



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0030260
(43) 공개일자 2017년03월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02P 1/02 (2006.01) H02P 1/26 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02P 1/029 (2013.01)
H02P 1/26 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0127583
(22) 출원일자 2015년09월09일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
엘에스산전 주식회사
경기도 안양시 동안구 엘에스로 127 (호계동)
영남대학교 산학협력단
경상북도 경산시 대학로 280 (대동)
(72) 발명자
이학준
서울특별시 관악구 당곡6나길 25
유안노
서울특별시 강서구 강서로43길 28 타워빌아파트
201호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 대아

전체 청구항 수 : 총 7 항

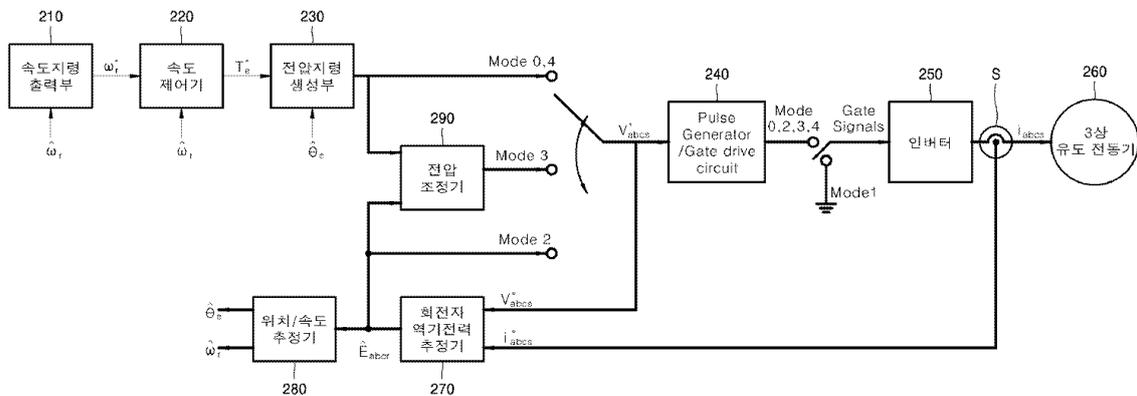
(54) 발명의 명칭 유도 전동기의 재기동 방법

(57) 요약

본 발명은 유도 전동기의 재기동 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 인버터의 3상 교류 전원에는 순간적인 정전 등이 발생되었다가 복전이 이루어지는 경우, 유도 전동기의 정지 없이 즉각 운전을 재개할 수 있도록 하기 위한 유도 전동기의 재기동 방법에 관한 것이다.

(뒷면에 계속)

대표도



본 발명의 유도 전동기 재기동 방법은, 복전 과정에서 유도 전동기를 재기동 시키기 위한 유도 전동기의 재기동 방법에 있어서, 유도 전동기에 구동 신호가 공급되면 회전자의 위치 및 속도를 추정하는 위치 및 속도 추정 단계; 상기 위치 및 속도 추정 단계를 통해 추정된 회전자의 추정 속도에 대응되도록 속도 지령을 재설정 하는 속도 지령 재설정 단계; 상기 속도 지령 재설정 단계를 통해 재설정된 속도 지령에 대응되도록 제어 전압을 생성하고, 이를 이용하여 전압의 크기(magnitude)를 조정하는 전압 크기 조정 단계; 및 상기 전압 크기 조정 단계를 통해 전압 크기의 조정이 완료되면 목표 속도까지 유도 전동기를 재가속하는 재가속 단계; 등을 포함한다.

(72) 발명자

김세환

경상북도 경산시 대학로9길 15-9, 101동 1302호

석줄기

경상북도 경산시 대학로 280 영남대학교 공과대학
전기공학과

명세서

청구범위

청구항 1

복전 과정에서 유도 전동기를 재기동 시키기 위한 유도 전동기의 재기동 방법에 있어서,
 유도 전동기에 구동 신호가 공급되면 회전자의 위치 및 속도를 추정하는 위치 및 속도 추정 단계;
 상기 위치 및 속도 추정 단계를 통해 추정된 회전자의 추정 속도에 대응되도록 속도 지령을 재설정 하는 속도 지령 재설정 단계;
 상기 속도 지령 재설정 단계를 통해 재설정된 속도 지령에 대응되도록 제어 전압을 생성하고, 이를 이용하여 전압의 크기(magnitude)를 조정하는 전압 크기 조정 단계; 및
 상기 전압 크기 조정 단계를 통해 전압 크기의 조정이 완료되면 목표 속도까지 유도 전동기를 재가속하는 재가속 단계;를 포함하는 유도 전동기의 재기동 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
 상기 속도 지령 재설정 단계는,
 (a) 상기 위치 및 속도 추정 단계를 통해 추정된 회전자의 추정 속도가 기준 속도 이상인지 여부를 판단하는 단계;
 (b) 상기 (a) 단계를 통해 회전자의 추정 속도가 기준 속도 이상으로 판단되면, 상기 회전자의 추정 속도에 대응되도록 속도 지령을 재설정 하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 유도 전동기의 재기동 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,
 상기 (a) 단계를 통해 회전자의 추정 속도가 기준 속도 미만으로 판단되는 경우 상기 유도 전동기로 공급되는 구동 신호를 차단시키는 구동 신호 차단 단계;를 더 포함하는 유도 전동기의 재기동 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
 상기 전압 크기 조정 단계는, 상기 회전자의 역기전력 추정값과 상기 제어 전압에 대응되도록 생성되는 전압 지령을 이용해, 상기 회전자의 추정 역기전력의 크기로부터 상기 전압 지령의 크기까지 전압 크기를 점진적으로 조정하는 것을 특징으로 하는 유도 전동기의 재기동 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,
 상기 전압 지령은, MVC(Model-based Voltage Control) 또는 HVMC(Hexagon Voltage Manipulating Control) 방식에 의해 생성되는 것을 특징으로 하는 유도 전동기의 재기동 방법.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 위치 및 속도 추정 단계는, 회전자 역기전력 추정값으로부터 회전자의 속도, 동기각 및 위치를 추정하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 유도 전동기의 재기동 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 회전자 역기전력 추정값은, 고정자 전류, 고정자 전압 지령 및 유도 전동기의 제정수(parameter)를 이용하여 추정되는 것을 특징으로 하는 유도 전동기의 재기동 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유도 전동기의 재기동 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 인버터의 3상 교류 전원에 순간적인 정전 등이 발생되었다가 복전이 이루어지는 경우, 유도 전동기의 정지 없이 즉각 운전を 재개할 수 있도록 하기 위한 유도 전동기의 재기동 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 유도 전동기(induction machine)는 팬(fan)이나 펌프(pump)로부터 공조(Heating Ventilation Air Conditioning: HVAC) 설비에 이르기까지 그 적용 범위가 다양하다. 특히, 인버터를 이용한 유도 전동기 구동 시스템은 에너지 효율을 증대시킬 수 있다는 장점 등으로 최근 그 사용이 증가하고 있다.

[0003] 일반적으로 인버터는 교류 입력 전원에 정전이 발생하였을 때, 일정 시간 내에 PWM 출력을 차단한다. 하지만, 순간적인 정전일 경우나 또는 부하가 가속하는데 긴 시간이 필요한 등의 경우에는 정전 시 전동기를 완전히 정지시켰다가 재기동하는 것은 산업 현장에서 큰 손실로 이어질 수도 있어, 전동기가 자유 회전(Free-run) 중인 상태에서 전원이 복전될 경우 간편하게 재기동시킬 수 있도록 하기 위한 방법이 필요하다.

[0004] 정전 시간 동안 전동기는 자유 회전하게 되고, 이 사이 회전자의 속도와 자속(rotor flux)은 시간에 따라 감소한다. 전동기의 재기동 시, 변화된 위치 및 속도 정보를 고려하지 않은 채 제어를 위해 전압을 입력하게 되면, 큰 돌입전류(inrush current)나 직류단 캐패시터에 회생전압이 발생할 가능성이 있다. 즉, 직류단 전원 전압이 상승되는 경우 인버터의 고장 원인이 될 수 있기 때문에, 유도 전동기의 상 전류와 직류단 전원 전압의 급격한 상승 없이 유도 전동기를 재기동시키기 위한 방안의 마련이 요구되고 있다.

[0005] 그리고 이를 위해서는 전동기의 안정적인 재기동 성능 확보를 위해 재기동 시의 회전자 위치 정보 및 속도 정보 등을 측정하거나 계산 또는 추정하기 위한 방법이 요구된다.

[0006] 본 발명에서는, 유도 전동기의 응용 분야에 따라 회전자 위치 센서를 부착하기 힘든 경우가 존재할 수 있기 때문에 회전자의 위치 및 속도 정보를 파악하기 위해 추정기를 적용하고, 이와 더불어, 유도 전동기의 재기동 시 돌입 전류나 회생 전압 발생을 방지할 수 있도록 하기 위한 구성을 갖는 새로운 기술을 제안하고자 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 인버터의 3상 교류 전원에 순간적인 정전 등이 발생되었다가 복전이 이루어지는 경우, 유도 전동기의 정지 없이 즉각 운전을 재개할 수 있도록 하기 위한 유도

전동기의 재기동 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0008] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 본 발명의 다른 목적 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있고, 본 발명의 실시예에 의해 보다 분명하게 이해될 것이다. 또한, 본 발명의 목적 및 장점들은 특허 청구 범위에 나타낸 수단 및 그 조합에 의해 실현될 수 있음을 쉽게 알 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 복전 과정에서 유도 전동기를 재기동 시키기 위한 유도 전동기의 재기동 방법에 있어서, 유도 전동기에 구동 신호가 공급되면 회전자의 위치 및 속도를 추정하는 위치 및 속도 추정 단계; 상기 위치 및 속도 추정 단계를 통해 추정된 회전자의 추정 속도가 기준 속도 이상인지 여부를 판단하는 속도 비교 단계; 상기 속도 비교 단계를 통해 회전자의 추정 속도가 기준 속도 이상으로 판단되면, 상기 회전자의 추정 속도에 대응되도록 속도 지령을 재설정 하는 속도 지령 재설정 단계; 상기 속도 지령 재설정 단계를 통해 재설정된 속도 지령에 대응되도록 제어 전압을 생성하고, 이를 이용하여 전압의 크기(magnitude)를 조정하는 전압 크기 조정 단계; 및 상기 전압 크기 조정 단계를 통해 전압 크기의 조정이 완료되면 목표 속도까지 유도 전동기를 재가속하는 재가속 단계;를 포함하는 유도 전동기의 재기동 방법을 제공한다.

[0010] 여기서, 본 발명은, 상기 속도 비교 단계를 통해 회전자의 추정 속도가 기준 속도 미만으로 판단되는 경우 상기 유도 전동기로 공급되는 구동 신호를 차단시키는 구동 신호 차단 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0011] 이때, 상기 전압 크기 조정 단계는, 상기 회전자의 역기전력 추정값과 상기 제어 전압에 대응되도록 생성되는 전압 지령을 이용해, 상기 회전자의 추정 역기전력의 크기로부터 상기 전압 지령의 크기까지 전압 크기를 점진적으로 조정하도록 구성되는 것이 바람직할 수 있다.

[0012] 이 경우, 상기 전압 지령은, MVC(Model-based Voltage Control) 또는 HVMC(Hexagon Voltage Manipulating Control) 방식에 의해 생성될 수 있다.

[0013] 한편, 상기 위치 및 속도 추정 단계는, 회전자 역기전력 추정값으로부터 회전자의 속도, 동기각 및 위치를 추정하도록 구성되는 것이 바람직할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 회전자 역기전력 추정값은, 고정자 전류, 고정자 전압 지령 및 유도 전동기의 제정수(parameter)를 이용하여 추정되는 것이 바람직할 수 있다.

발명의 효과

[0015] 전술한 바와 같은 본 발명에 의하면, 인버터의 3상 교류 전원에 순간적인 정전이 발생한 다음 복전이 이루어지는 경우 유도 전동기를 정지 시키지 않고 운전을 재개할 수 있어, 산업 현장 등에서 정전 발생으로 인한 비용 손실을 최소화 할 수 있다는 등의 효과가 있다.

[0016] 아울러, 유도 전동기의 재기동 과정 중 돌입 전류 및 회생 전압의 발생을 방지하기 위해 속도 추정 및 전압 조정 등의 기능을 구현함으로써, 인버터 소자 및 직류단 캐패시터의 손상을 방지할 수 있도록 한다는 등의 추가적인 장점을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 종래 기술에 따른 유도 전동기의 재기동 방법을 설명하기 위한 개념도이다.
 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 유도 전동기의 재기동 방법을 설명하기 위한 개념도이다.
 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 유도 전동기의 재기동 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
 도 4는 도 3의 전압 조정기를 이용한 전압 조정 방식을 설명하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 기술한 목적, 특징 및 장점은 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 후술되며, 이에 따라 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 상세한 설명을 생략한다.
- [0019] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 도면에서 동일한 참조부호는 동일 또는 유사한 구성요소를 가리키는 것으로 사용된다.
- [0020] 도 1은 종래 기술에 따른 유도 전동기의 재기동 방법을 설명하기 위한 개념도이다.
- [0021] 도 1을 참조하면, 종래 방식에 따른 유도 전동기(140)의 재기동을 위해 V/f 지령 전압 생성부(110), 펄스 제너레이터(120), 인버터(130), 전압 측정 장치(150), 위상 검출기(160) 및 보상 전압 계산부(170) 등이 구비됨을 확인할 수 있다.
- [0022] V/f 지령 전압 생성부(110)는 V/f 지령 전압을 생성한다.
- [0023] 펄스 제너레이터(120)는 V/f 지령 전압 생성부(110)에서 생성된 전압 지령을 게이트 신호(Gate signal)로 변환하여, 게이트 구동 회로(Gate drive circuit)를 통해 인버터(130)로 스위칭 신호를 전달한다.
- [0024] 인버터(130)는 전압형 인버터로써 3상 유도 전동기(140)에 전압을 인가하는 기능을 수행한다.
- [0025] 전압 측정 장치(150)는 3상 유도전동기(140)와 인버터(130) 사이의 권선 전압을 측정하는 기능을 수행한다.
- [0026] 위상검출기(160)는 측정된 전압의 크기, 주파수 및 위상을 추정하는 기능을 수행한다.
- [0027] 보상 전압 계산부(170)는 수정된 전압 지령 및 속도, 주파수 지령 등을 계산하여 V/f 지령 전압 생성부(110)에 대한 보상 전압을 생성한다.
- [0028] 즉, 정전이 발생되면 펄스 제너레이터(120)로부터 게이트 신호(gate signal)의 출력이 차단되고, 전동기(140)는 관성에 의해 자유 회전하게 된다.
- [0029] 전동기(140)가 자유 회전하는 동안 전압 측정 장치(150)를 통해 측정되는 전동기 입력단의 전압은 전동기(140)의 잔류 전압이며, 잔류 전압의 주파수는 회전자 속도와 동일하다.
- [0030] 따라서, 위상 검출기(160)를 통해 잔류 전압의 크기, 주파수 및 위상 등을 추정하며, 추정된 잔류 전압의 크기, 주파수, 위상을 이용해 전동기(140)의 재기동 시점에서 수정된 전압 지령을 계산함으로써 이를 재기동 운전에 사용하게 된다.
- [0031] 그리고 재기동 후에는 기존에 사용되던 V/f 전압 지령 생성부(110)의 전압 지령에 맞게 전압 크기를 증가시키고, 기존의 V/f 운전으로 전환하여 정상 운전 상태로 돌아가게 된다.
- [0032] 참고로, 이상에서 설명한 바와 같은 종래 기술에 따른 유도 전동기의 재기동 방법은, 「“전압 측정 장치를 사용한 고압 인버터의 재기동 방법”, 최승철, 홍찬욱, 유안노, 전력전자학회 2014년도 추계학술대회 논문집, 2014.11, p. 81-82.」을 참조하였음을 밝힌다.
- [0033] 이상과 같은 종래 기술에 따른 유도 전동기의 재기동 방법은, V/f 제어의 특성상 구현이 간단하다는 장점은 있지만, 회전자 위치와 속도를 정확하게 알 수 없기 때문에 효율적으로 재기동이 이루어지지 않으며, 순간적인 응답성이 떨어지기 때문에 순간적인 큰 돌입 전류가 발생할 수 있다는 등의 문제점이 있다. 또한, 전압 센서를 사용하기 때문에 전체적인 시스템의 구성 비용이 상승하게 된다는 등의 추가적인 단점도 갖는다.
- [0034] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 유도 전동기의 재기동 방법을 설명하기 위한 개념도이다.
- [0035] 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 유도 전동기(260)의 재기동 방법을 구현하기 위해, 속도 지령 출력부(210), 속도 제어기(220), 전압 지령 생성부(230), 펄스 제너레이터(240), 인버터(250), 회전자 역기전력 추정기(270), 위치/속도 추정기(280) 및 전압 조정기(290) 등이 구비됨을 확인할 수 있다.
- [0036] 속도 지령 출력부(210)는 속도 지령을 출력한다.
- [0037] 속도 제어기(220)는 일반적인 비례-적분 형태의 제어기로 구현될 수 있으며, 토크 지령의 출력을 통해 속도를

제어하는 기능을 수행한다.

- [0038] 전압 지령 생성부(230)는 전달받은 토크 지령에 대응되는 전압 지령을 생성하는 기능을 수행하는데, 유도 전동기(260)의 전압 모델 기반 개루프(open-loop) 백터 제어가 사용되도록 구성되는 것이 바람직할 수 있다.
- [0039] 펄스 제너레이터(240)는 전압 지령을 게이트 신호(Gate signal)로 변환하여 게이트 구동 회로(Gate drive circuit)를 통해 인버터(250)로 스위칭 신호를 전달하는 기능을 수행한다.
- [0040] 인버터(250)는 전압형 인버터로 구성될 수 있으며, 3상 유도 전동기(260)에 전압을 인가하는 기능을 수행한다.
- [0041] 회전자 역기전력 추정기(270)는 전압 지령 및 측정 전류를 바탕으로 회전자의 역기전력을 추정하는 기능을 수행한다.
- [0042] 위치/속도 추정기(280)는 회전자 역기전력 추정기(270)를 통해 추정된 회전자의 역기전력을 이용해 회전자의 위치 및 속도 정보를 추정하는 기능을 수행한다.
- [0043] 전압 조정기(290)는 속도 추정 모드(Mode 2)와 재가속 모드(Mode 4)의 전환이 자연스럽게 이루어질 수 있도록 전압 크기를 점진적으로 변화시키는 기능을 수행한다.
- [0044] 그 밖에 센서리스(sensorless) 위치 제어 등을 구현하기 위해 필요한 상 전류 측정 센서(S) 등이 구비됨을 확인할 수 있다.
- [0045] 즉, 본 발명의 실시예에 따른 유도 전동기의 제동 방법은, 복전이 이루어진 후 속도 추정, 전압 조정 및 재가속의 순서로 진행이 이루어진다.
- [0046] 여기서, 도 2에 표기된 모드(Mode)는 0일 경우 정상 운전 상태를 의미하고, 1일 경우 정전 상황, 2일 경우 속도 추정, 3일 경우 전압 조정, 그리고 4일 경우 재가속을 의미한다. 이 가운데 모드 1에 해당하는 정전 상황에서는 PWM 신호가 차단되어 인버터의 스위칭 동작이 정지된다.
- [0047] 속도 지령부(210)에서 입력된 유도 전동기(260)의 속도 지령을 추종하기 위해 비례-적분 제어기 등으로 구성되는 속도 제어기(220)가 사용될 수 있으며, 비례-적분 제어기(220)로부터 출력되는 토크 지령은 전압 지령 생성부(230)의 입력으로 사용된다.
- [0048] 전압 지령 생성부(230)에 의한 전압 지령 생성 방법은 전압의 제한 여부에 따라 Model-based Voltage Control(이하, MVC)과 Hexagon Voltage Manipulating Control(이하, HVMC)의 2가지로 구분 가능하다. 즉, 전압 제한에 해당하지 않을 경우에는 MVC를 이용하여 전압 지령을 출력하며, 전압 제한에 해당하는 경우에는 HVMC를 이용하여 전압 지령을 출력한다. 상기 각각의 방법에 대해서는 아래에서 수학적식을 이용해 설명할 수 있도록 한다.
- [0049] 먼저, MVC는 정토크 영역에서 정격 자속에 해당하는 자속식과 토크식으로부터 전압 지령을 구하는 방식이며, 이는 단위 전류당 최대 토크를 만족시키는 전압 지령이 된다. 정토크 영역에서 전압 지령을 구하기 위하여 회전자 자속 기준 제어에서의 유도 전동기 토크 및 자속식을 이용한다.
- [0050] 토크 및 자속식을 토크 지령과 자속 지령으로 나타내면 다음의 [수학식 1] 및 [수학식 2]와 같이 표현할 수 있다.

수학식 1

[0051]
$$T_e^* = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L_r} \lambda_{ds}^{e*} i_{qs}^{e*}$$

수학식 2

$$\lambda_{dr}^{e*} = \frac{L_m}{1 + \tau_r p} i_{ds}^{e*} \cong L_m i_{ds}^{e*}$$

[0052]

[0053] 여기서, T_e^* 는 속도 제어기(220)에서 출력된 토크 지령, λ_{dr}^{e*} 는 유도 전동기의 자속 지령, 그리고 i_{ds}^{e*} , i_{qs}^{e*} 는 동기 좌표계(synchronous reference frame)의 d축, q축 전류 지령을 각각 나타낸다.

[0054]

또, L_m , L_r 은 각각 유도 전동기의 자화 인덕턴스 및 회전자 동기 인덕턴스를 의미하며, τ_r 은 회전자 시정수, p 는 미분 연산자를 의미한다. 한편, 유도 전동기의 전압 방정식을 역기전력 항의 형태로 간략화 하면 다음의 수학적식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$v_{ds}^{e*} \cong -\omega_e \sigma L_s i_{qs}^{e*}$$

[0055]

수학식 4

$$v_{qs}^{e*} \cong \omega_e L_s i_{ds}^{e*}$$

[0056]

[0057] 여기서, v_{ds}^{e*} , v_{qs}^{e*} 는 동기 좌표계의 d축, q축 전압 지령을, ω_e 는 유도 전동기의 동기 각속도를 의미한다. 또한, L_s , σL_s 는 각각 유도 전동기의 고정자 인덕턴스 및 과도 인덕턴스를 의미한다.

[0058]

그리고, 이상의 [수학적식 1] 내지 [수학적식 4]를 연립하면 토크 및 자속 지령으로부터 동기 좌표계 전압 지령을 다음과 같이 계산할 수 있다.

수학식 5

$$v_{ds}^{e*} = -\frac{T_e^* \omega_e \sigma L_s}{\frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L_r} \lambda_{dr}^{e*}}$$

$$v_{qs}^{e*} = \frac{\lambda_{dr}^{e*}}{L_m} \omega_e L_s$$

[0059]

[0060]

한편, HVMC는 전압 크기가 제한되는 약계자 영역에서 전압 이용을 최대로 하기 위해 전압 제한 육각형과 토크 식으로부터 전압 지령을 구하는 방법이다.

[0061]

유도 전동기의 토크 식을 전압 지령을 이용하여 표현하면 다음의 수학적식과 같다.

수학식 6

$$T_e^* = \frac{3 P L_m^2}{2 2 L_r} \cdot \left(-\frac{v_{ds}^{e*}}{\omega_e \sigma L_s} \right) \cdot \left(\frac{v_{qs}^{e*}}{\omega_e L_s} \right)$$

[0062]

[0063] 전압 제한의 경우, 동기 좌표계 상에서 회전하는 육각형의 형태로 표현되며, 전압 제한 육각형의 6개의 각 변들은 다음과 같이 직선의 방정식으로 표현될 수 있다.

수학식 7

$$v_{qs}^{e*} = M_n v_{ds}^{e*} + B_n \quad (n = 1, 2, \dots, 6)$$

[0064]

[0065] 여기서, M_n 과 B_n 은 회전하는 육각형의 6개 직선 각각의 기울기와 절편을 의미하며, 동기각이 회전함에 따라 변하는 상수값이다. 그리고 [수학식 6] 및 [수학식 7]을 연립하면 다음과 같은 전압 지령의 해(solution)를 얻을 수 있다.

수학식 8

$$\therefore \begin{cases} v_{ds}^{e*} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ v_{qs}^{e*} = M_n v_{ds}^{e*} + B_n \end{cases}$$

[0066]

$$a = M_n, \quad b = B_n, \quad c = \frac{T_e^*}{\frac{3 P L_m^2}{2 2 L_r} \frac{1}{\omega_e \sigma L_s} \frac{1}{\omega_e L_s}}$$

[0067]

여기서,

[0068]

즉, HVMC는 유도 전동기의 토크 곡선과 전압 제한 육각형의 교점을 의미한다.

[0069]

v_{ds}^{e*} , v_{qs}^{e*} , 즉, 동기 좌표계의 d축, q축 전압 지령은 위치/속도 추정기(280)의 출력 정보인 추정 동기각($\hat{\theta}_e$)을 이용하여 3상 a-b-c 좌표계로 변환된 후 v_{abc}^* 로 출력된다.

[0070]

회전자 역기전력 추정기(270)는 3상 a-b-c 좌표계 고정자 전류, i_{abc}^* 와 고정자 전압 지령, v_{abc}^* 과 유도 전동기의 제정수(parameter)를 이용하여 3상 a-b-c 좌표계 회전자 역기전력(\hat{E}_{abc}^s)을 추정한다.

[0071]

위치/속도 추정기(280)는 \hat{E}_{abc}^s 를 이용하여 회전자 속도, 동기각 및 회전자의 위치를 추정한다.

[0072]

이상의 내용과 관련한 보다 자세한 사항은, 「Seok, J.; Kim, S., "Hexagon Voltage Manipulating Control (HVMC) for AC Motor Drives Operating at Voltage Limit," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol.PP, no.99, pp.1,1」 등의 참고문헌을 참조하도록 한다.

- [0073] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 유도 전동기의 재기동 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- [0074] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 유도 전동기의 재기동 방법은, 정전 여부 판단 단계(S310), 복전 여부 판단 단계(S330), 전동기의 회전 속도에 따라(S350) 속도 지령을 재설정 하는 단계(S370), 전압 크기 조정 단계(S380) 및 재가속 단계(S390) 등을 포함하여 구성됨을 확인할 수 있다.
- [0075] 정전이 발생(S310)되면 우선 PWM의 차단(S320)이 이루어진다. 즉, 도 2를 참조할 경우, 인버터(250)의 입력단에 연결된 스위치가 Mode1로 전환되며 PWM의 차단(S320)에 의해 게이팅 신호(gating signal)는 모두 오프(off) 상태가 된다.
- [0076] 이후, 복전(S330)이 이루어지면 다시 PWM 신호가 출력되며, 회전자 역기전력 추정기(270) 및 위치/속도 추정기(280)가 회전자의 위치 및 속도를 추정한다. 또한, 펄스 제너레이터(240)의 입력단에 연결된 스위치는 Mode2로 전환되며, 전압 지령과 측정 전류를 이용하여 회전자 역기전력 추정기(270) 및 위치/속도 추정기(280)로부터 복전 시의 회전자 정보를 얻게 된다.
- [0077] 즉, 회전자 역기전력 추정기(270)를 이용해 자유 회전하고 있는 전동기의 회전자 역기전력(\hat{E}_{abc}^s)을 추정하고, 위치/속도 추정기(280)를 이용해 현재 회전자의 위치($\hat{\theta}_e$)와 속도($\hat{\omega}_r$)를 추정한다.
- [0078] 이와 같은 속도 추정이 이루어지는 동안 회전자 역기전력과 고정자 전압 간의 전위차를 최소화 함으로써 고정자 측의 돌입 전류를 최소화 하기 위해, 회전자 역기전력 추정기(270)에서 추정된 역기전력(\hat{E}_{abc}^s)을 인버터의 전압 지령으로 사용한다. 속도 추정은 회전자 역기전력 추정기(270) 및 위치/속도 추정기(280)의 제어 대역폭에 따라 추정 성능이 결정되며, 추정 초기에 과도 상태를 가질 수 있으므로, 회전자 속도의 추정이 정상 상태에 진입될 때까지 속도 추정 모드(Mode2)를 유지하는 것이 좋다.
- [0079] 이어서, 다음 단계(S350)에서는 이와 같이 추정된 속도(\hat{f}_r)가 센서리스 제어의 안정성을 보장하기 위한 최저 속도(f_{min}) 미만인지 여부를 판단한다.
- [0080] 상기 판단(S350)의 결과 추정된 속도가 최저 속도 미만일 경우에는 다시 PWM을 차단(S360)하여 전동기를 정지하도록 한다. 즉, 추정 속도가 최저 속도 미만으로 판단되는 경우에는 앞서의 정전 상태에서와 동일한 동작으로 PWM을 차단함으로써, 인버터(250)의 입력단에 연결된 스위치가 Mode1로 전환되어 PWM 차단에 의해 게이팅 신호가 모두 오프(off) 상태를 유지하도록 설정된다.
- [0081] 반면, 판단(S350)의 결과 추정 속도가 최저 속도 이상일 경우, 추정된 현재의 속도로 속도 지령을 재설정(S370)한다. 다시 말해, 속도 추정이 완료된 시점에 속도 지령 출력부(210)는 위치/속도 추정기(280)에서 출력된 추정 회전자 속도($\hat{\omega}_r$)로 속도 지령을 재설정하며, 재설정된 속도 지령을 이용하여 속도 제어기(220) 및 전압 지령 생성부(230)를 통해 제어 전압(v_{abc}^*)을 생성한다.
- [0082] 이와 같은 동작의 결과, 전압 지령 생성부(230)로부터 생성된 전압 지령(v_{abc}^*)과 회전자 역기전력 추정기(270)의 회전자 역기전력 추정값(\hat{E}_{abc}^s)은 같은 주파수를 갖게 되지만, 회전자 역기전력 추정기(270)의 회전자 역기전력은 회전자의 자속 변화에 따라 크기가 변화하므로 전압 지령 생성부(230)의 전압 지령과 다른 크기를 갖게 된다.
- [0083] 따라서, 다음의 전압 크기 조정 단계(S380)에서는 속도 추정 모드(Mode2)와 재가속 모드(Mode4)의 전환이 자연스럽게 이루어질 수 있도록 전압 크기를 점진적으로 변화시킨다. 이 때, 펄스 제너레이터(240)의 입력단에 연결된 스위치는 Mode3로 전환된다.
- [0084] 다시 말해, 회전자 역기전력 추정기(270)의 회전자 역기전력과 전압 지령 생성부(230)의 전압 지령의 크기 차이를 자연스럽게 조정하지 않으면, 속도 추정 모드(Mode2)와 재가속 모드(Mode4) 사이의 모드 전환 시 갑작스러운

전압 크기 변화로 인한 돌입 전류 발생 등의 가능성이 있으므로, 전압 조정기(290)를 이용하여, 회전자 역기전력 추정기(270)의 추정 회전자 역기전력의 크기(magnitude)로부터 전압 지령 생성부(230)의 전압 지령 크기(magnitude)까지 점진적으로 전압을 변화시키도록 하는 구성을 본 발명은 제공한다.

[0085] 전압 조정기(290)의 구성과 기능에 대해서는 다음의 도 4를 이용하여 설명할 수 있도록 한다.

[0086] 도 4는 도 3의 전압 조정기를 이용한 전압 조정 방식을 설명하기 위한 그래프이다.

[0087] 도 4를 참조하면, (a)는 속도 추정 구간, 즉, Mode2를 의미한다. 해당 구간에서는 회전자 역기전력 추정값의 크기를 구하게 된다.

[0088] (b)는 전압 조정 구간, 즉 Mode3을 의미한다. 해당 구간에서는 추정 회전자 역기전력의 크기로부터 전압 지령의 크기까지 점진적으로 전압의 변화가 이루어진다.

[0089] (c)는 재가속 구간, 즉, Mode4를 의미한다. 해당 구간은 유도 전동기의 재기동을 위한 준비가 마무리 된 상태로써, 유도 전동기를 정상 운전 시의 속도로 재가속 하게 된다.

[0090] (d)는 재설정된 속도 지령으로부터 계산된 전압 지령의 크기 대비 회전자 역기전력의 크기 간 비를 나타낸 값이다.

[0091] 다시 말해, 속도 추정 구간(a)에서 사용된 회전자 역기전력(\hat{E}_{aber}^*)의 크기를 $|v_{bemf}|$ 라 하고, 재설정된 속도지령으로부터 계산된 재기동 전압지령(v_{abcs}^*)의 크기를 $|v_{dqs_restart}^{e*}|$ 라 할 때, 초기 전압 지령 크기 대비 회전자 역기전력의 크기 비는 다음의 [수학식 9]와 같이 k_0 를 이용하여 나타낼 수 있다.

수학식 9

$$k_0 = \frac{|v_{bemf}|}{|v_{dqs_restart}^{e*}|}$$

[0092]

[0093] 전압 조정 구간(b)에서의 비례 상수 k 의 값은 k_0 에서 1로 변하게 되며, 동기 좌표계에서 고정자 전압 지령은 다음의 [수학식 10]과 같이 재기동 전압 지령에 비례 상수 k 를 곱하여 램프 형태로 변화하도록 이루어질 수 있다.

수학식 10

$$v_{dqs}^{e*} = k \cdot v_{dqs_restart}^{e*}$$

[0094]

[0095] 즉, 다시 도 3을 참조하면, 재가속 단계(S390)는 전압 크기 조정 단계(S380)가 완료된 후, 다시 말해 전압 조정 모드가 마무리 된 후, 가속 프로파일에 맞춰 원하는 목표 속도까지 전동기를 재가속하는 과정을 의미한다.

[0096] 재가속 단계(S390)에서는 유도 전동기의 재기동을 위한 준비 과정이 완료된 상태이므로, 속도 지령 출력부(210)가 정상 운전시의 속도 지령값까지 속도 지령을 변화킴으로써, 재설정된 속도 지령을 이용하여 속도 제어기(220) 및 전압 지령 생성부(230)를 통해 유도 전동기(260)를 재가속 하게 된다.

[0097] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명의 실시예에 따른 유도 전동기의 재기동 방법에 따르면, 인버터의 3상 교류

전원에 순간적인 정전 등이 발생되었다가 복전되는 과정에서 유도 전동기를 정지시키지 않고 운전을 재개할 수 있게 됨으로써, 산업 현장 등에서 정전으로 인한 비용 손실을 방지할 수 있도록 한다는 등의 효과를 제공할 수 있음에 대해서는 전술한 바 있다.

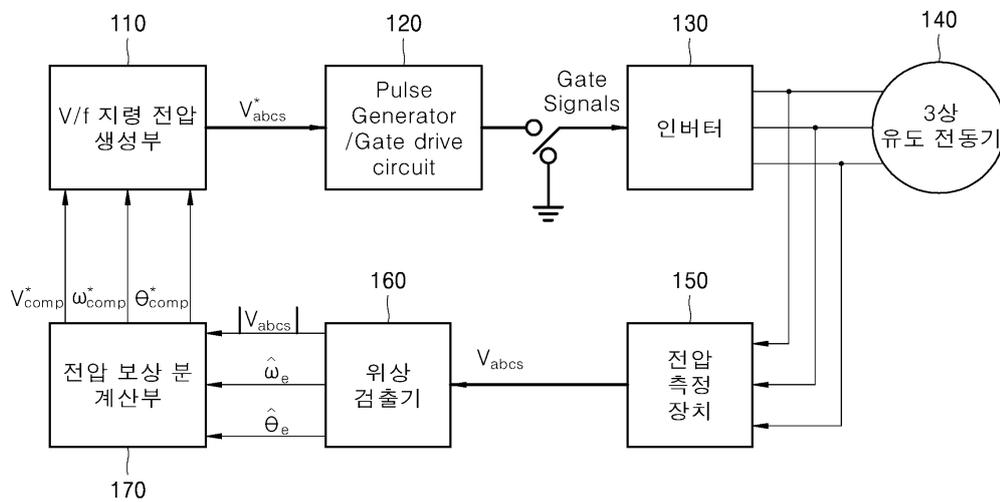
[0098] 전술한 바와 같은 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 기술자에게 있어 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하므로, 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니다.

부호의 설명

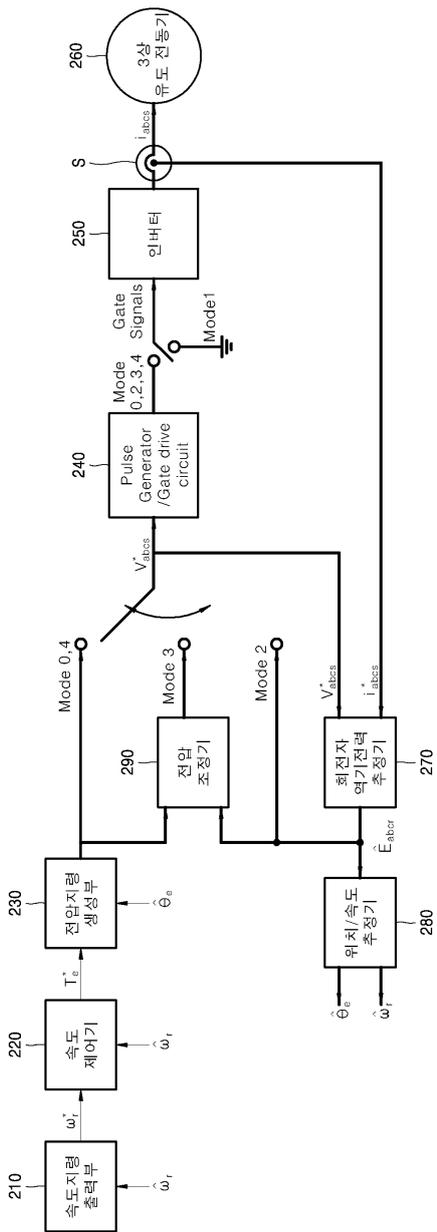
- [0099] 110: V/f 지령 전압 생성부 120: 펄스 제너레이터
 130: 인버터 140: 유도 전동기
 150: 전압 측정 장치 160: 위상 검출기
 170: 보상 전압 계산부 210: 속도 지령 출력부
 220: 속도 제어기 230: 전압 지령 생성부
 240: 펄스 제너레이터 250: 인버터
 260: 유도 전동기 270: 회전자 역기전력 추정기
 280: 위치/속도 추정기 290: 전압 조정기

도면

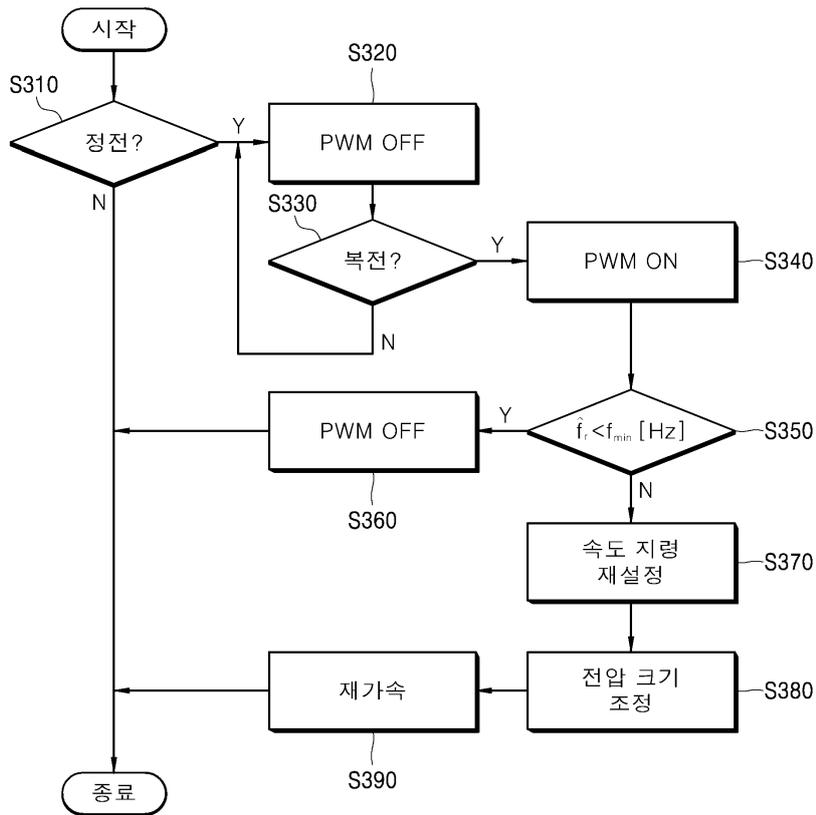
도면1



도면2



도면3



도면4

