



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0072984  
(43) 공개일자 2023년05월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02J 3/16 (2006.01) G01R 21/00 (2006.01)  
G06F 17/10 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H02J 3/16 (2013.01)  
G01R 21/003 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2021-0159745  
(22) 출원일자 2021년11월18일  
심사청구일자 2021년11월18일

(71) 출원인  
목포대학교산학협력단  
전라남도 무안군 청계면 영산로 1666  
청주대학교 산학협력단  
충청북도 청주시 청원구 대성로 298 (내덕동)  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
이수형  
경기도 시흥시 목감중앙로 65, 1202동 605호(조남동, 그레이움)  
최동희  
세종특별자치시 다정중앙로 19, 411동 603호(다정동, 가온마을4단지)  
박정욱  
서울특별시 강남구 압구정로29길 71, 20동 701호(압구정동, 현대아파트)  
(74) 대리인  
오위환, 나성곤, 정기택

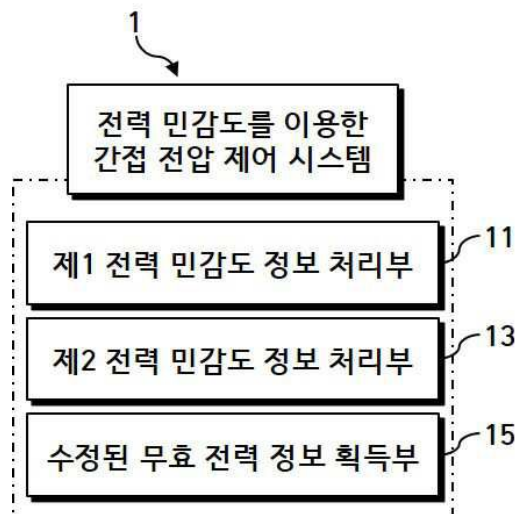
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템 및 방법

(57) 요약

전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템이 제공된다. 본 발명의 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템은 적어도 하나의 모선을 가지는 발전 시스템으로부터 전력 민감도를 획득하고, 획득한 상기 전력 민감도를 이용하여 간접적으로 전압을 제어하기 위해 수정된 무효 전력을 획득하는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템에 있어서, 상기 발전 시스템의 상기 모선 전압에 대한 기초 전력 정보를 이용하여 제1 전력 민감도를 획득하는 제1 전력 민감도 정보 계산부; 상기 기초 전력 정보를 통해 미소 기초 전력 정보를 계산하고, 미소 전압 편차 계산 결과를 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 제2 전력 민감도 정보 계산부; 및 상기 제2 전력 민감도 정보 및 미소 추가 무효 전력을 이용하여 전체 상기 발전 시스템의 수정된 무효 전력 정보를 획득하는 수정된 무효 전력 정보 획득부;를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**G06F 17/10** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415171429
과제번호	20214000000560
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	에너지인력양성사업
연구과제명	광주 · 전남 지역에너지 클러스터 인재양성
기 여 율	1/2
과제수행기관명	(재)광주테크노파크
연구기간	2021.04.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711130713
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	2021.03.01 ~ 2022.02.28

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

적어도 하나의 모선을 가지는 발전 시스템으로부터 전력 민감도를 획득하고, 획득한 상기 전력 민감도를 이용하여 간접적으로 전압을 제어하기 위해 수정된 무효 전력을 획득하는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템에 있어서,

상기 발전 시스템의 상기 모선 전압에 대한 기초 전력 정보를 이용하여 제1 전력 민감도를 획득하는 제1 전력 민감도 정보 계산부;

상기 기초 전력 정보를 통해 미소 기초 전력 정보를 계산하고, 미소 전압 편차 계산 결과를 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 제2 전력 민감도 정보 계산부; 및

상기 제2 전력 민감도 정보 및 미소 추가 무효 전력을 이용하여 전체 상기 발전 시스템의 수정된 무효 전력 정보를 획득하는 수정된 무효 전력 정보 획득부;를 포함하는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제1 전력 민감도 정보 계산부는,

기초 유효 전력 정보 및 기초 무효 전력 정보를 기초 전력 정보로 획득하는 기초 전력 정보 획득 모듈; 및

상기 기초 전력 정보를 이용하여 하기 식 1로 표현되는 상기 제1 전력 민감도 정보를 계산하는 제1 전력 민감도 정보 계산 모듈;을 포함하는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템.

식 1

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} \end{bmatrix} = [\mathbf{K}^{sq}]^{-1} \mathbf{K}^{row}$$

(여기서  $\mathbf{K}^{sq}$ : 발전기와 관련된 미소 변동 행렬,  $\mathbf{K}^{row}$ : 전체 부하와 관련된 행에 대한 미소 변동 행렬)

#### 청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 기초 전력 정보는 하기 식 2로 표현되는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템.

식 2

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

(여기서,  $Y$ : 어드미넌스 매트릭스의 크기,  $\theta$ : 어드미넌스 매트릭스의 컴퍼넌트 각도,  $\delta_i$ : 모선  $i$ 의 위상각,  $\delta_j$ : 모선  $j$ 의 위상각,  $P_i$ : 모선  $i$ 의 유효 전력,  $Q_i$ : 모선  $i$ 의 무효 전력)

#### 청구항 4

제 2항에 있어서,

상기 제2 전력 민감도 정보 계산부는,

상기 기초 유효 전력 정보 및 상기 기초 무효 전력 정보를 이용하여 상기 미소 기초 전력 정보를 계산하는 미소 기초 전력 정보 계산 모듈;

실제 미소 유효 전력 부족으로 발생하는 미소 전압 편차를 계산하는 미소 전압 편차 계산 모듈;

상기 미소 전압 편차를 이용하여 상기 발전 시스템의 버스 전압을 유지하기 위해 필요한 미소 추가 무효 전력을 출력하는 미소 추가 무효 전력 정보 출력 모듈; 및

상기 미소 추가 무효 전력을 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 제2 전력 민감도 정보 계산 모듈;을 포함하며,

상기 제2 전력 민감도 정보는 하기 식 3으로 표현되는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템.

식 3

$$S_{PQ} = -[K_{22}^{sq}]^{-1} K_{21}^{sq}$$

#### 청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 미소 추가 무효 전력은 하기 식 4로 표현되는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템.

식 4

$$\begin{aligned} \Delta Q_G^{\text{mod}} &= \Delta Q_G + \Delta Q_G^{\text{add}} \\ \Delta Q_G^{\text{add}} &= -[K_{22}^{sq}]^{-1} K_{21}^{sq} (\Delta P_G^{\text{act}} - \Delta P_G) \\ \Delta Q_G &= S_{21} \Delta P_L + S_{22} \Delta Q_L \end{aligned}$$

#### 청구항 6

제 4항에 있어서,

상기 수정된 무효 전력 정보 출력부는,

상기 미소 추가 무효 전력으로부터 제3 전력 민감도 정보를 출력하는 제3 전력 민감도 정보 출력 모듈; 및

상기 미소 추가 무효 전력을 이용하여 상기 발전 시스템 전체의 수정된 무효 전력 정보인 수정된 전체 무효 전력 정보를 생성하는 수정된 전체 무효 전력 정보 생성 모듈;을 포함하며,

상기 수정된 전체 무효 전력 정보는 하기 식 5로 표현되는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템.

식 5

$$Q_G^{\text{mod}} = Q_{G,\text{operating}} + \Delta Q_G^{\text{mod}}$$

#### 청구항 7

적어도 하나의 모선을 가지는 발전 시스템으로부터 전력 민감도를 획득하고, 획득한 상기 전력 민감도를 이용하여 간접적으로 전압을 제어하기 위해 수정된 무효 전력을 획득하는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법에 있어서,

제1 전력 민감도 정보 계산부를 이용하여 상기 발전 시스템의 상기 모선 전압에 대한 기초 전력 정보를 이용하여 제1 전력 민감도를 획득하는 단계;

제2 전력 민감도 정보 계산부를 이용하여 상기 기초 전력 정보를 통해 미소 기초 전력 정보를 계산하고, 미소 전압 편차 계산 결과를 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계; 및

수정된 무효 전력 정보 획득부를 통해 상기 제2 전력 민감도 정보 및 미소 추가 무효 전력을 이용하여 전체 상

기 발전 시스템의 수정된 무효 전력 정보를 획득하는 단계;를 포함하는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법.

#### 청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 제1 전력 민감도를 획득하는 단계는,

기초 유효 전력 정보 및 기초 무효 전력 정보를 기초 전력 정보로 획득하는 단계; 및

상기 기초 전력 정보를 이용하여 하기 식 6으로 표현되는 상기 제1 전력 민감도 정보를 계산하는 단계;를 포함하는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법.

식 6

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} \end{bmatrix} = [\mathbf{K}^{sq}]^{-1} \mathbf{K}^{row}$$

(여기서  $\mathbf{K}^{sq}$ : 발전기와 관련된 미소 변동 행렬,  $\mathbf{K}^{row}$ : 전체 부하와 관련된 행에 대한 미소 변동 행렬)

#### 청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 기초 전력 정보는 하기 식 7로 표현되는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법.

식 7

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

(여기서,  $Y$ : 어드미넌스 매트릭스의 크기,  $\theta$ : 어드미넌스 매트릭스의 컴퍼넌트 각도,  $\delta_i$ : 모선  $i$ 의 위상각,  $\delta_j$ : 모선  $j$ 의 위상각,  $P_i$ : 모선  $i$ 의 유효 전력,  $Q_i$ : 모선  $i$ 의 무효 전력)

#### 청구항 10

제 8항에 있어서,

상기 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계는,

상기 기초 유효 전력 정보 및 상기 기초 무효 전력 정보를 이용하여 상기 미소 기초 전력 정보를 계산하는 단계;

실제 미소 유효 전력 부족으로 발생하는 미소 전압 편차를 계산하는 단계;

상기 미소 전압 편차를 이용하여 상기 발전 시스템의 버스 전압을 유지하기 위해 필요한 미소 추가 무효 전력을 출력하는 단계; 및

상기 미소 추가 무효 전력을 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계;를 포함하며,

상기 제2 전력 민감도 정보는 하기 식 8로 표현되는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법.

식 8

$$\mathbf{S}_{PQ} = - [\mathbf{K}_{22}^{sq}]^{-1} \mathbf{K}_{21}^{sq}$$

#### 청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 미소 추가 무효 전력은 하기 식 9로 표현되는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법.

식 9

$$\begin{aligned}\Delta Q_G^{\text{mod}} &= \Delta Q_G + \Delta Q_G^{\text{add}} \\ \Delta Q_G^{\text{add}} &= -[K_{22}^{sq}]^{-1} K_{21}^{sq} (\Delta P_G^{\text{act}} - \Delta P_G) \\ \Delta Q_G &= S_{21} \Delta P_L + S_{22} \Delta Q_L\end{aligned}$$

청구항 12

제 10항에 있어서,

상기 수정된 무효 전력 정보를 획득하는 단계는,

상기 미소 추가 무효 전력으로부터 제3 전력 민감도 정보를 출력하는 단계; 및

상기 미소 추가 무효 전력을 이용하여 상기 발전 시스템 전체의 수정된 무효 전력 정보인 수정된 전체 무효 전력 정보를 생성하는 단계;를 포함하며,

상기 수정된 전체 무효 전력 정보는 하기 식 10으로 표현되는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법.

식 10

$$Q_G^{\text{mod}} = Q_{G,\text{operating}} + \Delta Q_G^{\text{mod}}$$

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] 본 발명은 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템 및 방법에 관한 것으로, 특히, 적어도 하나의 모선을 가지는 발전 시스템으로부터 전력 민감도를 획득하고, 획득한 전력 민감도를 이용하여 간접적으로 전압을 제어 하기 위해 수정된 무효 전력을 획득하는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템 및 방법에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0002] 일반적으로 발전 시스템 중 분산형 발전의 경우 복수의 발전기로부터 발전되는 전력을 통합하여 관리하도록 형성된다. 이 경우, 특정 발전기로부터 발전되는 전력에 문제가 생기더라도, 나머지 발전기에서의 발전량을 이용하여 전체 발전망에 큰 문제가 발생하지 않도록 할 수 있는 장점이 존재한다. 하지만, 이러한 분산형 발전의 경우, 상술한 바와 같이 특정 발전기로부터 발전되는 전력의 양이 증가 또는 감소하는 경우 발전 망 전체에서 생산되는 총 합산 발전량이 일정하게 유지되지 않음으로써 전원 공급이 불안정해질 수 있는 문제점이 존재한다.

[0003] 이를 방지하기 위해 분산형 발전은 발전량의 증가 또는 감소에 대응하여 일정한 전압을 공급해주기 위해 대용량 배터리와 같은 전력 저장 장치를 포함하도록 형성될 수 있다. 그러나, 대용량 배터리를 사용하는 경우 설치 비용이 증가할 뿐 아니라 배터리 자체의 관리(메인テナンス)가 추가적으로 요구되기 때문에 설치/유지 비용이 증가하는 문제가 존재한다.

## 선행기술문헌

## 특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2013-0092707호

## 발명의 내용

## 해결하려는 과제

[0005] 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시예는 전력 민감도를 이용하여 발전 전압을 일정하게 유지할 수 있도록 간접적으로 전압 제어를 수행하기 위해 무효 전력 값을 계산하여 출력할 수 있는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템 및 방법을 제공하고자 한다.

## 과제의 해결 수단

[0006] 위와 같은 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 측면에 따르면, 적어도 하나의 모선을 가지는 발전 시스템으로부터 전력 민감도를 획득하고, 획득한 상기 전력 민감도를 이용하여 간접적으로 전압을 제어하기 위해 수정된 무효 전력을 획득하는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템이 제공된다. 상기 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템은, 상기 발전 시스템의 상기 모선 전압에 대한 기초 전력 정보를 이용하여 제1 전력 민감도를 획득하는 제1 전력 민감도 정보 계산부; 상기 기초 전력 정보를 통해 미소 기초 전력 정보를 계산하고, 미소 전압 편차 계산 결과를 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 제2 전력 민감도 정보 계산부; 및 상기 제2 전력 민감도 정보 및 미소 추가 무효 전력을 이용하여 전체 상기 발전 시스템의 수정된 무효 전력 정보를 획득하는 수정된 무효 전력 정보 획득부;를 포함한다.

[0007] 상기 제1 전력 민감도 정보 계산부는, 기초 유효 전력 정보 및 기초 무효 전력 정보를 기초 전력 정보로 획득하는 기초 전력 정보 획득 모듈; 및 상기 기초 전력 정보를 이용하여 하기 식 1로 표현되는 상기 제1 전력 민감도 정보를 계산하는 제1 전력 민감도 정보 계산 모듈;을 포함할 수 있다.

[0008] 식 1

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} \end{bmatrix} = [\mathbf{K}^{sq}]^{-1} \mathbf{K}^{row}$$

[0009]

[0010] (여기서  $\mathbf{K}^{sq}$ : 발전기와 관련된 미소 변동 행렬,  $\mathbf{K}^{row}$ : 전체 부하와 관련된 행에 대한 미소 변동 행렬)

[0011] 상기 기초 전력 정보는 하기 식 2로 표현될 수 있다.

[0012] 식 2

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

[0013]

[0014] (여기서,  $Y$ : 어드미턴스 매트릭스의 크기,  $\theta$ : 어드미턴스 매트릭스의 컴퍼넌트 각도,  $\delta_i$ : 모선  $i$ 의 위상각,  $\delta_j$ : 모선  $j$ 의 위상각,  $P_i$ : 모선  $i$ 의 유효 전력,  $Q_i$ : 모선  $i$ 의 무효 전력)

[0015] 상기 제2 전력 민감도 정보 계산부는, 상기 기초 유효 전력 정보 및 상기 기초 무효 전력 정보를 이용하여 상기 미소 기초 전력 정보를 계산하는 미소 기초 전력 정보 계산 모듈; 실제 미소 유효 전력 부족으로 발생하는 미소 전압 편차를 계산하는 미소 전압 편차 계산 모듈; 상기 미소 전압 편차를 이용하여 상기 발전 시스템의 버스 전압을 유지하기 위해 필요한 미소 추가 무효 전력을 출력하는 미소 추가 무효 전력 정보 출력 모듈; 및 상기 미소 추가 무효 전력을 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 제2 전력 민감도 정보 계산 모듈;을 포함하며, 상기 제2 전력 민감도 정보는 하기 식 3으로 표현될 수 있다.

[0016] 식 3

$$\mathbf{S}_{PQ} = - [\mathbf{K}_{22}^{sq}]^{-1} \mathbf{K}_{21}^{sq}$$

[0017]

[0018] 상기 미소 추가 무효 전력은 하기 식 4로 표현될 수 있다.

[0019] 식 4

$$\begin{aligned}\Delta \mathbf{Q}_G^{\text{mod}} &= \Delta \mathbf{Q}_G + \Delta \mathbf{Q}_G^{\text{add}} \\ \Delta \mathbf{Q}_G^{\text{add}} &= -[\mathbf{K}_{22}^{sq}]^{-1} \mathbf{K}_{21}^{sq} (\Delta \mathbf{P}_G^{\text{act}} - \Delta \mathbf{P}_G) \\ \Delta \mathbf{Q}_G &= \mathbf{S}_{21} \Delta \mathbf{P}_L + \mathbf{S}_{22} \Delta \mathbf{Q}_L\end{aligned}$$

[0020]

[0021] 상기 수정된 무효 전력 정보 출력부는, 상기 미소 추가 무효 전력으로부터 제3 전력 민감도 정보를 출력하는 제3 전력 민감도 정보 출력 모듈; 및 상기 미소 추가 무효 전력을 이용하여 상기 발전 시스템 전체의 수정된 무효 전력 정보인 수정된 전체 무효 전력 정보를 생성하는 수정된 전체 무효 전력 정보 생성 모듈;을 포함하며, 상기 수정된 전체 무효 전력 정보는 하기 식 5로 표현될 수 있다.

[0022] 식 5

$$\mathbf{Q}_G^{\text{mod}} = \mathbf{Q}_{G,\text{operating}} + \Delta \mathbf{Q}_G^{\text{mod}}$$

[0023]

[0024] 본 발명의 일 측면에 따르면, 적어도 하나의 모선을 가지는 발전 시스템으로부터 전력 민감도를 획득하고, 획득한 상기 전력 민감도를 이용하여 간접적으로 전압을 제어하기 위해 수정된 무효 전력을 획득하는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법이 제공된다. 상기 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법은, 제1 전력 민감도 정보 계산부를 이용하여 상기 발전 시스템의 상기 모선 전압에 대한 기초 전력 정보를 이용하여 제1 전력 민감도를 획득하는 단계; 제2 전력 민감도 정보 계산부를 이용하여 상기 기초 전력 정보를 통해 미소 기초 전력 정보를 계산하고, 미소 전압 편차 계산 결과를 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계; 및 수정된 무효 전력 정보 획득부를 통해 상기 제2 전력 민감도 정보 및 미소 추가 무효 전력을 이용하여 전체 상기 발전 시스템의 수정된 무효 전력 정보를 획득하는 단계;를 포함한다.

[0025] 상기 제1 전력 민감도를 획득하는 단계는, 기초 유효 전력 정보 및 기초 무효 전력 정보를 기초 전력 정보로 획득하는 단계; 및 상기 기초 전력 정보를 이용하여 하기 식 6으로 표현되는 상기 제1 전력 민감도 정보를 계산하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0026] 식 6

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} \end{bmatrix} = [\mathbf{K}^{sq}]^{-1} \mathbf{K}^{\text{row}}$$

[0027]

[0028] (여기서  $\mathbf{K}^{sq}$ : 발전기와 관련된 미소 변동 행렬,  $\mathbf{K}^{\text{row}}$ : 전체 부하와 관련된 행에 대한 미소 변동 행렬)

[0029] 상기 기초 전력 정보는 하기 식 7로 표현될 수 있다.

[0030] 식 7

$$\begin{aligned}P_i &= \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \\ Q_i &= -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)\end{aligned}$$

[0031]

[0032] (여기서,  $Y$ : 어드미넌스 매트릭스의 크기,  $\theta$ : 어드미넌스 매트릭스의 컴퍼넌트 각도,  $\delta_i$ : 모선  $i$ 의 위상각,  $\delta_j$ : 모선  $j$ 의 위상각,  $P_i$ : 모선  $i$ 의 유효 전력,  $Q_i$ : 모선  $i$ 의 무효 전력)

[0033] 상기 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계는, 상기 기초 유효 전력 정보 및 상기 기초 무효 전력 정보를 이용하여 상기 미소 기초 전력 정보를 계산하는 단계; 실제 미소 유효 전력 부족으로 발생하는 미소 전압 편차를 계산하는 단계; 상기 미소 전압 편차를 이용하여 상기 발전 시스템의 버스 전압을 유지하기 위해 필요한 미소 추가 무효 전력을 출력하는 단계; 및 상기 미소 추가 무효 전력을 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계;를 포함하며, 상기 제2 전력 민감도 정보는 하기 식 8로 표현될 수 있다.



[0034] 식 8

$$S_{PQ} = -[K_{22}^{sq}]^{-1} K_{21}^{sq}$$

[0035]

[0036] 상기 미소 추가 무효 전력은 하기 식 9로 표현될 수 있다.

[0037] 식 9

$$\begin{aligned}\Delta Q_G^{\text{mod}} &= \Delta Q_G + \Delta Q_G^{\text{add}} \\ \Delta Q_G^{\text{add}} &= -[K_{22}^{sq}]^{-1} K_{21}^{sq} (\Delta P_G^{\text{act}} - \Delta P_G) \\ \Delta Q_G &= S_{21} \Delta P_L + S_{22} \Delta Q_L\end{aligned}$$

[0038]

[0039] 상기 수정된 무효 전력 정보를 획득하는 단계는, 상기 미소 추가 무효 전력으로부터 제3 전력 민감도 정보를 출력하는 단계; 및 상기 미소 추가 무효 전력을 이용하여 상기 발전 시스템 전체의 수정된 무효 전력 정보인 수정된 전체 무효 전력 정보를 생성하는 단계;를 포함하며, 상기 수정된 전체 무효 전력 정보는 하기 식 10으로 표현될 수 있다.

[0040] 식 10

$$Q_G^{\text{mod}} = Q_{G,\text{operating}} + \Delta Q_G^{\text{mod}}$$

[0041]

### 발명의 효과

[0042] 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템 및 방법은 분산형 발전 시스템에서 에너지 저장 장치를 사용하지 않고 전력 민감도에 따른 무효 전력을 계산하고 이를 이용하여 간접적으로 전압을 제어함으로써 발전 시스템에서 발전하는 전압을 일정하게 유지할 수 있는 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0043] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템의 블록도이다.

도 2는 도 1의 제1 전력 민감도 정보 처리부를 상세히 나타낸 블록도이다.

도 3은 도 1의 제2 전력 민감도 정보 처리부를 상세히 나타낸 블록도이다.

도 4는 도 1의 수정된 무효 전력 정보 획득부를 상세히 나타낸 블록도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법을 나타낸 순서도이다.

도 6은 도 5의 단계 S11을 나타낸 순서도이다.

도 7은 도 5의 단계 S13을 나타낸 순서도이다.

도 8은 도 5의 단계 S15를 나타낸 순서도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0044] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 붙였다.

[0045] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템의 블록도이고, 도 2는 도 1의 제1 전력 민감도 정보 처리부를 상세히 나타낸 블록도이며, 도 3은 도 1의 제2 전력 민감도 정보 처리부를 상세히 나타낸 블록도이고, 도 4는 도 1의 수정된 무효 전력 정보 획득부를 상세히 나타낸 블록도이다.

[0046] 이하에서는 도 1 내지 도 4를 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템

에 대해 상세히 설명하도록 한다.

[0047] 도 1을 참고하면, 본 발명의 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템(1)은 제1 전력 민감도 정보 처리부(11), 제2 전력 민감도 정보 처리부(13) 및 수정된 무효 전력 정보 획득부(15)를 포함하도록 형성된다.

[0048] 본 발명의 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템(1)은 일반적으로 알려져 있는 전력 계통에서의 발전기 모션 전압에 대한 관계식을 이용하여 적어도 하나의 모션을 가지는 발전 시스템으로부터 전력 민감도를 획득하고, 획득한 전력 민감도를 이용하여 간접적으로 전압을 제어하기 위해 수정된 무효 전력을 획득하도록 형성된다. 본 발명에서 언급하고 있지는 않지만, 본 시스템은 단순히 이에 한정되지 않으며, 획득한 수정된 무효 전력 정보를 실제로 발전 시스템에 투입함으로써 발전 시스템의 전압을 일정하게 유지할 수 있는 기능도 포함할 수 있다.

[0049] 이를 위해 제1 전력 민감도 정보 처리부(11)는 발전 시스템의 모션 전압에 대한 기초 전력 정보를 이용하여 제1 전력 민감도를 획득할 수 있다. 제1 전력 민감도 정보 처리부(11)는 기초 전력 정보를 이용하여 제1 전력 민감도를 획득하기 위해 도 2에 도시된 바와 같이 기초 전력 정보 획득 모듈(111) 및 제1 전력 민감도 정보 계산 모듈(113)을 포함할 수 있다.

[0050] 기초 전력 정보 획득 모듈(111)은 기초 유효 전력 정보 및 기초 무효 전력 정보를 기초 전력 정보로 획득하도록 형성된다. 기초 전력 정보 획득 모듈(111)은 상술한 바와 같이 일반적으로 알려져 있는 전력 계통에서의 발전기 모션 전압에 대한 관계식인 하기 수학적 식 1을 기초 전력 정보로 획득할 수 있다.

### 수학적 식 1

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

[0051]

[0052] (여기서, Y: 어드미넌스 매트릭스의 크기,  $\theta$ : 어드미넌스 매트릭스의 컴퍼넌트 각도,  $\delta_i$ : 모션 i의 위상각,  $\delta_j$ : 모션 j의 위상각,  $P_i$ : 모션 i의 유효 전력,  $Q_i$ : 모션 i의 무효 전력)

[0053] 모션 i에 대한 유효 전력 및 무효 전력은 상술한 수학적 식 1로 표현된다. 기초 전력 정보 획득 모듈(111)은 수학적 식 1을 미분하여 8개의 미분 방정식을 획득하고, 획득한 미분 방정식을 테일러 급수를 통해 확장한 후 모든 고차 항을 무시하여 하기 수학적 식 2로 표현되는 행렬로 기초 전력 정보를 변환할 수 있다.

### 수학적 식 2

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix}$$

[0054]

[0055] 여기서 자코비안 행렬 J는 위상각과 진폭에 대한 작은 변화 사이의 선형 관계를 나타낸다.

[0056] 한편, 기초 전력 정보 획득 모듈(111)을 통해 획득된 기초 전력 정보 행렬식은 후술되는 제1 전력 민감도 정보 계산 모듈(113)로 전달된다. 발전 시스템에서의 발전이 안정된 상태에 도달하면, 수학적 식 2로 표현되는 기초 전력 정보 행렬식에서 자코비안 행렬 J를 제외한 나머지 요인들 역시 0에 아주 근접하게 된다. 이후에는 전압 값의 변화가 미세하게 나타나는 경우에도 특정 기준 값을 초과하지 않는다면 미소 유효 전력과 미소 무효 전력은 선형적으로 반응하게 된다. 본 발명의 제1 전력 민감도 정보 계산 모듈(113)은 이러한 특징을 이용하여 제1 전력 민감도 정보를 계산하도록 형성된다. 제1 전력 민감도 정보 계산 모듈(113)은 수학적 식 2를 하기 수학적 식 3으로 변형할 수 있다.

### 수학식 3

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{P} \\ \Delta \mathbf{Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & \mathbf{K}_{12} \\ \mathbf{K}_{21} & \mathbf{K}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{P} \\ \Delta \mathbf{Q} \end{bmatrix}$$

이는 수학식 2에서 양 측에 자코비안 행렬의 역행렬을 취하여 정리한 행렬식이며, 수학식 3은 제1 전력 민감도 정보 계산 모듈(113)에서 전체 모선과 발전기 모선의 수를 이용하여 하기 수학식 4로 표현될 수 있다.

### 수학식 4

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta \delta_m \\ \Delta V_2 \\ \vdots \\ \Delta V_m \end{bmatrix} = \mathbf{K}^{sq} \begin{bmatrix} \Delta P_{G,2} \\ \vdots \\ \Delta P_{G,m} \\ \Delta Q_{G,2} \\ \vdots \\ \Delta Q_{G,m} \end{bmatrix} + \mathbf{K}^{row} \begin{bmatrix} -\Delta P_{L,2} \\ \vdots \\ -\Delta P_{L,m} \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ -\Delta Q_{L,2} \\ \vdots \\ -\Delta Q_{L,m} \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix}$$

(여기서 n: 전체 모선 수, m: 발전기 연결 모선 수, G: 발전기 연결 모선의 발전, L: 전체 모선의 부하 소비)

이때, 상술한 바와 같이 발전 시스템이 안정된 상태(변화량이 특정 기준 값을 넘지 않는 상태)인 경우 전압 변화와 위상 변화는 0이 되기 때문에 본 발명의 제1 전력 민감도 계산 모듈(113)은 수학식 4를 하기 수학식 5로 표현할 수 있으며, 수학식 5로부터 수학식 6의 제1 전력 민감도를 계산할 수 있다. 제1 전력 민감도는 부하와 발전기 사이의 민감도를 의미한다.

### 수학식 5

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{G,2} \\ \vdots \\ \Delta P_{G,m} \\ \Delta Q_{G,2} \\ \vdots \\ \Delta Q_{G,m} \end{bmatrix} = -[\mathbf{K}^{sq}]^{-1} \mathbf{K}^{row} \begin{bmatrix} -\Delta P_{L,2} \\ \vdots \\ -\Delta P_{L,m} \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ -\Delta Q_{L,2} \\ \vdots \\ -\Delta Q_{L,m} \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix}$$

### 수학식 6

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} \end{bmatrix} = [\mathbf{K}^{sq}]^{-1} \mathbf{K}^{row}$$

(여기서  $\mathbf{K}^{sq}$ : 발전기와 관련된 미소 변동 행렬,  $\mathbf{K}^{row}$ : 전체 부하와 관련된 행에 대한 미소 변동 행렬)

본 발명의 제1 전력 민감도 정보 처리부(11)는 최초 자코비안 행렬의 차원(디멘션)을 동일하게 가져와 역 행렬  $\mathbf{K}$  및 제1 전력 민감도 행렬에 적용하였다.

한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템(1)에 포함되는 제2 전력 민감도 정보 처리부(13)는 기초 전력 정보를 이용하여 미소 기초 전력 정보를 계산하고, 미소 전압 편차 계산 결과

를 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하도록 형성된다. 이를 위해 일 실시예의 제2 전력 민감도 정보 처리부(13)는 도 3에 도시된 바와 같이 미소 기초 전력 정보 계산 모듈(131), 미소 전압 편차 계산 모듈(133), 수정된 미소 무효 전력 정보 출력 모듈(135) 및 제2 전력 민감도 정보 계산 모듈(137)을 포함할 수 있다.

미소 기초 전력 정보 계산 모듈(131)은 기초 전력 정보 중 기초 유효 전력 정보 및 기초 무효 전력 정보를 이용하여 미소 기초 전력 정보를 계산하도록 형성된다. 미소 기초 전력 정보 계산 모듈(131)은 상기 수학식 5에 상기 수학식 6을 적용하고 기초 유효 전력과 기초 무효 전력을 각각 계산하여 미소 기초 유효 전력과 미소 기초 무효 전력 정보를 하기 수학식 7로 표현하도록 형성된다.

#### 수학식 7

$$\Delta P_{G,i} = \sum_{j=1}^n (S_{11,ij} \Delta P_{L,j} + S_{12,ij} \Delta Q_{L,j})$$

$$\Delta Q_{G,i} = \sum_{j=1}^n (S_{21,ij} \Delta P_{L,j} + S_{22,ij} \Delta Q_{L,j})$$

미소 기초 전력 정보 계산 모듈(131)에서 수학식 7을 통해 미소 기초 유효 전력 및 미소 기초 무효 전력을 획득하면, 미소 전압 편차 계산 모듈(133)은 실제 유효 전력 부족으로 발생하는 미소 전압 편차를 계산하도록 형성된다.

미소 전압 편차 계산 모듈(133)은 EMS 등과 같이 발전 시스템을 제어할 수 있는 외부 시스템으로부터 획득하는 제어 정보와 실제 변경된 값의 차이를 이용하여 미소 전압 편차를 획득할 수 있으며, 이는 하기 수학식 8로 표현될 수 있다.

#### 수학식 8

$$\Delta V_{P,i} = K_{21,ii} (\Delta P_{G,i}^{act} - \Delta P_{G,i})$$

또, 상술한 수학식 3을 참고하면, 전압 차이는 무효 전력을 이용하여 변경될 수도 있다. 따라서, 본 발명의 미소 전압 편차 계산 모듈(133)은 무효 전력 주입량의 변경을 이용하여 미소 전압 편차를 계산할 수도 있으며, 이는 하기 수학식 9로 표현될 수 있다.

#### 수학식 9

$$\Delta V_{Q,i} = K_{22,ii} \Delta Q_{G,i}^{add}$$

(여기서  $\Delta Q_{G,i}^{add}$ : 미소 전압 편차를 생성하기 위해 입력되어야 하는 추가 미소 무효 전력)

미소 전압 편차 계산 모듈(133)은 유효 전력의 차이로 인해(실제 변화 유효 전력 값과 제어 정보의 차이) 발생하는 미소 전압 편차를 0으로 만들기 위해 상기 수학식 8과 수학식 9를 이용하여 하기 수학식 10을 획득할 수 있다.

#### 수학식 10

$$\Delta V_{Q,i} = -\Delta V_{P,i}$$

[0077] 수정된 미소 무효 전력 정보 출력 모듈(135)은 미소 전압 편차 계산 모듈(133)에서 획득한 상기 수학식 10을 이용하여 수정된 미소 무효 전력 정보를 생성하고 출력할 수 있다.

[0078] 수정된 미소 무효 전력 정보 출력 모듈(135)은 수학식 10에 상기 수학식 8 및 9를 적용하여 상기 수학식 10을 무효 전력과 유효 전력 사이의 관계식인 하기 수학식 11로 변형할 수 있다.

### 수학식 11

$$\Delta Q_{G,i}^{add} = -\frac{K_{21,ii}}{K_{22,ii}} (\Delta P_{G,i}^{act} - \Delta P_{G,i})$$

[0079]

[0080] 상기 수학식 11은 수학식 10의 좌변을 수학식 9의 우변으로 대치하고, 수학식 10의 우변을 수학식 8의 우변으로 대치한 결과에서 좌변을 추가 미소 무효 전력으로 정리한 관계식이다. 이를 통해, 현재 발전 시스템의 발전 전압을 유지하기 위해 필요한 추가 미소 무효 전력은 상기 수학식 11을 통해 획득될 수 있다.

[0081] 추가 미소 무효 전력은 후술되는 수정된 미소 무효 전력 정보를 출력하기 위해 사용된다. 수정된 미소 무효 전력 정보 출력 모듈(135)은 수학식 11을 통해 획득되는 전압 변화에 대응하기 위한 추가 미소 무효 전력을 수학식 7에서 기 결정된 미소 무효 전력에 더함으로써 수정된 미소 무효 전력을 획득할 수 있으며, 수정된 미소 무효 전력은 하기 수학식 12로 표현될 수 있다.

### 수학식 12

$$\Delta Q_{G,i}^{mod} = \Delta Q_{G,i} + \Delta Q_{G,i}^{add}$$

[0082]

[0083] 상술한 수학식 12는 모선 i에 대한 수정된 미소 무효 전력이기 때문에, 이를 전체 발전 시스템으로 확장 적용하면 전체 발전 시스템에 대한 수정된 미소 무효 전력은 하기 수학식 13으로 표현될 수 있다.

### 수학식 13

$$\Delta \mathbf{Q}_G^{mod} = \Delta \mathbf{Q}_G + \Delta \mathbf{Q}_G^{add}$$

[0084]

[0085] 제2 전력 민감도 정보 계산 모듈(137)은 수정된 미소 무효 전력을 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하기 위해 형성된다. 제2 전력 민감도 정보 계산 모듈(137)은 수학식 13을 통해 획득되는 전체 발전 시스템에 대한 수정된 미소 무효 전력을 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산한다.

[0086] 제2 전력 민감도 정보 계산 모듈(137)은 제2 전력 민감도 정보를 계산하기 위해 수학식 7, 수학식 11 및 수학식 13을 이용할 수 있다. 수학식 7과 수학식 11을 전체 발전 시스템에 대한 무효 전력 관계식으로 변환하면 하기 수학식 14로 표현된다.

### 수학식 14

$$\Delta \mathbf{Q}_G^{add} = -[\mathbf{K}_{22}^{sq}]^{-1} \mathbf{K}_{21}^{sq} (\Delta \mathbf{P}_G^{act} - \Delta \mathbf{P}_G)$$

$$\Delta \mathbf{Q}_G = \mathbf{S}_{21} \Delta \mathbf{P}_L + \mathbf{S}_{22} \Delta \mathbf{Q}_L$$

[0087]

[0088] 제2 전력 민감도 정보 계산 모듈(137)은 상기 수학식 14중 추가 미소 무효 전력에 대한 식에서 제2 전력 민감도 정보를 계산할 수 있다. 제2 전력 민감도 정보는 미소 유효 전력과 관계된 값(실제 변화 유효 전력 값과 제어

정보에 포함된 변화 지시 전력 값)을 미소 무효 전력으로 변환시키기 위한 행렬이며, 특히 제2 전력 민감도는 유효 전력과 무효 전력 사이의 민감도( $S_{PQ}$ )로 정의될 수 있다. 제2 전력 민감도 정보 계산 모듈(137)은 하기 수학적 식 15를 통해 제2 전력 민감도를 계산할 수 있다.

### 수학적 식 15

$$S_{PQ} = -[K_{22}^{sq}]^{-1} K_{21}^{sq}$$

$$K_{21}^{sq} = \begin{bmatrix} K_{21,(2,2)} & \cdots & K_{21,(2,m)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{21,(m,2)} & \cdots & K_{21,(m,m)} \end{bmatrix}$$

$$K_{22}^{sq} = \begin{bmatrix} K_{22,(2,2)} & \cdots & K_{22,(2,m)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{22,(m,2)} & \cdots & K_{22,(m,m)} \end{bmatrix}$$

[0089]

[0090]

마지막으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템(1)중 수정된 무효 전력 정보 획득부(15)는 제2 전력 민감도와 수정된 미소 무효 전력을 이용하여 전체 발전 시스템의 수정된 무효 전력 정보를 생성할 수 있다. 이를 위해 수정된 무효 전력 정보 획득부(15)는 도 4에 도시된 바와 같이 제3 전력 민감도 정보 출력 모듈(151) 및 수정된 무효 전력 정보 생성 모듈(153)을 포함할 수 있다.

[0091]

제3 전력 민감도 정보 출력 모듈(151)은 상기 수학적 식 13을 상기 수학적 식 14 및 수학적 식 15를 이용하여 정리한 하기 수학적 식 16을 획득하고, 획득한 수학적 식 16으로부터 제3 전력 민감도를 출력할 수 있다.

### 수학적 식 16

$$\Delta Q_G^{\text{mod}} = S^{\text{mod}} \begin{bmatrix} \Delta P_L \\ \Delta Q_L \end{bmatrix} + S_{PQ} \Delta P_G^{\text{act}}$$

$$S^{\text{mod}} = [S_{21} - S_{PQ} S_{11} \mid S_{22} - S_{PQ} S_{12}]$$

[0092]

[0093]

제3 전력 민감도는 수정된 전력 민감도로 표현되며, 상술한 제2 전력 민감도와 실제 변화 유효 전력 값의 곱을 제외한 나머지를 행렬로 표시한 값이다.

[0094]

수정된 무효 전력 정보 생성 모듈(153)은 수정된 미소 무효 전력을 이용하여 전체 발전 시스템에서 전압을 간접적으로 제어하기 위해 필요한 수정된 무효 전력 정보를 생성하도록 형성된다.

[0095]

수정된 무효 전력 정보 생성 모듈(153)은 하기 수학적 식 17을 통해 간접 전압 제어를 위한 수정된 무효 전력 정보를 획득될 수 있다.

### 수학적 식 17

$$Q_G^{\text{mod}} = Q_{G,\text{operating}} + \Delta Q_G^{\text{mod}}$$

[0096]

[0097]

수학적 식 17은 수정된 무효 전력 정보는 현재 운영되고 있는 값을 주기적으로 획득하여 전달되는 현재 운영 무효



전력 값( $Q_{g, operating}$ )과 수정된 미소 무효 전력의 합으로 획득된다. 수정된 미소 무효 전력은 현재 운영 무효 전력 값과 다르게 상기 수학식 16을 통해 계산되어 획득되기 때문에 현재 운영 무효 전력 값에 비해 매우 빠른 주기로 계산 획득될 수 있다.

- [0098] 상기 수학식 17을 통해 획득되는 수정된 무효 전력 정보를 이용하면 본 발명의 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템(1)은 필요한 경우, 수정된 무효 전력 정보를 전체 발전 시스템을 구성하는 각 컨버터에 전달하여 각각의 컨버터가 투입하여야 하는 무효 전력 값을 제공하고, 이를 통해 간접적으로 전체 발전 시스템의 전압을 제어함으로써, 본 발명에서 의도하는 전체 발전 시스템의 일정한 전압 유지를 수행할 수 있다.
- [0099] 한편, 본 발명은 유사한 동작을 수행하는 다른 발명의 카테고리도 도 5 내지 도 8에 도시되고 있는 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법(10)으로 표현될 수도 있다. 이하에서는 설명의 편의상 도 1 내지 도 4의 시스템을 사용하며, 상술한 수학식 번호를 이용하여 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법(10)을 설명하도록 한다. 하지만, 본 발명은 이에 한정되는 것은 아니며, 유사한 동작 또는 처리를 수행할 수 있는 다양한 장치, 시스템 또는 단말기를 통해 수행될 수도 있다.
- [0100] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법을 나타낸 순서도이고, 도 6은 도 5의 단계 S11을 나타낸 순서도이며, 도 7은 도 5의 단계 S13을 나타낸 순서도이고, 도 8은 도 5의 단계 S15를 나타낸 순서도이다.
- [0101] 도 5를 참고하면, 본 발명의 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법(10)은 제1 전력 민감도 정보를 처리하는 단계(S11), 제2 전력 민감도 정보를 처리하는 단계(S13) 및 수정된 무효 전력 정보를 획득하는 단계(S15)를 포함하도록 형성된다.
- [0102] 본 발명의 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법(10)은 일반적으로 알려져 있는 전력 계통에서의 발전기 모션 전압에 대한 관계식을 이용하여 적어도 하나의 모션을 가지는 발전 시스템으로부터 전력 민감도를 획득하고, 획득한 전력 민감도를 이용하여 간접적으로 전압을 제어하기 위해 수정된 무효 전력을 획득하도록 형성된다. 본 발명에서 언급하고 있지는 않지만, 본 시스템은 단순히 이에 한정되지 않으며, 획득한 수정된 무효 전력 정보를 실제로 발전 시스템에 투입함으로써 발전 시스템의 전압을 일정하게 유지할 수 있는 기능도 포함할 수 있다.
- [0103] 이를 위해 제1 전력 민감도 정보를 처리하는 단계(S11)는 발전 시스템의 모션 전압에 대한 기초 전력 정보를 이용하여 제1 전력 민감도 정보 처리부를 통해 제1 전력 민감도를 획득할 수 있다. 제1 전력 민감도 정보를 처리하는 단계(S11)는 기초 전력 정보를 이용하여 제1 전력 민감도를 획득하기 위해 도 6에 도시된 바와 같이 기초 전력 정보를 획득하는 단계(S111) 및 제1 전력 민감도 정보를 계산하는 단계(S113)를 포함할 수 있다.
- [0104] 기초 전력 정보를 획득하는 단계(S111)는 기초 유효 전력 정보 및 기초 무효 전력 정보를 기초 전력 정보로 획득하도록 형성된다. 기초 전력 정보를 획득하는 단계(S111)는 상술한 바와 같이 일반적으로 알려져 있는 전력 계통에서의 발전기 모션 전압에 대한 관계식인 상기 수학식 1을 기초 전력 정보로 획득할 수 있다.
- [0105] 모션  $i$ 에 대한 유효 전력 및 무효 전력은 상술한 수학식 1로 표현된다. 기초 전력 정보를 획득하는 단계(S111)는 수학식 1을 미분하여 8개의 미분 방정식을 획득하고, 획득한 미분 방정식을 테일러 급수를 통해 확장한 후 모든 고차 항을 무시하여 상기 수학식 2로 표현되는 행렬로 기초 전력 정보를 변환할 수 있다.
- [0106] 한편, 기초 전력 정보를 획득하는 단계(S111)를 통해 획득된 기초 전력 정보 행렬식은 후술되는 제1 전력 민감도 정보를 계산하는 단계(S113)로 전달된다. 발전 시스템에서의 발전이 안정된 상태에 도달하면, 수학식 2로 표현되는 기초 전력 정보 행렬식에서 자코비안 행렬  $J$ 를 제외한 나머지 요인들 역시 0에 아주 근접하게 된다. 이후에는 전압 값의 변화가 미세하게 나타나는 경우에도 특정 기준 값을 초과하지 않는다면 미소 유효 전력과 미소 무효 전력은 선형적으로 반응하게 된다. 본 발명의 제1 전력 민감도 정보를 계산하는 단계(S113)는 이러한 특징을 이용하여 제1 전력 민감도 정보를 계산하도록 형성된다. 제1 전력 민감도 정보를 계산하는 단계(S113)는 수학식 2를 상기 수학식 3으로 변형할 수 있다.
- [0107] 이는 수학식 2에서 양 측에 자코비안 행렬의 역행렬을 취하여 정리한 행렬식이며, 수학식 3은 제1 전력 민감도 정보를 계산하는 단계(S113)에서 전체 모션과 발전기 모션의 수를 이용하여 상기 수학식 4로 표현될 수 있다.
- [0108] 이때, 상술한 바와 같이 발전 시스템이 안정된 상태(변화량이 특정 기준 값을 넘지 않는 상태)인 경우 전압 변화와 위상 변화는 0이 되기 때문에 본 발명의 제1 전력 민감도 계산 모듈(113)은 수학식 4를 상기 수학식 5로 표현할 수 있으며, 수학식 5로부터 상기 수학식 6의 제1 전력 민감도를 계산할 수 있다. 제1 전력 민감도는 부

하와 발전기 사이의 민감도를 의미한다.

- [0109] 본 발명의 제1 전력 민감도 정보를 처리하는 단계(S11)는 최초 자코비안 행렬의 차원(디멘션)을 동일하게 가져와 역행렬  $K$  및 제1 전력 민감도 행렬에 적용하였다.
- [0110] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법(10)에 포함되는 제2 전력 민감도 정보를 처리하는 단계(S13)는 기초 전력 정보를 이용하여 제2 전력 민감도 정보 처리부를 통해 미소 기초 전력 정보를 계산하고, 미소 전압 편차 계산 결과를 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하도록 형성된다. 이를 위해 일 실시예의 제2 전력 민감도 정보를 처리하는 단계(S13)는 도 7에 도시된 바와 같이 미소 기초 전력 정보를 계산하는 단계(S131), 미소 전압 편차를 계산하는 단계(S133), 수정된 미소 무효 전력 정보를 출력하는 단계(S135) 및 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계(S137)를 포함할 수 있다.
- [0111] 미소 기초 전력 정보를 계산하는 단계(S131)는 기초 전력 정보 중 기초 유효 전력 정보 및 기초 무효 전력 정보를 이용하여 미소 기초 전력 정보를 계산하도록 형성된다. 미소 기초 전력 정보를 계산하는 단계(S131)는 상기 수학적식 5에 상기 수학적식 6을 적용하고 기초 유효 전력과 기초 무효 전력을 각각 계산하여 미소 기초 유효 전력과 미소 기초 무효 전력 정보를 상기 수학적식 7로 표현하도록 형성된다.
- [0112] 미소 기초 전력 정보를 계산하는 단계(S131)에서 수학적식 7을 통해 미소 기초 유효 전력 및 미소 기초 무효 전력을 획득하면, 미소 전압 편차를 계산하는 단계(S133)는 실제 유효 전력 부족으로 발생하는 미소 전압 편차를 계산하도록 형성된다.
- [0113] 미소 전압 편차를 계산하는 단계(S133)는 EMS 등과 같이 발전 시스템을 제어할 수 있는 외부 시스템으로부터 획득하는 제어 정보와 실제 변경된 값의 차이를 이용하여 미소 전압 편차를 획득할 수 있으며, 이는 상기 수학적식 8로 표현될 수 있다.
- [0114] 또, 상술한 수학적식 3을 참고하면, 전압 차이는 무효 전력을 이용하여 변경될 수도 있다. 따라서, 본 발명의 미소 전압 편차를 계산하는 단계(S133)는 무효 전력 주입량의 변경을 이용하여 미소 전압 편차를 계산할 수도 있으며, 이는 상기 수학적식 9로 표현될 수 있다.
- [0115] 미소 전압 편차를 계산하는 단계(S133)는 유효 전력의 차이로 인해(실제 변화 유효 전력 값과 제어 정보의 차이) 발생하는 미소 전압 편차를 0으로 만들기 위해 상기 수학적식 8과 수학적식 9를 이용하여 상기 수학적식 10을 획득할 수 있다.
- [0116] 수정된 미소 무효 전력 정보를 출력하는 단계(S135)는 미소 전압 편차를 계산하는 단계(S133)에서 획득한 상기 수학적식 10을 이용하여 수정된 미소 무효 전력 정보를 생성하고 출력할 수 있다.
- [0117] 수정된 미소 무효 전력 정보를 출력하는 단계(S135)는 수학적식 10에 상기 수학적식 8 및 9를 적용하여 상기 수학적식 10을 무효 전력과 유효 전력 사이의 관계식인 상기 수학적식 11로 변형할 수 있다.
- [0118] 상기 수학적식 11은 수학적식 10의 좌변을 수학적식 9의 우변으로 대치하고, 수학적식 10의 우변을 수학적식 8의 우변으로 대치한 결과에서 좌변을 추가 미소 무효 전력으로 정리한 관계식이다. 이를 통해, 현재 발전 시스템의 발전 전압을 유지하기 위해 필요한 추가 미소 무효 전력은 상기 수학적식 11을 통해 획득될 수 있다.
- [0119] 추가 미소 무효 전력은 후술되는 수정된 미소 무효 전력 정보를 출력하기 위해 사용된다. 수정된 미소 무효 전력 정보를 출력하는 단계(S135)는 수학적식 11을 통해 획득되는 전압 변화에 대응하기 위한 추가 미소 무효 전력을 수학적식 7에서 기 결정된 미소 무효 전력에 더함으로써 수정된 미소 무효 전력을 획득할 수 있으며, 수정된 미소 무효 전력은 상기 수학적식 12로 표현될 수 있다.
- [0120] 상술한 수학적식 12는 모션  $i$ 에 대한 수정된 미소 무효 전력이기 때문에, 이를 전체 발전 시스템으로 확장 적용하면 전체 발전 시스템에 대한 수정된 미소 무효 전력은 상기 수학적식 13으로 표현될 수 있다.
- [0121] 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계(S137)는 수정된 미소 무효 전력을 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산하기 위해 형성된다. 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계(S137)는 수학적식 13을 통해 획득되는 전체 발전 시스템에 대한 수정된 미소 무효 전력을 이용하여 제2 전력 민감도 정보를 계산한다.
- [0122] 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계(S137)는 제2 전력 민감도 정보를 계산하기 위해 수학적식 7, 수학적식 11 및 수학적식 13을 이용할 수 있다. 수학적식 7과 수학적식 11을 전체 발전 시스템에 대한 무효 전력 관계식으로 변환하면 상기 수학적식 14로 표현된다.



- [0123] 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계(S137)는 상기 수학적 식 14중 추가 미소 무효 전력에 대한 식에서 제2 전력 민감도 정보를 계산할 수 있다. 제2 전력 민감도 정보는 미소 유효 전력과 관계된 값(실제 변화 유효 전력 값과 제어 정보에 포함된 변화 지시 전력 값)을 미소 무효 전력으로 변환시키기 위한 행렬이며, 특히 제2 전력 민감도는 유효 전력과 무효 전력 사이의 민감도( $S_{PQ}$ )로 정의될 수 있다. 제2 전력 민감도 정보를 계산하는 단계(S137)는 상기 수학적 식 15를 통해 제2 전력 민감도를 계산할 수 있다.
- [0124] 마지막으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법(10)중 수정된 무효 전력 정보를 획득하는 단계(S15)는 수정된 무효 전력 정보 획득부를 통해 제2 전력 민감도와 수정된 미소 무효 전력을 이용하여 전체 발전 시스템의 수정된 무효 전력 정보를 생성할 수 있다. 이를 위해 수정된 무효 전력 정보를 획득하는 단계(S15)는 도 8에 도시된 바와 같이 제3 전력 민감도 정보를 출력하는 단계(S151) 및 수정된 무효 전력 정보를 생성하는 단계(S153)를 포함할 수 있다.
- [0125] 제3 전력 민감도 정보를 출력하는 단계(S151)는 상기 수학적 식 13을 상기 수학적 식 14 및 수학적 식 15를 이용하여 정리한 상기 수학적 식 16을 획득하고, 획득한 수학적 식 16으로부터 제3 전력 민감도를 출력할 수 있다.
- [0126] 제3 전력 민감도는 수정된 전력 민감도로 표현되며, 상술한 제2 전력 민감도와 실제 변화 유효 전력 값의 곱을 제외한 나머지를 행렬로 표시한 값이다.
- [0127] 수정된 무효 전력 정보를 생성하는 단계(S153)는 수정된 미소 무효 전력을 이용하여 전체 발전 시스템에서 전압을 간접적으로 제어하기 위해 필요한 수정된 무효 전력 정보를 생성하도록 형성된다.
- [0128] 수정된 무효 전력 정보를 생성하는 단계(S153)는 상기 수학적 식 17을 통해 간접 전압 제어를 위한 수정된 무효 전력 정보를 획득될 수 있다.
- [0129] 수학적 식 17은 수정된 무효 전력 정보는 현재 운영되고 있는 값을 주기적으로 획득하여 전달되는 현재 운영 무효 전력 값( $Q_{G, operating}$ )과 수정된 미소 무효 전력의 합으로 획득된다. 수정된 미소 무효 전력은 현재 운영 무효 전력 값과 다르게 상기 수학적 식 16을 통해 계산되어 획득되기 때문에 현재 운영 무효 전력 값에 비해 매우 빠른 주기로 계산 획득될 수 있다.
- [0130] 상기 수학적 식 17을 통해 획득되는 수정된 무효 전력 정보를 이용하면 본 발명의 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 방법(10)은 필요한 경우, 수정된 무효 전력 정보를 전체 발전 시스템을 구성하는 각 컨버터로 전달하여 각각의 컨버터가 투입하여야 하는 무효 전력 값을 제공하고, 이를 통해 간접적으로 전체 발전 시스템의 전압을 제어함으로써, 본 발명에서 의도하는 전체 발전 시스템의 일정한 전압 유지를 수행할 수 있다.
- [0131] 이상에서 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명하였으나, 본 발명의 사상은 본 명세서에 제시되는 실시 예에 제한되지 아니하며, 본 발명의 사상을 이해하는 당업자는 동일한 사상의 범위 내에서, 구성요소의 부가, 변경, 삭제, 추가 등에 의해서 다른 실시 예를 용이하게 제안할 수 있을 것이나, 이 또한 본 발명의 사상범위 내에 든다고 할 것이다.

## 부호의 설명

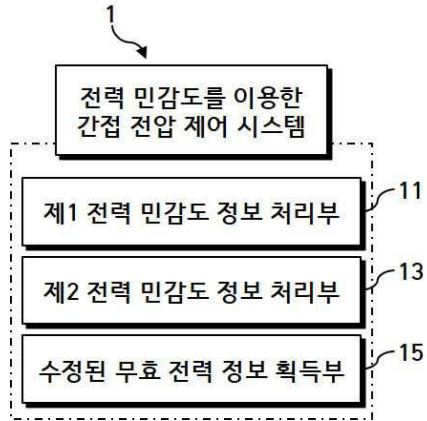
- [0132] 1: 전력 민감도를 이용한 간접 전압 제어 시스템
- 11: 제1 전력 민감도 정보 처리부
- 13: 제2 전력 민감도 정보 처리부
- 15: 수정된 무효 전력 정보 획득부
- 111: 기초 전력 정보 획득 모듈
- 113: 제1 전력 민감도 정보 계산 모듈
- 131: 미소 기초 전력 정보 계산 모듈
- 133: 미소 전압 편차 계산 모듈
- 135: 미소 수정된 무효 전력 정보 출력 모듈
- 137: 제2 전력 민감도 정보 계산 모듈

151: 제3 전력 민감도 정보 출력 모듈

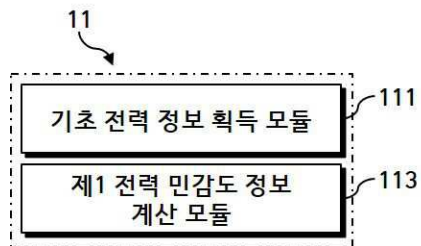
153: 수정된 전체 무효 전력 정보 생성 모듈

## 도면

### 도면1



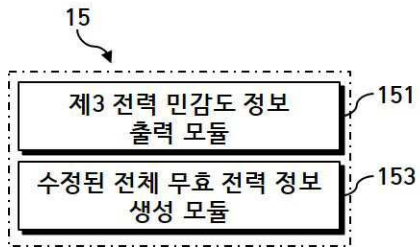
### 도면2



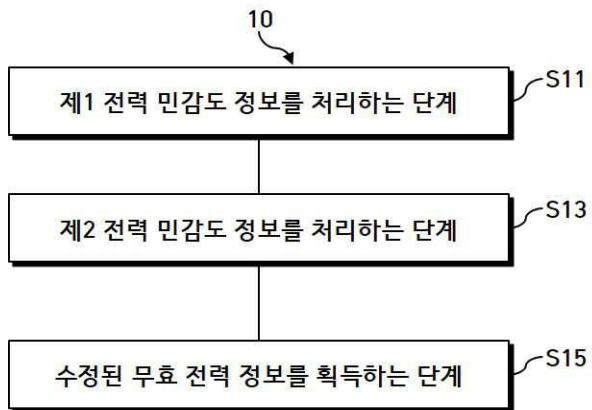
### 도면3



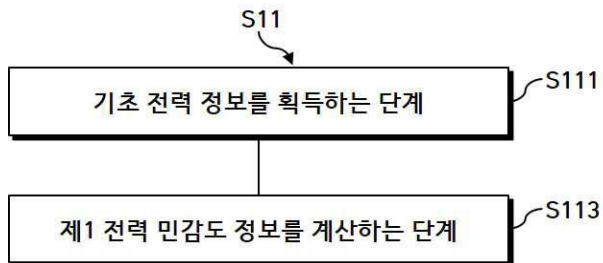
도면4



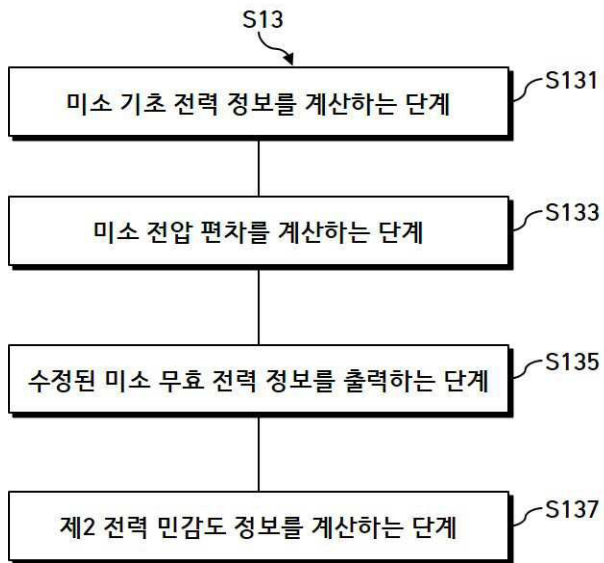
도면5



도면6



도면7



도면8

