



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년12월30일
(11) 등록번호 10-2484001
(24) 등록일자 2022년12월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 3/00 (2006.01) G06F 17/00 (2019.01)
H02J 3/08 (2006.01) H02P 9/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02J 3/001 (2020.01)
G06F 17/00 (2019.01)
(21) 출원번호 10-2020-0164857
(22) 출원일자 2020년11월30일
심사청구일자 2020년11월30일
(65) 공개번호 10-2022-0076071
(43) 공개일자 2022년06월08일
(56) 선행기술조사문헌
JP6265826 B2
KR1020170028121 A
JP2017208932 A
JP6742813 B2

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
박정욱
서울특별시 강남구 압구정로29길 71, 20동 701호 (압구정동, 현대아파트)
임성훈
서울특별시 동작구 상도로 346-1, 115동 904호 (상도동, 힐스테이트 상도 센트럴파크)
김태완
서울특별시 서대문구 연희로10길 19, 202호 (연희동)
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

전체 청구항 수 : 총 20 항

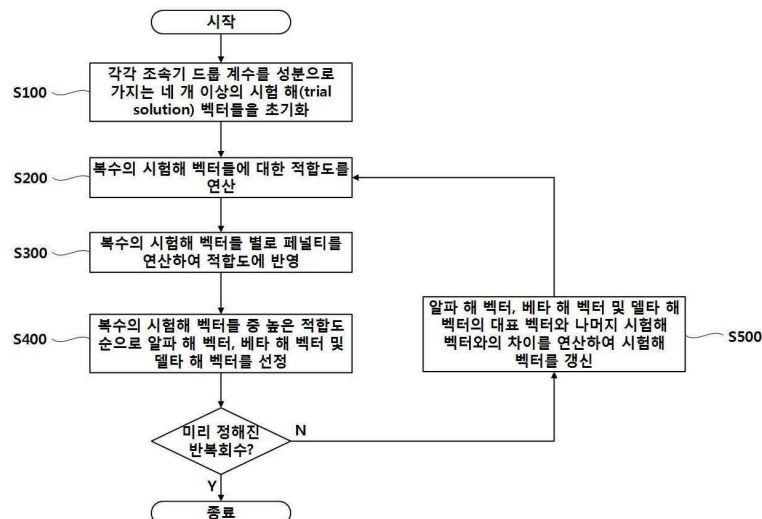
심사관 : 추형석

(54) 발명의 명칭 주파수 응답 과도 상태 최적화 방법 및 장치

(57) 요약

본 실시예에 의한 계통 주파수의 최적화 방법은: (a) 각각 조속기 드롭 계수를 성분으로 가지는 네 개 이상의 시험 해(trial solution) 벡터들을 초기화하는 단계; (b) 복수의 시험해 벡터들에 대한 적합도를 연산하는 단계; (c) 복수의 시험해 벡터들 별로 연산된 페널티를 연산하여 적합도에 반영하는 단계; (d) 복수의 시험해 벡터들 중 높은 적합도 순으로 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터를 선정하는 단계 및 (e) 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터의 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터와의 차이를 연산하여 시험해 벡터를 갱신하는 단계를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

H02J 3/08 (2013.01)

H02P 9/007 (2013.01)

H02J 2203/20 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711117498
과제번호	2020R1A3B2079407
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	리더연구자지원사업
연구과제명	에너지 대전환 전력망 연구단
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2020.06.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

계통 주파수의 최적화 방법으로, 상기 방법은:

- (a) 각각 조속기 드롭 계수를 성분으로 가지는 네 개 이상의 시험 해(trial solution) 벡터들을 초기화하는 단계;
- (b) 상기 복수의 시험해 벡터들에 대한 적합도를 연산하는 단계;
- (c) 복수의 시험해 벡터들 별로 페널티를 연산하여 상기 적합도에 반영하는 단계;
- (d) 상기 복수의 시험해 벡터들 중 높은 적합도 순으로 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터를 선정하는 단계 및
- (e) 상기 알파 해 벡터, 상기 베타 해 벡터 및 상기 델타 해 벡터의 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터와의 차이를 연산하여 상기 시험해 벡터를 갱신하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 방법은,

상기 초기화하는 단계 이전에

조속기 터빈 모듈 파라미터, 조속기의 드롭 계수, 감소한 β 값을 입력받는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 (a) 단계는,

상기 네 개 이상의 시험 해(trial solution) 벡터에 포함된 각각 발전기 드롭 계수를 성분을 초기화하되,

상기 발전기 드롭 계수 성분을 계통에서 사용되는 조속기의 드롭 계수의 범위 내에서 랜덤(random)하게 선정하여 상기 초기화를 수행하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 계통에서 사용되는 조속기의 드롭 계수의 범위는 2% 내지 10%인 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

상기 시험해 별로 하나의 적합도를 연산하여 수행하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계는, 수학적

$$\text{적합도} = \sum_j \frac{P_{m,j}(t_{NAD}) \cdot P_{m,j}(t_0)}{(t_{NAD}) \cdot (t_0)}$$

를 연산하여 수행하는 방법.

(t_{NAD} : 주파수 최저점의 시점, t_0 : 사고 발생 시점, $P_{m,j}(t_{NAD})$: 주파수 최저점 시점에서의 j 번째 발전기 출력, $P_{m,j}(t_0)$: 사고 발생 직전에서의 j 번째 발전기 출력)

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 (c) 단계에서,

상기 페널티를 연산하는 과정은,

상기 적합도를 연산하는 단계에서 연산된 상기 적합도에 의한 β 값이 발전기에 설정된 β_0 값을 초과하는 경우에 상기 페널티를 부과하여 수행하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 알파 해 벡터, 상기 베타 해 벡터 및 상기 델타 해 벡터의 값들의 대표 벡터는

상기 알파 해 벡터, 상기 베타 해 벡터 및 상기 델타 해 벡터의 각 성분들의 평균값, 최대값, 최소값, 중간값 (median value) 중 어느 하나를 성분으로 가지는 벡터인 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 시험해 벡터를 갱신하는 단계는,

상기 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터의 차이에 상응하는 차이 벡터를 연산하고, 상기 차이 벡터와 랜덤한 상수의 곱을 연산하는 단계와,

상기 시험해 벡터가 상기 랜덤한 상수가 곱해진 상기 차이 벡터 만큼 이동하도록 합산하는 단계를 수행하여 이루어지는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 방법은,

상기 (b) 단계 내지 상기 (e) 단계를 미리 정해진 횟수만큼 수행하는 방법.

청구항 11

계통 주파수의 최적화 장치는:

적어도 하나 이상의 프로세서; 및

상기 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리를 포함하며, 상기 프로그램들은 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 하나 이상의 프로세서들에서,

(a) 각각 조속기 드롭 계수를 성분으로 가지는 네 개 이상의 시험 해(trial solution) 벡터들을 초기화하는 단계;

(b) 상기 복수의 시험해 벡터들에 대한 적합도를 연산하는 단계;

(c) 복수의 시험해 벡터들 별로 연산된 페널티를 연산하여 상기 적합도에 반영하는 단계;

(d) 상기 복수의 시험해 벡터들 중 높은 적합도 순으로 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터를 선정하는 단계 및

(e) 상기 알파 해 벡터, 상기 베타 해 벡터 및 상기 델타 해 벡터의 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터와의 차이를 연산하여 상기 시험해 벡터를 갱신하는 단계를 포함하는 방법이 수행되는 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 방법은,

상기 초기화하는 단계 이전에

조속기 터빈 모듈 파라미터, 조속기의 드롭 계수, 감소한 β 값을 입력받는 단계를 더 포함하는 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 (a) 단계는,

상기 네 개 이상의 시험 해(trial solution) 벡터에 포함된 각각 발전기 드롭 계수 성분을 초기화하되,

상기 발전기 드롭 계수 성분을 계통에서 사용되는 조속기의 드롭 계수의 범위 내에서 랜덤(random)하게 선정하여 상기 초기화를 수행하는 장치.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 계통에서 사용되는 조속기의 드롭 계수의 범위는 2% 내지 10%인 장치.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

상기 시험해 별로 하나의 적합도를 연산하여 수행하는 장치.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 (b) 단계는, 수학적식

$$\text{적합도} = \sum_j \frac{P_{m_j}(t_{NAD}) \cdot P_{m_j}(t_0)}{(t_{NAD}) \cdot (t_0)}$$

를 연산하여 수행하는 장치.

(t_{NBD} : 주파수 최저점의 시점, t_0 : 사고 발생 시점, $P_{m,j}(t_{NBD})$: 주파수 최저점 시점에서의 j 번째 발전기 출력,

$P_{m,j}(t_0)$: 사고 발생 직전에서의 j 번째 발전기 출력)

청구항 17

제11항에 있어서,

상기 (c) 단계에서,

상기 페널티를 연산하는 과정은,

상기 적합도를 연산하는 단계에서 연산된 상기 적합도에 의한 β 값이 발전기에 설정된 β_0 값을 초과하는 경우에

상기 페널티를 부과하여 수행하는 장치.

청구항 18

제11항에 있어서,

상기 알파 해 벡터, 상기 베타 해 벡터 및 상기 델타 해 벡터의 값들의 대표 벡터는

상기 알파 해 벡터, 상기 베타 해 벡터 및 상기 델타 해 벡터의 각 성분들의 평균값, 최대값, 최소값, 중간값 (median value) 중 어느 하나를 성분으로 가지는 벡터인 장치.

청구항 19

제11항에 있어서,

상기 시험해 벡터를 갱신하는 단계는,

상기 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터의 차이에 상응하는 차이 벡터를 연산하고, 상기 차이 벡터와 랜덤한 상수의 곱을 연산하는 단계와,

상기 시험해 벡터가 상기 랜덤한 상수가 곱해진 상기 차이 벡터 만큼 이동하도록 합산하는 단계를 수행하여 이루어지는 장치.

청구항 20

제11항에 있어서,

상기 방법은,

상기 (b) 단계 내지 상기 (e) 단계를 미리 정해진 횟수만큼 수행하는 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 기술은 주파수 응답 과도 상태 최적화 방법 및 장치와 관련된다.

배경 기술

[0002] 기존 계통에 발전기 탈락과 같은 사고가 발생하게 되면 주파수 응답은 과도 상태를 거쳐 주파수 최저점과 1차 회복 주파수를 일정 수준 이상으로 유지한다. 한편, 우리나라를 포함하는 전 세계적으로 풍력 발전, 태양광 발전 등의 재생에너지 발전량 비중을 증가시키는 추세이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 일반적으로 재생 에너지는 최대 출력점 추종(Maximum power point tracking, MPPT) 제어를 통해 출력점이 결정되므로 계통에 발전기 탈락 등의 사고 발생시 주파수 응답에 참여하지 않아 주파수 안정도 문제가 발생할 수 있다.

[0004] 즉, 재생 에너지가 계통에 연계됨에 따라 기존 동기 발전기들을 대체하여 주파수 응답이 감소하고 주파수 최저점과 1차 회복 주파수가 감소하는 문제가 발생한다. 특히 전력변환장치를 이용하여 계통에 재생에너지를 연계시킬 경우 관성에너지가 감소하여 주파수 안정도 문제를 악화시킬 수 있다.

[0005] 본 기술로 해결하고자 하는 과제 중 하나는 상기한 문제점을 해소하는 것이다. 즉, 본 기술은 재생에너지 발전기가 계통과 연계된 상태에서 계통에 문제가 발생하였을 때, 계통의 주파수 응답의 과도 상태를 최적화할 수 있는 방법 및 장치를 제공하는 것이 본 과제로 해결하고자 하는 과제 중 하나이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 실시예에 의한 계통 주파수의 최적화 방법은: (a) 각각 조속기 드롭 계수를 성분으로 가지는 네 개 이상의

시험 해(trial solution) 벡터들을 초기화하는 단계; (b) 복수의 시험해 벡터들에 대한 적합도를 연산하는 단계; (c) 복수의 시험해 벡터들 별로 연산된 페널티를 연산하여 적합도에 반영하는 단계; (d) 복수의 시험해 벡터들 중 높은 적합도 순으로 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터를 선정하는 단계 및 (e) 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터의 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터와의 차이를 연산하여 시험해 벡터를 갱신하는 단계를 포함한다.

[0007] 본 실시예의 일 태양에 의하면, 방법은, 초기화하는 단계 이전에 조속기 터빈 모듈 파라미터, 조속기의 드롭 계수, 감소한 β 값을 입력받는 단계를 더 포함한다.

[0008] 본 실시예의 일 태양에 의하면, (a) 단계는, 네 개 이상의 시험 해(trial solution) 벡터에 포함된 각각 발전기 드롭 계수를 성분을 초기화하되, 발전기 드롭 계수 성분을 계통에서 사용되는 조속기의 드롭 계수의 범위 내에서 랜덤(random)하게 선정하여 초기화를 수행한다.

[0009] 본 실시예의 일 태양에 의하면, 계통에서 사용되는 조속기의 드롭 계수의 범위는 2% 내지 10%이다.

[0010] 본 실시예의 일 태양에 의하면, (b) 단계는, 시험해 별로 하나의 적합도를 연산하여 수행한다.

[0011] 본 실시예의 일 태양에 의하면, (b) 단계는, 수학적

$$\text{적합도} = \sum_j \frac{P_{m,j}(t_{NAD}) \cdot P_{m,j}(t_0)}{(t_{NAD}) \cdot (t_0)}$$

[0012] 를 연산하여 수행한다.

[0013] (t_{NAD} : 주파수 최저점의 시점, t_0 : 사고 발생 시점, $P_{m,j}(t_{NAD})$: 주파수 최저점 시점에서의 j 번째 발전기 출력, $P_{m,j}(t_0)$: 사고 발생 직전에서의 j 번째 발전기 출력)

[0014] 본 실시예의 일 태양에 의하면, (c) 단계에서, 페널티를 연산하는 과정은,

[0015] 적합도를 연산하는 단계에서 연산된 적합도에 의한 β 값이 발전기에 설정된 β_0 값을 초과하는 경우에 페널티를 부과하여 수행한다.

[0016] 본 실시예의 일 태양에 의하면, 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터의 값들의 대표 벡터는 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터의 각 성분들의 평균값, 최대값, 최소값, 중간값(median value) 중 어느 하나를 성분으로 가진다.

[0017] 본 실시예의 일 태양에 의하면, 시험해 벡터를 갱신하는 단계는, 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터의 차이에 상응하는 차이 벡터를 연산하고, 차이 벡터와 랜덤한 상수의 곱을 연산하는 단계와, 시험해 벡터가 랜덤한 상수 곱해진 차이 벡터 만큼 이동하도록 합산하는 단계를 수행하여 이루어진다.

[0018] 본 실시예의 일 태양에 의하면, 방법은, (b) 단계 내지 (e) 단계를 미리 정해진 횟수만큼 수행한다.

[0019] 본 실시예에 의한 계통 주파수의 최적화 장치는: 적어도 하나 이상의 프로세서; 및 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리를 포함하며, 프로그램들은 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 하나 이상의 프로세서들에서 (a) 각각 조속기 드롭 계수를 성분으로 가지는 네 개 이상의 시험 해(trial solution) 벡터들을 초기화하는 단계; (b) 복수의 시험해 벡터들에 대한 적합도를 연산하는 단계; (c) 복수의 시험해 벡터들 별로 연산된 페널티를 연산하여 적합도에 반영하는 단계; (d) 복수의 시험해 벡터들 중 높은 적합도 순으로 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터를 선정하는 단계 및 (e) 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터의 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터와의 차이를 연산하여 시험해 벡터를 갱신하는 단계를 포함하는 방법이 수행된다.

[0020] 본 실시예의 일 태양에 의하면, 방법은, 초기화하는 단계 이전에 조속기 터빈 모듈 파라미터, 조속기의 드롭 계수, 감소한 β 값을 입력받는 단계를 더 포함한다.

[0021] 본 실시예의 일 태양에 의하면, (a) 단계는, 네 개 이상의 시험 해(trial solution) 벡터에 포함된 각각 발전기 드롭 계수를 성분을 초기화하되, 발전기 드롭 계수 성분을 계통에서 사용되는 조속기의 드롭 계수의 범위 내에서 랜덤(random)하게 선정하여 초기화를 수행한다.

[0022] 본 실시예의 일 태양에 의하면, 계통에서 사용되는 조속기의 드롭 계수의 범위는 2% 내지 10%이다.

[0023] 본 실시예의 일 태양에 의하면, (b) 단계는, 시험해 별로 하나의 적합도를 연산하여 수행한다.

[0024] 본 실시예의 일 태양에 의하면, (b) 단계는, 수학식

$$\text{적합도} = \sum_j \frac{P_{m,j}(t_{NAD}) - P_{m,j}(t_0)}{(t_{NAD}) - (t_0)}$$

[0025] 를 연산하여 수행한다.

[0026] (t_{NAD} : 주파수 최저점의 시점, t_0 : 사고 발생 시점, $P_{m,j}(t_{NAD})$: 주파수 최저점 시점에서의 j 번째 발전기 출력, $P_{m,j}(t_0)$: 사고 발생 직전에서의 j 번째 발전기 출력)

[0027] 본 실시예의 일 태양에 의하면, (c) 단계에서, 페널티를 연산하는 과정은,

[0028] 적합도를 연산하는 단계에서 연산된 적합도에 의한 β 값이 발전기에 설정된 β_0 값을 초과하는 경우에 페널티를 부과하여 수행한다.

[0029] 본 실시예의 일 태양에 의하면, 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터의 값들의 대표 벡터는 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터의 각 성분들의 평균값, 최대값, 최소값, 중간값(median value) 중 어느 하나를 성분으로 가진다.

[0030] 본 실시예의 일 태양에 의하면, 시험해 벡터를 갱신하는 단계는, 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터의 차이에 상응하는 차이 벡터를 연산하고, 차이 벡터와 랜덤한 상수의 곱을 연산하는 단계와, 시험해 벡터가 랜덤한 상수가 곱해진 차이 벡터 만큼 이동하도록 합산하는 단계를 수행하여 이루어진다.

[0031] 본 실시예의 일 태양에 의하면, 방법은, (b) 단계 내지 (e) 단계를 미리 정해진 횟수만큼 수행한다.

발명의 효과

[0032] 본 실시예에 의하면 계통에 사고 발생시 종래 기술에 비하여 더 양호한 주파수 최저점 특성을 얻을 수 있다는 장점이 제공되며, 빠른 주파수 응답을 얻을 수 있다는 장점이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 실시예에 의한 주파수 응답 과도 상태 최적화 방법의 개요를 도시한 순서도이다.

도 2는 본 실시예에 의한 주파수 응답 과도 상태 최적화 장치(100)의 개요를 도시한 블록도이다.

도 3은 계통(grid)에 사고시 발생하는 주파수 변화 및 전력 변화를 도시한 도면이다.

도 4(a)는 국내 전력계통에서 2초에 신고리 #3 발전기(1,400MW)가 탈락하는 사고가 발생하였을 때 계통 주파수를 도시한 도면이고, 도 4(b)는 본 실시예에 따라 풍력발전단지 4GW가 투입된 경우에 감소한 주파수 발전력 특성정수 β 120MW/0.1Hz에 대해서 남아있는 동기 발전기들의 조속기 드롭계수를 재조정하는 과정을 도시한 도면이다.

도 5(a) 및 도 5(b)는 위에서 구한 재조정된 조속기들 드롭 계수를 반영한 결과를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 실시예에 의한 주파수 응답 과도 상태 최적화 방법 및 주파수 응답 과도 상태 최적화 장치를 설명한다. 도 1은 본 실시예에 의한 주파수 응답 과도 상태 최적화 방법의 개요를 도시한 순서도이다. 도 1을 참조하면, 본 실시예에 의한 계통 주파수의 최적화 방법은: (a) 각각 조속기 드롭 계수를 성분으로 가지는 네 개 이상의 시험해(trial solution) 벡터들을 초기화하는 단계(S100)와, (b) 복수의 시험해 벡터들에 대한 적합도를 연산하는 단계(S200)와, (c) 복수의 시험해 벡터들 별로 연산된 페널티를 연산하여 적합도에 반영하는 단계(S300)와, (d) 복수의 시험해 벡터들 중 높은 적합도 순으로 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터를 선정하는 단계(S400) 및 (e) 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터의 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터와의 차이를 연산하여 시험해 벡터를 갱신하는 단계(S400)를 포함한다.

[0035] 도 2는 본 실시예에 의한 주파수 응답 과도 상태 최적화 장치(100)의 개요를 도시한 블록도이다. 도 2를 참조하면, 본 실시예에 따른 주파수 응답 과도 상태 최적화 장치(100)는 입력부(110), 출력부(120), 프로세서(130),

메모리(140) 및 데이터베이스(150)를 포함한다. 도 2의 주파수 응답 과도 상태 최적화 장치(100)는 일 실시예에 따른 것으로서, 도 2에 도시된 모든 블록이 필수 구성요소는 아니며, 다른 실시예에서 주파수 응답 과도 상태 최적화 장치(100)에 포함된 일부 블록이 추가, 변경 또는 삭제될 수 있다. 한편, 주파수 응답 과도 상태 최적화 장치(100)는 계통 사고 발생시 주파수 응답의 과도 상태를 최적화하는 컴퓨팅 장치로 구현될 수 있으며, 주파수 응답 과도 상태 최적화 장치(100)에 포함된 각 구성요소들은 각각 별도의 소프트웨어 장치로 구현되거나, 소프트웨어가 결합된 별도의 하드웨어 장치로 구현될 수 있다.

- [0036] 주파수 응답 과도 상태 최적화 장치(100)는 시험해 벡터들의 적합도를 연산하고, 페널티를 연산하여 적합도에 반영하며, 복수의 시험해 벡터들 중 높은 적합도 순으로 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터를 선정하여 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터의 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터와의 차이를 연산하여 시험해 벡터를 갱신하는 동작을 수행한다.
- [0037] 입력부(110)는 계통의 주파수 응답 과도 상태를 최적화하기 위한 신호 또는 데이터를 입력하거나 획득하는 수단을 의미한다. 입력부(110)는 프로세서(150)와 연동하여 다양한 형태의 신호 또는 데이터를 입력하거나, 외부 장치와 연동하여 직접 데이터를 획득하여 프로세서(150)로 전달할 수도 있다. 입력부(110)는 로그정보(log), 다양한 조건정보 또는 제어신호 등을 입력하거나 입력 받기 위한 장치 또는 서버 일수 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0038] 출력부(120)는 프로세서(150)와 연동하여 로그정보, 계통 정보, 현재 계통의 주파수 정보 등을 표시할 수 있다. 출력부(120)는 소정의 정보를 출력하기 위하여 주파수 응답 과도 상태 최적화 장치(100)에 구비된 디스플레이(미도시), 스피커 등을 통해 다양한 정보를 표시하는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0039] 프로세서(150)는 메모리(140)에 포함된 적어도 하나의 명령어 또는 프로그램을 실행시키는 기능을 수행한다.
- [0040] 본 실시예에 따른 프로세서(150)는 입력부(110) 또는 데이터베이스(130)로부터 획득한 데이터를 기반으로 시험해 벡터들의 적합도를 연산하고, 페널티를 연산하여 적합도에 반영하며, 복수의 시험해 벡터들 중 높은 적합도 순으로 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터를 선정하여 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터의 대표 벡터와 나머지 시험해 벡터와의 차이를 연산하여 시험해 벡터를 갱신하는 동작을 수행한다.
- [0041] 메모리(140)는 프로세서(150)에 의해 실행 가능한 적어도 하나의 명령어 또는 프로그램을 포함한다. 메모리(140)는 관심 영역을 추출, 클래스 결정, 판단 등의 처리를 수행하기 위한 명령어 또는 프로그램을 포함할 수 있다. 메모리(140)는 본 실시예의 각 단계의 연산 결과들을 저장할 수 있다.
- [0042] 데이터베이스(130)는 데이터베이스 관리 프로그램(DBMS)을 이용하여 컴퓨터 시스템의 저장공간(하드디스크 또는 메모리)에 구현된 일반적인 데이터구조를 의미하는 것으로, 데이터의 검색(추출), 삭제, 편집, 추가 등을 자유롭게 행할 수 있는 데이터 저장형태를 뜻하는 것으로, 오라클(Oracle), 인포믹스(Infomix), 사이베이스(Sybase), DB2와 같은 관계형 데이터베이스 관리 시스템(RDBMS)이나, 겔스톤(Gemston), 오리온(Orion), 02 등과 같은 객체 지향 데이터베이스 관리 시스템(OODBMS) 및 엑셀론(Excelon), 타미노(Tamino), 세카이주(Sekaiju) 등의 XML 전용 데이터베이스(XML Native Database)를 이용하여 본 발명의 일 실시예의 목적에 맞게 구현될 수 있고, 자신의 기능을 달성하기 위하여 적당한 필드(Field) 또는 엘리먼트들을 가지고 있다.
- [0043] 본 실시예에 따른 데이터베이스(130)는 로그정보, 조건 정보, 주파수 정보 등을 저장하고, 저장된 데이터를 제공할 수 있다. 한편, 데이터베이스(140)는 스캔 셀 재배치 장치(100) 내에 구현되는 것으로 기재하고 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 별도의 데이터 저장장치로 구현될 수도 있다.
- [0044] 도 3은 계통(grid)에 사고시 발생하는 주파수 변화 및 전력 변화를 도시한 도면이다. 도 3을 참조하면, 계통에 발전기 탈락과 같은 사고가 발생하면 도 3으로 예시된 것과 같이 주파수 최저점(f_{NAD})과 1차 회복 주파수(f_{SET})를 일정 수준 이상으로 유지하여야 한다. 그러나, 풍력 발전, 태양광 발전 등과 같이 전력 변환 장치를 이용한 재생 에너지가 계통에 연계되어 기존 동기 발전기들을 대체함에 따라 주파수 응답이 감소하고 주파수 최저점(f_{NAD})과 1차 회복 주파수(f_{SET})가 감소하여 주파수 특성이 열화된다는 난점이 있다.
- [0045] 다만, 주파수 최저점(f_{NAD})의 경우에는 도 3으로 예시된 것과 같이 주파수 응답의 과도 상태에서 발생하며 1차 회복 주파수(f_{SET})는 주파수 응답이 정상 상태일 때 발생하게 된다. 또한 1차 회복 주파수(f_{SET})는 아래의 수학적 식 1의 ①식과 같이 계통에 발생한 사고의 크기 P_{loss} 와 주파수 발전력 특성정수 β 에 의해 결정된다. 주파수 발전력 특성정수 β 는 수학적 식 1의 ②식과 같이 개별 동기 발전기와 조속기 드롭 계수에 의해 결정된다.

[0046] [수학식 1]

$$\Delta f_{SET} = \frac{P_{loss}}{\beta} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\beta = \sum_i \frac{100}{R_i} \cdot \frac{S_i \cdot PF_i}{f_o} \cdot \frac{1}{10} \quad \dots \textcircled{2}$$

[0047]

[0048] (Δf_{SET} : 1차 회복 주파수 편차, P_{loss} : 사고 크기, β : 주파수 발전력 특성정수, S_i : i 번째 동기 발전기 용량, PF_i : i 번째 동기 발전기 역률, f_o : 초기 주파수(Nominal frequency), R_i : i 번째 동기 발전기의 조속기 드롭 계수)

[0049] 즉, 계통에 사고 발생시 1차 회복 주파수(f_{SET})는 수학식 1에 따라 주파수 발전력 특성정수를 조절하여 그 값을 크게 하면 1차 회복 주파수 편차는 감소시킬 수 있으나, 과도 상태의 주파수 응답을 신속하게 하는 것은 다음과 같이 본 실시예를 통하여 수행될 수 있다.

[0050] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 계통에 연계된 조속기(governor)들의 드롭 계수를 성분으로 가지는 네 개 이상의 시험해 벡터들을 초기화한다(S100). 일 실시예로, 각 시험해들은 계통과 연계되어 동작하는 조속기들의 드롭 계수를 성분으로 가진다. 일 예로, 시험해에 포함된 성분은 사고가 발생한 계통과 연계하여 동작하는 동기 발전기의 개수에 상응할 수 있다. 일 예로, 계통과 연계된 조속기가 N 개이면 시험해 T1은 $T1 = [T1_1, T1_2, T1_3, \dots, T1_N]$ 의 N 개의 성분을 가질 수 있고, 시험해 T2는 $T2 = [T2_1, T2_2, T2_3, \dots, T2_N]$ 의 N 개의 성분을 가질 수 있다. 시험해 들은 모두 동일한 개수의 성분들을 포함할 수 있다. 일 예로, 시험해 들은 네 개 이상일 수 있으며, 다른 예로, 100 개 이상일 수 있다.

[0051] 시험해의 각 성분은 조속기의 드롭 계수(droop coefficient)로 초기화 된다. 조속기는 여러 가지의 종류가 있으며, 해당 종류 별로 서로 다른 드롭 계수의 범위를 가질 수 있다. 아래 표 1은 서로 다른 조속기들이 가질 수 있는 드롭 계수의 범위를 예시한 표이다.

[0052] [표 1]

조속기 종류	드롭 범위
IEEEG1	4% - 8.5%
IEESGO	5% - 6.7%
TGOV1	5% - 6%
GAST	3.5% - 7%
GAST2A	3.1% - 8.2%
GGOV1	4% - 6.4%

[0053]

[0054] 상기한 표 1로 기재된 바와 같이 조속기들의 드롭 계수는 조속기의 종류별로 대략 3.1% ~ 8.5% 까지의 범위를 가질 수 있다. 다만, 표 1에 기재되지 않은 조속기들의 드롭 범위를 고려하면 드롭 범위는 2% ~ 10%까지의 값을 가질 수 있다. 시험해들에 포함된 각 성분들은 상기한 2% 내지 10% 까지의 범위 내에서 랜덤하게 선택되어 초기화될 수 있다. 다만, 본 실시예가 수행됨에 따라 이상적인 드롭 값을 가지도록 조정된다.

[0055] 일 실시예로 시험해 벡터들을 초기화하는 단계(S100) 이전에 조속기 터빈 모듈 파라미터, 조속기의 드롭 계수, 감소한 β 값을 입력받는 단계를 더 포함할 수 있다. 이를 통하여 후속하는 단계들을 연산할 수 있다. 일 예로, 조속기 터빈 모듈 파라미터와 조속기의 드롭계수를 통해 각 발전기별 출력 증가량

$$P_{m,j}(t_{NAD}) - P_{m,j}(t_0)$$

과 각 발전기들 β 증가량을 연산한다. 이후 단계에서 각 발전기별 출력 증가량들은 적합도를 계산할 때 사용하며 각 발전기들 β 증가량은 페널티를 계산할 때 사용할 수 있다.

[0056] 복수의 시험해 벡터들에 대한 적합도(fitness value)를 연산한다(S200). 적합도는 사고가 발생하였을 때, 주파수 응답의 속도를 알 수 있는 값으로, 사고 발생 후, 발전기들의 출력이 얼마나 빠르게 증가하는지 나타내는 값이다. 적합도는 아래의 수학식 2와 같이 연산될 수 있다.

[0057] [수학식 2]

$$Fitness\ value = \sum_j \frac{P_{m,j}(t_{NAD}) - P_{m,j}(t_0)}{t_{NAD} - t_0}$$

[0058]

[0059] (t_{NAD} : 주파수 최저점 시점, t_0 : 사고 발생 시점, $P_{m,j}(t_{NAD})$: 주파수 최저점 시점에서 j번째 발전기 출력, $P_{m,j}(t_0)$: 사고 발생 직전에서 j번째 발전기 출력)

[0060] 수학식 2로 예시된 것과 같이 적합도(Fitness value) 값은 각 시험해의 모든 성분을 이용하여 연산을 수행하며, 시험해 별로 하나의 적합도 값을 얻을 수 있다. 수학식 2로 예시된 것과 같이 어느 한 시험해에서 연산된 적합도(Fitness value)가 높으면 해당 시험해에 따라 운전되는 발전기들의 출력이 빨리 증가한다는 것을 의미하며, 해당 시험해로 운전되는 계통은 주파수 응답 속도가 높아 주파수 최저점(f_{NAD})에서 1차 회복 주파수(f_{SET}) 까지 빠르게 변화한다는 것을 의미한다. 따라서, 높은 적합도를 가지는 시험해로 계통에 포함된 발전기를 운전하면 높은 주파수 응답 속도를 얻을 수 있다.

[0061] 복수의 시험해 벡터들 별로 페널티를 연산하여 적합도에 반영한다(S300). 페널티는 전기들의 드롭의 초기값이 배정된 후 계산된 시험해 전체 β 값이 초기 β_0 값을 넘어가지 않도록 하기 위한 것이다. 즉, 발전기들이 초기에 배정된 β_0 값에 비하여 높은 주파수 응답 속도를 얻기 위하여 과도하게 부하를 분담하는 경우에 β 값이 β_0 에 비하여 상승한다. 이러한 경우에는 경제적 부담이 가중되므로, 페널티를 부과하여 이러한 경우를 최적의 해답에서 제거하여야 한다.

[0062] 페널티는 아래의 수학식 3과 같이 연산된다.

[0063] [수학식 3]

$$E = |\beta_k - \beta_o| \cdots \textcircled{1}$$

$$P = \theta(E) \cdot E^{r(E)} \cdots \textcircled{2}$$

[0064]

[0065] 우선, k번째 반복에서 지정된 β 값인 β_k 와 초기 β_0 의 오차 E의 절대값을 구한다. 이어서, 해당 오차값을 페널티 연산식을 구성하는 멀티 스테이지 할당 함수(multi-stage assignment function)에 대입하여 페널티 값을 연산한다.

[0066] [표 2]

E	$\theta(E)$	$r(E)$
-1 ~ 1	2	1
1 ~ 3	4	2
3 ~ 5	6	3
5 ~ 7	8	4
...

[0067]

[0068] 멀티 스테이지 할당 함수는 표 2와 같이 연산될 수 있으며, β_k 와 초기 β_0 의 오차를 연산하고, 연산된 오차로부터 페널티의 값을 연산하는 방식으로 연산된다. 일 예로, β_k 와 초기 β_0 의 차이가 2인 경우에는 오차(E)가 2이다. 따라서, $\theta(E)$ 는 4이고, $r(E)$ 는 2이다. 이로부터 페널티 P를 연산하면 수학적 식 3의 ②식으로부터 $P=4*2^2(2)=16$ 으로 연산된다.

[0069] S200 단계에서 연산된 적합도 수치에서 페널티를 감산하여 페널티를 반영한 적합도를 연산한다(S300). 상술한 바와 같이 페널티를 적합도 수치에 반영함으로써 높은 주파수 응답 속도를 얻기 위하여 과도하게 부하를 분담하는 경우에 발생하는 경제적 부담을 고려하여 최적의 해답을 찾기 위한 것이다.

[0070] 페널티를 각 시험해들의 적합도에 반영한 후, 복수의 시험해 벡터를 중 높은 적합도 순으로 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터를 선정한다(S400). 이어서, 반복 회수가 미리 정해진 반복 회수에 도달하였는지 파악하고, 미리 정해진 반복 회수에 도달하지 않았으면 시험해 벡터를 갱신한다(S500).

[0071] 시험해 벡터를 갱신하는 과정에서, 우선 알파 해 벡터, 상기 베타 해 벡터 및 상기 델타 해 벡터의 대표 벡터를 연산한다. 일 실시예로, 알파 해 벡터를 $\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_N]$ 이라 하고, 베타 해 벡터를 $\beta = [\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_N]$ 이라 하고, 델타 해 벡터를 $\delta = [\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_N]$ 이라 하자.

[0072] 일 예로, 대표 벡터는 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터 각 성분에 대한 평균을 성분으로 할 수 있으며, 아래와 같이 연산될 수 있다.

[0073] 대표 벡터 $R = [(\alpha_1 + \beta_1 + \delta_1)/3, (\alpha_2 + \beta_2 + \delta_2)/3, (\alpha_3 + \beta_3 + \delta_3)/3, \dots, (\alpha_N + \beta_N + \delta_N)/3]$

[0074] 다른 예로, 대표 벡터는 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터 각 성분에 대한 최대값을 성분으로 할 수 있으며, 아래와 같이 연산될 수 있다.

[0075] 대표 벡터 $R = [\max(\alpha_1, \beta_1, \delta_1), \max(\alpha_2, \beta_2, \delta_2), \max(\alpha_3, \beta_3, \delta_3)/3, \dots, \max(\alpha_N, \beta_N, \delta_N)]$

[0076] 또 다른 예로, 대표 벡터는 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터 각 성분에 대한 중간값(med)을 성분으로 할 수 있으며, 아래와 같이 연산될 수 있다.

[0077] 대표 벡터 $R = [\text{med}(\alpha_1, \beta_1, \delta_1), \text{med}(\alpha_2, \beta_2, \delta_2)/3, \text{med}(\alpha_3, \beta_3, \delta_3)/3, \dots, \text{med}(\alpha_N, \beta_N, \delta_N)]$

[0078] 위와 같이 대표 벡터는 알파 해 벡터, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터 각 성분의 평균값, 최대값, 최소값, 중간값 중 어느 하나를 성분으로 할 수 있다.

[0079] 이어서, 대표 벡터(R)과 나머지 벡터들의 차이를 연산한다. 대표 벡터 R과의 나머지 벡터들의 차이를 연산하여 각각의 시험해 벡터를 갱신한다. 일 실시예로, 시험해 벡터를 갱신하는 단계는 아래의 수학적식과 같이 표시될 수 있다.

[0080] [수학식 4]

$$\overline{X_{k+1}} = \overline{X_k} \cdot r \cdot R$$

[0081]

[0082] (X_{k+1} : 갱신된 시험해 벡터, X_k : 시험해 벡터, r : 난수, R : 대표 벡터)

[0083] 시험해 벡터를 갱신하는 단계는 이전 단계에서 연산된 대표 벡터에 난수(random number)를 곱하고, 시험해 벡터와의 차이를 연산하여, 연산 결과를 갱신된 시험해 벡터로 업데이트하여 수행될 수 있다.

[0084] 시험해 벡터들을 갱신함으로써 알파 해 벡터, 상기 베타 해 벡터 및 상기 델타 해 벡터 나머지 벡터들이 가장 높은 적합도를 가지는 세 개의 시험해의 위치에 근접한다. 또한, 대표 벡터에 난수를 곱하여 시험해 벡터와의 차이를 연산하므로 시험해 벡터들이 목적하는 최적의 응답에 점차 접근할 수 있다.

[0085] 이와 같은 방식으로 미리 정해진 반복회수 만큼 시험해 벡터들을 갱신하여 가장 높은 적합도를 가지는 알파 해 벡터와, 베타 해 벡터 및 델타 해 벡터를 찾아 계통의 발전기들을 최적의 주파수 응답을 가지도록 운전할 수 있다.

[0086] **평가**

[0087] 이하에서는 모의 실험을 통하여 본 실시예에 의한 주파수 응답 과도 상태 최적화 방법을 검증한다. 국내 전국 계통을 대상으로 영광, 신안, 남해, 울산, 영덕에 풍력발전단지 4GW가 투입되었을 경우 시뮬레이션을 이용하여 감소한 주파수 안정도를 본 발명을 통해 남아있는 동기 발전기들의 주파수 응답을 최적화 시켜 주파수 안정도를 개선시켰다.

[0088] 도 4(a)는 국내 전력계통에서 2초에 신고리 #3 발전기(1,400MW)가 탈락하는 사고가 발생하였을 때 계통 주파수를 도시한 도면이다. 도 4(a)와 같이 풍력발전단지 4GW가 투입되기 전에는 주파수 최저점이 59.871Hz, 1차 회복 주파수가 59.911Hz이었던 반면에 풍력발전단지가 4GW가 투입되면서 계통주파수의 주파수 최저점이 59.862Hz, 1차 회복 주파수가 59.907Hz으로 감소하였다. 특히, 1차 회복 주파수는 0.004Hz 감소된 반면에, 주파수 최저점은 0.009Hz 감소하였음을 알 수 있다. 이는 재생에너지 투입이 주파수 최저점에 더 악영향을 미치는 것임을 알 수 있다.

[0089] 도 4(b)는 본 실시예에 따라 풍력발전단지 4GW가 투입된 경우에 감소한 주파수 발전력 특성정수 β 120MW/0.1Hz에 대해서 남아있는 동기 발전기들의 조속기 드롭계수를 재조정하는 과정을 도시한 도면으로, 지역별(서울 경기, 인천, 강원, 충청, 전라, 경상) 평균 조속기 드롭 계수들이 재조정되는 과정을 도시한다.

[0090] 도 5(a) 및 도 5(b)는 위에서 구한 재조정된 조속기들 드롭 계수를 반영한 결과를 도시한 도면이다. 도 5(a)를 참조하면, 주파수 발전력 특성정수 β 가 회복되었으므로 1차 회복 주파수는 풍력발전단지 4GW가 투입되기 전으로 회복된 것을 확인할 수 있다. 또한, 주파수 최저점의 경우에는 풍력발전기 투입에 더 크게 영향을 받아 1차 회복 주파수보다 더 많은 회복이 필요한 상황이었으나 본 실시예를 통해 주파수 응답의 과도 상태를 최적화 시켜 주파수 최저점이 59.875Hz로 풍력발전기 4GW 투입 이전 이상으로 회복된 것을 확인할 수 있다. 이러한 개선된 주파수 안정도는 아래 도 5(b)와 같이 조속기 응답의 과도 상태가 개선되었기 때문이다.

[0091] 본 실시예는 재생 에너지에 추가적인 제어 방법을 탑재하기 이전에 기존 동기 발전기들 대상으로 조속기 드롭 계수를 재설정하여 주파수 응답의 과도 상태를 최적화시키고 주파수 최저점과 1차 회복 주파수를 모두 개선할 수 있다. 따라서 본 실시예를 통해 기존 동기 발전기들의 최적화 운영으로 주파수 안정도를 유지하여 재생에너지의 수용률을 높이고, 에너지 전환에 큰 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

[0092] 본 발명에 대한 이해를 돕기 위하여 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나, 이는 실시를 위한 실시예로, 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0093] S100~S500: 본 실시예에 의한 계통 주파수 최적화 방법의 각 단계

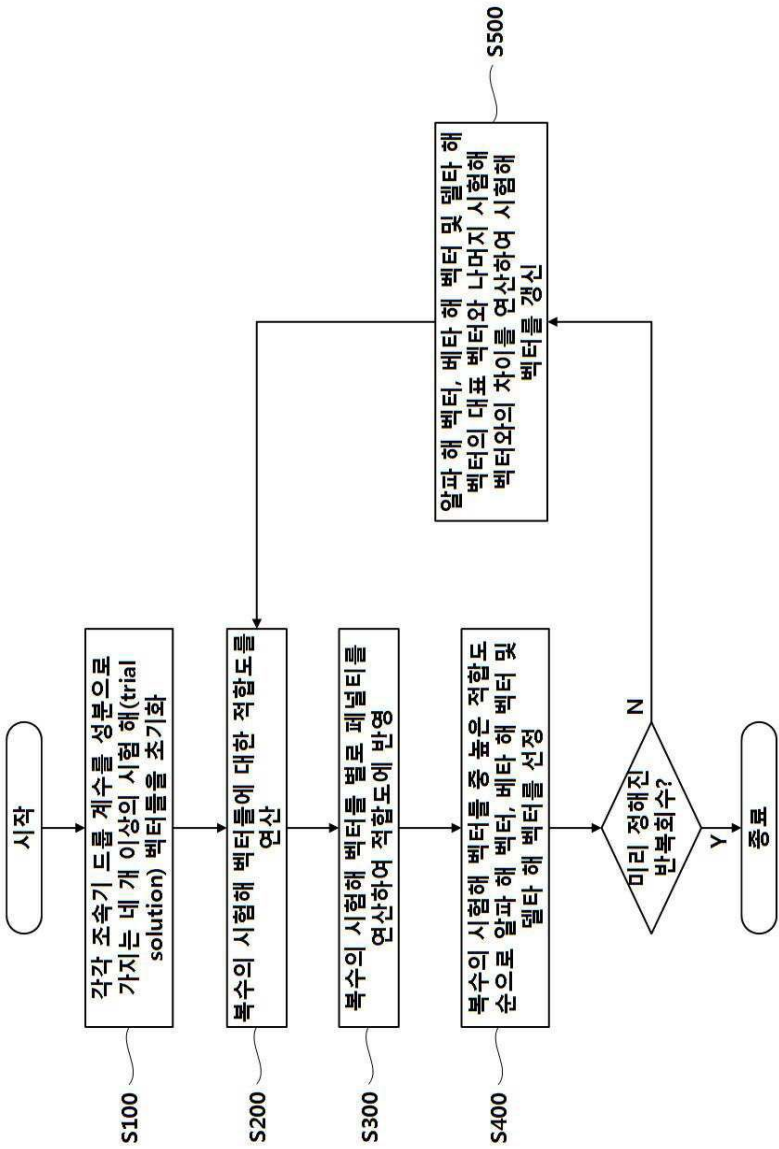
- 100: 계통 주파수의 최적화 장치
- 110: 입력부

120: 출력부
- 130: 데이터베이스

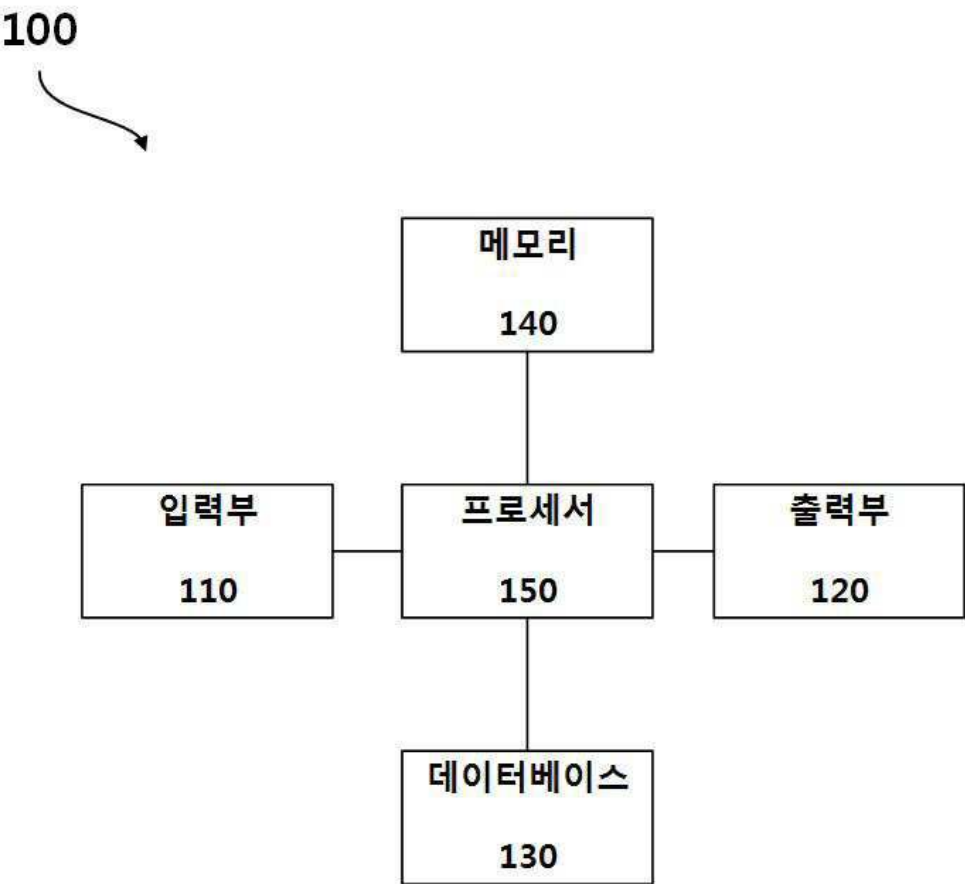
140: 메모리
- 150:프로세서

도면

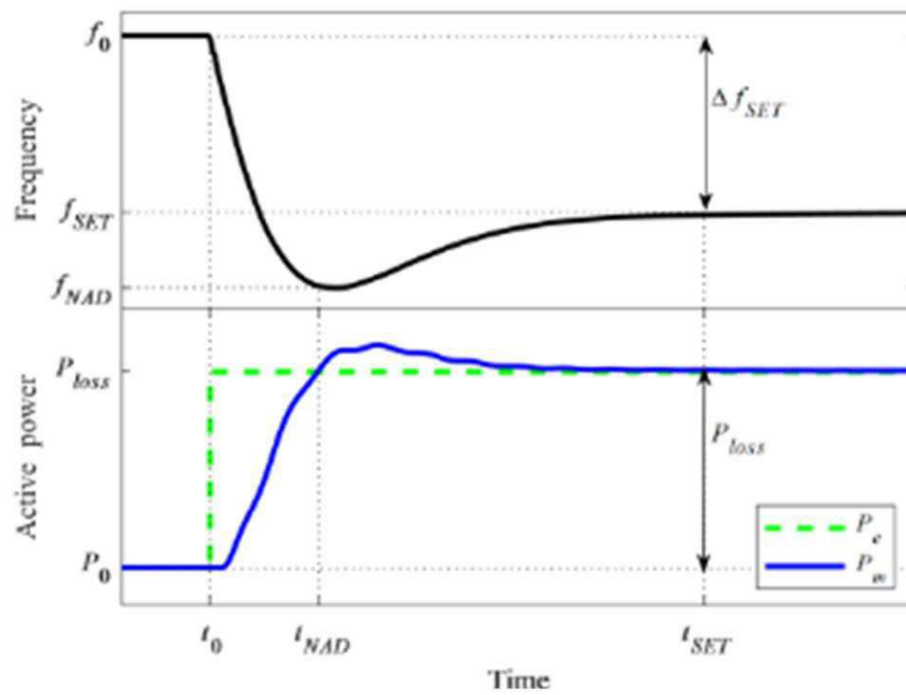
도면1



도면2

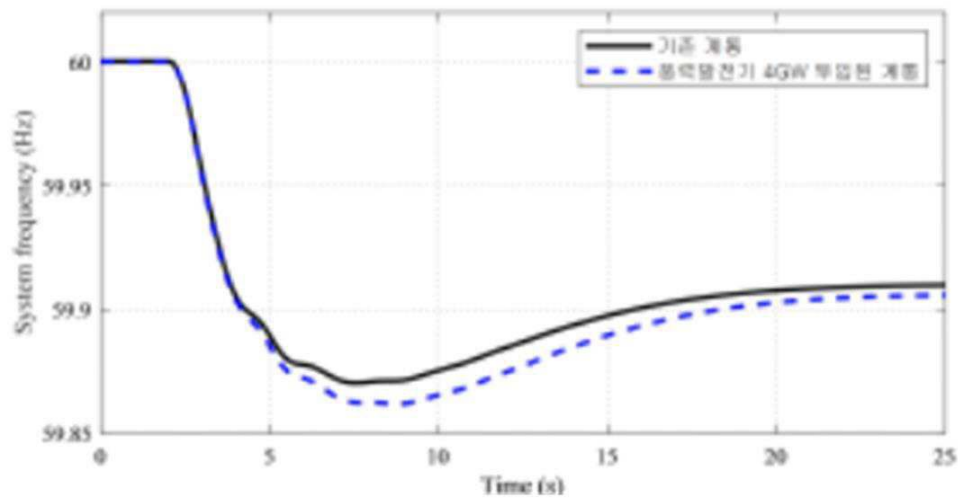


도면3

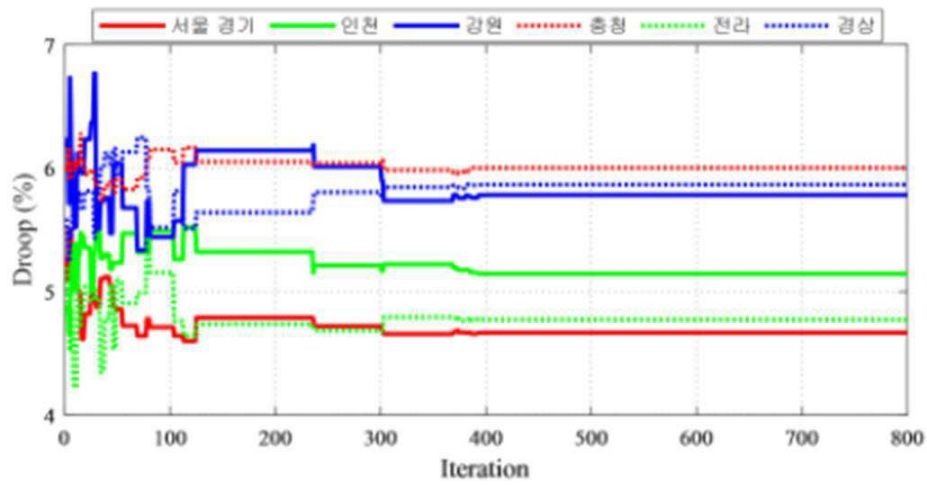


f_0 : 초기 주파수(Nominal frequency)
 f_{NAD} : 주파수 최저점 (Frequency nadir)
 f_{SET} : 1차 회복 주파수(Settling frequency)
 Δf_{SET} : 1차 회복 주파수 편차
 P_0 : 초기 발전량
 P_{loss} : 사고 크기

도면4

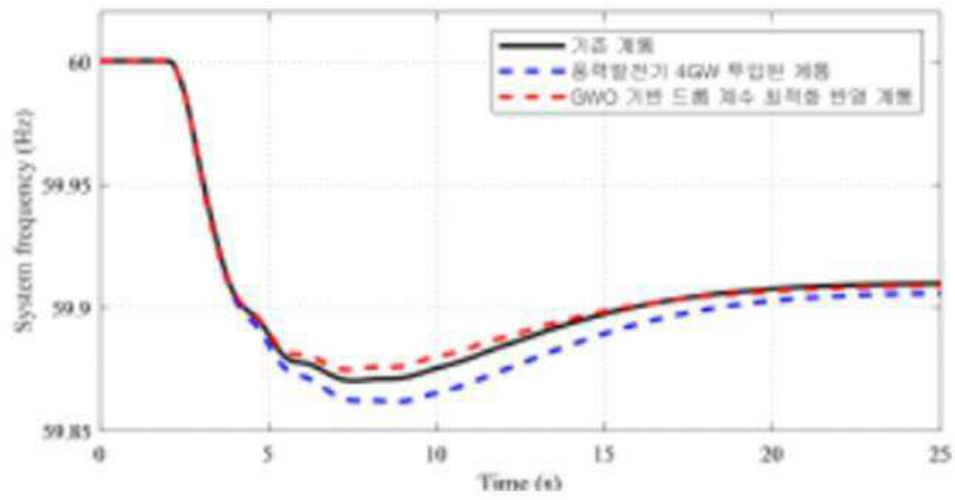


(a)

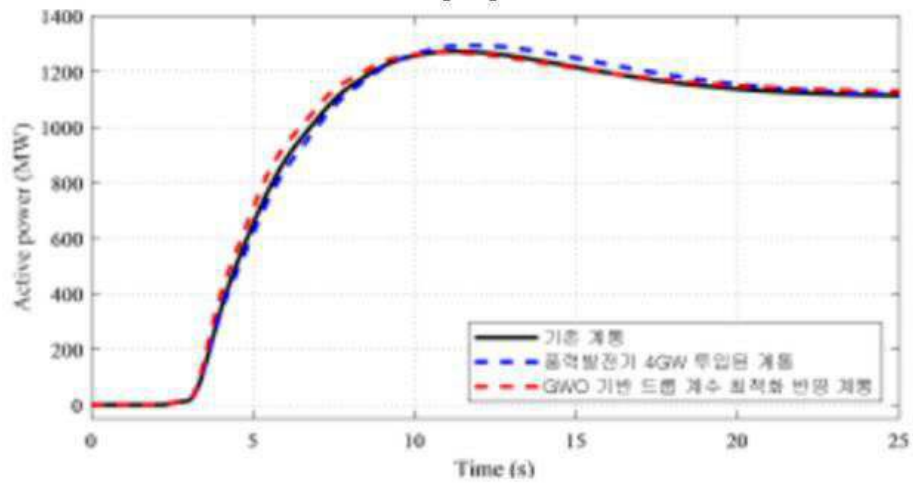


(b)

도면5



(a)



(b)