



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0109265
(43) 공개일자 2016년09월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02K 1/27 (2006.01) H02K 21/14 (2014.01)
(52) CPC특허분류
H02K 1/278 (2013.01)
H02K 1/27 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0033364
(22) 출원일자 2015년03월10일
심사청구일자 2015년03월10일
기술이전 희망 : 기술양도

(71) 출원인
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
김규탁
경상남도 창원시 성산구 삼정자로 79, 105동 302호 (성주동, 유니온빌리지아파트)
김동영
경상남도 밀양시 북성로7길 16, B동 301호 (내일동, 미덕상가)
(74) 대리인
김종선, 이형석

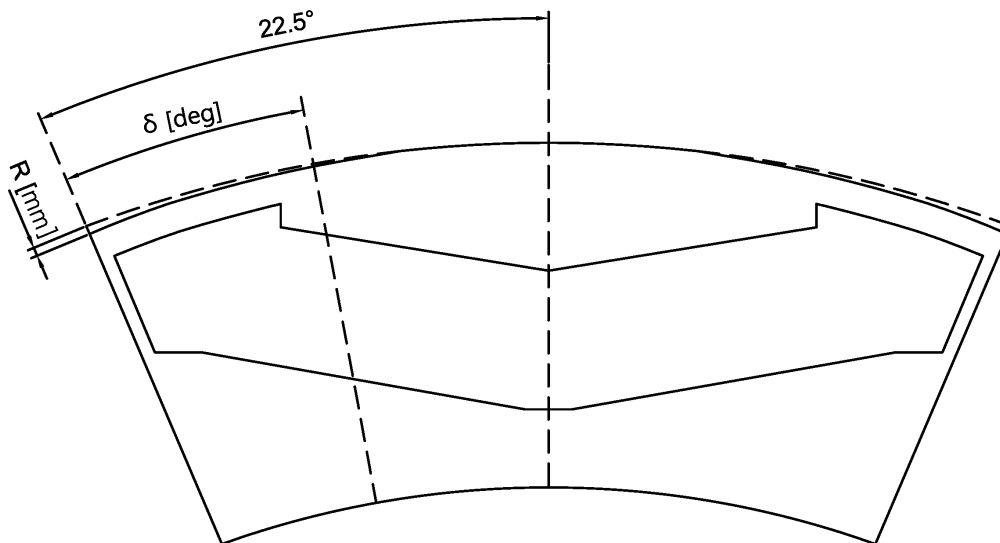
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 진동 저감 IPM 타입 전동기

(57) 요약

본 발명은 진동 저감 IPM 타입 전동기에 관한 것으로, 상세하게는, 고정자 및 회전자를 포함하는 IPM 타입 전동기의 효율 향상 및 토크리플을 저감하기 위하여 회전자 및 고정자 형상을 변형하여 형성하고 회전자 표면에 아크를 설치하여 토크리플을 저감하며 공진 주파수 영역의 가진력을 저감함으로써 진동 및 소음 특성을 개선한다.

대표도 - 도9a



(52) CPC특허분류

H02K 21/14 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345231147

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 산학협력선도대학(LINC)육성(0.5)

연구과제명 IPM 타입 영구자석 전동기의 진동 저감 및 효율향상 설계

기 여 율 1/1

주관기관 창원대학교

연구기간 2014.06.01 ~ 2014.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

고정자 및 회전자를 포함하며,

상기 회전자는 복수 개의 영구자석 삽입용 슬롯을 구비하고, 공진 주파수 영역의 가진력 성분을 저감하기 위한 아크가 상기 복수 개 영구자석 삽입용 슬롯 각각의 양 종단 위치에 해당되는 외주 표면에 형성되는 진동 저감 IPM 타입 전동기.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 아크의 설계 변수는 δ 및 R이며, δ 는 아크의 시작 위치이고, R은 아크가 형성되기 이전 상태의 회전자 최 외경과의 거리로서 아크의 최대 깊이를 나타내며, 구동토크의 감소 허용 범위가 1% 내로 설정되도록 아크가 형성되는 진동 저감 IPM 타입 전동기.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

8극 모델일 경우 상기 영구자석 삽입용 슬롯에 삽입되는 영구자석 간 이격 거리의 절반(α)의 전기각은 18도로 설정되는 진동 저감 IPM 타입 전동기.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 영구자석 삽입용 슬롯에 삽입되는 영구자석은 d축 방향으로 자속이 집중되도록 두 부분으로 분할되어 V 타입 형상으로 형성되는 진동 저감 IPM 타입 전동기.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 회전자의 V 타입 영구자석의 주 자로를 형성하는 부분의 길이인 자속 장벽 간 거리 y 를 구동 토크가 높고 토크리플이 저감되도록 조절하는 진동 저감 IPM 타입 전동기.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

구동 특성 향상을 위하여 상기 고정자의 슈 두께를 증가시키며, 상기 고정자의 치 폭을 조절하고 상기 고정자의 권선사양을 조절하며, 고정자 치 폭 및 권선사양 변화에 따라 상기 고정자의 요크의 두께를 조절하는 진동 저감 IPM 타입 전동기.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 진동이 저감되는 IPM(Interior Permanent Magnet) 타입 전동기에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 회전자 및 고정자 형상 설계를 수행하여 효율 향상 및 토크리플을 저감하고 회전자 표면에 아크를 설치하여 토크리플 저감은 물론 공진 주파수 영역의 가진력을 저감함으로써 진동 및 소음 특성을 개선하는 진동 저감 IPM 타입 전동기에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 최근 석탄, 석유 등과 같은 에너지 자원의 고갈은 물론, 지구 온난화 등과 같은 문제로 인하여 정부차원에서도 에너지 고효율화 정책을 시행하여 국가 전력의 60%를 차지하고 있는 유도 전동기에 대하여 고효율 전동기의 판매를 의무화하는 최저효율제(MEPS : Minimum Energy Performance Standards)를 실시하고 있다. 전동기 시장에서 에너지 절약에 관한 요구가 급속히 증가하면서 기존의 유도 전동기를 고효율화하기 위한 연구가 많이 진행되었으나 근본적으로 유도 전동기는 여자전류와 회전자 동손이 존재하기 때문에 고효율화의 한계에 직면하고 있다.
- [0003] 이에 따라 단위 체적 당 높은 토크 성분을 얻을 수 있는 IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor), 즉, IPM 타입 전동기에 대한 수요가 증가하고 있다. IPM 타입 전동기는 영구자석을 회전자 철심에 매입하여 기계적으로 강인한 회전자 구조와 d축, q축 인덕턴스 차이에 의하여 발생한 릴럭턴스 토크가 마그네틱 토크와 결합하여 단위 체적 당 발생하는 토크가 타 전동기에 비해 큰 장점이 있다.
- [0004] 그러나, IPM 타입 전동기는 회전자 철심에 국부적인 자기 포화현상이 발생하고 유효 공극이 작아 높은 자속밀도로 인하여 코깅 토크(Cogging torque)가 크게 발생하여 운전 시 진동 및 소음이 크게 발생하게 되는 문제가 있다. 특히, 진동 발생의 주원인인 가진력이 기기 구조물의 공진 주파수와 일치할 경우에는 공진이 발생하여 기기의 구동 특성과 내구성을 악화시키는 물론 다른 시스템에 악영향을 미치게 된다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1000410호 (2010. 12. 06 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은 상기한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 본 발명의 목적은 회전자 및 고정자 형상 설계를 수행하여 효율 향상 및 토크리플을 저감하고 회전자 표면에 아크를 설치하여 토크리플 저감은 물론 공진 주파수 영역의 가진력을 저감함으로써 진동 및 소음 특성을 개선하는 진동 저감 IPM 타입 전동기를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 상기한 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 의한 진동 저감 IPM 타입 전동기는, 고정자 및 회전자를 포함하며, 상기 회전자는 복수 개의 영구자석 삽입용 슬롯을 구비하고, 공진 주파수 영역의 가진력 성분을 저감하기 위한 아크가 상기 복수 개 영구자석 삽입용 슬롯 각각의 양 종단 위치에 해당되는 외주 표면에 형성된다.
- [0008] 상기 아크의 설계 변수는 δ 및 R이며, δ 는 아크의 시작 위치이고, R은 아크가 형성되기 이전 상태의 회전자 최 외경과의 거리로서 아크의 최대 깊이를 나타내며, 구동토크의 감소 허용 범위가 1% 내로 설정되도록 아크가 형성된다.

- [0009] 8극 모델일 경우 상기 영구자석 삽입용 슬롯에 삽입되는 영구자석 간 이격 거리의 절반(α)의 전기각은 18도로 설정된다.
- [0010] 상기 영구자석 삽입용 슬롯에 삽입되는 영구자석은 d축 방향으로 자속이 집중되도록 두 부분으로 분할되어 V 타입 형상으로 형성된다.
- [0011] 상기 회전자의 V 타입 영구자석의 주 자로를 형성하는 부분의 길이인 자속 장벽 간 거리 γ 를 구동 토크가 높고 토크리플이 저감되도록 조절한다.
- [0012] 구동 특성 향상을 위하여 상기 고정자의 슈 두께를 증가시키며, 상기 고정자의 치 폭을 조절하고 상기 고정자의 권선사양을 조절하며, 고정자 치 폭 및 권선사양 변화에 따라 상기 고정자의 요크의 두께를 조절한다.
- [0013] 상기 회전자의 V 타입 형상의 영구자석의 기울기가 3도로 설정된다.
- [0014] 상기 회전자의 영구자석의 주 자로를 형성하는 부분의 길이인 자속 장벽 간의 거리는 10.3mm로 설정되며, 상기 자속 장벽의 립 부재는 기계적인 강도와 자기 포화를 고려하여 0.5mm로 고정될 수 있다.

발명의 효과

- [0015] 본 발명은 고정자의 모달 해석을 수행하여 공진 주파수를 산정하고 공진 영역에서의 가진력을 분석하며 가진력 저감을 위하여 회전자의 표면에 아크를 설계함으로써 진동을 저감하는 효과가 있다.
- [0016] 더불어, 회전자 및 고정자의 형상 설계를 수행함으로써 전동기 효율을 향상시키는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 일반적인 IPM 타입 전동기의 회전자 및 고정자의 대략적인 형상을 나타내는 도면
- 도 2는 본 발명에 의한 회전자의 영구자석의 폭을 설명하기 위한 예시도
- 도 3은 본 발명에 의한 영구자석의 폭(즉, 영구자석의 이격 거리의 절반(α))에 대한 구동 특성을 유한요소해석(FFT)을 통해 고찰한 결과를 나타내는 도면
- 도 4는 본 발명에 의한 회전자의 V 타입 영구자석 및 자속 장벽을 설명하기 위한 예시도
- 도 5는 본 발명에 의한 고정자 형상 설계를 위한 고정자 슈(stator shoe)의 두께에 따른 특성 변화를 설명하기 위한 예시도
- 도 6은 본 발명에 의한 고정자 슈 두께 변화에 따른 특성 변화를 나타내는 그래프
- 도 7은 본 발명에 의한 고정자 치 폭 변화에 따른 역기전력의 FFT 분석 결과를 나타내는 그래프
- 도 8은 본 발명에 의한 고정자 치 폭 변화에 따른 정토크의 FFT 분석 결과를 나타내는 그래프
- 도 9a는 본 발명에 의한 IPM 타입 전동기의 진동 저감을 위한 회전자 구조의 일부를 나타내는 도면
- 도 9b는 본 발명에 의한 IPM 타입 전동기의 진동 저감을 위한 회전자 전체 구조를 나타내는 도면
- 도 10은 본 발명에 의한 아크의 설계 변수 δ 및 R의 변화에 따른 전동기 특성을 나타내는 도면
- 도 11은 회전자 표면에 아크 적용 여부에 따른 구동토크를 비교한 그래프
- 도 12는 도 1의 기본 모델을 구비한 일반적인 전동기 및 본 발명에 의한 전동기의 가진력을 비교한 방사 패턴 그래프
- 도 13은 도 1의 기본 모델을 구비한 일반적인 전동기 및 본 발명에 의한 전동기의 가진력을 FFT 분석한 결과를 나타내는 그래프
- 도 14는 도 1의 기본 모델을 구비한 일반적인 전동기의 진동 실험 결과 및 본 발명에 의한 전동기의 진동 실험 결과를 비교한 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0019] 도 1은 일반적인 IPM 타입 전동기의 회전자 및 고정자의 대략적인 형상을 나타내는 도면이다. 도 1의 (a)는 일반적인 회전자(10) 및 고정자(20) 간 배치 구성을 나타내고, 도 1의 (b)는 일반적인 회전자(10) 형상을 나타내며 본 발명의 실시예에서는 8극 모델이 적용되며 본 발명은 8극 모델에 한정되는 것은 아니다. 도 1의 (c)는 일반적인 고정자(20) 형상을 나타낸다.
- [0020] 본 발명에서 IPM 타입 전동기의 효율을 향상시키기 위하여 회전자 및 고정자의 형상 설계를 수행한다.
- [0021] 즉, 전동기의 구동 특성을 개선하기 위해서는 공극 자속밀도의 기본과 개선은 물론 고조파 성분을 제거해야 한다. 즉, 공극 자속 밀도의 분포가 정현파에 가까워질수록 구동 토크 향상 및 토크리플 저감의 효과를 기대할 수 있다. 이를 위해 본 발명에서는 회전자 형상 설계를 수행하며, 설계 변수로 영구자석의 폭, V 타입 영구자석 및 자속 장벽을 적용한다.
- [0022] 또한, 영구자석의 자속이 집중됨에 따라 철심의 자기포화영역이 증가함이 확인되었다. 고정자 철심이 자기적으로 포화되면 전동기의 철손이 증가할 뿐만 아니라 회전자계 형성에 영향을 미치게 되어 누설자속이 증가하고 코깅 토크 및 구동토크 저하의 원인이 된다. 따라서 전동기의 효율을 향상시키기 위하여 본 발명에서는 고정자 철심의 자속밀도를 낮추기 위한 고정자 형상 설계를 수행한다.
- [0023] 먼저, 본 발명에서 전동기의 효율 향상을 위하여 회전자 형상 설계에 대하여 설명하기로 한다.
- [0024] 본 발명에서 회전자 형상 설계를 위하여, 영구자석의 폭, V 타입 영구자석 및 자속 장벽을 설계 변수로 적용한다.
- [0025] 도 2는 본 발명에 의한 회전자의 영구자석의 폭을 설명하기 위한 예시도이다.
- [0026] 전기각(electrical angle) 360도에서 τ 를 한 극분으로 설정하고 영구자석의 이격 거리의 절반을 설계 변수 α 로 지정한다. α 의 전기각을 변화시켜가며 회전자와 고정자 간 공극의 자속 밀도를 분석한다.
- [0027] 설계 변수로서 영구자석의 폭, 즉, 영구자석의 이격 거리의 절반(α)에 대한 기본 제반 특성을 유한요소해석을 통해 고찰한 결과는 도 3에 나타난 바와 같다. 즉, 도 3에 나타난 바와 같이, 기본 모델의 유한요소해석 구동토크는 1.887[Nm]이며 설계 변수를 점차적으로 변화시켰을 때, 즉, 영구자석의 폭이 좁아질수록 코깅 토크 특성은 나빠지는 반면에, 구동토크는 다소 증가함을 확인할 수 있다. 그러므로 본 발명에서는 설계변수 영구자석의 이격 거리의 절반(α)의 전기각으로서 18도로 선정하였다. 또한, α 의 전기각이 18도에서 고조파가 가장 크게 저감된다.
- [0028] 도 4는 본 발명에 의한 회전자의 V 타입 영구자석 및 자속 장벽을 설명하기 위한 예시도이다.
- [0029] IPMSM(Interior permanent magnet synchronous motor)은 회전자의 영구자석 위치 구조에 따라 자속 집중방식의 매입형 전동기의 경우 전동기의 출력 및 효율의 특성을 보다 향상시킬 수 있다. 즉, 공극 자속이 정현적으로 분포할 경우 구동 특성이 향상될 수 있다. 따라서 본 발명에서는 도 4에 도시된 바와 같이 IPMSM의 회전자의 영구자석을 두 부분으로 분할하여 V 타입 형상으로 형성함으로써 d축 방향으로 자속을 집중시키는 설계를 수행하였다. 이는 주 자속의 경로를 제한하여 영구자석에 의해 발생하는 공극자속밀도를 정현적으로 분포하게 한다. 이러한 모델을 본 발명에서 편의상 V 타입 영구자석으로 지칭한다. 도 4에 도시된 바와 같이, V 타입 영구자석에 대한 설계 변수 β 는 회전자의 V 타입 영구자석의 기울기를 나타낸다.
- [0030] V 타입 영구자석에서는 설계 변수 β 의 변화에 따라 제반 특성의 변화를 보인다. β 의 각도 3°에서 코깅토크가 가장 크게 나타나지만, 역기전력 및 구동토크 또한 최대값을 가지므로 구동토크의 크기가 최대 3% 증가함을 확인하였다. 이에 본 발명에서는 회전자의 V 타입 영구자석의 기울기인 설계 변수 β 의 값을 3도로 선정한다.
- [0031] 또한, 본 발명에 의한 회전자 형상 설계를 위한 자속 장벽에 대해 설명하면, 자속장벽은 공극자속밀도의 정현적인 분포를 형성하기 때문에 공극자속밀도의 고조파 성분 저감을 통해 코깅 토크를 줄일 수 있고, 기본과 성분을 향상시킬 수 있으므로 구동토크 향상의 효과를 기대할 수 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, 림(Rib) 부재는 기계적인 강도와 자기 포화를 고려하여 0.5[mm]로 고정하였다. 또한, 설계 변수 γ 로는 회전자의 V 타입 영구자석의 주 자로를 형성하는 부분의 길이, 즉, 자속 장벽 간의 거리를 선택한다. 설계 변수 γ 를 조절하여 그에 따른 구

동 특성을 분석하여 최적의 길이를 설정한다.

- [0032] 설계 변수 γ 의 길이가 10.5[mm]~9.9[mm]인 경우 구동 토크가 가장 높지만 γ 의 길이가 짧아질수록 토크리플이 저감되는 양상을 나타낸다. 하지만 자속장벽 간의 거리 γ 가 너무 가까워지면 기계적 강성이 약해져서 회전자 최대 변위가 급격히 증가될 수 있다. 이에, γ 의 길이에 따른 회전자 변위 해석을 수행하여, γ 의 길이를 10.3[mm]로 선정하였으며 이 경우 구동토크가 4%가 증가되어 최대로 계산되었다.
- [0033] 다음으로, 본 발명에서 전동기의 효율 향상을 위하여 고정자 형상 설계에 대하여 설명하기로 한다.
- [0034] 회전자의 영구자석의 자속이 집중됨에 따라 철심의 자기포화영역이 증가한다. 고정자 철심이 자기적으로 포화되면 전동기의 철손이 증가할 뿐만 아니라 회전자계 형성에 영향을 미치게 되어 누설자속이 증가하고 코깅토크 및 구동토크 저하의 원인이 된다. 따라서 본 발명에서는 고정자 철심의 자속밀도를 낮추기 위한 고정자 형상 설계를 수행하였다.
- [0035] 도 5는 본 발명에 의한 고정자 형상 설계를 위한 고정자 슈(stator shoe)의 두께에 따른 특성 변화를 설명하기 위한 예시도이다. 고정자 슈의 B-B'로 형성되는 두께는 도 1의 (c)에 도시된 일반적인 고정자의 슈의 두께를 나타낸다.
- [0036] 영구자석의 자속이 집중되면서 고정자 shoe에서 자기포화영역이 증가하므로 자기포화영역을 줄이기 위한 설계변수를 설정하여 실험계획법을 통한 shoe 형상 설계를 수행한다.
- [0037] 도 6은 본 발명에 의한 고정자 슈 두께 변화에 따른 특성 변화를 나타내는 그래프이다. 고정자 슈의 끝 부분은 C지점, 치(Tooth)와 연결된 부분은 E' 지점인 경우, 즉, 고정자 슈의 두께를 증가시킨 경우, 고정자 슈에서 더 이상 자기포화가 발생하지 않고 이에 따라 구동토크가 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0038] 또한, 본 발명에서는 고정자 형상 설계를 위하여, 고정자 치 폭을 변화시키며 권선사양을 조절한다.
- [0039] 영구자석의 자속이 집중됨에 따라 고정자 치 영역에서도 주기적으로 자기포화현상이 발생하기 때문에 누설 자속이 증가하여 구동 특성에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 발명에서는 고정자 치 폭에 대한 설계변수를 설정하여 치 폭을 재설계한다. 또한, 구동특성 향상을 위하여 고정자의 권선사양을 조절한다.
- [0040] 도 7은 본 발명에 의한 고정자 치 폭 변화에 따른 역기전력의 FFT 분석 결과를 나타내는 그래프이고, 도 8은 본 발명에 의한 고정자 치 폭 변화에 따른 정토크의 FFT 분석 결과를 나타내는 그래프이다. 고정자 치 폭이 5.5mm로 조절된 경우에 고조파 성분이 현저히 저감됨을 확인할 수 있다.
- [0041] 더불어, 도 1에 도시된 기본 모델과 동일한 점적율(어떤 공간을 차지하고 있는 물체의 순 단면적의 비율)을 유지하기 위해, 본 발명에서는 고정자 치 폭 및 권선사양 변화에 따라 고정자의 요크(Yoke)의 두께를 조절한다.
- [0042] 이와 같이, 회전자 및 고정자 형상 설계를 통해 구동 토크를 향상하고 토크리플을 개선함으로써 IPM 타입 전동기의 효율이 향상된다. 하지만 전동기의 진동 발생의 주원인은 가진력이며, 고유 진동 주파수와 일치하게 되면 공진이 발생하여 진동 및 소음이 크게 발생하게 된다. 따라서 본 발명에서는 고정자의 모달 해석을 통해 고정자의 고유 진동 주파수를 계산하고 공진 주파수 영역에서의 가진력 저감을 위하여 회전자 표면에 아크를 형성한다.
- [0043] 공진이란 강제 진동에서 외력이 가진 주파수가 진동계의 고유 진동수와 일치하여, 입력이 계속 가해짐에 따라 진동이 커지고 결국은 격심한 진동을 일으키는 현상을 말한다. 공진 현상이 발생할 경우에는 특별히 외력과 응답이 속도가 같은 위상을 갖게 되어 외력에 의한 진동계의 에너지 공급이 이루어지게 된다. 통상 외력에 의한 진동 주파수가 고유 진동수의 약 $\pm 20[\%]$ 이내로 되면 공진 현상이 나타나고, 두 주파수가 접근함에 따라 파괴적인 진동이 된다. 따라서 본 발명에서는 고정자의 고유 진동 주파수가 진동 및 공진의 지배적인 역할을 하므로 고정자의 모드해석을 수행하여 도 1의 기본모델의 고정자의 모드 별 고유 진동 주파수와 본 발명에 의한 고정자의 모드 별 고유 진동 주파수를 획득한다.
- [0044] 이와 같이, 본 발명에 의한 고정자의 고유 진동 주파수가 획득되면, 공진 주파수 영역의 가진력 성분을 저감할 수 있도록 회전자의 표면에 아크를 형성하는 것이다.
- [0045] 도 9a는 본 발명에 의한 IPM 타입 전동기의 진동 저감을 위한 회전자 구조의 일부를 나타내는 도면이다. 도 9b

는 본 발명에 의한 IPM 타입 전동기의 진동 저감을 위한 회전자 구조를 나타내는 도면이다. 본 발명에 의한 진동 저감 IPM 타입 전동기는, 고정자 및 회전자를 포함하며, 상기 회전자는 복수 개의 영구자석 삽입용 슬롯을 구비하고, 공진 주파수 영역의 가진력 성분을 저감하기 위한 아크가 상기 복수 개 영구자석 삽입용 슬롯 각각의 양 종단 위치에 해당되는 외주 표면에 형성된다.

[0046] 회전자의 표면에 아크(Arc)를 형성함으로써, 전동기의 d축과 q축의 자기저항의 차이를 조절하여 코깅토크를 저감함은 물론 가진력의 특정 고조파 성분을 저감할 수 있다. 아크의 설계 변수는 δ 와 R이다. δ 는 아크의 시작 위치이다. 즉, δ 는 상기 복수 개 영구자석 삽입용 슬롯 각각의 양 종단 위치에 해당되는 회전자 최 외경 표면에 형성되는 아크의 길이라고도 할 수 있다. R은 아크가 형성되기 이전 상태의 회전자 최 외경과의 거리로서, 아크의 최대 깊이를 나타낸다. 아크의 설계 변수 δ 및 R의 변화에 따른 전동기 특성이 도 10에 나타나 있으며, 회전자 표면에 아크 적용 여부에 따른 구동토크를 비교한 그래프가 도 11에 도시되어 있다. R이 0.3[mm]이고 δ 가 기계각으로 19도일 경우 코깅토크가 59[mNm]이다. 아크의 크기가 클수록 코깅토크가 저감되며 토크리플 역시도 저감됨을 확인할 수 있다.

[0047] 하지만 Arc는 유효 공극을 크게 하는 설계 요소로, 자기 저항이 증가하여 구동 특성 저하의 원인이 될 수 있다. 따라서 본 발명에서는 구동토크의 감소 허용 범위가 1[%] 내로 설정되도록 회전자 표면에 Arc를 설계한다.

[0048] 한편, 전자기적 가진력에 의한 주요 원인은 전동기의 고정자와 회전자 사이에 작용하는 반경 방향의 힘이며, 전동기의 고정자를 주기적으로 가진함으로써 진동을 야기하고 매질의 진동 속도로부터 소음이 방사된다. 특히, 이 전자기적 가진력의 진동수가 전동기 구조물의 고유 진동수와 유사한 영역에 있으면 공진하게 되어 부품의 마모와 전동기의 구동 성능 저하 뿐만 아니라 다른 시스템에 영향을 미치게 된다.

[0049] 에너지 평형 법칙을 이용하여 토크를 도출해내는 방법과는 달리, Maxwell Stress Tensor 방법은 자계 힘들의 성분들로부터 토크를 유도하는 것이다. 구체적으로 설명하면, 공극에서의 반경방향 힘 밀도 f_r 은 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$f_r = \frac{1}{2\mu_0}(B_r^2 - B_t^2)$$

[0050]

[0051] 여기서 μ_0 는 진공에서의 투자율, B_r 은 반경방향 자속밀도, B_t 는 접선방향 자속밀도로서, 영구자석 전동기에서는 B_r , B_t 모두 고정자 권선과 영구자석에 의해 발생된다. 따라서, B_r 및 B_t 는 각각 [수학식 2] 및 [수학식 3]으로 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$B_r = B_{rpm} + B_{rs}$$

[0052]

수학식 3

$$B_t = B_{tpm} + B_{ts}$$

[0053]

[0054] 여기서, B_{rpm} , B_{tpm} , B_{rs} 및 B_{ts} 는 각각 영구자석과 고정자 권선에 의해 발생된 반경방향과 접선방향의 자속밀도이

다. 자속밀도 B_r 의 [수학식 2]와 자속밀도 B_t 의 [수학식 3]을 [수학식 1]에 대입하면, 접선방향 힘 밀도와 반경 방향 힘 밀도는 [수학식 4]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$F_r = h \int p_r dl = \frac{h}{2\mu_0} \int (B_r^2 - B_t^2) dl$$

[0055]

[0056]

무부하 시(Open-circuit)나 부하 시(On-load)에 공극 자계로부터의 고정자 표면 반경방향 힘 밀도 분포는 전자 기적 진동, 소음의 주된 발생원이며, Maxwell Stress method를 이용하여 계산할 수 있다.

[0057]

도 12는 도 1의 기본 모델을 구비한 전동기 및 본 발명에 의한 전동기의 가진력을 비교한 방사 패턴 그래프이며, 도 13은 도 1의 기본 모델을 구비한 전동기 및 본 발명에 의한 전동기의 가진력을 FFT 분석한 결과를 나타내는 그래프이다. 코깅토크 주파수와 일치하며, 도 1의 기본 모델을 구비한 전동기의 경우 1차 공진 영역이고 본 발명에 의한 전동기의 경우 2차 공진 영역인 1200[Hz] 영역에서 가진력 성분이 저감됨을 확인할 수 있다.

[0058]

본 발명에 의한 진동 저감 IPM 타입 전동기에 대하여, 공진 주파수 영역의 가진력 저감에 따른 진동의 영향을 파악하기 위하여 가속도 센서를 사용하여 진동 실험을 수행하였다. 진동실험은 가속도 센서를 이용하여 최대 토크로 구동 시 발생하는 전자기력 흡입력에 의한 충격을 방사 방향에서 측정하였다.

[0059]

가속도 센서는 PV-97C model을 사용하였고, Signal analyzer로는 SA-01A-4 model을 사용하였으며 진동 신호는 UV-06A Amplifier를 통하여 증폭하였다.

[0060]

도 14는 도 1의 기본 모델을 구비한 일반적인 전동기의 진동 실험 결과 및 본 발명에 의한 전동기의 진동 실험 결과를 비교한 그래프이다.

[0061]

진동 실험은 최대 효율 지점인 전류 위상각 10도에서 수행하였다. 도 14에 도시된 바와 같이, 본 발명에 의한 전동기의 진동이 종래 전동기의 진동보다 전반적으로 감소하였음을 확인할 수 있다. 특히 1200[Hz] 및 2400[Hz] 영역에서의 본 발명에 의한 전동기의 진동이 종래 전동기의 경우보다 크게 감소하였음을 확인할 수 있다. 이는 토크리플의 저감은 물론 진동 발생의 주원인인 가진력의 코깅토크 주파수 및 고유 진동 주파수와 일치하는 1200[Hz] 대역의 성분이 저감되었기 때문이다.

[0062]

전술된 바와 같이, 본 발명은 IPMSM의 진동 저감을 위한 형상 설계를 수행하는 것이다. 진동발생의 주원인은 가진력이며 고유 진동수와 일치할 경우에는 공진에 의한 진동 및 소음이 크게 발생하게 되므로 고정자 모드 해석을 수행하며 공진영역에서의 가진력 성분을 저감하기 위한 회전자 아크를 회전자 표면에 형성한다.

[0063]

1200[Hz] 및 2400[Hz] 영역은, 전동기의 공진 영역으로 코깅토크 및 토크리플과도 주파수가 일치하는 영역으로서, 종래 전동기의 경우 공진이 발생하여 진동이 크게 발생되었지만, 본 발명에 의한 전동기의 경우 토크리플 저감은 물론 공진 주파수 대역의 가진력을 저감하였기 때문에 진동이 크게 저감되었다.

[0064]

이와 같이, 본 발명은 기본모델의 회전자 및 고정자 형상 설계를 수행하여 효율 향상 및 토크리플을 저감하고, 회전자 표면에 아크를 설치하여 토크리플 저감은 물론 공진 주파수 영역의 가진력을 저감함으로써 진동 및 소음 특성을 개선한다.

[0065]

전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 이상에서 기술한 실시예는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 그러므로 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위에 의하여 정해져야 할 것이다.

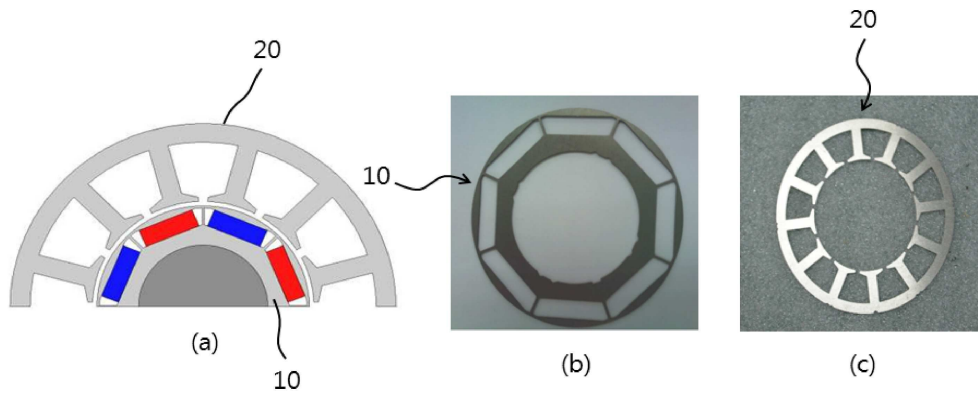
부호의 설명

[0066]

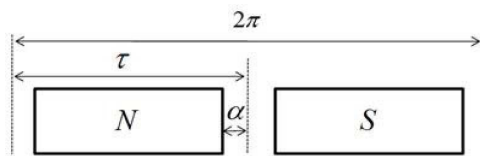
100: 회전자

도면

도면1



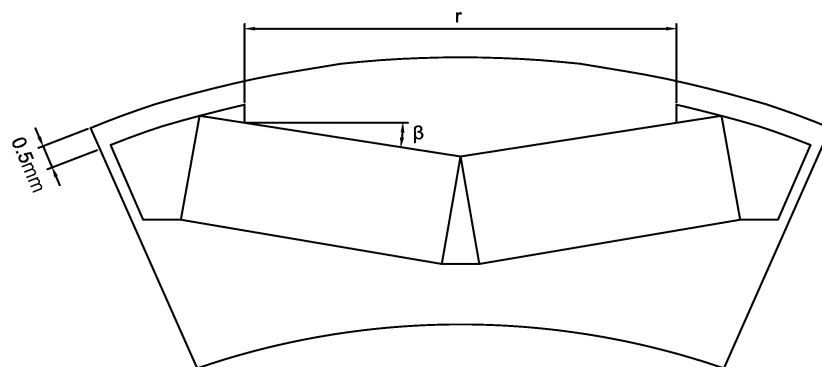
도면2



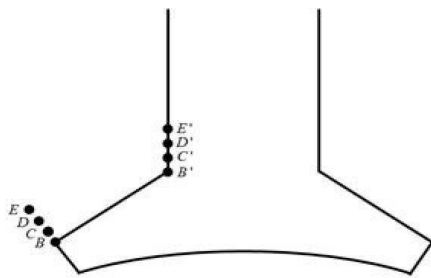
도면3

α [deg]	코깅 토크 [mNm]	역기전력 [V]	구동토크 [Nm]	토크리플 [%]
17.2	395	8.270	1.899	16.05
17.6	382	8.240	1.893	15.55
18.0	365	8.210	1.887	15.11
18.4	355	8.181	1.883	14.73
19.0	333	8.133	1.871	14.03

도면4



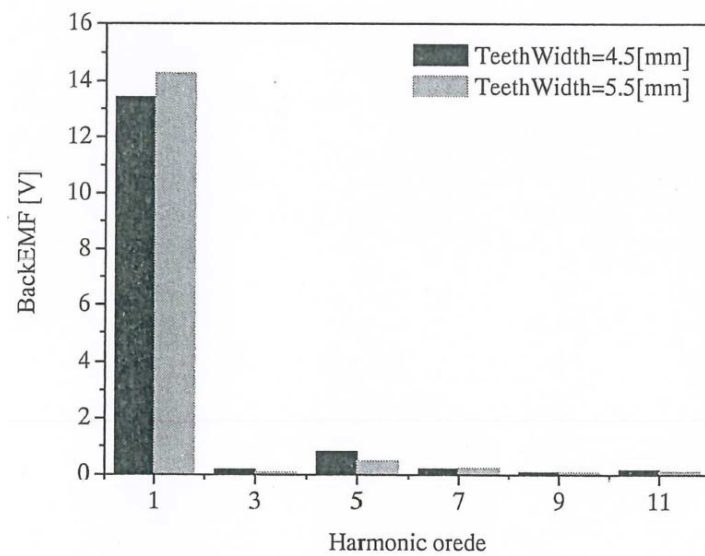
도면5



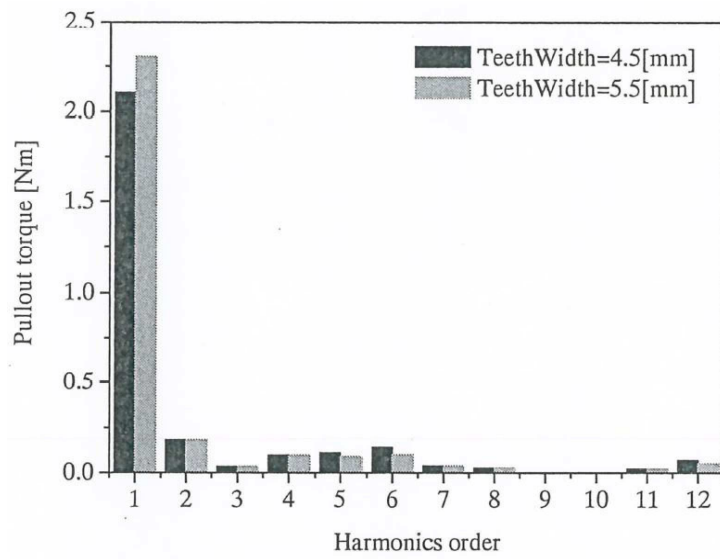
도면6

모 델	코강토크 [mNm]	역기전력 [V]	구동토크 [Nm]	토크리플 [%]	슬롯면적 [%]
B-B'	292	8.718	2.008	9.11	100.0
C-B'	284	8.792	2.012	8.41	99.20
C-E'	275	8.705	2.021	7.44	97.81
D-B'	281	8.732	2.009	8.55	98.40

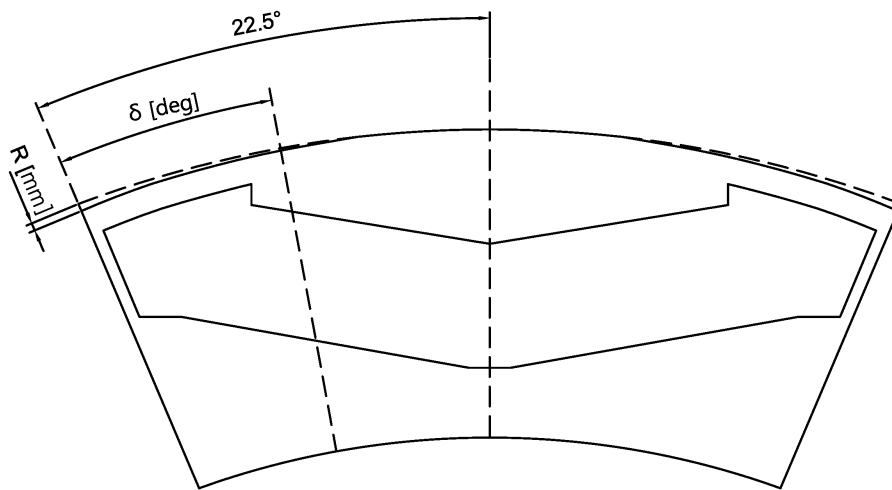
도면7



도면8

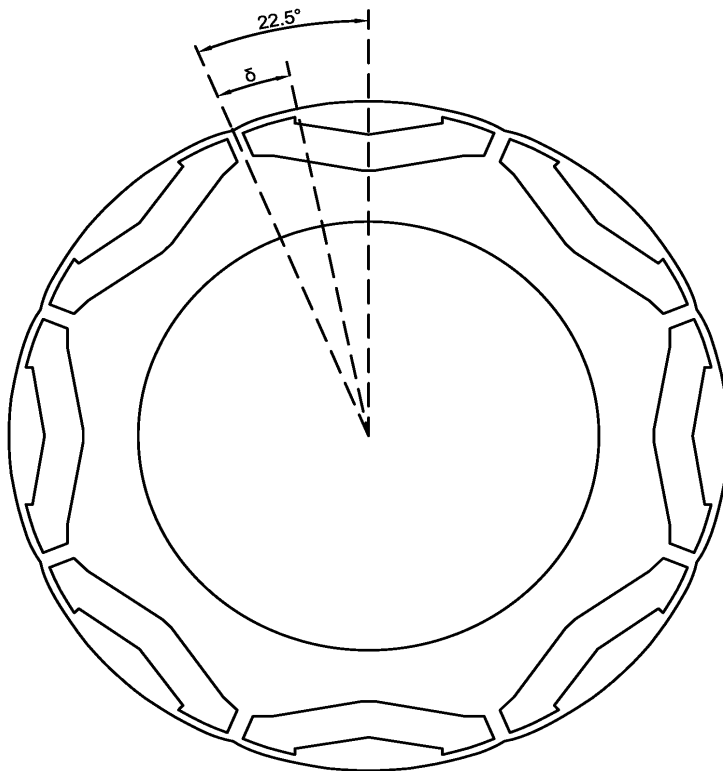


도면9a



도면9b

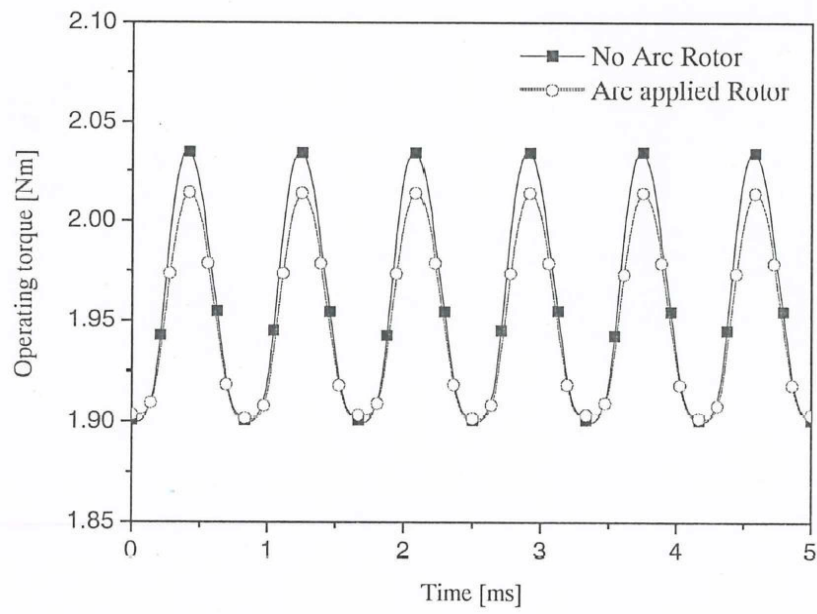
100



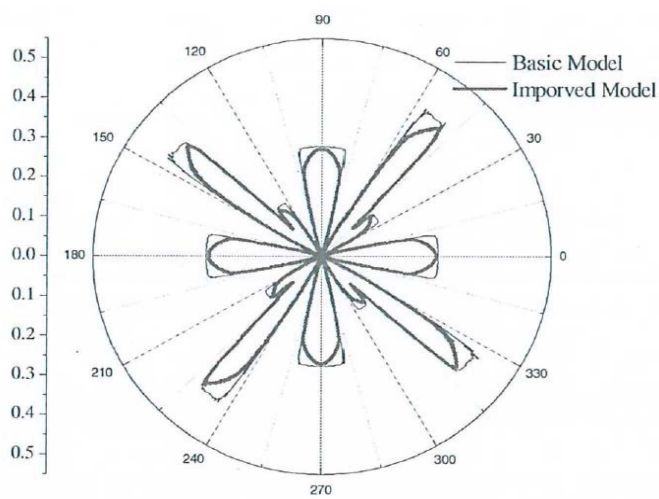
도면10

R [mm]	δ [deg]	코깅토크 [mNm]	역기전력 [V]	구동토크 [Nm]	토크리플 [%]
0.1	—	64	11.44	1.96	6.5
0.2		60	11.42	1.95	6.0
0.3	19	59	11.40	1.95	5.8
	20	57	11.39	1.95	5.8
	21	56	11.38	1.95	5.8
0.4	—	52	11.36	1.94	5.2
0.5		42	11.32	1.93	4.9

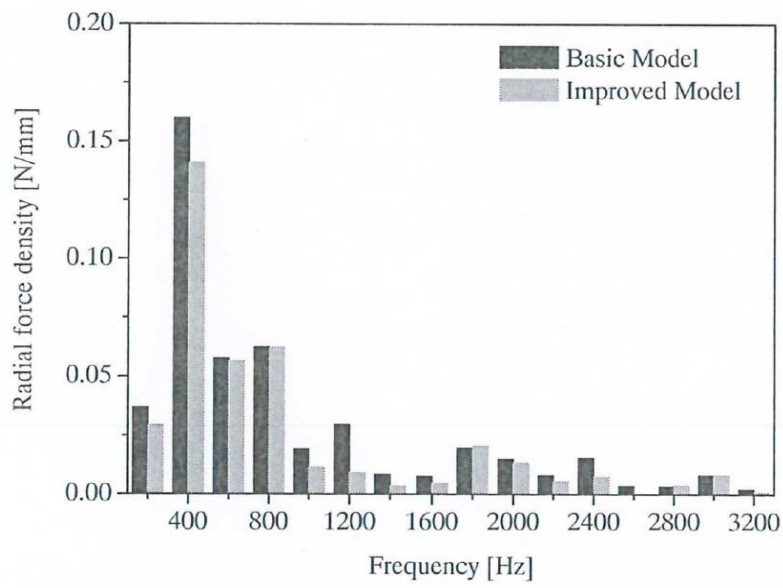
도면11



도면12



도면13



도면14

