



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년01월11일
(11) 등록번호 10-0794245
(24) 등록일자 2008년01월07일

(51) Int. Cl.

G01R 31/34 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0079108

(22) 출원일자 2006년08월22일

심사청구일자 2006년08월22일

(56) 선행기술조사문헌

JP2001174490 A

KR1020020035327 A

KR1020030037499 A

KR1020040050099 A

(73) 특허권자

한국전기연구원

경남 창원시 성주동 28-1

(72) 발명자

김동준

경상남도 창원시 성주동 101 프리빌리지 101동 803호

문영환

경기도 안양시 동안구 갈산동 샘마을 한양아파트 115-1106

윤재영

경상남도 창원시 상남동 성원아파트 504동 2032호

(74) 대리인

서천석

전체 청구항 수 : 총 15 항

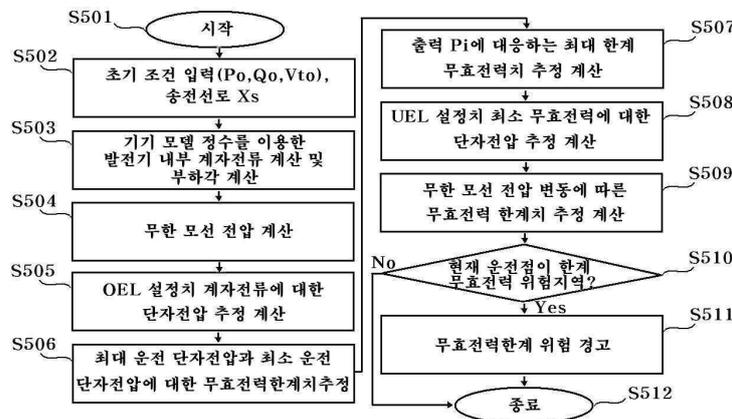
심사관 : 민병준

(54) 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력한계치 감시 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 자세하게는 기기 모델 파라메타와 1기 무한 모선을 이용함으로써, 과여자에 해당하는 최대 무효전력 한계치를 계산하고, 저여자에 해당하는 발전기 단자 전압을 계산할 수 있으며, 계통 변수들이 변동할 경우에도 정확하게 계자 전류를 예측하여 무효전력 한계치를 감시할 수 있으므로, 전력계통에 발전기가 출력 가능한 무효전력 한계치 이내에서 최대 또는 최소 무효전력을 공급할 수 있고, 무효전력 한계치에 의한 발전기 트립을 방지하고 광역 정전을 예방할 수 있는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템 및 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도5



특허청구의 범위

청구항 1

발전기와 연결된 3상 전력선으로부터 변류기 및 변압기를 통해 측정된 데이터를 페이지로 변환하여 유효치의 단자 전압, 단자 전류, 무효 전력 및 유효 전력을 계산하는 실시간 측정 장치; 및

상기 실시간 측정 장치로부터의 실효치 데이터와, 1기 무한 모션 및 직축 동기 리액턴스(X_d), 횡축 동기 리액턴스(X_q), 직축 과도 리액턴스(X_d'), 횡축 과도 리액턴스(X_q'), 초기 과도 리액턴스(X''), 누설 리액턴스(X_l) 및 포화 계수($S(1.0)$, $S(1.2)$) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 기기 모델 파라메타를 이용하여 상기 발전기 무효전력 한계치를 계산하는 호스트 컴퓨터

를 포함하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 호스트 컴퓨터는 1기 무한 모션 및 상기 실시간 측정 장치의 측정된 데이터를 이용하여 무한 모션 전압을 계산하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 호스트 컴퓨터는 기기 모델 파라메타 및 상기 실시간 측정 장치의 측정된 데이터를 이용하여 상기 발전기 내부 부하각과 계자 전류를 계산하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템.

청구항 5

삭제

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 호스트 컴퓨터는 무한 모션 전압, 발전기 과여자 제한 장치(OEL)의 계자 전류에 대한 최대 무효전력 한계치, 발전기 저여자 제한 장치(UEL)의 단자 전압, 다른 발전기 유효전력 출력에 대한 OEL에 의한 최대 무효전력 한계치 및 발전기 과전압과 저전압 한계치에 따른 무효전력 한계치 중 적어도 어느 하나 이상을 계산하여 발전기 무효전력 용량 곡선상에 도시하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템.

청구항 7

제 1 항의 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템을 이용하여,

기기 모델 파라메타 및 계통 데이터를 구성하는 제1단계;

실시간 측정 장치로부터 측정 데이터를 읽고 저장하는 제2단계;

계통 조건에 따른 무효전력 한계치 계산 방법을 실행하는 제3단계; 및

계산된 무효전력 한계치를 시각화하는 제4단계

를 포함하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 제1단계 후,

실시간 측정 장치의 실행여부를 파악한 후,

실시간 측정 장치가 실행하지 않을 경우, 시작신호 입력여부를 파악하고, 시작신호 입력이 발생하면 실시간 측정 장치에 구성 데이터를 송출하여 상기 제2단계를 실행하고,

실시간 측정 장치가 실행할 경우, 상기 제2단계를 실행하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 제2단계 후,

기기 모델 파라메타 및 계통 데이터의 변경필요여부를 파악한 후,

변경이 필요할 경우, 기기 모델 파라메타 및 계통 데이터를 변경한 후 상기 제3단계를 실행하고,

변경이 필요없을 경우, 상기 제3단계를 실행하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제4단계 후,

정지신호 입력 또는 에러신호 발생 여부를 파악한 후,

정지신호 또는 에러신호가 없을 경우, 데이터 요청 완료 여부를 파악하여, 데이터 요청이 미완료되었을 경우 상기 제2단계를 실행하고, 데이터 요청이 완료되었을 경우 계산된 자원을 삭제한 후 상기 실시간 측정 장치의 시작신호 입력여부를 파악하고,

정지신호 또는 에러신호가 발생할 경우, 계산된 자원을 삭제한 후 상기 실시간 측정 장치의 시작신호 입력여부를 파악하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법.

청구항 11

제 7 항에 있어서,

상기 실시간 측정 장치로부터 측정 데이터를 읽고 저장하는 제2단계는,

실시간 측정 장치의 하드웨어 구성화(configuration) 단계;

변류기 및 변압기를 통해 전류 및 전압을 측정하고 채널을 읽는 단계;

타임스탬프(time stamp)를 읽는 단계;

페이지 계산 단계; 및

호스트 컴퓨터로 계산된 페이지 데이터를 송신하는 단계

를 포함하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법.

청구항 12

제 7 항에 있어서,

상기 계통 조건에 따른 무효전력 한계치 계산 방법을 실행하는 제3단계는,

초기 조건(P_0 , Q_0 , V_{t0})과 시스템 등가 임피던스(X)가 입력되는 제1단계;

상기 기기 모델 파라메타를 이용하여 발전기 내부 계자전류(i_{fd}) 계산 및 부하각(δ_o) 계산, 무한 모션 전압(V_{inf}) 계산(S504), OEL 설정치 계자전류($i_{fd_{OEL}}$)에 대한 단자전압($V_{to_{OEL}}$) 추정 계산, 최대 운전 단자전압($V_{to_{max}}$)과 최소 운전 단자전압($V_{to_{min}}$)에 대한 무효전력 한계치 추정 계산, 출력 $P_i(i=1,2,\dots)$ 에 대응하는 최대 한계 무효 전력치($Q_{i_{max}}$) 추정 계산, UEL 설정치 최소 무효전력($Q_{UEL_{lim}}$)에 대한 단자전압($V_{t_{UEL}}$) 추정 계산 및 무한 모션 전압(V_{inf}) 변동에 따른 무효전력 한계치 추정 계산 중 적어도 어느 하나 이상을 실행하는 제2단계; 및

현재 운전점의 한계 무효전력 위험지역 여부를 파악(S510)하고, 위험지역일 경우 무효전력한계 위험 경고를 실행하며, 위험지역이 아닐 경우 종료하는 제3단계

를 포함하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 OEL 설정치 계자전류($i_{fd_{OEL}}$)에 대한 단자전압($V_{to_{OEL}}$) 추정 계산은,

하기 수학적 식 1을 이용하여 무한 모션 전압을 계산하는 단계; 및

하기 수학적 식 2의 최소 자승법인 최적화 기법을 이용하여, 계산되는 발전기 계자 전류가 OEL에 설정된 계자 전류 값이 나오도록 하는 단자 전압을 계산하는 단계

를 포함하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법.

[수학적 식 1]

$$P_o + jQ_o = V_{to} I_{to}^* = V_{to} \left(\frac{V_{to} - V_{inf_0}}{jX_s} \right)^*$$

[P_o (MW): 현재 유효 전력, Q_o (Mvar): 현재 무효 전력, V_{to} (kV): 현재 운전 중인 발전기 단자 전압, I_{to}^* : 정상상태 발전기 단자전류 쾨쥬게이트(conjugate) 초기값, V_{inf_0} : 정상상태 무한모션 전압 초기값, X_s : 시스템 등가 임피던스(변압기와 송전선로의 임피던스를 더한 값)]

[수학적 식 2]

$$\frac{1}{2} \min_{x=V_t} (i_{if_OEL} - f(x, V_{inf_0}, P_o))^2$$

[V_t : 발전기 단자 전압, V_{inf_0} : 정상상태 무한모션 전압 초기값, $i_{if_cal} = f(x, V_{inf_0}, P_o)$, 계산된 발전기 계자 전류, i_{if_OEL} : OEL 발전기 계자전류 한계치]

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 UEL 설정치 최소 무효전력($Q_{UEL_{lim}}$)에 대한 단자전압($V_{t_{UEL}}$) 추정 계산은,

하기 수학적 식 3을 이용하여 UEL 무효전력에 대응되는 단자전압을 계산하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법.

[수학식 3]

$$P_o + jQ_{UEL} = V_{to} I_{to}^* = V_{t_UEL} \left(\frac{V_{t_UEL} - V_{inf_0}}{jX_s} \right)^*$$

[P_o (MW): 현재 유효 전력, Q_{UEL} (Mvar): 현재 최소 무효 전력 한계치, V_{to} : 정상상태 발전기 단자 전압, I_{to}^* : 정상상태 발전기 단자전류 콘쥬게이트 초기값, V_{inf_0} (kV): 현재 운전 중인 상태에서 무한 모션 전압, X_s : 시스템 등가 임피던스(변압기와 송전선로의 임피던스를 더한 값)]

청구항 15

제 12 항에 있어서,

상기 출력 P_i ($i=1,2,\dots$)에 대응하는 최대 한계 무효 전력치(Q_{max}) 추정 계산은,

다른 발전기 출력 운전점(P_i)에서 계자 전류에 대한 최대 한계 무효 전력치를 계산하는 바, 하기 수학식 4의 최소 자승법인 최적화 기법을 이용하여, 계산되는 발전기 계자 전류가 OEL에 설정된 계자 전류값이 나오도록 하는 단자 전압을 계산하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법.

[수학식 4]

$$\frac{1}{2} \min_{x=V_t} (i_{if_OEL} - f(x, V_{inf_0}, P_i))^2$$

[$i_{if_cal} = f(x, V_{inf_0}, P_i)$, 계산된 발전기 계자 전류, P_i ($i=1,2,L$): 다른 발전기 유효출력 운전점, i_{if_OEL} : OEL 발전기 계자전류 한계치, V_t : 발전기 단자 전압, V_{inf_0} : 정상상태 발전기 무한모션 전압 초기값]

청구항 16

제 12 항에 있어서,

상기 최대 운전 단자전압(V_{o_max})과 최소 운전 단자전압(V_{o_min})에 대한 무효전력 한계치 추정 계산($Q_{max/min}$)은,

하기 수학식 5를 이용하여 계산하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법.

[수학식 5]

$$P_o + jQ_{max/min} = V_{max/min} I_{to}^* = V_{max/min} \left(\frac{V_{max/min} - V_{inf_0}}{jX_s} \right)^*$$

[P_o : 정상상태 발전기 유효전력 초기값, I_{to}^* : 정상상태 발전기 단자전류 콘쥬게이트 초기값, $V_{max/min}$: 최대 무효 전력(Q_{max}) 또는 최소 무효전력(Q_{min})을 내기 위한 최대 또는 최소 운전 발전기 전압, V_{inf_0} : 정상상태 무한모션 전압 초기값, X_s : 송전선로 등가 임피던스]

청구항 17

제 12 항에 있어서,

상기 발전기 내부 계자전류(i_{fd}) 계산 방법은,

기기 모델 파라메타 및 초기 조건($B, Q_0, V_{to}, V_{inf_0}, X_s$)이 입력되는 제1단계;

내부 상차각이 계산(δ)되고, 고정자 전류를 직축/횡축 전류로 분해하며, 발전기 계자전류를 계산(i_{fd_cal})하는 제2단계;

최적화 기법 적용 여부를 판단하여, 적용하지 않을 경우 종료하고, 적용할 경우 발전기 계자전류 한계치(i_{fd_OE})와 계산된 발전기 계자전류(i_{fd_cal})의 차가 발전기 유도기전력(ϵ)보다 작은 값인지 여부를 판단하는 제3단계; 및

유도기전력(ϵ)보다 작을 경우 종료하고, 클 경우 최적화 기법을 실행하고 단자전압(V_t)을 변동하여 제2단계를 실행하는 제4단계

를 포함하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

종래기술의 문헌 정보

- <13> [1] CWG & MVWG, "Test Guidelines for Synchronous unit Dynamic Testing and Model Validation", February, 1997, WSCC. www.wecc.biz
- <14> [2] P.Kundur, Power System Stability and Control, PP.101~102, 1994, McGraw-Hill
- <15> [3] F.P. de Mello, L.N.Hannett, "Representation of Saturation in Synchronous Machines", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-1, No.4, November 1988, pp.8-18
- <16> [4] F.P. de Mello, J.R.Ribeiro, "Derivation of Synchronous Machine Parameters from Tests," , IEEE PWR Apparatus and Systems, Vol. PAS-96, No.4, July/August 1977
- <17> [5] EPRI Report EL-1424, "Determination of Synchronous Machine Stability Constants," Vol.2, prepared by Ontario Hydro, December 1980.
- <18> [6] EPRI Report EL-1424, "Determination of Synchronous Machine Stability Constants," Vol.3, prepared by PTI, December 1980.
- <19> [7] Bharat Bhargava, "Synchronized Phasor Measurement System Project at Southern California Edison Co.", IEEE PES SM 1999, pp.18-22, 1999
- <20> [8] Magnus Akke, "Phasor Measurement Applications in Scandinavia," IEEE PES T&D Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific, pp. 480-484, 2002
- <21> [9] Report, "August 14, 2003 Outage Sequence of Events", U.S./Canada Power Outage Task Force, Sep. 12, 2003
- <22> [10] G.W.Stagg and A.H. Abiad, Computer Method in Power System Analysis McGraw-Hill, 1968
- <23> [11] C.Lemaitre, J.P.Paul, J.M.Tesson, Y.Harmand, and Y.S.Zhao, "An indicator of the Risk of voltage Profile Instability for Real-Time Control Applications," IEEE Summer Meeting 1989, Paper 89Sm713-9 PWR
- <24> [12] V.Ajjarapu and C.Christy, "The Continuation Power Flow: A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis, " IEEE PICA Conference Proceedings, pp. 304-311, May 1991
- <25> [13] N.Flatabo, R.Ognedal, and T.Carlsen, "Voltage Stability Condition in a Power Transmission System

Calculated by Sensitivity Methods," IEEE Trans.,

<26> [14] C.Lemaitre, J.P.Paul, J.M.Tesson, Y.Harmand, and Y.S.Zhao, "An indicator of the Risk of voltage Profile Instability for Real-Time Control Applications," IEEE Summer Meeting 1989, Paper 89Sm713-9 PWRS

<27> [15] TEST GUIDELINES FOR SYNCHRONOUS UNIT DYNAMIC TESTING AND MODEL VALIDATION, 1997, WSCC

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<28> 본 발명은 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 자세하게는 기기 모델 정수(파라메타)와 1기 무한 모션을 이용함으로써, 과여자에 해당하는 최대 무효전력 한계치를 계산하고, 저여자에 해당하는 발전기 단자 전압을 계산할 수 있으며, 계통 변수들이 변동할 경우에도 정확하게 계자 전류를 예측하여 무효전력 한계치를 감시할 수 있으므로, 전력계통에 발전기가 출력 가능한 무효 전력 한계치 이내에서 최대 또는 최소 무효전력을 공급할 수 있고, 무효전력 한계치에 의한 발전기 트립을 방지하고 광역 정전을 예방할 수 있는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템 및 방법에 관한 것이다.

<29> 발전기 무효전력 한계치는 전력계통의 전압 안정도와 관련이 있다. 일반적인 전압 안정도는 전력계통 전체를 대상으로 모션 전압을 감시하는 방법이 많이 채용되고 있다(종래기술 문헌 [11] 내지 [14] 참조). 그러나 최근 대형 정전 사고는 발전소의 과여자 트립에 의해서 발생한 사례가 있고(종래기술 문헌 [15] 참조), 발전소의 과여자와 저여자에 의한 트립 가능성이 많기 때문에 발전기의 무효전력 한계치를 효과적으로 감시할 수 있는 방법이 요구되나 종래 기술로서는 이러한 요구에 부합될 수 없다.

<30> 종래의 발전기 무효전력 한계 감시는, 발전기 제작사에서 제공하는 용량 곡선(Capability Curve), 저여자 제한 장치(Under Excitation Limitter, 이하 UEL) 설정치, 그리고 과여자 계자 전류 제한 장치(Over Excitation Limitter, 이하 OEL) 설정치 등을 이용하여 현장의 발전기 운전원이 전적으로 발전 운전 현황을 분석하고 판단하였다. 이러한 방법은 발전기 운전원의 능력에 의존하는 대략적인 방법이며 전력계통 변수들이 변동할 경우 정확한 발전기 무효전력 운전을 예측하기 어려울 수 밖에 없다. 이러한 종래의 발전기 무효전력 한계 감시의 문제점을 정리하면 다음과 같다.

<31> 첫째, OEL 발전기 계자 전류 설정치에 대한 무효전력 한계치를 계산해서 발전기 무효전력 용량 곡선상에 도시할 수 없다. 발전기 운전 중에 무효전력 한계치 감시 방법은 보통 도 1처럼 용량 곡선을 이용하여 감시하게 된다. 도 1에 도시된 종래기술에 따른 발전기 무효전력 용량 곡선은 수소 압력 60 PSIG에서 발전기 출력 500 MW에서 출력 가능한 무효 전력을 도시하는 것이다. 저여자에 의한 최소 무효전력 한계치 감시는 도 1처럼 용량 곡선에 UEL 설정치를 도시하여 감시할 수 있으나, 과여자에 의한 최대 무효전력 한계치 감시는 OEL의 설정치가 발전기 계자 전류(i_{fd} , Generator Field Current)로 설정되어 있기 때문에, OEL 발전기 계자 전류 설정치에 대한 무효 전력 한계치를 계산해서 도시하는 것이 곤란하다. 이것은 최대 무효전력 한계치가 발전기 출력 조건, 단자 전압, 그리고 계통 전압에 따라 변화하기 때문이다. 따라서 OEL 계자 전류 설정치에 대한 무효전력 한계치를 용량 곡선에 표시하는 방법이 요구된다.

<32> 둘째, UEL에 무효전력 한계치에 대응되는 단자 전압을 계산 또는 예측하여 용량 곡선상에 도시할 수 없다. UEL 설정치는 유효 전력(P_e)에 대한 무효 전력(Q_e)으로 되어 있다. 따라서 용량 곡선에 유효 출력에 대한 무효 전력으로 도 1처럼 도시할 수 있다. 그러나 실제 발전기를 운전함에 있어 중요한 것은 단자 전압인데, 기존 기술은 UEL에 무효전력 한계치에 대응되는 단자 전압을 계산해서 또는 예측해서 용량 곡선상에 도시하는 것이 곤란하다.

<33> 셋째, 전력계통 변수의 변동을 미리 예측하여 최대 발전기 무효전력 한계치를 용량 곡선상에 도시할 수 없다. 발전기 운전은 끊임없이 발생하는 크고 작은 전력계통 외란에 대해서 한 운전점에서만 운전되지 않는다. 예로, 발전기 단자 전압, 발전기 유효 출력, 발전기 무효 전력, 그리고 네트워크 전압 등은 시시각각 변동하게 된다. 발전기 운전원이 미리 이러한 전력계통 변수에 대해서 예측할 수 있고 준비하고 있다면 전력계통의 신뢰도는 증가하게 되지만, 이러한 수동적인 방식에는 한계가 있으므로, 발전 출력(P)의 변동에 따라서 이러한 전력계통 변수의 변동을 미리 예측해서 자동적으로 최대 발전기 무효전력 한계치를 용량 곡선상에 도시할 수 있는 방법이 필요하다.

<34> 넷째, 발전기 과전압과 저전압 설정치에 대한 무효전력 한계치를 계산할 수 없다. 발전기 무효전력 제한은 OEL

이나 UEL 뿐만 아니라 발전기 과전압과 저전압의 설정치에도 영향을 받는다. 발전기 과전압과 저전압은 보통 각각 정격의 105%와 95% 범위이다. 따라서 설정된 발전기 과전압과 저전압 설정치에 대한 무효전력 한계치를 미리 계산할 수 있는 방법이 요구된다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <35> 따라서, 본 발명은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 발전소에서 전압 및 유효전력 등의 계통 변수 변화에 대해서도 정확한 무효전력 한계치를 예측하고 감시할 수 있는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템 및 방법을 제공함에 목적이 있다.
- <36> 또한, 본 발명은 무효전력 한계치를 예측하여 감시함으로써 전력계통에 발전기가 출력 가능한 무효전력 한계치 이내에서 최대 또는 최소 무효전력을 공급할 수 있는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템 및 방법을 제공함에 다른 목적이 있다.
- <37> 또한, 본 발명은 지능형 발전기 무효전력 한계 감시 시스템을 개발하여 과여자와 저여자에 의한 발전기 트립 사고와 대형 정전 사고를 방지하고 최대의 무효전력을 전력계통에 공급할 수 있는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템 및 방법을 제공함에 또 다른 목적이 있다.

발명의 구성 및 작용

- <38> 본 발명의 목적은, 발전기와 연결된 3상 전력선으로부터 변류기 및 변압기를 통해 측정된 데이터를 페이저로 변환하여 유효치의 단자 전압, 단자 전류, 무효 전력 및 유효 전력을 계산하는 실시간 측정 장치; 및 상기 실시간 측정 장치로부터의 실효치 데이터와, 1기 무한 모션 및 직축 동기 리액턴스(X_d), 횡축 동기 리액턴스(X_q), 직축 과도 리액턴스(X_d'), 횡축 과도 리액턴스(X_q'), 초기 과도 리액턴스(X''), 누설 리액턴스(X_l) 및 포화 계수 ($S(1.0)$, $S(1.2)$) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 기기 모델 파라메타를 이용하여 상기 발전기 무효전력 한계치를 계산하는 호스트 컴퓨터를 포함하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템에 의해 달성된다.
- <39> 또한, 본 발명의 목적은, 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템을 이용하여, 기기 모델 파라메타 및 계통 데이터를 구성하는 제1단계; 실시간 측정 장치로부터 측정 데이터를 읽고 저장하는 제2단계; 계통 조건에 따른 무효전력 한계치 계산 방법을 실행하는 제3단계; 및 계산된 무효전력 한계치를 시각화하는 제4단계를 포함하는 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법에 의해 달성된다.
- <41> 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- <42> 따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- <43> 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 지능형 발전기 무효전력 한계 감시 시스템이다. 발전기(1)로부터 생성된 전력은 3상 전력선을 통해 전력시스템(2)으로 송전되고, 발전기(1)와 연결된 3상 전력선으로부터 변류기(CT, 3) 및 변압기(PT, 4)를 통해 Target System인 실시간 측정 장치(Real-Time Phasor Measurement system, 5)에서 발전기 단자 전류 및 단자 전압이 각각 측정된다. 측정된 데이터는 페이저로 변환되고 유효치의 단자 전압, 단자 전류, 무효 전력, 그리고 유효전력이 계산되어, 호스트 컴퓨터(6)로 소정 시간마다 반복되어 전송된다. 호스트 컴퓨터(6)는 실시간 측정 장치(5)로부터 수신되는 매 주기마다의 실효치 데이터와, 1기 무한 모션 및 기기 모델 파라메타를 이용하여 발전기 무효전력 한계치를 추정하여 계산하고, 경우에 따라 경고 메시지를 시각화하여 출력한다.
- <44> 실시간 측정 장치(5)는 측정된 파형 데이터를 RMS(Root Mean Square, 실효치)로 바꾸어 주는 바, CT(3) 및 PT(4)에서 측정된 전류 및 전압을 이용하여 주파수, RMS 유효전력, RMS 무효전력을 계산한다. 이러한 실시간 측정 장치(5)의 기능은 종래기술 문헌 [7] 내지 [8]을 통해서도 잘 알 수 있다.

- <45> 호스트 컴퓨터(6)에서 이용되는 1기 무한 모션 모델은 조류 계산 모델로서 발전기의 상태 변수를 초기화 하는데 사용된다. 수치 해석을 이용한 전력계통 정상 상태 해석은 조류 계산 방법을 이용하여 해석한다. 조류 계산은 실제 전력 변수값들을 Per Unit 값으로 변경하고, 정상분(Positive Sequence)만 고려하여 전력의 흐름을 계산한다. 조류 계산 방법은 종래기술 문헌 [10]을 통해서도 잘 알 수 있다. 또한, 호스트 컴퓨터(6)에서 이용되는 기기 모델 파라메타는 발전기 특성시험(Generator Testing)을 통한 모델 파라메타 유도 방법으로 구해진다. 이러한 모델 파라메타 유도 방법은 종래기술 문헌 [1] 내지 [6]을 통해서도 잘 알 수 있다.
- <46> 1기 무한 모션 모델은 측정된 데이터, 즉 V_t , P, Q를 이용하여 무한 모션 전압(V_{inf})을 계산한다. 무한 모션 전압은 대형 전력계통인 경우 거의 변동이 없다. 무한 모션 전압을 계산하기 위해서 사용되는 등가 임피던스는 발전기 스텝-업(Step-up) 변압기 임피던스와 송전 선로 임피던스를 합한 값이다.
- <47> 기기 모델 파라메타는 측정된 초기 조건 P_0 , Q_0 및 V_t 를 이용하여 발전기 내부 부하각과 계자 전류를 계산하는데 사용된다. 검증된 기기 모델 파라메타(파라메타)는 X_d (직축 동기 리액턴스), X_q (횡축 동기 리액턴스), X_d' (직축 과도 리액턴스), X_q' (횡축 과도 리액턴스), X'' (초기 과도 리액턴스), X_l (누설 리액턴스), S(1.0)(포화 계수), S(1.2)(포화 계수) 등이며 본 발명의 기기 모델 파라메타는 이 중 적어도 어느 하나 이상을 포함한다.
- <48> 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 지능형 발전기 무효전력 한계 감시 방법이다. 구체적으로는, 도 2에 따른 지능형 발전기 무효전력 한계 감시 시스템과 연계된 호스트 컴퓨터(6)에서의 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 방법을 나타낸 것이다.
- <49> 먼저, 호스트 컴퓨터(6)가 초기화된(S301) 후, 기기 모델 파라메타 및 계통 데이터를 구성한다(S302). 실시간 측정 장치(5)의 실행여부를 파악한(S303) 후, 실행하지 않을 경우(S304), 실시간 측정 장치(5)의 시작신호 입력 여부를 파악한다(S305). 시작신호 입력이 없을 경우 S304단계와 S305단계를 반복한다. S305단계에서 시작신호 입력이 발생할 경우 실시간 측정 장치(5)에 구성 데이터를 송출하여(S306) 실시간 측정 장치(5)로부터 측정 데이터를 읽고 저장한다(S307). 실시간 측정 장치(5)의 실행여부를 파악한(S303) 후, 실행할 경우에는, 실시간 측정 장치(5)로부터 측정 데이터를 읽고 저장한다(S307).
- <50> S307단계후, 기기 모델 파라메타 및 계통 데이터의 변경필요여부를 파악한(S308) 후, 변경이 필요할 경우, 기기 모델 파라메타 및 계통 데이터를 변경하고(S309), 계통조건에 따른 무효전력 한계치 계산 방법을 실행한다(S310). 기기 모델 파라메타 및 계통 데이터의 변경이 필요없을 경우에는 바로 계통조건에 따른 무효전력 한계치 계산 방법을 실행한다(S310). 이후, 무효전력 예측치를 시각화하고(S311), 정지신호 입력 또는 에러발생 여부를 파악한(S312) 후, 정지신호 또는 에러신호가 없을 경우, 데이터 요청 완료 여부를 파악한다(S313). 데이터 요청이 미완료되었을 경우, S307단계를 실행한다. 데이터 요청이 완료되었을 경우, 자원 삭제를 실행한(S314) 후, S305단계를 실행한다. S312단계에서 정지신호 또는 에러신호가 발생할 경우에는 자원 삭제를 실행한(S314) 후, S305단계를 실행한다.
- <51> 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 실시간 측정 장치(5)의 페이지 계산 방법이다. 먼저, 실시간 측정 장치(5)의 하드웨어 구성화(Configuration) 단계(S401)를 거쳐, 전압(V_t) 및 전류(I_t)를 측정하고 채널을 읽는 단계(S402)를 진행한다. 이후, 타임스탬프(time stamp) 읽기 단계(S403)를 거쳐, 페이지 계산(P_e , Q_e , V_t) 단계(S404)를 진행하고, 호스트 컴퓨터(6)로 측정데이터를 송신하는 단계(S405)를 진행한다. 이후, 작업완료 또는 정지 신호 입력 여부를 파악하여(S406), 신호 입력이 있을 경우에는 열려진 참조를 닫는 단계(S407)를 진행하고, 신호 입력이 없을 경우에는 S402단계를 실행한다.
- <52> 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 무효전력 한계치 계산 방법이다. 구체적으로는, 도 3의 S310단계의 방법을 나타낸 것이다. 계통조건에 따른 무효전력 한계치 계산 방법이 시작되면(S501), 초기 조건(P_0 : 정상상태 발전기 유효전력 초기값, Q_0 : 정상상태 발전기 무효전력 초기값, V_{t0} : 정상상태 발전기 단자전압 초기값)과 시스템 등가 임피던스(X_s)가 입력된다(S502). 이후, 기기 모델 파라메타를 이용하여 발전기 내부 계자전류(i_{fd0}) 계산 및 부하각(δ_0) 계산(S503), 무한 모션 전압(V_{inf}) 계산(S504), OEL 설정치 계자전류($i_{fd0,OEL}$)에 대한 단자전압($V_{to,OEL}$) 추정 계산(S505), 최대 운전 단자전압($V_{to,max}$)과 최소 운전 단자전압($V_{to,min}$)에 대한 무효전력 한계치 추정 계산(S506), 출력 $P_i(i=1,2,\dots)$ 에 대응하는 최대 한계 무효 전력치($Q_{i,max}$) 추정 계산(S507), UEL 설정치 최소 무효전력($Q_{UEL,lim}$)에 대한 단자전압($V_{t,UEL}$) 추정 계산(S508), 무한 모션 전압(V_{inf}) 변동에 따른 무효전력 한계치 추정 계산(S509) 등을 실행한다. 이후, 현재 운전점의 한계 무효전력 위험지역 여부를 파악하고(S510), 위험지

역일 경우, 무효전력한계 위험 경고를 실행하며(S511), 위험지역이 아닐 경우, 종료 한다(S512). 이러한 도 5에 따른 무효전력 한계치 계산 방법에 따르면, 종래기술에서 언급한 문제점들을 해결할 수 있다.

<53> 첫째 문제점 해결: OEL 설정치 계자전류(i_{fd_OEL})에 대한 단자전압(V_{to_OEL}) 추정 계산을 수행함으로써(S505), OEL 발전기 계자 전류 설정치에 대한 무효전력 한계치(Q_{o_OEL})를 발전기 무효전력 용량 곡선상에 도시할 수 있다. OEL 설정치 계자전류에 대한 단자전압 추정 계산은 다음과 같이 수행된다. 현재 운전중에 측정되어 알고 있는 발전기 변수가 아래와 같다면, 아래 변수조건과 수학적 식 1을 이용하여 무한 모션 전압(V_{inf_0} , 미지의 값)을 계산한다. 즉 방정식 하나에 미지 변수(무한 모션 전압)가 하나이므로 간단히 계산할 수 있다.

<54> [발전기 변수조건]

<55> - $P_o(MW)$: 현재 유효 전력

<56> - $Q_o(Mvar)$: 현재 무효 전력

<57> - $V_{to}(kV)$: 현재 운전 중인 발전기 단자 전압

<58> - X_s : 시스템 등가 임피던스(변압기와 송전선로의 임피던스를 더한 값)

- I_{to}^* : 정상상태 발전기 단자전류 쾨쥬게이트(conjugate) 초기값

- V_{inf_0} : 정상상태 무한모션 전압 초기값

<59> [수학적 식 1]

$$P_o + jQ_o = V_{to} I_{to}^* = V_{to} \left(\frac{V_{to} - V_{inf_0}}{jX_s} \right)^*$$

<60>

<61> 계자 전류에 대한 최대 무효전력 한계치(Q_{o_OEL})는 아래 수학적 식 2의 최소 자승법인 최적화 기법을 이용하여, 계산되는 발전기 계자 전류가 OEL에 설정된 계자 전류값이 나오도록 하는 단자 전압을 계산하여 구한다. 이때 계자 전류 계산은 기기 모델 파라메타(파라메타)를 이용하여 발전기 모델링 식을 사용한다.

<62> [수학적 식 2]

$$\frac{1}{2} \min_{x=V_t} (i_{if_OEL} - f(x, V_{inf_0}, P_o))^2$$

<63>

<64> 여기서,

<65> $i_{if_cal} = f(x, V_{inf_0}, P_o)$, 계산된 발전기 계자 전류

<66> i_{if_OEL} : OEL 발전기 계자전류 한계치

V_t : 발전기 단자 전압

V_{inf_0} : 정상상태 무한모션 전압 초기값

<67> 둘째 문제점 해결: UEL에 설정된 무효전력 한계치(Q_{UEL_lim})에 대한 단자전압(V_{t_UEL}) 계산(S508)은 기지의 무한 모션 전압을 이용하여 계산한다. 즉, 아래 변수조건과 수학적 식 3을 이용하여 UEL 무효전력에 대응되는 단자 전압을 계산할 수 있다(여기서 미지의 값은 V_{UEL} 하나이다).

<68> [변수조건]

<69> - $P_o(MW)$: 현재 유효 전력

<70> - $Q_{UEL}(Mvar)$: 현재 최소 무효 전력 한계치

<71> - $V_{inf_0}(kV)$: 현재 운전 중인 상태에서 무한 모션 전압

<72> - X_s : 시스템 등가 임피던스(변압기와 송전선로의 임피던스를 더한 값)

- V_{to} : 정상상태 발전기 단자 전압 초기값

- I_{to}^* : 정상상태 발전기 단자전류 콘쥬게이트 초기값

<73> [수학식 3]

$$P_o + jQ_{UEL} = V_{to} I_{to}^* = V_{t_UEL} \left(\frac{V_{t_UEL} - V_{inf_0}}{jX_s} \right)^*$$

<74>

<75> 셋째 문제점 해결: 다른 출력 운전점(P_i)에서 계자 전류에 대한 최대 무효전력 한계치 계산(S507)은 아래 수학식 4의 최소 자승법인 최적화 기법을 이용하여, 계산되는 발전기 계자 전류가 OEL에 설정된 계자 전류값이 나오도록 하는 단자 전압을 계산하여 구한다. 여기서 무한 모션 전압은 쉽게 잘 바뀌지 않는다. 따라서, 이러한 계산과정은 대형 계통에 잘 적용된다.

<76> [수학식 4]

$$\frac{1}{2} \min_{x=V_t} (i_{if_OEL} - f(x, V_{inf_0}, P_i))^2$$

<77>

<78> 여기서,

<79> $i_{if_cal} = f(x, V_{inf_0}, P_i)$, 계산된 발전기 계자 전류

<80> $P_i(i=1,2,L)$: 다른 발전기 유효출력 운전점

<81> i_{if_OEL} : OEL 발전기 계자전류 한계치

V_t : 발전기 단자 전압

V_{inf_0} : 정상상태 무한모션 전압 초기값

<82> 넷째 문제점 해결: 한 발전기 출력 운전점(P_o)에서 발전기 최대 과전압(V_{max})과 저전압(V_{min}) 한계치에 대한 발전기 무효전력($Q_{max/min}$) 계산(S506)은 아래 수학식 5와 같다. 이때 구하고자 하는 미지의 값은 $Q_{max/min}$ 이다.

<83> [수학식 5]

$$P_o + jQ_{max/min} = V_{max/min} I_{to}^* = V_{max/min} \left(\frac{V_{max/min} - V_{inf_0}}{jX_s} \right)^*$$

<84>

여기서,

P_0 : 정상상태 발전기 유효전력 초기값

I_{to}^* : 정상상태 발전기 단자전류 콘주게이트 초기값

$V_{max/min}$: 최대 무효전력(Q_{max}) 또는 최소 무효전력(Q_{min})을 내기 위한 최대 또는 최소 운전 발전기 전압

V_{inf_0} : 정상상태 무한모선 전압 초기값

X_s : 송전선로 등가 임피던스

<85> 이 때, 운전 조건이 (P_0, Q_{max}, V_{max}) 혹은 (P_0, Q_{min}, V_{min})일 경우에 대한 발전기 계자 전류 계산은 도 6의 발전기 계자 전류 계산 방법을 이용하여 계산한다.

<86> 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 발전기 계자전류 계산 방법이다. 구체적으로는, 도 5의 S503단계의 방법을 나타낸 것이다. 발전기 계자전류 계산 방법이 시작되면(S601), 기기 모델 파라메타 입력이 시작되는 바(S602), 구체적으로는, $X_d, X_q, X_d', X_q', X'', X_1, S(1.0), S(1.2)$ 등이 입력되며(S603), 초기 조건($P_0, Q_0, V_{to}, V_{inf_0}, X_s$)이 입력된다(S604). 여기서, P_0 는 정상상태 발전기 유효전력 초기값, Q_0 는 정상상태 발전기 무효전력 초기값, V_{to} 는 정상상태 발전기 단자전압 초기값, V_{inf_0} 는 정상상태 무한모선 전압 초기값, X_s 는 송전선로 등가 임피던스이다. 이후, 내부 상차각이 계산(δ)되고, 고정자 전류를 직축/횡축 전류로 분해하며(S606), 발전기 계자전류를 계산($i_{fd_{cal}}$)한다. 이후, 최적화 기법 적용 여부를 판단하여(S608), 적용하지 않을 경우 종료하고(S612), 적용할 경우 발전기 계자전류 한계치($i_{fd_{OEL}}$)와 계산된 발전기 계자전류($i_{fd_{cal}}$)의 차가 발전기 유도기전력(ϵ)보다 작은 값인지 여부를 판단한다(S609). 이때, ϵ 보다 작을 경우 종료하고(S612), 클 경우 최적화 기법을 실행하고(S610), 단자전압(V_t)을 변동하여(S611) S605단계로 돌아간다.

<87> [실시예]

<88> 이하에서는, 본 발명에 따른 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템을 및 방법을 실제 612MVA 대형 화력 발전기(원통형)에 적용한 결과를 나타낸 것이다. 정격 단자 전압은 22kV이며, Base 계자 전류는 1175Amp이다. 사용하고자 하는 기기 모델 파라메타는 아래와 같이 측정된 결과와 잘 일치하는 검증된 기기 모델 파라메타이다. 사용된 툴은 PSS/E 전력계통 시뮬레이션 프로그램이다.

<89> - 검증된 기기 모델 파라메타: 표 1은 실제 측정된 단자 전류, 유효 전력, 무효 전력, 계자 전류, 부하각(Load Angle) 등을 나타낸 것이다. 표 2는 발전기 특성 시험(Generator Testing)에 의해서 도출되고 검증된 정상 상태 기기 모델 파라메타이다. 표 3은 기기 모델 파라메타에 의한 계산 결과와 측정 결과를 비교한 것이다. 표 2의 모델 파라메타에 의해서 계산된 계자 전류와 계산된 부하각은 측정된 계자 전류와 측정된 부하각과 비교해서 표 3처럼 거의 일치한다.

<90> [표 1] 측정된 정상 상태 발전기 운전 데이터

<91>

측정 No.	단자 전압 V_t (kV)	유효출력 P (MW)	무효출력 Q (Mvar)	계자 전류 I_{fd} (Amp)	부하각 (Deg)
1	21.215	501.237	0.071	2491.382	52.328
2	21.592	500.015	50.091	2616.375	47.954
3	21.994	501.509	100.064	2753.834	44.000
4	22.373	506.149	149.567	2884.731	40.663
5	22.578	508.047	200.943	3057.293	37.714
6	21.319	375.248	-1.591	2064.243	44.880
7	21.657	372.550	44.168	2206.295	40.368
8	22.078	369.892	94.060	2339.160	35.886
9	22.445	375.047	147.029	2526.158	32.658
10	21.436	252.764	-3.416	1674.504	34.401
11	21.850	252.608	50.239	1859.203	29.426
12	22.220	253.414	99.836	2057.354	25.945

13	22.511	254.021	148.460	2256.161	23.397
14	21.444	115.430	-6.982	1327.740	18.178
15	21.852	110.961	50.067	1592.816	14.276
16	22.236	116.193	100.272	1819.835	12.614
17	22.521	120.691	140.985	2012.081	11.759

<92> [표 2] 검증된 기기 모델 파라메타

파라메타	모델 파라메타값	비 고
Xd	2.199	직축 동기 리액턴스
Xq	1.587	횡축 동기 리액턴스
Xd'	0.257	직축 과도 리액턴스
Xq'	0.393	횡축 과도 리액턴스
X''	0.228	초기 과도 리액턴스
X _l	0.142	누설 리액턴스
S(1.0)	0.100	포화 계수
S(1.2)	0.238	포화 계수

<94> [표 3] 기기 모델 파라메타에 의한 계산 결과와 측정 결과 비교

측정 No.	측정된 I _{fd,mea} (Amp)	계산된 I _{fd,cal} (Amp)	% 오 차	측정된 부하각 (°)	계산된 부하각 (°)	오차 (°)
1	2491.382	2513.681	0.895	52.328	53.138	-0.809
2	2616.375	2622.347	0.228	47.954	48.406	-0.452
3	2753.834	2759.153	0.193	44.000	44.315	-0.314
4	2884.731	2919.412	1.202	40.663	40.972	-0.309
5	3057.293	3090.257	1.078	37.714	38.156	-0.442
6	2064.243	2036.754	-1.332	44.880	44.842	0.037
7	2206.295	2167.094	-1.777	40.368	40.299	0.069
8	2339.160	2328.513	-0.455	35.886	35.958	-0.072
9	2526.158	2534.841	0.344	32.658	32.786	-0.129
10	1674.504	1636.193	-2.288	34.401	33.663	0.738
11	1859.203	1848.778	-0.561	29.426	29.134	0.292
12	2057.354	2057.605	0.012	25.945	25.913	0.031
13	2256.161	2264.613	0.375	23.397	23.434	-0.037
14	1327.740	1306.323	-1.613	18.178	17.081	1.097
15	1592.816	1578.149	-0.921	14.276	13.775	0.501
16	1819.835	1831.137	0.621	12.614	12.543	0.071
17	2012.081	2032.884	1.034	11.759	11.792	-0.033

<96> - 등가 임피던스: 발전기 스텝-업 변압기와 출력이 전송되는 송전 선로의 총 임피던스는 612MVA 기준으로 0.20 Per Unit 이다.

<97> - OEL 설정치(도 8의 OEL Limit) 및 UEL 설정치(도 8의 UEL Limit): On line OEL(AFFL) 설정치는 3,386Amp 이다. UEL 설정치는 0MW시 -218.9MVar, 183.6MW시 -233.8MVar, 367.2MW시 -253.9MVar, 581.4MW시 -129.9MVar 이다.

<98> - 무한 모션 전압 계산: 현재 운전중인 발전기 초기 조건을 다음과 같다고 가정한다. 도 7은 1기 무한 모션 계통을 나타낸 것이고, 이를 바탕으로 수학적 1을 이용하여 다음의 초기 조건을 만족하는 무한 모션 전압은 0.973 Per Unit 이다(정격 22kV).

- <99> [발전기 초기 조건]
- <100> 단자 전압(V_{to}): 22.578kV
- <101> 유효전력(P_o): 508.047MW
- <102> 무효전력(Q_o): 200.943Mvar
- <103> - OEL 계자전류에 대한 최대 무효전력 한계치 계산: OEL의 계자 전류의 설정치는 3,386Amp이고, 이 값을 Per Unit로 계산하면 2.88(3386/1175)이다. 발전기 계자 전류가 2.88pu가 되도록 하는 단자 전압 혹은 최대 무효전력 한계치를 최적화 기법을 적용하여 계산한다. 이때 전력계통의 알고 있는 변수는 다음과 같다.
- <104> 무한 모션 전압(V_{inf}): 21.406kV(0.973 Per Unit)
- <105> 유효전력(P_o): 508.047MW
- <106> 계자전류(i_{fd_OEL}): 3,386Amp(2.88 Per Unit)
- <107> 내부 계자 전류 계산은 주어진 기기 모델 파라메타를 이용하여 계산한다. 수학적 2를 이용해서 계자 전류 2.88pu를 만드는 단자 전압과 최대 무효전력 한계치를 계산하면 다음과 같다.
- <108> 모션 단자 전압(V_t): 23.122kV(1.051 Per Unit)
- <109> 최대 한계 무효 전력(Q_{OEL}): 289.0Mvar
- <110> - UEL 설정치에 대한 단자전압 계산: 도 1의 무효전력 용량 곡선에서 출력 508MW에서 UEL에 의한 무효전력 제한치(도 8의 UEL Limit)는 -160Mvar라고 가정한다. 이때의 단자 전압은 다음과 같이 계산된다. 현재 알고 있는 전력 변수는 아래와 같다.
- <111> 무한 모션 전압(V_{inf}): 21.406kV(0.973 Per Unit)
- <112> 유효전력(P_o): 508.047MW
- <113> 무효전력(Q_{OEL}): -160Mvar
- <114> 위 전력 변수들 및 수학적 3을 이용하여 단자 전압(V_{t_UEL})을 추정하면 19.6944kV(0.8952 Per Unit)로 계산되며, 이를 용량 곡선에 표시하면 도 8(-160Mvar, 19.69kV)과 같다.
- <115> - 다른 발전기 유효전력 출력에 대한 OEL에 의한 최대 무효전력 한계치 계산:
- <116> 먼저, 발전기의 유효전력을 50MW 증가 변동하여 OEL에 의한 최대 무효전력 한계치를 계산하면 다음과 같다. 현재 알고 있는 전력계통 변수값은 무한 모션 전압(V_{inf}) 21.406kV(0.973 Per Unit) 및 유효전력(P_1) 558.047MW 이다. 이때 OEL 한계치는 3386Amp(2.88pu)이다. 이를 수학적 4를 이용하여 무효전력 한계치를 계산하면 모션 단자 전압(V_t) 22.792kV(1.036 per unit), 최대 한계 무효 전력(Q_{OEL}) 248.0Mvar를 얻는다.
- <117> 다음, 발전기의 유효전력을 -50MW 변동하여 OEL에 의한 최대 무효전력 한계치를 계산하면 다음과 같다. 현재 알고 있는 전력계통 변수값은 무한 모션 전압(V_{inf}) 21.406kV(0.973 Per Unit) 및 유효전력(P_2) 458.047MW 이다. 이를 수학적 4를 이용하여 무효전력 한계치를 계산하면 모션 단자 전압(V_t) 23.386kV(1.063 per unit), 최대 한계 무효 전력(Q_{OEL}) 321.87Mvar를 얻는다.
- <118> 표 4는 유효전력에 대한 OEL에 의한 무효전력 한계치를 나타낸 것이다. 위와 같이 계산되는 유효전력에 대한 OEL 한계치를 용량 곡선에 도시($R=458MW$, $P_o=508MW$, $P_2=558MW$, Operating Point)하면 도 8과 같다.
- <119> [표 4] 유효전력에 대한 OEL 한계치

P (유효전력)	Q_{OEL} (추정 한계치 무효전력)	비 고
$P_1=458.047$ MW	321.9 Mvar	

$P_0=508.047$ MW	289.0 Mvar	현재 운전점, 200.943 Mvar
$P_2=558.047$ MW	248.0 Mvar	

- <121> - 발전기 과전압과 저전압 한계치에 따른 무효전력 한계치 계산: 발전기의 기기 절연과 소내 전원의 과전압과 저전압을 막기 위해서 보통 발전기는 95%~105%에서 정상 운전을 하게 된다. 각각의 발전기 단자의 과전압과 저전압에서의 무효전력 한계치는 수학적 5를 이용하여 계산된다. 수학적 5를 통해 알 수 있는 값들은 다음과 같다.
- <122> 무한 모션 전압(V_{inf}): 21.406kV(0.973 Per Unit)
- <123> 유효전력(P_0): 508.047MW
- <124> 과전압 및 저전압 한계치: $V_{t_max}=23.1kV(1.05pu)$, $V_{t_min}=20.9kV(0.95pu)$
- <125> 위 값들을 이용하여 수학적 4를 통해 무효전력 한계치를 계산하면 다음과 같다.
- <126> 최대 무효전력 한계치: $Q_{max}=285.63Mvar$
- <127> 최소 무효전력 한계치: $Q_{min}=-19.0Mvar$
- <128> 본 발명은 이상에서 살펴본 바와 같이 바람직한 실시예를 들어 도시하고 설명하였으나, 상기한 실시예에 한정되지 아니하며 본 발명의 정신을 벗어나지 않는 범위 내에서 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변경과 수정이 가능할 것이다.

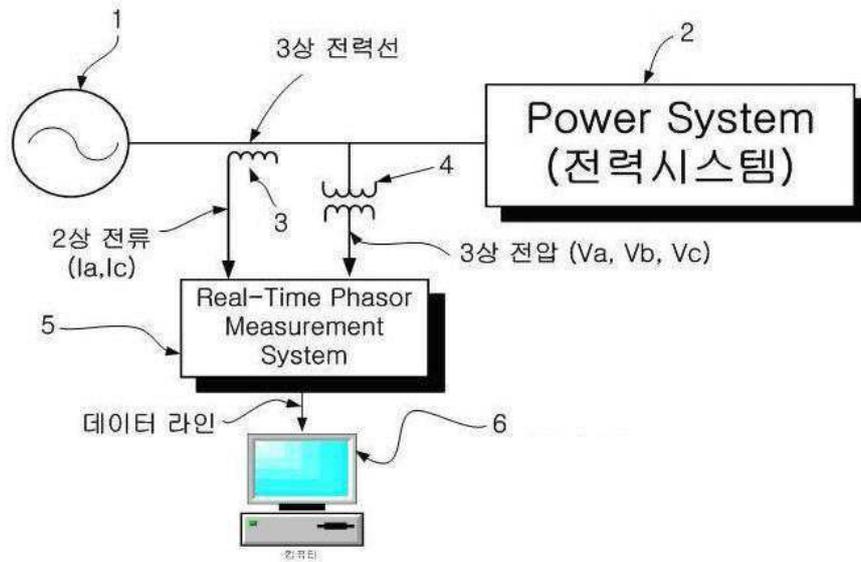
발명의 효과

- <129> 따라서, 본 발명의 기기 모델 파라메타를 이용한 지능형 발전기 무효전력 한계치 감시 시스템 및 방법은 다음과 같은 현저하고도 유리한 효과가 있다.
- <130> 첫째, 발전 운용자가 현재 운전점에서 예측되는 OEL에 의한 최대 무효전력 한계치를 감시함으로써 돌발 사고를 방지하고 발전기의 무효전력을 안정하게 전력계통에 공급할 수 있다.
- <131> 둘째, 발전 운용자가 현재 운전점에서 예측되는 UEL에 의한 최소 단자 전압 한계치를 감시함으로써 돌발 사고를 방지하고 전력계통의 무효 전력을 안정하게 발전기로 흡수할 수 있다.
- <132> 셋째, 현재 발전기 유효출력 운전점에서 발전기 유효전력 변동에 따른 OEL 무효전력 한계치를 예측 감시함으로써 안정도를 향상시키고 최대 발전기 무효전력을 전력계통에 공급할 수 있다.
- <133> 넷째, 발전 운용자가 미리 OEL과 UEL에 대한 무효전력 한계치를 예측하고 운전함으로써 발전기과여자나 저여자에 의한 발전기 트립 사고를 미연에 방지할 수 있어 전력계통의 공급 신뢰도를 증가시킨다.
- <134> 다섯째, 발전기의 과여자와 저여자에 의한 트립 사고를 사전에 방지함으로써, 발전기 트립에 의해서 가져올 수 있는 대형 정전 사고를 사전에 방지할 수 있다.

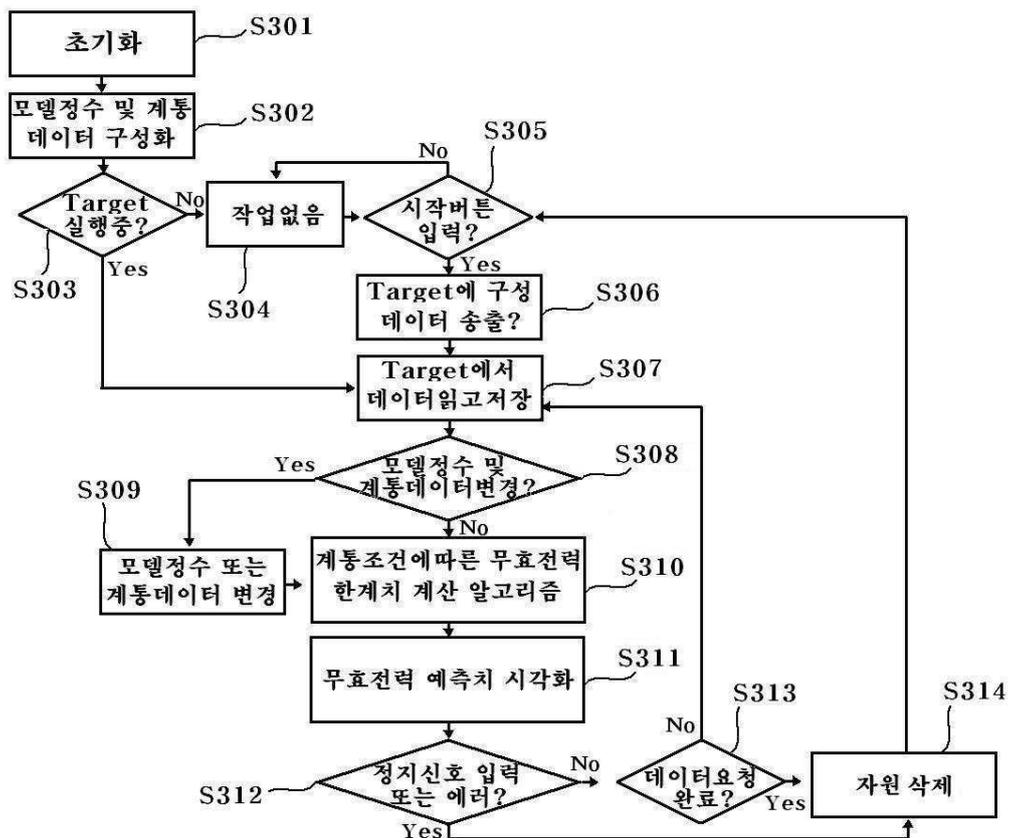
도면의 간단한 설명

- <1> 도 1은 종래기술에 따른 발전기 무효전력 용량 곡선,
- <2> 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 지능형 발전기 무효전력 한계 감시 시스템,
- <3> 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 지능형 발전기 무효전력 한계 감시 방법,
- <4> 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 실시간 측정 장치의 페이지 계산 방법,
- <5> 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 무효전력 한계치 계산 방법,
- <6> 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 발전기 계자전류 계산 방법,
- <7> 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 무한 모션 전압 계산을 위한 계통도,
- <8> 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 무효전력 용량 곡선.

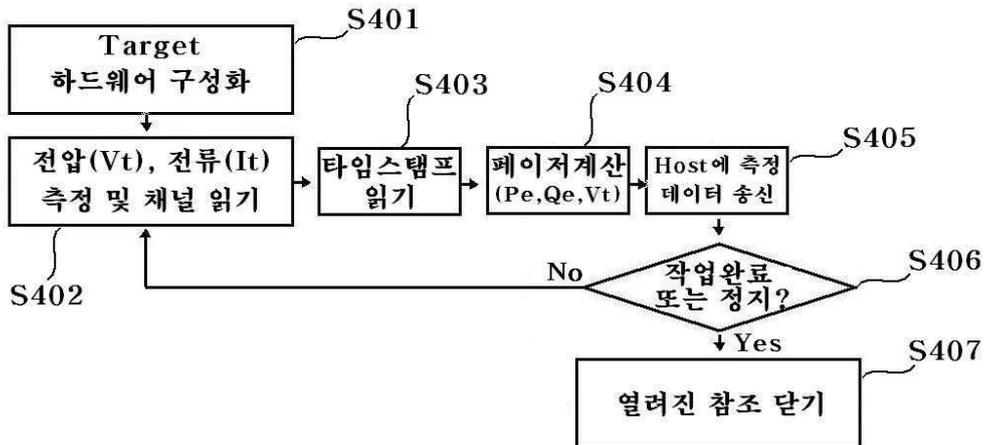
도면2



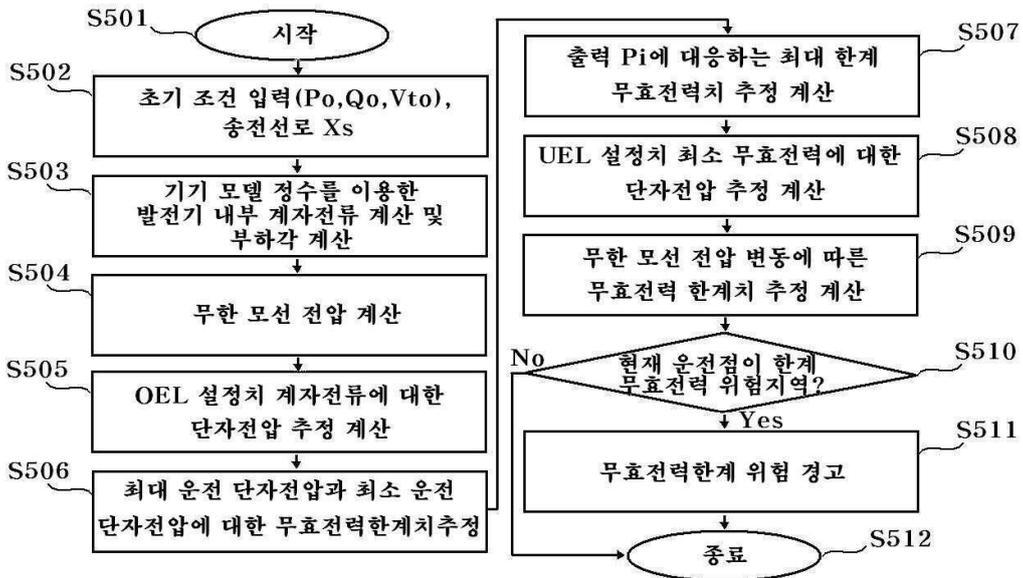
도면3



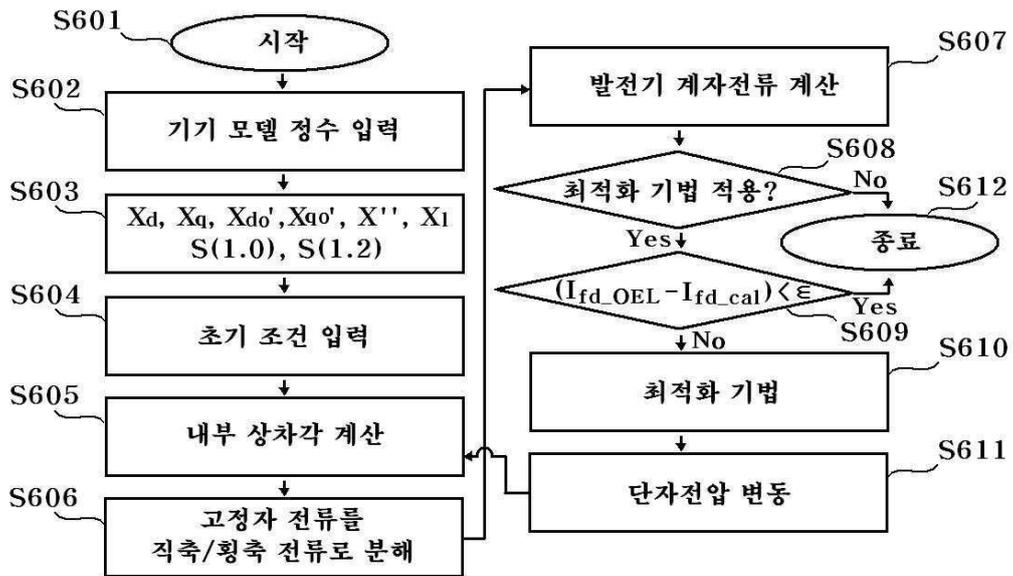
도면4



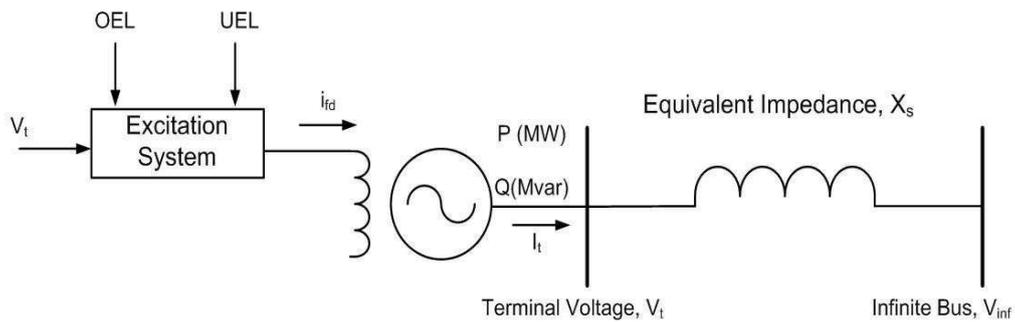
도면5



도면6



도면7



도면8

