(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년05월07일
(11) 등록번호 10-1384783
(24) 등록일자 2014년04월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 31/02 (2006.01) *G01R 19/165* (2006.01)
G01R 31/12 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0013068
(22) 출원일자 2013년02월05일
심사청구일자 2013년02월05일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020060006641 A
기술이전 희망 : **기술양도**

(73) 특허권자
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학교 20 (퇴촌동)
(72) 발명자
이우택
경상남도 김해시 내외로 55, 307동 903호 (내동, 동아아파트)
최진철
경상남도 창원시 성산구 비음로14번길 9-18(사파동)
이강석
경상남도 창원시 진해구 조천북로80번길 10, 201호 (경화동, 성호타워빌라)
(74) 대리인
이형석, 김종선

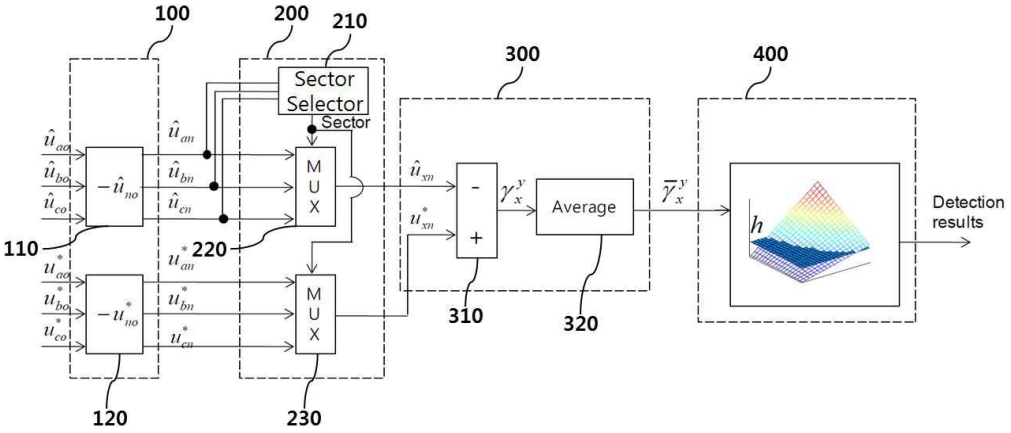
전체 청구항 수 : 총 6 항 심사관 : 정종한

(54) 발명의 명칭 **극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치**

(57) 요 약

본 발명은 섹터 평균 잔차(sectoral average regidual) 를 이용한 개방 스위치 고장을 검출하고, 타당한 임계값을 결정하여 신뢰성을 향상시킨 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치에 관한 것으로, 극적압으로부터 3상전압을 계산하는 상전압 계산부; 상기 상전압 계산부에서 계산된 3상전압으로부터 각각 1상의 지령치 전압 및 측정치 전압을 선택하는 상전압 선택부; 상기 상전압 선택부에서 선택된 상의 지령치 및 측정치 전압을 감산하고, 평균 잔차를 구하는 평균 잔차 계산부; 및 상기 평균 잔차 계산부에서 구해진 잔차와 미리 설정된 임계값을 비교하여 고장 발생 여부를 판단하는 고장 발생 여부 판단부를 포함한다.

대 표 도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

극전압으로부터 3상전압을 계산하는 상전압 계산부;

상기 상전압 계산부에서 계산된 3상전압으로부터 각각 1상의 지령치 전압 및 측정치 전압을 선택하는 상전압 선택부;

상기 상전압 선택부에서 선택된 상의 지령치 및 측정치 전압을 감산하고, 평균 잔차를 구하는 평균 잔차 계산부; 및

상기 평균 잔차 계산부에서 구해진 잔차와 미리 설정된 임계값을 비교하여 고장 발생 여부를 판단하는 고장 발생 여부 판단부를 포함하는 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 상전압 계산부는;

각각의 3상전압을 계산하기 위한 지령치 계산기 및 측정치 계산기를 포함하는 것을 특징으로 하는 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 상전압 선택부는;

섹터를 선택하는 섹터 선택기 및 상기 3상전압을 각각 다중화시키는 멀티플렉서를 포함하는 것을 특징으로 하는 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 평균 잔차 계산부는;

상기 지령치 및 측정치 전압을 감산하는 감산기 및 평균 잔차를 구하는 평균기를 포함하는 것을 특징으로 하는 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 평균 잔차 계산부는;

저속 구간에서 섹터 평균 대신에 시간 평균을 사용하되, 상기 시간 평균의 시간은 최저 제한 속도의 주기로 결정되는 것을 특징으로 하는 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 평균 잔차 계산부는;

상기 평균 잔차 계산은 순시치가 미리 설정된 기준값 보다 큰 구간에서 수행하되, 3상 지령치의 극성 확인을 통해 6개의 섹터를 구별하여 수행하는 것을 특징으로 하는 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 인버터의 개방고장 검출장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 전압형 인버터의 개방 스위치 고장에 대해 극전압(pole voltage) 측정을 기반으로 고장을 검출하는 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 3상 AC 전동기의 구동을 위한 전압형 인버터는 DC 링크 캐패시터 단락 오류, 전력용 스위치 소자의 단락 및 개방 오류, 또는 전력선의 단락 및 개방 오류 등의 여러 가지 고장 유형을 가진다.

[0003] 단락과 관련된 고장은 초기 고장으로부터 최종 파손까지의 시간이 매우 짧다. 상보적인(complementary) 동작을 하는 상하 두 개의 스위치로 이루어진 인버터의 한 상이 단락 스위치 고장의 영향으로부터 안전하기 위해서는 10μs 이내에 감지되고, 보호되어야 한다. 때문에 대부분의 단락 스위치 고장은 하드웨어 기반의 검출 및 보호 방법을 사용하며, de-saturation 방법, current mirror 방법, 게이트 전압 측정 방법 등이 대표적인 방법으로 소개되었다. 그 중, de-saturation 방법은 최근 대부분의 상용 게이트 드라이버 IC가 포함하고 있는 기능이며, 해당 스위치의 게이트 신호가 도통 되었을 때, 스위치 양단의 전압을 모니터링하고, 이값이 포화 전압 이상으로 증가하면 단락 고장이 발생하였다고 판단하는 방법이다.

[0004] 이에 반해, 개방 스위치 고장은 고장이 발생한 상(phase)뿐만 아니라 나머지 정상의 상들에도 DC 성분의 전류를 야기한다. 이 DC 성분의 전류가 자계에 영향을 미치게 되어, 토크의 맥동을 가지게 하여 최대 평균 토크의 저하를 초래하게 된다. 개방 스위치 고장은 단락 고장과 달리 파손까지의 영향을 미치지 않는다. 하지만, 맥동 전류 및 토크가 장시간 이어진다면, 인버터나 모터, 기구부 등의 다른 부품의 2차 고장을 야기할 수 있다. 따라서 이 개방 스위치 고장의 검출은 시스템 신뢰성 향상을 위해 매우 중요하며, 검출 방법 및 그 대응에 관한 많은 연구가 진행 중이다.

[0005] 인버터 개방 스위치의 검출 방법은 전류 측정 기반인지 전압 측정 기반인지에 따라 크게 2가지 방법으로 나누어진다. 전류 측정 기반의 방법들은 고장의 원인이 인버터인지 전동기인지 구분하기가 힘들다. 전동기의 고장도 전류의 변화를 야기하기 때문이다. 전압측정 기반의 방식을 사용하는 제안된 방법은 전류 측정 기반의 방식과 달리 인버터의 고장과 전동기 고장과의 분리가 용이하다. 왜냐하면, 전압 센서를 이용해 실제 인버터의 출력, 즉 전동기의 입력 전압을 측정하기 때문이다. 전동기의 고장 유형을 조사하면, 권선간 단락 및 영구자석의 감자와 같은 전기적 고장과 베어링 손상 및 편심과 같은 기계적 고장이 있다. 이런 고장들은 정상 시와 비교하여, 전류, 속도, 토크 등의 변화를 초래하지만, 전동기의 입력 전압 자체에 변화를 야기시키지 않는다. 따라서, 전압 지령치와 전압 센서로부터 얻은 측정치의 차이가 발생한다면 인버터의 고장으로 판별할 수 있다. 비록 하드웨어 추가는 비용상승을 초래하지만, EMB와 같이 안전성이 매우 중요시되는 응용분야에서는 충분히 받아들여질 수 있는 수준이다.

[0006] 전압 측정 기반의 방법은 시스템에서 측정 가능한 전압을 극 전압, 상 전압, 선간 전압, 그리고 중성점 전압을 사용할 수 있다. 상전압 및 중성점 전압의 측정은 전동기의 3상 이외에 별도의 중성선을 필요로 하고, 선간 전압의 측정은 차동 증폭 회로(differential amplifier)가 필요하다.

[0007] 전압 측정 기반 방법은 측정 전압과 제어기의 지령 전압을 비교하고, 그 차이를 잔차(residual)로 정의한다. 이 잔차는 정상인 경우 이상적으로 0이지만, 개방 스위치 고장이 발생하면 큰 값을 가지게 될 것이다.

[0008] 도 1은 종래기술에 따른 극전압 측정을 사용하는 개방 스위치 고장 검출 장치를 나타낸 제어 블록도로서, 도면부호 10은 PWM 게이트 드라이버, 20은 전압 드라이버, 30은 로우패스필터, 40은 비교기이다.

[0009] 도시된 바와 같이 정상인 경우, 한상의 극전압은 PWM 게이트 드라이버(10)의 PWM 스위칭 함수, S_x에 의해 결정된다. 개방 스위치 고장이 발생한 후에는, 극전압은 전류 방향에 따른 상하위 환류(free-wheeling) 다이오드의 도통 여부에 의해 결정된다. 이 스위칭되는 전압이 마이크로 컨트롤러(미도시)에 측정 가능한 수준으로 분배되고, 필터(30)에 의해 스위칭 성분이 제거된다면, 극전압의 평균값이 측정 가능하다. 측정된 극전압, $\hat{v}_{xo}$은

제어기의 지령치, u_{xo}^{*} 와 직접적으로 비교 가능하다. 이 비교 결과는 스위치가 정상인지 고장인지를 검출하기 위한 순시 잔차로 사용된다(아래 수학식 1 참조).

수학식 1

[0010] $$\gamma_x = u_{xo}^{*} - \hat{u}_{xo}$$

[0011] 평형 3상 전압지령이 다음의 수학식 2와 같이 인가된다.

수학식 2

[0012] $$u_{ao}^{*} = U^{*}\cos\omega t$$
$$u_{bo}^{*} = U^{*}\cos(\omega t - \tfrac{2}{3}\pi)$$
$$u_{co}^{*} = U^{*}\cos(\omega t + \tfrac{2}{3}\pi)$$

[0013] 정상인 경우, 측정 극전압은 평균값 모델을 이용하여 다음의 수학식 3과 같이 표현된다.

수학식 3

[0014] $$\hat{u}_{xo} = u_{xn} + u_{no}$$
$$u_{an} = Ri_a + (L-M)\frac{di_a}{dt} + e_a$$
$$u_{bn} = Ri_b + (L-M)\frac{di_b}{dt} + e_b$$
$$u_{cn} = Ri_c + (L-M)\frac{di_c}{dt} + e_c$$

여기서, $u_{no} = \frac{1}{3}\left(\left(\hat{u}_{ao} + \hat{u}_{bo} + \hat{u}_{co}\right) - \left(u_{an} + u_{bn} + u_{cn}\right)\right)$

[0015] 평형 조건에서는 $u_{no} = 0$ 이며, 따라서 $u_{xo}^{*} = \hat{u}_{xo} = u_{xn}$ 이고, $\gamma_x \approx 0$ 이다.

[0016] A상의 상위(top) 스위치가 개방된 경우, 극전압은 A상 전류가 0인 경우 역기전력이 측정된다. 그러나 비록 상위 스위치가 개방되었다고 하더라도, 측정 전압은 다음의 수학식 4 와 같이 A 상 전류의 흐름 방향에 따라 결정된다.

수학식 4

[0017] $$\begin{cases} \hat{u}_{ao} = e_a + u_{no}, & i_a = 0 \\ \hat{u}_{ao} = Ri_a + (L-M)\dfrac{di_a}{dt} + e_a + u_{no}, & i_a \neq 0 \end{cases}$$

[0018] 측정된 극전압에 따라 계산된 A상의 순시 잔차는 다음과 같이 된다.

수학식 5

[0019] $$\begin{cases} \gamma_a = U^* \cos \omega t - e_a + u_{no}, & i_a = 0 \\ \gamma_a \approx 0, & i_a \neq 0 \end{cases}$$

[0020] 상기 수학식 5로부터, 순시 잔차에 의한 고장 검출 방법의 제한 사항들은 확인할 수 있다. 첫째, 고장은 전류가 0인 경우에만 검출 가능하다. 둘째, 순시 잔차는 두 교류 전압의 차이 값이므로, 역시 교류 값을 가진다. 그리고 마지막으로 비록 지령치 진폭, U^* 가 고정되었다고 하더라도, 순시 잔차의 진폭은 동작 조건에 따라 변화한다.

[0021] 도 2는 종래기술에 따른 정상 또는 고장이 발생한 경우의 순시 잔차의 변화를 보여주는 실험결과 그래프로서, (a)는 0.5 Nm (b)는 0.1 Nm 부하 시를 나타낸다. A상 상위 스위치가 0초에 개방되었고, 전압 지령치의 진폭은 6V이다.

[0022] 도 2에서 볼 수 있듯이, 순시 잔차는 정상인 경우 작은 값을 가진다. 하지만, 고장 발생은 커지게 되지만, 이값은 일정하지 않고, 회전각에 따라 변화한다. 또한, 전압 지령치가 음이고, 전류가 음으로 흐르는 경우 이 잔차는 작은 값을 가지게 된다. 이 구간에서는 환류 다이오드가 개방된 상위 스위치를 대신하여 도통하기 때문이다. 도 2의 (a)와 (b)를 비교하면 잔차는 같은 고장 조건이라도 하더라도 부하 조건에 따라서도 변화함을 알 수 있다. 이는 임계값 결정을 어렵게 하는 요인이다.

[0023] 따라서, 상기한 종래 방법이 실제로 구현되기 위해서는 다음과 같이 해결해야 할 문제점이 있다.

[0024] 첫 번째는 잔차 설정이 어려운 문제점이 있다. 측정치와 지령치의 차이로 정의된 잔차는 두 AC 전압 값의 차이로서 전동기가 회전함에 따라 순시적으로 변하는 AC 값을 가지게 된다. 또한, 잔차는 운전 조건에 따라서도 그 크기가 변화한다. 이는 개방 스위치 고장이 발생하면, 역기전력이 극전압으로 측정되기 때문이며, 이 역기전력은 전동기 각속도와 비례관계를 가지기 때문이다.

[0025] 두 번째는 임계값 설정이 어려운 문제점이 있다. 이상적으로, 임계값은 정상인 경우의 잔차 보다 조금 큰 값으로 결정된다면 고장을 검출할 수 있다. 하지만, 인버터의 비이상적 스위칭 동작이나 센싱 오차 등에 의해 실제로 잔차는 정상인 경우라도 0 이 아니다. 이는 타당한 임계값 설정을 어렵게 한다. 또한, 전압 신호의 크기가 충분히 커야지만 검출이 가능하다. 따라서 잘못된 검출을 피하기 위해 검출 방법의 제한사항을 확인하고, 적용 가능한 동작 영역을 결정해야 하는 것이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0026] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2012-0131082호(2012년12월04일)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0027] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 극복하기 위한 것으로서, 섹터 평균 잔차(sectoral average regidual)를 이용한 개방 스위치 고장을 검출하고, 타당한 임계값을 결정하여 신뢰성을 향상시킨 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치를 제공하는 데에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0028] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치는, 극적압으로부터 3상전압을 계산하는 상전압 계산부; 상기 상전압 계산부에서 계산된 3상전압으로부터 각각 1상의 지령치 전압 및 측정치 전압을 선택하는 상전압 선택부; 상기 상전압 선택부에서 선택된 상의 지령치 및 측정치 전압을 감산하고, 평균 잔차를 구하는 평균 잔차 계산부; 및 상기 평균 잔차 계산부에서 구해진 잔차와 미리 설정된 임계값을 비교하여 고장 발생 여부를 판단하는 고장 발생 여부 판단부를 포함한다.

[0029] 상기 상전압 계산부는; 각각의 3상전압을 계산하기 위한 지령치 계산기 및 측정치 계산기를 포함할 수 있다.

[0030] 상기 상전압 선택부는; 섹터를 선택하는 섹터 선택기 및 상기 3상전압을 각각 다중화시키는 멀티플렉서를 포함할 수 있다.

[0031] 상기 평균 잔차 계산부는; 상기 지령치 및 측정치 전압을 감산하는 감산기 및 평균 잔차를 구하는 평균기를 포함할 수 있다.

[0032] 상기 평균 잔차 계산부는; 저속 구간에서 섹터 평균 대신에 시간 평균을 사용하되, 상기 시간은 최저 제한 속도의 주기로 결정되는 것이 바람직하다.

[0033] 상기 평균 잔차 계산부는; 상기 평균은 순시치가 미리 설정된 기준값 보다 큰 구간에서 수행하되, 3상 지령치의 극성 확인을 통해 6개의 섹터를 구별하여 수행하는 것이 더욱 바람직하다.

발명의 효과

[0034] 상기와 같이 구성된 본 발명에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치에 의하면, 극전압 대신 상전압을 사용함으로써 중성점 전압의 영향을 없앨 수 있으며, 전압 지령치와 측정치의 차이를 섹터 평균한 것으로 섹터 평균 잔차(sectoral average regidual)를 이용한 개방 스위치 고장을 검출함으로써, 타당한 임계값을 결정하여 신뢰성을 향상시키고 오검출을 방지할 수 있는 다양한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 종래기술에 따른 극전압 측정을 사용하는 개방 스위치 고장 검출 장치를 나타낸 제어 블록도,

도 2는 종래기술에 따른 정상 또는 고장이 발생한 경우의 순시 잔차의 변화를 보여주는 실험결과 그래프,

도 3은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치를 나타낸 제어 블록도,

도 4는 본 발명에 따른 전압 지령치와 섹터를 나타낸 그래프,

도 5a 및 5b는 본 발명에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치의 분포 해석 결과를 나타낸 그래프로서, (a)는 전압 지령치, (b)는 고장 시의 잔차를 나타낸 그래프,

도 6a 및 6b는 본 발명의 바람직한 일실시에에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치를 사용한 실험 결과를 보여준 그래프,

도 7은 A상 상위 스위치가 개방되었을 때, EMB 시스템에서 기동부터 최종 정지까지에서 검출한 실험 결과 그래프,

도 8은 본 발명에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치의 높은 고장 분리 능력을 나타낸 그래프,

도 9는 더욱 많은 스위치가 다중으로 개방되었을 때의 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0037] 도 3은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치를 나타낸 제어 블

록도이다.

[0038] 도시된 바와 같이, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치는, 극전압으로부터 3상전압을 계산하는 상전압 계산부(100); 상기 상전압 계산부(100)에서 계산된 3상전압으로부터 각각 1상의 지령치 전압 및 측정치 전압을 선택하는 상전압 선택부(200); 상기 상전압 선택부(200)에서 선택된 상의 지령치 및 측정치 전압을 감산하고, 평균 잔차를 구하는 평균 잔차 계산부(300); 및 상기 평균 잔차 계산부(300)에서 구해진 잔차와 미리 설정된 임계값을 비교하여 고장 발생 여부를 판단하는 고장 발생 여부 판단부(400)를 포함한다. 여기서, 상기 상전압 계산부(100)는; 각각의 3상전압을 계산하기 위한 지령치 계산기(110) 및 측정치 계산기(120)로 구성된다. 또한, 상기 상전압 선택부(200)는; 섹터를 선택하는 섹터 선택기(210) 및 상기 3상전압을 각각 다중화시키는 멀티플렉서(220,230)로 구성된다. 상기 평균 잔차 계산부(300)는; 상기 지령치 및 측정치 전압을 감산하는 감산기(310) 및 평균 잔차를 구하는 평균기(320)로 구성된다.

[0039] 이와 같이 구성된, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치의 작용을 살펴보면 먼저, 상전압 계산부(100)는 극전압으로부터 상전압을 계산한다. 이때, 극전압 대신 상전압을 사용함으로써 중성점 전압의 영향을 없앨 수 있다.

[0040] 그리고 나서, 상전압 선택부(200)의 멀티플렉서(MUX)(220,230)는 섹터 정보에 따라 3상 중 한 상을 선택하게 된다. 섹터는 6개의 스위치 중 어떤 것의 고장이 검출 가능한지의 여부에 의해 6개로 나누어진다.

[0041] 이렇게 선택된 상의 지령치와 측정치는 평균 잔차 계산부(300)에서 서로 감해지고, 이 연산 결과를 섹터 동안 평균하여 섹터 평균 잔차를 구한다.

[0042] 최종적으로 고장 발생 여부는 고장 발생 여부 판단부(400)에서 잔차와 미리 설정된 임계값을 이용한 한도 확인을 통해 이루어진다.

[0043] 본 발명의 바람직한 실시예에서는 전동기 속도가 0인 경우와 같은 예외사항은 포함하고 있지 않다. 전동기 속도가 0인 경우, 섹터 변화가 없기 때문에 섹터 평균은 계산될 수 없다. 실제 구현에 있어 문제를 해결하기 위해서 본 실시예에서는 저속 구간에서는 섹터 평균 대신에 시간 평균을 사용하며, 이때 시간은 최저 제한 속도의 주기로 결정된다.

[0044] < 상전압 계산 >

[0045] 전술한 수학식 5에서 보였듯이, 종래에 고장이 발생하면, 실제 중성점 전압은 0이 아니기 때문에 측정된 극전압과 지령치는 직접적인 비교가 힘들다. 본 발명에서는 3상의 전압이 모두 측정하기 때문에 중성점 전압은 다음의 수학식 6과 같이 구할 수 있고, 상전압 또한 수학식 7과 같이 구할 수 있다. 극전압 대신 상전압의 사용으로 중성점 전압의 영향을 없앨 수 있다. 상전압의 직접적인 측정은 전동기 3상 전력선 이외의 중성선을 필요로 하기 때문에 이를 대신하여 극전압으로부터 상전압의 계산하는 것이 보다 용이하다.

수학식 6

[0046] $$\hat{u}_{no} = \frac{1}{3}\left(\hat{u}_{ao} + \hat{u}_{bo} + \hat{u}_{co}\right) \neq 0$$

수학식 7

[0047] $$\hat{u}_{xn} = \hat{u}_{xo} - \hat{u}_{no}$$

[0048] 실제적으로 다음의 수학식 8과 같이 전압 지령치를 가지고 계산된 중성점 전압은 3고조파 주입 방식과 공간벡터 변조 기법과 같은 특정 PWM 변조 기법을 사용시 0가 아닐 수 있다. 이러한 방법은 3상의 극전압에 같은 옵셋 전압을 포함하게 된다.

수학식 8

$$u_{xn}^{*} = u_{xo}^{*} - u_{no}^{*}$$

[0049] 여기서, $u_{no}^{*} = \frac{1}{3}\left(u_{ao}^{*} + u_{bo}^{*} + u_{co}^{*}\right)$

[0050] < 섹터 결정 및 잔차 생성 >

[0051] 전술한 바와 같이 순시 잔차는 AC 량을 가진다. 따라서 순시 잔차를 이용하면 연속적인 검출이 될 수 없다. 이 제한사항을 해결하기 위해 본 발명은 순시 잔차 대신 평균 잔차를 사용한다. 평균은 또한 전압 측정 시 발생할 수 있는 노이즈의 영향도 줄일 수 있다.

[0052] 계산된 잔차는 전류가 0인 구간에서만 고장 발생 여부를 확인할 수 있다. 따라서 6개의 스위치에 해당하는 평균 잔차는 검출 조건을 만족하는 특정 섹터에서 개별적으로 계산되도록 한다.

[0053] 또한, 평균의 효과를 크게 하기 위해 평균은 순시치가 비교적 큰 구간에서 수행하도록 한다. 이점을 위해서 섹터 선택기(sector selector)(210)는 3상 지령치의 극성 확인을 통해 6개의 섹터를 도 4와 같이 구별한다. 도 4에는 본 발명에 따른 전압 지령치와 섹터를 나타낸 그래프를 도시하였다.

[0054] 한 섹터 내의 두 전압의 차의 평균값은 섹터 평균 잔차로 다음의 수학식 9와 같이 정의된다.

수학식 9

$$\bar{\gamma}_{x}^{y} = \frac{3}{\pi}\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}}\left(u_{xn}^{*} - \hat{u}_{xn}\right)d\theta_{e}$$

[0055]

[0056] 여기서, x는 상 정보로서 a, b, 또는 c를 나타내고, y는 상위, t 또는 하위 스위치 b 인지를 나타낸다. 한 예로 A상 상위 스위치의 섹터 평균 잔차, $\bar{\gamma}_{a}^{u}$ 은 2번 섹터에서 생성된다.

[0057] 비록 1/6에서 한주기 동안의 검출 시간을 필요로 하지만, 이는 순시 잔차를 이용하는 것보다 신뢰성을 높일 수 있다. 또한, 평균에 의한 연산량의 증가가 있지만, 멀티플렉서(MUX)(220,230)와 섹터 선택기(210)의 사용으로 줄일 수 있다.

[0058] < 판단 로직 및 임계값 결정 >

[0059] 전술한 바와 같이, 고장 발생 시의 잔차는 운전 조건에 따라 변화하기 때문에 타당한 임계값의 결정은 신뢰성 있는 검출을 위해서 매우 중요하다. 또한, 검출 가능 영역을 확인하는 것도 잘못된 검출을 피하기 위해 중요하다.

[0060] 임계값은 정상 시에 계산된 잔차보다 조금 더 큰 값으로 결정된다. 이상적으로 정상 시의 잔차는 0이지만 실제로 지령치와 측정치에는 차이가 발생하게 되고 이는 0이 아닌 잔차를 생성하게 된다.

수학식 10

$$\gamma_{normal} = u_{an}^{*} - \hat{u}_{an} = \Delta u$$

[0061] 여기서, $\Delta u = \Delta u_{switch} + \Delta u_{sense} + \Delta u_{noise}$

[0062] 데드타임 삽입, 스위치 도통 저항 그리고 다이오드 도통 전압강하 등, 인버터의 비이상적 특성 때문에 실제 전압은 그 지령치와 차이를 가지게 된다. 전압 센서의 스케일링은 적어도 2개의 저항으로 이루어진 전압 분배 회로로 비교적 저가로 구현된다. 따라서 전압 측정에 기반한 제안된 검출 방법은 전압 분배회로의 저항값 변화에 매우 민감하다. 따라서 정밀 저항의 사용이 필수적이며, 동작 온도 조건 내에서 1%의 변동 폭을 가지는 저항의 사용은 허용할 만하다. 두 저항이 1%의 정밀도를 가진다면, 전압 스케일링 값은 그 기본(nominal)값으로부터 최대 2%가량 가질 수 있다. 비록 노이즈의 크기는 결정하기는 어렵지만, 노이즈의 영향은 평균의 연산으로 제거될 수 있고, 이는 본 발명의 장점 중의 하나이기도 하다.

[0063] 평균 후의 전압 차이는 다음의 수학식 11과 같이 표현되고, 수학식 12와 같은 범위를 가지게 된다. 여기서, $\Delta K_{\max}$ 은 센서 스케일링의 최대 변화율이다.

수학식 11

[0064] $$\Delta \bar{u} = \Delta \bar{u}_{switch} + \Delta \bar{u}_{sense}$$

수학식 12

$$\Delta \bar{u}_{switch} \le R_{DS} \bar{I}_{\max} + \frac{T_{dead}}{T_{pwm}} U_{dc}$$

[0065] $$\Delta \bar{u}_{sense} \le \pm \Delta K_{\max} \cdot \bar{u}^{*}_{\max}$$

[0066] 이제 임계값, h는 정상시 전압 변화의 최대 값으로 다음의 수학식 13과 같이 정의된다.

수학식 13

[0067] $$h = \pm(\Delta \bar{U}_{\max} + \alpha)$$

[0068] 수학식 13으로부터, 고장은 U^{*} 가 $\Delta U_{\max}$ 보다 큰 경우만 검출 가능함을 알 수 있다. 그러나 U^{*} 가 $\Delta \bar{U}_{\max}$ 보다 큰 경우라도, 고장은 검출될 수 없다. 왜냐하면, 순시 잔차는 수학식 4와 수학식 5로부터 수학식 14의 관계를 가지기 때문이다.

수학식 14

[0069] $$\gamma_a = u^{*}_{an} - e_a = R i_a + (L - M)\frac{di_a}{dt}$$

수학식 15

[0070] $$\bar{\gamma}_a = \frac{3}{\pi}\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}}\left(Ri_a + (L-M)\frac{di_a}{dt}\right)d\theta_e = R\bar{i}_a + \bar{\omega}(L-M)\bar{i}_a$$

[0071] 상기 수학식 14와 수학식 15는 $i_{ct} \neq 0$ 가 만족해서 고장 검출이 가능함을 다시 보여준다.

[0072] 도 5a 및 5b는 분포 해석 결과를 나타낸 그래프로서, (a)는 전압 지령치, (b)는 고장 시의 잔차를 나타낸 그래프이다.

[0073] 도시된 바와 같이, 도 5a는 운전 조건에 따른 전압 지령치의 분포를 보여준다. 만약 임계값을 0.5V로 결정한다면, 지령치는 대부분의 운전 영역에서 임계값보다 크다. 하지만, 도 5b에서 볼 수 있듯이, 지령치가 커지더라도 고장 시의 섹터 평균 잔차는 임계값보다 작다.

[0074] 상기 수학식 14와 수학식 15로부터, 제안된 알고리즘은 다음의 수학식 16의 조건을 만족할 때 그 검출 결과가 유효하다.

수학식 16

[0075] $$\left|\bar{i}_a\right| \geq \frac{h}{R_a + \bar{\omega}(L-M)}$$

[0076] < 실험예 >

[0077] 본 발명의 바람직한 일실시예에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치의 유효성을 검증하기 위해 실험한 결과를 개시한다.

[0078] 사용된 인버터와 전동기의 사양은, 수동 소자로 이루어진 1kHz의 차단 주파수를 가지도록 설계된 저역 통과 필터가 스위칭 영향을 제거하기 위해 사용되었고, 이 필터링된 전압은 12bit 분해능을 가지는 ADC를 통해 마이크로 컨트롤러가 측정한다. 샘플링 주기는 PWM 주기와 같은 62.5 us이다.

[0079] 도 6a 및 6b는 본 발명의 바람직한 일실시예에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치를 사용한 실험 결과를 보여준 그래프이다. 도 6(a)와 (b)의 비교를 통해 정의된 잔차는 역기전력의 영향으로 부하 조건에 따라 바뀌는 것을 확인할 수 있다.

[0080] 도 7은 A상 상위 스위치가 개방되었을 때, EMB 시스템에서 기동부터 최종 정지까지 에서 검출 실험 결과이다. 이 결과는 0.15초 이후 큰 부하에 의해 전동기가 정지한 후에도 고장을 잘 검출할 수 있음 보여준다. 전동기 속도가 0인 경우, 섹터 변화가 없기 때문에 섹터 평균은 계산될 수 없다. 실제 구현에 있어 문제를 해결하기 위해서 본 발명은 저속 구간에서는 섹터 평균 대신에 시간 평균을 사용하며, 이때 시간은 최저 제한 속도의 주기로 결정된다.

[0081] 도 8은 본 발명에 따른 극전압 측정 기반의 인버터 개방오류 검출장치의 높은 고장 분리(isolation) 능력을 보여준다. 도 8의 (a)에서 볼 수 있듯이 A 상의 상위 스위치가 개방되었을 때, 해당 잔차는 크게 변화는 반면, 나머지 다른 상과 스위치의 잔차는 변화되지 않음을 알 수 있다. 도 8의 (b)에서도 A상의 상 하위 스위치가 모두 개방되었을 때, 해당 잔차가 변화하는 것을 알 수 있고, 나머지 다른 상과 스위치에는 영향이 없음을 잘 보여준다.

[0082] 도 9는 더욱 많은 스위치가 다중으로 개방되었을 때의 실험 결과이다. 여기서, 도 9의 (a)는 A상 상위, 하위, 그리고 B상 하위 이렇게 3개의 스위치가 개방 경우이다. 그리고 (b)는 A상 상하위 모두, B 상 상하위 모두가 개방된 경우, 즉 두 상이 개방된 경우이다. 이 결과들은 본 발명이 다중 스위치의 고장을 검출하고 그 원인을 분리해내는데 유효함을 보여준다. 도 9의 (b)의 경우 인버터는 더 이상 유효 벡터를 만들지 못해 전동기는 회전할 수 없지만, 고장 검출이 가능함을 알 수 있다.

[0083] 본 명세서에 기재된 본 발명의 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 실시예에 관한 것이고, 발명의 기술적 사상을 모두 포괄하는 것은 아니므로, 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다. 따라서 본 발명은 상술한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 권리범위 내에 있게 된다.

부호의 설명

[0084]

100 : 상전압 계산부 110 : 지령치 계산기

120 : 측정치 계산기 200 : 상전압 선택부

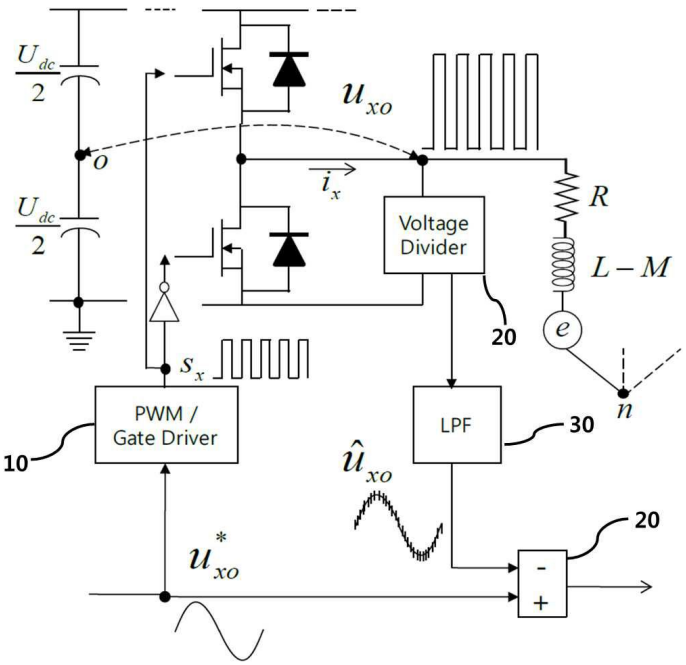
210 : 섹터 선택기 220,230 : 멀티플렉서

300 : 평균 잔차 계산부 310 : 감산기

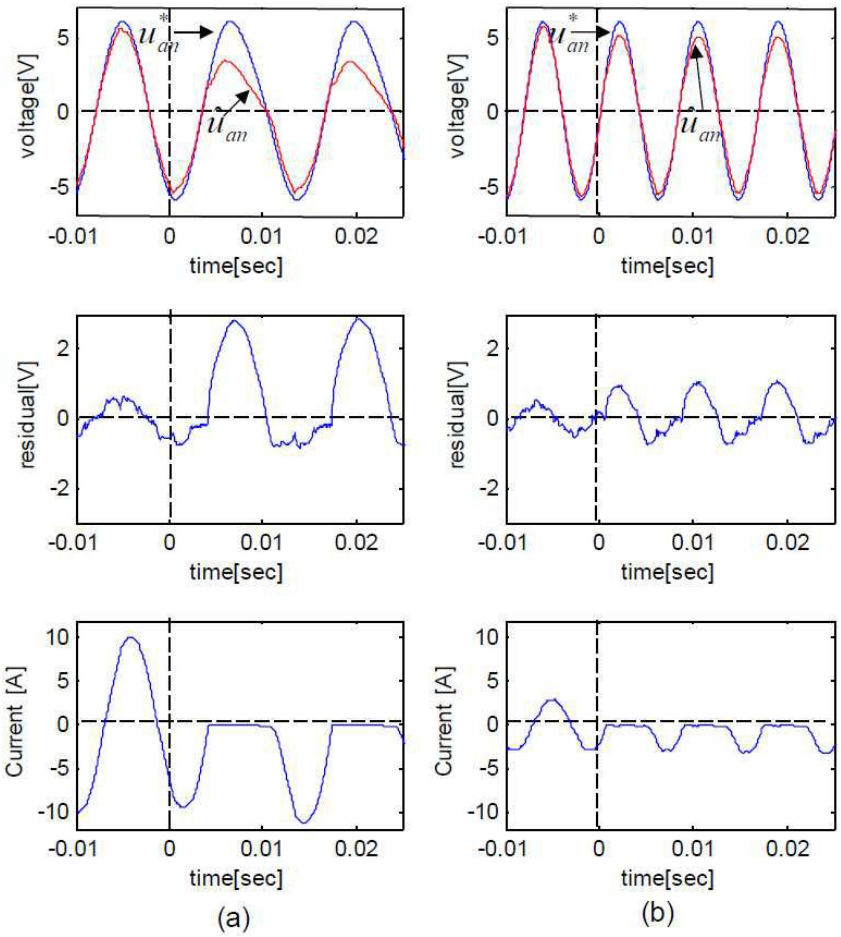
320 : 평균기 400 : 고장 발생 여부 판단부

도면

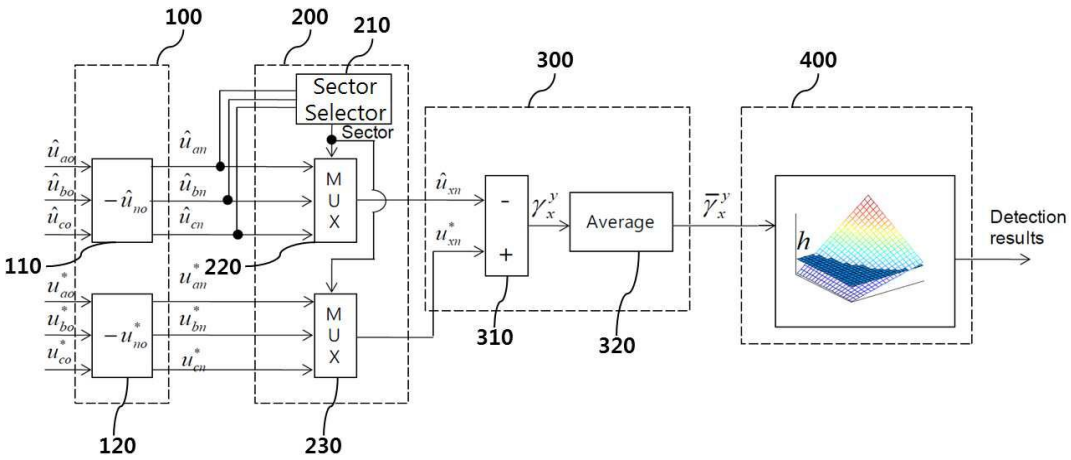
도면1



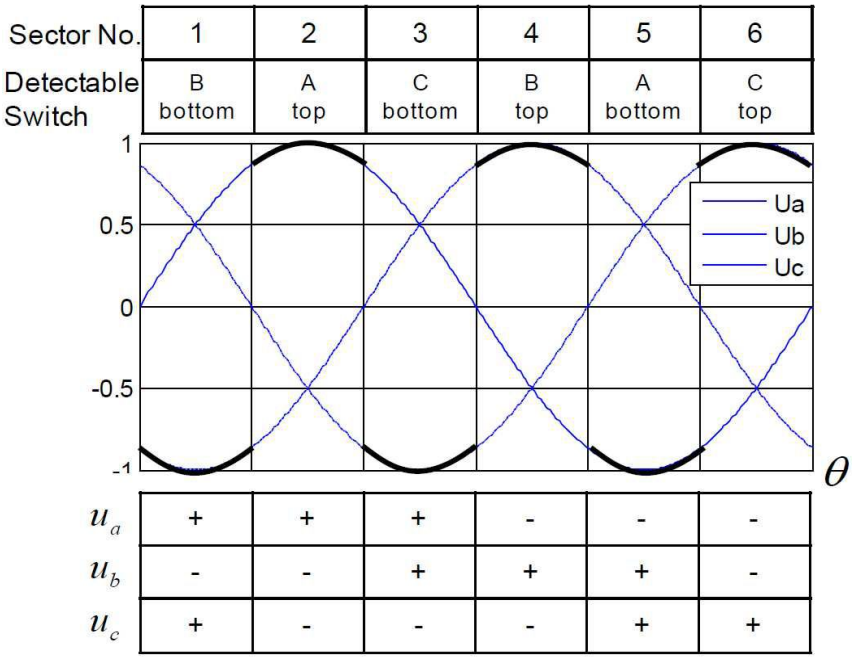
도면2


voltage[V]
residual[V]
Current [A]
time[sec]
(a)
(b)

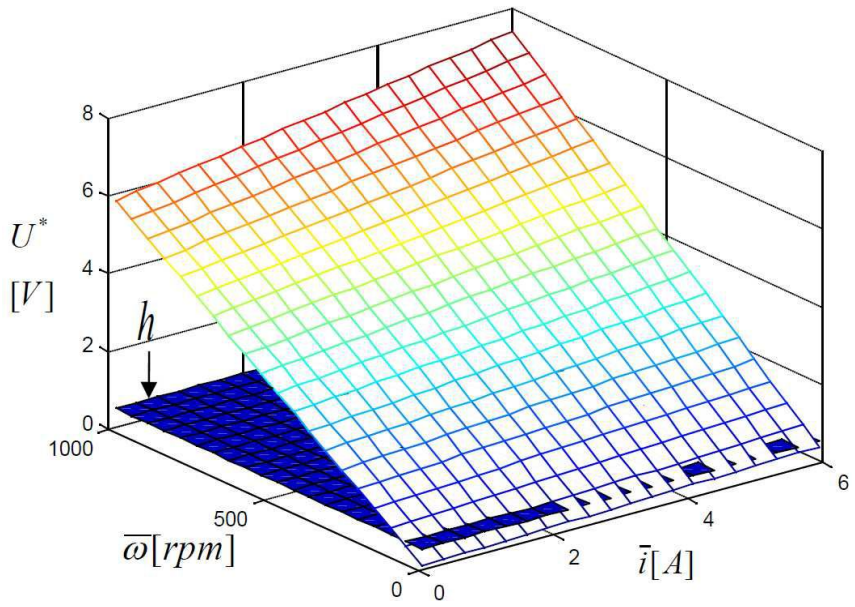
도면3


100
200
210
300
400
Sector Selector
Sector
MUX
Average
Detection results
110
120
220
230
310
320

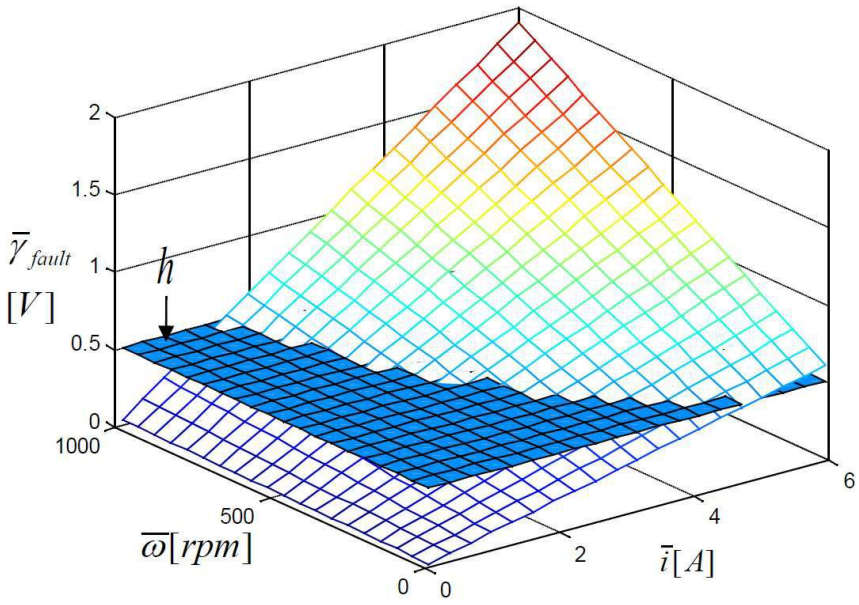
도면4


Sector No.
1
2
3
4
5
6
Detectable Switch
B bottom
A top
C bottom
B top
A bottom
C top
1
0.5
0
-0.5
-1
Ua
Ub
Uc
θ
u_a
u_b
u_c
+ + + - - -
- - + + + -
+ - - - + +

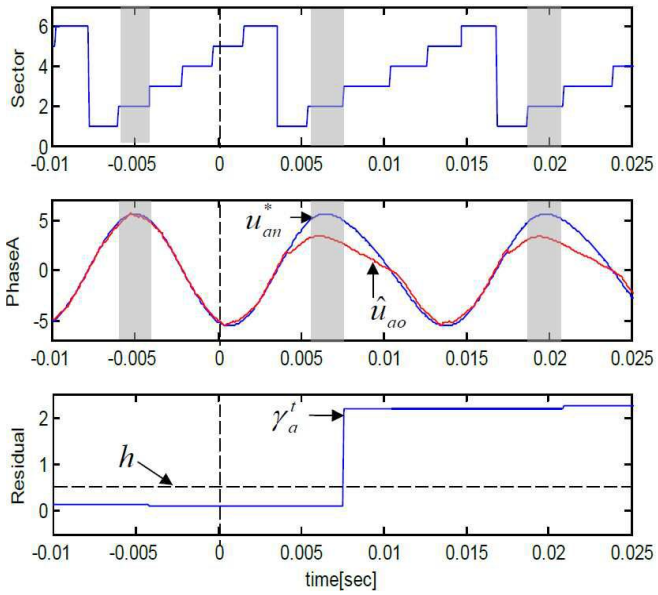
도면5a


U^*
[V]
h
8
6
4
2
0
1000
500
0
$\bar{\omega}[rpm]$
0
2
4
6
$\bar{i}[A]$

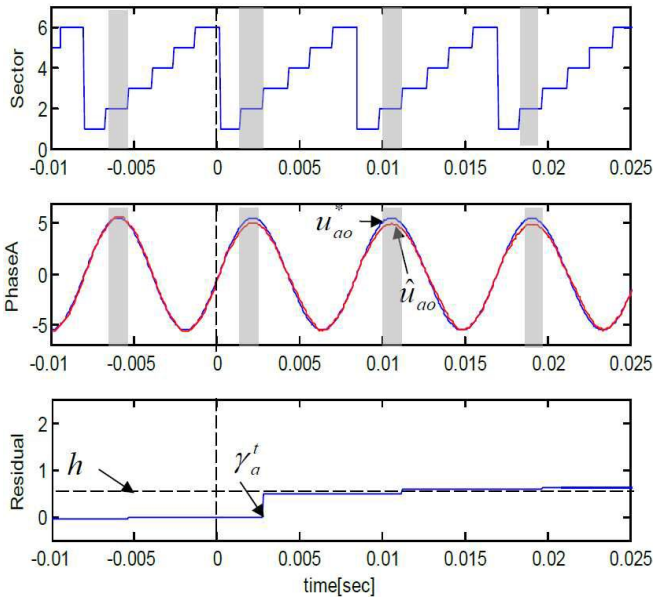
도면5b


2
1.5
1
0.5
0
$\overline{\gamma}_{fault}$
$[V]$
h
1000
500
$\overline{\omega}[rpm]$
0
0
2
4
6
$\overline{i}[A]$

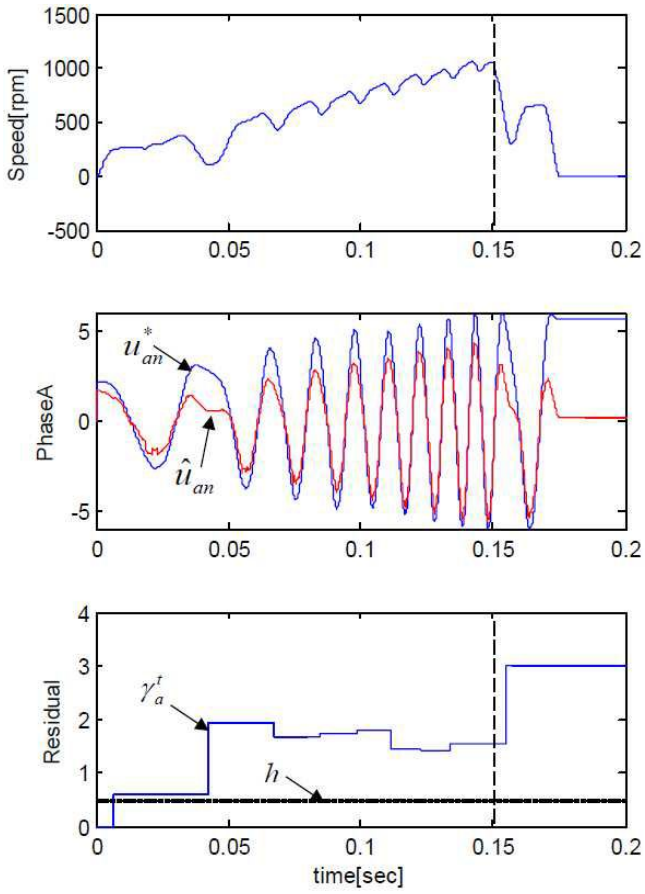
도면6a


Sector
PhaseA
Residual
u^*_{an}
$\hat{u}_{ao}$
γ^t_a
h
-0.01
-0.005
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
time[sec]

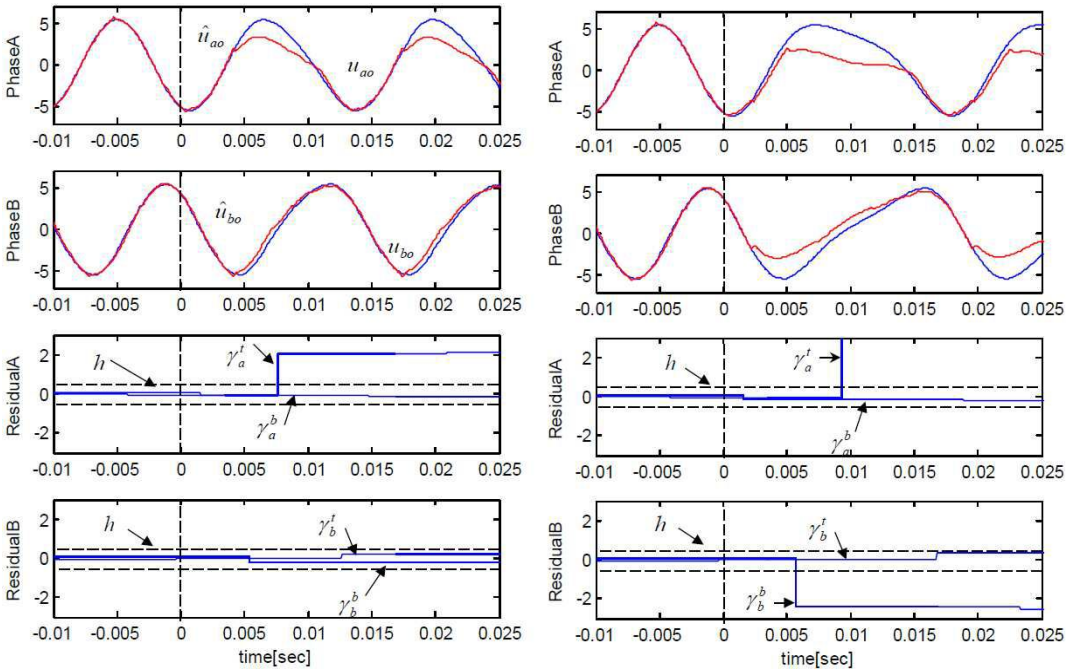
도면6b


Sector
PhaseA
Residual
u^*_{ao}
$\hat{u}_{ao}$
h
γ^t_a
time[sec]

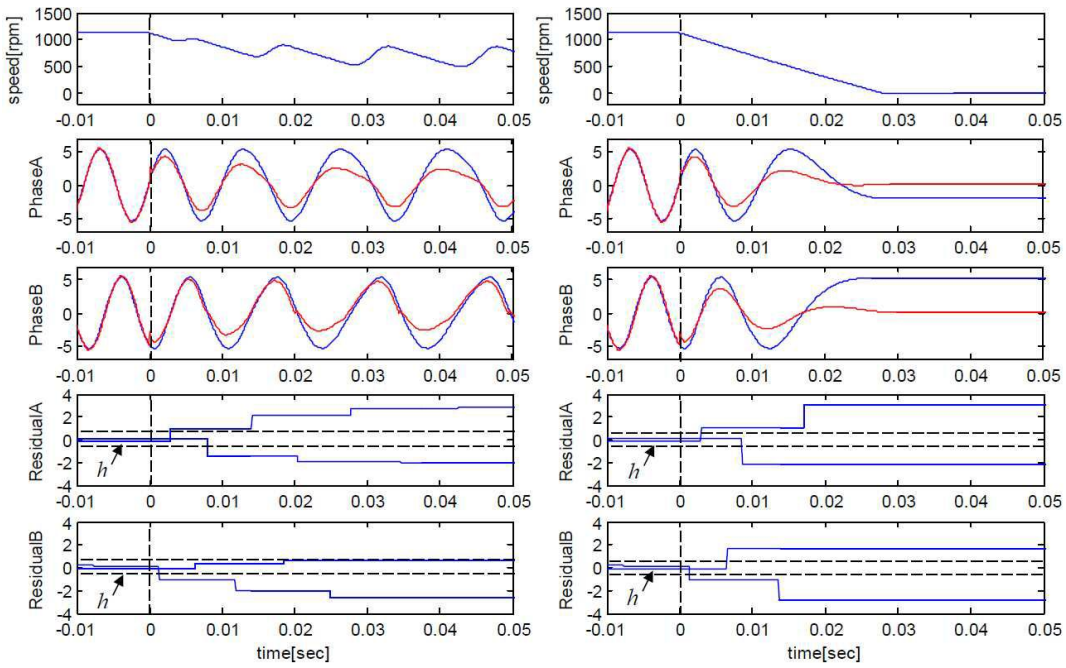
도면7


Speed[rpm]
PhaseA
Residual
u^*_{an}
$\hat{u}_{an}$
γ^t_a
h
time[sec]

도면8



도면9



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1

【변경전】

극적압으로부터

【변경후】

극전압으로부터