특성에 따른 시뮬레이션

결과를 나타낸 것이고, 표 2는 본 발명의 실시예들이 제안하고 있는 가변적인 드롭을 이용한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

표 1

	CASE 1	CASE 2	CASE 3
$R_1=R_2$ (p.u.)	0.0333	0.0333	0.0333
$\Delta P_{g,1}$ (kW)	4.07	-5.45	3.89
$\Delta P_{g,2}$ (kW)	4.07	-5.45	12.68
f (Hz)	59.59	60.54	58.73

[0069]

표 2

	CASE 1	CASE 2	CASE 3
$R_{upper,1}$ (p.u.)	0.0556	0.0556	0.0833
$R_{lower,1}$ (p.u.)	0.0238	0.0238	0.0208
$R_{upper,2}$ (p.u.)	0.0278	0.0256	0.0208
$R_{lower,2}$ (p.u.)	0.0417	0.0476	0.0833
$K_{P,1}$	0.33	0.67	0.2
$K_{P,2}$	0.67	0.33	0.8
$\Delta P_{g,1}$ (kW)	2.64	-7.14	3.17
$\Delta P_{g,2}$ (kW)	5.31	-3.55	12.89
f (Hz)	59.55	60.51	59.19

[0070]

도 7 내지 도 9는 다양한 상황 하에서 고정된 드롭 특성과 본 발명의 실시예들이 채택하고 있는 가변적인 드롭 특성을 비교하여 실험한 실험 결과를 예시한 도면이다. 이하에서는 각각의 상황별로 비교 실험 결과를 설명하도록 한다.

[0071]

(1) CASE 1 - 계통으로부터 전력을 흡수하고 있는 경우

[0072]

독립운전 전에 분산전원 1과 분산전원 2는 각각 14kW와 8kW를 발전하고 있고, 부하의 총량은 30kW로 설정하였다. 그러므로 주 계통으로부터 8kW의 전력이 분산전원쪽으로 흡수되고 있다. 3초에 분산전원이 주 계통으로부터 분리되었을 때가 도 7에 도시되어 있다. 도 7의 [A]는 기존의 고정된 드롭의 결과이고, 도 7의 [B]는 본 발명의 실시예들이 제안하고 있는 가변적인 드롭의 결과에 해당한다.

[0073]

고정된 드롭의 경우, 두 개의 분산전원은 동일한 드롭을 가지기 때문에 각각 4.07kW만큼씩의 부하를 분담한다. 이 경우 여유율의 측면에서 보면, 분산전원 1이 분산전원 2에 비하여 상대적으로 더 많은 부하를 부담하므로 효율적이지 않다. 반면, 가변적인 드롭을 사용할 경우 분산전원 1과 분산전원 2가 각각 2.64kW 및 5.31kW 만큼의 부하를 부담하게 된다. 이 경우 여유율에 비례하여 부하를 분담하게 된다.

[0074]

(2) CASE 2 - 계통으로 전력을 내보내고 있는 경우

[0075]

독립운전 전에 분산전원 1과 분산전원 2는 각각 14kW와 7kW를 발전하고 있고, 부하의 총량은 10kW로

[0076]

설정하였다. 그러므로 주 계통으로 11kW의 전력을 보내고 있다. 3초에 분산전원이 주 계통으로부터 분리되었을 때가 도 8에 도시되어 있다. 도 8의 [A]는 기존의 고정된 드롭의 결과이고, 도 8의 [B]는 본 발명의 실시예들이 제안하고 있는 가변적인 드롭의 결과에 해당한다.

분산전원들이 계통에서 분리되면 총 부하가 총 발전량보다 작아지게 되므로 분산전원들은 발전량을 줄이게 되고 계통의 주파수는 올라가게 된다. 두 경우 모두 주파수의 변화는 60.5Hz로 거의 비슷함을 알 수 있다. 하지만 각 분산전원의 출력을 보면 고정된 드롭일 경우에는 상기된 CASE 1과 비슷하게 각 분산전원이 똑같은 양만큼의 유효전력을 감소시킨다. 반면, 가변적인 드롭을 사용하면 CASE 1과 반대로 발전량이 많은 분산전원 1이 분산전원 2보다 많은 양의 유효전력을 감소시킨다.

(3) CASE 3 - 많은 부하가 존재하는 경우

독립운전 전에 분산전원 1과 분산전원 2는 각각 16kW과 4kW를 발전하고 있고, 부하의 총량은 36kW로 설정하였다. CASE 3의 경우에 부하가 분산전원 최대 발전량의 90%이다. 3초에 분산전원이 주 계통으로부터 분리되었을 때가 도 9에 도시되어 있다. 도 9의 [A]는 기존의 고정된 드롭의 결과이고, 도 9의 [B]는 본 발명의 실시예들이 제안하고 있는 가변적인 드롭의 결과에 해당한다.

고정된 드럼의 경우 분산전원 1과 분산전원 2는 각각 19.98kW 및 16.61kW를 발전한다. 분산전원 1의 경우 최대 출력 값에 도달했기 때문에 최대출력으로 고정되고, 분산전원 2에서 남은 부하를 부담하게 된다. 이 경우 주파수는 58.73Hz로 주파수의 정상운전 범위 밑으로 떨어지게 된다. 만약 주파수에 민감한 부하가 존재한다면 고정된 드럼을 사용하면 부하가 손상을 입을 수 있는 위험이 존재한다. 반면 본 발명의 실시예들이 제안하고 있는 가변적인 드럼을 사용하면 분산전원 1은 3.17kW만큼, 그리고 분산전원 2는 12.89kW만큼 발전량을 증가시킨다. 이 경우 분산전원 1은 최대발전량보다 적게 발전하고 주파수 또한 59Hz 이하로 떨어지지 않는다.

따라서, 이상과 같은 3가지 상황 하에서 가변적인 드롭을 활용한 출력 제어 방법이 종래의 고정적인 드롭의 경우에 비해 높은 효율과 장점을 갖는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

상기된 본 발명의 실시예들에 따르면, 발전기의 운전점을 기준으로 각각 최대 발전량 및 최소 발전량에 따른 서로 다른 가변적인 드롭(variable droop) 계수를 활용함으로써, 추가적인 제어 없이도 각 발전기가 최대 및 최소 출력 내에서 발전이 가능하고, 분산전원이 계통으로부터 분리되어 단독운전시 발전기가 최대 또는 최소 발전량 근처에서 운전 중이더라도 드롭 특성에 따라 제한된 범위를 벗어나지 않으며, 결과적으로 급격한 주파수 저하를 방지함으로써 부하를 보호할 수 있다.

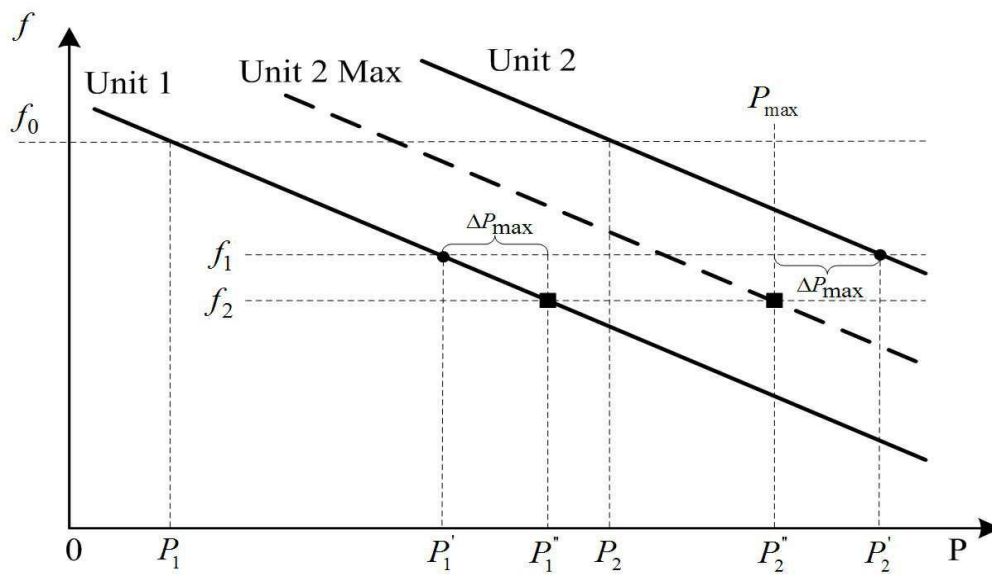
이상에서 본 발명에 대하여 그 다양한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명에 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

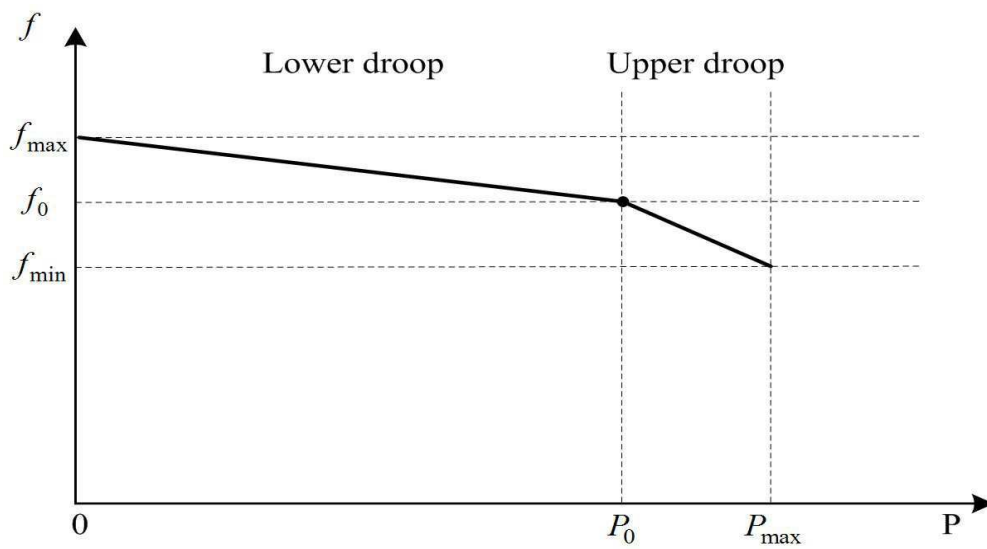
10 : 주 계통
21, 22 : 유효전력
30 : 분산전원의 출력 제어 장치
33 : 측정부
35 : 제어부

도면

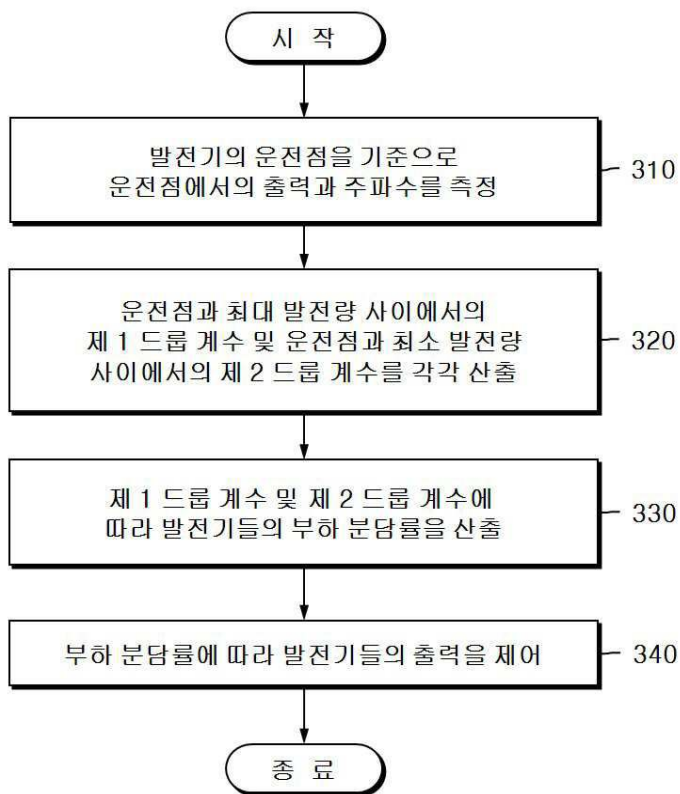
도면1



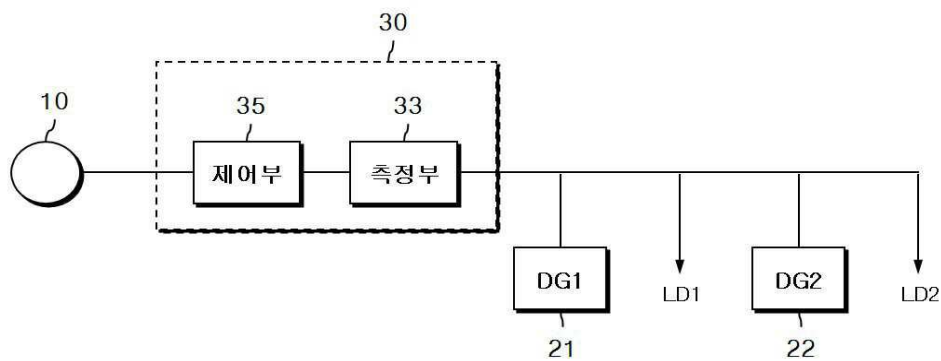
도면2



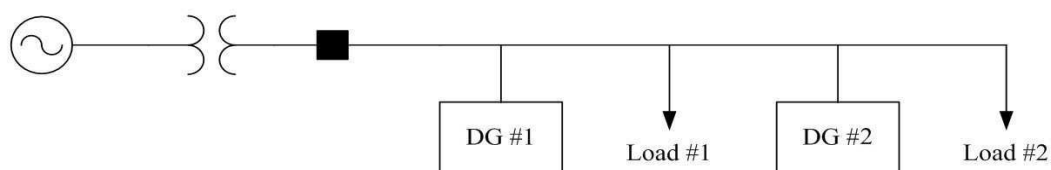
도면3



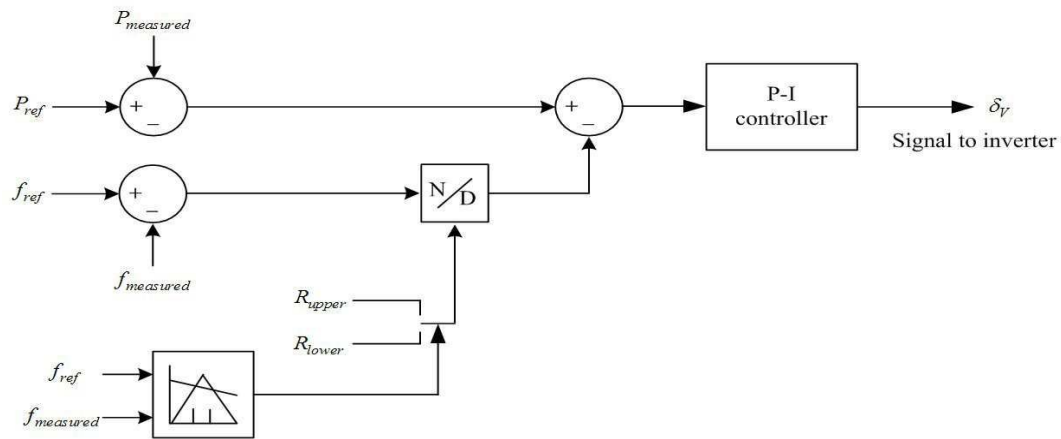
도면4



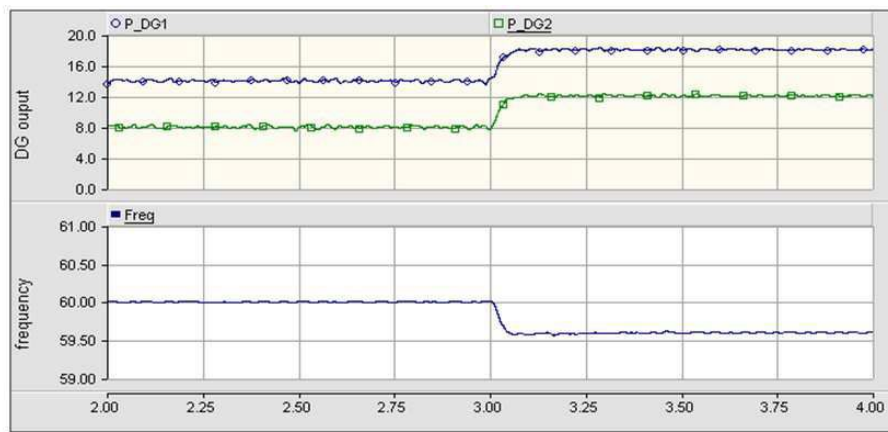
도면5



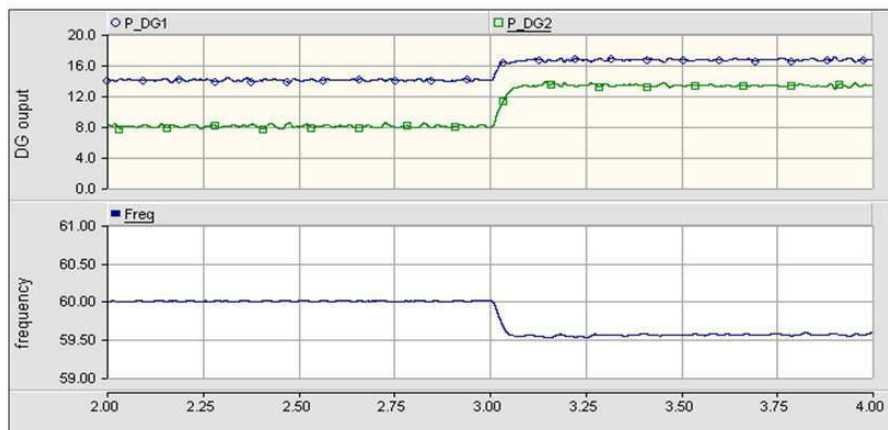
도면6



도면7

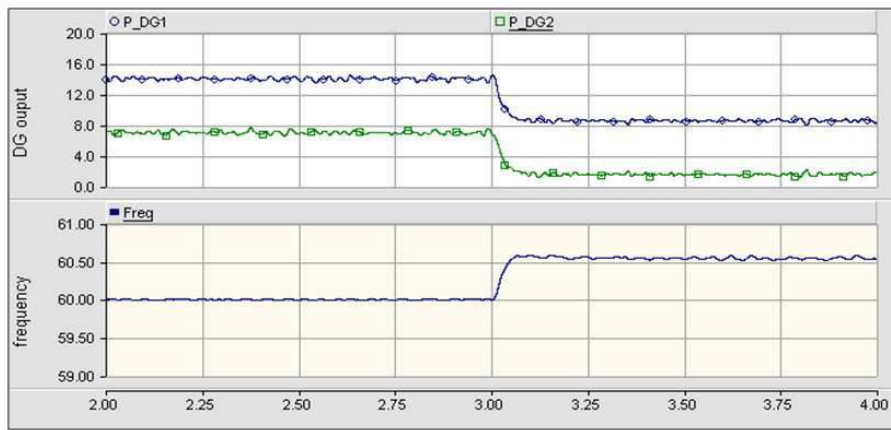


[A]

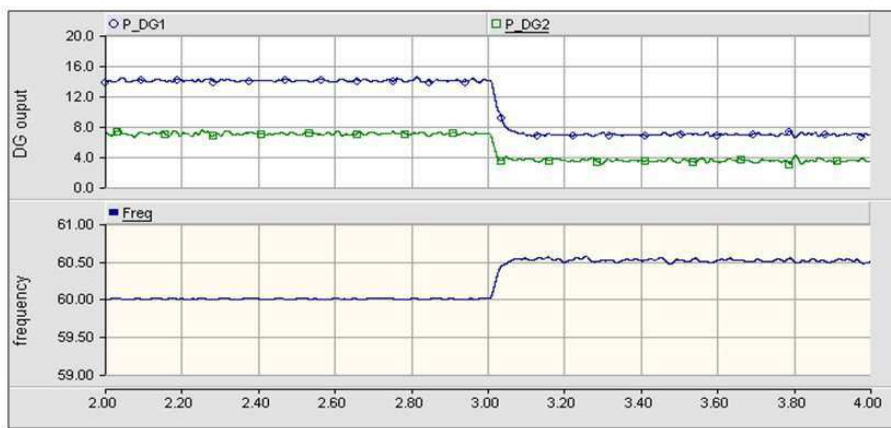


[B]

도면8

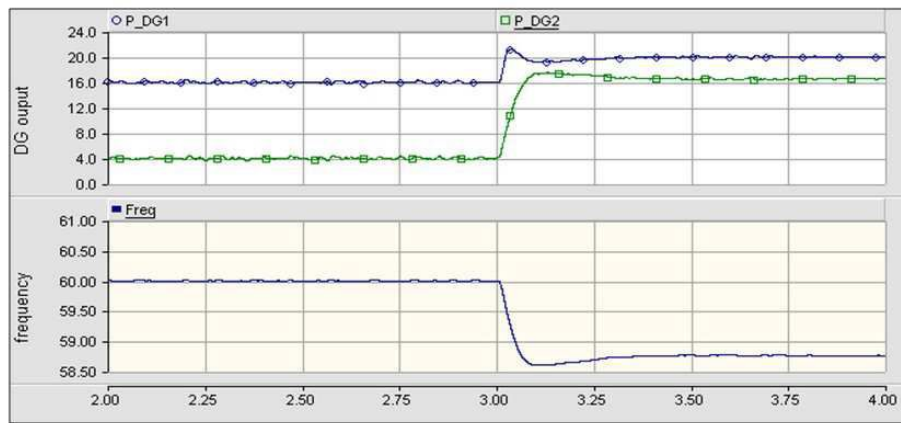


[A]

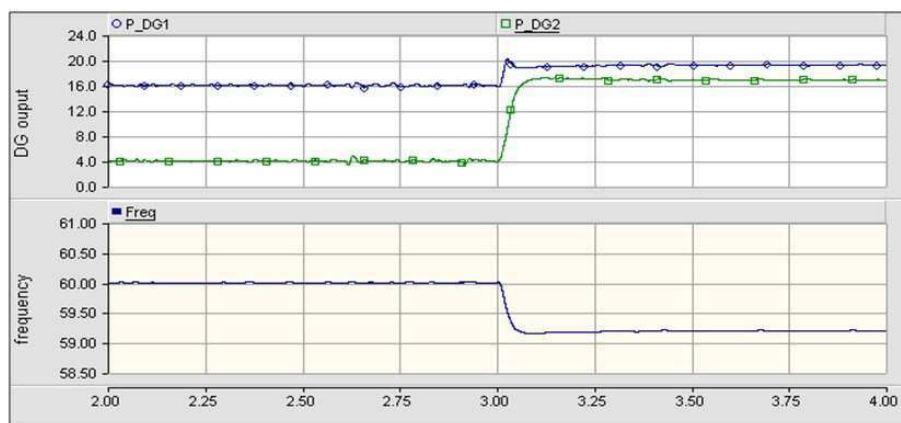


[B]

도면9



[A]



[B]