(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0025310
(43) 공개일자 2017년03월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02P 8/36 (2006.01) *F16H 9/12* (2006.01)
G01R 19/00 (2006.01) *G01R 23/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02P 8/36 (2013.01)
F16H 9/12 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0121613
(22) 출원일자 2015년08월28일
심사청구일자 2015년08월28일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이상빈
서울특별시 강남구 언주로146길 18 동현아파트 2동 208호
강태준
서울특별시 성북구 안암로 145 고려대학교안암캠퍼스 자연계캠퍼스 공학관 239호
(74) 대리인
특허법인주원

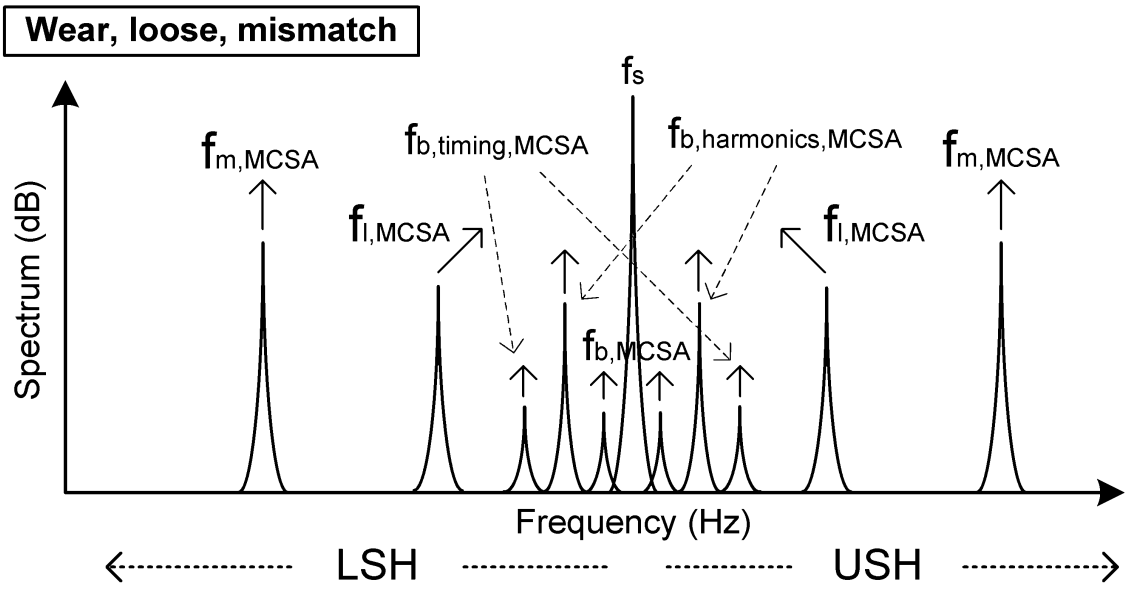
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 **벨트-풀리 시스템 진단 시스템, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체**

(57) 요 약

벨트-풀리 시스템 진단 시스템은 입력 전류 측정부, 입력 전류 주파수 성분 산출부, 원동차 회전 주파수 정보 획득부, 종동차 회전 주파수 산출부, 및 상태 진단부를 포함한다. 입력 전류 측정부는 벨트-풀리 시스템의 원동차를 구동하는 유도 전동기의 입력 전류를 측정하고, 입력 전류 주파수 성분 산출부는 측정된 입력 전류로부터 입력 전류의 주파수 성분을 산출하고, 원동차 회전 주파수 정보 획득부는 벨트-풀리 시스템의 원동차 회전 주파수 정보를 획득하고, 종동차 회전 주파수 산출부는 원동차 회전 주파수 정보로부터 벨트-풀리 시스템의 종동차 회전 주파수를 산출하며, 상태 진단부는 종동차 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 종동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 벨트-풀리 시스템이 이상 상태라고 진단한다.

대 표 도 - 도4



(52) CPC특허분류
G01R 19/0092 (2013.01)
G01R 23/02 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

벨트-풀리 시스템의 원동차를 구동하는 유도 전동기의 입력 전류를 측정하는 입력 전류 측정부;

상기 측정된 입력 전류로부터 상기 입력 전류의 주파수 성분을 산출하는 입력 전류 주파수 성분 산출부;

상기 벨트-풀리 시스템의 원동차 회전 주파수 정보를 획득하는 원동차 회전 주파수 정보 획득부;

상기 원동차 회전 주파수 정보로부터 상기 벨트-풀리 시스템의 종동차 회전 주파수를 산출하는 종동차 회전 주파수 산출부; 및

상기 종동차 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 종동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 상기 벨트-풀리 시스템이 이상 상태라고 진단하는 상태 진단부를 포함하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 원동차 회전 주파수와 종동차 회전 주파수로부터 상기 벨트-풀리 시스템의 벨트 회전 주파수를 산출하는 벨트 회전 주파수 산출부를 더 포함하고,

상기 상태 진단부는,

상기 벨트 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 벨트 회전 주파수 성분보다 큰 경우, 상기 벨트-풀리 시스템이 헤짐, 느슨함, 미스매치, 미끄러짐 중 하나 이상의 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 시스템.

청구항 3

제 2항에 있어서, 상기 상태 진단부는,

상기 원동차 주파수에서의 주파수 성분이 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 상기 벨트-풀리 시스템이 헤짐, 느슨함, 미스매치 중 하나 이상의 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 시스템.

청구항 4

제 2항에 있어서, 상기 상태 진단부는,

상기 원동차 주파수에서의 주파수 성분이 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 크지 않은 경우 상기 벨트-풀리 시스템이 미끄러짐 상태라고 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 시스템.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 원동차 회전 주파수와 종동차 회전 주파수로부터 상기 벨트-풀리 시스템의 벨트 회전 주파수를 산출하는 벨트 회전 주파수 산출부를 더 포함하고,

상기 상태 진단부는,

상기 벨트 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 벨트 회전 주파수 성분보다 크지 않은 경우 상기 벨트-풀리 시스템 벨트의 정렬 불량, 공진, 종동차 편심 중 하나 이상의 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 시스템.

청구항 6

제 5항에 있어서, 상기 상태 진단부는,

상기 종동차 회전 주파수에 대한 상기 원동차 회전 주파수의 크기비가 미리 설정된 기준 크기비보다 큰 경우, 상기 벨트-풀리 시스템이 정렬 불량, 종동차 편심 중 하나 이상의 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 시스템.

청구항 7

제 5항에 있어서, 상기 상태 진단부는,

상기 종동차 회전 주파수에 대한 상기 원동차 회전 주파수의 크기비가 미리 설정된 기준 크기비보다 크지 않은 경우, 상기 벨트-풀리 시스템이 공진 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 시스템.

청구항 8

제 1항에 있어서, 상기 상태 진단부는,

상기 종동차 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 종동차 회전 주파수 성분보다 크지 않은 경우,

상기 원동차 회전 주파수와 상기 원동차 회전 주파수에서의 주파수 성분이 각각 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수, 및 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 상기 벨트-풀리 시스템을 원동차 편심 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 시스템.

청구항 9

벨트-풀리 시스템 진단 시스템이,

벨트-풀리 시스템의 원동차를 구동하는 유도 전동기의 입력 전류를 측정하는 입력 전류 측정 단계;

상기 측정된 입력 전류로부터 상기 입력 전류의 주파수 성분을 산출하는 입력 전류 주파수 성분 산출 단계;

상기 벨트-풀리 시스템의 원동차 회전 주파수 정보를 획득하는 원동차 회전 주파수 정보 획득 단계;

상기 원동차 회전 주파수 정보로부터 상기 벨트-풀리 시스템의 종동차 회전 주파수를 산출하는 종동차 회전 주파수 산출 단계; 및

상기 종동차 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 종동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 상기 벨트-풀리 시스템이 이상 상태라고 진단하는 상태 진단 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 원동차 회전 주파수와 종동차 회전 주파수로부터 상기 벨트-풀리 시스템의 벨트 회전 주파수를 산출하는 벨트 회전 주파수 산출 단계를 더 포함하고,

상기 상태 진단 단계는,

상기 벨트 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 벨트 회전 주파수 성분보다 큰 경우, 상기 벨트-풀리 시스템이 헤짐, 느슨함, 미스매치, 미끄러짐 중 하나 이상의 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 방법.

청구항 11

제 10항에 있어서, 상기 상태 진단 단계는,

상기 원동차 주파수에서의 주파수 성분이 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 상기 벨트-풀리 시스템이 헤짐, 느슨함, 미스매치 중 하나 이상의 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 방법.

청구항 12

제 10항에 있어서, 상기 상태 진단 단계는,

상기 원동차 주파수에서의 주파수 성분이 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 크지 않은 경우 상기 벨트-풀리 시스템이 미끄러짐 상태라고 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 방법.

청구항 13

제 9항에 있어서,

상기 원동차 회전 주파수와 종동차 회전 주파수로부터 상기 벨트-풀리 시스템의 벨트 회전 주파수를 산출하는 벨트 회전 주파수 산출 단계를 더 포함하고,

상기 상태 진단 단계는,

상기 벨트 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 벨트 회전 주파수 성분보다 크지 않은 경우 상기 벨트-풀리 시스템 벨트의 정렬 불량, 공진, 종동차 편심 중 하나 이상의 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 방법.

청구항 14

제 13항에 있어서, 상기 상태 진단 단계는,

상기 종동차 회전 주파수에 대한 상기 원동차 회전 주파수의 크기비가 미리 설정된 기준 크기비보다 큰 경우, 상기 벨트-풀리 시스템이 정렬 불량, 종동차 편심 중 하나 이상의 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 방법.

청구항 15

제 13항에 있어서, 상기 상태 진단 단계는,

상기 종동차 회전 주파수에 대한 상기 원동차 회전 주파수의 크기비가 미리 설정된 기준 크기비보다 크지 않은 경우, 상기 벨트-풀리 시스템이 공진 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 방법.

청구항 16

제 9항에 있어서, 상기 상태 진단 단계는,

상기 종동차 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 종동차 회전 주파수 성분보다 크지 않은 경우,

상기 원동차 회전 주파수와 상기 원동차 회전 주파수에서의 주파수 성분이 각각 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수, 및 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 상기 벨트-풀리 시스템을 원동차 편심 상태로 진단하는 것을 특징으로 하는 벨트-풀리 시스템 진단 방법.

청구항 17

제 9항 내지 제 16항의 중 하나의 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 벨트-풀리 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 전동기에서 만들어진 토크를 부하로 전달하는 벨트-풀리 시스템의 고장을 진단하기 위한 시스템, 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 벨트(belt)-풀리(pulley) 시스템은 전동기나 엔진 등에 의해 발생되는 동력에 대해 속도를 감속하고 토크를 증가시켜 부하에 전달하기 위해 가장 흔하게 사용되는 기계 장치 중 하나이다. 벨트는 가죽 또는 고무, 직물 등으로 만들어지며, 고리모양으로 2개의 풀리(pulley, 바퀴)에 적당한 장력으로 걸어서 사용하며 벨트 자신과 풀리 사이에 수직방향으로 작용하는 마찰력을 이용하여 동력을 전달한다. 벨트에는 평벨트, 타이밍벨트 체인 등이 포함된다. 도 1은 벨트-풀리 시스템의 구조를 개략적으로 도시한 도면이다.

[0004] 벨트의 회전은 원동차(외부에서 발생한 동력을 전달하는 풀리, driving wheel)와 종동차(원동차에서 동력을 전달받는 풀리, driven wheel)의 회전속도, 두 풀리의 직경에 의해 결정된다. 만약 원동차의 지름을 D_M, 속도를 n_M, 종동차의 지름을 D_L, 속도를 n_L이라 하면 이 둘의 비율 α는 $\alpha = \frac{D_L}{D_M} = \frac{n_M}{n_L}$ 와 같이 표현된다. 또한, 두 풀리에 의해 연결된 벨트의 속도는 v 이다.

[0005] 일반적으로 부하의 회전속도는 전동기의 회전속도보다 느리며, 또한 벨트의 길이(L_b)는 두 풀리의 지름과 풀리 사이의 거리에 의해 결정되고, 벨트의 회전속도는 부하나 전동기의 회전속도보다 느리다.

[0006] 유도전동기(induction motor)는 고정자의 3상 권선에 120° 위상 차를 갖는 입력 전원이 인가되면 전동기의 임피던스에 의해 전류가 흐르며 전류는 고정자의 코어(core)에 고정자 자속, Φ_s를 만들어낸다. 고정자 자속은 입력 전원의 주파수에 의해 일정한 속도로 회전하게 되며, 이를 회전자계라고 한다. 도 2는 유도 전동기의 구조를 개략적으로 도시한 도면이다.

[0007] 농형 유도전동기(squirrel cage induction motor)의 경우, 고정자 자속은 농형 회전자의 도체 바에 유도전류를 발생시키며 유도전류는 회전자 자속, Φ_r을 만들어낸다. 이러한 고정자 자속 및 회전자 자속은 자석과 같은 원리로 토크(torque), τ를 유도시켜 전동기의 회전자는 회전하게 된다. 이러한 전동기는 산업현장의 여러 분야에서 동력을 발생시키기 위해 사용되며, 그 중 상당수가 벨트를 이용해 동력을 전달시킨다.

[0008] 이와 같은 벨트-풀리 시스템은 초기 설계 문제, 혹은 사용 중의 마모, 오염 등을 이유로 벨트에는 헤짐(wear), 느슨함(looseness), 미끄럼(slip), 미스매치(mismatch), 정렬불량(misalignment), 편심(eccentricity), 공진(resonance) 등으로 고장이 발생한다.

[0010] 일반적으로 산업 현장에서는 벨트의 원동차는 주로 전동기이며, 벨트는 전동기의 토크에 의해 만들어진 동력을 전달하는데 쓰인다. 이러한 경우, 센서의 사용이 공간 및 제작 단가에 크게 영향을 주지 않으므로 센서를 사용하는 경우가 많다. 산업 현장에서 사용되는 일반적인 벨트 고장 진단 방법은 다음과 같다.

[0011] a. 직접 검사

[0012] 산업 현장에서 제조 설비를 정기적으로 진단할 때에나 벨트가 사용되지 않을 때 인력으로 직접 원동차와 종동차 사이에 걸린 벨트의 길이, 처짐, 장력, 정렬 및 마모 상태 등을 육안 및 각종 계측기를 사용하여 벨트를 검사하는 방법이 있다. 된다. 하지만 벨트가 운전되지 않을 때에만 검사가 가능하다.

[0013] b. 온도

[0014] 벨트 주변에 다수의 온도 센서를 부착하거나 온도를 시각화시켜 관찰할 수 있는 적외선 카메라를 이용하면 벨트에서 적정 온도 이상인 부분을 찾아낼 수 있다. 하지만, 적외선 카메라를 벨트에 접근시키는 것이 용이하지 않으면 사용할 수 없다는 단점이 있으며 특히 컨베이어 벨트의 경우, 벨트에 의해 옮겨지는 부하가 어느 정도 이상의 온도를 가진다거나 자동차나 산업현장과 같이 벨트 주위의 온도가 충분히 높아 벨트 고장으로 인해 높아진 온도와 구분이 되지 않는 경우에는 사용할 수 없다.

[0015] c. 속도

[0016] 스트로보스코프, 타코미터, 광학 엔코더 세 가지 장비는 모두 회전하는 물체의 속도를 계측하는 장비이다. 이들을 이용하여 원동차와 종동차의 회전속도를 계측하여 둘의 차이를 비교하면 벨트의 고장을 관찰할 수 있다. 하지만, 이 세 가지 장비도 적외선 카메라의 경우와 마찬가지로 계측 장비를 벨트에 접근시킬 수 없으면 사용할 수 없다는 단점이 존재한다.

[0017] d. 진동

[0018] 진동을 측정하는 센서는 변위계, 속도계, 가속도계 세 가지 타입이 있으며, 이 중 가속도계의 측정 주파수 범위가 광범위하기 때문에 많이 사용된다. 진동센서를 전동기나 벨트의 하우징에 부착하여 진동을 직접 측정하는 방법으로 진단 가능하다. 또는 휴대용 적외선을 벨트 근접한 위치에서 쏘아 진동을 측정하는 방법도 존재한다. 이렇게 측정한 진동의 주파수 성분에는 각종 불평형 및 고장 성분으로 인하여 다양한 성분이 존재한다. 또한, 처음부터 진동 센서를 부착하여 만들어진 장치가 아닌 경우가 대부분이며, 휴대용 센서의 접근이 제한된 환경이 많기 때문에 사용에 어려움이 따른다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0020] 본 발명은 상술한 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 벨트가 운전되는 상황에서도, 다수의 계측장치를 사용하지 않고, 배전반을 통해 원격에서 저가로, 효과적으로 벨트-풀리 시스템의 상태를 진단할 수 있도록 해주는 시스템, 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0022] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 벨트-풀리 시스템 진단 시스템은 입력 전류 측정부, 입력 전류 주파수 성분 산출부, 원동차 회전 주파수 정보 획득부, 종동차 회전 주파수 산출부, 및 상태 진단부를 포함한다.

[0023] 입력 전류 측정부는 벨트-풀리 시스템의 원동차를 구동하는 유도 전동기의 입력 전류를 측정하고, 입력 전류 주파수 성분 산출부는 측정된 입력 전류로부터 입력 전류의 주파수 성분을 산출하고, 원동차 회전 주파수 정보 획득부는 벨트-풀리 시스템의 원동차 회전 주파수 정보를 획득하고, 종동차 회전 주파수 산출부는 원동차 회전 주파수 정보로부터 벨트-풀리 시스템의 종동차 회전 주파수를 산출하며, 상태 진단부는 종동차 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 종동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 벨트-풀리 시스템이 이상 상태라고 진단한다.

[0024] 이때, 원동차 회전 주파수와 종동차 회전 주파수로부터 벨트-풀리 시스템의 벨트 회전 주파수를 산출하는 벨트 회전 주파수 산출부를 더 포함할 수 있으며, 상태 진단부는, 벨트 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 벨트 회전 주파수 성분보다 큰 경우, 벨트-풀리 시스템이 헤짐, 느슨함, 미스매치, 미끄러짐 중 하나 이상의 상태로 진단할 수 있다.

[0025] 특히, 원동차 주파수에서의 주파수 성분이 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 벨트-풀리 시스템이 헤짐, 느슨함, 미스매치 중 하나 이상의 상태로, 원동차 주파수에서의 주파수 성분이 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 크지 않은 경우 벨트-풀리 시스템이 미끄러짐 상태로 각각 진단할 수 있다.

[0026] 또한, 상태 진단부는, 벨트 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 벨트 회전 주파수 성분보다 크지 않은 경우 벨트-풀리 시스템 벨트의 정렬 불량, 공진, 종동차 편심 중 하나 이상의 상태로 진단할 수 있다.

[0027] 특히, 종동차 회전 주파수에 대한 원동차 회전 주파수의 크기비가 미리 설정된 기준 크기비보다 큰 경우, 벨트-풀리 시스템이 정렬 불량, 종동차 편심 중 하나 이상의 상태로, 종동차 회전 주파수에 대한 원동차 회전 주파수의 크기비가 미리 설정된 기준 크기비보다 크지 않은 경우, 벨트-풀리 시스템이 공진 상태로 각각 진단할 수 있다.

[0028] 또한, 상태 진단부는, 종동차 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 종동차 회전 주파수 성분보다 크지 않은 경우, 원동차 회전 주파수와 원동차 회전 주파수에서의 주파수 성분이 각각 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수, 및 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 벨트-풀리 시스템을 원동차 편심 상태로 진단할 수 있다.

[0030] 아울러, 상기 시스템을 방법의 형태로 구현한 발명과 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그

램을 기록한 기록 매체가 개시된다.

발명의 효과

[0032] 본 발명에 의하면, 유도 전동기의 입력 전류를 이용하여 벨트 풀리 시스템의 이상 여부를 진단하므로, 벨트가 운전되는 상황에서도 다수의 계측 장치를 사용하지 않고, 배전반을 통해 원격에서 저가로, 효과적으로 벨트-풀리 시스템의 상태를 진단할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 벨트-풀리 시스템의 구조를 개략적으로 도시한 도면.

도 2는 유도 전동기의 구조를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 벨트-풀리 시스템 진단 시스템의 개략적인 블록도.

도 4 내지 도 6은 벨트-풀리 시스템에 고장이 있을 때 나타나는 MCSA의 결과를 도시한 도면.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 벨트-풀리 시스템 진단 방법을 실행하기 위한 개략적인 흐름도.

도 8은 벨트-폴리 시스템의 주파수 성분을 분석하여 벨트-풀리 시스템의 상태를 진단하는 과정의 예를 도시한 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

[0036] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 벨트-풀리 시스템 진단 시스템의 개략적인 블록도이다.

[0037] 벨트-풀리 시스템 진단 시스템(100)은 입력 전류 측정부(110), 입력 전류 주파수 성분 산출부(120), 원동차 회전 주파수 획득부(130), 종동차 회전 주파수 산출부(140), 상태 진단부(150), 및 벨트 회전 주파수 산출부(160)를 포함한다.

[0038] 도 1에서, 벨트-풀리 시스템 진단 시스템(100)의 각 구성 요소들은 하드웨어만으로도 구현될 수도 있겠으나, 하드웨어 상에서 동작하는 소프트웨어로 구현되는 것이 보다 일반적일 것이다.

[0039] 입력 전류 측정부(110)는 벨트-풀리 시스템의 원동차를 구동하는 유도 전동기의 입력 전류를 측정하고, 입력 전류 주파수 성분 산출부(120)는 측정된 입력 전류로부터 입력 전류의 주파수 성분을 산출한다.

[0040] 원동차 회전 주파수 획득부(130)는 벨트-풀리 시스템의 원동차 회전 주파수 정보를 획득한다. 원동차 회전 주파수는 센서 등을 이용하여 직접 측정할 수도 있지만, 전동기 명판 데이터와 같이 미리 설정된 데이터와 측정된 전류 데이터를 이용하여 추정될 수도 있다.

[0041] 센서를 이용하여 직접 측정하는 경우, 회전자 외부에 위치하는 타코미터, 스트로보스코프 등의 측정장비를 사용할 수도 있고, 엔코더와 같이 회전자에 직접 속도를 측정할 수 있는 센서를 부착할 수도 있다. 미리 설정된 데이터를 이용하는 경우, 예를 들어, 전동기 명판에 기록된 전동기의 입력 전원 주파수, 극수, 정격속도 등을 이용할 수 있다.

[0042] 종동차 회전 주파수 산출부(140)는 원동차 회전 주파수 정보로부터 벨트-풀리 시스템의 종동차 회전 주파수를 산출하며, 상태 진단부(150)는 종동차 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 종동차 회전 주파수 성분보다 크거나 원동차 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 벨트-풀리 시스템이 이상 상태라고 진단한다.

[0043] 이와 같은 구성에 의하면, 유도 전동기의 입력 전류를 이용하여 벨트 풀리 시스템의 이상 여부를 진단하므로, 벨트가 운전되는 상황에서도 다수의 계측 장치를 사용하지 않고 효과적으로 벨트-풀리 시스템의 상태를 진단할 수 있게 된다.

[0045] 벨트-풀리 시스템의 상태 진단을 위해, 본 발명에서는 벨트를 구동 중인 유도 전동기가 정상상태에서 운전 중일 때 전동기의 전류를 취득하여 주파수 성분 분석을 통해 벨트의 고장을 진단한다. 이 방법은 기존의 기술인 전동기 전류 주파수 분석(MCSA, Motor Current Spectrum Analysis) 시험을 벨트 진단에도 새롭게 적용할 수 있는 발명이다. MCSA는 농형 유도전동기의 운전 중 진단을 위해 흔하게 사용되는 방법이다.

[0046] MCSA를 위해서는 아날로그 데이터인 전류를 취득하기 위한 전류센서(CT, current transformer), 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환할 수 있는 ADC(analog to digital converter), 디지털로 변환된 데이터를 저장할 수 있는 데이터 저장장치, 취득한 전류 데이터를 저장하고 FFT를 적용한 후 주파수 분석을 하기 위한 프로세서와 메모리(일반적으로 컴퓨터), 분석 결과를 확인할 수 있는 디스플레이(모니터), 그리고 이 모든 것들 것 처리할 수 있게 해주는 일련의 UI(user interface)가 필요하다.

[0047] 이상적인 조건에서는 MCSA 결과를 살펴보면 전동기에 인가하는 입력 전원 중 전류의 기본파 성분만 존재하지만, 실제 전동기와 전동기의 부하는 이상적이지 않기 때문에 전동기 전류에서는 각종 불평형 및 고장 성분들이 검출된다. 이러한 성분들과 전동기의 운전 조건과의 관계를 분석하면 그 성분들이 존재하는 조건이 무엇인지 알아낼 수 있다. 이러한 원리로 MCSA를 통해 전동기의 고장을 진단할 수 있는 것이다.

[0049] 벨트가 초기에 제대로 설계되지 않거나, 혹은 사용 중의 마모로 인하여 벨트-풀리 시스템에는 다양한 고장이 발생한다. 헤짐은 벨트의 사용 중 마모로 인하여 닳아서 떨어지는 현상이고, 느슨함은 벨트에 작용하는 장력과 운전 중 온도에 의하여 벨트의 길이가 늘어나는 것을 의미한다.

[0050] 편심은 회전체인 풀리의 중심축이 고정되지 않아 벨트의 운동 궤도가 풀리의 움직임에 따라 변하는 것을 의미한다. 미스매치(mismatch)는 벨트의 길이와 풀리의 크기 및 운동궤도가 적절하지 않은 상태이며, 정렬불량(misalignment)은 풀리와 전동기의 위치가 적절하지 못한 것이다. 그리고 공진은 벨트의 고유 진동 주파수와 풀리의 회전주파수 혹은 벨트의 회전 주파수가 복합적으로 작용하여 벨트에 떨림이 발생하는 것을 의미한다.

[0051] 이러한 고장들이 발생하면 벨트와 풀리 사이의 마찰력이 불균형해지기 때문에 원동차에서 종동차로 동력을 제대로 전달하지 못하고 벨트가 풀리에서 반복적으로 미끄러지는 미끄럼(slip) 이 발생한다. 이러한 미끄럼은 고장 외에도 윤활유, 먼지 등의 운전 중의 오염물질에 의해서도 발생하기도 한다.

[0052] 이와 같은 벨트-풀리 시스템의 고장은 여러 가지 요인의 복합적인 작용으로 발생하며, 고장이 발생하면 풀리의 회전은 불안정해지며 효율이 감소하고 벨트에서 열이 발생하며 풀리에서 가로로 미끄러져 벗겨지거나 장력이 증가하여 끊어지기도 한다.

[0053] 벨트는 동력전달을 위해 매우 보편적이고 사용되는 핵심적인 기계장치이므로, 고장이 발생하면 효율 감소로 인한 에너지 손실 및 생산 및 구동 시스템의 중단에 이를 수도 있다. 그러므로 신뢰성, 효율, 안전 등을 위해 벨트-풀리 시스템의 고장을 조기에 진단하는 것이 중요하다.

[0055] 보다 구체적인 이상 상태의 진단을 위해, 벨트 회전 주파수 산출부(160)는 원동차 회전 주파수와 종동차 회전 주파수로부터 벨트-풀리 시스템의 벨트 회전 주파수를 산출한다.

[0056] 이때, 상태 진단부(150)는, 벨트 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 벨트 회전 주파수 성분보다 큰 경우, 원동차 주파수에서의 주파수 성분이 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 벨트-풀리 시스템이 헤짐, 느슨함, 미스매치 중 하나 이상의 상태로 진단하고, 원동차 주파수에서의 주파수 성분이 미리 설정된 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 크지 않은 경우 벨트-풀리 시스템이 미끄러짐 상태라고 진단한다.

[0057] 또한, 상태 진단부(150)는, 벨트 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 벨트 회전 주파수 성분보다 크고, 종동차 회전 주파수에 대한 원동차 회전 주파수의 크기비가 미리 설정된 기준 크기비보다 큰 경우, 벨트-풀리 시스템이 정렬 불량, 종동차 편심 중 하나 이상의 상태로 진단하고, 종동차 회전 주파수에 대한 원동차 회전 주파수의 크기비가 미리 설정된 기준 크기비보다 크지 않은 경우, 벨트-풀리 시스템이 공진 상태로 진단한다.

[0058] 또한, 상태 진단부(150)는, 종동차 회전 주파수에서의 주파수 성분의 크기가 미리 설정된 기준 종동차 회전 주파수 성분보다 크지 않은 경우, 원동차 회전 주파수와 원동차 회전 주파수에서의 주파수 성분이 각각 미리 설정

된 기준 원동차 회전 주파수, 및 기준 원동차 회전 주파수 성분보다 큰 경우 벨트-풀리 시스템을 원동차 편심 상태로 진단한다.

[0060] 이하, 본 발명을 보다 구체적인 예와 함께 보다 상세히 설명한다.

[0061] 1. MCSA를 통해 벨트-풀리 시스템의 고장 진단을 위해서 전동기와 부하의 두 풀리 그리고 벨트의 회전에 의해 전류에 나타나는 성분들이 발생하는 원인인 전동기 입력전원, 전동기의 회전자, 부하 그리고 벨트 등의 속도를 살펴보아야 한다.

[0063] A. 입력 전원 속도(f_s)

[0064] f_s는 입력전원의 주파수 그대로이며 인버터를 사용하지 않는 한 60Hz이다.

[0066] B. 회전자 회전속도(f_m)

[0067] 회전자의 회전속도는 원동차의 회전속도와 같으며 주파수로 표현하면 다음과 같다.

[0069] $$f_m = \frac{(1-s)f_s}{P}$$

[0071] P는 유도전동기의 극쌍수(pole pair)이며, s는 슬립(slip)이다.

[0072] 슬립은 유도전동기에서 입력전원에 의한 회전자계의 속도와 회전자의 회전속도의 차이를 나타내며, 다음과 같이 표현된다.

[0074] $$s = \frac{\textit{회전자계 속도} - \textit{회전자 회전속도}}{\textit{회전자계 속도}}$$

[0076] C. 부하 회전속도(f_l)

[0077] 부하의 회전속도는 종동차의 회전속도와 같으며 주파수로 표현하면 다음 식과 같이 표현된다.

[0079] $$f_l = \frac{(1-s)f_s}{\alpha P}$$

[0081] α는 원동차와 종동차 두 풀리의 지름비(=속도비의 역수)이다.

[0083] D. 벨트 운전속도(f_b)

[0084] 벨트의 운전 속도는 벨트의 길이와 풀리의 지름, 풀리의 속도에 의해 결정된다. 주파수 표현은 다음 식과 같다.

[0086] $$f_b = \frac{\pi \times R_L \times f_l}{L_b} = \frac{\pi \times R_M \times f_m}{L_b}$$

[0088] L_b 는 벨트의 전체 길이이다.

[0091] 2. 이와 같은 각종 속도 성분들은 입력전원 주파수인 f_s 를 기준으로 변조(modulation)되어 다음과 같이 나타난다.

[0093] A. 원동차 회전주파수(motor rotational frequency, $f_{m,MCSA}$)

[0095] $$f_{m,MCSA} = f_s \pm f_m$$

[0097] B. 종동차 회전주파수(load rotational frequency, $f_{l,MCSA}$)

[0098] 부하의 회전속도는 종동차의 회전속도와 같다. 그에 의한 종동차 회전주파수는 다음 식과 같이 표현된다.

[0100] $$f_{l,MCSA} = f_s \pm f_l$$

[0102] C. 벨트 주파수(belt frequency, $f_{b,MCSA}$)

[0103] 벨트의 운전 속도는 벨트의 길이와 풀리의 지름, 풀리의 속도에 의해 결정된다. 그에 의한 벨트 주파수는 다음과 같다.

[0105] $$f_{b,MCSA} = f_s \pm f_b$$

[0107] 3. MCSA를 통한 벨트 진단 방법

[0109] 앞서 설명한 각종 전류 성분들은 고장이 없을 때에도 이상적이지 않은 실제 환경 때문에 나타나지만, 벨트-풀리 시스템에 고장이 발생하면 성분의 크기가 변하거나, 성분의 주파수 대역이 변하게 된다. 이러한 점을 이용하여 고장을 진단할 수 있다.

[0111] A. 벨트의 헤짐, 느슨함, 미스매치

[0112] 이 경우 원동차 회전주파수, 종동차 회전주파수, 벨트 주파수 모두의 성분이 변하게 된다. 또한, 벨트 주파수의 경우 고조파를 발생시키는데 보통 2고조파의 성분이 가장 크다.

[0114] $$f_{b,harmonics,MCSA} = f_s \pm 2 \times f_b$$

[0116] 또한, 벨트의 미끄럼을 방지하기 위해 톱니가 있는 타이밍 벨트나 체인을 사용하는 경우에는 톱니의 개수 혹은 체인의 고리 개수에 의한 성분인 타이밍 벨트 주파수($f_{b,timing,MCSA}$)가 발생한다. 타이밍 벨트와 체인에 관계없이 두 성분이 같은 원리에 의해 같은 위치에서 발생하기 때문에 통상적으로 타이밍 벨트 주파수라 부르며 다음과 같이 표현된다.

[0118] $$f_{b,timing,MCSA} = f_s \pm \beta \times f_b$$

[0120] 여기서 β 는 톱니의 개수 혹은 체인의 고리 개수이다.

[0121] 이러한 주파수 성분들은 고장의 정도가 심해질수록 크기가 커지거나 성분의 대역이 변하는 등으로 바뀌게 된다.

[0122] - $f_{m,MCSA}$: 전동기 속도 변화는 없으며 크기만 증가한다.

[0123] - $f_{l,MCSA}$: 벨트의 고장이 심해질수록 동력 전달 효율이 떨어져 부하의 속도는 감소할 것이며 주파수 성분의 크기는 증가한다.

[0124] - $f_{b,MCSA}$: 벨트의 고장이 심해짐에 따라 벨트의 속도 변화가 있을 수 있지만 풀리의 지름과 전체 벨트의 길이가 변하는 것이 아니다. 그러므로 속도는 거의 변하지 않으며 성분의 크기는 증가한다.

[0125] - $f_{b,harmonics,MCSA}$: 벨트 고장 진단시 가장 중요한 성분으로써 벨트 주파수 성분과 마찬가지로 속도의 변화가 거의 변화가 없을 것이며 성분의 크기가 증가한다.

[0126] - $f_{b,timing,MCSA}$: 마찬가지로 속도는 거의 변화가 없으며, 크기가 증가한다.

[0127] - α' : $\alpha_\cdot$는 설계상의 두 풀리의 지름비 혹은 고장이 없을 때 두 풀리의 속도비의 역수이다. 하지만, 벨트가 마모, 느슨함, 미스매치가 발생되면 부하의 속도가 느려지는 것을 종동차 회전주파수 대역의 변화로 살펴볼 수 있다. 이때의 속도비를 α' 라 하며 다음 식으로 계산 가능하다.

[0129] $$\alpha' = \frac{f_m}{f_l}$$

[0131] f_l 이 작아졌기 때문에 α' 는 $\alpha_\cdot$보다 크다. 즉, 원래의 $\alpha_\cdot$와 α' 를 비교함으로써 고장을 진단할 수 있다.

[0133] B. 벨트 정렬불량

[0134] 벨트의 정렬이 불량하다면, 즉 두 풀리가 나란하지 않고 비틀려 있다면 원동차 혹은 종동차에 의한 성분이 나타

난다.

[0135] - $f_{m,MCSA}$: 전동기 속도 변화는 거의 없을 것이기 때문에 속도 변화 없이 크기가 증가한다.

[0136] - $f_{l,MCSA}$: 벨트의 고장이 심해질수록 동력 전달 효율이 떨어져 부하의 속도는 감소할 것이며 성분의 크기는 증가한다.

[0137] - α' : 벨트의 정렬불량으로 부하의 속도가 느려지면 종동차 회전주파수 대역 변하고, 이 때 α'는 α보다 커진다.

[0139] C. 벨트 편심

[0140] 풀리가 단단히 고정되어 있지 않아서 움직이기 때문에 편심이 발생하여 벨트의 운전 궤도가 일정하게 움직이는 경우에는 편심이 존재하는 풀리에 의한 성분이 나타난다.

[0141] - $f_{m,MCSA}$: 전동기 속도 변화는 거의 없지만 편심으로 인하여 풀리의 속도는 감소하며, 크기는 증가한다.

[0142] - $f_{l,MCSA}$: 종동차에 편심이 있으면 부하의 속도는 감소하며 성분의 크기는 증가한다..

[0143] - α' : 풀리의 편심으로 전동기나 부하의 속도가 느려지는 것을 원동차 혹은 종동차 회전주파수 대역의 변화로 살펴볼 수 있다. 만약 원동차 풀리에 편심이 존재한다면 α'는 감소하고 종동차 풀리에 편심이 존재하는 경우에는 α'는 증가한다.

[0144]

[0145] D. 벨트 공진

[0146] 벨트의 공진에는 벨트 자체의 고유진동수가 큰 기여를 한다. 모든 물체는 그 형태, 장력, 탄성, 밀도 등에 따라 고유의 일정한 진동수를 가진다. 만약 벨트의 고유진동수가 원동차나 종동차의 회전주파수와 일치하거나 근접하다면 그 주파수 성분은 크게 증가하게 된다.

[0147] - $f_{m,MCSA}$, $f_{l,MCSA}$: 속도 변화 없이 크기가 증가한다.

[0149] E. 벨트 미끄럼

[0150] 벨트가 미끄러지는 것은 A~D의 고장의 발생 혹은 벨트의 오염 등이 공진의 원인이 될 수 있다. 벨트 미끄럼은 벨트의 느슨함, 마모 등의 고장 성분과 매우 유사하다.

[0151] - $f_{l,MCSA}$: 벨트의 미끄럼이 심해질수록 동력 전달 효율이 떨어져 부하의 속도는 감소할 것이며 주파수 성분의 크기는 증가한다.

[0152] - $f_{b,MCSA}$: 벨트의 고장이 심해짐에 따라 벨트의 속도가 감소하지만 풀리의 지름과 전체 벨트의 길이가 변하는 것이 아니다. 그러므로 속도는 조금 감소하며 성분의 크기는 증가한다.

[0153] - $f_{b,harmonics,MCSA}$: 벨트 고장 진단 시 가장 중요한 성분으로써 벨트 주파수 성분과 마찬가지로 속도의 변화량이 크지는 않지만 거의 변화가 없을 것이며 성분의 크기가 증가한다.

[0154] - α' : 벨트가 미끄러짐으로 인하여 부하의 속도가 느려지는 것을 종동차 회전주파수 대역의 변화로 살펴볼 수 있으며, 이때 α'는 α보다 커진다.

[0156] 이와 같은 A~E의 예를 도식화하면 도 4 내지 도 6과 같다. 도 4 내지 도 6은 벨트-풀리 시스템에 고장이 있을 때 나타나는 MCSA의 결과를 도시한 도면으로서, 도 4는 벨트의 헤짐, 느슨함, 미스매치의 경우, 도 5는 벨트의 정렬불량, 편심 공진의 경우, 도 6은 벨트의 미끄러짐의 경우를 각각 도시하고 있다. 도 4 내지 도 6에서, 각 성분들의 변화는 실선으로 표시하였다.

[0158] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 벨트-풀리 시스템 진단 방법을 실행하기 위한 개략적인 흐름도이다.

[0159] 먼저, 유도 전동기의 입력 전류 데이터를 취득한다(S1100). 현장에서 사용되는 전동기는 배전반을 통해 전력을 공급받는데, 배전반에는 보호 및 감시를 위한 CT가 설치되어 있다. 이러한 CT의 2차측에 전류를 취득하기 위한 프로브(probe)를 부착하여 상전류의 값을 얻을 수 있다.

[0160] 다음으로, 측정된 입력 전류로부터 상기 입력 전류의 주파수 성분을 산출한다(S1200). 두 상 혹은 세 상의 전류 데이터를 취득하여 3상 전류 데이터를 FFT에 적용하기 위해서는, 먼저 개상의 전류 데이터를 하나의 벡터 데이터로 표현하기 위한 공간 전류 벡터(current space vector)를 만들어내야 한다. 하지만, 한 상의 전류 데이터만을 이용하는 경우에는 위와 같은 i_s를 구할 필요가 없다.

[0161] FFT를 적용하기 전에 한 상의 전류 데이터든, 공간 전류 벡터를 이용하든 필터링이 필요하다. 취득한 데이터의 시작과 끝 부분에는 고장 진단에 필요한 주파수 성분이 적게 포함되어 있기 때문에 필터링을 통해 시작과 끝 부분의 영향을 제거할 수 있다.

[0162] 취득한 데이터에 FFT를 적용하면 FFT의 특성에 의해 주파수 차원(frequency domain)에서 각 성분의 복소수 값을 얻을 수 있다. 그러므로 이들의 크기를 관찰하기 위해서는 절대값(absolute value)을 취해야 한다. 또한, 전동기 입력전원이 60Hz이므로 당연히 FFT 결과 살펴볼 수 있는 성분들은 60Hz 성분이 압도적으로 커서 고장 진단을 위한 성분들의 크기를 제대로 살펴보는 것이 불가능하므로, 60Hz 성분을 기준으로 정규화(normalize)가 필요하다. 이를 통해 각 주파수 성분을 데시벨(dB) 단위로 관찰 가능하다.

[0163] 이후, 벨트-풀리 시스템의 원동차 회전 주파수 정보를 획득한다(S1300). 회전자의 회전속도는 원동차의 회전속도와 같으며, 별도의 센서를 이용해 측정될 수도 있지만 추정될 수도 있다. 추정하는 방법은 전동기의 명판의 데이터와 전류 데이터를 이용하는 것이다.

[0164] 전동기 명판에는 전동기의 입력전원 주파수, 정격전압, 정격출력, 극수, 정격속도 등이 적혀 있는데, 입력전원의 주파수, 극수, 정격속도 등을 슬립을 추정하는데 사용할 수 있다.

[0165] 마지막으로, 벨트-풀리 시스템의 주파수 성분을 분석하여 벨트-폴리 시스템의 상태를 진단한다(S1400).

[0166] 도 8은 벨트-폴리 시스템의 주파수 성분을 분석하여 벨트-폴리 시스템의 상태를 진단하는 과정의 예를 도시한 흐름도이다.

[0167] 먼저, 종동차 회전 주파수 성분의 크기가 증가하는 지를 판단하고(S110), 증가하지 않는 경우는 원동차 회전 주파수와 성분 크기가 증가하는 지를 판단하며(130), 원동차 회전 주파수와 주파수 성분의 크기가 모두 증가하는 경우 벨트-폴리 시스템이 원동차 편심 상태라고 진단한다(S160).

[0168] 종동차 회전 주파수 성분의 크기가 증가하는 경우에는 벨트 회전 주파수의 성분 크기가 증가하는 지를 판단하며(S120), 크기가 증가하는 경우에는 다시 원동차 회전 주파수 성분의 크기가 증가하는 지를 판단한다(140). 원동차 회전 주파수 성분의 크기가 증가하는 경우 벨트-폴리 시스템이 벨트 헤짐, 느슨함, 또는 미스매치 상태라고 진단하며, 크기의 변화가 없는 경우 벨트-폴리 시스템이 벨트 미끄러짐 상태라고 진단한다(S180).

[0169] 벨트 회전 주파수 성분의 크기가 증가하지 않는 경우에는 다시 원동차/종동차 회전 주파수 비율 크기가 증가하는 지를 판단하며(S150), 증가하는 경우 벨트-폴리 시스템이 벨트 정렬불량 또는 종동차 편심 상태라고 진단하며(S190), 변화가 없는 경우에는 벨트-폴리 시스템이 공진 상태라고 진단한다(S200).

[0171] 본 발명은 벨트-풀리 시스템의 다양한 용도 중 특히 산업현장에서 사용되는 전동기에서 만들어진 토크를 전달하는 벨트의 고장 진단을 위하여 전동기의 전류를 주파수 대역에서 분석하는 기술이다.

[0172] 본 발명에서는, 산업현장에서 이용되는 벨트의 헤짐(wornness), 느슨함(looseness), 미끄럼(slip), 미스매치(mismatch), 정렬불량(misalignment), 편심(eccentricity), 공진(resonance) 등의 고장을 원동차에 연결된 유도전동기의 전류를 측정하고 주파수 성분을 분석하여 진단한다.

[0173] 본 발명은 유도전동기의 고장을 진단하는 기존의 기술인 MCSA를 벨트-풀리 시스템의 고장 진단에도 이용함으로써 하나의 시험으로 두 가지 결함을 모두 진단 및 구별이 가능하다는 장점이 있다. 또한, MCSA는 전동기의 보호 및 감시를 위해 기존 산업현장에서 이미 설치되어 있는 전압센서 및 전류센서를 이용하기 때문에 컴퓨터와 데이터 측정장비만 있으면 되는 간단하고, 경제적으로 저렴하며, 신뢰성이 높고 편리한 방법이다. 또한, 본 발명을 통해 산업현장에서 사용되는 전동기뿐만 아니라 전기자동차의 구동용 전동기에도 적용하여 경제적 손실과 인명을 보호할 수 있다.

[0174] 본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니 되고, 특허청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야 할 것이다.

[0175] 예를 들어, 실시예에서는 벨트-폴리 시스템의 진단을 위해 전동기 입력 전류로부터 산출된 전류의 주파수 성분을 이용하였지만, 경우에 따라서는 입력 전류로부터 전동기의 토크, 자속, 전력 등의 주파수 스펙트럼을 산출하고 다시 이를 이용하여 벨트-폴리 시스템의 진단을 수행할 수도 있을 것이다.

부호의 설명

[0177] 100: 벨트-풀리 시스템 진단 시스템

110: 입력 전류 측정부

120: 입력 전류 주파수 성분 산출부

130: 원동차 회전 주파수 정보 획득부

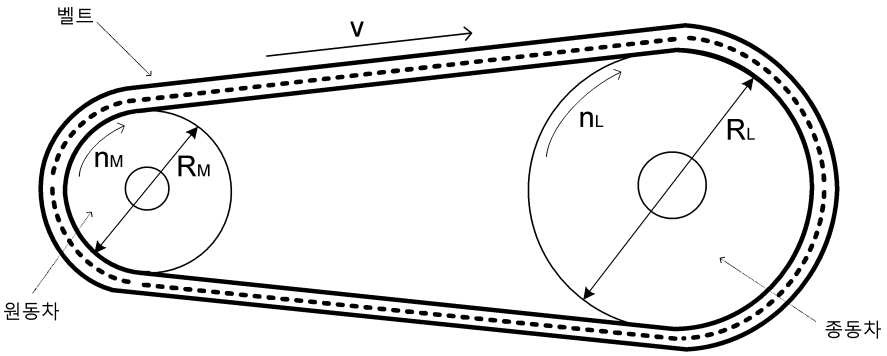
140: 종동차 회전 주파수 산출부

150: 상태 진단부

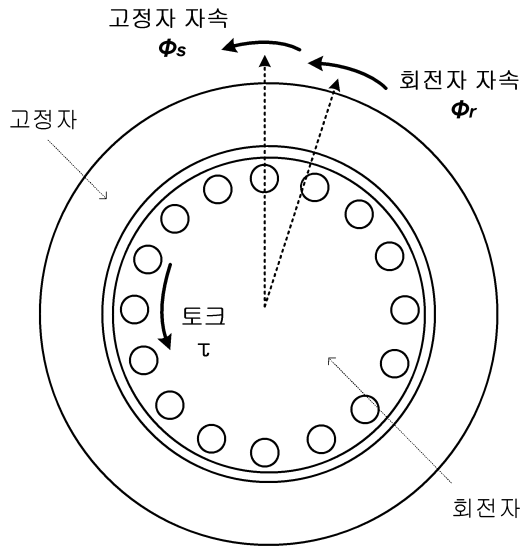
160: 벨트 회전 주파수 산출부

도면

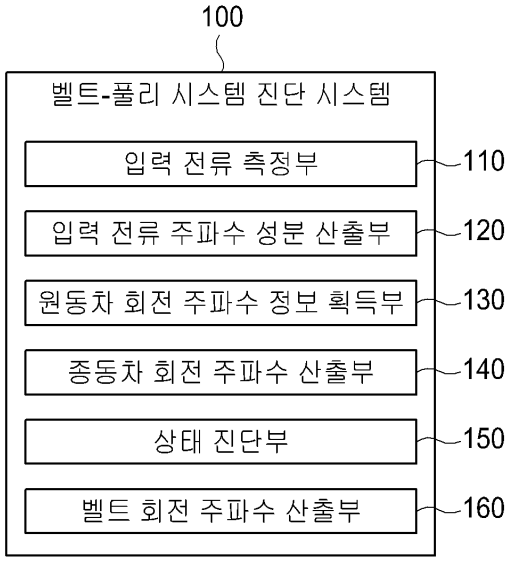
도면1



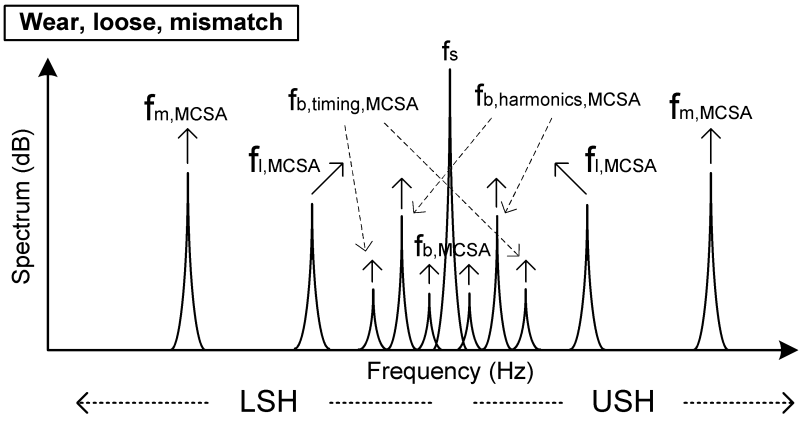
도면2


고정자 자속
Φ_s
회전자 자속
Φ_r
고정자
토크
τ
회전자

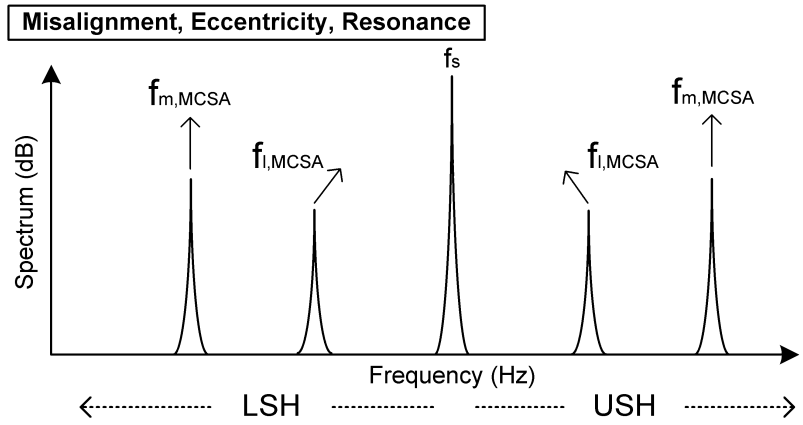
도면3


100
벨트-풀리 시스템 진단 시스템
입력 전류 측정부
110
입력 전류 주파수 성분 산출부
120
원동차 회전 주파수 정보 획득부
130
종동차 회전 주파수 산출부
140
상태 진단부
150
벨트 회전 주파수 산출부
160

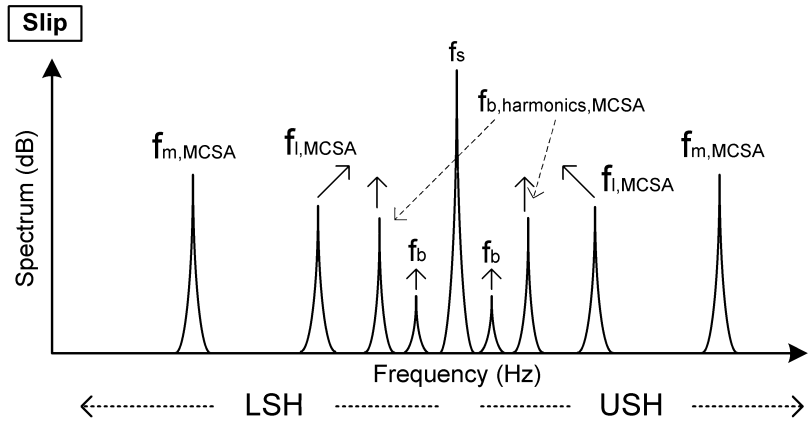
도면4


Wear, loose, mismatch
f_s
$f_{m,MCSA}$
$f_{b,timing,MCSA}$
$f_{b,harmonics,MCSA}$
$f_{m,MCSA}$
$f_{l,MCSA}$
$f_{l,MCSA}$
$f_{b,MCSA}$
Spectrum (dB)
Frequency (Hz)
LSH
USH

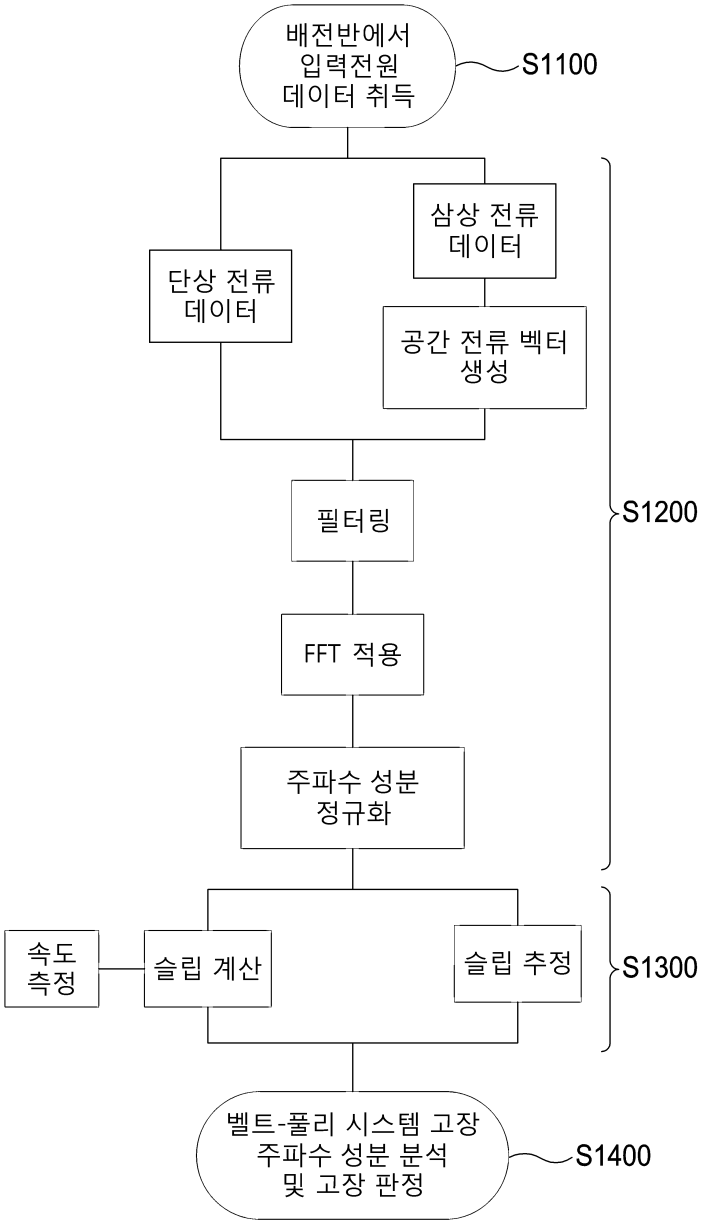
도면5


Misalignment, Eccentricity, Resonance
Spectrum (dB)
fm,MCSA
fl,MCSA
fs
fl,MCSA
fm,MCSA
Frequency (Hz)
LSH
USH

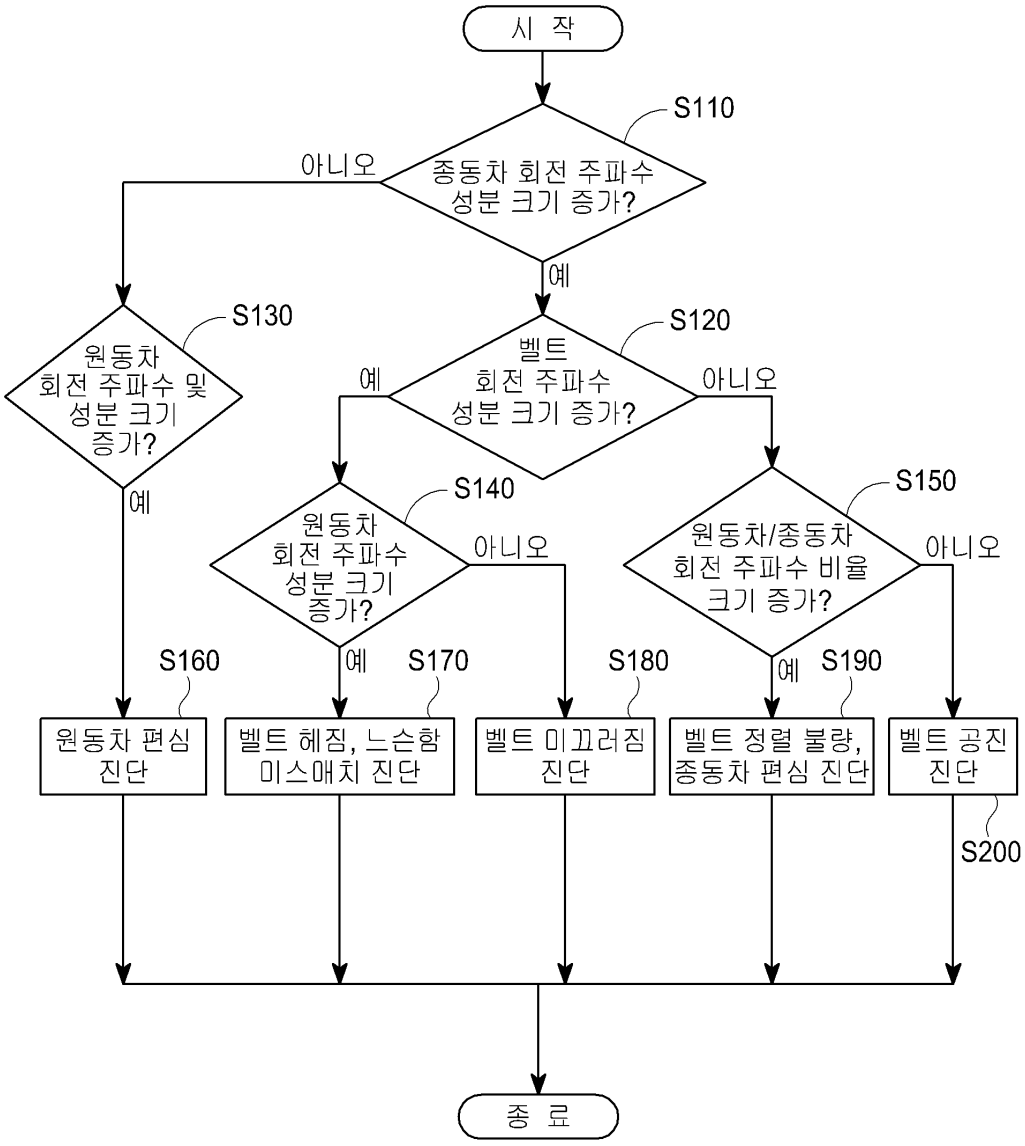
도면6


Slip
Spectrum (dB)
fm,MCSA
fl,MCSA
fs
fb,harmonics,MCSA
fb
fb
fl,MCSA
fm,MCSA
Frequency (Hz)
LSH
USH

도면7


배전반에서
입력전원
데이터 취득
S1100
삼상 전류
데이터
단상 전류
데이터
공간 전류 벡터
생성
필터링
S1200
FFT 적용
주파수 성분
정규화
속도
측정
슬립 계산
슬립 추정
S1300
벨트-풀리 시스템 고장
주파수 성분 분석
및 고장 판정
S1400

도면8


시 작
S110
종동차 회전 주파수 성분 크기 증가?
아니오
예
S130
원동차 회전 주파수 및 성분 크기 증가?
예
S120
벨트 회전 주파수 성분 크기 증가?
예
아니오
S140
원동차 회전 주파수 성분 크기 증가?
아니오
예
S150
원동차/종동차 회전 주파수 비율 크기 증가?
아니오
예
S160
원동차 편심 진단
S170
벨트 헤짐, 느슨함 미스매치 진단
S180
벨트 미끄러짐 진단
S190
벨트 정렬 불량, 종동차 편심 진단
벨트 공진 진단
S200
종 료