(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0059320
(43) 공개일자 2017년05월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 3/01 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02J 3/01 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0163564
(22) 출원일자 2015년11월20일
심사청구일자 2015년11월20일
기술이전 희망 : **기술양도**

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
이홍희
울산광역시 울주군 범서읍 구영로 101-7, 504동 1401호 (구영2차푸르지오)
전태원
부산광역시 금정구 구서중앙로 20, 7동 308호 (구서동, 선경1차아파트)
(74) 대리인
김종선, 이형석

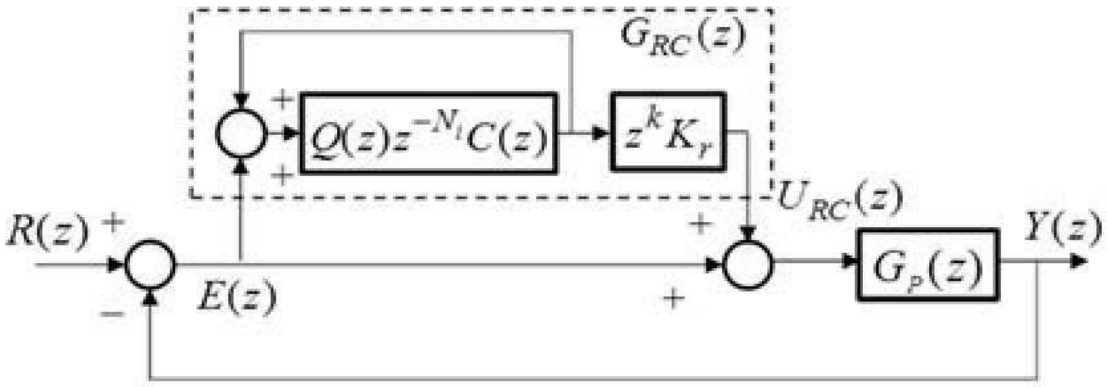
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **전압 보상 장치**

(57) 요 약

발명의 실시예에 따른 전압보상장치는 입력 전원의 고조파 성분을 제어하는 반복 제어기를 포함하고, 상기 반복 제어기는 상기 전원전압 신호 대비 출력 신호 값인 전달 함수의 지연된 시간을 검출하는 지연시간 검출부; 및 상기 전원전압의 입력 주파수에 따른 상기 전달 함수의 이득을 조절하는 이득 결정부를 포함한다.

대 표 도 - 도4



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711013697
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 중견연구자지원
연구과제명 태양광, 풍력 복합 발전시스템에서 BESS 용량 최적화 출력제어
기 여 율 1/1
주관기관 울산대학교
연구기간 2014.06.01 ~ 2015.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

입력 전원의 고조파 성분을 제어하는 반복 제어기를 포함하고,

상기 반복 제어기는 상기 전원전압 신호 대비 출력 신호 값인 전달 함수의 지연된 시간을 검출하는 지연시간 검출부; 및

상기 전원전압의 입력 주파수에 따른 상기 전달 함수의 이득을 조절하는 이득 결정부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전압보상장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 지연시간 검출부는 상기 지연 시간을 정수값 및 소수값으로 구분하여 검출하는 것을 특징으로 하는 전압보상장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

불연속 시간영역에서 상기 반복 제어기의 전달함수($G_{RC}(z)$)는 하기의 수학식을 만족하는 것을 특징으로 하는 전압보상장치.

$$G_{RC}(z)=\frac{K_r Q(z)C(z)z^{-N_i}z^{k}}{1-Q(z)C(z)z^{-N_i}}$$

(Kr은 반복 제어기의 이득, Q(z)는 필터 전달함수, Z^{k}는 위상지연 보상 요소, N은 불연속 제어시스템에서 지연된 샘플링 수, C(z)는 N의 소수 값(Nfr)에 대한 시간 지연, Z^{-Ni}는 N의 정수 값(Ni)에 대한 시간 지연을 각각 나타냄)

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 C(z)는 하기의 수학식을 만족하는 것을 특징으로 하는 전압보상장치.

$$C(z)=\frac{(1-N_{fr})+(1+N_{fr})z^{-1}}{(1+N_{fr})+(1-N_{fr})z^{-1}}$$

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 반복 제어기는 상기 전달 함수의 위상을 변화시키지 않는 저역 통과 필터를 갖는 신호 필터부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전압보상장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 전압 보상 장치에 관한 것으로, 보다 자세하게는 제어주파수가 변동하더라도 이를 효과적으로 추종할 수 있는 전원 주파수 변동 보상형 반복 제어기를 포함하는 전압 보상 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근 재사용 에너지의 사용이 증가함에 따라, 자가 발전 시스템이 활성화되고 있으며, 전기 공급이 원활하지 않은 도시에서 자체적으로 전기를 생산하여 공급해야 할 필요성에 따라 독립형(stand alone)의 전기 공급 방식에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이러한 독립형 시스템에서 왜곡된 전압을 제거하고 원활한 전기 공급을 위해 전압 보상 장치의 필요성이 증가하고 있다.

[0004] 이를 위해 다수의 참조 프레임(reference frame)의 PI controller, predictive control, adaptive control, multiple resonant controller 및 repetitive control 등이 이용되었다. 그러나, PI controller는 단일 전압 신호에 대해서만 조절 가능하기 때문에 다양하게 조합된 전압 신호가 존재하는 시스템에서 다수의 PI controller가 필요해 시스템이 복잡해질 수 있고, Predictive Control은 우수한 성능 및 빠른 응답을 기대할 수 있으나, 시스템 파라미터에 지나치게 의존적이어서 시스템이 변경되면 치명적일 수 있으며, Adaptive Control은 부하의 전류를 측정함에 따라 부하의 전압을 조절할 수 있으나 부하가 변경되면 별도의 작업이 필요하다는 불편함이 있으며, Resonant Controller은 하나의 특정 전압 신호에 대한 보상만 가능하여 다수의 공진 제어기(Resonant Controller)가 필요하다는 단점이 있다.

[0005] 이와 같은 다양한 형태의 보상 방법의 문제점을 해결하기 위한 대안으로 반복 제어기(Repetitive Controller:RC)를 이용한 전압 보상 방법이 제시되었다. 반복 제어기는 공진 제어기의 특정주파수뿐만 아니라 특정주파수의 정수배가 되는 주파수들을 제어하는 것이 가능하기 때문에 특정주파수의 정수배로 나타나는 주파수들을 동시에 제어할 경우에 사용될 수 있다. 즉, 60Hz, 120Hz, 180Hz의 주파수를 가진 신호를 제어할 경우 공진 제어기는 각각 60Hz, 120Hz, 180Hz의 공진 주파수를 가진 3개의 공진제어기가 필요하지만 반복 제어기의 경우 하나로 제어할 수 있다.

[0006] 그러나 일반적으로 일정 범위 내서의 작은 변동이 허용되는 전원 주파수의 작은 변화에도 반복 제어기의 제어 특성이 현저히 저하되기 때문에 원하는 고조파를 제거하거나 보상하는 기능이 저하되는 문제점이 존재한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위해 위상 고정 루프(phase-locked loop)와 부분 지연 알고리즘(fraction delay algorithm)을 사용하는 반복 제어기를 포함하는 전압 보상 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 발명의 실시예에 따른 전압보상장치는 입력 전원의 고조파 성분을 제어하는 반복 제어기를 포함하고, 상기 반복 제어기는 상기 전원전압 신호 대비 출력 신호 값인 전달 함수의 지연된 시간을 검출하는 지연시간 검출부; 및 상기 전원전압의 입력 주파수에 따른 상기 전달 함수의 이득을 조절하는 이득 결정부를 포함한다.

발명의 효과

[0012] 본 발명의 실시예에 따른 전압 보상 장치는 주파수 변동을 보상함에 따라 안정적인 전원 공급이 가능한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 연속 및 불연속 시간영역에서 반복 제어기가 적용되는 과정에 대한 개략적인 블록도를 나타내는 도면이다.

도 2는 발명의 실시예에 따른 반복 제어기의 구성요소를 나타내는 도면이다.

도 3은 발명의 실시예에 따른 지연시간 검출부를 나타내는 도면이다.

도 4는 발명의 실시예에 따른 주파수 변동 보상기능을 갖는 반복 제어기를 갖는 전압 보상 장치의 동작 방법에 대한 개략적인 도면이다.

도 5는 발명의 실시예에 따른 전압 보상 장치를 적용한 전력계통의 일 예를 나타내는 도면이다.

도 6은 종래의 전압 보상 장치를 사용하는 전력계통의 전압 및 전류값을 나타내는 도면이다.

도 7은 발명의 실시예에 따른 전압 보상 장치는 사용하는 전력계통의 전압 및 전류값을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 본 발명은 다양한 변형 및 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 보다 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0016] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다

[0017] 도 1은 연속 및 불연속 시간영역에서 반복 제어기가 적용되는 과정에 대한 개략적인 블록도를 나타내는 도면이다. 반복 제어기는 전원 장치 및 공통 단자 사이에 위치하고 고조파를 제거하여 공통 단자 전압에 입력 전압과 동일하게 왜곡되지 않은 전압을 공급할 수 있도록 한다. 즉, 반복 제어기는 고조파 요소를 제거함에 따라 입력 전원 전압과 동일한 형태의 전압이 부하에 제공되도록 기능한다.

[0018] 도 1(a)에 도시된 연속 시간영역에서 반복 제어기의 전달함수는 하기의 수학식으로 나타낼 수 있다.

수학식 1

[0019]
$$G_{RC}(s) = \frac{K_r Q(s) e^{-sT_d}}{1 - Q(s) e^{-sT_d}}$$

[0020] 상기의 수학식에서 Kr은 전달함수의 이득, Td는 반복 제어기의 시간지연, Kr은 반복 제어기 이득, Q(s)는 필터 전달함수이다. 또한, 도 1(a)에서 Gp(s)는 플란트 전달함수이다.

[0021] 또한, 도 1(b)에 도시된 불연속 시간영역에서 반복 제어기의 전달함수는 하기의 수학식으로 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$G_{RC}(z)=\frac{K_r Q(z) z^{-N} z^{k}}{1-Q(z) z^{-N}}$$

[0022]

[0023] 상기의 수학식에서 N은 불연속 제어시스템에서 지연된 샘플링 수(number of delay samples)를 나타내는 것으로, N=Tp/(6Ts)이다. Tp는 전원전압의 기본파 주파수이고 Ts는 제어 샘플링주기이다. 또한 z^k는 플란트 전달함수 Gp(z)로 인한 위상지연을 보상하기 위한 요소이다.

[0024] 일반적으로 전원주파수는 항상 일정하지는 않고 가변적이며 이 경우 전원주파수의 작은 변화에도 반복 제어기의 제어특성이 현저히 저하되어 원하는 고조파를 제거하거나 보상하는 기능이 저하되는 문제점이 있다.

[0025] 도 2는 발명의 실시예에 따른 반복 제어기의 구성요소를 나타내는 도면이고, 도 3은 발명의 실시예에 따른 지연시간 검출부를 나타내는 도면이다.

[0026] 도 2에 도시된 바와 같이, 발명의 실시예에 따른 반복 제어기(100)는 지연시간 검출부(101), 위상 제어부(102), 이득 결정부(103) 및 신호 필터부(104)를 포함하고, 구성 요소를 이용하여 반복 제어기의 전달 함수를 조절함에 따라 고조파 성분을 제거하게 된다.

[0027] 상기 구성 요소 중 위상 제어부(102)는 Z^k 값을 가지면서 전달 함수의 위상을 조절하게 되며, 이득 결정부(103)는 Kr 값을 가지면서 전달 함수의 게인 값을 조절함에 따라 특정 고조파에 대해서 상쇄할 수 있도록 한다. 신호 필터부(104)는 Q(z) 값으로 위상을 변화시키지 않으면서 특정 주파수만을 통과시키는 필터 역할을 함으로서, 특정 고조파 성분을 제거할 수 있다. 또한 신호 필터부(104)는 저역 통과 필터로서 주파수가 작은 신호에서 큰 이득 값을 가지고, 주파수가 높은 신호에서 낮은 이득 값을 갖는데, 이는 입력 신호가 높은 주파수를 가지는 경우 시스템이 불안정해지고 공통 단자 전압 값에 대한 왜곡이 심해질 수 있는바, 시스템을 안정시키기 위해서 높은 주파수에서 낮은 이득을 갖도록 하기 위해 적용된다.

[0028] 상기와 같은 전달 함수에 의해서 반복 제어기를 통해 고조파 성분에 대한 왜곡을 상쇄시킬 수 있다. 반복 제어기는 위상 제어부, 이득 결정부 및 신호 필터부 값을 조절함에 따라서 전달함수가 바뀌게 되며, 고조파 성분에 대한 보상을 통해 공통 단자 전압에서 왜곡된 값을 제거하게 된다.

[0029] 이하, 지연시간 검출부(101)의 동작에 대해서 설명한다. 도 3에 도시된 바와 같이 전원전압의 기본파 주파수 ωp(=2π/Tp)를 PLL기법으로 검출하여 기본파 주기(Tp)를 찾는다. 상기 수학식(2)에서 N값은 Tp/(6Ts)로 정수이지만 N이 정수가 아닐 경우, 도 3의 지연시간 검출부로부터 N값을 정수부분과 소수 부분으로 나누어($N=N_i+N_{fr}$) 지연시간을 찾는다. 연속시간 영역에서의 지연은 e^{-NiTsS}가 되므로 다음과 같은 식을 얻는다.

수학식 3

$$e^{-sT_p/6}=e^{-NT_s}=e^{-(N_i+N_{fr})T_s}=e^{-N_iT_s}e^{-N_{fr}T_s}$$

[0030]

[0031] 상기 수학식(3)에서 Ni는 정수이므로 e^{-NiTiS}는 z 영역에서 쉽게 구현될 수 있지만 $e^{-NfrTsS}$는 z 영역에서 바로 구할 수 없다. 그러나 본 발명에서는 다음과 같이 Pade의 1차 근사식을 사용하여 $e^{-NfrTsS}$를 하기와 같이 구할 수 있다.

수학식 4

$$e^{-N_{fr}T_s s} \approx \frac{1-\frac{N_{fr}T_s}{2}s}{1+\frac{N_{fr}T_s}{2}s} = C(s)$$

[0032]

[0033] 또한 상기의 수학식(4)을 불연속 시간영역으로 변환하면 하기와 같다.

수학식 5

$$C(z) = \frac{(1-N_{fr})+(1+N_{fr})z^{-1}}{(1+N_{fr})+(1-N_{fr})z^{-1}}$$

[0034]

[0035] 이상의 결과를 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 전원주파수 변동 보상 기능을 갖는 반복 제어기는 하기의 도 4와 같으며 발명의 실시예에 따른 반복 제어기(100)의 전달함수는 수학식(6)과 같다.

수학식 6

$$G_{RC}(z) = \frac{K_r Q(z)C(z)z^{-N_i}z^k}{1-Q(z)C(z)z^{-N_i}}$$

[0036]

[0037] 상기 식을 살펴보면 지연시간 검출부(101)로부터 정수 부분과 소수 부분을 갖는 지연시간을 검출하고, 상기 수학식(3)과 같이 정수 부분 및 소수 부분으로 나누어 각각을 불연속 시간영역으로 변환하고 곱한 것으로, 입력 전원의 주파수 변동 보상기능을 수행하게 된다.

[0038] 도 5는 발명의 실시예에 따른 전압 보상 장치를 적용한 전력계통의 일 예를 나타내는 도면이다. 도시된 바와 같이, 전원 전압(supply voltage)과 부하(load) 사이에 배치되어 전원 전압의 기본 주파수 성분에 대한 제어를 수행하고, 선로 저항 및 부하의 불균형에 의해 고조파가 포함되어 정현파가 왜곡되는 것을 방지하는 역할을 수행한다.

[0039] 도 6은 종래의 전압 보상 장치를 사용하는 전력계통의 전압 및 전류값을 나타내는 도면이고, 도 7은 발명의 실시예에 따른 전압 보상 장치는 사용하는 전력계통의 전압 및 전류값을 나타내는 도면이다.

[0040] 도 5에서 전원 주파수의 기본파는 50Hz이고, 도 6(a) 및 도 7(a)는 전원 주파수가 49.5Hz로 변동된 경우 전력계통의 전압 및 전류를 나타내는 도면이고, 도 6(b) 및 도 7(b)는 전원 주파수가 50.5Hz로 변동된 경우 전력계통의 전압 및 전류를 나타내는 도면이다.

[0041] 도 6(a) 및 도 7(a)를 비교하면 전원 주파수가 50Hz에서 49.5Hz로 변하는 경우, 본 발명의 실시예에 따른 주파수 변동 보상기능을 갖는 전압 보상 장치를 사용하지 않은 경우(도 6(a))에 비해 사용한 경우(도 7(a))의 전류 및 전압이 상대적으로 안정적임을 확인할 수 있다.

[0042] 또한, 도 6(b) 및 도 7(b)를 비교하면 전원 주파수가 50Hz에서 50.5Hz로 변하는 경우, 본 발명의 실시예에 따른 주파수 변동 보상기능을 갖는 전압 보상 장치를 사용하지 않은 경우(도 6(b))에 비해 사용한 경우(도 7(b))의

전류 및 전압이 상대적으로 안정적임을 확인할 수 있다.

[0043] 상술한 실시예에 설명된 특징, 구조, 효과 등은 본 발명의 적어도 하나의 실시예에 포함되며, 반드시 하나의 실시예에만 한정되는 것은 아니다. 나아가, 각 실시예에서 예시된 특징, 구조, 효과 등은 실시예들이 속하는 분야의 통상의 지식을 가지는 자에 의하여 다른 실시예들에 대해서도 조합 또는 변형되어 실시 가능하다. 따라서 이러한 조합과 변형에 관계된 내용들은 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

[0044] 또한, 이상에서 실시예들을 중심으로 설명하였으나 이는 단지 예시일 뿐 본 발명을 한정하는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 실시예의 본질적인 특성을 벗어나지 않는 범위에서 이상에 예시되지 않은 여러 가지의 변형과 응용이 가능함을 알 수 있을 것이다. 예를 들어, 실시예들에 구체적으로 나타난 각 구성 요소는 변형하여 실시할 수 있는 것이다. 그리고 이러한 변형과 응용에 관계된 차이점들은 첨부한 청구 범위에서 규정하는 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0046] 100: 반복 제어기

101: 지연시간 검출부

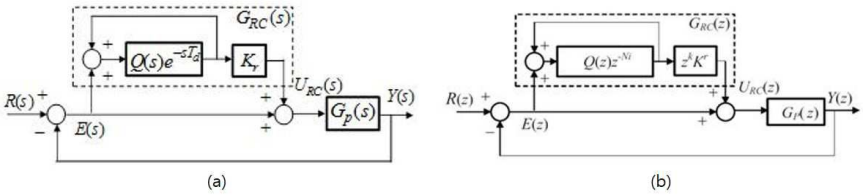
102: 위상 제어부

103: 이득 결정부

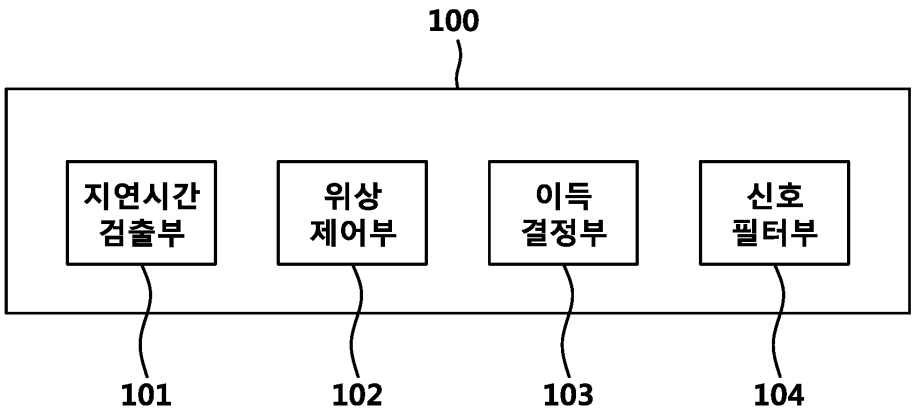
104: 신호 필터부

도면

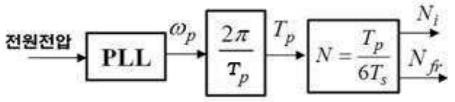
도면1



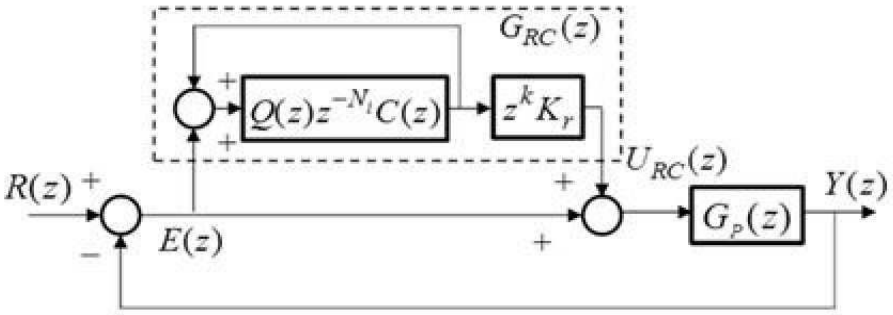
도면2



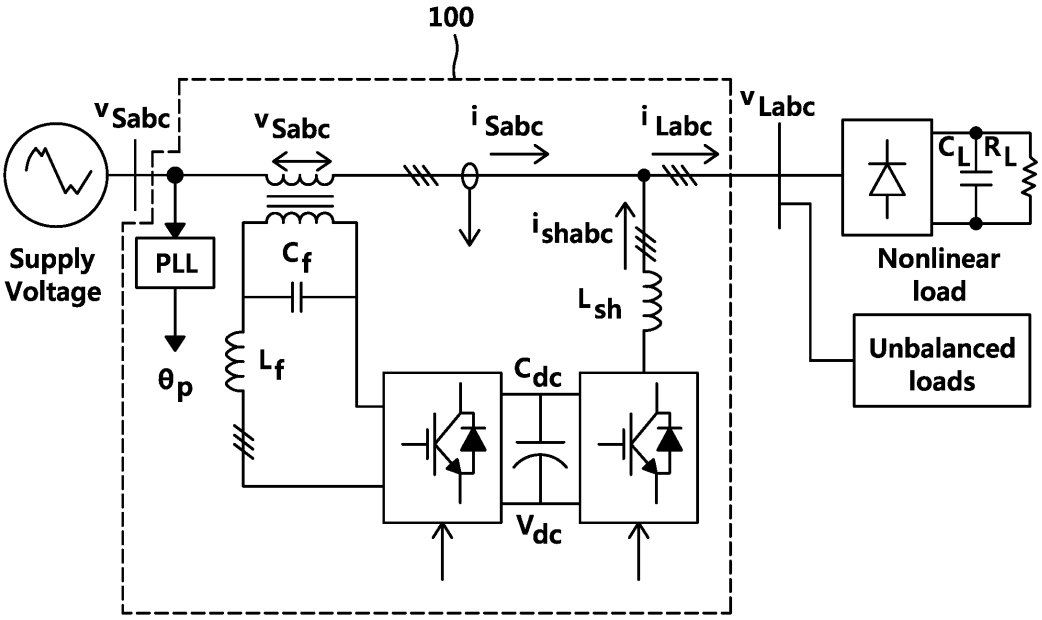
도면3


전원전압
PLL
ω_p
$\frac{2\pi}{T_p}$
T_p
$N=\frac{T_p}{6T_s}$
N_i
N_{fr}

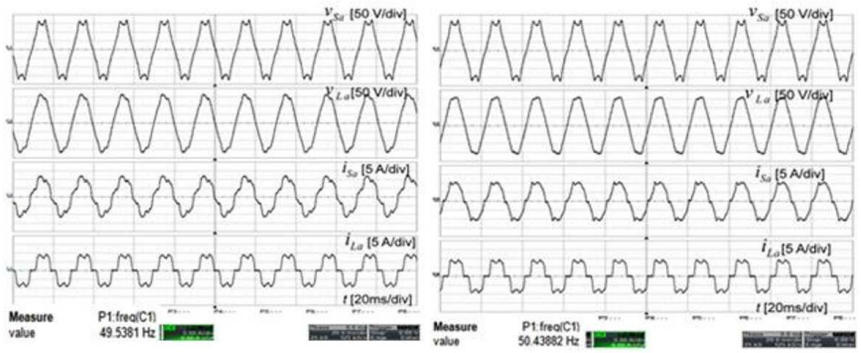
도면4


$G_{RC}(z)$
$Q(z)z^{-N_1}C(z)$
$z^k K_r$
$U_{RC}(z)$
$R(z)$
$E(z)$
$G_p(z)$
$Y(z)$

도면5

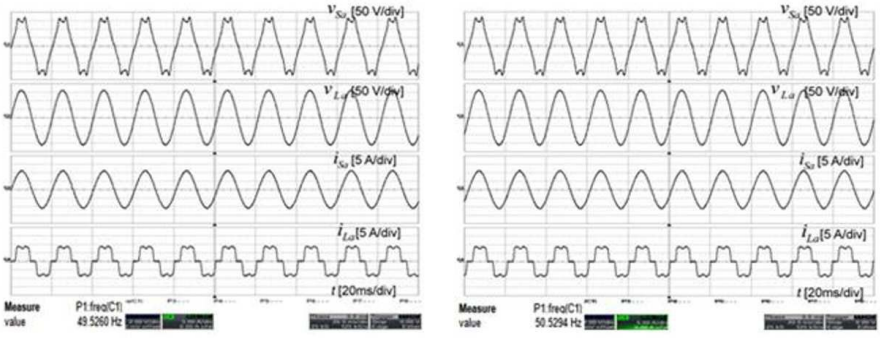

100
v_{Sabc}
v_{Sabc}
i_{Sabc}
i_{Labc}
v_{Labc}
C_L
R_L
Supply Voltage
PLL
C_f
i_{shabc}
L_{sh}
L_f
θ_p
C_{dc}
V_{dc}
Nonlinear load
Unbalanced loads

도면6


v_{Sa} [50 V/div]
v_{La} [50 V/div]
i_{Sa} [5 A/div]
i_{La} [5 A/div]
t [20ms/div]
Measure
value
P1:freq(C1)
49.5381 Hz
v_{Sa} [50 V/div]
v_{La} [50 V/div]
i_{Sa} [5 A/div]
i_{La} [5 A/div]
t [20ms/div]
Measure
value
P1:freq(C1)
50.43882 Hz

(a) (b)

도면7


v_{Sa} [50 V/div]
v_{La} [50 V/div]
i_{Sa} [5 A/div]
i_{La} [5 A/div]
t [20ms/div]
Measure
value
P1:freq(C1)
49.5260 Hz
v_{Sa} [50 V/div]
v_{La} [50 V/div]
i_{Sa} [5 A/div]
i_{La} [5 A/div]
t [20ms/div]
Measure
value
P1:freq(C1)
50.5294 Hz

(a) (b)