

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0089465

(43) 공개일자 2020년07월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01R 31/34 (2006.01) G01R 31/50 (2020.01)

G01R 31/72 (2020.01) G01R 33/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01R 31/346 (2013.01)

G01R 31/343 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0006203

(22) 출원일자 2019년01월17일

심사청구일자 2019년01월17일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

이상빈

서울특별시 강남구 언주로146길 18, 2동 208호(논현동, 동현아파트)

(74) 대리인

김연권

전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 3상 권선형 동기 전동기의 계자권선 단락 검출장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 3상 권선형 동기 전동기의 계자권선 단락 검출장치 및 그 방법에 관한 것으로, 일실시예에 따른 단락 검출 장치는 동기 전동기의 공극에서의 자속 데이터를 측정하는 측정부와, 측정된 자속 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출하는 주파수 검출부 및 단락 검출 주파수 성분의 검출 여부에 따라 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출하는 단락 검출부를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2

200



(52) CPC특허분류

G01R 31/50 (2020.01)

G01R 31/72 (2020.01)

G01R 33/02 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

동기 전동기의 공극에서의 자속 데이터를 측정하는 측정부;

상기 측정된 자속 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출하는 주파수 검출부 및

상기 단락 검출 주파수 성분의 검출 여부에 따라 상기 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출하는 단락 검출부

를 포함하는 계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 자속 측정부는

상기 동기 전동기가 정지 상태에서부터 동작을 시작하여 기설정된 시간에 도달할 때까지의 시간 범위인 기동 시간 범위 내에서 상기 자속 데이터를 측정하는

계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 동기 전동기는 3상 권선형 동기 전동기이고, 상기 동기 전동기의 회전자는 돌극형 회전자 및 원통형 회전자 중 적어도 하나를 포함하는

계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 단락 검출 주파수 성분은 상기 동기 전동기의 회전자의 돌극에 의한 주파수 성분 및 상기 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분 중 적어도 하나의 주파수 성분을 포함하는

계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 돌극에 의한 주파수 성분과 상기 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분은 상기 회전자의 속도값을 통해 도출되는

계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 회전자의 속도값은 상기 회전자의 슬립값과 상기 동기 전동기의 극수를 통해 도출되는

계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분은 기본 주파수에 상기 회전자의 속도값을 반영하는 하기 수학식3을 통해 도출되는

[수학식3]

$$f_f = f_s \pm k_1 \cdot f_r = f_s \pm k_1 \cdot 2(1 - s)f_s/P$$

여기서, f_f 는 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분, f_s 는 기본 주파수, k_1 은 제1 상수(여기서 k_1 은 정수), f_r 은 회전자의 속도값, s 는 회전자의 슬립값, P 는 동기 전동기의 극수인

계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 주파수 검출부는

상기 측정된 자속 데이터에 대하여 시간-주파수 변환(Time-frequency transform)을 수행하고, 상기 변환된 자속 데이터를 통해 상기 단락 검출 주파수 성분을 검출하는

계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 9

동기 전동기의 고정자에서의 전류 데이터를 측정하는 전류 측정부;

상기 측정된 전류 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출하는 주파수 검출부 및

상기 단락 검출 주파수 성분의 전류 크기 변화를 모니터링하고, 상기 모니터링 결과에 따라 상기 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출하는 단락 검출부

를 포함하는 계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 전류 측정부는

상기 동기 전동기가 정지 상태에서부터 동작을 시작하여 기설정된 시간에 도달할 때까지의 시간 범위인 기동 시간 범위 내에서 상기 전류 데이터를 측정하는

계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 단락 검출 주파수 성분은 기본 주파수에 상기 동기 전동기의 회전자의 슬립값을 반영하는 하기 수학식5를 통해 도출되는

[수학식5]

$$f_{brb} = f_s - 2sf_s = (1 - 2s)f_s$$

여기서, f_{brb} 는 단락 검출 주파수 성분, f_s 는 기본 주파수, s 는 회전자의 슬립값인

계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 주파수 검출부는

상기 측정된 전류 데이터에 대하여 시간-주파수 변환(Time-frequency transform)을 수행하고, 상기 변환된 전류 데이터를 통해 상기 단락 검출 주파수 성분을 검출하는

계자권선의 단락 검출 장치.

청구항 13

측정부에서 동기 전동기의 공극에서의 자속 데이터를 측정하는 단계;

주파수 검출부에서 상기 측정된 자속 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출하는 단계 및

단락 검출부에서 상기 단락 검출 주파수 성분의 검출 여부에 따라 상기 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출하는 단계

를 포함하는 계자권선의 단락 검출 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 단락 검출 주파수 성분은 상기 동기 전동기의 회전자의 돌극에 의한 주파수 성분 및 상기 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분 중 적어도 하나의 주파수 성분을 포함하는

계자권선의 단락 검출 방법.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 돌극에 의한 주파수 성분과 상기 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분은 상기 회전자의 속도값을 통해 도출되는

계자권선의 단락 검출 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 회전자의 속도값은 상기 회전자의 슬립값과 상기 동기 전동기의 극수를 통해 도출되는

계자권선의 단락 검출 방법.

청구항 17

전류 측정부에서 동기 전동기의 고정자에서의 전류 데이터를 측정하는 단계;

주파수 검출부에서 상기 측정된 전류 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출하는 단계 및

단락 검출부에서 상기 단락 검출 주파수 성분의 전류 크기 변화를 모니터링하고, 상기 모니터링 결과에 따라 상기 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출하는 단계

를 포함하는 계자권선의 단락 검출 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 동기 전동기의 계자권선 단락 검출장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 3상 권선형 동기 전동기에 구비된 회전자 계자권선의 단락 결함을 검출하는 기술적 사상에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 3상 교류 동기 전동기는 회전하지 않는 고정자와 회전하는 회전자로 구성 된다. 도 1a 내지 도 1d는 3상 교류 동기 전동기를 설명하기 위한 도면이다.
- [0003] 도 1a 내지 도 1d를 참조하면, 참조부호 110에 도시된 바와 같이 3상 교류 동기 전동기는 120° 의 위상차를 가지는 고정자의 3상 권선에 120° 의 위상차를 가지는 3상 전압을 인가하면 고정자의 자속은 입력되는 전원의 주파수에 따라 일정한 속도로 회전하는 회전자계가 발생된다.
- [0004] 동기 전동기의 회전자는 크게 참조부호 120에 도시된 돌극형(Salient pole) 회전자와 참조부호 130에 도시된 원통형(Cylindrical) 회전자가 존재한다. 또한, 참조부호 140에 도시된 바와 같이 회전자는 직류 자속을 발생시켜 회전하는 회전자계에 정렬이 되는 방향으로 토크를 발생시킴으로써 회전을 한다.
- [0005] 회전자에 자속을 발생키는 방법은 영구 자석을 사용하는 영구자석(Permanent magnet) 회전자와 회전자 계자권선에 직류 전류를 인가하는 권선형(Wound field) 회전자가 있다.
- [0006] 한편, 동기 전동기는 대부분 용량이 고출력(5MW 이상)인 고압 전동기가 사용이 되기 때문에 신뢰성이 매우 중요하다. 회전자는 운전 중에 고속으로 회전을 하기 때문에 회전 중에 계자권선(field winding)의 턴에 입혀져 있는 절연은 원심력(centrifugal force)으로 큰 기계적 스트레스를 받는다.
- [0007] 이외에도 계자권선은 전기적, 열적 스트레스로 인해 서서히 열화된다. 계자권선의 턴이 단락이 되어도 전동기는 문제없이 동작을 하지만, 턴 단락이 있는 극은 자속이 감소하여 각 극간에 불평형이 발생하고 전동기 운전 중에 진동을 일으키게 된다. 이는 전동기의 모든 구성요소의 열화를 일으키는 원인이 되어 수명을 단축시킨다.
- [0008] 따라서, 진동으로 인한 수명 단축 및 계자권선 주절연 파괴에 의한 접지 사고 등을 방지하기 위해 동기 전동기의 계자권선 결함을 검출하여 전동기의 고장을 예방 및 진단해야 한다.
- [0009] 동기 전동기의 계자권선의 결함을 검출하는 기술은 동기 발전기를 중심으로 다양한 방법이 개발이 되고 있다. 현재 현장에서 가장 많이 사용되는 시험들은 전동기에 전원을 끊고 시험하는 정지 중 시험(사선 시험, Off-line test) 방법과, 전동기 운전 중에 시험하는 운전 중 시험(활선 시험, On-line test) 방법이 있다.
- [0010] 그러나, 기 공지된 정지 중 시험 방법 및 운전 중 시험 방법은 전체 턴수가 많고 단락된 턴수가 적고, 극 간의 자속 차이가 적게 나는 경우에 결함 검출의 민감도가 떨어진다는 문제가 있다.
- [0011] 또한, 회전자는 회전 중에 원심력이 크기 때문에 계자권선이 움직이므로 턴간 단락이 정지 중에는 보이지 않지만 운전 중에 검출되는 경우가 많다. 또한, 운전 중에는 보이지 않지만, 정지 중에는 검출이 되는 경우도 있다.
- [0012] 즉, 기 공지된 정지 중 시험 방법 및 운전 중 시험 방법은 계자권선 결함 검출의 정확성 및 신뢰성이 다소 떨어진다는 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0013] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2018-0049722호 "공작기계용 전동기의 온라인 결함 진단 방법"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 본 발명은 동기 전동기의 기동 중에 일시적으로 턴간 단락이 일어나는 경우에도 단락 여부를 검출함으로써, 계자권선 결함 검출의 정확성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있는 계자권선의 단락 검출 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.
- [0015] 또한, 본 발명은 턴간 단락이 있을 때에는 기동 중에 단락된 저 임피던스 루프에 큰 전류가 유기기 때문에 결함의 영향을 민감하게 모니터링할 수 있는 계자권선의 단락 검출 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.
- [0016] 또한, 본 발명은 온라인 진단을 위해 자속센서가 장착이 되어 있는 경우에는 기동 중에 활용되지 않는 자속 센서를 활용하고, 자속 센서가 없는 경우에는 모든 전동기에 장착되어 있는 전류 센서를 활용하여 계자권선의 단락을 검출함으로써, 추가적인 비용이 발생되지 않는 계자권선의 단락 검출 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.

[0017] 또한, 본 발명은 단락 검출 주파수 성분을 모니터링함으로써, 계자권선의 단락을 보다 정확하고 용이하게 검출할 수 있는 계자권선의 단락 검출 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0018] 일실시예에 따른 단락 검출 장치는 동기 전동기의 공극에서의 자속 데이터를 측정하는 측정부와, 측정된 자속 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출하는 주파수 검출부 및 단락 검출 주파수 성분의 검출 여부에 따라 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출하는 단락 검출부를 포함할 수 있다.

[0019] 일측에 따르면, 자속 측정부는 동기 전동기가 정지 상태로부터 동작을 시작하여 기설정된 시간에 도달할 때까지의 시간 범위인 기동 시간 범위 내에서 자속 데이터를 측정할 수 있다.

[0020] 일측에 따르면, 동기 전동기는 3상 권선형 동기 전동기이고, 동기 전동기의 회전자는 돌극형 회전자 및 원통형 회전자 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0021] 일측에 따르면, 단락 검출 주파수 성분은 동기 전동기의 회전자의 돌극에 의한 주파수 성분 및 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분 중 적어도 하나의 주파수 성분을 포함할 수 있다.

[0022] 일측에 따르면, 돌극에 의한 주파수 성분과 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분은 회전자의 속도값을 통해 도출될 수 있다.

[0023] 일측에 따르면, 회전자의 속도값은 회전자의 슬립값과 동기 전동기의 극수를 통해 도출될 수 있다.

[0024] 일측에 따르면, 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분은 기본 주파수에 회전자의 속도값을 반영하는 하기 수학적식 3을 통해 도출될 수 있다.

[0025] [수학적식3]

$$f_f = f_s \pm k_1 \cdot f_r = f_s \pm k_1 \cdot 2(1 - s)f_s/P$$

[0026]

[0027] 여기서, f_f 는 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분, f_s 는 기본 주파수, k_1 은 제1 상수(여기서 k_1 은 정수), f_r 은 회전자의 속도값, s 는 회전자의 슬립값, P 는 동기 전동기의 극수일 수 있다.

[0028] 일측에 따르면, 주파수 검출부는 측정된 자속 데이터에 대하여 시간-주파수 변환(Time-frequency transform)을 수행하고, 변환된 자속 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출할 수 있다.

[0029] 다른 실시예에 따른 단락 검출 장치는 동기 전동기의 고정자에서의 전류 데이터를 측정하는 전류 측정부와, 측정된 전류 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출하는 주파수 검출부 및 단락 검출 주파수 성분의 전류 크기 변화를 모니터링하고, 모니터링 결과에 따라 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출하는 단락 검출부를 포함할 수 있다.

[0030] 일측에 따르면, 전류 측정부는 동기 전동기가 정지 상태로부터 동작을 시작하여 기설정된 시간에 도달할 때까지의 시간 범위인 기동 시간 범위 내에서 전류 데이터를 측정할 수 있다.

[0031] 일측에 따르면, 단락 검출 주파수 성분은 기본 주파수에 동기 전동기의 회전자의 슬립값을 반영하는 하기 수학적식 5를 통해 도출될 수 있다.

[0032] [수학적식5]

$$f_{brb} = f_s - 2sf_s = (1 - 2s)f_s$$

[0033]

[0034] 여기서, f_{brb} 는 단락 검출 주파수 성분, f_s 는 기본 주파수, s 는 회전자의 슬립값일 수 있다.

[0035] 일측에 따르면, 주파수 검출부는 측정된 전류 데이터에 대하여 시간-주파수 변환(Time-frequency transform)을 수행하고, 변환된 전류 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출할 수 있다.

[0036] 일실시예에 따른 단락 검출 방법은 측정부에서 동기 전동기의 공극에서의 자속 데이터를 측정하는 단계와, 주파수 검출부에서 측정된 자속 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출하는 단계 및 단락 검출부에서 단락 검출 주파수 성분의 검출 여부에 따라 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0037] 일측에 따르면, 단락 검출 주파수 성분은 동기 전동기의 회전자의 돌극에 의한 주파수 성분 및 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분 중 적어도 하나의 주파수 성분을 포함할 수 있다.

[0038] 일측에 따르면, 돌극에 의한 주파수 성분과 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분은 회전자의 속도값을 통해 도출될 수 있다.

[0039] 일측에 따르면, 회전자의 속도값은 회전자의 슬립값과 동기 전동기의 극수를 통해 도출될 수 있다.

[0040] 다른 실시예에 따른 단락 검출 방법은 전류 측정부에서 동기 전동기의 고정자에서의 전류 데이터를 측정하는 단계와, 주파수 검출부에서 측정된 전류 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출하는 단계 및 단락 검출부에서 단락 검출 주파수 성분의 전류 크기 변화를 모니터링하고, 모니터링 결과에 따라 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0041] 일실시예에 따르면, 동기 전동기의 기동 중에 일시적으로 턴간 단락이 일어나는 경우에도 단락 여부를 검출함으로써, 계자권선 결함 검출의 정확성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

[0042] 일실시예에 따르면, 턴간 단락이 있을 때에는 기동 중에 단락된 저 임피던스 루프에 큰 전류가 유기되기 때문에 결함의 영향을 민감하게 모니터링할 수 있다.

[0043] 일실시예에 따르면, 온라인 진단을 위해 자속센서가 장착이 되어 있는 경우에는 기동 중에 활용되지 않는 자속 센서를 활용하고, 자속 센서가 없는 경우에는 모든 전동기에 장착되어 있는 전류 센서를 활용하여 계자권선의 단락을 검출함으로써, 추가적인 비용 발생 없이 계자권선의 단락을 검출할 수 있다.

[0044] 일실시예에 따르면, 단락 검출 주파수 성분을 모니터링함으로써, 계자권선의 단락을 보다 정확하고 용이하게 검출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0045] 도 1a 내지 도 1d는 3상 교류 동기 전동기를 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 일실시예에 따른 단락 검출 장치를 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 다른 실시예에 따른 단락 검출 장치를 설명하기 위한 도면이다.

도 4a 내지 4b는 측정된 자속 데이터와 측정된 전류 데이터의 예시를 설명하기 위한 도면이다.

도 5a 내지 도 5c는 일실시예에 따른 단락 검출 장치를 통해 계자권선의 단락 여부를 검출하는 예시를 설명하기 위한 도면이다.

도 6a 내지 도 6b는 다른 실시예에 따른 단락 검출 장치를 통해 계자권선의 단락 여부를 검출하는 예시를 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 일실시예에 따른 단락 검출 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 다른 실시예에 따른 단락 검출 방법을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0046] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.

[0047] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0048] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될

수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.

- [0049] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들어 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0050] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0051] 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 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0053] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0055] 도 2는 일실시예에 따른 단락 검출 장치를 설명하기 위한 도면이다.
- [0056] 도 2를 참조하면, 일실시예에 따른 단락 검출 장치(200)는 동기 전동기의 기동 중에 일시적으로 턴간 단락이 일어나는 경우에도 단락 여부를 검출함으로써, 계자권선 결함 검출의 정확성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다.
- [0057] 또한, 단락 검출 장치(200)는 턴간 단락이 있을 때에는 기동 중에 단락된 저 임피던스 루프에 큰 전류가 유기가 되기 때문에 결함의 영향을 민감하게 모니터링할 수 있다.
- [0058] 또한, 단락 검출 장치(200)는 온라인 진단을 위해 자속센서가 장착이 되어 있는 경우에는 기동 중에 활용되지 않는 자속 센서를 활용하고, 자속 센서가 없는 경우에는 모든 전동기에 장착되어 있는 전류 센서를 활용하여 계자권선의 단락을 검출함으로써, 추가적인 비용 발생 없이 계자권선의 단락을 검출할 수 있다.
- [0059] 한편, 단락 검출 장치(200)는 단락 검출 주파수 성분을 모니터링함으로써, 계자권선의 단락을 보다 정확하고 용이하게 검출할 수 있다.
- [0060] 이를 위해, 일실시예에 따른 단락 검출 장치(200)는 자속 측정부(210), 주파수 검출부(220) 및 단락 검출부(230)를 포함할 수 있다.
- [0061] 구체적으로, 일실시예에 따른 측정부(210)는 동기 전동기의 공극에서의 자속 데이터를 측정할 수 있다.
- [0062] 예를 들면, 동기 전동기의 공극은 동기 전동기의 회전자와 고정자 사이에 형성되는 공극일 수 있다.
- [0063] 일측에 따르면, 자속 측정부(210)는 동기 전동기가 정지 상태로부터 동작을 시작하여 기설정된 시간에 도달할 때까지의 시간 범위인 기동 시간 범위 내에서 자속 데이터를 측정할 수 있다.
- [0064] 예를 들면, 기설정된 시간은 동기 전동기의 운전 시간 구간의 시작 시간일 수 있다.
- [0065] 즉, 본 발명은 동기 전동기의 기동 중에도 단락 여부를 검출할 수 있어, 계자권선 결함 검출의 민감도, 정확성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다.
- [0066] 또한, 본 발명은 턴간 단락이 있을 때에는 기동 중에 단락된 저 임피던스 루프에 큰 전류가 유기가 되기 때문에 결함의 영향을 민감하게 모니터링할 수 있다.
- [0067] 보다 구체적으로, 기공지된 전동기 운전 중 단락 검출 기술은 단락된 루프에 전류가 유가되지 않고, 극 간의 자

속 차이를 토대로 단락을 검출하기 때문에 민감도가 떨어지며, 기공지된 전동기 정지 중 검출 기술 역시, 극 간의 자속 차이를 관찰하는 것에 의존하기 때문에 민감도가 떨어진다. 그러나, 본 발명은 기동 중에도 단락을 검출함으로써 민감도를 향상시킬 수 있다.

[0068] 일측에 따르면, 동기 전동기는 3상 권선형 동기 전동기이고, 동기 전동기의 회전자는 돌극형 회전자 및 원통형 회전자 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0069] 다음으로, 일실시예에 따른 주파수 검출부(220)는 측정된 자속 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출할 수 있다.

[0070] 일측에 따르면, 단락 검출 주파수 성분은 동기 전동기의 회전자의 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal}) 및 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_l) 중 적어도 하나의 주파수 성분을 포함할 수 있다.

[0071] 예를 들면, 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal})은 동기 전동기의 회전자가 돌극형 회전자인 경우에 검출되는 성분일 수 있다. 다시 말해, 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal})은 원통형 회전자인 경우에는 미검출될 수 있다.

[0072] 일측에 따르면, 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal})과 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_l)은 회전자의 속도값(f_r)을 통해 도출될 수 있다.

[0073] 한편, 회전자의 속도값(f_r)은 회전자의 슬립값(s)과 동기 전동기의 극수(P)를 통해 도출될 수 있다.

[0074] 보다 구체적으로, 고정자에서 발생하는 회전자계와 회전자간의 속도차이를 나타내는 회전자의 슬립값(s)은 동기 전동기의 동기 속도(n_{sync})에서 회전자의 속도(n_m)를 마이너스한 값을 동기 속도(n_{sync})로 나누는 하기의 수학식1을 통해 도출될 수 있다.

[0075] [수학식1]

$$s = (n_{sync} - n_m) / n_{sync}$$

[0076]

[0077] 또한, 회전자의 속도값(f_r)은 회전자의 슬립값(s)에 기본 주파수(f_s)를 반영한 값을 극수(P)로 나누는 하기의 수학식2를 통해 도출될 수 있다.

[0078] [수학식2]

$$f_r = 2(1 - s)f_s / P$$

[0079]

[0080] 여기서, 기본 주파수(f_s)는 동기 전동기에 입력되는 입력 기본 주파수일 수 있으며, 60Hz의 주파수 성분일 수 있다.

[0081] 한편, 일실시예에 따른 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_l)은 제1 상수(k_1 , 여기서 k_1 는 정수)에 회전자의 속도값(f_r)을 반영한 값을 기본 주파수(f_s)에 반영하는 하기 수학식3을 통해 도출될 수 있다.

[0082] [수학식3]

$$f_f = f_s \pm k_1 \cdot f_r = f_s \pm k_1 \cdot 2(1 - s)f_s / P$$

[0083]

[0084] 수학식3에서 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_l)이 나타나는 이유는 한 개의 극에 계자권선의 턴간 단락이 있으면 회전자가 1회전할 때 한번씩 자속 센서에 불평형 성분이 유기 되기 때문이다.

[0085] 일실시예에 따른 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal})은 극수(P)가 반영된 제2 상수(k_2 , 여기서 k_2 는 정수)에 회전자의 속도값(f_r)을 반영한 값을 기본 주파수(f_s)에 반영하는 하기 수학식4을 통해 도출될 수 있다.

[0086] [수학식4]

$$f_{sal} = f_s \pm Pk_2 \cdot f_r = f_s \pm 2k_2 \cdot (1 - s)f_s$$

[0087]

[0088] 일측에 따르면, 주파수 검출부(220)는 측정된 자속 데이터에 대하여 시간-주파수 변환(Time-frequency transform)을 수행하고, 변환된 자속 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출할 수 있다.

[0089] 다음으로, 일실시예에 따른 단락 검출부(230)는 단락 검출 주파수 성분의 검출 여부에 따라 동기 전동기의 계자 권선의 단락 여부를 검출할 수 있다.

[0090] 보다 구체적으로, 상술한 수학식3 및 수학식4에 따르면 $k_1 = P \cdot k_2$ 인 경우에 계자 권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_f)과 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal})이 겹쳐짐을 확인할 수 있다. 이는 1 회전당 극이 P개가 존재하기 때문이다.

[0091] 따라서, 단락 검출부(230)는 회전자가 돌극형 회전자인 경우에는 $k_1 = P \cdot k_2$ 의 조건을 만족하지 않고, 계자 권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_f)이 검출되면, 계자 권선이 단락된 것으로 판단할 수 있다.

[0092] 또한, 단락 검출부(230)는 회전자가 원통형 회전자인 경우에는 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal})이 존재하지 않으므로, 계자 권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_f)이 검출되면 계자 권선이 단락된 것으로 판단할 수 있다.

[0093] 한편, 상술한 수학식3에 따르면 계자 권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_f)은 고정되어 있지 않고 회전자의 속도에 따라 변화함을 확인할 수 있다. 이는 동기 전동기가 기동 중에는 회전자가 가속하여 회전자의 슬립값(s)이 변화하기 때문이다.

[0094] 즉, 본 발명은 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal}) 및 계자 권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_f)을 모니터링함으로써, 계자 권선의 단락을 보다 정확하고 용이하게 검출할 수 있다.

[0095] 일실시예에 따른 단락 검출부(230)에서 계자 권선의 단락 여부를 검출하는 구성은 이후 실시예 도 5a 내지 도 5c를 통해 보다 구체적으로 설명하기로 한다.

[0097] 도 3은 다른 실시예에 따른 단락 검출 장치를 설명하기 위한 도면이다.

[0098] 다시 말해, 도 3은 도 2를 통해 설명한 일실시예에 따른 단락 검출 장치에 관한 다른 예시를 설명하는 도면으로서, 이후 도 3을 통해 설명하는 내용 중 일실시예에 따른 단락 검출 장치를 통해 설명한 내용과 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0099] 또한, 일실시예에 따른 단락 검출 장치는 자속 측정부만을 도시하고, 다른 실시예에 따른 단락 검출 장치는 전류 측정부만을 도시하고 있으나, 본 발명의 단락 검출 장치는 이에 한정되지 않고, 자속 측정부와 전류 측정부를 모두 포함할 수도 있다.

[0100] 도 3을 참조하면, 다른 실시예에 따른 단락 검출 장치(300)는 전류 측정부(310), 주파수 검출부(320) 및 단락 검출부(330)를 포함할 수 있다.

[0101] 구체적으로, 다른 실시예에 따른 전류 측정부(310)는 동기 전동기의 고정자에서의 전류 데이터를 측정할 수 있다.

[0102] 일측에 따르면, 전류 측정부(310)는 동기 전동기가 정지 상태로부터 동작을 시작하여 기설정된 시간에 도달할 때까지의 시간 범위인 기동 시간 범위 내에서 전류 데이터를 측정할 수 있다.

[0103] 다음으로, 다른 실시예에 따른 주파수 검출부(320)는 측정된 전류 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출할 수 있다.

[0104] 일측에 따르면, 주파수 검출부(320)는 측정된 전류 데이터에 대하여 시간-주파수 변환(Time-frequency transform)을 수행하고, 변환된 전류 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출할 수 있다.

[0105] 보다 구체적으로, 전류를 이용하여 계자 권선의 단락을 진단할 때는 도 2를 통해 설명한 자속 측정 시의 진단과

는 다른 방법을 이용해야 한다. 구체적으로, 전류 데이터를 이용한 진단 시에도 전동기의 고정자 권선의 극수가 P로 감겨 있기 때문에 턴간 결합이 있을 경우 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_f)에 $k_1=P*k_2$ 인 성분이 유기될 수 있다.

[0106] 즉, 전류 데이터를 이용한 단락 진단시, 도 2를 통해 설명한 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_f)은 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal})과 구분이 되지 않기 때문에 자속과 동일한 검출 방법으로는 단락 검출이 어려울 수 있다.

[0107] 따라서, $k_1=P*k_2$ 인 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분(f_f)이나 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal})을 검출하여 시간에 따른 변화를 토대로 계자권선 턴간 단락을 검출해야 한다.

[0108] 따라서, 다른 실시예에 따른 주파수 검출부(320)는 기동 중에 측정된 전류 데이터를 시간-주파수 변환하고, 변환된 전류 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분(f_{brb})을 검출하는 과정을 수행할 수 있다.

[0109] 일측에 따르면, 단락 검출 주파수 성분(f_{brb})은 기본 주파수(f_s)에 동기 전동기의 회전자의 슬립값(s)을 반영하는 하기 수학적식5를 통해 도출될 수 있다.

[0110] [수학적식5]

$$f_{brb} = f_s - 2sf_s = (1 - 2s)f_s$$

[0112] 다음으로, 다른 실시예에 따른 단락 검출부(330)는 단락 검출 주파수 성분(f_{brb})의 전류 크기 변화를 모니터링하고, 모니터링 결과에 따라 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출할 수 있다.

[0113] 다시 말해, 단락 검출부(330)는 단락 검출 주파수 성분(f_{brb})의 전류 크기 변화를 관찰하여 계자권선의 턴간 단락을 진단할 수 있다.

[0114] 예를 들면, 단락 검출부(330)는 단락 검출 주파수 성분(f_{brb})의 전류 크기 변화가 특정 시간 구간에서 정상값보다 기 설정된 기준값 이상으로 감소하는 경우 계자권선이 단락된 상태로 판단할 수 있으며, 특정 시간 구간에서의 정상값은 실험을 통해 도출될 수 있다.

[0115] 다른 실시예에 따른 단락 검출부(330)에서 계자권선의 단락 여부를 검출하는 구성은 이후 실시예 도 6a 내지 도 6b를 통해 보다 구체적으로 설명하기로 한다.

[0116] 일측에 따르면, 다른 실시예에 따른 단락 검출 장치(300)는 전류 데이터 외에도 전동기의 임피던스, 전력, 토크 등 전류의 영향을 받는 모든 변수 데이터들의 주파수 성분을 분석하여 계자권선의 단락을 검출할 수도 있다.

[0118] 도 4a 내지 4b는 측정된 자속 데이터와 측정된 전류 데이터의 예시를 설명하기 위한 도면이다.

[0119] 도 4a 내지 도 4b를 참조하면, 참조부호 410은 일실시예에 따른 단락 검출 장치의 자속 검출부를 통해 측정된 자속 데이터를 나타내고, 참조부호 420은 다른 실시예에 따른 전류 검출부를 통해 측정된 전류 데이터를 나타낸다.

[0120] 예를 들면, 측정된 자속 데이터와 전류 데이터는 동기 전동기에 구비된 자속 센서 및 전류 센서를 통해 각각 검출된 데이터일 수 있으며, 측정된 자속 데이터와 전류 데이터는 동기 전동기가 정지 상태에서부터 동작을 시작하여 기설정된 시간에 도달할 때까지의 시간 범위인 기동 시간 범위 내에 측정된 데이터일 수 있다.

[0121] 또한, 동기 전동기가 기동 중일 때 측정된 자속 데이터와 측정된 전류 데이터는 시간의 경과에 따라 진폭 및 주파수 성분이 변화하는 비정상 신호이기 때문에 가공 없이 그대로 사용할 수 없다. 따라서, 측정된 자속 데이터와 전류 데이터는 시간-주파수 변환(Time-frequency transform)을 통해 변환될 수 있다.

[0122] 참조부호 410 내지 420에 따르면 측정된 데이터의 파형에는 많은 정보가 함축되어 있으며, 함축된 정보는 기본 주파수(약 60Hz의 주파수 성분), 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal}) 및 회전자의 속도값(f_r)을 포함할 수 있다.

- [0124] 도 5a 내지 도 5c는 일실시예에 따른 단락 검출 장치를 통해 계자권선의 단락 여부를 검출하는 예시를 설명하기 위한 도면이다.
- [0125] 도 5a 내지 도 5c를 참조하면, 참조부호 510은 돌극형 회전자를 구비하는 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출하기 위한 주파수-시간 그래프를 나타내고, 참조부호 520 내지 530은 380V, 30kW, 4P 돌극형 회전자를 구비하는 동기 전동기에서의 계자권선 단락 실험 결과를 나타낸다.
- [0126] 참조부호 510 내지 530을 이용한 계자권선의 단락 여부의 검출은 일실시예에 따른 단락 검출 장치의 단락 검출부를 통해 수행될 수 있다. 즉, 이하에서 도 5a 내지 도 5c를 통해 설명하는 내용 중 일실시예에 따른 단락 검출 장치를 통해 설명한 내용과 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0127] 구체적으로, 하기의 표1은 동기 전동기가 4극의 전동기인 경우 회전자의 슬립값에 따른 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분을 나타낸다.

표 1

Rotor speed	0	$\frac{N_{sync}}{2}$	N_{sync}	Rotor speed	0	$\frac{N_{sync}}{2}$	N_{sync}
slip	1	0.5	0	slip	1	0.5	0
$k_1=0$	60	60	60	$k_2=0$	60	60	60
$k_1=+1$	60	75	90	$k_2=-1$	60	45	30
$k_1=+2$	60	90	120	$k_2=-2$	60	30	0
$k_1=+3$	60	105	150	$k_2=-3$	60	15	-30
$k_1=+4$	60	120	180	$k_2=-4$	60	0	-60
$k_2=+1$	60	120	180	$k_2=-1$	60	0	-60
$k_1=+5$	60	135	210	$k_1=-5$	60	-15	-90
$k_1=+6$	60	150	240	$k_1=-6$	60	-30	-120
$k_1=+7$	60	165	270	$k_1=-7$	60	-45	-150
$k_1=+8$	60	180	300	$k_1=-8$	60	-60	-180
$k_2=+2$	60	180	300	$k_2=-2$	60	-60	-180
$k_1=+9$	60	195	330	$k_1=-9$	60	-75	-210
$k_1=+10$	60	210	360	$k_2=-10$	60	-90	-240
$k_1=+11$	60	225	390	$k_1=-11$	60	-105	-270
$k_2=+3$	60	240	420	$k_2=-12$	60	-120	-300
$k_1=+12$	60	255	450	$k_2=-13$	60	-135	-330
$k_1=+13$	60	270	480	$k_2=-14$	60	-150	-360
$k_2=+4$	60	300	540	$k_2=-15$	60	-165	-390
$k_1=+14$	60	315	570	$k_2=-16$	60	-180	-420
$k_1=+15$	60	330	600	$k_2=-17$	60	-195	-450
$k_2=+5$	60	345	630	$k_2=-18$	60	-210	-480
$k_1=+16$	60	360	660	$k_2=-19$	60	-225	-510
$k_2=+6$	60	375	690	$k_2=-20$	60	-240	-540
$k_1=+17$	60	390	720	$k_2=-21$	60	-255	-570
$k_2=+7$	60	405	750	$k_2=-22$	60	-270	-600
$k_1=+18$	60	420	780	$k_2=-23$	60	-285	-630
$k_2=+8$	60	435	810	$k_2=-24$	60	-300	-660
$k_1=+19$	60	450	840	$k_2=-25$	60	-315	-690
$k_2=+9$	60	465	870	$k_2=-26$	60	-330	-720
$k_1=+20$	60	480	900	$k_2=-27$	60	-345	-750
$k_2=+10$	60	495	930	$k_2=-28$	60	-360	-780
$k_1=+21$	60	510	960	$k_2=-29$	60	-375	-810
$k_2=+11$	60	525	990	$k_2=-30$	60	-390	-840
$k_1=+22$	60	540	1020	$k_2=-31$	60	-405	-870
$k_2=+12$	60	555	1050	$k_2=-32$	60	-420	-900
$k_1=+23$	60	570	1080	$k_2=-33$	60	-435	-930
$k_2=+13$	60	585	1110	$k_2=-34$	60	-450	-960
$k_1=+24$	60	600	1140	$k_2=-35$	60	-465	-990
$k_2=+14$	60	615	1170	$k_2=-36$	60	-480	-1020
$k_1=+25$	60	630	1200	$k_2=-37$	60	-495	-1050
$k_2=+15$	60	645	1230	$k_2=-38$	60	-510	-1080
$k_1=+26$	60	660	1260	$k_2=-39$	60	-525	-1110
$k_2=+16$	60	675	1290	$k_2=-40$	60	-540	-1140
$k_1=+27$	60	690	1320	$k_2=-41$	60	-555	-1170
$k_2=+17$	60	705	1350	$k_2=-42$	60	-570	-1200
$k_1=+28$	60	720	1380	$k_2=-43$	60	-585	-1230
$k_2=+18$	60	735	1410	$k_2=-44$	60	-600	-1260
$k_1=+29$	60	750	1440	$k_2=-45$	60	-615	-1290
$k_2=+19$	60	765	1470	$k_2=-46$	60	-630	-1320
$k_1=+30$	60	780	1500	$k_2=-47$	60	-645	-1350
$k_2=+20$	60	795	1530	$k_2=-48$	60	-660	-1380
$k_1=+31$	60	810	1560	$k_2=-49$	60	-675	-1410
$k_2=+21$	60	825	1590	$k_2=-50$	60	-690	-1440
$k_1=+32$	60	840	1620	$k_2=-51$	60	-705	-1470
$k_2=+22$	60	855	1650	$k_2=-52$	60	-720	-1500
$k_1=+33$	60	870	1680	$k_2=-53$	60	-735	-1530
$k_2=+23$	60	885	1710	$k_2=-54$	60	-750	-1560
$k_1=+34$	60	890	1740	$k_2=-55$	60	-765	-1590
$k_2=+24$	60	915	1770	$k_2=-56$	60	-780	-1620
$k_1=+35$	60	930	1800	$k_2=-57$	60	-795	-1650
$k_2=+25$	60	945	1830	$k_2=-58$	60	-810	-1680
$k_1=+36$	60	960	1860	$k_2=-59$	60	-825	-1710
$k_2=+26$	60	975	1890	$k_2=-60$	60	-840	-1740
$k_1=+37$	60	990	1920	$k_2=-61$	60	-855	-1770
$k_2=+27$	60	1005	1950	$k_2=-62$	60	-870	-1800
$k_1=+38$	60	1020	1980	$k_2=-63$	60	-885	-1830
$k_2=+28$	60	1035	2010	$k_2=-64$	60	-900	-1860
$k_1=+39$	60	1050	2040	$k_2=-65$	60	-915	-1890
$k_2=+29$	60	1065	2070	$k_2=-66$	60	-930	-1920
$k_1=+40$	60	1080	2100	$k_2=-67$	60	-945	-1950
$k_2=+30$	60	1095	2130	$k_2=-68$	60	-960	-1980
$k_1=+41$	60	1110	2160	$k_2=-69$	60	-975	-2010
$k_2=+31$	60	1125	2190	$k_2=-70$	60	-990	-2040
$k_1=+42$	60	1140	2220	$k_2=-71$	60	-1005	-2070
$k_2=+32$	60	1155	2250	$k_2=-72$	60	-1020	-2100
$k_1=+43$	60	1170	2280	$k_2=-73$	60	-1035	-2130
$k_2=+33$	60	1185	2310	$k_2=-74$	60	-1050	-2160
$k_1=+44$	60	1200	2340	$k_2=-75$	60	-1065	-2190
$k_2=+34$	60	1215	2370	$k_2=-76$	60	-1080	-2220
$k_1=+45$	60	1230	2400	$k_2=-77$	60	-1095	-2250
$k_2=+35$	60	1245	2430	$k_2=-78$	60	-1110	-2280
$k_1=+46$	60	1260	2460	$k_2=-79$	60	-1125	-2310
$k_2=+36$	60	1275	2490	$k_2=-80$	60	-1140	-2340
$k_1=+47$	60	1290	2520	$k_2=-81$	60	-1155	-2370
$k_2=+37$	60	1305	2550	$k_2=-82$	60	-1170	-2400
$k_1=+48$	60	1320	2580	$k_2=-83$	60	-1185	-2430
$k_2=+38$	60	1335	2610	$k_2=-84$	60	-1200	-2460
$k_1=+49$	60	1350	2640	$k_2=-85$	60	-1215	-2490
$k_2=+39$	60	1365	2670	$k_2=-86$	60	-1230	-2520
$k_1=+50$	60	1380	2700	$k_2=-87$	60	-1245	-2550
$k_2=+40$	60	1395	2730	$k_2=-88$	60	-1260	-2580
$k_1=+51$	60	1410	2760	$k_2=-89$	60	-1275	-2610
$k_2=+41$	60	1425	2790	$k_2=-90$	60	-1290	-2640
$k_1=+52$	60	1440	2820	$k_2=-91$	60	-1305	-2670
$k_2=+42$	60	1455	2850	$k_2=-92$	60	-1320	-2700
$k_1=+53$	60	1470	2880	$k_2=-93$	60	-1335	-2730
$k_2=+43$	60	1485	2910	$k_2=-94$	60	-1350	-2760
$k_1=+54$	60	1500	2940	$k_2=-95$	60	-1365	-2790
$k_2=+44$	60	1515	2970	$k_2=-96$	60	-1380	-2820
$k_1=+55$	60	1530	3000	$k_2=-97$	60	-1395	-2850
$k_2=+45$	60	1545	3030	$k_2=-98$	60	-1410	-2880
$k_1=+56$	60	1560	3060	$k_2=-99$	60	-1425	-2910
$k_2=+46$	60	1575	3090	$k_2=-100$	60	-1440	-2940
$k_1=+57$	60	1590	3120	$k_2=-101$	60	-1455	-2970
$k_2=+47$	60	1605	3150	$k_2=-102$	60	-1470	-3000
$k_1=+58$	60	1620	3180	$k_2=-103$	60	-1485	-3030
$k_2=+48$	60	1635	3210	$k_2=-104$	60	-1500	-3060
$k_1=+59$	60	1650	3240	$k_2=-105$	60	-1515	-3090
$k_2=+49$	60	1665	3270	$k_2=-106$	60	-1530	-3120
$k_1=+60$	60	1680	3300	$k_2=-107$	60	-1545	-3150
$k_2=+50$	60	1695	3330	$k_2=-108$	60	-1560	-3180
$k_1=+61$	60	1710	3360	$k_2=-109$	60	-1575	-3210
$k_2=+51$	60	1725	3390	$k_2=-110$	60	-1590	-3240
$k_1=+62$	60	1740	3420	$k_2=-111$	60	-1605	-3270
$k_2=+52$	60	1755	3450	$k_2=-112$	60	-1620	-3300
$k_1=+63$	60	1770	3480	$k_2=-113$	60	-1635	-3330
$k_2=+53$	60	1785	3510	$k_2=-114$	60	-1650	-3360
$k_1=+64$	60	1800	3540	$k_2=-115$	60	-1665	-3390
$k_2=+54$	60	1815	3570	$k_2=-116$	60	-1680	-3420
$k_1=+65$	60	1830	3600	$k_2=-117$	60	-1695	-3450
$k_2=+55$	60	1845	3630	$k_2=-118$	60	-1710	-3480
$k_1=+66$	60	1860	3660	$k_2=-119$	60	-1725	-3510
$k_2=+56$	60	1875	3690	$k_2=-120$	60	-1740	-3540
$k_1=+67$	60	1890	3720	$k_2=-121$	60	-1755	-3570
$k_2=+57$	60	1905	3750	$k_2=-122$	60	-1770	-3600
$k_1=+68$	60	1920	3780	$k_2=-123$	60	-1785	-3630
$k_2=+58$	60	1935	3810	$k_2=-124$	60	-1800	-3660
$k_1=+69$	60	1950	3840	$k_2=-125$	60	-1815	-3690
$k_2=+59$	60	1965	3870	$k_2=-126$	60	-1830	-3720
$k_1=+70$	60	1980	3900	$k_2=-127$	60	-1845	-3750
$k_2=+60$	60	1995	3930	$k_2=-128$	60	-1860	-3780
$k_1=+71$	60	2010	3960	$k_2=-129$	60	-1875	-3810
$k_2=+61$	60	2025	3990	$k_2=-130$	60	-1890	-3840
$k_1=+72$	60	2040	4020	$k_2=-131$	60	-1905	-3870
$k_2=+62$	60	2055	4050	$k_2=-132$	60	-1920	-3900
$k_1=+73$	60	2070	4080	$k_2=-133$	60	-1935	-3930
$k_2=+63$	60	2085	4110	$k_2=-134$	60	-1950	-3960
$k_1=+74$	60	2100	4140	$k_2=-135$	60	-1965	-3990
$k_2=+64$	60	2115	4170	$k_2=-136$	60	-1980	-4020
$k_1=+75$	60	2130	4200	$k_2=-137$	60	-1995	-4050
$k_2=+65$	60	2145	4230	$k_2=-138$	60	-2010	-4080
$k_1=+76$	60	2160	4260	$k_2=-139$	60	-2025	-4110
$k_2=+66$	60	2160	4260	$k_2=-140$			

자권선 단락 실험 결과를 나타내고, 참조부호 620은 계자권선의 단락이 검출되었을 때와 검출되지 않았을 때의 단락 검출 주파수 성분(f_{brb})의 크기 변화를 나타낸다.

- [0137] 구체적으로, 참조부호 610은 극당 144 턴을 가지는 4극 전동기(총 576턴)에서 하나의 극에 7턴을 단락시켜 실험을 진행하고, 전류를 측정하여 계자권선에 턴간 단락이 있는 경우와 없는 경우에 대한 STFT 결과를 나타낸다.
- [0138] 참조부호 610 내지 620을 이용한 계자권선의 단락 여부의 검출은 다른 실시예에 따른 단락 검출 장치의 단락 검출부를 통해 수행될 수 있다. 즉, 이하에서 도 6a 내지 도 6b를 통해 설명하는 내용 중 다른 실시예에 따른 단락 검출 장치를 통해 설명한 내용과 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0139] 참조부호 610 내지 620에 따르면 다른 실시예에 따른 계자권선의 단락 검출 장치는 턴간 단락으로 인해 전류의 크기가 변화하기 때문에 계자권선의 단락을 용이하게 검출할 수 있다. 다시 말해, 다른 실시예에 따른 단락 검출 장치는 단락 검출 주파수 성분(f_{brb})의 전류 변화의 모니터링을 통해 계자권선의 턴간 단락을 용이하게 진단할 수 있다.
- [0140] 예를 들면, 도 6a의 참조부호 611이 단락 검출 주파수 성분(f_{brb}) 또는 돌극에 의한 주파수 성분(f_{sal})이라 가정할 때, 참조부호 611의 주파수 성분에 대한 전류 크기의 변화는 도 6b와 같이 측정될 수 있다. 여기서, 참조부호 621은 단락이 없는 경우 기 측정된 정상값을 나타내고, 참조부호 622는 단락 검출 주파수 성분(f_{brb})에 대한 전류의 크기 변화가 발생한 예를 나타낸다.
- [0141] 다시 말해, 다른 실시예에 따른 계자권선의 단락 검출 장치는 단락 검출 주파수 성분(f_{brb})의 전류 크기 변화가 특정 시간 구간에서 정상값(621) 보다 기 설정된 기준값(623) 이상으로 감소하는 경우(622)에 계자권선이 단락된 상태로 판단할 수 있다.
- [0143] 도 7은 일실시예에 따른 단락 검출 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0144] 다시 말해, 도 7은 일실시예에 따른 계자권선의 단락 검출 장치를 이용하여 계자권선의 단락을 검출하는 방법을 설명하는 도면으로, 이후 도 7을 통해 설명하는 내용 중 일실시예에 따른 계자권선의 단락 검출 장치를 통해 설명한 내용과 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0145] 도 7을 참조하면, 710 단계에서 일실시예에 따른 계자권선의 단락 검출 방법은 측정부에서 동기 전동기의 공극에서의 자속 데이터를 측정할 수 있다.
- [0146] 다음으로, 720 단계에서 일실시예에 따른 계자권선의 단락 검출 방법은 주파수 검출부에서 측정된 자속 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출할 수 있다.
- [0147] 일측에 따르면, 단락 검출 주파수 성분은 동기 전동기의 회전자의 돌극에 의한 주파수 성분 및 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분 중 적어도 하나의 주파수 성분을 포함할 수 있다.
- [0148] 또한, 돌극에 의한 주파수 성분과 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분은 회전자의 속도값을 통해 도출될 수 있다.
- [0149] 한편, 회전자의 속도값은 회전자의 슬립값과 동기 전동기의 극수를 통해 도출될 수 있다.
- [0150] 일측에 따르면, 720 단계에서 일실시예에 따른 계자권선의 단락 검출 방법은 도 2에서 설명한 수학적식을 통해 계자권선의 단락에 의한 주파수 성분을 도출할 수 있다.
- [0151] 일측에 따르면, 720 단계에서 일실시예에 따른 계자권선의 단락 검출 방법은 측정된 데이터에 대하여 시간-주파수 변환(Time-frequency transform)을 수행하고, 변환된 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출할 수 있다.
- [0152] 다음으로, 730 단계에서 일실시예에 따른 계자권선의 단락 검출 방법은 단락 검출부에서 단락 검출 주파수 성분의 검출 여부에 따라 동기 전동기의 계자권선의 단락 여부를 검출할 수 있다.
- [0154] 도 8은 다른 실시예에 따른 단락 검출 방법을 설명하기 위한 도면이다.

- [0155] 다시 말해, 도 8은 다른 실시예에 따른 계자권선의 단락 검출 장치를 이용하여 계자권선의 단락을 검출하는 방법을 설명하는 도면으로, 이후 도 8을 통해 설명하는 내용 중 다른 실시예에 따른 계자권선의 단락 검출 장치를 통해 설명한 내용과 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0156] 도 8을 참조하면, 810단계에서 다른 실시예에 따른 단락 검출 방법은 전류 측정부에서 동기 전동기의 고정자에서의 전류 데이터를 측정할 수 있다.
- [0157] 다음으로, 820단계에서 다른 실시예에 따른 단락 검출 방법은 주파수 검출부에서 측정된 전류 데이터를 통해 단락 검출 주파수 성분을 검출할 수 있다.
- [0158] 일측에 따르면, 단락 검출 주파수 성분은 도 3에서 설명한 수학식5을 통해 도출되는 성분일 수 있다.
- [0159] 다음으로, 830단계에서 다른 실시예에 따른 단락 검출 방법은 단락 검출부에서 단락 검출 주파수 성분의 전류 크기 변화를 모니터링하고, 모니터링 결과에 따라 동기 전동기의 단락 여부를 검출할 수 있다.
- [0161] 결국, 본 발명을 이용하면 동기 전동기의 기동 중에 일시적으로 턴간 단락이 일어나는 경우에도 단락 여부를 검출함으로써, 계자권선 결함 검출의 정확성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다.
- [0162] 또한, 턴간 단락이 있을 때에는 기동 중에 단락된 저 임피던스 루프에 큰 전류가 유기가 되기 때문에 결함의 영향을 민감하게 모니터링할 수 있다.
- [0163] 또한, 온라인 진단을 위해 자속센서가 장착이 되어 있는 경우에는 기동 중에 활용되지 않는 자속 센서를 활용하고, 자속 센서가 없는 경우에는 모든 전동기에 장착되어 있는 전류 센서를 활용하여 계자권선의 단락을 검출함으로써, 추가적인 비용 발생 없이 계자권선의 단락을 검출할 수 있다.
- [0164] 또한, 단락 검출 주파수 성분을 모니터링함으로써, 계자권선의 단락을 보다 정확하고 용이하게 검출할 수 있다.
- [0166] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0167] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embodiment)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0168] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-

ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0169] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

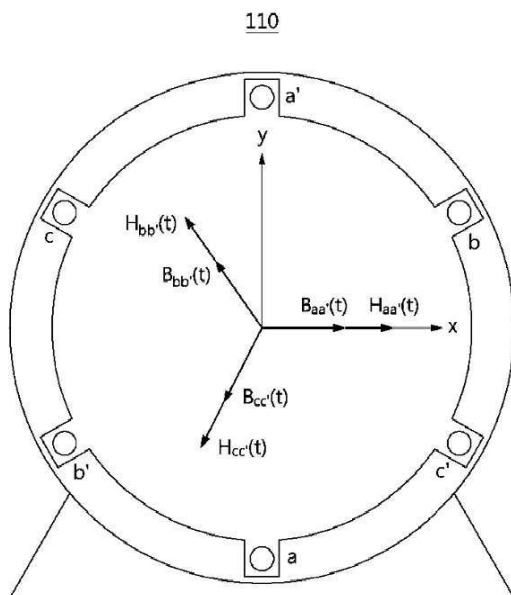
[0170] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

[0171] 200: 계자권선의 단락 검출 장치 210: 자속 측정부
220: 주파수 검출부 230: 단락 검출부

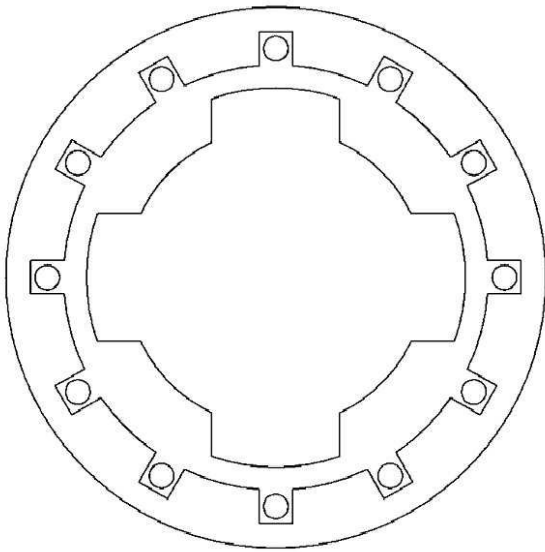
도면

도면1a



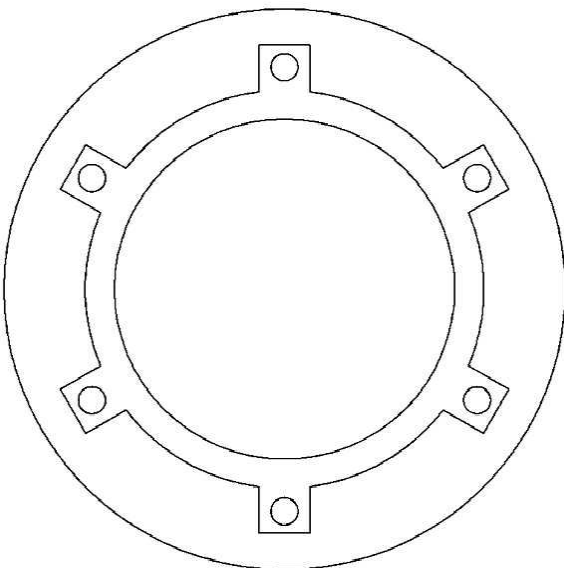
도면1b

120

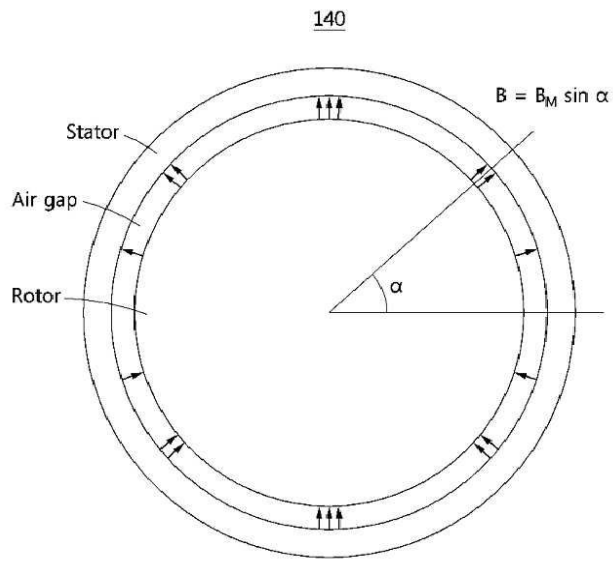


도면1c

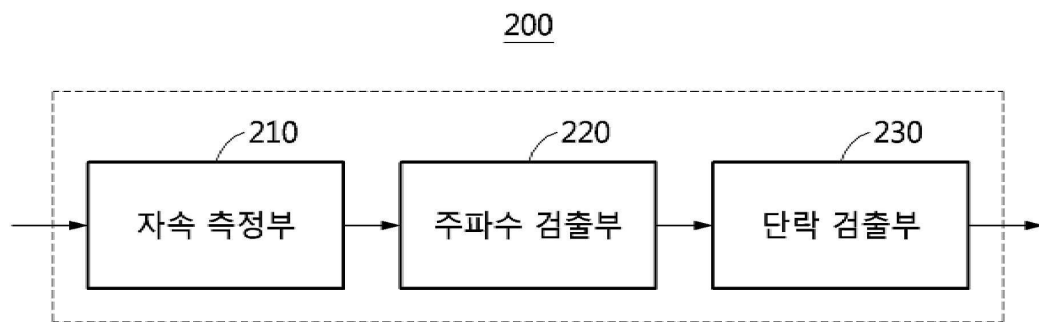
130



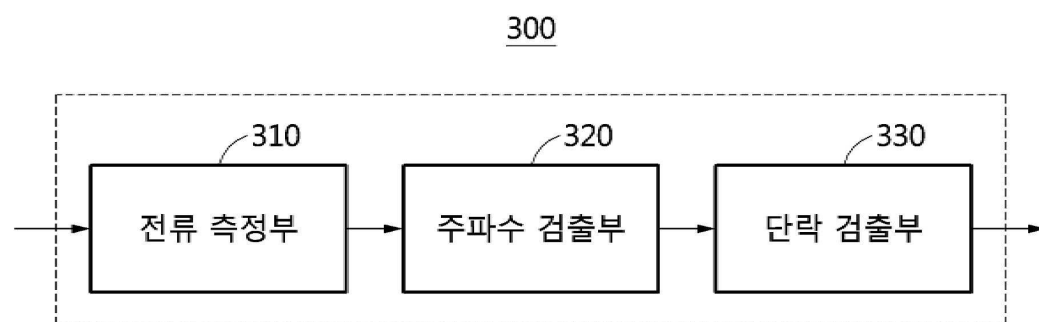
도면1d



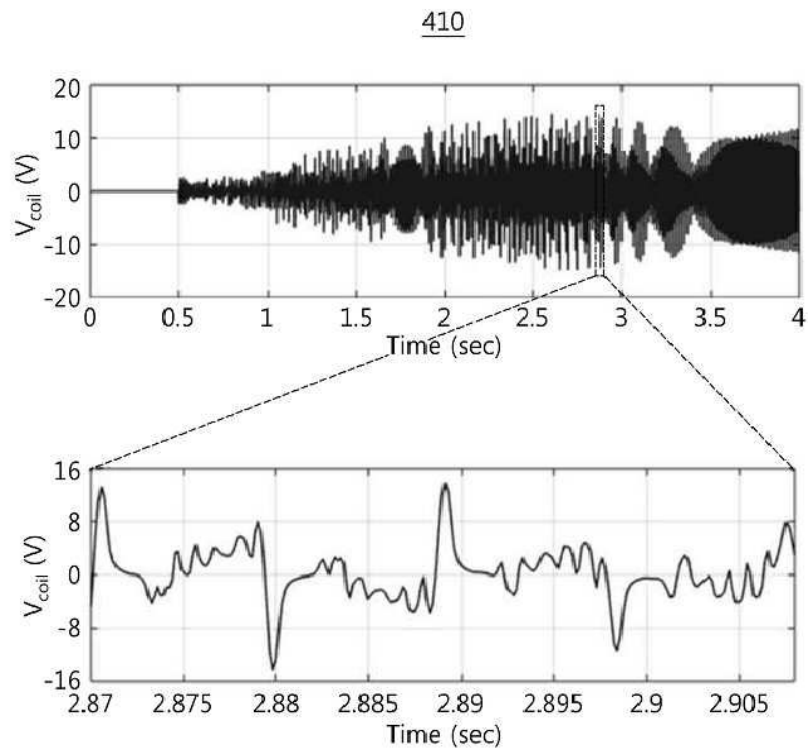
도면2



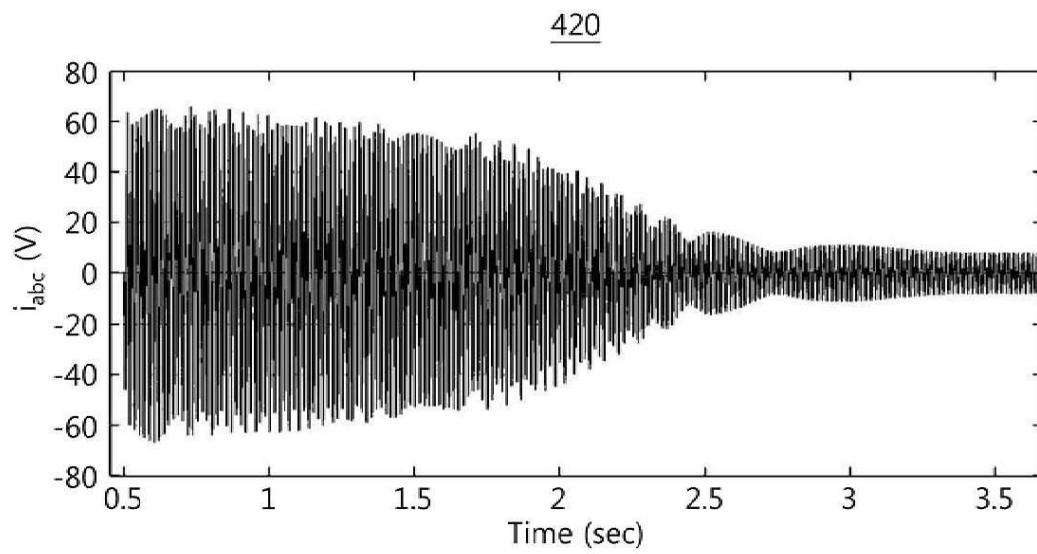
도면3



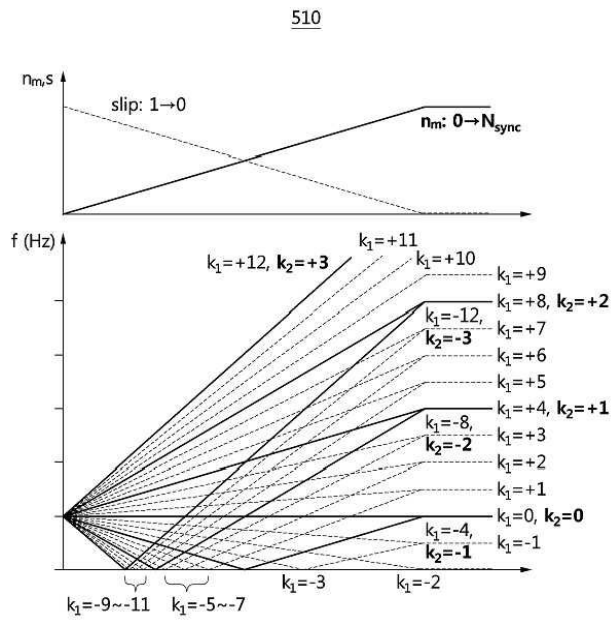
도면4a



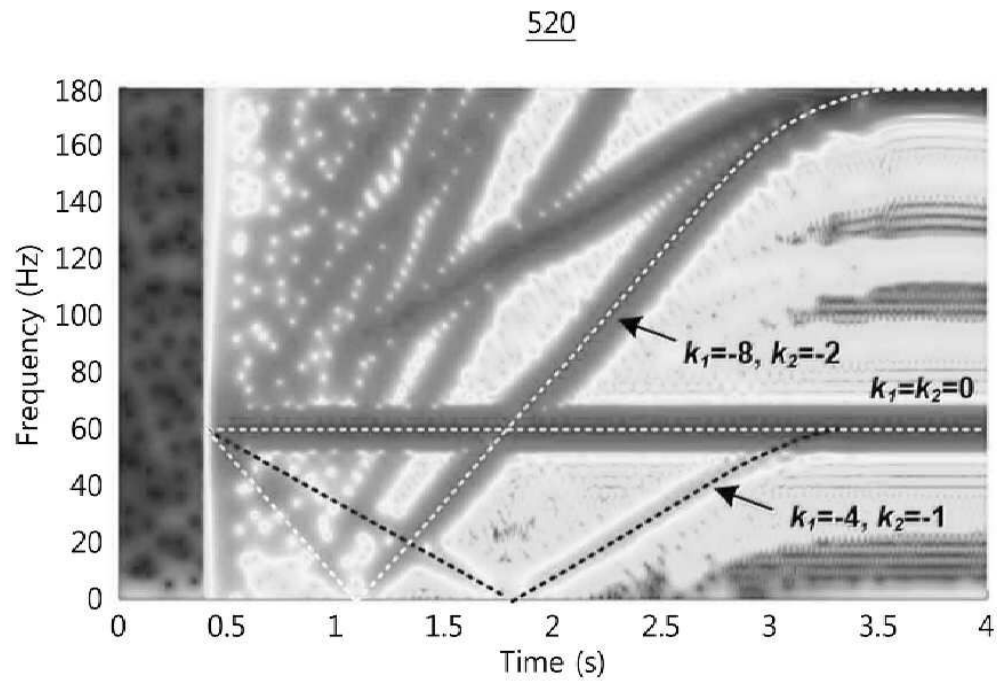
도면4b



도면5a

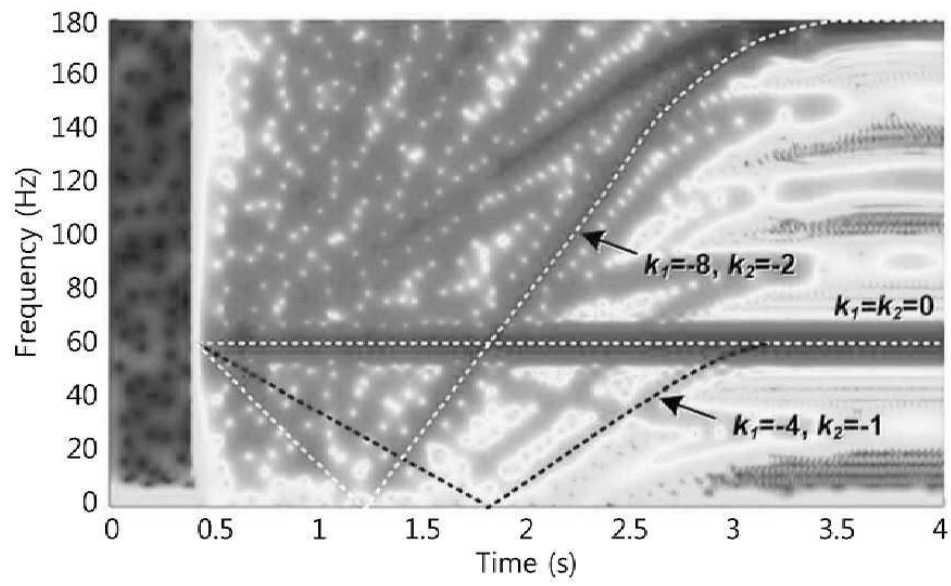


도면5b



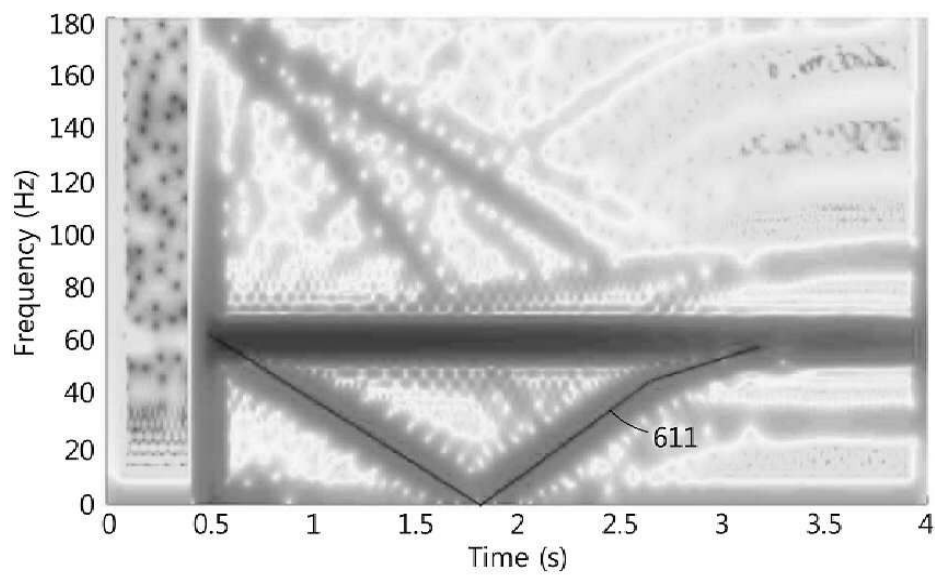
도면5c

530

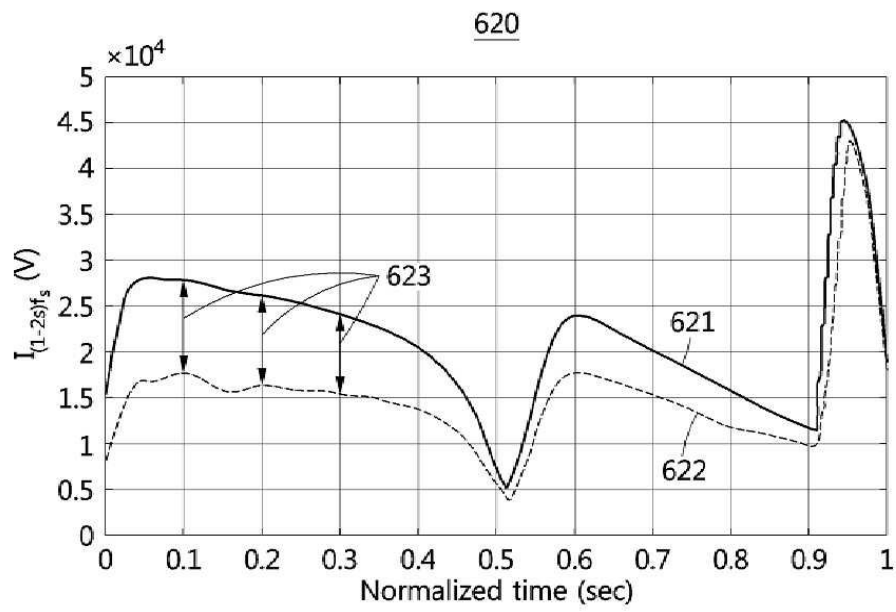


도면6a

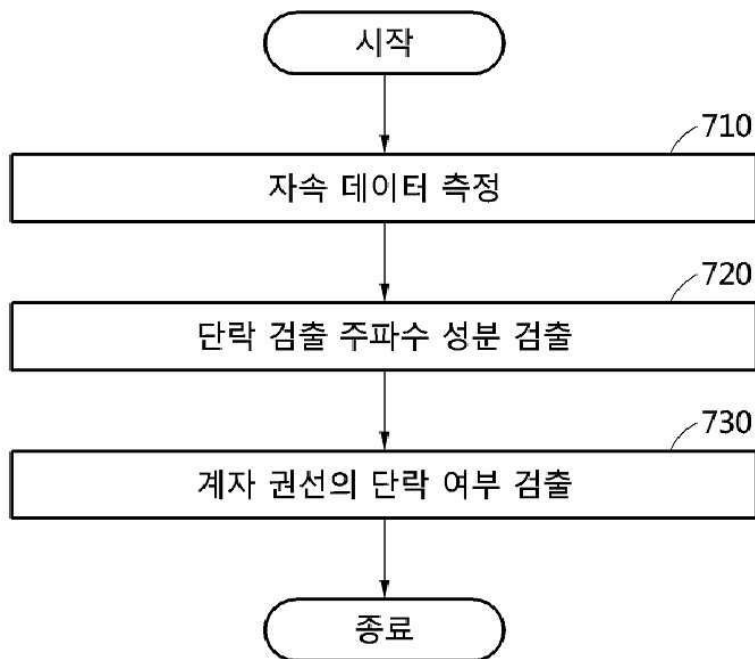
610



도면6b



도면7



도면8

