



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년02월10일
(11) 등록번호 10-2498206
(24) 등록일자 2023년02월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/18 (2020.01) G06F 113/04 (2020.01)
G06F 119/06 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G06F 30/18 (2020.01)
G06F 2113/04 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2021-0007160
(22) 출원일자 2021년01월19일
심사청구일자 2021년01월19일
(65) 공개번호 10-2022-0104862
(43) 공개일자 2022년07월26일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020100133570 A*
KR1020200132032 A*
KR1020140057740 A
KR1020130140237 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
박정욱
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C621
윤기포
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C727
(74) 대리인
권성현, 유광철, 백두진, 강일신, 김정연

전체 청구항 수 : 총 17 항

심사관 : 임혜정

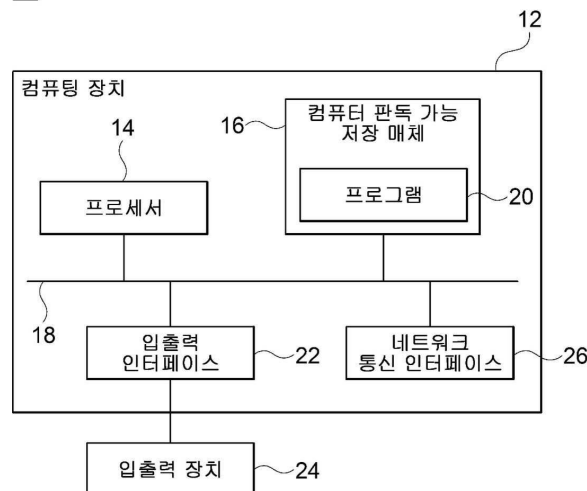
(54) 발명의 명칭 리아푸노프 지수를 이용한 발전원 배치 방법 및 이를 수행하기 위한 컴퓨팅 장치

(57) 요약

개시되는 일 실시예에 따른 발전원 배치 방법은, 하나 이상의 프로세서들, 및 상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비하는 컴퓨팅 장치에서 수행되는 방법으로서, 전력 시스템에서 각 모선(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출하는 동작; 각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 발전원을 배치할 후보 모선들을 추출하는 동작; 상기 추출한 각 후보 모선에 발전원을 배치한 경우 상기 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하는 동작; 및 상기 각 후보 모선에 대응하는 최대 리아푸노프 지수들에 기반하여 상기 발전원을 배치할 최종 후보 모선을 추출하는 동작을 포함한다.

대표도 - 도1

10



(52) CPC특허분류

G06F 2119/06 (2020.01)

H02J 2300/20 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711117498
과제번호	2020R1A3B2079407
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	에너지 대전환 전력망 연구단
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2020.06.01 ~ 2021.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711156916
과제번호	2020R1A3B2079407
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	에너지 대전환 전력망 연구단
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

하나 이상의 프로세서들, 및

상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비하는 컴퓨팅 장치에서 수행되는 방법으로서,

전력 시스템에서 각 모선(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출하는 동작;

각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 발전원을 배치할 후보 모선들을 추출하는 동작;

상기 추출한 각 후보 모선에 발전원을 배치한 경우 상기 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하는 동작; 및

상기 각 후보 모선에 대응하는 최대 리아푸노프 지수들에 기반하여 상기 발전원을 배치할 최종 후보 모선을 추출하는 동작을 포함하고,

상기 후보 모선들을 추출하는 동작은, 상기 각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수 중 개별 리아푸노프 지수가 중간 값 또는 평균 값보다 작은 모선들을 후보 모선으로 추출하는, 발전원 배치 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 각 모선에 대한 개별 리아푸노프 지수는 하기 수학식에 의해 산출하는, 발전원 배치 방법.

(수학식)

$$x_i(k \cdot \Delta t) = \frac{1}{N \cdot k \cdot \Delta t} \sum_{m=1}^N \log \frac{|v_{k+m \cdot \Delta t}^i - v_{(k+m-1) \cdot \Delta t}^i|}{|v_{m \cdot \Delta t}^i - v_{(m-1) \cdot \Delta t}^i|}, \quad k > N$$

x_i : i번째 모선의 개별 리아푸노프 지수

N : 초기 조건의 개수

k : k번째 샘플링 데이터 값

Δt : 시계열 데이터의 샘플링 주기

v^i : i번째 모선의 전압 크기

$|v_{m \cdot \Delta t}^i - v_{(m-1) \cdot \Delta t}^i|$: i번째 노선의 초기 조건에서의 전압 편차

$|v_{k+m \cdot \Delta t}^i - v_{(k+m-1) \cdot \Delta t}^i|$: i번째 노선의 시간 t에서의 전압 편차

청구항 3

삭제

청구항 4

하나 이상의 프로세서들, 및

상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비하는 컴퓨팅 장치에서 수행되는 방법으로서,

전력 시스템에서 각 모선(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출하는 동작;

각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 발전원을 배치할 후보 모선들을 추출하는 동작;

상기 추출한 각 후보 모선에 발전원을 배치한 경우 상기 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하는 동작; 및

상기 각 후보 모선에 대응하는 최대 리아푸노프 지수들에 기반하여 상기 발전원을 배치할 최종 후보 모선을 추출하는 동작을 포함하고,

상기 후보 모선들을 추출하는 동작은,

상기 각 모선들을 개별 리아푸노프 지수가 작은 것부터 오름차순으로 정렬하는 동작;

상기 오름차순으로 정렬된 개별 리아푸노프 지수들의 차이를 산출하는 동작; 및

상기 개별 리아푸노프 지수들의 차이에 기반하여 상기 후보 모선들을 추출하는 동작을 포함하는, 발전원 배치 방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 개별 리아푸노프 지수들의 차이를 산출하는 동작은 하기의 수학식에 의해 이루어지는, 발전원 배치 방법.
(수학식)

$$S_i = x_{i+1} - x_i, \quad 1 \leq i \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + 1$$

x_i : 오름차순으로 정렬했을 때 i 번째 개별 리아푸노프 지수

x_{i+1} : 오름차순으로 정렬했을 때 $i+1$ 번째 개별 리아푸노프 지수

S_i : 오름차순으로 정렬했을 때 $i+1$ 번째 개별 리아푸노프 지수와 i 번째 개별 리아푸노프 지수 간의 차이

n : 전력 시스템의 전체 모선 개수

$\lfloor \cdot \rfloor$: 최대 정수 함수를 구하는 연산

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 후보 모선들을 추출하는 동작은,

상기 오름차순으로 정렬된 모선들 중 개별 리아푸노프 지수 간의 차이가 이전보다 커지는 모선까지를 후보 모선으로 결정하는, 발전원 배치 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하는 동작은 하기의 수학식에 의해 이루어지는, 발전원 배치 방법.
(수학식)

$$X(k \cdot \Delta t) = \frac{1}{N \cdot k \cdot \Delta t} \sum_{m=1}^N \log \frac{\|V_{k+m \cdot \Delta t} - V_{(k+m-1) \cdot \Delta t}\|}{\|V_{m \cdot \Delta t} - V_{(m-1) \cdot \Delta t}\|}, \quad k \geq N$$

X : 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수

N : 초기 조건의 개수

k : k 번째 샘플링 데이터 값

Δt : 시계열 데이터의 샘플링 주기

V : 전력 시스템의 전체 모선에 대한 전압 크기로 이루어진 벡터

$\|V_{m \cdot \Delta t} - V_{(m-1) \cdot \Delta t}\|$: 전력 시스템의 초기 조건에서의 전압 편차

$\|V_{k+m \cdot \Delta t} - V_{(k+m-1) \cdot \Delta t}\|$: 전력 시스템의 시간 t 에서의 전압 편차

청구항 8

삭제

청구항 9

하나 이상의 프로세서들, 및

상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비하는 컴퓨팅 장치에서 수행되는 발전원 배치 방법으로서,

전력 시스템에서 각 모선(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출하는 동작;

각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 발전원을 배치할 후보 모선들을 추출하는 동작;

상기 추출한 각 후보 모선에 발전원을 배치한 경우 상기 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하는 동작; 및

상기 각 후보 모선에 대응하는 최대 리아푸노프 지수들에 기반하여 상기 발전원을 배치할 최종 후보 모선을 추출하는 동작을 포함하고,

상기 최종 후보 모선을 추출하는 동작은, 상기 후보 모선들 중 최대 리아푸노프 지수가 가장 작은 후보 모선을 재생 발전원을 배치할 최종 후보 모선으로 검출하고,

상기 발전원 배치 방법은, 상기 최종 후보 모선에 대응하는 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수와 상기 전력 시스템에 재생 발전원을 배치하지 않는 경우의 최대 리아푸노프 지수를 비교하여 상기 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치할지 여부를 결정하는 동작을 더 포함하는, 발전원 배치 방법.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 최종 후보 모선에 대응하는 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수가 상기 재생 발전원을 배치하지 않은 경우의 최대 리아푸노프 지수 보다 낮은 경우, 상기 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치하는 것으로 결정하는, 발전원 배치 방법.

청구항 11

하나 이상의 프로세서들;

메모리; 및

하나 이상의 프로그램들을 포함하고,

상기 하나 이상의 프로그램들은 상기 메모리에 저장되고, 상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되도록 구성되며,

상기 하나 이상의 프로그램들은,

전력 시스템에서 각 모선(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출하기 위한 명령;

각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 발전원을 배치할 후보 모선들을 추출하기 위한 명령;

상기 추출한 각 후보 모선에 발전원을 배치한 경우 상기 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하기 위한 명령; 및

상기 각 후보 모선에 대응하는 최대 리아푸노프 지수들에 기반하여 상기 발전원을 배치할 최종 후보 모선을 추출하기 위한 명령을 포함하고,

상기 후보 모선들을 추출하기 위한 명령은, 상기 각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수 중 개별 리아푸노프 지수가 중간 값 또는 평균 값보다 작은 모선들을 후보 모선으로 추출하는, 컴퓨팅 장치.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 각 모선에 대한 개별 리아푸노프 지수는 하기 수학식에 의해 산출하는, 컴퓨팅 장치.

(수학식)

$$x_i(k \cdot \Delta t) = \frac{1}{N \cdot k \cdot \Delta t} \sum_{m=1}^N \log \frac{|v_{k+m \cdot \Delta t}^i - v_{(k+m-1) \cdot \Delta t}^i|}{|v_{m \cdot \Delta t}^i - v_{(m-1) \cdot \Delta t}^i|}, \quad k > N$$

x_i : i번째 모선의 개별 리아푸노프 지수

N : 초기 조건의 개수

k : k번째 샘플링 데이터 값

Δt : 시계열 데이터의 샘플링 주기

v^i : i번째 모선의 전압 크기

$|v_{m \cdot \Delta t}^i - v_{(m-1) \cdot \Delta t}^i|$: i번째 노선의 초기 조건에서의 전압 편차

$|v_{k+m \cdot \Delta t}^i - v_{(k+m-1) \cdot \Delta t}^i|$: i번째 노선의 시간 t에서의 전압 편차

청구항 13

삭제

청구항 14

하나 이상의 프로세서들;

메모리; 및

하나 이상의 프로그램들을 포함하고,

상기 하나 이상의 프로그램들은 상기 메모리에 저장되고, 상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되도록 구성되며,

상기 하나 이상의 프로그램들은,

전력 시스템에서 각 모선(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출하기 위한 명령;

각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 발전원을 배치할 후보 모선들을 추출하기 위한 명령;

상기 추출한 각 후보 모선에 발전원을 배치한 경우 상기 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하기 위한 명령; 및

상기 각 후보 모선에 대응하는 최대 리아푸노프 지수들에 기반하여 상기 발전원을 배치할 최종 후보 모선을 추출하기 위한 명령을 포함하고,

상기 후보 모선들을 추출하기 위한 명령은:

상기 각 모선들을 개별 리아푸노프 지수가 작은 것부터 오름차순으로 정렬하기 위한 명령;

상기 오름차순으로 정렬된 개별 리아푸노프 지수들의 차이를 산출하기 위한 명령; 및

상기 개별 리아푸노프 지수들의 차이에 기반하여 상기 후보 모선들을 추출하기 위한 명령을 포함하는, 컴퓨팅 장치.

청구항 15

청구항 14에 있어서,

상기 개별 리아푸노프 지수들의 차이를 산출하기 위한 명령은 하기의 수학식에 의해 이루어지는, 컴퓨팅 장치.
(수학식)

$$S_i = x_{i+1} - x_i, \quad 1 \leq i \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + 1$$

x_i : 오름차순으로 정렬했을 때 i 번째 개별 리아푸노프 지수

x_{i+1} : 오름차순으로 정렬했을 때 $i+1$ 번째 개별 리아푸노프 지수

S_i : 오름차순으로 정렬했을 때 $i+1$ 번째 개별 리아푸노프 지수와 i 번째 개별 리아푸노프 지수 간의 차이

n : 전력 시스템의 전체 모선 개수

$\lfloor \cdot \rfloor$: 최대 정수 함수를 구하는 연산

청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 후보 모선들을 추출하기 위한 명령은,

상기 오름차순으로 정렬된 모선들 중 개별 리아푸노프 지수 간의 차이가 이전보다 커지는 모선까지를 후보 모선으로 결정하는, 컴퓨팅 장치.

청구항 17

청구항 11에 있어서,

상기 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하기 위한 명령은 하기의 수학식에 의해 이루어지는, 컴퓨팅 장치.
(수학식)

$$X(k \cdot \Delta t) = \frac{1}{N \cdot k \cdot \Delta t} \sum_{m=1}^N \log \frac{\|V_{k+m \cdot \Delta t} - V_{(k+m-1) \cdot \Delta t}\|}{\|V_{m \cdot \Delta t} - V_{(m-1) \cdot \Delta t}\|}, \quad k > N$$

X : 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수

N : 초기 조건의 개수

k : k 번째 샘플링 데이터 값

Δt : 시계열 데이터의 샘플링 주기

V : 전력 시스템의 전체 모선에 대한 전압 크기로 이루어진 벡터

$\|V_{m \cdot \Delta t} - V_{(m-1) \cdot \Delta t}\|$: 전력 시스템의 초기 조건에서의 전압 편차

$\|V_{k+m \cdot \Delta t} - V_{(k+m-1) \cdot \Delta t}\|$: 전력 시스템의 시간 t 에서의 전압 편차

청구항 18

삭제

청구항 19

하나 이상의 프로세서들;

메모리; 및

하나 이상의 프로그램들을 포함하고,

상기 하나 이상의 프로그램들은 상기 메모리에 저장되고, 상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되도록 구성되며,

상기 하나 이상의 프로그램들은,

전력 시스템에서 각 모선(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출하기 위한 명령;

각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 발전원을 배치할 후보 모선들을 추출하기 위한 명령;

상기 추출한 각 후보 모선에 발전원을 배치한 경우 상기 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하기 위한 명령; 및

상기 각 후보 모선에 대응하는 최대 리아푸노프 지수들에 기반하여 상기 발전원을 배치할 최종 후보 모선을 추출하기 위한 명령을 포함하고,

상기 최종 후보 모선을 추출하는 동작은, 상기 후보 모선들 중 최대 리아푸노프 지수가 가장 작은 후보 모선을 재생 발전원을 배치할 최종 후보 모선으로 검출하고,

상기 하나 이상의 프로그램들은, 상기 최종 후보 모선에 대응하는 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수와 상기 전력 시스템에 재생 발전원을 배치하지 않는 경우의 최대 리아푸노프 지수를 비교하여 상기 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치할지 여부를 결정하기 위한 명령을 더 포함하는, 컴퓨팅 장치.

청구항 20

청구항 19에 있어서,

상기 최종 후보 모선에 대응하는 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수가 상기 재생 발전원을 배치하지 않은 경우의 최대 리아푸노프 지수 보다 낮은 경우, 상기 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치하는 것으로 결정하는, 컴퓨팅 장치.

청구항 21

비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(non-transitory computer readable storage medium)에 저장된 컴퓨터 프로그램으로서,

상기 컴퓨터 프로그램은 하나 이상의 명령어들을 포함하고, 상기 명령어들은 하나 이상의 프로세서들을 갖는 컴퓨팅 장치에 의해 실행될 때, 상기 컴퓨팅 장치로 하여금,

전력 시스템에서 각 모선(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출하는 단계;

각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 발전원을 배치할 후보 모선들을 추출하는 단계;

상기 추출한 각 후보 모선에 발전원을 배치한 경우 상기 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하는 단계; 및

상기 각 후보 모선에 대응하는 최대 리아푸노프 지수들에 기반하여 상기 발전원을 배치할 최종 후보 모선을 추출하는 단계를 수행하고,

상기 후보 모선들을 추출하는 단계는, 상기 각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수 중 개별 리아푸노프 지수가 중간 값 또는 평균 값보다 작은 모선들을 후보 모선으로 추출하는, 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명의 실시예는 발전원 배치 기술과 관련된다.

배경 기술

[0002]

최근, 태양광 발전 및 풍력 발전과 같은 재생 발전원들의 수용률이 세계적으로 높아지고 있다. 게다가 몇몇 선진국들은 재생 발전원에 대한 의존도를 향후 20년 안에 50 ~ 70%까지 높일 계획을 가지고 있다. 그러나, 재생

발전원의 수용률이 높아 전력 시스템의 운용이 복잡해지더라도 전력 시스템의 안전성은 잘 유지해야 한다.

[0003] 재생 발전원의 도입에 따라 기존 전력 시스템의 조류에 변화가 생기면 시스템의 한계치를 초과하는 문제가 생길 수 있다. 이를 방지하기 위해, 전력의 손실을 줄이거나 전압 안정도를 향상시키기 위한 다양한 재생 발전원들의 최적 배치 방법들이 연구되고 있다.

[0004] 기존에는 재생 발전원 최적 배치 방법이 주로 모달 해석을 통해 이루어졌다. 모달 해석은 전력 시스템의 고유 모드를 구하는 방법으로, 전력 시스템의 전압 붕괴에 해당하는 고유 값을 얻을 수 있다. 이에 따라, 모든 모션에 대한 참여 계수(각각의 모션이 모드를 안정화 시킬 수 있는 정도)를 계산할 수 있으며, 가장 큰 참여 계수를 가진 모션이 재생 발전원의 최적 위치로 선정되게 된다.

[0005] 그러나, 이러한 방법은 소신호 분석을 기반으로 하고 있어 선형화가 정확한 범위에서만 유효하게 적용되고, 규모가 큰 전력 시스템에 적용하는 경우 정확한 결과를 얻을 수 없으며, 최적 배치 후보 모션의 개수를 정하는 기준이 없다는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-0710658호(2007.04.24)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 전력 시스템에서 발전원들을 최적의 위치에 배치하여 전력 시스템의 안정도를 높일 수 있는 리아푸노프 지수를 이용한 발전원 배치 방법 및 이를 수행하기 위한 컴퓨팅 장치를 제공하고자 한다.

[0008] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 개시되는 일 실시예에 따른 발전원 배치 방법은, 하나 이상의 프로세서들, 및 상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비하는 컴퓨팅 장치에서 수행되는 방법으로서, 전력 시스템에서 각 모션(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출하는 동작; 각 모션(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 발전원을 배치할 후보 모션들을 추출하는 동작; 상기 추출한 각 후보 모션에 발전원을 배치한 경우 상기 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하는 동작; 및 상기 각 후보 모션에 대응하는 최대 리아푸노프 지수들에 기반하여 상기 발전원을 배치할 최종 후보 모션을 추출하는 동작을 포함한다.

[0010] 상기 각 모션에 대한 개별 리아푸노프 지수는 하기 수학식에 의해 산출할 수 있다.

[0011] (수학식)

$$x_i(k \cdot \Delta t) = \frac{1}{N \cdot k \cdot \Delta t} \sum_{m=1}^N \log \frac{|v_{k+m \cdot \Delta t}^i - v_{(k+m-1) \cdot \Delta t}^i|}{|v_{m \cdot \Delta t}^i - v_{(m-1) \cdot \Delta t}^i|}, \quad k > N$$

[0013] x_i : i번째 모션의 개별 리아푸노프 지수

[0014] N : 초기 조건의 개수

[0015] k : k번째 샘플링 데이터 값

[0016] Δt : 시계열 데이터의 샘플링 주기

[0017] v^i : i번째 모션의 전압 크기

[0018] $|v_{m \cdot \Delta t}^i - v_{(m-1) \cdot \Delta t}^i|$: i번째 노선의 초기 조건에서의 전압 편차

[0019] $|v_{k+m \cdot \Delta t}^i - v_{(k+m-1) \cdot \Delta t}^i|$: i번째 노선의 시간 t에서의 전압 편차

[0020] 상기 후보 모선들을 추출하는 동작은, 상기 각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수 중 개별 리아푸노프 지수가 중간 값 또는 평균 값보다 작은 모선들을 후보 모선으로 추출할 수 있다.

[0021] 상기 후보 모선들을 추출하는 동작은, 상기 각 모선들을 개별 리아푸노프 지수가 작은 것부터 오름차순으로 정렬하는 동작; 상기 오름차순으로 정렬된 개별 리아푸노프 지수들의 차이를 산출하는 동작; 및 상기 개별 리아푸노프 지수들의 차이에 기반하여 상기 후보 모선들을 추출하는 동작을 포함할 수 있다.

[0022] 상기 개별 리아푸노프 지수들의 차이를 산출하는 동작은 하기의 수학식에 의해 이루어질 수 있다.

[0023] (수학식)

$$S_i = x_{i+1} - x_i, \quad 1 \leq i \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + 1$$

[0025] x_i : 오름차순으로 정렬했을 때 i번째 개별 리아푸노프 지수

[0026] x_{i+1} : 오름차순으로 정렬했을 때 i+1번째 개별 리아푸노프 지수

[0027] S_i : 오름차순으로 정렬했을 때 i+1번째 개별 리아푸노프 지수와 i번째 개별 리아푸노프 지수 간의 차이

[0028] n : 전력 시스템의 전체 모선 개수

[0029] $\lfloor \cdot \rfloor$: 최대 정수 함수를 구하는 연산

[0030] 상기 후보 모선들을 추출하는 동작은, 상기 오름차순으로 정렬된 모선들 중 개별 리아푸노프 지수 간의 차이가 이전보다 커지는 모선까지를 후보 모선으로 결정할 수 있다.

[0031] 상기 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하는 동작은 하기의 수학식에 의해 이루어질 수 있다.

[0032] (수학식)

$$X(k \cdot \Delta t) = \frac{1}{N \cdot k \cdot \Delta t} \sum_{m=1}^N \log \frac{\|V_{k+m \cdot \Delta t} - V_{(k+m-1) \cdot \Delta t}\|}{\|V_{m \cdot \Delta t} - V_{(m-1) \cdot \Delta t}\|}, \quad k > N$$

[0034] X : 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수

[0035] N : 초기 조건의 개수

[0036] k : k번째 샘플링 데이터 값

[0037] Δt : 시계열 데이터의 샘플링 주기

[0038] V : 전력 시스템의 전체 모선에 대한 전압 크기로 이루어진 벡터

[0039] $\|V_{m \cdot \Delta t} - V_{(m-1) \cdot \Delta t}\|$: 전력 시스템의 초기 조건에서의 전압 편차

[0040] $\|V_{k+m \cdot \Delta t} - V_{(k+m-1) \cdot \Delta t}\|$: 전력 시스템의 시간 t에서의 전압 편차

[0041] 상기 최종 후보 모선을 추출하는 동작은, 상기 후보 모선들 중 최대 리아푸노프 지수가 가장 작은 후보 모선을 재생 발전원을 배치할 최종 후보 모선으로 검출할 수 있다.

[0042] 상기 발전원 배치 방법은, 상기 최종 후보 모선에 대응하는 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수와 상기 전력 시스템에 재생 발전원을 배치하지 않는 경우의 최대 리아푸노프 지수를 비교하여 상기 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치할지 여부를 결정하는 동작을 더 포함할 수 있다.

[0043] 상기 최종 후보 모선에 대응하는 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수가 상기 재생 발전원을 배치하지 않은 경우의 최대 리아푸노프 지수 보다 낮은 경우, 상기 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치하는 것으로 결정할 수 있다.

[0044] 개시되는 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치는, 하나 이상의 프로세서들; 메모리; 및 하나 이상의 프로그램들을 포함하고, 상기 하나 이상의 프로그램들은 상기 메모리에 저장되고, 상기 하나 이상의 프로세서들에 의해 실행되도록 구성되며, 상기 하나 이상의 프로그램들은, 전력 시스템에서 각 모선(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출하기 위한 명령; 각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 발전원을 배치할 후보 모선들을 추출하기 위한 명령; 상기 추출한 각 후보 모선에 발전원을 배치한 경우 상기 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하기 위한 명령; 및 상기 각 후보 모선에 대응하는 최대 리아푸노프 지수들에 기반하여 상기 발전원을 배치할 최종 후보 모선을 추출하기 위한 명령을 포함한다.

[0045] 상기 각 모선에 대한 개별 리아푸노프 지수는 하기 수학식에 의해 산출할 수 있다.

[0046] (수학식)

$$x_i(k \cdot \Delta t) = \frac{1}{N \cdot k \cdot \Delta t} \sum_{m=1}^N \log \frac{|v_{k+m \cdot \Delta t}^i - v_{(k+m-1) \cdot \Delta t}^i|}{|v_{m \cdot \Delta t}^i - v_{(m-1) \cdot \Delta t}^i|}, \quad k > N$$

[0048] x_i : i번째 모선의 개별 리아푸노프 지수

[0049] N : 초기 조건의 개수

[0050] k : k번째 샘플링 데이터 값

[0051] Δt : 시계열 데이터의 샘플링 주기

[0052] v^i : i번째 모선의 전압 크기

[0053] $|v_{m \cdot \Delta t}^i - v_{(m-1) \cdot \Delta t}^i|$: i번째 모선의 초기 조건에서의 전압 편차

[0054] $|v_{k+m \cdot \Delta t}^i - v_{(k+m-1) \cdot \Delta t}^i|$: i번째 모선의 시간 t에서의 전압 편차

[0055] 상기 후보 모선들을 추출하기 위한 명령은, 상기 각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수 중 개별 리아푸노프 지수가 중간 값 또는 평균 값보다 작은 모선들을 후보 모선으로 추출할 수 있다.

[0056] 상기 후보 모선들을 추출하기 위한 명령은, 상기 각 모선들을 개별 리아푸노프 지수가 작은 것부터 오름차순으로 정렬하기 위한 명령; 상기 오름차순으로 정렬된 개별 리아푸노프 지수들의 차이를 산출하기 위한 명령; 및 상기 개별 리아푸노프 지수들의 차이에 기반하여 상기 후보 모선들을 추출하기 위한 명령을 포함할 수 있다.

[0057] 상기 개별 리아푸노프 지수들의 차이를 산출하기 위한 명령은 하기의 수학식에 의해 이루어질 수 있다.

[0058] (수학식)

$$S_i = x_{i+1} - x_i, \quad 1 \leq i \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + 1$$

[0060] x_i : 오름차순으로 정렬했을 때 i번째 개별 리아푸노프 지수

[0061] x_{i+1} : 오름차순으로 정렬했을 때 i+1번째 개별 리아푸노프 지수

[0062] S_i : 오름차순으로 정렬했을 때 i+1번째 개별 리아푸노프 지수와 i번째 개별 리아푸노프 지수 간의 차이

[0063] n : 전력 시스템의 전체 모선 개수

[0064] $\lfloor \cdot \rfloor$: 최대 정수 함수를 구하는 연산

[0065] 상기 후보 모선들을 추출하기 위한 명령은, 상기 오름차순으로 정렬된 모선들 중 개별 리아푸노프 지수 간의 차이가 이전보다 커지는 모선까지를 후보 모선으로 결정할 수 있다.

[0066] 상기 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하기 위한 명령은 하기의 수학식에 의해 이루어질 수 있다.

[0067] (수학식)

$$X(k \cdot \Delta t) = \frac{1}{N \cdot k \cdot \Delta t} \sum_{m=1}^N \log \frac{\|V_{k+m \cdot \Delta t} - V_{(k+m-1) \cdot \Delta t}\|}{\|V_{m \cdot \Delta t} - V_{(m-1) \cdot \Delta t}\|}, \quad k > N$$

X : 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수

N : 초기 조건의 개수

k : k번째 샘플링 데이터 값

Δt : 시계열 데이터의 샘플링 주기

V : 전력 시스템의 전체 모선에 대한 전압 크기로 이루어진 벡터

$\|V_{m \cdot \Delta t} - V_{(m-1) \cdot \Delta t}\|$: 전력 시스템의 초기 조건에서의 전압 편차

$\|V_{k+m \cdot \Delta t} - V_{(k+m-1) \cdot \Delta t}\|$: 전력 시스템의 시간 t에서의 전압 편차

상기 최종 후보 모선을 추출하는 동작은, 상기 후보 모선들 중 최대 리아푸노프 지수가 가장 작은 후보 모선을 재생 발전원을 배치할 최종 후보 모선으로 검출할 수 있다.

상기 하나 이상의 프로그램들은, 상기 최종 후보 모선에 대응하는 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수와 상기 전력 시스템에 재생 발전원을 배치하지 않는 경우의 최대 리아푸노프 지수를 비교하여 상기 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치할지 여부를 결정하기 위한 명령을 더 포함할 수 있다.

상기 최종 후보 모선에 대응하는 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수가 상기 재생 발전원을 배치하지 않은 경우의 최대 리아푸노프 지수 보다 낮은 경우, 상기 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치하는 것으로 결정할 수 있다.

개시되는 일 실시예에 따른 컴퓨터 프로그램은, 비일시적 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(non-transitory computer readable storage medium)에 저장된 컴퓨터 프로그램으로서, 상기 컴퓨터 프로그램은 하나 이상의 명령어들을 포함하고, 상기 명령어들은 하나 이상의 프로세서들을 갖는 컴퓨팅 장치에 의해 실행될 때, 상기 컴퓨팅 장치로 하여금, 전력 시스템에서 각 모선(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출하는 단계; 각 모선(buses)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 발전원을 배치할 후보 모선들을 추출하는 단계; 상기 추출한 각 후보 모선에 발전원을 배치한 경우 상기 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출하는 단계; 및 상기 각 후보 모선에 대응하는 최대 리아푸노프 지수들에 기반하여 상기 발전원을 배치할 최종 후보 모선을 추출하는 단계를 수행하도록 한다.

발명의 효과

본 발명의 실시예에 따르면, 리아푸노프 지수를 이용하여 재생 발전원의 최적 배치 방법을 수행함으로써, 전력 시스템의 동적 특성을 고려하여 전압 안정도를 최대한 확보하면서 재생 발전원을 배치할 수 있게 되고, 규모가 큰 전력 시스템에서도 정확한 결과를 얻을 수 있으며, 최적 배치를 위한 후보 모선의 선정 기준이 명확하다는 효과가 있게 된다.

한편, 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

도 1은 예시적인 실시예들에서 사용되기에 적합한 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경을 예시하여 설명하기 위한 블록도이고,

도 2는 본 발명의 일 실시예에서 재생 발전원 배치 방법을 나타낸 흐름도이며,

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 시스템의 계통을 개략적으로 나타낸 도면이고,

도 4는 도 3에서 30개의 모선들의 개별 리아푸노프 지수를 오름차순으로 정렬하고 개별 리아푸노프 지수 간의 차이를 나타낸 도면이며,

도 5는 도 3의 전력 시스템의 계통에서 후보 모선인 Bus 30, Bus 26, 및 Bus 29에 각각 재생 발전원을 설치하는

상태를 개략적으로 나타낸 도면이고,

도 6은 종래의 모달 해석에 의해 재생 발전원을 배치한 경우와 본 발명의 리아푸노프 지수를 이용하여 재생 발전원을 배치한 경우의 전압 안정도를 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0083] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면들을 참조하여 더욱 상세하게 설명한다. 본 발명의 실시 예는 여러 가지 형태로 변형할 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래의 실시 예들로 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 실시 예는 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다. 따라서 도면에서의 요소의 형상은 보다 명확한 설명을 강조하기 위해 과장되었다.
- [0084] 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안을 명확하게 하기 위한 발명의 구성을 본 발명의 바람직한 실시 예에 근거하여 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명하되, 도면의 구성요소들에 참조번호를 부여함에 있어서 동일 구성요소에 대해서는 비록 다른 도면상에 있더라도 동일 참조번호를 부여하였으며 당해 도면에 대한 설명 시 필요한 경우 다른 도면의 구성요소를 인용할 수 있음을 미리 밝혀둔다.
- [0085] 도 1은 예시적인 실시예들에서 사용되기에 적합한 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경(10)을 예시하여 설명하기 위한 블록도이다. 도시된 실시예에서, 각 컴포넌트들은 이하에 기술된 것 이외에 상이한 기능 및 능력을 가질 수 있고, 이하에 기술된 것 이외에도 추가적인 컴포넌트를 포함할 수 있다.
- [0086] 도시된 컴퓨팅 환경(10)은 컴퓨팅 장치(12)를 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨팅 장치(12)는 전력 시스템에서 발전원의 배치 장소를 결정하기 위한 장치일 수 있다.
- [0087] 컴퓨팅 장치(12)는 적어도 하나의 프로세서(14), 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16) 및 통신 버스(18)를 포함한다. 프로세서(14)는 컴퓨팅 장치(12)로 하여금 앞서 언급된 예시적인 실시예에 따라 동작하도록 할 수 있다. 예컨대, 프로세서(14)는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)에 저장된 하나 이상의 프로그램들을 실행할 수 있다. 상기 하나 이상의 프로그램들은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 상기 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서(14)에 의해 실행되는 경우 컴퓨팅 장치(12)로 하여금 예시적인 실시예에 따른 동작들을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0088] 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)는 컴퓨터 실행 가능 명령어 내지 프로그램 코드, 프로그램 데이터 및/또는 다른 적합한 형태의 정보를 저장하도록 구성된다. 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)에 저장된 프로그램(20)은 프로세서(14)에 의해 실행 가능한 명령어의 집합을 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)는 메모리(랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리, 비휘발성 메모리, 또는 이들의 적절한 조합), 하나 이상의 자기 디스크 저장 디바이스들, 광학 디스크 저장 디바이스들, 플래시 메모리 디바이스들, 그 밖에 컴퓨팅 장치(12)에 의해 액세스되고 원하는 정보를 저장할 수 있는 다른 형태의 저장 매체, 또는 이들의 적합한 조합일 수 있다.
- [0089] 통신 버스(18)는 프로세서(14), 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)를 포함하여 컴퓨팅 장치(12)의 다른 다양한 컴포넌트들을 상호 연결한다.
- [0090] 컴퓨팅 장치(12)는 또한 하나 이상의 입출력 장치(24)를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스(22) 및 하나 이상의 네트워크 통신 인터페이스(26)를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스(22) 및 네트워크 통신 인터페이스(26)는 통신 버스(18)에 연결된다. 입출력 장치(24)는 입출력 인터페이스(22)를 통해 컴퓨팅 장치(12)의 다른 컴포넌트들에 연결될 수 있다. 예시적인 입출력 장치(24)는 포인팅 장치(마우스 또는 트랙패드 등), 키보드, 터치 입력 장치(터치패드 또는 터치스크린 등), 음성 또는 소리 입력 장치, 다양한 종류의 센서 장치 및/또는 촬영 장치와 같은 입력 장치, 및/또는 디스플레이 장치, 프린터, 스피커 및/또는 네트워크 카드와 같은 출력 장치를 포함할 수 있다. 예시적인 입출력 장치(24)는 컴퓨팅 장치(12)를 구성하는 일 컴포넌트로서 컴퓨팅 장치(12)의 내부에 포함될 수도 있고, 컴퓨팅 장치(12)와는 구별되는 별개의 장치로 컴퓨팅 장치(12)와 연결될 수도 있다.
- [0091] 개시되는 실시예에서는 리아푸노프 지수(Lyapunov exponent)를 이용한 재생 발전원의 최적 배치 방법을 제시한다. 리아푸노프 지수는 동적 시스템(Dynamic System)이 혼돈 상태에 있는지 여부를 수량화하는 정보를 제공한다. 여기서, 시스템의 혼돈 상태는 시스템이 초기 조건에서 작은 동요가 있더라도 시스템의 향후 행동을 예측하기 어려운 경우를 의미한다. 시스템의 동적 동작을 정량화할 때, 리아푸노프 지수는 초기 조건에 대한 민감도를 나타내며 다음의 수학적 1과 같이 계산된다.

[0092] (수학식 1)

$$\|\Delta v(t)\| = e^{xt} \cdot \|\Delta v_0\|$$

[0094] Δv_0 : 초기 조건에서의 전압 편차(Voltage Deviation)

[0095] $\Delta v(t)$: 시간 t에서의 전압 편차

[0096] x : 리아푸노프 지수

[0097] 수학식 1에서 시간 t가 무한대가 되는 경우, 수학식 1은 다음의 수학식 2와 같이 정리할 수 있다.

[0098] (수학식 2)

$$x = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \cdot \log \frac{\|\Delta v(t)\|}{\|\Delta v_0\|}$$

[0100] 리아푸노프 지수는 n차 동적 시스템에 대해 총 n개의 리아푸노프 지수를 가지고, 이 중 최대 리아푸노프 지수는 시스템 안정도에 대한 중요한 정보를 제공한다. 수학식 2에서 $\|\Delta v(t)\|$ 값이 $\|\Delta v_0\|$ 값 보다 큰 경우 리아푸노프 지수의 부호는 양수가 되는데 이는 전압 편차가 발산함을 의미한다. 반면에 $\|\Delta v(t)\|$ 값이 $\|\Delta v_0\|$ 값 보다 작은 경우 리아푸노프 지수의 부호는 음수가 되는데 이는 전압 편차가 수렴함을 의미한다.

[0101] 이에 의하면, 해당 시스템의 최대 리아푸노프 지수의 부호가 양수인 경우 해당 시스템이 불안정함을 의미하고, 해당 시스템의 최대 리아푸노프 지수의 부호가 음수인 경우 해당 시스템이 안정함을 의미하게 된다. 이러한 관점에서 리아푸노프 지수는 선형 시스템에서의 고유 값 개념을 비선형 시스템에 적용시킨 것으로 해석할 수 있다. 이하에서는 이러한 리아푸노프 지수를 이용하여 재생 발전원을 최적의 위치에 배치할 수 있는 방법에 대해 설명하기로 한다.

[0102] 도 2는 본 발명의 일 실시예에서 재생 발전원 배치 방법(100)을 나타낸 흐름도이다. 재생 발전원 배치 방법(100)은 상기 컴퓨팅 장치(12)에 의해 수행될 수 있다. 도시된 흐름도에서는 상기 방법을 복수 개의 단계로 나누어 기재하였으나, 적어도 일부의 단계들은 순서를 바꾸어 수행되거나, 다른 단계와 결합되어 함께 수행되거나, 생략되거나, 세부 단계들로 나뉘어 수행되거나, 또는 도시되지 않은 하나 이상의 단계가 추가되어 수행될 수 있다.

[0103] 한편, 여기서는 전력 시스템에 재생 발전원을 배치하는 방법에 대해 설명하나 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며 재생 발전원 이외의 다른 발전원을 배치하는 경우에도 적용될 수 있다.

[0104] 단계 102에서, 컴퓨팅 장치(12)는 전력 시스템에서 각 모선(bus)에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출한다. 컴퓨팅 장치(12)는 다음의 수학식 3에 의해 각 모선에 대해 개별 리아푸노프 지수를 산출할 수 있다.

[0105] (수학식 3)

$$x_i(k \cdot \Delta t) = \frac{1}{N \cdot k \cdot \Delta t} \sum_{m=1}^N \log \frac{|v_{k+m \cdot \Delta t}^i - v_{(k+m-1) \cdot \Delta t}^i|}{|v_{m \cdot \Delta t}^i - v_{(m-1) \cdot \Delta t}^i|}, \quad k > N$$

[0107] x_i : i번째 모선의 개별 리아푸노프 지수

[0108] N : 초기 조건의 개수

[0109] k : k번째 샘플링 데이터 값

[0110] Δt : 시계열 데이터의 샘플링 주기

[0111] v^i : i번째 모선의 전압 크기

[0112] $|v_{m \cdot \Delta t}^i - v_{(m-1) \cdot \Delta t}^i|$: i번째 노선의 초기 조건에서의 전압 편차

[0113] $|v_{k+m\Delta t}^i - v_{(k+m-1)\Delta t}^i|$: i번째 노선의 시간 t에서의 전압 편차

[0114] 여기서, 각 모선의 개별 리아푸노프 지수는 각 모선이 전체 전력 시스템의 안정에 기여하는 정도를 나타내게 된다. 각 모선의 개별 리아푸노프 지수를 통해 각 모선들이 전력 시스템의 안정에 기여하는 정도의 순위를 결정할 수 있다. 개별 리아푸노프 지수가 작은 모선이 개별 리아푸노프 지수가 큰 모선 보다 전력 시스템의 안정도에 기여하는 정도가 크게 된다.

[0115] 단계 104에서, 컴퓨팅 장치(12)는 각 모선(bus)에 대한 개별 리아푸노프 지수에 기반하여 재생 발전원을 배치할 후보 모선들을 추출한다. 여기서, 개별 리아푸노프 지수가 작은 모선들이 재생 발전원을 배치할 기본적인 후보가 된다. 즉, 전체 모선들 중 개별 리아푸노프 지수가 중간 값 또는 평균 값보다 작은 모선들이 후보 모선으로 추출될 수 있다.

[0116] 구체적으로, 컴퓨팅 장치(12)는 각 모선들을 개별 리아푸노프 지수가 작은 것부터 오름차순으로 정렬할 수 있다. 다음으로, 컴퓨팅 장치(12)는 오름차순으로 정렬된 개별 리아푸노프 지수들의 차이를 각각 산출할 수 있다. 예시적인 실시예에서, 컴퓨팅 장치(12)는 다음 수학적 식 4에 의해 오름차순으로 정렬된 개별 리아푸노프 지수들의 차이를 산출할 수 있다.

[0117] (수학적 식 4)

$$S_i = x_{i+1} - x_i, \quad 1 \leq i \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + 1$$

[0119] x_i : 오름차순으로 정렬했을 때 i번째 개별 리아푸노프 지수

[0120] x_{i+1} : 오름차순으로 정렬했을 때 i+1번째 개별 리아푸노프 지수

[0121] S_i : 오름차순으로 정렬했을 때 i+1번째 개별 리아푸노프 지수와 i번째 개별 리아푸노프 지수 간의 차이

[0122] n : 전력 시스템의 전체 모선 개수

[0123] $\lfloor \cdot \rfloor$: 최대 정수 함수를 구하는 연산

[0124] 컴퓨팅 장치(12)는 전력 시스템의 전체 모선들에 대해 개별 리아푸노프 지수 간의 차이를 구하는 것이 아니라, 연산량을 줄이기 위해 수학적 식 4에 나타난 바와 같이 전체 모선들 중 절반(즉, 개별 리아푸노프 지수를 오름차순으로 정렬했을 때 전체 모선 개수 중 절반)에 해당하는 모선들에 대해 개별 리아푸노프 지수 간의 차이를 구할 수 있다.

[0125] 다음으로, 컴퓨팅 장치(12)는 모선들의 개별 리아푸노프 지수 간 차이에 기반하여 재생 발전원을 배치할 후보 모선들을 결정할 수 있다. 예시적인 실시예에서, 컴퓨팅 장치(12)는 개별 리아푸노프 지수 간 차이를 산출한 모선들 중 수학적 식 5를 만족하는 모선까지를 후보 모선으로 결정할 수 있다.

[0126] (수학적 식 5)

$$S_{i+1} > S_i$$

[0128] 즉, 각 모선들의 개별 리아푸노프 지수를 오름차순으로 정렬하였기 때문에, 수학적 식 4에서 S_i 는 항상 양수의 값을 가지게 된다. 여기서, 컴퓨팅 장치(12)는 개별 리아푸노프 지수가 오름차순으로 정렬된 모선들 중에서 개별 리아푸노프 지수 간의 차이가 이전보다 커지는 모선까지를 재생 발전원을 배치할 후보 모선으로 결정할 수 있다.

[0129] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 시스템의 계통을 개략적으로 나타낸 도면이다. 여기서서는 설명의 편의상, 전력 시스템이 30개의 모선(bus)을 포함하는 것으로 도시하였다. 그리고, 도 4는 도 3에서 30개의 모선들의 개별 리아푸노프 지수를 오름차순으로 정렬하고 개별 리아푸노프 지수 간의 차이를 나타낸 도면이다.

[0130] 도 3 및 도 4를 참조하면, 개별 리아푸노프 지수 간 차이(S_i)를 산출한 모선들 중 수학적 식 5를 만족하는 모선은 오름차순 정렬에서 3번째 모선인(Bus 29)임을 확인할 수 있다. 따라서, 컴퓨팅 장치(12)는 개별 리아푸노프 지수의 오름차순 정렬에서 3번째 모선까지 즉, Bus 30, Bus 26, 및 Bus 29를 재생 발전원을 배치할 후보 모선으로 결정할 수 있다.

[0131] 다시 도 2를 참조하면, 단계 106에서, 컴퓨팅 장치(12)는 각 후보 모선에 재생 발전원을 설치한 경우 해당 전력

시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출한다. 예를 들어, 컴퓨팅 장치(12)는 도 5에 도시된 바와 같이, 후보 모선인 Bus 30, Bus 26, 및 Bus 29에 각각 재생 발전원을 설치한 경우의 해당 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 각각 산출할 수 있다.

[0132] 컴퓨팅 장치(12)는 다음의 수학적 식 6을 통해 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수를 산출할 수 있다. 여기서, 최대 리아푸노프 지수는 해당 전력 시스템의 안정 여부를 판별하는 수치가 된다.

[0133] (수학적 식 6)

$$X(k \cdot \Delta t) = \frac{1}{N \cdot k \cdot \Delta t} \sum_{m=1}^N \log \frac{\|V_{k+m \cdot \Delta t} - V_{(k+m-1) \cdot \Delta t}\|}{\|V_{m \cdot \Delta t} - V_{(m-1) \cdot \Delta t}\|}, \quad k > N$$

[0135] X : 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수

[0136] N : 초기 조건의 개수

[0137] k : k번째 샘플링 데이터 값

[0138] Δt : 시계열 데이터의 샘플링 주기

[0139] V : 전력 시스템의 전체 모선에 대한 전압 크기로 이루어진 벡터

[0140] $\|V_{m \cdot \Delta t} - V_{(m-1) \cdot \Delta t}\|$: 전력 시스템의 초기 조건에서의 전압 편차

[0141] $\|V_{k+m \cdot \Delta t} - V_{(k+m-1) \cdot \Delta t}\|$: 전력 시스템의 시간 t에서의 전압 편차

[0142] 단계 108에서, 컴퓨팅 장치(12)는 후보 모선들 중 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수가 가장 작은 후보 모선을 재생 발전원을 배치할 최종 후보 모선으로 검출한다. 예를 들어, Bus 30에 재생 발전원을 설치한 경우 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수가 0.0023이고, Bus 26에 재생 발전원을 설치한 경우 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수가 0.0020이며, Bus 29에 재생 발전원을 설치한 경우 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수가 0.0017인 경우, 컴퓨팅 장치(12)는 최대 리아푸노프 지수가 가장 작은 후보 모선인 Bus 29를 검출할 수 있다.

[0143] 단계 110에서, 컴퓨팅 장치(12)는 최종 후보 모선에 대응하는 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수(즉, 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치한 경우의 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수)와 전력 시스템에 재생 발전원을 배치하지 않은 경우의 최대 리아푸노프 지수를 비교하여 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치할지 여부를 결정한다.

[0144] 여기서, 컴퓨팅 장치(12)는 최종 후보 모선에 대응하는 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수가 재생 발전원을 배치하지 않은 경우의 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수 보다 낮은 경우, 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치하는 것으로 결정할 수 있다.

[0145] 즉, 최종 후보 모선에 대응하는 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수가 재생 발전원을 배치하지 않은 경우의 전력 시스템의 최대 리아푸노프 지수 보다 낮다는 것은 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치하는 것이 그렇지 않은 경우보다 전력 시스템이 더 안정해지는 것을 의미하므로, 최종 후보 모선에 재생 발전원을 배치하는 것으로 결정할 수 있다.

[0146] 한편, 전력 시스템에 또 다른 재생 발전원을 배치하고자 하는 경우, 재생 발전원이 최종 후보 모선에 배치된 상태에서 상기 단계 102 부터 단계 110을 반복적으로 수행할 수 있다.

[0147] 개시되는 실시예에 의하면, 리아푸노프 지수를 이용하여 재생 발전원의 최적 배치 방법을 수행함으로써, 전력 시스템의 동적 특성을 고려하여 전압 안정도를 최대한 확보하면서 재생 발전원을 배치할 수 있게 되고, 규모가 큰 전력 시스템에서도 정확한 결과를 얻을 수 있으며, 최적 배치를 위한 후보 모선의 선정 기준이 명확하다는 효과가 있게 된다.

[0148] 도 6은 종래의 모달 해석에 의해 재생 발전원을 배치한 경우와 본 발명의 리아푸노프 지수를 이용하여 재생 발전원을 배치한 경우의 전압 안정도를 비교한 그래프이다. 여기서는, 각각의 방법에 의해 최적 위치로 선정된 모선에 대해 300ms의 3상 단락을 중간에 인가했을 때 전압의 동적 응답에 대해 비교한 것을 나타내었다.

[0149] 도 6을 참조하면, 기존의 모달 해석에 의한 방법(Conventional method)의 경우 고장(즉, 단락)이 발생한 후 전력 시스템의 전압이 불안정해지는 것을 볼 수 있는 반면, 본 발명의 리아푸노프 지수를 이용한 방법의 경우 고

장 이후에도 전력 시스템의 전압이 보다 안정되는 것을 볼 수 있다.

[0150] 이상의 상세한 설명은 본 발명을 예시하는 것이다. 또한 기술한 내용은 본 발명의 바람직한 실시 형태를 나타내어 설명하는 것이며, 본 발명은 다양한 다른 조합, 변경 및 환경에서 사용할 수 있다. 즉 본 명세서에 개시된 발명의 개념의 범위, 저술한 개시 내용과 균등한 범위 및/또는 당업계의 기술 또는 지식의 범위내에서 변경 또는 수정이 가능하다. 저술한 실시예는 본 발명의 기술적 사상을 구현하기 위한 최선의 상태를 설명하는 것이며, 본 발명의 구체적인 적용 분야 및 용도에서 요구되는 다양한 변경도 가능하다. 따라서 이상의 발명의 상세한 설명은 개시된 실시 상태로 본 발명을 제한하려는 의도가 아니다. 또한 첨부된 청구범위는 다른 실시 상태도 포함하는 것으로 해석되어야 한다.

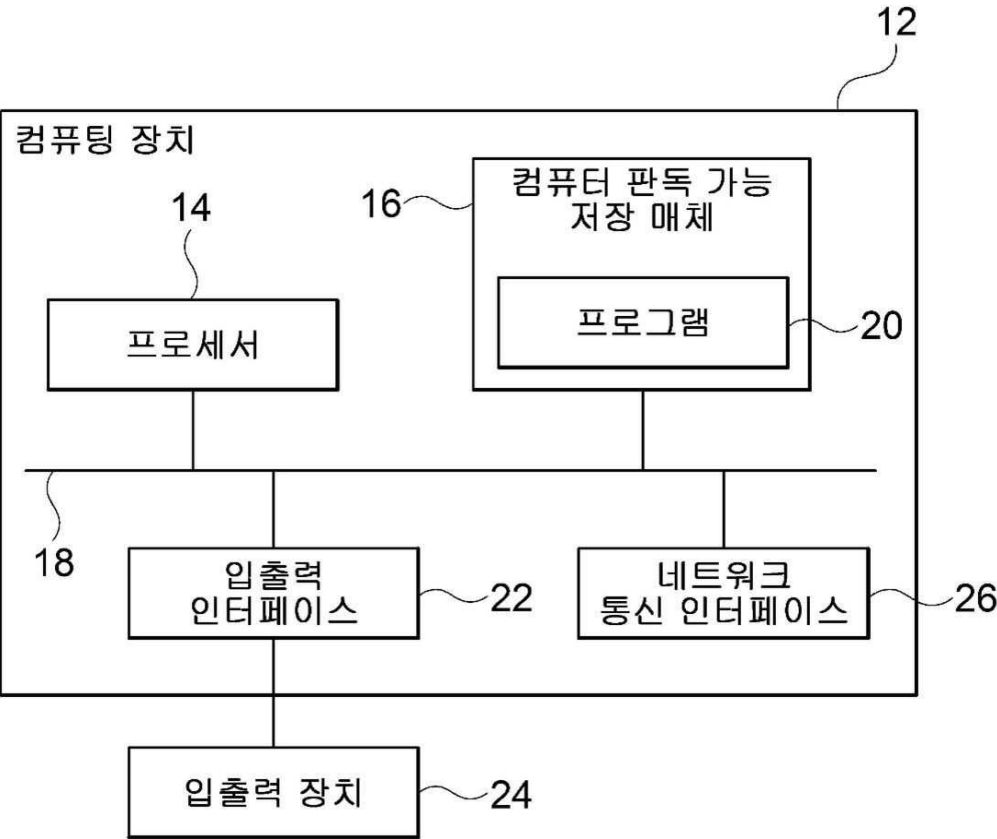
부호의 설명

[0151] 10 : 컴퓨팅 환경
12 : 컴퓨팅 장치
14 : 프로세서
16 : 컴퓨터 판독 가능 저장 매체
18 : 통신 버스
20 : 프로그램
22 : 입출력 인터페이스
24 : 입출력 장치
26 : 네트워크 통신 인터페이스

도면

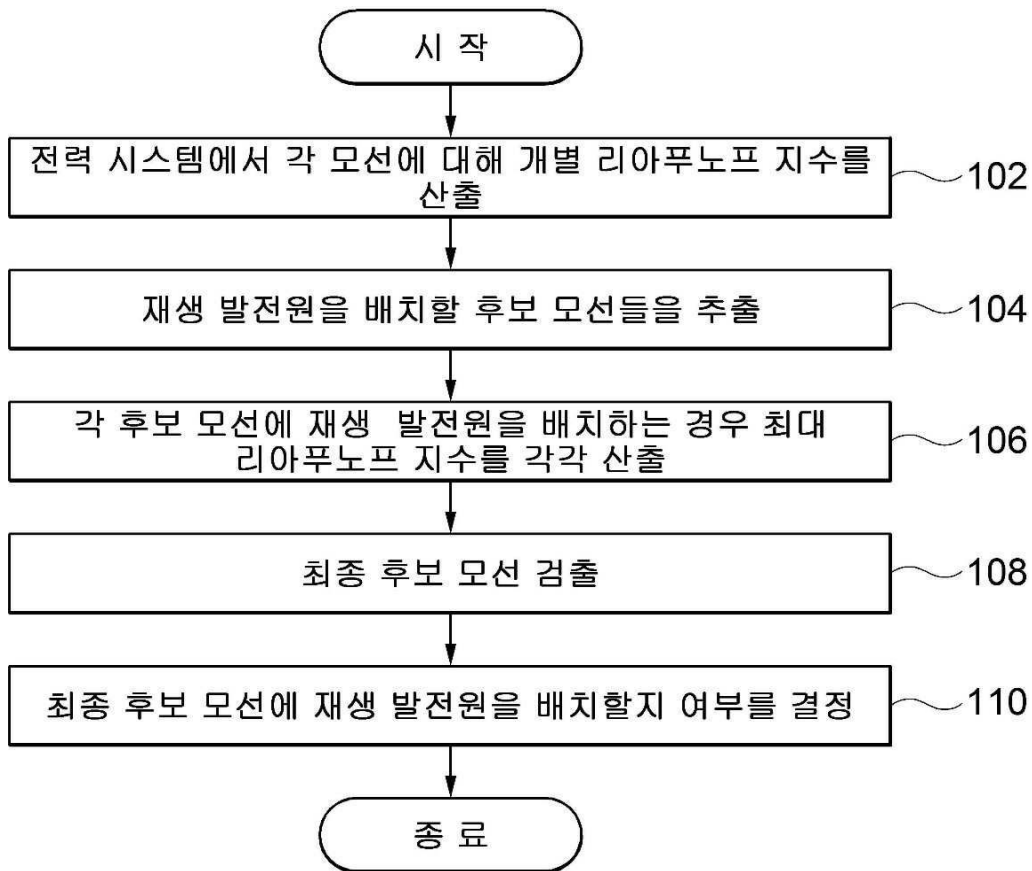
도면1

10

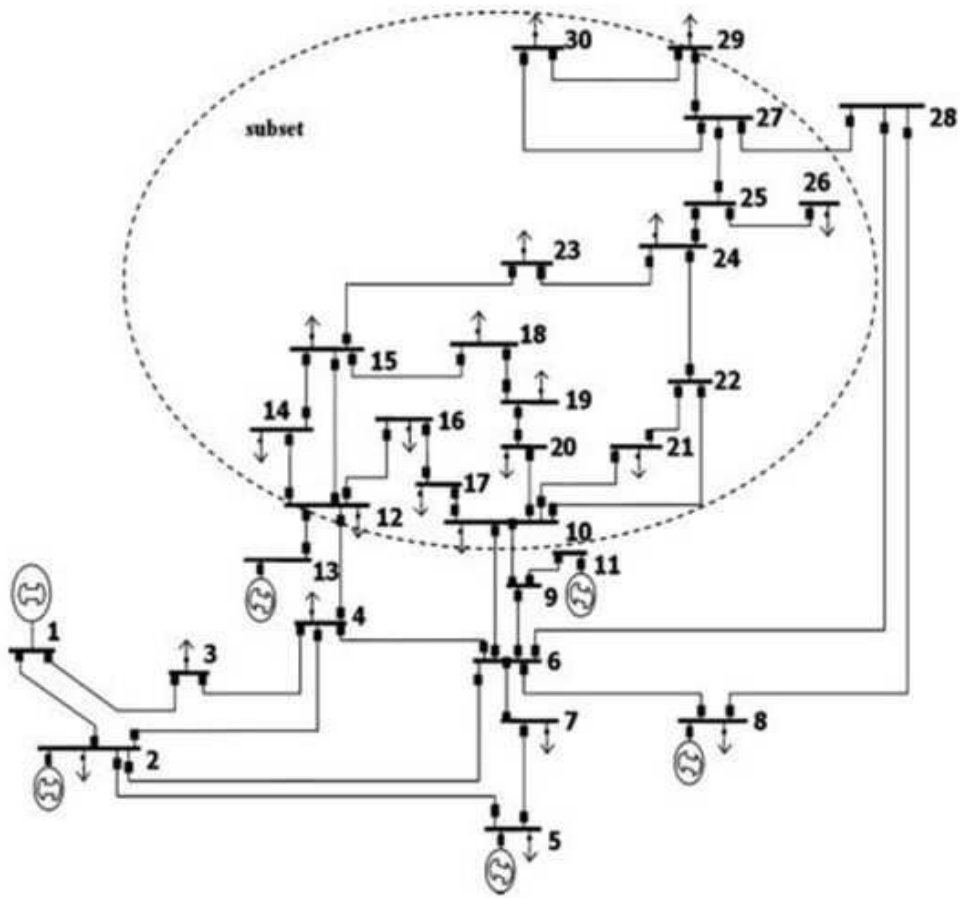


도면2

100



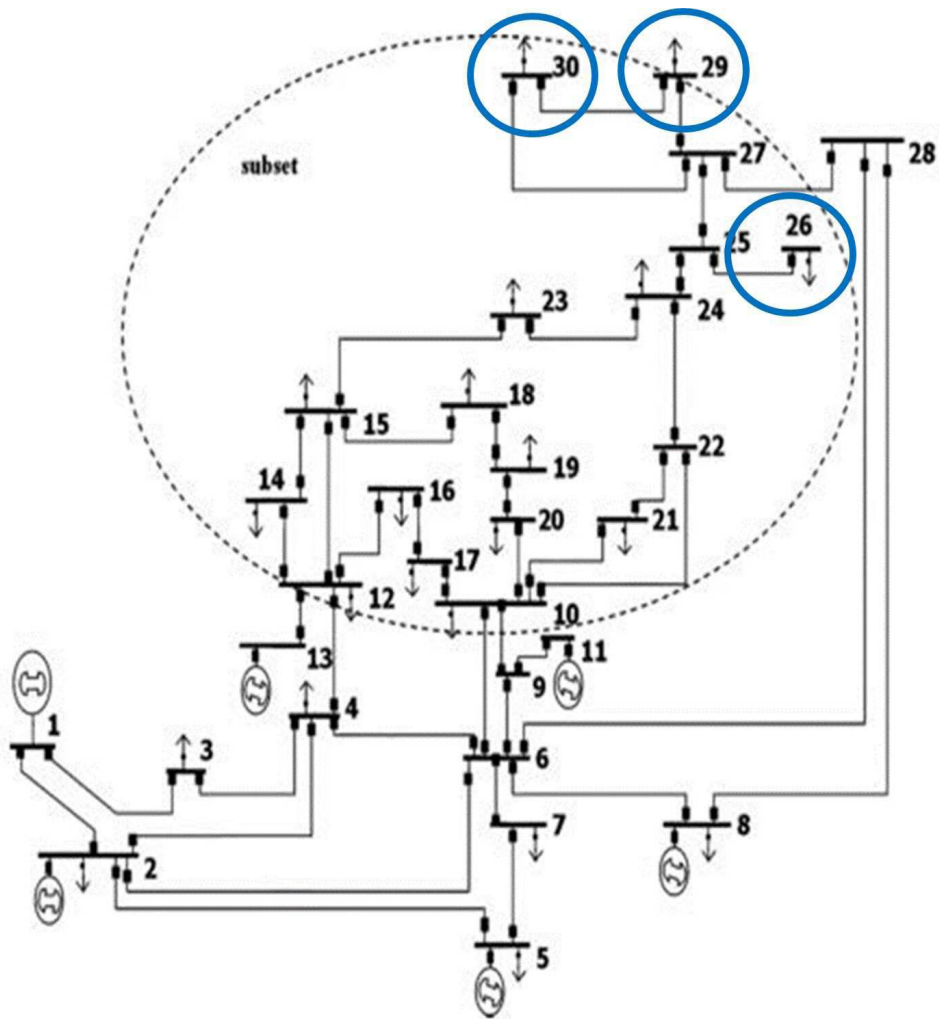
도면3



도면4

Location			
Bus 30	1	0.0161	0.0003
Bus 26	2	0.0164	0.0003
Bus 29	3	0.0167	0.0035
Bus 24	4	0.0202	0.0013
Bus 21	5	0.0215	0.0009
Bus 23	6	0.0224	0.0001
Bus 17	7	0.0225	0.0000
Bus 19	8	0.0225	0.0004
Bus 20	9	0.0229	-
Bus 18	10	0.0231	-
Bus 12	11	0.0234	-
Bus 15	12	0.0242	-
Bus 16	13	0.0242	-
Bus 14	14	0.0244	-

도면5



도면6

