(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0128447
(43) 공개일자 2012년11월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 3/00 (2006.01) *G01R 21/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0046399
(22) 출원일자 2011년05월17일
심사청구일자 2011년05월17일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 (신촌동)
(72) 발명자
박정욱
서울특별시 서초구 남부순환로350길 29-5, 401호 (양재동, 강남타운)
조시훈
전라북도 전주시 덕진구 거북바우3길 15, 중앙하이츠아파트 103동 1003호 (금암동)
손서은
경기도 용인시 수지구 현암로63번길 2, 101동 1103호 (죽전동, 대지마을 중앙하이츠빌)
(74) 대리인
특허법인가산

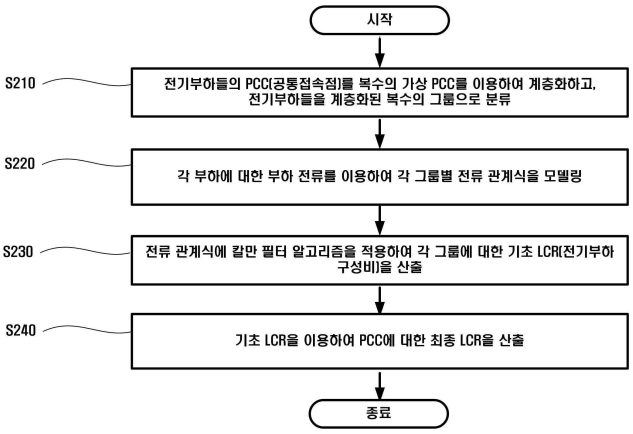
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 **배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법 및 장치**

(57) 요 약

배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법 및 장치가 제공된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법은, (a) 전기부하들의 PCC(Point of Common Coupling, 공통접속점)를 복수의 가상 PCC(Virtual PCC)를 이용하여 계층화하고, 전기부하들을 계층화된 복수의 그룹으로 분류하는 단계; (b) 각 부하에 대한 부하 전류(load current)를 이용하여 각 그룹별 전류 관계식을 모델링하는 단계; (c) 상기 전류 관계식에 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 각 그룹에 대한 기초 LCR(Load Composition Rate, 전기부하 구성비)을 산출하는 단계; 및 (d) 상기 기초 LCR을 이용하여 상기 PCC에 대한 최종 LCR을 산출하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2010-0015220
부처명	일반연구지원팀
연구사업명	일반연구자지원사업
연구과제명	실시간 최적화 모델 기반 배전시스템 적용을 위한 새로운 전력품질지수 개발
주관기관	연세대학교 산학협력단
연구기간	2010.05.01 ~ 2011.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

(a) 전기부하들의 PCC(Point of Common Coupling, 공통접속점)를 복수의 가상 PCC(Virtual PCC)를 이용하여 계층화하고, 전기부하들을 계층화된 복수의 그룹으로 분류하는 단계;

(b) 각 부하에 대한 부하 전류(load current)를 이용하여 각 그룹별 전류 관계식을 모델링하는 단계;

(c) 상기 전류 관계식에 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 각 그룹에 대한 기초 LCR(Load Composition Rate, 전기부하 구성비)을 산출하는 단계; 및

(d) 상기 기초 LCR을 이용하여 상기 PCC에 대한 최종 LCR을 산출하는 단계를 포함하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 (a) 단계는,

전기부하의 전류 파형이 상이한 전기부하들을 동일 그룹으로 분류하며, 전류 파형이 유사한 전기부하들을 다른 그룹으로 분류하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

(b1) 상기 각 부하에 대한 부하 전류를 측정하는 단계;

(b2) 상기 측정된 부하 전류를 규준화하는 단계; 및

(b3) 상기 규준 전류와 상기 규준 전류에 연관된 전기부하의 전류 관계식을 생성하는 단계를 포함하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 (c) 단계는,

상기 규준 전류의 집합에 상기 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 각 전기부하에 대한 전기부하 계수를 구하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 (d) 단계는,

각 계층의 그룹별 기초 LCR을 순차적으로 상위 계층의 연관된 기초 LCR과 곱하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법.

청구항 6

제 1항 내지 제 5항 중 어느 한 항에 기재된 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

청구항 7

전기부하들의 PCC(Point of Common Coupling, 공통접속점)를 복수의 가상 PCC(Virtual PCC)를 이용하여 계층화

하고, 전기부하들을 계층화된 복수의 그룹으로 분류하는 계층화부;

각 부하에 대한 부하 전류(load current)를 이용하여 각 그룹별 전류 관계식을 모델링하는 함수생성부;

상기 전류 관계식에 칼만 필터 알고리즘을 적용하는 칼만필터적용부;

각 그룹에 대한 기초 LCR(Load Composition Rate, 전기부하 구성비)을 산출하며, 상기 기초 LCR을 이용하여 상기 PCC에 대한 최종 LCR을 산출하는 LCR산출부를 포함하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 계층화수단은,

전기부하의 전류 파형에 따라 전기부하들을 그룹별로 분류하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 계층화수단은,

전기부하의 전류 파형이 상이한 전기부하들을 동일 그룹으로 분류하며, 전류 파형이 유사한 전기부하들을 다른 그룹으로 분류하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치.

청구항 10

제 7항에 있어서,

상기 함수생성부는,

상기 각 부하에 대한 부하 전류를 측정하여, 부하 전류를 규준화하며, 상기 규준 전류를 이용하여 전류 관계식을 생성하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 칼만필터적용부는,

규준 전류의 집합에 상기 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 각 전기부하에 대한 전기부하 계수를 각 그룹별로 독립적으로 구하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 칼만필터적용부에 의해 구해지는 상기 전기부하 계수를 저장하는 계수저장부를 더 포함하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치.

청구항 13

제 7항에 있어서,

상기 LCR산출부는,

각 계층의 그룹별 기초 LCR을 상위 계층의 연관된 기초 LCR과 순차적으로 곱하여 상기 PCC에 대한 최종 LCR을 산출하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 배전시스템의 공

통접속점을 여러 개의 가상접속점으로 계층화시켜 전기부하 구성비를 예측하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근에 석유 및 천연 가스의 급격한 가격 상승에 대응하기 위해, 전력 산업은 전력 산업의 구조, 운용, 계획, 규제에 대한 상당하고 빠른 변화가 있을 것으로 예측되고 있다.

[0003] 게다가, 경제적, 정치적, 환경적 요인들에 의해 전력 산업에 가해지는 새로운 규제들은, 전력 시스템의 계획 및 운용에 있어서 현존하는 전기 인프라를 최대한으로 활용하도록 하고 있다.

[0004] 그러므로, 전력 공급 회사들은 많은 다른 방법들을 통하여 이러한 목적을 달성하기 위해 애쓰고 있으며, 상기 방법들 중의 하나가 사용자들의 전기 수요를 만족시키기 위해 분산 전원(DG, distributed generation)을 설치할 때 고려해야 할 사항인 DG 솔루션을 독립적인 전력 생산자(IPP)가 정하게 하는 것이다.

[0005] 특히, 많은 분산 전원(DG)들은 인버터 시스템에 의해 동작하고, 비선형 부하에 기초한 많은 전자 부품 스위칭 장치는 배전 시스템에서 폭 넓게 사용되고 있다. 비록, 적절한 제어 및/또는 보장이 제공되더라도, 분산 전원은 시스템의 퍼포먼스가 저하되고, 안정성 문제를 야기시킬 수 있으며, 예기치 않은 동적 특성 때문에 다루기 어려운 문제가 있다. 또한, 이러한 상황은 전력 품질 문제와 관련하여 적절한 분석을 요구한다.

[0006] 그런데, 종래의 전기부하 구성비 예측 방법은 배전 시스템의 공통 접속점에 연결된 모든 전기부하의 구성 비율을 한꺼번에 구하였다. 그러나, 두 개 이상의 전기부하의 전류가 비슷한 파형을 가지고 있거나, 측정된 전기부하 전류 파형의 표본 추출 비율이 낮은 경우 정확한 전기부하 구성비를 예측하기 어려운 문제가 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기 문제점을 해결하기 위한 것으로, 배전시스템의 공통접속점을 여러 개의 가상접속점으로 계층화시켜서 배전시스템의 전기부하를 분류하여 각 전기부하 그룹마다 독립적으로 전기부하 구성비를 예측하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[0008] 또한, 각 전기부하 그룹마다 구해진 전기부하 구성비를 상위 계층의 전기부하 구성비와 순차적으로 곱하여 배전시스템의 공통접속점에 대한 전기부하 구성비를 예측하는 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[0009] 본 발명이 해결하고자 하는 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법은, (a) 전기부하들의 PCC(Point of Common Coupling, 공통접속점)를 복수의 가상 PCC(Virtual PCC)를 이용하여 계층화하고, 전기부하들을 계층화된 복수의 그룹으로 분류하는 단계; (b) 각 부하에 대한 부하 전류(load current)를 이용하여 각 그룹별 전류 관계식을 모델링하는 단계; (c) 상기 전류 관계식에 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 각 그룹에 대한 기초 LCR(Load Composition Rate, 전기부하 구성비)을 산출하는 단계; 및 (d) 상기 기초 LCR을 이용하여 상기 PCC에 대한 최종 LCR을 산출하는 단계를 포함한다.

[0011] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치는, 전기부하들의 PCC(Point of Common Coupling, 공통접속점)를 복수의 가상 PCC(Virtual PCC)를 이용하여 계층화하고, 전기부하들을 계층화된 복수의 그룹으로 분류하는 계층화부; 각 부하에 대한 부하 전류(load current)를 이용하여 각 그룹별 전류 관계식을 모델링하는 함수생성부; 상기 전류 관계식에 칼만 필터 알고리즘을 적용하는 칼만 필터적용부; 각 그룹에 대한 기초 LCR(Load Composition Rate, 전기부하 구성비)을 산출하며, 상기 기초 LCR을 이용하여 상기 PCC에 대한 최종 LCR을 산출하는 LCR산출부를 포함한다.

[0012] 본 발명의 기타 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0013] 본 발명에 따르면, 배전시스템의 공통접속점을 여러 개의 가상접속점으로 계층화시켜서 배전시스템의 전기부하를 분류하여 각 전기부하 그룹마다 독립적으로 전기부하 구성비를 예측하여 한 번에 예측되는 전기부하의 수가 줄어들어 전기부하 구성비를 구하는 시간을 줄일 수 있다.

[0014] 또한, 전기부하를 분류할 때 유사한 전류 파형을 가지는 전기부하를 다른 그룹에 분류하므로 기존의 전기부하 구성비 예측 기술보다 정확하게 전기부하 구성비를 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 분산전원(DG, Distribution Generation)을 가진 배전 전력 네트워크를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법의 순서도이다.

도 3은 본 발명의 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법의 구체적인 알고리즘을 나타내는 상세 순서도이다.

도 4는 제1 실시예에 따른 배전시스템을 계층화한 도면이다.

도 5는 제2 실시예에 따른 배전시스템을 계층화한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치의 구성도이다.

도 7은 다단계 분석을 실험하기 위한 분산전원(DG, Distribution Generation)을 가진 배전 전력 네트워크를 도시한 도면이다.

도 8은 한 주기 동안에 규준화된 각 부하에 따른 전류 파형을 도시한 도면이다.

도 9는 도 8의 각 부하에 따른 전류 파형에 기초하여 그룹별로 규준화한 전류 파형을 도시한 도면이다.

도 10은 분산전원 및 모든 부하를 연결시 도 7의 네트워크의 전압 및 전류 파형을 도시한 도면이다.

도 11 및 도 12는 칼만 필터 알고리즘에 의한 최적화 과정 동안 도 7의 네트워크의 계수의 변화를 도시한 도면이다.

도 13은 도 7의 네트워크의 예측된 전체 부하 전류 파형을 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 게시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 게시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0017] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0018] 이하, 본 발명에 대하여 첨부된 도면에 따라 보다 상세히 설명한다.

[0019] 도 1은 분산전원(DG, Distribution Generation)을 가진 배전 전력 네트워크를 도시한 도면이다.

[0020] 분산전원(12)을 가진 배전 전력 네트워크에서, 각 전기부하(L1, L2, ..., Ln-1, Ln)는 특정한 구성비와 함께 시스템을 구성한다. 전원(11)에 분산전원(12)이 스위치(S0, 13)를 통해 연결되어 공통접속점(PCC: Point of Common Coupling, 20)이 전압을 가질 때, 각 비선형(nonlinear) 전기부하(L1, L2, ..., Ln-1, Ln) 요소의 전류 파형으로부터 전기부하 구성(compostion)이 추론될 수 있다. 이하, 본 명세서에서 공통접속점(20)은 "PCC"(20)로 칭하여 사용하기로 한다.

[0021] 도 1에서, 전기부하 구성비(LCR: Load Composition Rate)의 공식화(formulation)을 위해, 전체 전류(i)와 각 부하 전류(i1, i2, ..., in-1, in) 간의 관계는 아래의 수학식 1로 규준화(normalization)되어 모델링될 수 있다. 여기에서, 위 첨자 norm은 규준화된 것을 의미하고, k1, k2, kn 은 미정 계수(unkown coefficients)을 나

타낸다. 그리고, n은 전원에 연결된 전기부하의 개수를 나타낸다. 이하, 본 명세서에서 전기부하 구성비는 LCR로 칭하여 사용하기로 한다.

수학식 1

[0022] $$i^{norm}(t) = k_1 i_1^{norm}(t) + k_2 i_2^{norm}(t) + \cdots + k_n i_n^{norm}(t)$$

[0023] 전기부하의 유형과 고조파(harmonic) 특성을 포함하는 파형을 결정하려면, 직접 측정한 전체 전류 파형을 사용하여 상기 수학식 1에서 미정 계수를 계산해야 한다. 상기 수학식 1의 방정식은 $\mathbf{A \cdot x = b}$ 형식의 선형 시스템 방정식으로 표현된다. 그리고, 상기 솔루션 벡터 $\mathbf{x} = [k1, k2, \cdots, kn]^T$ 에 해당하며, 상기 솔루션 벡터는 여러 계산 알고리즘에 의해 직접적 또는 반복적으로 구해질 수 있다.

[0024] 일례로, 가우시안 소거법(Gaussian Elimination Method)이나 컨쥬게이트 그레디언트 방법(Conjugate Gradient Method) 등을 이용하여 한 번에 미정 계수를 구할 수 있다.

[0025] 그러나, 공통접속점(20)인 PCC(20)에 부하 또는 분산전원(12)이 접속되는 경우, 예기치 않은 고조파 성분으로 인해 상기 PCC의 전압이 왜곡될 수 있다. 또한, 전류 파형이 고조파 특성에 대한 충분한 정보를 포함하지 않은 경우에 일반적인 솔루션은 아니므로, 이러한 문제를 해결하기 위해 칼만 필터 알고리즘(Kalman Fliter Algorithm)을 적용한다. 칼만 필터 알고리즘의 상세한 적용은 후술하여 살펴 보도록 한다.

[0026] 도 1에서, 칼만 필터 알고리즘을 바로 적용하더라도 언제나 정확한 솔루션 벡터 X가 구해지는 것을 보장하는 것은 아니다. 정확한 솔루션 벡터가 구해지지 않는 조건으로 다음의 세 가지를 들 수 있다.

[0027] (1) 많은 비선형 부하가 동일 PCC에 연결될 때

[0028] (2) 전체 부하 전류 파형의 데이터 샘플(samples)을 얻기 위한 샘플링 레이트(sampling rate)가 상대적으로 낮을 때

[0029] (3) 적어도 둘 이상의 부하 전류 파형이 형태면에서 서로 서로 유사할 때

[0030] 상기 세 가지 조건은 PCC에서 총 부하 전류에 관련된 각 부하 전류 파형에 정의된 고조파 특징을 흐리게 한다.

[0031] 그러므로, 더 정확한 솔루션 벡터의 예측을 위해 하나의 PCC를 여러 계층의 가상 PCC로 계층화하고, 전기부하를 그룹별로 분류한 다단계 분석법을 이용한다.

[0032] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법의 순서도이다.

[0033] 본 발명에 따른 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법은, (a) 전기부하들의 PCC(Point of Common Coupling, 공통접속점)를 복수의 가상 PCC(Virtual PCC)를 이용하여 계층화하고, 전기부하들을 계층화된 복수의 그룹으로 분류하는 단계와(S210), (b) 각 부하에 대한 부하 전류(load current)를 이용하여 각 그룹별 전류 관계식을 모델링하는 단계와(S220), (c) 상기 전류 관계식에 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 각 그룹에 대한 기초 LCR(Load Composition Rate, 전기부하 구성비)을 산출하는 단계와(S230), (d) 상기 기초 LCR을 이용하여 상기 PCC에 대한 최종 LCR을 산출하는 단계(S240)를 포함한다.

[0034] 가상 PCC는 모든 전기부하가 접속하는 공통접속점인 PCC를 가상의 접속점으로 계층화한 것을 말한다. 이때, PCC는 가상 PCC 중 최상위 계층에 있는 PCC에 일대일 대응하고, 전기부하는 최하위 계층에 있는 가상 PCC에 가상으로 연결된다.

[0035] 그리고, 최하위 계층에 있는 가상 PCC에 가상으로 연결된 전기부하는 전기부하의 전류 파형에 따라 그룹별로 분류된다. 즉, 전기부하의 전류 파형이 상이한 전기부하들은 동일 그룹으로 분류되며, 전류 파형이 유사한 전기부하들은 다른 그룹으로 분류된다.

[0036] 계층화되고, 전기부하가 그룹별로 분류된 후, 각 계층별로, 각 가상 PCC에 대한 전류 관계식이 생성된다(S220).

여기에서, 상기 수학식 1이 이용된다. 이때, 상기 각 부하에 대한 부하 전류를 측정하며, 상기 측정된 부하 전류를 규준화하여, 상기 규준 전류와 상기 규준 전류에 연관된 전기부하의 전류 관계식을 생성하게 된다.

[0037] 전류 관계식에 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 각 그룹에 대한 기초 LCR(Load Composition Rate, 전기부하 구성비)을 산출하는 것은 상기 수학식 1의 형태로 도출된 전류 관계식으로부터 계수를 구하는 것이다(S230). 구해진 계수의 비가 기초 LCR이 된다. 즉, 규준 전류의 집합에 상기 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 각 전기부하에 대한 전기부하 계수를 구하며, 구해진 계수의 비(rate)가 기초 LCR이 된다.

[0038] 칼만 필터 알고리즘은 측정 노이즈에 강한 스무딩(smoothing) 속성과 노이즈 제거 특성을 가지고 있다. 본 실시예에서, 추정(estimation)을 위한 상태 모델(state model)이 다음의 수학식과 같이 적용된다.

수학식 2

[0039]
$$\mathbf{x}(n+1) = \mathbf{\Phi}\mathbf{x}(n) + \mathbf{\Gamma}\boldsymbol{\omega}(n),\ \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0$$
$$y(n) = \mathbf{c}\cdot\mathbf{x}(n)$$
$$z(n) = y(n) + v(n)$$

[0040] 여기에서, $\mathbf{\Phi}\ (\in R^{n\times n})$, $\mathbf{\Gamma}\ (\in R^{n\times m})$, and $\mathbf{c}\ (\in R^{l\times n})$는 알려진 결정론적인 변수이다. 그리고, $\boldsymbol{\omega}\ (\in R^{m\times 1})$는 프로세스 노이즈 벡터(process noise vector)이고, $\mathbf{x}\ (\in R^{n\times 1})$는 상태 벡터(state vector)로 $\mathbf{x}=[k1, k2, \cdots, kn]^T$로 결정된다. 또한, z는 도 1의 PCC에서 규준화된(normalized) 전체 전류 측정치 i^{norm}이고, v는 정상 측정 잡음(stationary measurement noise)이다. 그리고, 상태 벡터의 추정은 다음 단계들을 통해 업데이트된다.

[0041] 첫 번째 단계는 측정 업데이트로(measurement update)써, z(n)을 얻고, 사후 양(posteriori quantity)를 계산하며, 다음의 수학식으로 표현된다.

수학식 3

[0042]
$$\mathbf{k}(n) = \mathbf{P}^{-}(n)\mathbf{c}^{T}[\mathbf{c}\mathbf{P}^{-}(n)\mathbf{c}^{T} + r]^{-1}$$
$$\hat{\mathbf{x}}(n) = \hat{\mathbf{x}}^{-}(n) + \mathbf{k}(n)[z(n) - \mathbf{c}\hat{\mathbf{x}}^{-}(n)]$$
$$\mathbf{P}(n) = \mathbf{P}^{-}(n) - \mathbf{k}(n)\mathbf{c}\mathbf{P}^{-}(n)$$

[0043] $\mathbf{k}\ (\in R^{n\times 1})$는 칼만 게인(Kalman gain), P는 양의 정부호 대칭 행렬(positive-definite symmetric matrix), r 은 양수(positive number)이다. 대개, $\mathbf{P}^{-}(0)$는 $\mathbf{P}^{-}(0) = \lambda\mathbf{I}\ (\lambda > 0)$로 주어지고, I는 단위 행렬(identity matrix)이다.

[0044] 두 번째 단계는 시간 업데이트(time update)로써, 다음의 수학식으로 표현된다.

수학식 4

$$\hat{\mathbf{x}}^{-}(n+1) = \mathbf{\Phi}\hat{\mathbf{x}}(n)$$

$$\mathbf{P}^{-}(n+1) = \mathbf{\Phi}\mathbf{P}(n)\mathbf{\Phi}^{\mathrm{T}} + \mathbf{\Gamma}\mathbf{Q}\mathbf{\Gamma}^{\mathrm{T}}$$

[0045]

[0046] 여기에서, $\mathbf{Q}(\in \mathbf{R}^{m\times m})$는 양의 정부호 행렬(positive-definite matrix)이다.

[0047] 세 번째 단계는 시간 증가(time increment)로써, n을 증가시키고 반복한다.

[0048] 그 후에, 추정된 결과는 다음의 식으로 계산된다.

수학식 5

$$\hat{y}(n) = \mathbf{c}\hat{\mathbf{x}}(n)$$

[0049]

[0050] 상기 프로세스 후에, 다음의 식으로 주어지는 RMSE(root-mean-square error)와 MAPE(mean-absolute-precentage error)가 LCR 예측 수행을 평가하고 반복(iteration)의 정지 기준(stopping criteria)을 결정하기 위해 계산된다.

수학식 6

$$\mathrm{RMSE}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{m=0}^{N-1}(y_m-\hat{y}_m)^2},\quad \mathrm{MAPE}=\frac{1}{N}\sum_{m=0}^{N-1}\left|\frac{y_m-\hat{y}_m}{y_m}\right|$$

[0051]

[0052] 여기에서, y_m and $\hat{y}_m$은 m번째 샘플링된 실제값과 예측된 전체 규준화된 부하 전류이고, N은 샘플링된 데이터의 전체 수를 나타낸다. 상기 수학식 1에 상기 수학식 2 내지 6의 칼만 필터 알고리즘을 적용하면 가상 PCC에 의해 계층화되고 분류된 각 그룹별 파라미터가 구해지며, 기초 LCR이 얻어진다. 이러한 기초 LCR을 이용하여 공통접속점인 PCC(20)에 대한 최종 LCR을 산출하며, 각 계층의 그룹별 기초 LCR을 순차적으로 상위 계층의 연관된 기초 LCR과 곱하여 획득된다.

[0053] 이러한, 일련의 상세 프로세스를 이하 도 3을 통해 살펴 보도록 한다.

[0054] 도 3은 본 발명의 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법의 구체적인 알고리즘을 나타내는 상세 순서도이다.

[0055] 도 3에서, 점선으로 된 두 개의 박스가 도시되어 있으며, 상부의 점선 박스는 PCC를 계층화하고, 전기부하를 그룹화하는 토폴로지(topology) 단계, 즉 도 2의 S210 단계에 대응되며, 하부의 점선 박스는 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 LCR을 추정하는 단계, 즉 도 2의 S220 내지 S240 단계에 대응된다.

[0056] 우선, 토폴로지에서 전기부하들의 공통접속점인 PCC(20)를 복수의 가상 PCC를 이용하여 계층화하고, 전기부하들을 계층화된 복수의 그룹으로 분류하는 것은 다단계 분석(multi-level ananlysis)이 된다. 다단계 분석을 위해

다양한 토폴리지(topology)로 L-계층(L-level)으로 확장이 가능하다. 토폴리지의 선택은 계산 비용과 직접적으로 관련되므로, 이를 위해 부하를 적절히 계층화하고 분류할 수 있는 최적 능력(optimal capability) c를 찾는 것이 중요하다(S310). 최적 능력 c는 데이터 샘플링 레이트(data sampling rate)(S308)와 PCC(20)에 연결된 전기 부하의 수(S318)에 따라 적절히 결정된다. 즉, 최적 능력 c는 전기부하 구성비인 LCR을 계산할 수 있는 연산 능력에 관련된다.

[0057] 전기부하의 수 n이 최적 능력 c보다 많을 경우에 PCC(20)를 적어도 복수의 가상 PCC로 계층화시키게 된다(S320). 계층화를 통해 다계층(multi-level)의 구조를 가진 전기부하의 ng 그룹을 생성한다(S330). 여기에서 ng는 그룹별 전기부하의 수를 의미한다. 상기 ng가 c보다 작은 경우에는 다계층 분석(MLA)을 통해 LCR을 도출하는 단계로 진행되며(S340), 그렇지 않은 경우에는 새로운 계층이 하나 더 필요하므로 한 계층을 더 생성시키게 된다(S342, S343).

[0058] 다음으로, 임의의 계층 l의 전류 관계식이 수학식 1에 의해 생성된다(S350). 이때, PCC(20)에서 측정된 전체 전류 파형(S348)과 계층 l에서 모델링된 그룹 전류 파형(S349)을 이용하여 전류 관계식을 생성한다. 그리고, 칼만 필터를 적용하여 계층 l의 계수를 계산하고(S360), 저장된 계수를 저장하여(S370), 모든 계층에 대한 계수를 계산한다(S380). 모든 계층에 대한 계수가 계산되면, 계산된 계수를 최하위 계층부터 순차적으로 곱하여(S390), PCC에 대한 LCR을 산출한다(S400).

[0059] 이하, 전술한 본 발명의 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 방법의 실제 적용예를 도 4 및 도 5를 통해 살펴보도록 한다. 도 4 및 도 5는 제1 및 제2 실시예에 따른 배전시스템을 계층화한 도면이다. 비교를 위하여, 도 4 및 도 5에서 전기부하는 8개로 동일하다.

[0060] 먼저, 도 4의 경우, 최적 능력 c가 4라 하자. 그러므로, 부하의 수가 8개이므로 정확하고 빠른 계산을 위해 계층을 분류하고, 전기부하를 적절한 개수로 그룹화할 필요가 있다.

[0061] 8개의 부하(L1-L8)이므로 한 그룹에 4개의 전기 부하가 속하면 된다. 이를 위해 2단(Level 1, Level 2)으로 계층화시키고, Level 2에 2개의 그룹(Group 11, Group 12)이 생성되면 된다. 그러면, PCC(20)의 전체 부하 전류 i는 Level 1의 가상 PCC에서 2개의 전류(iG11, iG12)로 분할된다. 또한, Level 2에서 각각 4개의 부하 전류로 다시 재분할된다.

[0062] 그러면, 상기 수학식 1은 Level 1의 하나의 가상 PCC와 Level 2의 2개의 가상 PCC에서 다음의 식으로 표현된다.

수학식 7

[0063]
$$i^{norm}(t) = k_{G11} i_{G11}^{norm}(t) + k_{G12} i_{G12}^{norm}(t)$$

수학식 8

[0064]
$$i_{G11}^{norm}(t) = k_1 i_1^{norm}(t) + k_2 i_2^{norm}(t) + k_3 i_3^{norm}(t) + k_4 i_4^{norm}(t)$$
$$i_{G12}^{norm}(t) = k_5 i_5^{norm}(t) + k_6 i_6^{norm}(t) + k_7 i_7^{norm}(t) + k_8 i_8^{norm}(t)$$

[0065] 상기 수학식 7 및 8에서 알려지지 않은 계수들은 상기 수학식 2 내지 6의 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 독립적으로 추정된다. 칼만 필터 알고리즘은 3번 적용된다. 그리고, LCR은 아래와 같은 LCR 행렬로 표현할 수 있고, 상기 LCR 행렬은 다음의 식으로 계산된다.

수학식 9

$$\mathbf{L} = \left(\begin{bmatrix} k_1 & k_3 & k_5 & k_7 \\ k_2 & k_4 & k_6 & k_8 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{K}_{\text{Level 1}} \right)_{normalized} = \begin{bmatrix} \text{LCR}(\text{L}_1) & \text{LCR}(\text{L}_3) & \text{LCR}(\text{L}_5) & \text{LCR}(\text{L}_7) \\ \text{LCR}(\text{L}_2) & \text{LCR}(\text{L}_4) & \text{LCR}(\text{L}_6) & \text{LCR}(\text{L}_8) \end{bmatrix}$$

[0066]

수학식 10

$$\mathbf{K}_{\text{Level 1}} = \begin{bmatrix} k_{\text{G11}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{\text{G11}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{\text{G12}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{\text{G12}} \end{bmatrix}$$

[0067]

[0068] 즉, 각 계층에서 그룹별로 독립적으로 계산된 기초 LCR을 이용하여 최하위 계층의 LCR부터 순차적으로 최상위 계층의 LCR까지 행렬곱하여 PCC(20)에 대한 LCR, 즉 서브스테이션(substation, 11)에 대한 LCR을 추정할 수 있다.

[0069] 다음에, 도 5의 경우, 최적 능력 c가 2라 하자. 8개의 부하(L1-L8)이므로 한 그룹에 2개의 전기 부하가 속하면 된다. 2단의 계층으로 할 경우, 한 그룹에 4개의 부하가 있게 되므로, 다시 한번 계층화시킬 필요가 있다. 따라서, 총 3단(Level 1, Level 2, Level 3)의 계층 및 최하위 계층인 Level 3에 4개의 그룹(Group 21, Group 22, Group 23, Group 24)으로 분류된다. 상기 4개의 그룹에는 2개씩의 부하가 있게 되어, 최적 능력 2보다 크기 않게 되어 LCR의 추정을 위한 계산이 가능하다. 그리고, Level 2에서는 2개의 그룹(Group 11, Group 12)이 생성된다.

[0070] 그리하여, 상기 수학식 1은 Level 1의 하나의 가상 PCC(전류 i에 대응), Level 2의 2개의 가상 PCC, Level 3의 3개의 가상 PCC 에서 다음의 식으로 표현된다. 여기에서, Level 1의 하나의 가상 PCC의 식은 상기 수학식 7과 동일하게 표현할 수 있다.

수학식 11

$$\left. \begin{aligned} i_{\text{G11}}^{norm}(t) &= k_{\text{G21}} i_{\text{G21}}^{norm}(t) + k_{\text{G22}} i_{\text{G22}}^{norm}(t) \\ i_{\text{G12}}^{norm}(t) &= k_{\text{G23}} i_{\text{G23}}^{norm}(t) + k_{\text{G24}} i_{\text{G24}}^{norm}(t) \end{aligned} \right\}_{\text{Level 2}}$$

[0071]

수학식 12

$$\left.\begin{aligned} i_{G21}^{norm}(t) &= k_1 i_1^{norm}(t) + k_2 i_2^{norm}(t) \\ i_{G22}^{norm}(t) &= k_3 i_3^{norm}(t) + k_4 i_4^{norm}(t) \\ i_{G23}^{norm}(t) &= k_5 i_5^{norm}(t) + k_6 i_6^{norm}(t) \\ i_{G24}^{norm}(t) &= k_7 i_7^{norm}(t) + k_8 i_8^{norm}(t) \end{aligned}\right\}_{\text{Level 3}}$$

[0072]

[0073] 상기 수학식 7 및 11-12에서 알려지지 않은 계수들은 상기 수학식 2 내지 6의 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 독립적으로 추정된다. 여기에서, 칼만 필터 알고리즘은 7번 적용되며, 도 4의 경우에 비해 칼만 필터 알고리즘이 4번 더 적용됨을 알 수 있다. 그리고, LCR은 아래와 같은 LCR 행렬로 표현할 수 있고, 상기 LCR 행렬은 다음의 식으로 계산된다.

수학식 13

$$\begin{aligned} \mathbf{L} &= \left(\begin{bmatrix} k_1 & k_3 & k_5 & k_7 \\ k_2 & k_4 & k_6 & k_8 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{K}_{\text{Level 2}} \cdot \mathbf{K}_{\text{Level 1}} \text{ in (10)} \right)_{normalized} \\ &= \begin{bmatrix} \text{LCR}(L_1) & \text{LCR}(L_3) & \text{LCR}(L_5) & \text{LCR}(L_7) \\ \text{LCR}(L_2) & \text{LCR}(L_4) & \text{LCR}(L_6) & \text{LCR}(L_8) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0074]

수학식 14

$$\mathbf{K}_{\text{Level 2}} = \begin{bmatrix} k_{G21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{G22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{G23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{G24} \end{bmatrix}$$

[0075]

[0076] 본 발명에서 제안되는 다계층 분석(MLA)은 LCR의 예측을 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 실제 사용에 있어 더 정확하고 강건한 LCR을 추정한다.

[0077] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치의 구성도이다.

[0078] 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치(600)는 계층화부(610), 함수생성부(620), 칼만필터적용부(630) 및 LCR 산출부(640)를 포함한다. 또한, 계수저장부(650)를 더 포함할 수 있다.

[0079] 계층화부(610)는 전기부하들의 PCC(20)를 복수의 가상 PCC를 이용하여 계층화하고, 전기부하들을 계층화된 복수의 그룹으로 분류한다. 이때, 계층화부(610)는 전기부하의 전류 파형에 따라 전기부하들을 그룹별로 분류하며, 전기부하의 전류 파형이 상이한 전기부하들을 동일 그룹으로 분류하며, 전류 파형이 유사한 전기부하들을 다른

그룹으로 분류하게 된다.

[0080] 함수생성부(620)는 각 부하에 대한 부하 전류(load current)를 이용하여 각 그룹별 전류 관계식을 모델링한다. 이때, 함수생성부(620)는 각 부하에 대한 부하 전류를 측정하여, 부하 전류를 규준화하며, 상기 규준 전류를 기초로 하여 전류 관계식을 생성하게 된다. 상기 전류 관계식은 상기 수학식 1에 기초하여 생성된다.

[0081] 칼만필터적용부(630)는 상기 수학식 1에 기초한 전류 관계식에 칼만 필터 알고리즘을 적용하는 역할을 수행한다. 칼만 필터 알고리즘의 적용을 위해, 전술한 수학식 2 내지 6이 적용된다. 즉, 칼만필터적용부(630)는 규준 전류의 집합에 상기 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 각 전기부하에 대한 전기부하 계수를 구하게 된다. 여기에서, 규준 전류의 집합은 가상 PCC에 개념적으로 입출력되는 전류를 규준화한 것을 말한다.

[0082] LCR산출부(640)는 각 그룹에 대한 기초 LCR을 산출하며, 상기 기초 LCR을 이용하여 PCC(20)에 대한 최종 LCR을 산출하는 역할을 수행한다. 기초 LCR은 칼만필터적용부(630)에 의해 구해지는 전류 관계식의 계수의 비에 의해 도출된다. 그리고, PCC(20)에 대한 최종 LCR은 각 계층의 그룹별 기초 LCR을 상위 계층의 연관된 기초 LCR과 순차적으로 곱하여 산출된다. 즉, 최하위 계층의 LCR을 순차적으로 상위 계층의 LCR에 행렬 곱하여 최종 LCR을 산출한다.

[0083] 또한, 배전시스템의 전기부하 구성비 예측 장치(600)는 계수저장부(650)를 더 포함할 수 있으며, 칼만필터적용부(630)에 의해 구해지는 전류 관계식의 계수들이 상기 계수저장부(650)에 저장된다.

[0084] 이하, 실험을 통해 본 발명이 적용된 결과를 살펴 보도록 한다.

[0085] 도 7은 다단계 분석을 실험하기 위한 분산전원(DG, Distribution Generation)을 가진 배전 전력 네트워크를 도시한 도면이며, 도 8은 한 주기 동안에 규준화된 각 부하에 따른 전류 파형을 도시한 도면이고, 도 9는 도 8의 각 부하에 따른 전류 파형에 기초하여 그룹별로 규준화한 전류 파형을 도시한 도면이고, 도 10은 분산전원 및 모든 부하를 연결시 전압 및 전류 파형을 도시한 도면이다.

[0086] 분산전원(12)으로 3kW PV(photovoltaic) Grid-connected 인버터가 사용되며, 이는 IEEE standard 1547에 따라 5% 미만의 작은 THD(Total Harmonic Distortion, 전고조파왜곡)로 PCC(20)의 전압 파형을 왜곡하는 역할을 수행한다. 그리고, 8개의 비선형 부하가 PCC(20)에 접속되며, 상기 8개의 전기 부하는 에어컨의 부하(La), 형광등의 부하(Lf), LCD 모니터의 부하(Ll), 마이크로파 오븐의 부하(Lo), 인덕션 모터의 부하(Lm), 전기히터의 부하(Lh), 냉장고의 부하(Lr), 컴퓨터의 부하(Lc)이다.

[0087] 한 주기 T 동안 각 부하 전류는 개별적으로 측정(스위치의 on-off를 통해)되고, 낮은 샘플링 레이트(sampling rate)로 샘플링되어 한 주기 동안에 64 포인트에 대한 데이터를 얻을 수 있다. 그런 후에, 각 부하에 대응하여 규준화된 파형은 도 8과 같이 나타난다.

[0088] 도 8에서, 부하 자체의 비선형 특성에 의해 야기되는 고주파의 고조파 성분으로 모든 파형이 왜곡됨을 알 수 있다. 특히, 에어컨 전류 파형(ia)와 히터의 전류 파형(ih)이 유사하며, LCD 모니터의 전류 파형(i ㅣ)과 컴퓨터의 전류 파형(ic)이 유사하다. 그러므로, 에어컨과 히터는 다른 다른 그룹으로 나뉘어져야 하며, LCD 모니터와 컴퓨터도 다른 그룹으로 나위어져야 한다.

[0089] 한 사이클(cycle) 당 64의 데이터 샘플링 레이트를 고려 시 최적 능력 c가 4로 선택될 수 있다. 그러면, 8개의 비선형 부하는 2개의 그룹으로 분류되며, 각 그룹은 4개의 부하를 가진다. 즉, 도 4의 경우와 동일하게 계층화 및 그룹화가 이루어진다.

[0090] 또한, 에어컨과 LCD 모니터는 각각 히터와 컴퓨터와는 다른 그룹으로 분류되어야 한다. 이는 전류 파형이 유사하기 때문이다. 그리하여, 에어컨, 형광등, 모니터, 오븐을 하나의 그룹으로, 나머지를 다른 그룹으로 분류할 수 있다.

[0091] 그런 후에, 칼만 필터 알고리즘을 적용하기 위해 각 레벨에 전류-부하 관계가 상기 수학식 7 및 8에 의해 형성된다. 그리고, 각각의 그룹 전류(iG11, iG12)의 측정은 고조파 특징을 포함하는 특성을 제공할 수 있고, 자체의 규준화된 파형이 도 9와 같이 나타난다.

[0092] 모든 전기 부하 및 부하 그룹의 특성이 측정된 전류 파형에 의해 정의된 후에, 스위치 S0(13)를 온(on)하여 분산전원(12)을 연결시켜 PCC(20)의 전압(vPCC)과 전체 부하 전류(i)도 측정한다. PCC(20)의 전압(vPCC)과 전체 부하 전류(i)의 파형은 도 10과 같다.

[0093] 도 10에서, 분산전원(12)의 효과 및 비선형 부하에 의해 야기되는 고조파 전압 강하에 의해 PCC(20)의 전압이

약간 왜곡됨을 알 수 있다.

[0094] 도 8 내지 도 10에서 측정된 데이터를 상기 수학식 7 및 8에 적용할 수 있다. 즉, 수학식 7 및 8의 미정계수는 도 8 내지 10의 데이터를 기초로 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 구할 수 있다.

[0095] 10번을 실행한 결과, 상기 수학식 7 및 8의 미정계수는 아래와 같이 수렴하였다.

$$[k_{G11}, k_{G12}] = [0.3310, 0.6692]$$

$$[k_1, k_2, k_3, k_4] = [0.0760, 0.1563, 0.0291, 0.7883]$$

$$[k_5, k_6, k_7, k_8] = [0.1220, 0.8779, 0.0460, 0.0305]$$

[0096]

[0097] 도 11 및 도 12에 칼만 필터 알고리즘에 의한 최적화 과정 동안의 계수의 변화가 도시되어 있다.

[0098] 상기 구한 계수를 상기 수학식 9에 대입하면, 최종 LCR이 추정되며, 최종 LCR은 아래와 같다.

[0099] L = [LCR(La), LCR(Ll), LCR(Lm), LCR(Lr); LCR(Lf), LCR(Lo), LCR(Lh), LCR(Lc)] = [0.0231, 0.0088, 0.0952, 0.0282; 0.0475, 0.2394, 0.5391, 0.0187]

[0100] 전체 부하 전류는 상기 수학식 5에 상기 구해진 최종 LCR을 대입하여 구할 수 있으며, 이에 대한 결과는 도 13에 도시되어 있다.

[0101] 상기 수학식 6을 이용하여 RMSE와 MAPE를 계산한 결과, 각각 0.0046과 0.0344가 도출되며, 이러한 결과는 아주 좋은 예측이 되었음을 보여준다.

[0102] 또한, 도 7의 네트워크를 3단으로 계층화하고, 최하위 계층의 4그룹으로 분류하여 상기 수학식 7 및 수학식 11-12를 이용하여 PCC(20)에 대한 최종 LCR을 구할 수 있다.

[0103] 그리고, 가상 PCC를 이용하지 않고, 단순히 하나의 계층으로 하여 상기 수학식 7을 적용할 수도 있다.

[0104] 세 가지 방법에 따른 PCC(20)에 대한 최종 LCR의 결과는 아래의 표 1과 같다.

표 1

[0105]

	La	Lf	Ll	Lo	Lm	Lh	Lr	Lc
Theoritical	0.0230	0.0474	0.0088	0.2389	0.0952	0.5396	0.0283	0.0187
SLA	0.0486	0.0632	0.0052	0.2449	0.0768	0.5018	0.0380	0.0215
2-Level	0.0231	0.0475	0.0088	0.2394	0.0952	0.5391	0.0282	0.0187
3-Level	0.0231	0.0475	0.0088	0.2394	0.0952	0.5391	0.0282	0.0187

[0106] 여기에서, Theoretical은 이론적인 LCR 값을 나타내며, SLA은 계층화하지 않고 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 도출한 LCR 값을 나타낸다. 그리고, 2-Level은 2단으로 계층화하고, 한 그룹 당 4개의 부하로 다단계 분석 시 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 도출한 LCR 값을 나타내며, 3-Level은 3단으로 계층화하고, 한 그룹 당 2개의 부하로 다단계 분석 시 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 도출한 LCR 값을 나타낸다.

[0107] 상기 표 1에서, 전기부하를 다단계로 계층화한 경우 이론적인 LCR값과 거의 차이가 없으나, 계층화하지 않고 단순히 칼만 필터 알고리즘을 적용한 경우 오차가 있음을 알 수 있다.

[0108] 그러므로, 본 발명에서 제안하는 다계층 분석(MLA)은 칼만 필터 알고리즘을 적용하여 LCR을 예측 시, 실제 적용에 있어 더 정확한 추정 LCR 값을 도출함을 알 수 있다.

[0109] 한편, 본 발명의 전기부하 구성비 예측 방법은 소프트웨어 및 하드웨어에 의해 하나의 모듈로 구현 가능하며, 전술한 본 발명의 실시예들은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 프로그램으로 작성 가능하고, 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 이용하여 상기 프로그램을 동작시키는 범용 컴퓨터에서 구현될 수 있다. 상기 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체는 롬(ROM), 플로피 디스크, 하드 디스크 등의 자기적 매체, CD, DVD 등의 광학적 매체 및 인터넷을 통한 전송과 같은 캐리어 웨이브와 같은 형태로 구현된다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네크워크로

연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

[0110] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

[0111] 20: PCC

600: 전기부하구성비 예측장치

610: 계층화부

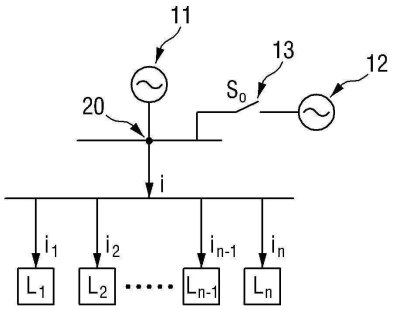
620: 함수생성부

630: 칼만필터적용부

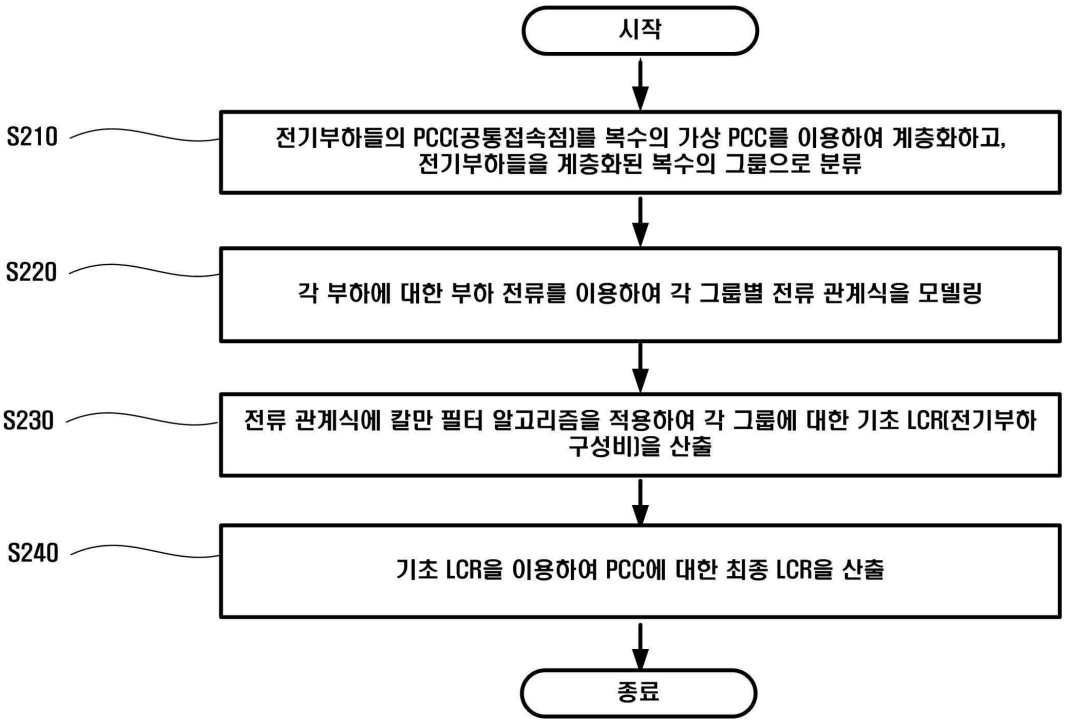
640: LCR산출부

도면

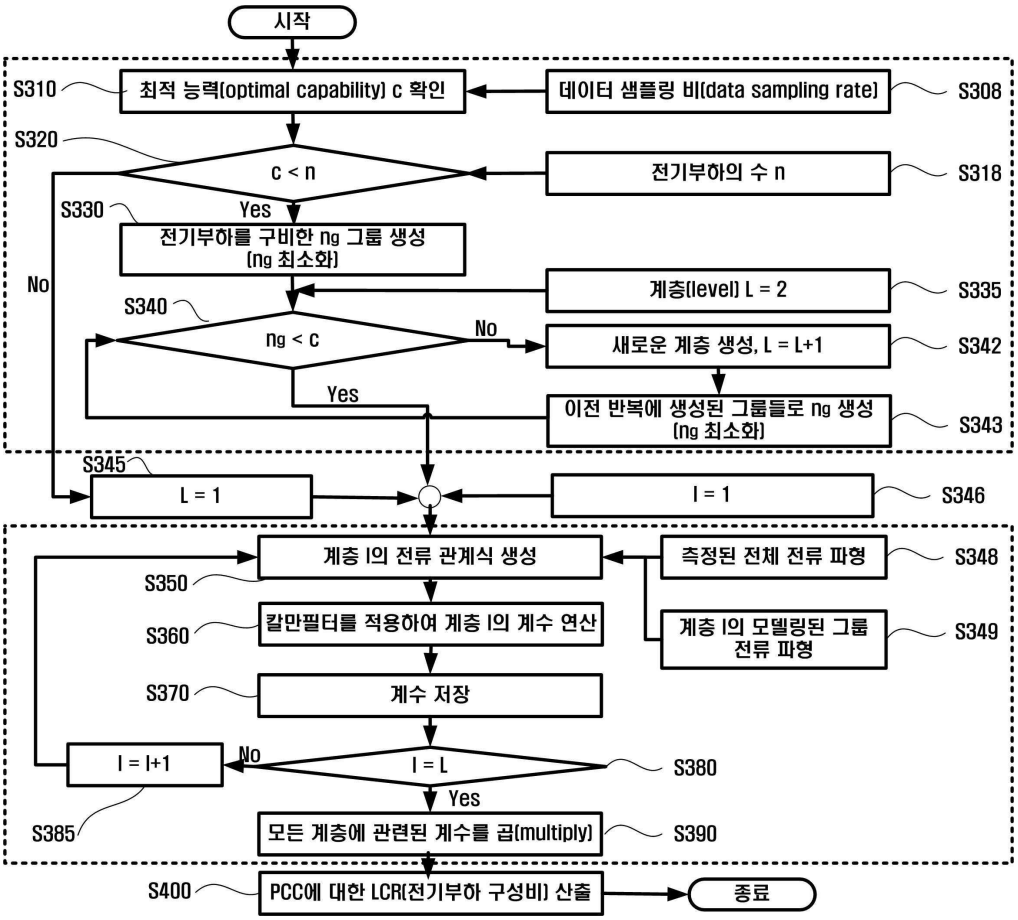
도면1



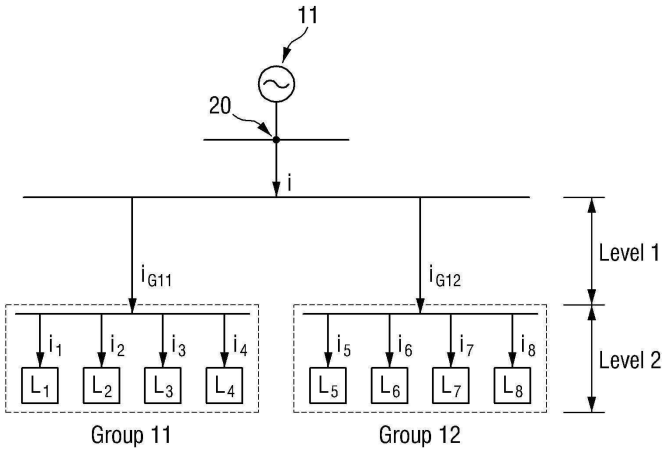
도면2



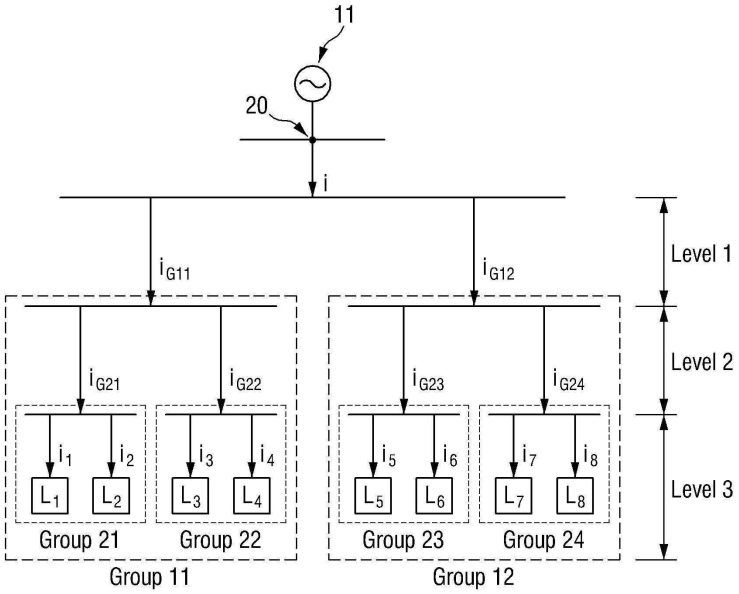
도면3


시작
S310
최적 능력(optimal capability) c 확인
데이터 샘플링 비(data sampling rate)
S308
S320
c < n
전기부하의 수 n
S318
S330
Yes
전기부하를 구비한 ng 그룹 생성
(ng 최소화)
No
계층(level) L = 2
S335
S340
ng < c
No
새로운 계층 생성, L = L+1
S342
Yes
이전 반복에 생성된 그룹들로 ng 생성
(ng 최소화)
S343
S345
L = 1
I = 1
S346
계층 I의 전류 관계식 생성
측정된 전체 전류 파형
S348
S350
S360
칼만필터를 적용하여 계층 I의 계수 연산
계층 I의 모델링된 그룹 전류 파형
S349
S370
계수 저장
I = I+1
No
I = L
S380
Yes
S385
모든 계층에 관련된 계수를 곱(multiply)
S390
S400
PCC에 대한 LCR(전기부하 구성비) 산출
종료

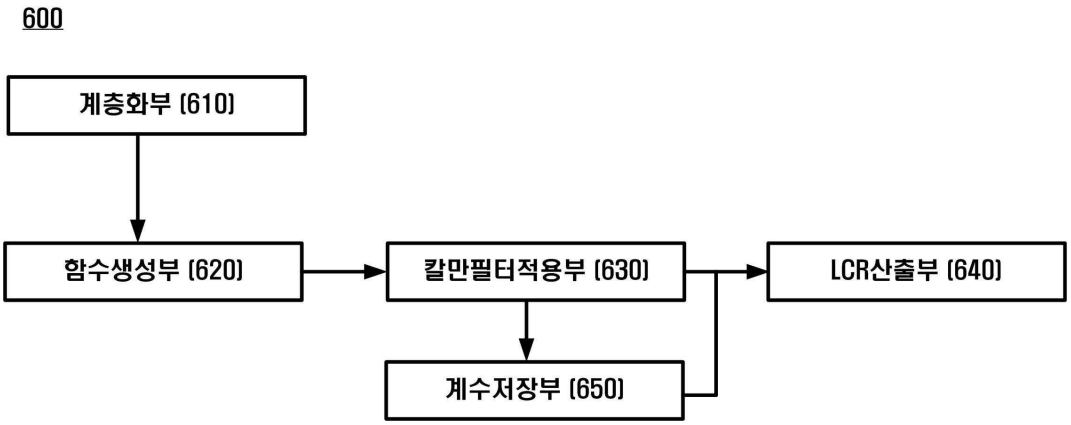
도면4


11
20
i
i_{G11}
i_{G12}
Level 1
Level 2
i_1 i_2 i_3 i_4
i_5 i_6 i_7 i_8
L_1 L_2 L_3 L_4
L_5 L_6 L_7 L_8
Group 11
Group 12

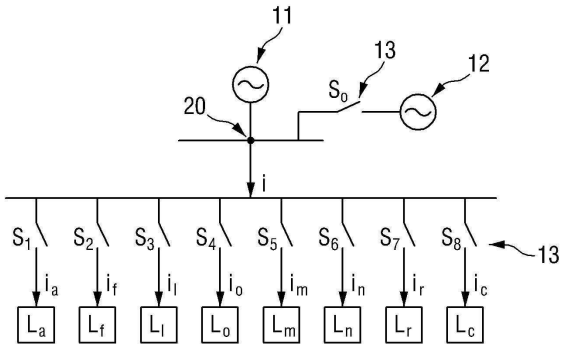
도면5


11
20
i
i_{G11}
i_{G12}
Level 1
Level 2
Level 3
i_{G21}
i_{G22}
i_{G23}
i_{G24}
i_1 i_2 i_3 i_4 i_5 i_6 i_7 i_8
L_1 L_2 L_3 L_4 L_5 L_6 L_7 L_8
Group 21
Group 22
Group 23
Group 24
Group 11
Group 12

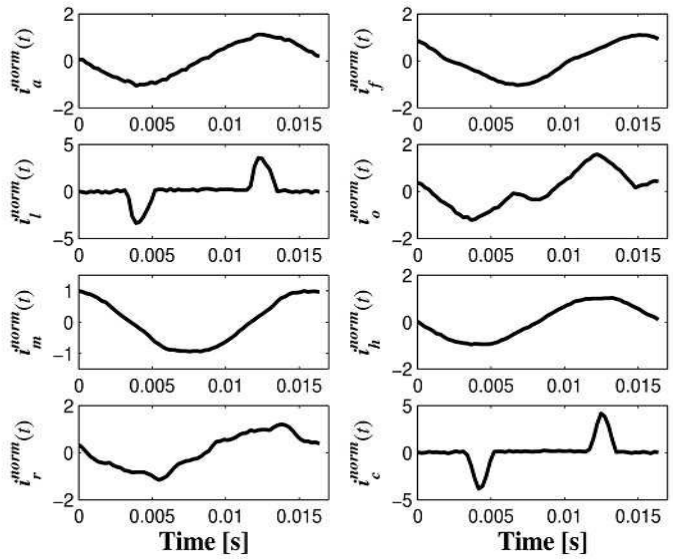
도면6


600
계층화부 (610)
함수생성부 (620)
칼만필터적용부 (630)
LCR산출부 (640)
계수저장부 (650)

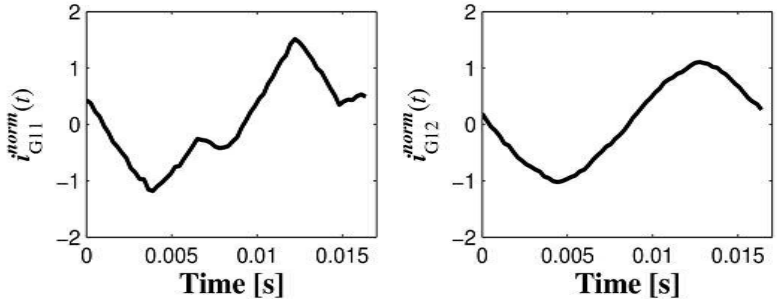
도면7


11
13
12
20
S_0
i
S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8
13
i_a i_f i_l i_o i_m i_n i_r i_c
L_a L_f L_l L_o L_m L_n L_r L_c

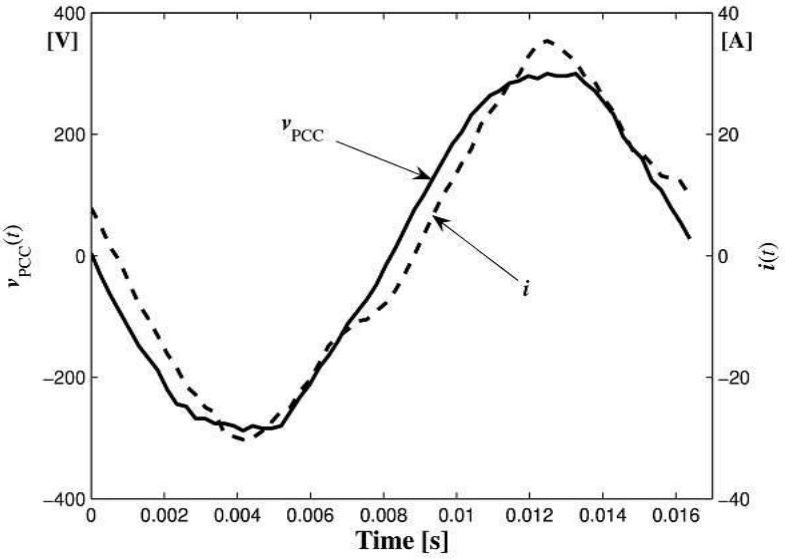
도면8


$i_a^{norm}(t)$
$i_f^{norm}(t)$
$i_l^{norm}(t)$
$i_o^{norm}(t)$
$i_m^{norm}(t)$
$i_h^{norm}(t)$
$i_r^{norm}(t)$
$i_c^{norm}(t)$
Time [s]
Time [s]

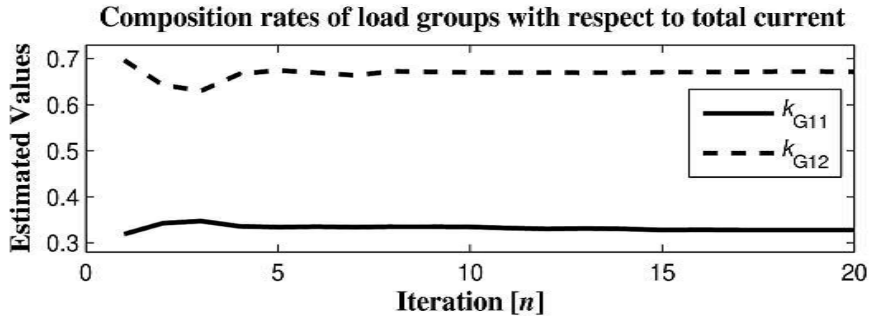
도면9


$i_{G11}^{norm}(t)$
$i_{G12}^{norm}(t)$
Time [s]
Time [s]

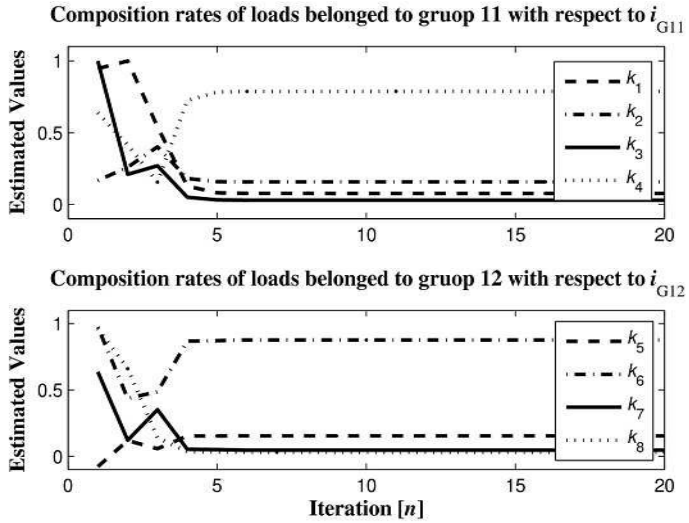
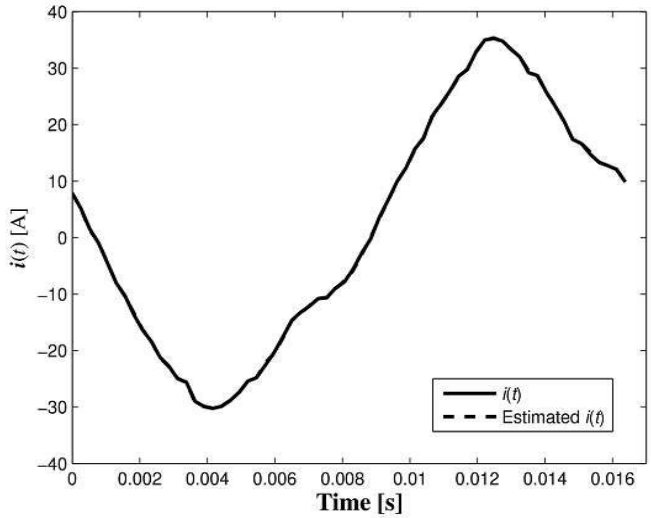
도면10


[V]
[A]
v_{PCC}
i
$v_{PCC}(t)$
$i(t)$
Time [s]

도면11



도면12



도면13