



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0068232
(43) 공개일자 2019년06월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 31/34 (2006.01) G01R 29/16 (2006.01)
H02P 27/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01R 31/34 (2013.01)
G01R 29/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0168427
(22) 출원일자 2017년12월08일
심사청구일자 2017년12월08일

(71) 출원인
한국기술교육대학교 산학협력단
충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)
(72) 발명자
백제훈
서울특별시 서초구 고무래로 35 반포리체아파트 107동 3004호
(74) 대리인
특허법인 신우

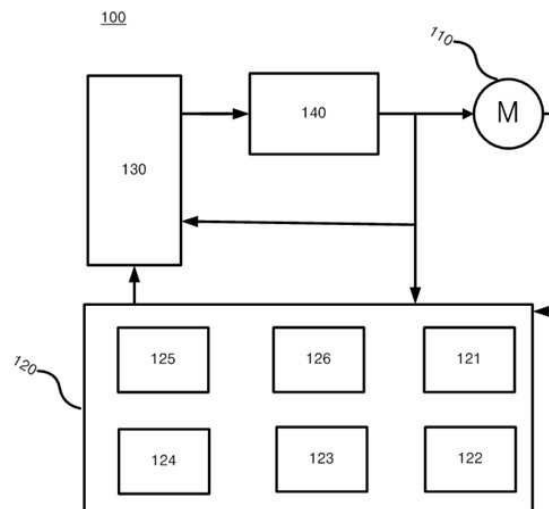
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 모터의 결합 정보 산출 장치, 방법, 프로그램을 기록한 기록매체 및 모터 구동 방법

(57) 요약

본발명은 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 입력받아 고조파 성분을 제거하고, 정류기로부터 정류된 각 상 전류로부터 대칭 성분을 산출하고, 대칭성분의 위상 및 크기를 계측하고, 대칭성분의 위상 및 크기로부터 신호비 지수 및 위상 패턴을 산출하고, 신호비 지수 및 위상 패턴으로부터 결합의 타입과 위치를 산출하며, 상기 산출된 결합 정보를 모터 제어 신호를 생성하는 제어기에 전송하도록 한다.

대표도 - 도10



(52) CPC특허분류

H02P 27/06 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

다상 모터의 결함 정보 산출 장치에 있어서,

다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 입력받아 고조파 성분을 제거하는 정류부;

정류기로부터 정류된 각 상 전류로부터 대칭 성분을 산출하는 대칭성분 변환부;

대칭성분의 위상 및 크기를 계측하는 대칭성분 계측부;

대칭성분의 위상 및 크기로부터 신호비 지수 및 위상 패턴을 산출하는 대칭성분 분석부;

신호비 지수 및 위상 패턴으로부터 결함의 타입과 위치를 산출하는 결함 정보부; 및

상기 산출된 결함 정보를 모터 제어 신호를 생성하는 제어기에 전송하는 판단부(126)를 포함하는 다상 모터의 결함 정보 산출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 대칭 성분 변환부는 위상 A 에 대한 대칭성분이 영상(ZS) 에서 I_{a0} , 정상 시퀀스(PS1)에서 I_{a1} , 역상(NS2)에서 I_{a2} , 정상 시퀀스(PS2)에서 I_{a3} 및 역상 시퀀스(NS2)에서 I_{a4} 인 경우, 아래 수식에 의해 대칭 성분을 산출되고,

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a3} \\ I_{a4} \end{bmatrix} = \frac{1}{5} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 & \alpha^3 & \alpha^4 \\ 1 & \alpha^4 & \alpha^3 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 & \alpha^3 & \alpha^4 \\ 1 & \alpha^4 & \alpha^3 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \\ I_{sd} \\ I_{se} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ I_{m1} \sin(2\pi ft) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \alpha = \angle 72^\circ \text{ 인 결함 정보 산출 장치.}$$

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 대칭성분 계측부는, 단상 결함(SINGLE PHASE FAULT)조건에서 아래 식에 의하여 대칭성분을 산출하고,

$$I_{a0} = K_{01} \sin \left(2\pi ft - \arctan \left(\frac{B_{01}}{A_{01}} \right) \right)$$

$$I_{a1} = K_{11} \sin(2\pi ft)$$

$$I_{\alpha 2} = K_{21} \sin \left(2\pi f t - \arctan \left(\frac{B_{21}}{A_{21}} \right) \right)$$

$$I_{\alpha 3} = K_{31} \sin \left(2\pi f t - \arctan \left(\frac{B_{31}}{A_{31}} \right) \right)$$

$$I_{\alpha 4} = K_{41} \sin \left(2\pi f t - \arctan \left(\frac{B_{41}}{A_{41}} \right) \right), K_{n1} \text{은 대칭성분의 최대값이고, } B_{n1} \text{ 및 } A_{n1} \text{은 } \sin \sigma \beta \text{ 및 } \cos \sigma \beta \text{ 각각의 합(} \sigma = 0, 1, 2, \dots, \beta = 2\pi/5 \text{)인 결합 정보 산출 장치.}$$

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 대칭성분 계측부는, 이상 인접 결합조건에서 아래 식에 의하여 대칭성분을 산출하고,

$$I_{\alpha 0} = K_{02} \sin \left(2\pi f t - \arctan \left(\frac{B_{02}}{A_{02}} \right) \right)$$

$$I_{\alpha 1} = K_{12} \sin(2\pi f t)$$

$$I_{\alpha 2} = K_{22} \sin \left(2\pi f t - \arctan \left(\frac{B_{22}}{A_{22}} \right) \right)$$

$$I_{\alpha 3} = K_{32} \sin \left(2\pi f t - \arctan \left(\frac{B_{32}}{A_{32}} \right) \right)$$

$$I_{\alpha 4} = K_{42} \sin \left(2\pi f t - \arctan \left(\frac{B_{42}}{A_{42}} \right) \right) K_{n2} \text{은 대칭성분의 최대값이고, } B_{n2} \text{ 및 } A_{n2} \text{은 } \sin \sigma \beta \text{ 및 } \cos \sigma \beta \text{ 각각의 합(} \sigma = 0, 1, 2, \dots, \beta = 2\pi/5 \text{)인 결합 정보 산출 장치.}$$

청구항 5

제3항 또는 제4항에 있어서,

대칭성분 분석부는 상기 대칭성분의 최대값을 통해 신호비 지수(signal ratio index, γ^1 , γ^1)를 산출하고, 대칭성분의 위상각인 $\arctan \left(\frac{B_{n1}}{A_{n1}} \right)$ 및 $\arctan \left(\frac{B_{n2}}{A_{n2}} \right)$ 를 이용하여 대칭성분의 위상 패턴을 산출하는 결합 정보 산출 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 대칭성분 분석부는,

상기 신호비 지수는 $\gamma_1 = \frac{K_2}{K_0}$ $\gamma_2 = \frac{K_2}{K_4}$ 가 같이 산출되고, K_0 , K_2 , K_3 및 K_4 는 각 상 시퀀스들(ZS(I_0), NS1(I_2), PS1(I_3) 및 NS2(I_4))의 피크값을 나타내며,

상기 신호비 지수를 1에 비교하여 결합의 타입을 검출하는 결합 정보 산출 장치.

청구항 7

제1항의 결합 정보 산출 장치를 포함하는 다상 모터 구동 시스템에 있어서,

상기 결합 정보 산출 장치)로부터 인가받은 결합 정보 및 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 조합하고 전압 지령치(reference)를 인가받아 전압 보상값을 생성하며 인버터에 입력될 5상 전압 신호를 생성하도록 하는 제어부 및 상기 제어부로부터 인가받은 5상 전압을 다상 모터의 각 상 전류로 변환시키는 인버터를 더 포함하는 다상 모터 구동 시스템.

청구항 8

다상 모터의 결함 정보 산출 방법에 있어서,
 다상 모터에 인가되는 상전류를 검출하는 단계;
 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 입력받아 고조파 성분을 제거하는 단계;
 정류된 각 상 전류로부터 변환행렬을 이용하여 대칭 성분을 산출하는 단계;
 대칭성분의 위상 및 크기를 계측하는 단계;
 대칭성분의 위상 및 크기로부터 신호비 지수 및 위상 패턴을 산출하는 단계;
 상기 신호비 지수 및 위상 패턴으로부터 결함의 타입과 위치를 포함하는 결함 정보를 산출하는 단계; 및
 상기 결함 정보를 모터 제어 신호를 생성하는 제어기에 전송하는 단계를 포함하는 결함 정보 산출 방법.

청구항 9

다상 모터의 결함 정보 산출 방법을 실행시키는 디지털 신호 프로세서를 실행시키는 프로그램을 기록한 기록매체에 있어서,
 다상 모터에 인가되는 상전류를 검출하는 단계;
 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 입력받아 고조파 성분을 제거하는 단계;
 정류된 각 상 전류로부터 변환행렬을 이용하여 대칭 성분을 산출하는 단계;
 대칭성분의 위상 및 크기를 계측하는 단계;
 대칭성분의 위상 및 크기로부터 신호비 지수 및 위상 패턴을 산출하는 단계;
 상기 신호비 지수 및 위상 패턴으로부터 결함의 타입과 위치를 포함하는 결함 정보를 산출하는 단계; 및
 상기 결함 정보를 모터 제어 신호를 생성하는 제어기에 전송하는 단계를 실행시키는 디지털 신호 프로세서를 실행시키는 프로그램을 기록한 기록매체.

청구항 10

다상 모터 구동 방법에 있어서,
 다상 모터에 인가되는 상전류를 검출하는 단계;
 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 입력받아 고조파 성분을 제거하는 단계;
 정류된 각 상 전류로부터 변환행렬을 이용하여 대칭 성분을 산출하는 단계;
 대칭성분의 위상 및 크기를 계측하는 단계;
 대칭성분의 위상 및 크기로부터 신호비 지수 및 위상 패턴을 산출하는 단계;
 상기 신호비 지수 및 위상 패턴으로부터 결함의 타입과 위치를 포함하는 결함 정보를 산출하는 단계;
 상기 결함 정보를 모터 제어 신호를 생성하는 제어기에 전송하는 단계;
 상기 제어기가 인가받은 결함 정보 및 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 조합하고 전압 지령치(reference)를 인가받아 전압 보상값을 생성하며 인버터에 입력될 5상 전압 신호를 생성하도록 하는 단계; 및
 인버터에 의해 5상 전압을 전동기(110)의 각 상 전류로 변환시키는 단계를 포함하는 다상 모터 구동 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본발명은 모터의 결함 정보 검출 장치, 방법, 프로그램을 기록한 기록매체 및 모터 구동 방법 및 시스템에 관한 것으로서 5상 이상의 다상 전동기에서의 결함 정보를 대칭 성분 이론을 이용하여 결함의 타입과 위치를 정확하

게 산출할 수 있다.

배경 기술

- [0002] 항공기나 자동차 산업 등에서는 전기 기계의 신뢰성을 향상시키기 위한 광범위한 연구가 행해지고 있다. 특히, 하이브리드 자동차(hybrid vehicle)나 전기 자동차(electric vehicle)는 동작의 신뢰성 보장은 의무적이다. 전기 기계에서 개선된 결함 감지나 결함에 강한 동작과 같은 특정 기능들은 일반적으로 요구되고 있다.
- [0003] 결함 내성 성능 또는 내고장 성능(fault tolerance capability)을 최대화하기 위한 다상(multi-phase) 모터 시스템이 제안되고 있다. 모든 다상 모터군 중에 5상(five phase)시스템은 3상시스템보다 더 큰 결함 내성 성능을 최소한도로 갖추어야 한다. 반면, 5상 이상의 다상 시스템은 동작 중 더 많은 전력 스위치 결함을 처리해야 하고 이것은 고장 감지나 내고장 성능의 복잡도를 잠재적으로 높이게 된다. 5상 기계에서는 단상이나 3상 기계에 비해 상(phase) 연결을 추가하기 위해 증가된 자유도가 동작 의존도를 높이기 위해 활용될 수 있다. 이러한 잉여의 위상 성분은 결함 감지 과정에서의 자유도와 정확성을 높이는데 활용될 수 있다. 많은 종류의 5상 모터 중 영구 자석형 동기 릴럭턴스 모터(PMa-SynRM, permanent magnet assisted synchronous reluctance motor)는 견고한 컨트롤과 저비용 설계의 이점을 가지고 있어 유망한 기술 중 하나이다. 5상 영구 자석형 동기 릴럭턴스 모터는 최적화된 속도, 토크 및 진동 특성을 가진 동기 릴럭턴스 기계 및 영구 자석 동기 기계(PMSMs, permanent magnet synchronous machine)를 이용한다.
- [0004] 전기 모터의 결함 감지와 진단을 위해 지난 수십년간 광범위한 연구가 행해져 왔다. 퍼지 로직이나 신경망 이론은 전형적인 방법 중 하나이다. 이러한 방법은 축적된 경험에 의해 형성된 규칙을 기반으로 하는 전문적 시스템이 필요하다. 개방 위상 결함(open phase fault)이나 폐쇄 위상 결함(closed phase fault)은 파라미터 추측 및 상태 추측을 이용하는 전동기 다이내믹 모델과 함께 분석되어 왔다. 이 방법은 정밀한 시스템 모델을 인식하기 위하여 정확한 물리 파라미터의 예측이 요구된다. 3상의 브러시 없는 직류(BLDC, brushless direct current)모터에서는 간단한 진단 방법이 제안되어 단락 조건에서 스위칭 상태를 분석하였었다. 결함 예측 공정은 결함을 인식하기 위한 별도의 회로를 사용하여 분석되어 왔다. 개선된 신호처리가 3상 기계의 분석에 사용되었고, 그러한 기법 중에 3상 레퍼런스 프레임 이론(three-phase reference frame theory)이 결함 특성을 DC 성분양으로 정량화하는데 소개되었다.
- [0005] 한편, 5상 시스템의 예측에 있어서는 최소 10개의 전력 스위치와 그들의 결함 복잡도를 고려한 보다 개선된 결함 감지 알고리즘이 필요하다. 5상 영구 자석 모터 구동에서 오픈 트랜지스터 결함을 인식하기 위한 파라미터 예측하기 위해 모델 기반 관측이 제안되었다. 5상 기계의 인터턴 결함(interturn fault)를 감지하기 위한 복잡한 이론적 설명과 함께 조합된 스페이스 벡터 스펙트럼 분석이 사용되었다. 또한, 5상 시스템에서 레퍼런스 프레임 이론을 활용하여 중심 기반 스위치 결함 감지 방법이 논의된 바가 있다.
- [0006] 5상 또는 다상 기계에서의 결함 감지를 위해서는 복잡한 회로 구성이나 예측 모델보다 간편하고 쉬운 감지 기법이 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본발명은 상술한 문제점을 해결하기 위하여 대칭 성분 이론을 활용한 결함 감지 방법을 제공하도록 한다.
- [0008] 본발명은 기존 디지털 시그널 프로세서에 쉽게 내장되면서 결함의 타입과 위치까지 인지할 수 있는 감지 알고리즘을 제공하도록 한다.
- [0009] 본발명은 기존 3상 시스템의 대칭성분(SCs, symmetrical component) 이론을 수학적으로 확장하여 5상 시스템에 적용하도록 한다.
- [0010] 본발명은 2 개의 서로 다른 크기 지표를 사용하여 결함의 존재를 확실하게 확인할 수 있도록 한다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본발명의 일 실시예에 따른 다상 모터의 결함 정보 산출 장치는, 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 입력받아 고조파 성분을 제거하는 정류부; 정류기로부터 정류된 각 상 전류로부터 대칭 성분을 산출하는 대칭성분 변환부; 대칭성분의 위상 및 크기를 계측하는 대칭성분 계측부; 대칭성분의 위상 및 크기로부터 신호비 지수 및

위상 패턴을 산출하는 대칭성분 분석부; 신호비 지수 및 위상 패턴으로부터 결함의 타입과 위치를 산출하는 결함 정보부; 및 상기 산출된 결함 정보를 모터 제어 신호를 생성하는 제어기에 전송하는 판단부(126)를 포함한다.

본발명은 상기 대칭 성분 변환부는 위상 A 에 대한 대칭성분이 영상(ZS) 에서 I_{a0} , 정상 시퀀스(PS1)에서 I_{a1} , 역상(NS2) 에서 I_{a2} , 정상 시퀀스(PS2)에서 I_{a3} 및 역상 시퀀스(NS2)에서 I_{a4} 인 경우, 아래 수식에 의해 대칭 성분을 산출되고,

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a3} \\ I_{a4} \end{bmatrix} = \frac{1}{5} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 & \alpha^3 & \alpha^4 \\ 1 & \alpha^4 & \alpha^3 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha^3 & \alpha & \alpha^4 & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha^4 & \alpha & \alpha^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \\ I_{sd} \\ I_{se} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ I_{m1} \sin(2\pi ft) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

, $\alpha = \angle 72^\circ$ 인 것을 특징으로 한다.

본발명에서 상기 대칭성분 계측부는, 단상 결함(SINGLE PHASE FAULT)조건에서 아래 식에 의하여 대칭성분을 산출하고,

$$I_{a0} = K_{01} \sin \left(2\pi ft - \arctan \left(\frac{B_{01}}{A_{01}} \right) \right)$$

$$I_{a1} = K_{11} \sin(2\pi ft)$$

$$I_{a2} = K_{21} \sin \left(2\pi ft - \arctan \left(\frac{B_{21}}{A_{21}} \right) \right)$$

$$I_{a3} = K_{31} \sin \left(2\pi ft - \arctan \left(\frac{B_{31}}{A_{31}} \right) \right)$$

$$I_{a4} = K_{41} \sin \left(2\pi ft - \arctan \left(\frac{B_{41}}{A_{41}} \right) \right), \quad K_{n1} \text{은 대칭성분의 최대값이고, } B_{n1} \text{ 및 } A_{n1} \text{ 은 } \sin \sigma \beta \text{ 및 } \cos \sigma \beta \text{ 각각의 합(} \sigma = 0, 1, 2, \dots, \beta = 2\pi/5 \text{)인 것을 특징으로 한다.}$$

본발명에서 상기 대칭성분 계측부는, 이상 인접 결함조건에서 아래 식에 의하여 대칭성분을 산출하고,

$$I_{a0} = K_{02} \sin \left(2\pi ft - \arctan \left(\frac{B_{02}}{A_{02}} \right) \right)$$

$$I_{a1} = K_{12} \sin(2\pi ft)$$

$$I_{a2} = K_{22} \sin \left(2\pi ft - \arctan \left(\frac{B_{22}}{A_{22}} \right) \right)$$

$$I_{a3} = K_{32} \sin \left(2\pi ft - \arctan \left(\frac{B_{32}}{A_{32}} \right) \right)$$

$$I_{a4} = K_{42} \sin \left(2\pi ft - \arctan \left(\frac{B_{42}}{A_{42}} \right) \right) \quad K_{n2} \text{은 대칭성분의 최대값이고, } B_{n2} \text{ 및 } A_{n2} \text{ 은 } \sin \sigma \beta \text{ 및 } \cos \sigma \beta \text{ 각각의 합(} \sigma = 0, 1, 2, \dots, \beta = 2\pi/5 \text{)인 것을 특징으로 한다.}$$

2, ..., $\beta = 2\pi/5$)인 것을 특징으로 한다.

γ_1, γ_1

[0026] 본발명에서 상기 대칭성분 분석부는 상기 대칭성분의 최대값을 통해 신호비 지수(signal ratio index, γ_1 , γ_1)를 산출하고, 대칭성분의 위상각인 $\arctan\left(\frac{B_{n1}}{A_{n1}}\right)$ 및 $\arctan\left(\frac{B_{n2}}{A_{n2}}\right)$ 를 이용하여 대칭성분의 위상 패턴을 산출한다.

[0027] 본발명에서 상기 대칭성분 분석부는, 상기 신호비 지수는 $\gamma_1 = \frac{K_2}{K_0}$, $\gamma_2 = \frac{K_2}{K_4}$ 아 같이 산출되고, K_0 , K_2 , K_3 및 K_4 는 각 상 시퀀스들(ZS(I_0), NS1(I_2), PS1(I_3) 및 NS2(I_4))의 피크값을 나타내며, 상기 신호비 지수를 1에 비교하여 결함의 타입을 검출하도록 한다.

[0028] 본발명의 결함 정보 산출 장치를 포함하는 다상 모터 구동 시스템은, 상기 결함 정보 산출 장치)로부터 인가받은 결함 정보 및 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 조합하고 전압 지령치(reference)를 인가받아 전압 보상값을 생성하며 인버터에 입력될 5상 전압 신호를 생성하도록 하는 제어부 및 상기 제어부로부터 인가받은 5상 전압을 다상 모터의 각 상 전류로 변환시키는 인버터를 더 포함한다.

[0029] 본발명의 다상 모터의 결함 정보 산출 방법은, 다상 모터에 인가되는 상전류를 검출하는 단계; 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 입력받아 고조파 성분을 제거하는 단계; 정류된 각 상 전류로부터 변환행렬을 이용하여 대칭 성분을 산출하는 단계; 대칭성분의 위상 및 크기를 계측하는 단계; 대칭성분의 위상 및 크기로부터 신호비 지수 및 위상 패턴을 산출하는 단계; 상기 신호비 지수 및 위상 패턴으로부터 결함의 타입과 위치를 포함하는 결함 정보를 산출하는 단계; 및 상기 결함 정보를 모터 제어 신호를 생성하는 제어기에 전송하는 단계를 포함한다.

[0030] 본발명의 다상 모터의 결함 정보 산출 방법을 실행시키는 디지털 신호 프로세서를 실행시키는 프로그램을 기록한 기록매체는, 다상 모터에 인가되는 상전류를 검출하는 단계; 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 입력받아 고조파 성분을 제거하는 단계; 정류된 각 상 전류로부터 변환행렬을 이용하여 대칭 성분을 산출하는 단계; 대칭성분의 위상 및 크기를 계측하는 단계; 대칭성분의 위상 및 크기로부터 신호비 지수 및 위상 패턴을 산출하는 단계; 상기 신호비 지수 및 위상 패턴으로부터 결함의 타입과 위치를 포함하는 결함 정보를 산출하는 단계; 및 상기 결함 정보를 모터 제어 신호를 생성하는 제어기에 전송하는 단계를 실행시키는 디지털 신호 프로세서를 실행시킨다.

[0031] 본발명의 다상 모터 구동 방법은, 다상 모터에 인가되는 상전류를 검출하는 단계; 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 입력받아 고조파 성분을 제거하는 단계; 정류된 각 상 전류로부터 변환행렬을 이용하여 대칭 성분을 산출하는 단계; 대칭성분의 위상 및 크기를 계측하는 단계; 대칭성분의 위상 및 크기로부터 신호비 지수 및 위상 패턴을 산출하는 단계; 상기 신호비 지수 및 위상 패턴으로부터 결함의 타입과 위치를 포함하는 결함 정보를 산출하는 단계; 상기 결함 정보를 모터 제어 신호를 생성하는 제어기에 전송하는 단계; 상기 제어기가 인가받은 결함 정보 및 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 조합하고 전압 지령치(reference)를 인가받아 전압 보상값을 생성하며 인버터에 입력될 5상 전압 신호를 생성하도록 하는 단계; 및 인버터에 의해 5상 전압을 전동기(110)의 각 상 전류로 변환시키는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0032] 본발명에 따르면 결함 정보를 보다 확실하고 정확하게 알 수 있다.

[0033] 본발명에 따르면 결함 감지에 필요한 회로와 알고리즘을 단순화하여 제작 비용을 절감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 5상 시스템 회로에 나타난 결함을 예시한 도이다.

도 2는 5상 시스템 회로의 페이지도를 나타낸다.

도 3은 개방 위상 결함 하에서 생길 수 있는 신호의 크기값을 나타낸다.

도 4는 100%로드로 걸리는 기계의 모든 결함 상태에서의 대칭 성분을 나타낸다.

도 5는 단상 결함 및 이상 결함 즉, SPF, TPAF 및 TPNF를 포함한 모든 가능한 결상 결함에서의 신호비 인덱스의 크기 (r_1 및 r_2)를 요약한 도이다.

도 6은 30% 부하 조건에서 대칭 성분을 나타낸다.

도 7은 모든 결함 조건에서의 위상각을 나타낸다.

도 8은 모든 가능한 결함 조건을 시뮬레이션한 결과 대칭 성분의 위상각을 도시한 도이다.

도 9는 인접 위상, 비인접 위상 결함 상태의 균등하지 않은 저항 결함 조건에서의 전류 및 대칭성분을 나타낸다.

도 10은 본발명의 일 실시예에 따른 결함 정보 산출 기기를 포함한 모터 구동시스템에 대해 개략적으로 도시한 도이다.

도 11은 본발명의 일 실시예에 따른 결함 정보 산출 방법을 나타낸 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 본 발명의 이점들과 특징들 그리고 이들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해 질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 본 실시예들은 단지 본 발명의 개시가 완전하도록 하며 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려 주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0036] 본 명세서에서 사용되는 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용되는 것으로 본 발명을 한정하려는 의도에서 사용된 것이 아니다. 예를 들어, 단수로 표현된 구성 요소는 문맥상 명백하게 단수만을 의미하지 않는다면 복수의 구성 요소를 포함하는 개념으로 이해되어야 한다. 또한, 본 발명의 명세서에서, '포함하다' 또는 '가지다' 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것일 뿐이고, 이러한 용어의 사용에 의해 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성이 배제되는 것은 아니다.
- [0037] 본 명세서에 기재된 실시예에 있어서 '모듈' 혹은 '부'는 적어도 하나의 기능이나 동작을 수행하는 기능적 부분을 의미하며, 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다. 또한, 복수의 '모듈' 혹은 복수의 '부'는 특정한 하드웨어로 구현될 필요가 있는 '모듈' 혹은 '부'를 제외하고는 적어도 하나의 모듈로 일체화되어 적어도 하나의 프로세서로 구현될 수 있다.
- [0038] 덧붙여, 다르게 정의되지 않는 한 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미가 있는 것으로 해석되어야 하며, 본 발명의 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0039] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 보다 상세히 설명한다. 다만, 이하의 설명에서는 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 우려가 있는 경우, 널리 알려진 기능이나 구성에 관한 구체적 설명은 생략하기로 한다.

- [0041] 도 1은 5상 시스템 회로에 나타난 결함을 예시한 도이다. 도 1을 참조하면, 5상 시스템에서 각 상의 교류전원(AC)에 의해 5상 전류가 식(1)와 같이 72° 위상 차로 전동기(110)에 인가될 수 있다.

수학식 1

[0042]
$$I_{sa} = I_{m1} \sin(2\pi ft)$$

[0043]
$$I_{sb} = I_{m2} \sin(2\pi ft - 2\pi/5)$$

[0044] $I_{sc} = I_{m3} \sin(2\pi ft - 4\pi/5)$

[0045] $I_{sd} = I_{m4} \sin(2\pi ft - 6\pi/5)$

[0046] $I_{se} = I_{m5} \sin(2\pi ft - 8\pi/5)$

[0047] I_{sa} , I_{sb} , I_{sc} , I_{sd} 및 I_{se} 는 전동기(110)에 인가되는 5상 전류이고, I_{m1} , I_{m2} , I_{m3} , I_{m4} 및 I_{m5} 는 각 상전류의 크기(magnitude)를 나타낸다. 이러한 5개 전류 인자들은 5상 기계에서의 개선된 결함 검출 방법을 위해 효과적으로 분석될 수 있다. 도 1에서는 5상 시스템에서 생길 수 있는 개방 위상 결함(open-phase faults)으로서 단상 개방 결함(120, SPF, single-phase open fault, phase A = 0), 이상 인접 개방 결함(130, TPAF, two-phase adjacent fault, phases AE = 0) 및 이상 비인접 개방 결함(140, TPJF, two-phase nonadjacent fault, phase BE = 0)을 예시하고 있다.

[0048] 3상 시스템에서는 정상 시퀀스(PS, positive sequence), 역상 시퀀스(NS, negative sequence) 및 영상 시퀀스(ZS, zero sequence)의 3가지 상 성분이 있다. 5상 시스템에서는 상 조합이 증가하여 상 성분 개수가 실질적으로 증가할 수밖에 없다. 예를 들면 상 회전을 기반으로 하면 3상 시스템은 2개의 위상 조합($2 * 1$)이 있다. 그러나, 5상 시스템에서의 위상 시퀀스(phase sequence) 조합은 $24(4 * 3 * 2 * 1)$ 가 된다. 적합한 위상 시퀀스를 산출하기 위해서는 제로 시퀀스(ZS) 성분을 기초로 24개 위상 시퀀스들의 각 출력이 구해질 수 있다. 만일 제로 시퀀스 성분(zero sequence component)이 이상적인 제로(zero)인 경우 해당 시퀀스는 5상 시스템의 위상 시퀀스 중 하나로 선택될 수 있다. 이렇게 하면 5상 시스템은 4개의 새로운 시퀀스, 즉, PS1, NS1, PS2, NS2 로 산출될 수 있다. 4개의 시퀀스들은 아래와 같고 도 2에서와 같이 도식화될 수 있다. 도 2를 참조하면 제로 시퀀스(ZS)과 함께 4개 시퀀스들은 5상 시스템을 위한 5개 대칭 성분들의 모음을 만들 수 있다.

[0049] positive sequence 1 (PS1) (A B → C D E);

[0050] negative sequence 1 (NS1) (A E → D C B);

[0051] positive sequence 2 (PS2) (A C E B D);

[0052] negative sequence 2 (NS2) (A D B E C);

[0053] 산출된 5상 시퀀스를 기준으로 5상 시스템의 전류는 아래 수학적 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 2

[0054] $I_{sa} = \sum_{n=0}^4 I_{an}$

[0055] $I_{sb} = \sum_{n=0}^4 I_{bn} = I_{a0} + I_{a1} \alpha^4 + I_{a2} \alpha^1 + I_{a3} \alpha^2 + I_{a4} \alpha^3$

[0056] $I_{sc} = \sum_{n=0}^4 I_{cn} = I_{a0} + I_{a1} \alpha^3 + I_{a2} \alpha^2 + I_{a3} \alpha^4 + I_{a4} \alpha^1$

[0057] $I_{sd} = \sum_{n=0}^4 I_{dn} = I_{a0} + I_{a1} \alpha^2 + I_{a2} \alpha^3 + I_{a3} \alpha^1 + I_{a4} \alpha^4$

[0058] $I_{se} = \sum_{n=0}^4 I_{en} = I_{a0} + I_{a1} \alpha^1 + I_{a2} \alpha^4 + I_{a3} \alpha^3 + I_{a4} \alpha^2$

[0059] 수학적 식 2에서 I_{an} , I_{bn} , I_{cn} , I_{dn} 및 I_{en} ($n = 1, 2, 3, 4$) 위상 A, B, C, D 및 E 각각의 대칭성분으로서, 예컨대, 위상 A 에 대한 대칭성분은 영상(ZS) 에서의 I_{a0} , 정상 시퀀스(PS1)에서의 I_{a1} , 역상(NS2) 에서의 I_{a2} , 정상 시퀀스(PS2)에서 I_{a3} 및 역상 시퀀스(NS2)에서 I_{a4} 로 주어질 수 있고 위상각 $\alpha = \angle 72^\circ$ 이다.

[0060] 수학적 식 2를 아래 수학적 식 3과 같이 $5 * 5$ 변환 행렬(T)를 사용하여 표현할 수 있다.

수학식 3

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \\ I_{a3} \\ I_{a4} \end{bmatrix} = \frac{1}{5} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^1 & \alpha^2 & \alpha^3 & \alpha^4 \\ 1 & \alpha^4 & \alpha^3 & \alpha^2 & \alpha^1 \\ 1 & \alpha^3 & \alpha^1 & \alpha^4 & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha^4 & \alpha^1 & \alpha^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \\ I_{sd} \\ I_{se} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ I_{m1} \sin(2\pi ft) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

[0061]

[0062]

수학식 3에서 변환행렬은 제안된 대칭성분과 함께 5상 시스템에서 도출될 수 있다. 수학식 3을 살펴보면 대칭 성분 이론이 만족되는 결함 없는 정상 상태에서 다른 성분들의 값은 0인데 비해 정상 시퀀스(PS1) 성분 I_{a1} 만이 값을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다.

[0064]

이하에서는 개방 위상 결함(open phase fault), 예컨대, 단상결함, 인접 이상 결함, 비인접 이상 결함이 있는 조건에서의 대칭 성분을 산출해본다. 서로 다른 결함 조건에서 결함 패턴을 산출하기 위해 대칭 성분의 크기 및 위상을 분석할 수 있다. 예컨대, 단상 결함(SPF, single phase fault, $I_{sa} = 0$)이 발생하는 경우 수학식 3을 이용하여 산출된 5개 대칭 성분들은 아래 수학식 4와 같이 구해질 수 있다.

수학식 4

[0065]

$$I_{a0} = K_{01} \sin\left(2\pi ft - \arctan\left(\frac{B_{01}}{A_{01}}\right)\right)$$

[0066]

$$I_{a1} = K_{11} \sin(2\pi ft)$$

[0067]

$$I_{a2} = K_{21} \sin\left(2\pi ft - \arctan\left(\frac{B_{21}}{A_{21}}\right)\right)$$

[0068]

$$I_{a3} = K_{31} \sin\left(2\pi ft - \arctan\left(\frac{B_{31}}{A_{31}}\right)\right)$$

[0069]

$$I_{a4} = K_{41} \sin\left(2\pi ft - \arctan\left(\frac{B_{41}}{A_{41}}\right)\right)$$

[0070]

그리고, 이상 인접 결함(TPAF, $I_{sa} = I_{sb} = 0$)이 발생하는 경우 수학식 3을 이용하여 산출된 5개의 대칭성분은 아래 수학식 5와 같이 구해질 수 있다.

수학식 5

$$I_{\alpha 0} = K_{02} \sin \left(2\pi f t - \arctan \left(\frac{B_{02}}{A_{02}} \right) \right)$$

$$I_{\alpha 1} = K_{12} \sin(2\pi f t)$$

$$I_{\alpha 2} = K_{22} \sin \left(2\pi f t - \arctan \left(\frac{B_{22}}{A_{22}} \right) \right)$$

$$I_{\alpha 3} = K_{32} \sin \left(2\pi f t - \arctan \left(\frac{B_{32}}{A_{32}} \right) \right)$$

$$I_{\alpha 4} = K_{42} \sin \left(2\pi f t - \arctan \left(\frac{B_{42}}{A_{42}} \right) \right)$$

수학식 6

$$K_{n1} = \sum_{n=0, n \neq 1}^4 I_{mn} \sqrt{(A_{n1}^2 + B_{n1}^2)}$$

$$K_{n2} = \sum_{n=0, n \neq 1}^4 I_{mn} \sqrt{(A_{n2}^2 + B_{n2}^2)}$$

$$C_{n1} = \sqrt{(A_{n1}^2 + B_{n1}^2)}, D_{n1} = \sqrt{(A_{n2}^2 + B_{n2}^2)},$$

$$\text{for } n = 1, C_{n1} = D_{n1} = 1$$

$$\text{for } n \neq 1, C_{n1} \neq D_{n1} \neq 1$$

이 때, 계수 K_{n1} 및 K_{n2} 는 단상 결함 및 이상 인접 결함 조건에서의 대칭 성분의 최대값(amplitude)을 나타내고,

I_{mn} 은 수학식 1에서의 전류 크기(magnitude)이고, $\arctan \left(\frac{B_{n1}}{A_{n1}} \right)$ 및 $\arctan \left(\frac{B_{n2}}{A_{n2}} \right)$ 은 정상 시퀀스(PS1)와 관련된 대칭 성분의 위상각을 나타내며, B_{n1} 및 A_{n1} 은 $\sin \sigma \beta$ 및 $\cos \sigma \beta$ 각각의 합을 나타낸다. ($\sigma = 0, 1, 2, \dots, \beta = 2\pi/5$)

수학식 4 및 5를 참조하면 이상 결함 조건에서의 대칭 성분의 크기 및 위상각이 수학적 패턴에 따라 실질적으로 변화되는 것을 확인할 수 있다.

즉, 본발명에서는, 대칭성분 계측부에 의하여 대칭성분의 크기(K_{n1} 및 K_{n2}) 및 위상각을 산출한다.

이하에서는 대칭 성분의 크기를 이용하여 결함 타입을 검출하는 방법에 대해 설명한다. 대칭 성분 사이의 신호 크기를 비교, 분석하기 위해서는 2개의 신호비 지수(signal ratio index, γ^1 , γ^1)를 사용할 수 있고, 아래 수학식 7과 같이 정의될 수 있다.

수학식 7

$$\gamma_1 = \frac{K_3}{K_0} \quad \gamma_2 = \frac{K_2}{K_4}$$

K_0 , K_2 , K_3 및 K_4 는 각 상 시퀀스들(ZS(I_0), NS1(I_2), PS1(I_3) 및 NS2(I_4))의 피크값을 각각 나타낸다. 수학식 4 및 5에서의 단상 결함(SPF) 및 이상 인접 결함(TPAF) 조건에서 신호비 인덱스 γ^1 및 γ^2 는 도 3과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 신호비 인덱스 γ^1 및 γ^2 는 정상 또는 결함 조건에서 각 상(ZS, PS1, PS2, NS1, NS2)에 대한 대

청성분의 최대값(K_0 , K_2 , K_3 및 K_4)을 비교한 지수이고, 해당 지수가 일정한 패턴을 가지고 있다.

[0087] 도 3은 개방 위상 결합 하에서 생길 수 있는 신호비 지수의 크기값을 나타낸다.

[0088] 도 3을 참조하면 신호비 지수 γ^1 및 γ^2 는 어떠한 위상(A, B, C, D, E)에서나 단상 결합 조건(SPF)에서는 그 값이 1로 동일함을 알 수 있다. 한편, 신호비 인덱스 γ^1 및 γ^2 는 각 상(AB, BC, CD, DE, 및 EA)의 인접 위상 결합 조건(TPAF)에서는 1보다 더 작다. 비슷하게 각 상(AC, AD, BD, BE, CE)의 비인접 결합 조건(TPNF)에서는 1보다 커진 것을 확인할 수 있다. 즉, 신호비 인덱스 γ^1 및 γ^2 는 아래 수학적 식 8에서와 같은 패턴을 가짐을 확인할 수 있고, 이것으로부터 결합 타입에 관한 정보를 도출해낼 수 있다.

수학적 식 8

[0089] $\gamma_1, \gamma_2 < 1$, 이상 인접 결합(TPAF, two-phase adjacent fault)

[0090] $\gamma_1, \gamma_2 = 1$, 단상 결합(SPF, single-phase fault)

[0091] $\gamma_1, \gamma_2 > 1$, 이상 비인접 결합(TPNF, two-phase nonadjacent fault)

[0092] 즉, 신호비 지수의 값을 통하여 5상 시스템이 단상 결합인 지, 이상 인접 결합 인지 또는 이상 비인접 결합인지에 대한 결합의 타입을 도출해낼 수 있다.

[0093] 이하에서는 시뮬레이션을 통한 대칭성분 분석내용에 대해 설명한다.

[0094] 도 4는 100%로드로 걸리는 기계의 모든 결합 상태에서의 대칭 성분을 나타낸다. 도 4의 (a)는 정상 상태에서 대칭 성분을 나타낸다. 도 4의 (a)에서 정상 시퀀스(PS1)를 제외한 모든 대칭성분(ZS, NS1, PS2, NS2)이 0이 된다. 도 4의 (b)는 단상 결합(SPF (phase E = 0) 상태에서 대칭성분을 나타내고, 영상(ZS), 역상(NS1), 정상(PS2) 및 역상(NS2)의 크기는 각각 0.3, 0.5, 0.30, 0.29 및 0.31로 나타난다. 도 4의 (c)는 상 D 및 E의 이상 인접결합(TPAF) 하의 대칭성분을 도시한다. 영상, 정상 또는 역상(ZS, NS1, PS2 및 NS2)에서의 크기는 각각 0.25, 0.23, 0.17 및 0.36으로 나타난다. 도 4의 (d)는 상 C와 E 간 이상 비인접 결합(TPNF) 하의 대칭성분을 보여준다. 각 상(ZS, NS1, PS2 및 NS2)에서의 크기는 각각 0.19, 0.37, 0.4 및 0.18이다.

[0095] 도 5는 단상 결합 및 이상 결합 즉, SPF, TPAF 및 TPNF를 포함한 모든 가능한 결상 결합에서의 신호비 인덱스의 크기 (r_1 및 r_2)를 요약한 도이다. 도 5를 참조하면 상 A 또는 B 또는 C 또는 D 또는 E에서의 단상 결합(SPF) 조건에서 신호비 지수 r_1 과 r_2 가 1에 가까운 것을 알 수 있다($=1$). AB 또는 BC 또는 CD 또는 DE 또는 EA의 이상인접결합(TPAF) 조건에서 지수 r_1 과 r_2 는 1보다 작다(> 1). AC 또는 AD 또는 BD 또는 BE 또는 CE와 같은 이상비인접 결합(TPNF) 조건에서 지수 r_1 및 r_2 는 1보다 크다(< 1).

[0096] 한편, 기계의 부하 조건에 따라 대칭성분의 크기는 달라질 수 있지만 대칭 성분의 피크치를 비교한 신호비 지수 r_1 과 r_2 에 대한 패턴은 유사하다. 도 6은 30% 부하 조건에서 대칭 성분을 나타낸다. 예컨대, 도 6의 (a)는 30% 부하에서 단상결합(SPF) 하의 대칭성분을 보여준다. 각 시퀀스(ZS, NS1, PS2 및 NS2)의 크기는 각각 0.10, 0.086, 0.098 및 0.09 이고, 여기서 신호비 지수는 $r_1 = 0.98$ 및 $r_2 = 0.96$ 으로 계산될 수 있다($r_1, r_2 \approx 1$). 도 6의 (b)는 이상인접결합(TPAF) 하의 대칭성분을 나타내고, 시퀀스(ZS, NS1, PS2 및 NS2)의 피크치는 각각 0.12, 0.025, 0.037 및 0.09이며, 이 값들로부터, 신호비 인덱스는 $r_1 = 0.33$ 및 $r_2 = 0.28$ 로 산출된다($r_1, r_2 < 1$). 유사하게, 도 6 (c)는 이상 비인접결합(TPNF)하의 대칭성분을 나타내고, 시퀀스(ZS, NS1, PS2 및 NS2)의 최대치는 각각 0.04, 0.075, 0.10 및 0.04이로, 이 값들로부터 신호비 인덱스는 $r_1 = 2.52$ 및 $r_2 = 1.89$ 로 산출된다($r_1, r_2 > 1$).

[0097] 이하에서는 대칭 성분의 위상을 이용하여 결합 위치를 도출하는 방법에 대해 설명한다. 결합 조건에서 대칭 성분의 위상각 변화 역시 결합 위치에 관한 수치적인 정보를 가진다. 도 7은 모든 결합 조건에서의 위상각을 나타낸다. 도 7을 참조하면, 정상 시퀀스(PS1)에 대해서 진상(leading phase)은 적색으로, 지상(lagging phase)은 청색으로 도시된다. 또한, 동상(in-phase) 또는 이상(out of phase)은 녹색으로 도시된다. 도 7에서 나타내는 바와 같이 각각 다른 결합 조건(SPF, TPAF, and TPNF)에서 각 시퀀스의 상 변화가 일정한 패턴을 가지고 있음을

확인할 수 있다.

- [0098] 도 8은 모든 가능한 결함 조건을 시뮬레이션한 결과 대칭 성분의 위상각을 도시한 도이다. 도 8을 참조하면 상 A 또는 B 또는 C 또는 D 또는 E 의 단상결함 SPF, AB 또는 BC 또는 CD 또는 DE 또는 EA의 이상 인접결함(TPAF) 및 상 AC, AD, BD, BE, CE 의 이상비인접결함(TPNF)에서의 위상 각을 요약한 도이다. 도 8에서, 정상 시퀀스(PS1)에 대한 진상(선행 위상, leading phase)은 적색으로, PS1에 대한 진상(지연 위상, lagging phase)은 청색으로 PS1에 대하여 동 위상 또는 역 위상은 녹색으로 나타난다.
- [0099] 결함 위치를 특정하기 위하여 위상의 독점적인 조합을 알아내기 위해 위상 정보가 분석될 수 있다. 그리고 각 결함 조건 (SPF, TPAF 및 TPNF)에서 위상 변화는 독특한 패턴을 보여준다. 예를 들어 위상 E에서 단상결함(SPF)이 발생하면 위상 변화는 위상 A, B, C, D에서 SPF에 대한 다른 패턴과 다른 독특한 패턴을 나타내게 된다. 마찬가지로 다른 결함조건(TPAF 및 TPNF)에 대한 특유한 패턴이 발견되어 결국 도 7에서 설명한대로 모든 조건에서 오류 위치에 대한 정보를 제공할 수 있다.
- [0100] 한편, 본발명은 여러 유형의 오류 조건 하에서 그 성능이 검증될 수 있다. 예를 들면, 알고리즘은 단계적으로 균등하지 않은 저항 결함(unbalanced resistance fault) 조건에서도 평가될 수 있다. 도 9는 인접 위상, 비인접 위상 결함 상태의 균등하지 않은 저항 결함 조건에서의 전류 및 대칭성분을 나타낸다.
- [0101] 도 9의 (a)에서, 신호비 지수는 $r_1 = 0.51$ 및 $r_2 = 0.19$ 로서 인접한 위상들에서의 불평형 저항 결함들 (위상 A 및 B)를 상술한 위상각 패턴으로 비교하였다. 도 9의 (b)에서, 신호비 지수는 $r_1 = 2.87$ 및 $r_2 = 2.03$ 으로, 위상 각 패턴을 가진 인접하지 않은 위상(위상 A 및 C)에서의 불평형 저항 오류보다 큰 값을 나타낸다.
- [0103] 도 10은 본발명의 일 실시예에 따른 결함 정보 산출 기기(120)를 포함한 모터 구동시스템(100)에 대해 개략적으로 도시한 도이다. 도 10을 참조하면 결함 정보 산출 기기(120)는 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 입력받아 고조파 성분을 제거하는 정류부(121), 정류기(121)로부터 정류된 각 상 전류로부터 대칭 성분을 산출하는 대칭 성분 변환부(122), 대칭성분의 위상 및 크기를 계측하는 대칭성분 계측부(123), 대칭성분의 위상 및 크기로부터 신호비 지수 및 위상 패턴을 산출하는 대칭성분 분석부(124), 신호비 지수 및 위상 패턴으로부터 결함의 타입과 위치를 산출하는 결함 정보부(125) 및 해당 결함 정보를 최종적으로 결함으로 판단하여 모터 제어기에 전송하는 판단부(126)를 포함한다.
- [0104] 또한, 다상 모터 구동 시스템(100)은 결함 정보 산출 기기(120)로부터 인가받은 결함 정보 및 다상 전동기(110)에 인가되는 각 상 전류를 조합하고 전압 지령치(reference)를 인가받아 전압 보상값을 생성하며 인버터에 입력될 5상 전압 신호를 생성하도록 하는 제어부(130) 및 제어기(130)로부터 인가받은 5상 전압을 전동기(110)의 각 상 전류로 변환시키는 인버터(140)를 더 포함할 수 있다. 또한, 전동기 제어 시스템(100)은 전동기에 인가되는 각 상 전류를 인가받아 상전류 벡터를 검출하는 전류 검출부(미도시)를 더 포함할 수 있다.
- [0105] 정류부(121)는 고조파 성분의 제거를 위한 저역 통과 필터(low pass filter)로 구성되어 각 상전류를 정류할 수 있다.
- [0106] 대칭성분 변환부(122)는 정류된 상전류에 대하여 각 상의 대칭성분을 산출하기 위하여 수학적 4의 변환행렬을 사용할 수 있다. 예컨대, 단상 결함(SPF, single phase fault, $I_{sa} = 0$)이 발생하는 경우 수학적 3을 이용하여 산출된 5개 대칭 성분들은 아래 수학적 4와 같이 구해지고, 이상 인접 결함 조건에서는 수학적 5와 같이 구해질 수 있다.
- [0107] 대칭성분 계측부(123)는 각 상에 대한 대칭 성분의 크기(최대값) 및 위상을 산출한다.
- [0108] 대칭성분 분석부(124)는 산출한 대칭성분의 크기 및 위상을 이용하여 대칭성분의 신호비 지수 및 위상각을 산출한다.
- [0109] 결함 정보부(125)는 신호비 지수(r^1 및 r^2)의 값을 1과 비교하여 단상결함인지, 이상 인접 결함인지 또는 이상 비인접 결함 인지 및 같은 결함의 타입을 판단한다(수학적 8). 또한, 판단부(126)는 대칭성분의 위상각의 변화를 기반으로 결함이 발생한 위치, 즉 결함 위상을 찾아낼 수 있다.
- [0110] 판단부(126)는 결함 정보부(125)로부터 인가받은 결함 타입 및 위치를 전류 제어기가 인식할 수 있는 제어 신호로 변환하여 모터 제어 신호를 생성하는 제어기(130)에 전송한다.

- [0112] 도 11은 본발명의 일 실시예에 따른 결함 정보 산출 방법을 나타낸 순서도이다.
- [0113] 단계(S111)에서 다상 모터에 인가되는 상전류를 검출한다.
- [0114] 단계(S112)에서 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 입력받아 고조파 성분을 제거한다.
- [0115] 단계(S113)에서 정류된 각 상 전류로부터 변환행렬을 이용하여 대칭 성분을 산출한다.
- [0116] 단계(S114)에서 대칭성분의 위상 및 크기를 계측한다.
- [0117] 단계(S115)에서 대칭성분의 위상 및 크기로부터 신호비 지수 및 위상 패턴을 산출한다.
- [0118] 단계(S116)에서 신호비 지수 및 위상 패턴으로부터 결함의 타입과 위치를 포함하는 결함 정보를 산출한다.
- [0119] 단계(S117)에서 산출된 결함 정보를 모터 제어 신호를 생성하는 제어기에 전송한다.
- [0121] 한편, 도 11의 결함 정보 산출 방법에 더하여 본발명의 범위는 다상 모터 구동 방법도 포함하고, 상기 제어기가 인가받은 결함 정보 및 다상 모터에 인가되는 각 상 전류를 조합하고 전압 지령치(reference)를 인가받아 전압 보상값을 생성하며 인버터에 입력될 5상 전압 신호를 생성하도록 하는 단계; 및 인버터에 의해 5상 전압을 전동기(110)의 각 상 전류로 변환시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0122] 이하, 본발명의 대칭성분을 이용한 결함 정보 산출 등에 대해 설명하였다. 본 발명은 5상 PMA-SynRM에서 개방 위상 결함 조건을 효과적으로 설명하였다. 제안된 대칭 성분의 크기와 위상 패턴은 결함 유형을 찾는 데 최적으로 사용되었고, 분석 결과, 5 단계 시스템의 3 가지 주요 결함이 광범위하게 추적될 수 있었다. 또한, 제안된 방법의 신뢰성은 5 상 시스템에서 불평형 저항 결함 하에서도 평가되었다.
- [0123] 본발명의 유효성은 이론 기반의 유한 요소 시뮬레이션(finite element simulation)과 여러 가지 결함에 대한 실험적 테스트를 통해 검증되었다. 제안된 검출 알고리즘은 결함에 대한 견고한 정보를 제공하는 업계에서 강력한 후보가 될 수 있음이 밝혀졌다.
- [0125] 본발명의 범위는 결함 정보 산출 방법을 실행하는 어플리케이션, 프로그램을 포함하고, 해당 어플리케이션이나 프로그램이 판독가능한 기록 매체로 저장된 경우 해당 기록 매체에 대해서도 적용된다. 또한 본발명의 네트워크를 통해 사용자와 관련한 이미지 기반의 정보를 제공하는 방법을 실행하는 컴퓨터, 노트북, 랩탑 컴퓨터, 스마트폰, 핸드폰, 태블릿 PC에 대해서도 본발명의 범위가 포함될 수 있다.
- [0126] 또한, 본발명의 결함 정보 산출 방법은 모터 제어 알고리즘으로 디지털 신호 프로세서, 예컨대, TI DSP F28335에 탑재되어 실행될 수 있으며 본발명의 범위는 해당 프로세서에도 미친다.
- [0127] 본 명세서에 개시된 실시예들에 있어서, 도시된 구성 요소들의 배치는 발명이 구현되는 환경 또는 요구 사항에 따라 달라질 수 있다. 예컨대, 일부 구성 요소가 생략되거나 몇몇 구성 요소들이 통합되어 하나로 실시될 수 있다. 또한 일부 구성 요소들의 배치 순서 및 연결이 변경될 수 있다.
- [0128] 본 발명 및 그 다양한 기능적 구성 요소들은 특정 실시예들로 설명되었으나, 본 발명은 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어, 미들웨어 또는 이들의 조합으로 구현될 수 있으며, 시스템, 서브시스템, 구성 요소들 또는 이들의 서브 구성 요소들로 활용될 수 있음을 이해하여야 한다. 소프트웨어로 구현되는 경우, 본 발명의 요소들은 필요한 작업들을 수행하기 위한 명령어들/코드 세그먼트들이 될 수 있다. 프로그램 또는 코드 세그먼트들은 프로세서 판독가능 매체와 같은 머신 판독가능 매체, 컴퓨터 프로그램 제품 내에 저장될 수 있다. 머신 판독가능 매체 또는 프로세서 판독가능 매체는 머신(예컨대, 프로세서, 컴퓨터 등)에 의해 판독되고 실행 가능한 형태로 정보를 저장 또는 전송할 수 있는 임의의 매체를 포함할 수 있다.
- [0129] 이상에서는 본 발명의 다양한 실시예들에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특정의 실시예들에 한정되지 아니하며, 상술한 실시예들은 첨부하는 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양하게 변형 실시될 수 있음은 물론이고, 이러한 변형 실시예들이 본 발명의 기술적 사상이나 범위와 별개로 이해되어져서는 아니 될 것이다. 따라서, 본 발명의 기술적 범위는 오직 첨부된 특허청구범위에 의해서만 정해져야 할 것이다.

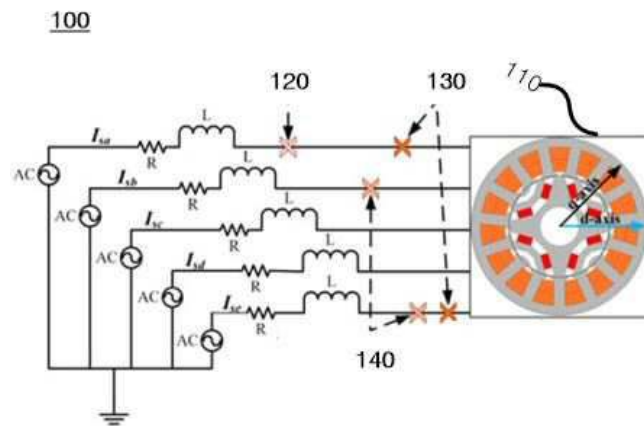
부호의 설명

[0131] 100 : 모터 구동 시스템

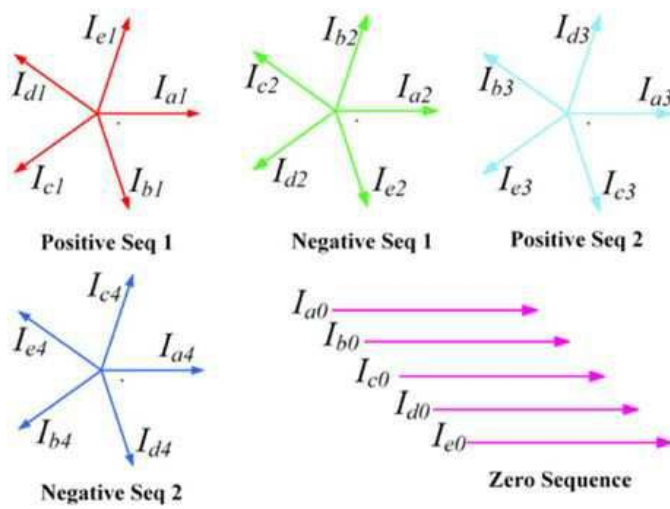
110 : 모터

도면

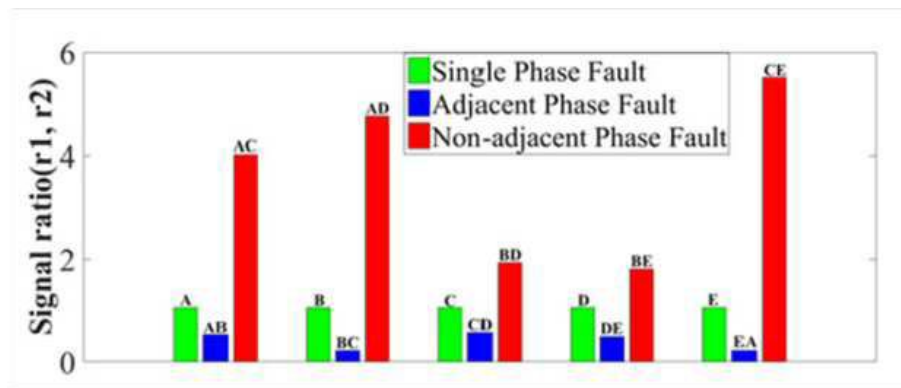
도면1



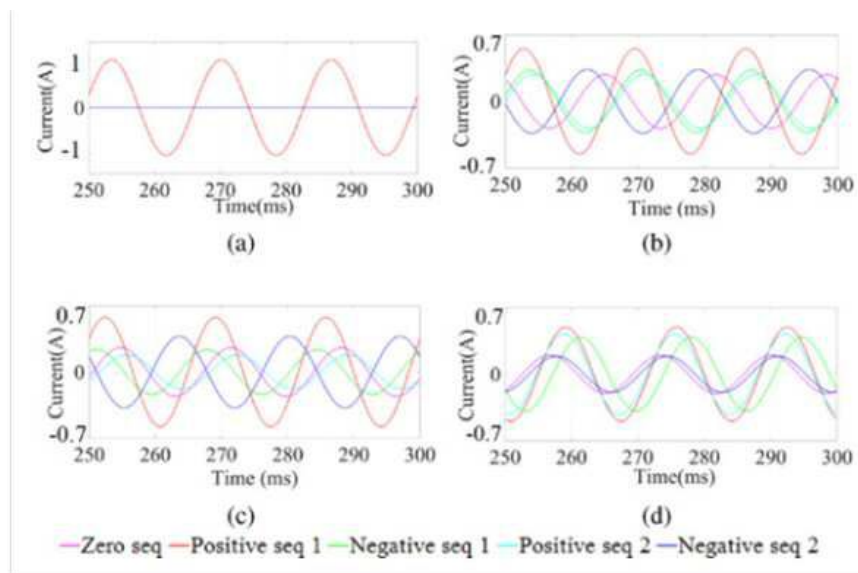
도면2



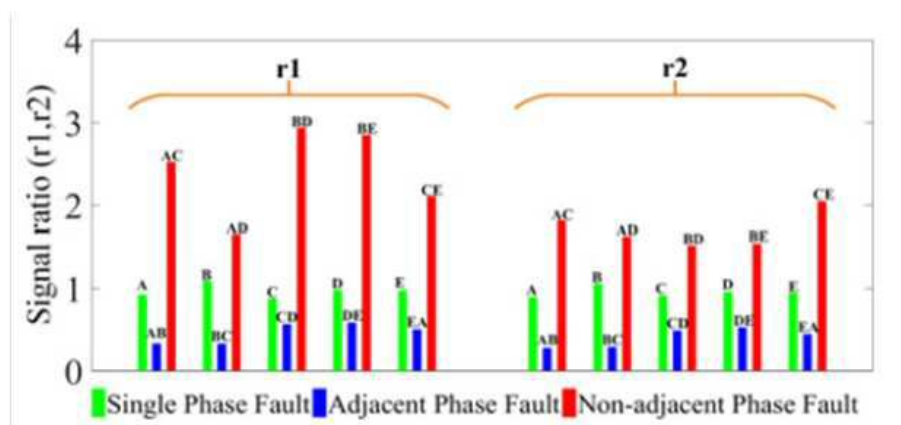
도면3



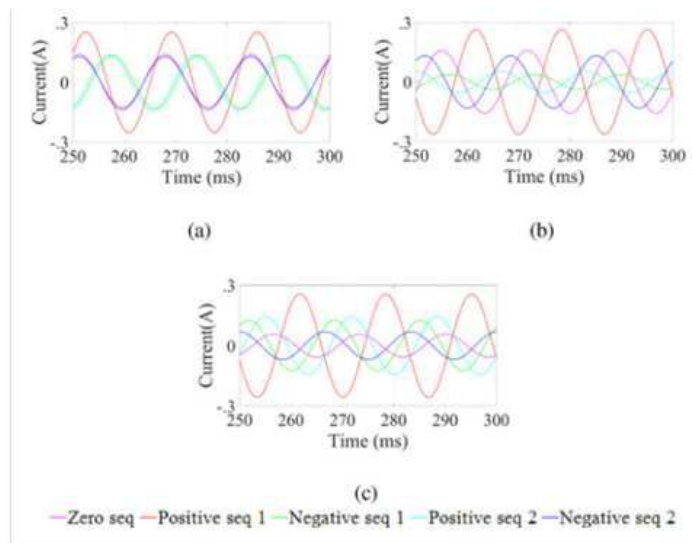
도면4



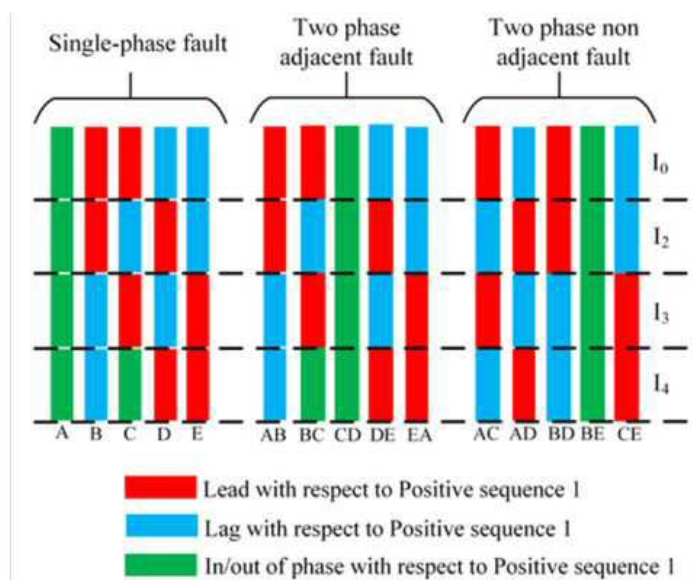
도면5



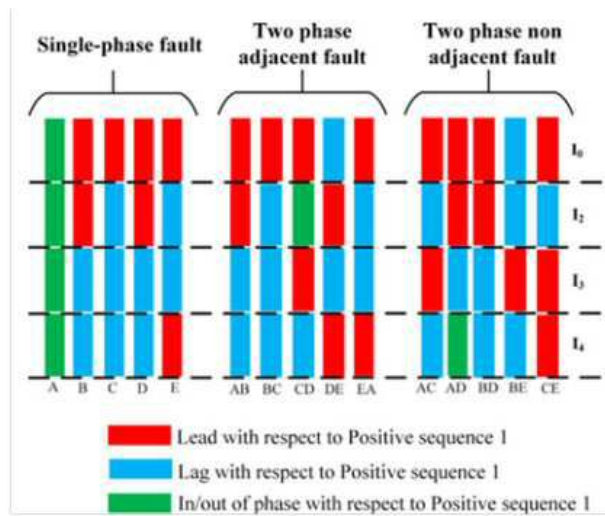
도면6



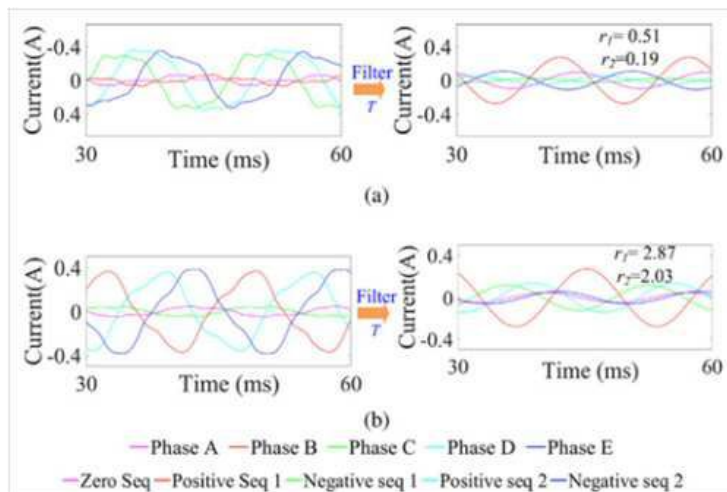
도면7



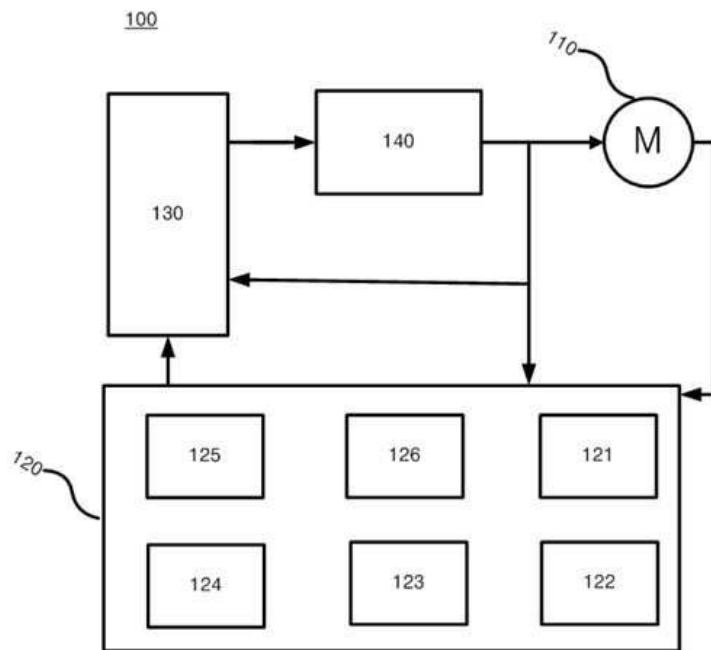
도면8



도면9



도면10



도면11

