



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0133679
(43) 공개일자 2023년09월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 3/38 (2022.01) G06Q 50/06 (2012.01)
H02J 3/00 (2006.01) H02J 3/18 (2019.01)
(52) CPC특허분류
H02J 3/381 (2023.08)
G06Q 50/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0030941
(22) 출원일자 2022년03월11일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국전력공사
전라남도 나주시 전력로 55(빛가람동)
한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
정승민
대전광역시 유성구 노은동로 111, 1005동 1102호
(노은동, 열매마을 10단지아파트)
(74) 대리인
특허법인 정안

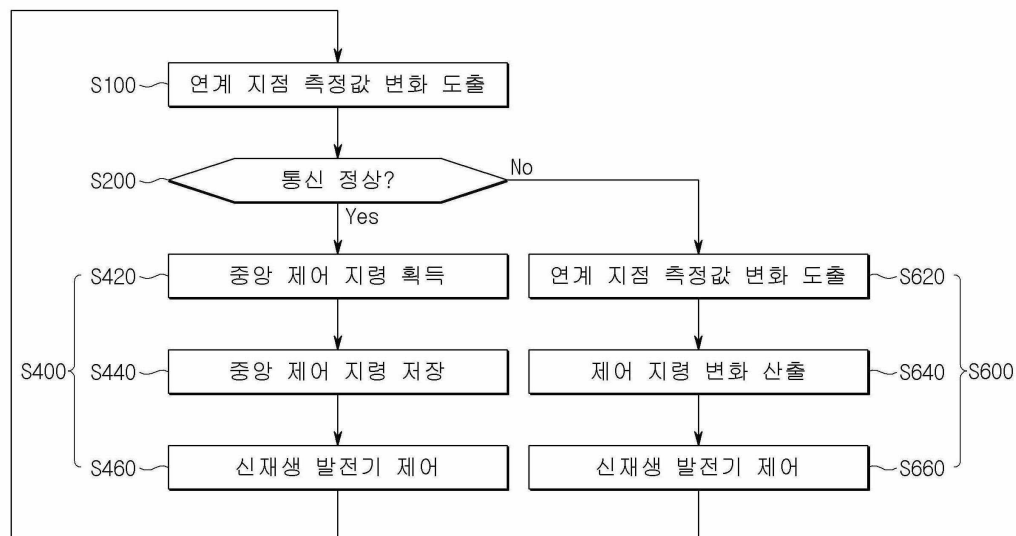
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명의 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 방법은, 신재생 발전기의 발전량과 연계된 계통의 상태 데이터 (발전기 유효전력 출력 지령, 발전기 무효전력 출력 지령, 발전기 연계지점 전압, 연계지점 유효전력 정보, 연계 지점 무효전력 정보 중 적어도 2 이상)를 입력받는 데이터입력 단계; 통신오류가 발생되지 않으면, 상기 데이터 입력 단계에서 입력받은 데이터를 이용하여 도출된 중앙 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하는 단계; 및 통신오류가 발생되면, 신재생 발전기의 발전량 및 상기 계통의 상태 데이터에 대한 적어도 하나 이상의 정보를 기반으로 독자적인 대처를 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도7



(52) CPC특허분류

H02J 3/001 (2023.08)

H02J 3/18 (2023.08)

H02J 2300/28 (2023.08)

Y02E 10/70 (2013.01)

Y04S 10/123 (2020.08)

Y04S 40/00 (2020.08)

명세서

청구범위

청구항 1

신재생 발전기의 발전량과 연계된 계통의 상태 데이터(발전기 유효전력 출력 지령, 발전기 무효전력 출력 지령, 발전기 연계지점 전압, 연계지점 유효전력 정보, 연계지점 무효전력 정보 중 적어도 2 이상)를 입력받는 데이터 입력 단계;

통신오류가 발생되지 않으면, 상기 데이터입력 단계에서 입력받은 데이터를 이용하여 도출된 중앙 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하는 단계; 및

통신오류가 발생되면, 신재생 발전기의 발전량 및 상기 계통의 상태 데이터에 대한 적어도 하나 이상의 정보를 기반으로 독자적인 대처를 수행하는 단계

를 포함하는 신재생 발전기 제어 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 독자적인 대처를 수행하는 단계는,

상기 신재생 발전기가 독자적으로 측정 가능한 정보를 바탕으로, 전압변동 발생시, 통신 오류에 의해 상기 중앙 제어 지령에 변동이 없으면, 제어 지령을 개별적으로 변경하는 방식으로 운영되는 신재생 발전기 제어 방법.

.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 독자적인 대처를 수행하는 단계는,

상기 신재생 발전기 연계지점의 전압 및 전류의 측정값 변화로부터, 상기 신재생 발전기의 상기 중앙 제어 지령의 변화를 추정하는 신재생 발전기 제어 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 발전기 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하는 단계는,

통신 오류가 없으면 발전 단지에 대한 중앙 제어 서버가 생성한 상기 중앙 제어 지령을 획득하는 단계;

상기 중앙 제어 지령을 저장하는 단계; 및

상기 중앙 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하는 단계

를 포함하는 신재생 발전기 제어 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 독자적인 대처를 수행하는 단계는,

상기 신재생 발전기의 계통과의 연계 지점의 전압 및 전류의 측정값을 획득하고, 변화를 도출하는 단계;

상기 측정값의 변화로부터 상기 중앙 제어 지령의 변화를 예상하는 단계; 및

상기 제어 지령의 변화를 이전 시점의 상기 중앙 제어 지령에 반영하여 생성한 독자 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하는 단계

를 포함하는 신재생 발전기 제어 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 독자적인 대치를 수행하는 단계는,

상기 연계 지점의 전압에 따라 계통 안정성을 확인하고, 기존의 무효전력 제어의 목적함수를 준수하는 범위에서 무효전력 공급을 수행하는 신재생 발전기 제어 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 독자적인 대치를 수행하는 단계에서는,

하기 수학식에 따른 목적함수를 준수한 상태에서 전압 회복에 필요한 무효전력 출력 지령을 독자적으로 갱신하는 신재생 발전기 제어 방법.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\delta} & J_{PU} \\ J_{Q\delta} & J_{QU} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta U}{U} \end{bmatrix}$$

$$\Delta Q_{req} = \left(J_{QU} - J_{Q\delta} \frac{J_{PU}}{J_{P\delta}} \right) \cdot \frac{\Delta U}{U}$$

$$\Delta Q_{req} = \Delta Q_{Gn} + \Delta Q_{n-n+1} + \Delta Q_{Cn}$$

(Q_{Gn} 은 노드 n에서의 풍력 발전기의 무효전력 공급량, Q_{nn+1} 은 노드 n과 n+1 사이의 무효전력 흐름, Q_{Cn} 은 선로의 커패시턴스에서 발생하는 노드 n에서 무효전력 주입량, J는 계통의 자코비안 행렬 상수, U는 연계지점 전압, δ 는 위상각 정보)

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 독자적인 대치를 수행하는 단계에서는,

하기 수학식에 따라 독자 제어 지령을 결정하는 신재생 발전기 제어 방법.

$$Q'_{Gn} = Q_{Gn} + \eta_{ln} \left[\left(J_{QU} - J_{Q\delta} \frac{J_{PU}}{J_{P\delta}} \right) \cdot \frac{\Delta U}{U} - \Delta Q_{n-n+1} \right]$$

(η : 무효전력 공급에 대한 지분)

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 독자적인 대치를 수행하는 단계에서는,

하기 수학식에 따른 목적함수를 준수한 상태에서 전류 손실을 최소화하는 무효전력 출력 지령을 독자적으로 갱신하는 신재생 발전기 제어 방법.

$$Q_n = \frac{\sqrt{r_{n \cdot n+1}}}{\sqrt{r_{con \cdot n}} + \sqrt{r_{n \cdot n+1}}} \cdot Q_{req}$$

$$Q_{reqn} = \frac{\sqrt{r_{con \cdot n}}}{\sqrt{r_{con \cdot n}} + \sqrt{r_{n \cdot n+1}}} \cdot Q_{req}$$

$$\text{Min} \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N r_{n \cdot n-1} \cdot \frac{P_{ref \cdot n}^2 + Q_{ref \cdot n}^2}{V_{n \cdot n-1}^2}$$

(P_{ref} , Q_{ref} 는 풍력발전기에 입력되는 최대출력추종제어(MPPT) 계산 값 또는 최대 출력 지령과 무효전력 지령을 나타내고, V_n 은 n 지점에서의 전압변동, r 은 케이블 저항성분)

청구항 10

발전 단지의 중앙 제어 서버와 통신을 수행하기 위한 통신부;

상기 통신부를 통해, 신재생 발전기의 발전량과 연계된 계통의 상태 데이터(발전기 유효전력 출력 지령, 발전기 무효전력 출력 지령, 발전기 연계지점 전압, 연계지점 유효전력 정보, 연계지점 무효전력 정보 중 적어도 2 이상)를 입력받는 발전 단지 데이터 접수부;

상기 계통의 상태 데이터 및 상기 상태 데이터로부터 도출되는 중앙 제어 지령을 저장하는 저장부;

상기 신재생 발전기의 계통과의 연계 지점의 측정값 변화를 도출하는 연계 지점 측정값 변화 도출부;

상기 측정값 변화로부터 예상되는 상기 중앙 제어 지령의 변화를 산출하는 제어 지령 변화 산출부; 및

상기 통신부에서 통신오류가 발생되지 않으면, 상기 중앙 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하고, 통신오류가 발생되면, 상기 중앙 제어 지령의 변화를 이용하여 독자적인 제어를 수행하는 발전 제어부

를 포함하는 신재생 발전기 제어 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 발전 제어부는,

상기 신재생 발전기가 독자적으로 측정 가능한 정보를 바탕으로, 전압변동 발생시, 통신 오류에 의해 상기 중앙 제어 지령에 변동이 없으면, 제어 지령을 개별적으로 변경하는 신재생 발전기 제어 장치.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 발전 제어부는,

상기 신재생 발전기 연계지점의 전압 및 전류의 측정값 변화로부터, 상기 신재생 발전기에 대한 상기 중앙 제어 지령의 변화를 추정하고,

상기 제어 지령의 변화를 이전 시점의 상기 중앙 제어 지령에 반영하여 생성한 독자 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하는 신재생 발전기 제어 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 발전 제어부는,

상기 연계 지점의 전압에 따라 계통 안정성을 확인하고, 기존의 무효전력 제어의 목적함수를 준수하는 범위에서 무효전력 공급을 수행하는 신재생 발전기 제어 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 발전 제어부는,

하기 수학식에 따른 목적함수를 준수한 상태에서 전압 회복에 필요한 무효전력 출력 지령을 독자적으로 갱신하는 신재생 발전기 제어 장치.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\delta} & J_{PU} \\ J_{Q\delta} & J_{QU} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta U}{U} \end{bmatrix}$$

$$\Delta Q_{req} = \left(J_{QU} - J_{Q\delta} \frac{J_{PU}}{J_{P\delta}} \right) \cdot \frac{\Delta U}{U}$$

$$\Delta Q_{req} = \Delta Q_{Gn} + \Delta Q_{n-n+1} + \Delta Q_{Cn}$$

(Q_{Gn} 은 노드 n에서의 풍력 발전기의 무효전력 공급량, Q_{nn+1} 은 노드 n과 n+1 사이의 무효전력 흐름, Q_{Cn} 은 선로의 커패시턴스에서 발생하는 노드 n에서 무효전력 주입량, J는 계통의 자코비안 행렬 상수, U는 연계지점 전압, δ 는 위상각 정보)

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 발전 제어부는,

하기 수학식에 따라 독자 제어 지령을 결정하는 신재생 발전기 제어 장치.

$$Q'_{Gn} = Q_{Gn} + \eta_{ln} \left[\left(J_{QU} - J_{Q\delta} \frac{J_{PU}}{J_{P\delta}} \right) \cdot \frac{\Delta U}{U} - \Delta Q_{n-n+1} \right]$$

(η : 무효전력 공급에 대한 지분)

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 광범위 분산전원 발전단지에서 통신오류가 발생시 지령을 보정하는 방식으로 독자적으로 제어하는 신재생 발전기 제어 방법 및 장치에 관한 것으로, 특히 풍력발전단지에서 개별 풍력 발전기(터빈)에 대한 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 탄소 중립에 대한 중요성이 대두되면서 신재생 에너지에 대한 관심이 증가하고 있으며, 최근 보급이 가속화되고 있는, 신재생에너지원(분산전원)의 경우, 발전단지 및 인프라 구성과정에서 일반적으로 통신오류가 빈번하게 발생될 수 있는 광범위한 지역에 구성되기 때문에, 각 제어 신호의 생성·전달과정에 오차가 있을 수 있다.

[0003] 도 1은 신재생에너지 관리시스템 데이터 취득 구조를 도시한 구성도이다.

[0004] 도시한 구성에서는 각 제어관리시스템 전용으로 SCADA 시스템을 구축하여 활용할 수 있으나, 모니터링 대상이 많고, 대상 기기의 다양화·복잡화로 인해 변수가 확대되고 있는 상황이다.

[0005] 실제 신재생에너지 대상 EMS 시스템을 확인하면, 하기 표 1에 예시한 제주지역 데이터 누락 사례와 같이, 통신 오류에 의한 공란이 빈번하며 이러한 상황에서의 제어 어려움으로 인해 신뢰성 감소가 우려되는 상황이다.

표 1

9240	1.182	0.06	22.908
9241	2.495	0.06	22.921
9242	5.456	0.06	22.887
9243	1.674	0	0
9244	2.852	0	0
9245	3.046	0	0
9246	4.542	0	0
9247	4.542	0	0
9248	1.09	0	0
9249	5.071	0	0
9250	4.257	0	0
9251	4.181	0	0
9252	4.564	0	0
9253	5.82	0	0
9254	6.877	0	0
9255	5.724	0	0
9256	8.314	0	0
9257	9.49	0	0
9258	10.303	0	0

[0006]

[0007] 이에 대한 추가 보상 조치를 구성하지 않을 경우, 실제 전력 제어 과정에서 부적절한 결과가 발생할 수 있다.

[0008] 도 2는 대규모 풍력발전단지에서의 주요 고려 대상을 나타낸 개념도이다.

[0009] 대규모 풍력발전단지의 경우 광역으로 구성되고, 개별 제어 신호가 안정적으로 전송되어야, Curtailment(출력제한), 저전압 대응 지령을 수월하게 전달할 수 있으며, 이러한 상황에 대비하기 위한 방안이 도출될 것이 요망된다.

[0010] 도 2에 도시한 바와 같은 구조는 하나의 Closed-control을 형성하게 되나, 특정 지점의 오류로 인해 계통 정보 및 지령을 반영할 수 없을 수 있으며, 최근 중앙제어형 발전단지 구조에서는 치명적인 상황이 유발될 수 있다.

[0011] 도 3은 풍력발전단지 통신오류 발생 시 취약부분을 나타내는 구성도이다.

[0012] 특히, 최근 복잡화되고 있는 풍력발전단지 무효전력 제어관리방법에서 특정 목적함수를 고려할 경우, 도 3과 같은 구조에서 통신오류 발생 시, 지령 추종이 어렵고, 통신오류가 지속될 경우, 계통의 전압변동에 유연하게 대처할 수 없어 이에 대한 대책이 필요한 상황이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 대한민국 등록공보 10-2071469호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명은 통신오류 상황에서도 안정적으로 목적함수를 유지하면서 발전 제어에 대한 지령을 획득할 수 있는 신재생 발전기 제어 방법 및 장치를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 본 발명의 일 측면에 따른 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 방법은, 신재생 발전기의 발전량과 연계된 계통의 상태 데이터(발전기 유효전력 출력 지령, 발전기 무효전력 출력 지령, 발전기 연계지점 전압, 연계지점 유효전력 정보, 연계지점 무효전력 정보 중 적어도 2 이상)를 입력받는 데이터입력 단계; 통신오류가 발생되지 않으면, 상기 데이터입력 단계에서 입력받은 데이터를 이용하여 도출된 중앙 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하는 단계; 및 통신오류가 발생되면, 신재생 발전기의 발전량 및 상기 계통의 상태 데이터에 대한 적어도 하나 이상의 정보를 기반으로 독자적인 대치를 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 여기서, 상기 독자적인 대치를 수행하는 단계는, 상기 신재생 발전기가 독자적으로 측정 가능한 정보를 바탕으로, 전압변동 발생시, 통신 오류에 의해 상기 중앙 제어 지령에 변동이 없으면, 제어 지령을 개별적으로 변경하는 방식으로 운영될 수 있다.

[0017] 여기서, 상기 독자적인 대치를 수행하는 단계는, 상기 신재생 발전기 연계지점의 전압 및 전류의 측정값 변화로부터, 상기 신재생 발전기의 상기 중앙 제어 지령의 변화를 추정할 수 있다.

[0018] 여기서, 상기 발전기 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하는 단계는, 통신 오류가 없으면 발전 단계에 대한 중앙 제어 서버가 생성한 상기 중앙 제어 지령을 획득하는 단계; 상기 중앙 제어 지령을 저장하는 단계; 및 상기 중앙 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하는 단계를 포함할 수 있다.

[0019] 여기서, 상기 독자적인 대치를 수행하는 단계는, 상기 신재생 발전기의 계통과의 연계 지점의 전압 및 전류의 측정값을 획득하고, 변화를 도출하는 단계; 상기 측정값의 변화로부터 상기 중앙 제어 지령의 변화를 예상하는 단계; 및 상기 제어 지령의 변화를 이전 시점의 상기 중앙 제어 지령에 반영하여 생성한 독자 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 여기서, 상기 독자적인 대치를 수행하는 단계는, 상기 연계 지점의 전압에 따라 계통 안정성을 확인하고, 기존의 무효전력 제어의 목적함수를 준수하는 범위에서 무효전력 공급을 수행할 수 있다.

[0021] 여기서, 상기 독자적인 대치를 수행하는 단계에서는, 하기 수학적식에 따른 목적함수를 준수한 상태에서 전압 회복에 필요한 무효전력 출력 지령을 독자적으로 갱신할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\delta} & J_{PU} \\ J_{Q\delta} & J_{QU} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta U}{U} \end{bmatrix}$$

$$\Delta Q_{req} = \left(J_{QU} - J_{Q\delta} \frac{J_{PU}}{J_{P\delta}} \right) \cdot \frac{\Delta U}{U}$$

$$\Delta Q_{req} = \Delta Q_{Gn} + \Delta Q_{n-n+1} + \Delta Q_{Cn}$$

[0022]

[0023] (Q_{Gn} 은 노드 n에서의 풍력 발전기의 무효전력 공급량, Q_{n-n+1} 은 노드 n과 n+1 사이의 무효전력 흐름, Q_{Cn} 은 선로의

커패시턴스에서 발생하는 노드 n에서 무효전력 주입량, J는 계통의 자코비안 행렬 상수, U는 연계지점 전압, δ 는 위상각 정보)

[0024] 여기서, 상기 독자적인 대치를 수행하는 단계에서는, 하기 수학식에 따라 독자 제어 지령을 결정할 수 있다.

$$Q'_{Gn} = Q_{Gn} + \eta_{ln} \left[\left(J_{QU} - J_{Q\delta} \frac{J_{PU}}{J_{P\delta}} \right) \cdot \frac{\Delta U}{U} - \Delta Q_{n \cdot n+1} \right]$$

[0025] (η_n : 무효전력 공급에 대한 지분)

[0026] 여기서, 상기 독자적인 대치를 수행하는 단계에서는, 하기 수학식에 따른 목적함수를 준수한 상태에서 전류 손실을 최소화하는 무효전력 출력 지령을 독자적으로 갱신할 수 있다.

$$Q_n = \frac{\sqrt{r_{n \cdot n+1}}}{\sqrt{r_{con \cdot n}} + \sqrt{r_{n \cdot n+1}}} \cdot Q_{req}$$

$$Q_{reqn} = \frac{\sqrt{r_{con \cdot n}}}{\sqrt{r_{con \cdot n}} + \sqrt{r_{n \cdot n+1}}} \cdot Q_{req}$$

$$\text{Min} \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N r_{n \cdot n-1} \cdot \frac{P_{ref \cdot n}^2 + Q_{ref \cdot n}^2}{V_{n \cdot n-1}^2}$$

[0028] (P_{ref} , Q_{ref} 는 풍력발전기에 입력되는 최대출력추종제어(MPPT) 계산 값 또는 최대 출력 지령과 무효전력 지령을 나타내고, V_n 은 n 지점에서의 전압변동, r은 케이블 저항성분)

[0031] 본 발명의 다른 측면에 따른 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 장치는, 발전 단지의 중앙 제어 서버와 통신을 수행하기 위한 통신부; 상기 통신부를 통해, 신재생 발전기의 발전량과 연계된 계통의 상태 데이터(발전기 유효전력 출력 지령, 발전기 무효전력 출력 지령, 발전기 연계지점 전압, 연계지점 유효전력 정보, 연계지점 무효전력 정보 중 적어도 2 이상)를 입력받는 발전 단지 데이터 접수부; 상기 계통의 상태 데이터 및 상기 상태 데이터로부터 도출되는 중앙 제어 지령을 저장하는 저장부; 상기 신재생 발전기의 계통과의 연계 지점의 측정값 변화를 도출하는 연계 지점 측정값 변화 도출부; 상기 측정값 변화로부터 예상되는 상기 중앙 제어 지령의 변화를 산출하는 제어 지령 변화 산출부; 및 상기 통신부에서 통신오류가 발생되지 않으면, 상기 중앙 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하고, 통신오류가 발생되면, 상기 중앙 제어 지령의 변화를 이용하여 독자적인 제어를 수행하는 발전 제어부를 포함할 수 있다.

[0032] 여기서, 상기 발전 제어부는, 상기 신재생 발전기가 독자적으로 측정 가능한 정보를 바탕으로, 전압변동 발생시, 통신 오류에 의해 상기 중앙 제어 지령에 변동이 없으면, 제어 지령을 개별적으로 변경할 수 있다.

[0033] 여기서, 상기 발전 제어부는, 상기 신재생 발전기 연계지점의 전압 및 전류의 측정값 변화로부터, 상기 신재생 발전기에 대한 상기 중앙 제어 지령의 변화를 추정하고, 상기 제어 지령의 변화를 이전 시점의 상기 중앙 제어 지령에 반영하여 생성한 독자 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어할 수 있다.

[0034] 여기서, 상기 발전 제어부는, 상기 연계 지점의 전압에 따라 계통 안정성을 확인하고, 기존의 무효전력 제어의 목적함수를 준수하는 범위에서 무효전력 공급을 수행할 수 있다.

[0035] 여기서, 상기 발전 제어부는, 하기 수학식에 따른 목적함수를 준수한 상태에서 전압 회복에 필요한 무효전력 출력 지령을 독자적으로 갱신할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\delta} & J_{PU} \\ J_{Q\delta} & J_{QU} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta U}{U} \end{bmatrix}$$

$$\Delta Q_{req} = \left(J_{QU} - J_{Q\delta} \frac{J_{PU}}{J_{P\delta}} \right) \cdot \frac{\Delta U}{U}$$

$$\Delta Q_{req} = \Delta Q_{Gn} + \Delta Q_{n-n+1} + \Delta Q_{Cn}$$

[0036]

[0037]

여기서, 상기 발전 제어부는, 하기 수학식에 따라 독자 제어 지령을 결정할 수 있다.

$$Q'_{Gn} = Q_{Gn} + \eta_{ln} \left[\left(J_{QU} - J_{Q\delta} \frac{J_{PU}}{J_{P\delta}} \right) \cdot \frac{\Delta U}{U} - \Delta Q_{n-n+1} \right]$$

[0038]

발명의 효과

[0039]

상술한 구성의 본 발명의 사상에 따른 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 방법 및/또는 장치를 실시하면, 통신오류 상황에서도 안정적으로 목적함수를 유지하면서 발전 제어에 대한 지령을 획득하여 신재생 발전기의 발전을 수행할 수 있는 이점이 있다.

[0040]

본 발명의 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 방법 및/또는 장치는, 광범위 영역으로 구성된 풍력발전단지 운영 중 통신오류가 발생했을 시, 터빈 발전 지령을 보완할 수 있는 이점이 있다.

[0041]

본 발명의 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 방법 및/또는 장치는, 계통의 안정적인 운영에 주목하여 전압 변동 발생 시, 자체적으로 적절한 무효전력 값을 추종 및 산정하여 개별 풍력발전기에 지령으로 할당할 수 있는 이점이 있다.

[0042]

본 발명의 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 방법 및/또는 장치는, 통신오류 상황이 입력되는 비상시에도 자체적 판단으로 필요한 무효전력 공급량을 도출할 수 있는 이점이 있다.

[0043]

본 발명의 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 방법 및/또는 장치는, 제어 지연상태를 인지한 후에 자체적인 지령 수정을 진행함에 따라 무효전력 지령이 보상되어, 연계지점의 전압 또한 빠르게 안정되는 이점이 있다.

[0044]

본 발명의 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 방법 및/또는 장치는, 지령 수정(보상)에 대한 time delay 및 전압 변동이 국내 규정에 위반되지 않도록 완화할 수 있는 이점이 있다.

[0045]

본 발명의 통신오류에 대비한 신재생 발전기 제어 방법 및/또는 장치는, 풍력발전단지의 운영 측면에서 안정성 확대를 위해 활용이 가능하며, 기존 중앙 관리시스템에 대해 사업화가 가능한 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0046]

도 1은 신재생에너지 관리시스템 데이터 취득 구조를 도시한 구성도.

도 2는 대규모 풍력발전단지에서의 주요 고려 대상을 나타낸 개념도.

도 3은 풍력발전단지 통신오류 발생 시 취약부분을 나타내는 구성도.

도 4는 풍력발전단지 중앙제어형 관리구조에서의 유효전력/무효전력 지령 전달 차이를 표현한 개념도.

도 5는 통신 오류 상태에서도 풍력발전시스템에 지속적·실시간으로 무효전력을 할당하기 위한 독자 대처 방법의 전체 개념도.

도 6은 목적함수 도입 상황에서 통신오류 발생 시 수정 개념을 표현한 개념도.

도 7은 본 발명의 사상에 따른 독자 대처가 가능한 신재생 발전기 제어 방법의 일 실시예를 도시한 흐름도.

도 8은 도 7의 신재생 발전기 제어 방법을 수행할 수 있는 신재생 발전기 제어 장치의 일 실시예를 도시한 블록도.

도 9은 본 발명의 사상에 따른 통신오류 보정 방법의 효과를 검증하도록 설계된 모의 시험 시스템을 도시한 블록도.

도 10a 및 10b는 통신오류 없는 안정적 상황에서의 연계지점의 전압 및 무효전력을 나타낸 그래프.

도 11a 내지 11d는 통신오류 없는 풍력발전단지 내 개별 풍력발전기의 무효전력 공급 상황을 나타낸 그래프.

도 12a 및 12b는 통신오류 상황에서의 연계지점의 전압 및 무효전력을 나타낸 그래프.

도 13a 내지 13d는 통신오류 상태에서 풍력발전단지 내 개별 풍력발전기의 무효전력 공급 상황을 나타낸 그래프.

도 14a 및 14b는 보정모델 삽입 후 통신오류 상황에서의 연계지점의 전압 및 무효전력을 나타낸 그래프.

도 15a 내지 15d는 보정모델 삽입 후 통신오류 상태에서 풍력발전단지 내 개별 풍력발전기의 무효전력 공급 상황을 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0047] 본 발명을 설명함에 있어서 제 1, 제 2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성요소들은 용어들에 의해 한정되지 않을 수 있다. 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제 1 구성요소는 제 2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제 2 구성요소도 제 1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0048] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 연결되어 있거나 접속되어 있다고 언급되는 경우는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해될 수 있다.
- [0049] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다.
- [0050] 본 명세서에서, 포함하다 또는 구비하다 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것으로서, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해될 수 있다.
- [0051] 또한, 도면에서의 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있다.
- [0052] 본 제안기술은 광범위 영역으로 구성된 풍력발전단지 운영 중 통신오류가 발생했을 시, 지령을 보완하는 기법 및 통신오류 상황이 입력되는 비상시에도 자체적 판단으로 필요한 무효전력 공급량을 도출하는 방안을 마련하고자 한다.
- [0053] 구체적으로, 본 발명에서는 목적함수를 준수하면서 계통의 전압을 효과적으로 반영하고 대응하는 방안을 개발하여, 하나의 제어 모듈로서 구성할 수 있도록 정식화를 추구한다. 해당 방안은 개별 풍력발전의 제어기로 삽입되어, 저전압 발생 시 풍력발전기의 측정정보를 바탕으로 자체적으로 지령 수정이 가능할 수 있다.
- [0054] 먼저, 통신오류가 없는 경우의 풍력발전단지 중앙제어/관리에 대하여 설명하겠다.
- [0055] 도 4는 풍력발전단지 중앙제어형 관리구조에서의 유효전력/무효전력 지령 전달 차이를 표현한 개념도이다.
- [0056] 계통운영자(TSO)는 풍력 발전소의 예상 유효전력 출력량에 따라 수요와 공급 사이의 전력 균형을 유지해야 하며, 각 풍력발전기에 대한 유·무효전력 지령 신호를 계산·전달하기 위한 관리시스템의 보조가 요구된다.
- [0057] 유·무효전력 지령을 위한 해당 프로세스는 다음과 같다. 먼저, 계통운영자(TSO)는 필요한 풍력 발전량(유효·무효전력)을 풍력발전단지의 중앙 관리시스템(WFMS)에 보내고, 풍력발전단지 연계지점(PCC)에 주목하고 있는 중앙 관리시스템은 각 풍력발전기에 지령 신호를 전달한다.
- [0058] 유효전력의 경우, 일반적으로 최대출력제어를 수행하나, 운영자로부터 Curtailment(출력제한) 신호가 입력될 경우, 최대 출력량 설정을 진행하게 된다.
- [0059] 국내 Curtailment(출력제한) 신호는 10분 이상의 주기로 설정되어, 통신오류에 영향이 민감하지 않을 수 있으나, 무효전력의 경우 저전압 상황이 발생하면 즉각적인 대응이 요구될 수 있으므로, 단기 통신오류도 계통

상황에 영향을 미칠 수 있다.

- [0060] 무효전력의 경우, 중앙 관리시스템이 활용하는 목적함수에 따라 결정되나, 일반적으로 활용되는 최적화 기법의 경우, 복잡한 계산과정이 요구되기 때문에, 일반적인 분배방식(동일 분배)과 지령 값에 차이가 발생하며, 통신 오류 시 능동적인 대처가 어려울 수 있다.(동일 분배 지령 값과 최적화 기법의 지령 값의 차이 발생 시 리플 발생) 특히, 통신오류 발생 후, 전압 강하 발생 시, 전압 회복을 위한 대처가 어렵게 된다.
- [0061] 본 발명에서는 통신오류가 발생했을 시 풍력발전기 내부에서 측정 가능한 값(전압, 현재 유효전력 출력)을 바탕으로 계통연계지점의 전압을 회복하는 무효전력 출력 값을 외부의 신호 입력 없이 능동적으로 독자 대처하는 방안을 마련하고자 한다.
- [0062] 도 5는 통신 오류 상태에서도 풍력발전시스템에 지속적·실시간으로 무효전력을 할당하기 위한 독자 대처 방안의 전체 개념을 도시한 것이다.
- [0063] 발명의 기본 원리는 도 5에 도시한 바와 같이, 종래의 풍력발전기가 통신오류시 0값, 혹은 이전 상태의 지령 값을 추종하는 것을 고려하여, 통신오류 상황에서도 측정 가능한 값을 반영하여 목적함수를 일정 부분 반영하여 통신오류 전/후의 제어 신호를 Acceptance zone에 위치하도록 자체 수정알고리즘을 개발하여 각 풍력터빈 제어기에 삽입하여, 능동적 대처가 가능하도록 유도하는 방식이다.
- [0064] 도 6은 목적함수 도입 상황에서 통신오류 발생 시 수정 개념을 표현한 개념도이다.
- [0065] 광역으로 구성되어야 하는 풍력발전시스템에 지속적·실시간으로 무효전력을 할당하기 위해서는 통신 상태에 대한 보완 방법이 요구되며, 이는 개별 제어관리시스템 특성에 맞추어 설계되어야 한다.
- [0066] 도 6은 일반적인 목적함수에 기반한 무효전력 배분 방법의 자체 수정 프로세스의 개념을 보여준다. 설정된 목적함수에 따라 풍력발전에 요구되는 무효전력 공급 지령 값이 다를 수 있다. 또한, 사고 등 문제로 인해 일부 터빈은 무효전력을 제공하지 못하는 상황이 발생할 수 있는데, 계통의 전압 강하 등 변동이 발생할 시, 통신오류에 의해 중앙 제어 서버의 지령 조정 신호가 전달되지 못하면, 계통연계지점의 전압 변동을 보상할 수 없다. 중앙 제어 서버의 보상 신호가 통신문제 유무와 관계없이 원활하게 전달되기 위해서는 이러한 잠재적인 조건을 반영한 수정방안이 필요하다.
- [0067] V-Q Nodal 분석은 무효전력 흐름 및 AC 전압 문제를 해결하기 위해 일반적으로 사용된다. 이는 전압 각과 무효전력 공급량에 따라 시스템을 선형화할 수 있으며, 전력방정식을 표현하면 다음 수학적 식 1과 같다.

수학적 식 1

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\delta} & J_{PU} \\ J_{Q\delta} & J_{QU} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta U}{U} \end{bmatrix}$$

$$\Delta Q_{req} = \left(J_{QU} - J_{Q\delta} \frac{J_{PU}}{J_{P\delta}} \right) \cdot \frac{\Delta U}{U}$$

$$\Delta Q_{req} = \Delta Q_{Gn} + \Delta Q_{n-n+1} + \Delta Q_{Cn}$$

- [0068]
- [0069] 여기서, Q_{Gn} 은 노드 n에서의 풍력 발전기의 무효전력 공급량이고, Q_{n-n+1} 은 노드 n과 n+1 사이의 무효전력 흐름이며, Q_{Cn} 은 선로의 커패시턴스에서 발생하는 노드 n에서 무효전력 주입량을 나타낸다. 또한, J는 계통의 자코비안 행렬 상수, U는 연계지점 전압, δ 는 위상각 정보이다.
- [0070] 케이블에서 생성되는 무효전력을 무시하면 특정 노드에서 필요한 무효전력의 변화율은 예컨대 상기 수학적 식 1에 따라 이전에 계산된 계수를 따라 할당할 수 있다.
- [0071] 따라서, 설정된 목적함수에 의해 무효전력 공급에 대한 지분(n)이 결정된 경우, 풍력발전기는 해당 목적함수를 준수한 상태에서 전압 회복에 필요한 무효전력 공급량(지령신호)을 단독으로 갱신할 수 있다.

[0072] 변경되는 지령은 풍력발전기 측에서 측정이 가능한 유효전력 공급량, 무효전력 공급량 및 해당 버스에서의 전압 변화를 반영하여, 공식을 하기 수학식 2와 같이 선형화할 수 있다.

수학식 2

$$Q'_{Gn} = Q_{Gn} + \eta_{ln} \left[\left(J_{QU} - J_{Q\delta} \frac{J_{PU}}{J_{P\delta}} \right) \cdot \frac{\Delta U}{U} - \Delta Q_{n+1} \right]$$

[0073]

[0074] 따라서, 중앙 관리시스템이 활용하는 목적함수를 고려하여, 풍력발전단지에 요구되는 전체 무효전력 공급요구량 대비 현재 풍력발전기의 출력요구량을 기반으로 지분을 설정한다면, 위 식을 통해 전압변동에 대처하는 방안 도출할 수 있다.

[0075] 도 7은 본 발명의 사상에 따른 독자 대처가 가능한 신재생 발전기 제어 방법의 일 실시예를 도시한 흐름도이다.

[0076] 도시한 신재생 발전기 제어 방법은, 신재생 발전기로서 풍력 발전기의 발전량과 연계된 계통의 상태 데이터(발전기 유효전력 출력 지령, 발전기 무효전력 출력 지령, 발전기 연계지점 전압, 연계지점 유효전력 정보, 연계지점 무효전력 정보 중 적어도 2 이상)와 운영자의 지령 정보를 입력받는 데이터입력단계(S100); 통신 상태를 확인하여(S200) 통신오류가 발생되지 않으면, 상기 데이터입력단계에서 입력받은 데이터를 이용하여 발전기에 대한 중앙 제어 지령(유효전력/무효전력 출력 지령)을 도출하고 그에 따라 상기 풍력 발전기를 제어하는 단계(S400); 및 통신오류가 발생되면, 풍력 발전기의 발전량 또는 계통의 상태 데이터에 대한 적어도 하나 이상의 정보를 기반으로 독자적인 대처를 수행하는 단계(S600)를 포함할 수 있다.

[0077] 상기 독자적인 대처를 수행하는 단계(S600)는, 단일 풍력발전기에서 측정 가능한 정보를 바탕으로, 전압변동 발생 시, 통신 오류에 의해 외부 지령 신호에 변동이 없으면, 출력 제어 신호를 개별적으로 변경하는 방식으로 운영된다.

[0078] 통신오류가 발생된 상태에서는, 상기 풍력 발전기의 제어부는, 무효전력 발생에 대한 구체적인 정보를 받지는 못하지만, 해당 풍력 발전기와 계통의 연계 지점의 전압 및 전류의 측정값들은 획득할 수 있다.

[0079] 이를 감안하여, 상기 독자적인 대처를 수행하는 단계(S600)에서는, 상기 풍력 발전기 연계지점의 전압 및 전류의 측정값 변화로부터, 상기 풍력 발전기 제어 지령의 변화를 추정하고, 추정된 제어 지령의 변화를 이전 제어 시점의 제어 지령에 반영한 제어 지령으로 상기 풍력 발전기의 발전을 제어할 수 있다. 이를 위해 이전 제어 시점의 상기 S400 단계에서 도출된 상기 풍력 발전기에 대한 제어 지령을 저장하고 있어야 한다.

[0080] 상술한 제어 지령을 저장할 수 있도록 하기 위해, 상기 발전기 제어 지령에 따라 상기 풍력 발전기를 제어하는 단계(S400)는, 통신 오류가 없으면 발전 단계에 대한 중앙 제어 서버의 중앙 제어 지령을 획득(수령, 수신)하는 단계(S420); 상기 중앙 제어 지령을 저장하는 단계(S440); 및 상기 중앙 제어 지령에 따라 상기 풍력 발전기를 제어하는 단계(S460)를 포함할 수 있다.

[0081] 이에 대응하여 상기 독자적인 대처를 수행하는 단계(S600)는, 상기 풍력 발전기의 계통과의 연계 지점의 전압 및 전류의 측정값을 획득하고, 변화(량)를 도출하는 단계(S620); 상기 측정값의 변화로부터 제어 지령의 변화(량)를 예상하는 단계(S640); 및 상기 제어 지령의 변화를 이전 시점의 상기 중앙 제어 지령에 반영하여 생성한 독자 제어 지령에 따라 상기 풍력 발전기를 제어하는 단계(S660)를 포함할 수 있다.

[0082] 무효 전력 대처의 관점에서, 상기 독자적인 대처를 수행하는 단계(S600)는, 상기 연계 지점의 전압(값)에 따라 계통 안정성을 확인하고, 기존의 무효전력 제어의 목표를 준수하는 범위하에서, 무효전력 공급을 수행한다. 예컨대, 상기 독자 제어 지령은, 상술한 수학식 1 및 수학식 2에 따라 구해질 수 있다.

[0083] 구현에 따라, 상기 데이터입력단계(S100)는 풍력 발전 단계에 대한 상기 중앙 제어 서버에서 수행될 수 있으며, 상기 S400 단계는 상기 중앙 제어 서버로부터 상기 풍력 발전기의 제어 장치가 상기 중앙 제어 지령을 접수받아서 수행할 수 있다.

[0084] 또는, 상기 데이터입력단계(S100)에서는 상기 중앙 제어 서버에서 각 풍력 발전기의 제어 장치로 각종 연계 데이터를 전송받고, 상기 S400 단계의 중앙 제어 지령은 상기 각 풍력 발전기의 제어 장치가 생성할 수 있다.

[0085] 구현에 따라, 상기 발전기 유효전력 출력 지령 및 발전기 무효전력 출력 지령이 상기 중앙 제어 지령이 되거나,

추가된 지령을 포함하여 상기 중앙 제어 지령을 구성할 수 있다.

[0086] 이와 같은 방식의 무효전력 공급을 수행하는 방법은, 풍력발전기의 지령을 중앙제어장치에서 직접적으로 관리하는 것과 유사하게 되며, 그 결과 중앙제어장치의 운영자가 설정한 목적에 부합하도록 분배가 이루어지게 된다.

[0087] 상술한 수학적식에 의한 알고리즘뿐 아니라 타 알고리즘에서 도출된 결과를 지분(비율)으로 재구성하여 변형 및 응용을 할 수 있음은 물론이다.

[0088] 본 발명에서 적용하고자 하는 개별 풍력 터빈용 지령 수정은 개별 시스템에서 측정 가능한 데이터를 바탕으로 구성되어야 한다. 발명의 설명에서 제시된 수식의 경우, 전압변화 조건이 발생할 때 무효전력 공급 지령을 조정하기 위해 작성하는 것으로 예시하였다.

[0089] 보다 개선된 실시예에서는, 중앙 관리시스템의 목적함수로서 무효전력 공급과정에 손실을 최소화하는 방안을 도입하여, 통신 신호를 모의하고 응답 능력을 확인·검증함으로써 활용방안을 제시할 수 있다. 즉, 후술하는 개선된 실시예에서는, 전압변동을 보상하기 위한 무효전력량이나 계통운영자의 추가적 요청으로, 비상시 무효전력 공급 지령을 각 터빈에 분배하는 과정에서 발생할 수 있는 손실을 최소화하는 방안을 목적함수로 설정한다.

[0090] 예컨대, 목적함수로서 다음에 대한 것을 도입할 수 있다.

[0091] 계통운영자에 의해 입력되는 무효전력 요구량은 중앙 관리시스템에 의해 각 풍력터빈에 분배되어야 한다. 이 과정에서 추가적인 목적함수를 고려하기 위해서는 풍력발전단지의 레이아웃(Layout)에 지속적으로 반영하고자 한다.

[0092] 각 풍력 발전기(터빈)의 각 연계지점을 할당지점으로 설정하면, 각 Array의 계통연계지점(Point of interconnection)에서부터 마지막 터빈 연계지점까지 순차적인 분배가 가능하다.

[0093] 먼저, 첫 번째 할당지점까지의 무효전력 손실을 계산하여 할당지점에 필요한 무효전력량을 산출(Qreq)하여, 할당지점에 직접 연계된 터빈의 저항성분(rcon)과 다음 구간까지의 저항성분(rnn+1)을 고려해 무효전력을 할당한다. 이때, 연계된 풍력터빈에 대한 지령(Qn)과 나머지 부분(Qreqn)에 대한 비례식은 아래 수학적식 3으로 표현할 수 있다.

수학적식 3

$$Q_n = \frac{\sqrt{r_{n \cdot n+1}}}{\sqrt{r_{con \cdot n}} + \sqrt{r_{n \cdot n+1}}} \cdot Q_{req}$$

$$Q_{reqn} = \frac{\sqrt{r_{con \cdot n}}}{\sqrt{r_{con \cdot n}} + \sqrt{r_{n \cdot n+1}}} \cdot Q_{req}$$

[0094]

[0095] 손실에 기여하는 무효전력 성분을 고려하여 상기 수학적식 3이 도출되었으며, 마지막 터빈의 연계지점까지, 각 할당지점에서 입력되는 저항 성분에 따라 두 지점에 무효전력 지령이 할당되게 된다.

[0096] 상술한 무효전력 할당 방법(수학적식 3에 따른 정책)을 도입한 상태에서 통신오류를 검증하고자, 전류에 의한 손실을 목적함수로 설정하였으며, 해당 식은 하기 수학적식 4와 같다.

수학적식 4

$$\text{Min} \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N r_{n \cdot n-1} \cdot \frac{P_{ref \cdot n}^2 + Q_{ref \cdot n}^2}{V_{n \cdot n-1}^2}$$

[0097]

[0098] 상기 수학적식에서, P_{ref}, Q_{ref}는 풍력발전기에 입력되는 최대출력추종제어(MPPT) 계산 값 또는 최대 출력 지령과 무효전력 지령을 나타내고, V_n은 n 지점에서의 전압변동을 나타낸다.

[0099] 상기 수학식에서의 유효전력 흐름과 각 터빈에 할당되는 무효전력 지령을 활용함으로써, 각 Array에서 발생하는 저항 손실을 빠르게 예측할 수 있고, 이를 바탕으로 Incremental loss 값을 빠르게 도출할 수 있다. 증분 손실 값이 동일해지면 손실 비교과정이 중지되고, 각 터빈에 입력되는 지령 값이 고정된다. Incremental loss는 하기 수학식 5를 이용하여 계산이 진행될 수 있다.

수학식 5

$$\frac{dP_{loss}}{dQ_1} = \frac{dP_{loss}}{dQ_2} = \dots = \frac{dP_{loss}}{dQ_L} = \lambda$$

[0100]

[0101] 도 8은 도 7의 신재생 발전기 제어 방법을 수행할 수 있는 신재생 발전기 제어 장치의 일 실시예를 도시한 블록도이다.

[0102] 도시한 신재생 발전기 제어 장치는, 발전 단지의 중앙 제어 서버와 통신을 수행하기 위한 통신부(110); 상기 통신부(110)를 통해, 신재생 발전기의 발전량과 연계된 계통의 상태 데이터(발전기 유효전력 출력 지령, 발전기 무효전력 출력 지령, 발전기 연계지점 전압, 연계지점 유효전력 정보, 연계지점 무효전력 정보 중 적어도 2 이상)를 입력받는 발전 단지 데이터 접수부(120); 상기 계통의 상태 데이터 및 상기 상태 데이터로부터 도출되는 중앙 제어 지령을 저장하는 저장부(130); 상기 신재생 발전기의 계통과의 연계 지점의 측정값 변화를 도출하는 연계 지점 측정값 변화 도출부(140); 상기 측정값 변화로부터 예상되는 상기 중앙 제어 지령의 변화를 산출하는 제어 지령 변화 산출부(160); 및 상기 통신부(110)에서 통신오류가 발생되지 않으면, 상기 중앙 제어 지령에 따라 상기 신재생 발전기를 제어하고, 통신오류가 발생되면, 상기 중앙 제어 지령의 변화를 이용하여 독자적인 제어를 수행하는 발전 제어부(180)를 포함할 수 있다.

[0103] 본 발명의 사상에 따라 상기 발전 제어부(180)는, 상기 신재생 발전기가 독자적으로 측정 가능한 정보를 바탕으로, 전압변동 발생시, 통신 오류에 의해 상기 중앙 제어 지령에 변동이 없으면, 제어 지령을 개별적으로 변경할 수 있다.

[0104] 보다 구체적으로 상기 발전 제어부(180)는, 상기 신재생 발전기 연계지점의 전압 및 전류의 측정값 변화로부터, 상기 신재생 발전기에 대한 상기 중앙 제어 지령의 변화를 추정하고, 상기 제어 지령의 변화를 이전 시점의 상기 중앙 제어 지령에 반영하여 생성한 독자 제어 지령에 따라 상기 풍력 발전기를 제어할 수 있다.

[0105] 이때, 상기 발전 제어부(180)는, 상기 연계 지점의 전압에 따라 계통 안정성을 확인하고, 기존의 무효전력 제어의 목적함수를 준수하는 범위에서 무효전력 공급을 수행할 수 있다.

[0106] 예컨대, 상기 발전 제어부(180)는, 상기 수학식 1에 따른 목적함수를 준수한 상태에서 전압 회복에 필요한 무효전력 출력 지령을 독자적으로 갱신할 수 있다. 이 경우, 상기 발전 제어부(180)는, 하기 수학식 3에 따라 독자 제어 지령을 결정할 수 있다.

[0107] 또한, 상기 발전 제어부(180)는, 상기 수학식 4 및 수학식 5에 따른 목적함수 등을 적용하여 독자적인 제어를 수행할 수 있다.

[0108] 다음, 상술한 개선된 실시예에 대한 통신오류 검증의 효과를 모의실험한 내용을 기재한다.

[0109] 도 9는 본 발명의 사상에 따른 통신오류 보정 방법의 효과를 검증하도록 설계된 모의 시험 시스템을 도시한다.

[0110] 본 발명에서 제안된 알고리즘을 포함하여 검증을 진행하기 위해, EMTP 시뮬레이션 툴(M)을 사용하여 풍력발전단지를 모의 구성한다. 또한, RTDS를 활용하여 실시간 시뮬레이션을 설계, 통신오류 상황을 모의하였고, 발생하는 통신오류를 보완하도록 설계하였다. 무효전력 공급 관점에서 지령 보정 효과를 평가하고자 하였기 때문에, 전압 강하에 대한 무효전력 지령은 계통이 안정적으로 운용되도록 유지하는 범위로 기준(± 0.01 p.u.)을 두었다. 도 8은 검증 과정에 대한 개념도를 도시한 것이다.

[0111] 도시한 모의 시험 시스템 상 중앙 제어 서버에서 발생하는 지령은 각 풍력터빈의 제어기(I)로 전달되도록 구성하였으며, RTDS Modbus 프로토콜을 이용한 데이터 전송이 설계되었다. 각 풍력터빈의 제어기에서 측정이 가능한 Local 데이터를 구분(황색 표기)하고, 풍력발전단지 관리시스템 중앙제어기의 데이터 전달을 시뮬레이션 중간에 차단하도록 설계하였다(붉은색 표기).

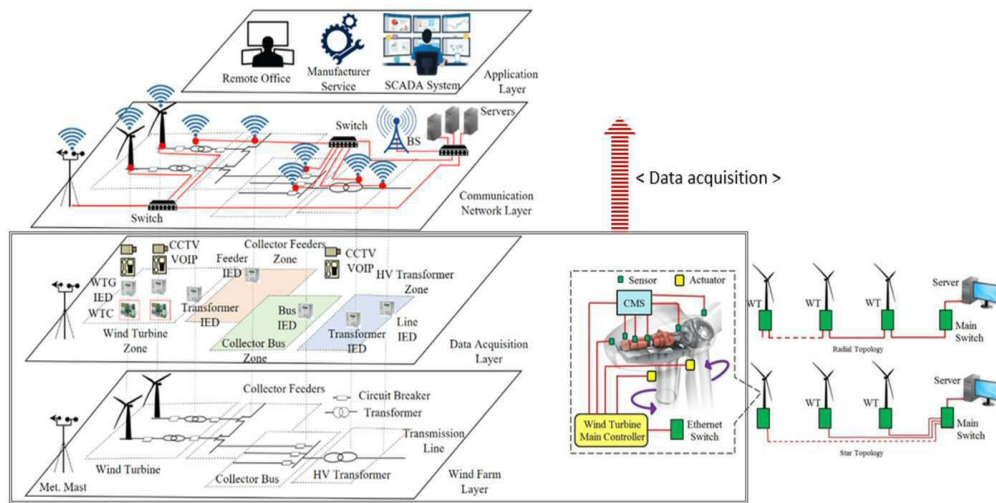
- [0112] 초기화 시간 및 지령 변경에 소요되는 시간을 포함하여 검증을 수행하였고, 시뮬레이션 내, 2번(1초, 3초)의 전압강하 상황이 모의되며, 이에 따른 검증을 진행하였다.
- [0113] 도 10a 및 10b는 통신오류 없는 안정적 상황에서의 연계지점의 전압 및 무효전력을 나타낸 그래프이다.
- [0114] 도 11a 내지 11d는 통신오류 없는 풍력발전단지 내 개별 풍력발전기의 무효전력 공급 상황을 나타낸 그래프이다.
- [0115] 도 10a 내지 11는 통신오류가 발생하지 않는 상황을 도시한 것으로, 중앙제어기로부터 입력되는 무효전력 신호가 전압 변화를 모두 인지하여 할당되는 것으로 확인할 수 있다.
- [0116] 도 12a 및 12b는 통신오류 상황에서의 연계지점의 전압 및 무효전력을 나타낸 그래프이다.
- [0117] 도 13a 내지 13d는 통신오류 상태에서 풍력발전단지 내 개별 풍력발전기의 무효전력 공급 상황을 나타낸 그래프이다.
- [0118] 통신오류 발생 시 보완이 없는 경우 도 12a 내지 13d와 같은 상황이 발생된다. 통신오류로 인하여 전압의 변화를 반영하지 못하고 기존 무효전력 지령이 수행되는 것을 확인할 수 있다.
- [0119] 도 14a 및 14b는 보정모델 삽입 후 통신오류 상황에서의 연계지점의 전압 및 무효전력을 나타낸 그래프이다.
- [0120] 도 15a 내지 15d는 보정모델 삽입 후 통신오류 상태에서 풍력발전단지 내 개별 풍력발전기의 무효전력 공급 상황을 나타낸 그래프이다.
- [0121] 본 발명을 적용한 후, 통신오류를 적용하면, 도 14a 내지 15에 도시한 바와 같은 상황이 발생된다. 제어 지연상태를 인지한 후에 제시한 기법을 활용하여 자체적인 수정을 진행함에 따라 무효전력 지령이 제시한 제어기를 통해 보상되는 것을 확인할 수 있다.
- [0122] 본 발명이 속하는 기술 분야의 당업자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있으므로, 이상에서 기술한 실시 예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해해야만 한다. 본 발명의 범위는 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

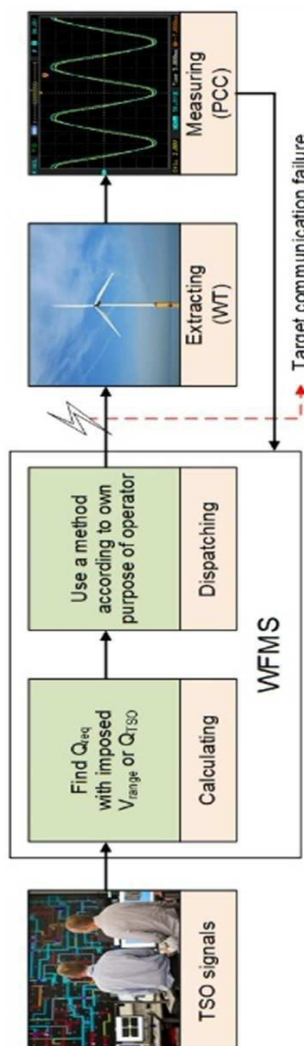
- [0123] 110 : 통신부
- 120 : 발전 단지 데이터 접수부
- 130 : 저장부
- 140 : 연계 지점 측정값 변화 도출부
- 160 : 제어 지령 변화 산출부
- 180 : 발전 제어부

도면

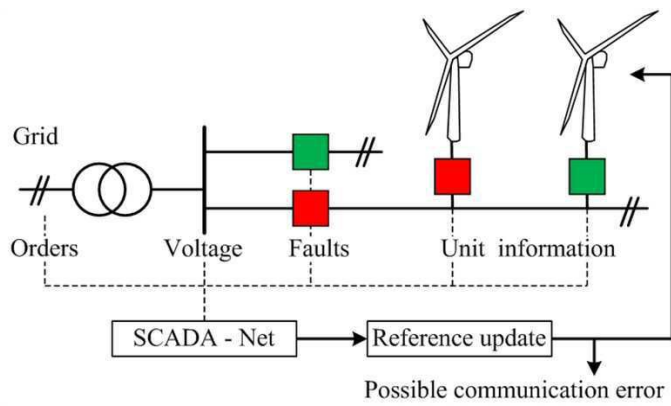
도면1



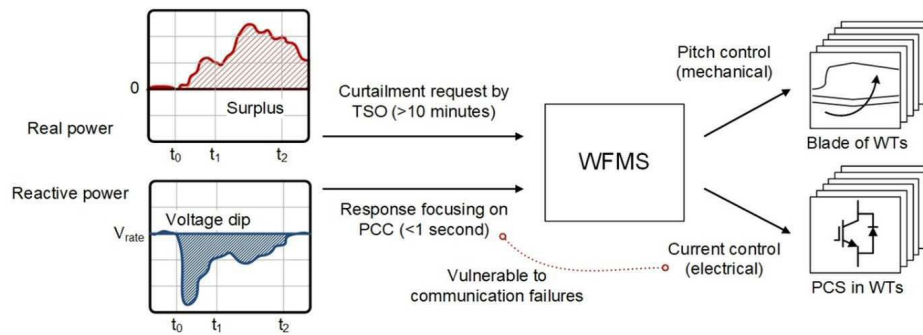
도면2



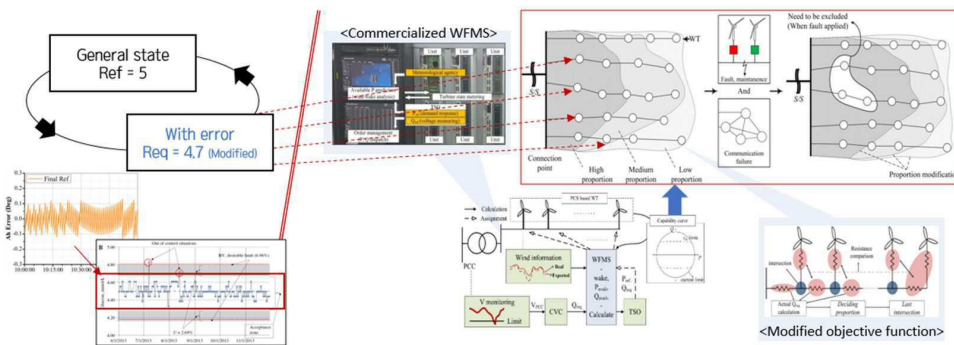
도면3



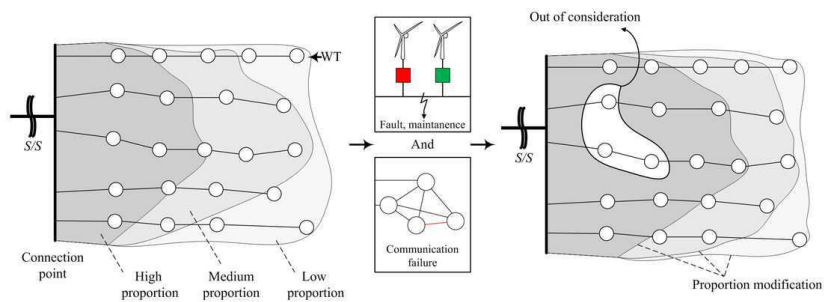
도면4



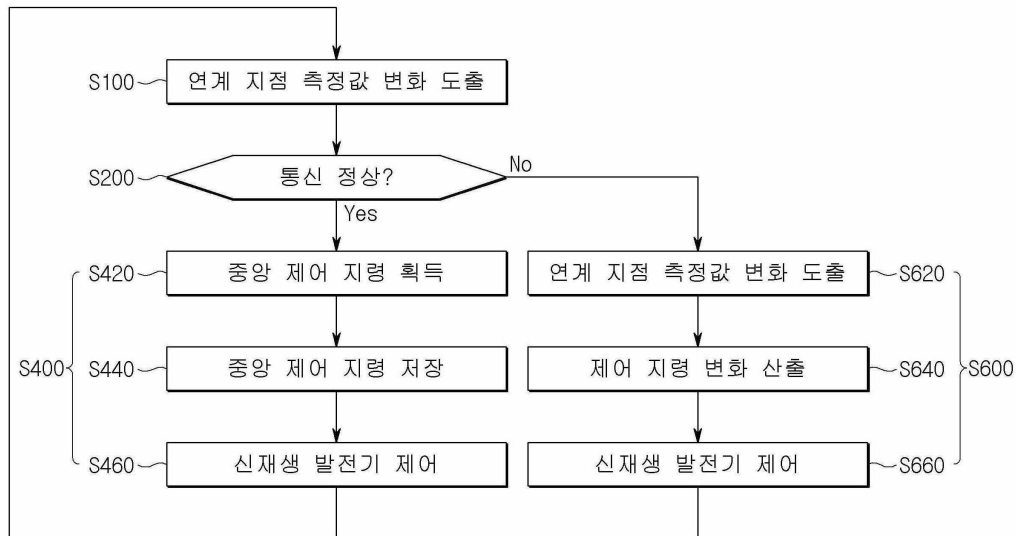
도면5



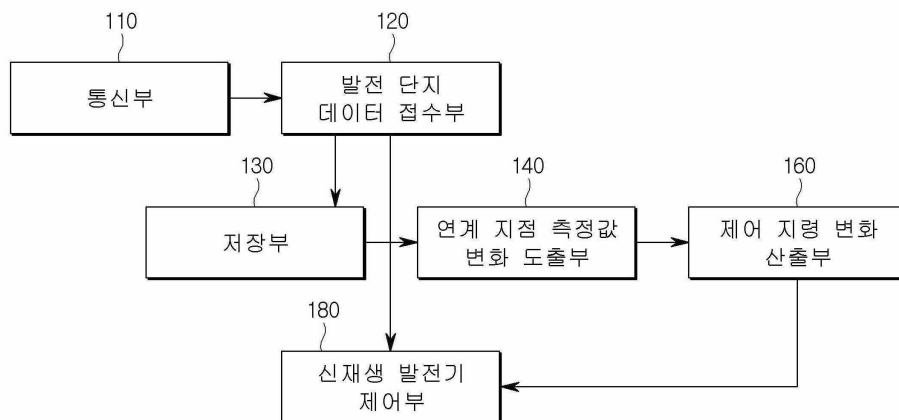
도면6



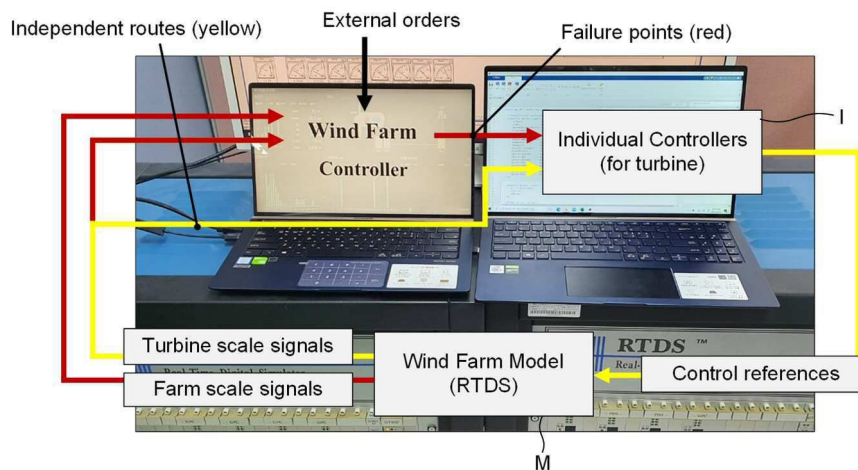
도면7



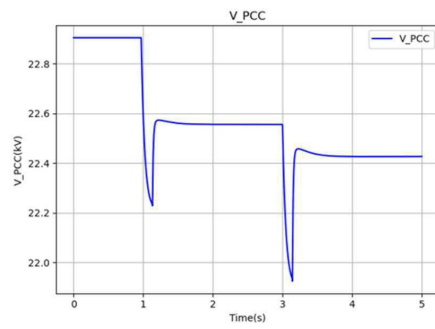
도면8



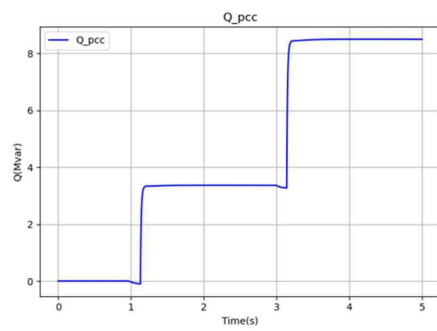
도면9



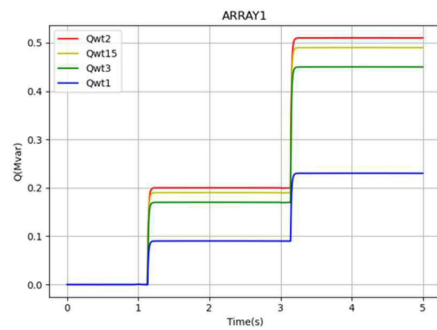
도면10a



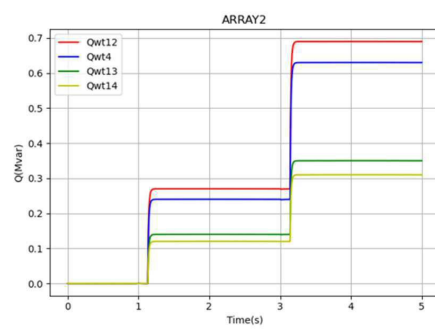
도면10b



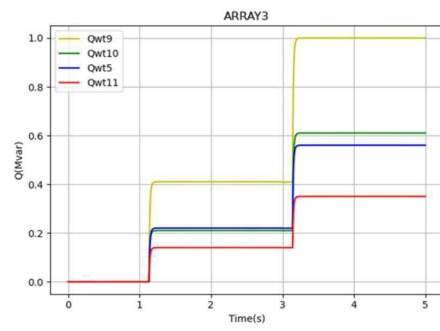
도면11a



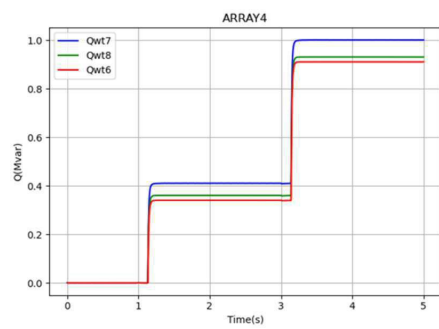
도면11b



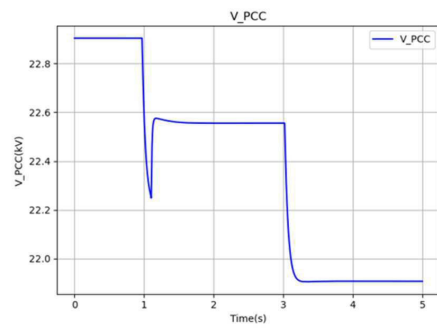
도면11c



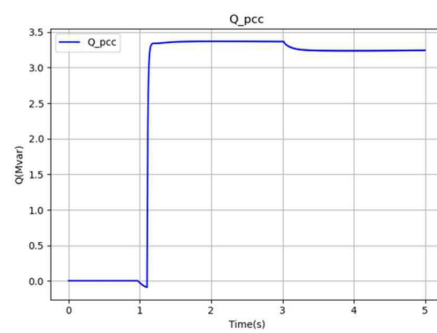
도면11d



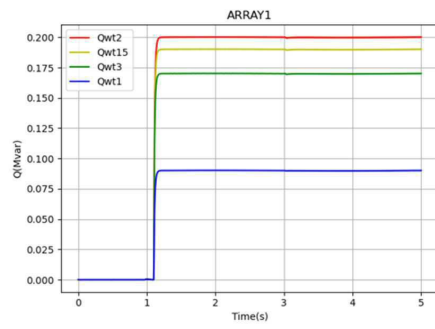
도면12a



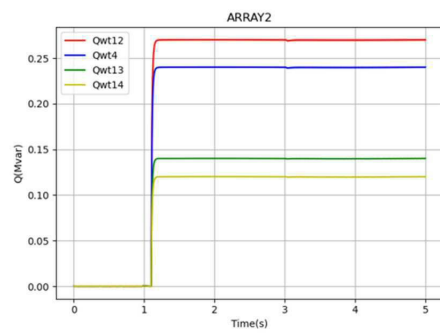
도면12b



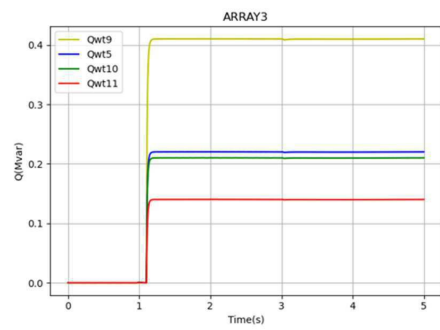
도면13a



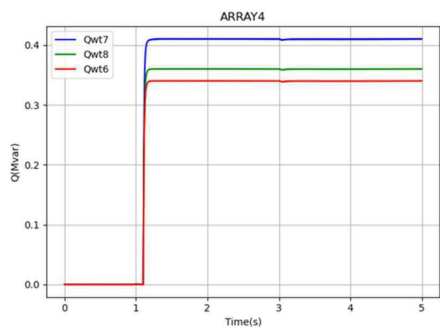
도면13b



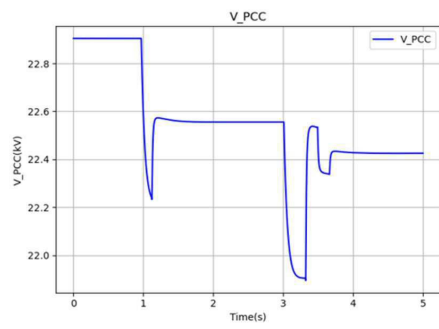
도면13c



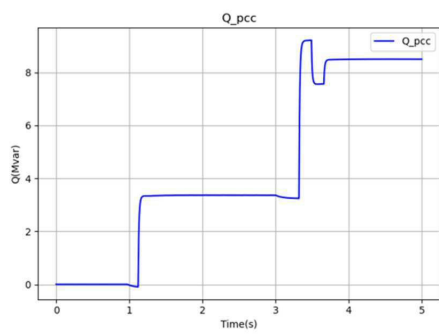
도면13d



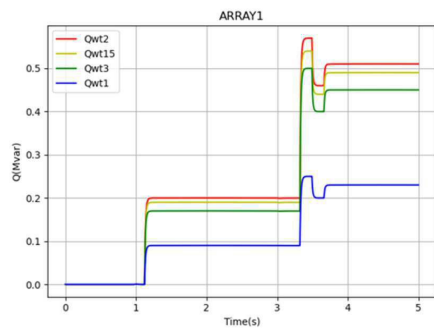
도면14a



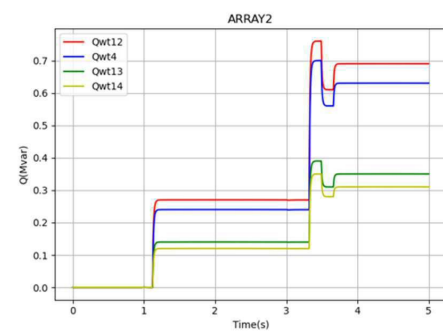
도면14b



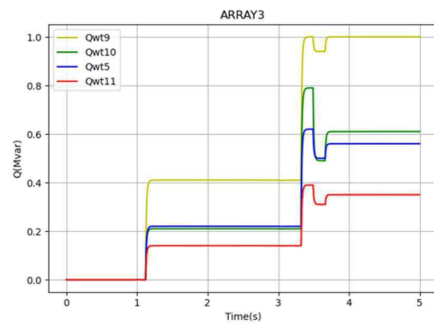
도면15a



도면15b



도면15c



도면15d

