



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl.	(45) 공고일자	2007년04월19일
<i>H02K 1/22</i> (2006.01)	(11) 등록번호	10-0709296
<i>H02K 19/10</i> (2006.01)	(24) 등록일자	2007년04월12일

(21) 출원번호	10-2005-0105239	(65) 공개번호
(22) 출원일자	2005년11월04일	(43) 공개일자
심사청구일자	2005년11월04일	

(73) 특허권자 창원대학교 산학협력단
 경남 창원시 사림동 9 창원대학교내

 이중호
 대전 유성구 지족동 열매마을 607동 1504호

(72) 발명자 이중호
 대전 유성구 지족동 열매마을 607동 1504호

 홍정표
 경남 창원시 성주동 프리빌리시아파트 103동 304호

(74) 대리인 이상목

(56) 선행기술조사문헌
 공개특허공보 특1999-23163호('99.3.25. 공개) 공개특허공보 특2001-34236호(2001.4.25. 공개)
 * 심사관에 의하여 인용된 문헌

심사관 : 윤세원

전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 역률과 토크가 향상된 회전자 설계 방법 및 회전자구조

(57) 요약

본 발명은 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 설계 시에 고려하여야 하는 자속장벽의 수, 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(K_w)를 유한요소법과 순차 비제약 최소화기법을 이용하여 최적화시켜 역률과 토크가 향상된 전동기회전자설계 방법 및 회전자구조에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 설계 시에 전동기의 역률과 토크를 향상시키기 위하여 전동기회전자의 q 축의 누설 자속을 감소시키고 자속이 회전자의 극표면을 따라 흐르도록 유도하기 위하여 공기에 의하여 형성되는 공극(Air gap)과, 자속장벽(Flux barrier)의 폭 및 개수와, 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(K_w)를 고려하여 최적으로 설계하기 위하여 유한요소법과 순차 비제약 최소화기법을 사용하여 최적의 역률과 토크를 구비한 회전자의 설계 방법 및 회전자 구조를 제공함으로써 전동기회전자에 설계 제작시 자속장벽의 수, 전체자속장벽의 폭 및 전체철심영역의 폭을 효율적으로 적용하여 회전자의 크기에 따라 역률과 토크가 향상된 최적의 전동기 회전자를 설계하는 방법 및 설계된 회전자 구조를 제공하는데 그 특징이 있다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

유한요소법과 순차 비제약 최소화 기법을 이용한 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자 설계 방법에 있어서,

설계하고자하는 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 모델에 따라 고정자의 슬롯 수, 공극 및 립을 일정한 상수 값으로 입력하는 단계와,

설계하고자하는 단편형 동기 릴럭턴스 전동기회전자의 1/4 모델에서 자속장벽의 폭과 면적을 변화시키기 위하여 필요한 변수(W)들을 q 축을 기준으로 하여 대칭적으로 변화시키면서 유한요소법에 의하여 디(d)축 인덕턴스 값과 q 축 인덕턴스의 차이 값(L_d-L_q)이 최대가 되는 값을 찾는 단계와,

상기 디(d)축 인덕턴스 값과 q 축 인덕턴스의 차이 값(L_d-L_q)이 최대가 되는 값에서 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(K_w)를 순차 비제약 최소화 기법으로 연산하는 단계와,

상기 연산된 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(K_w)의 값에 의하여 회전자의 자속장벽의 수와 폭을 결정하는 하는 단계로 이루어진 단편형 동기 릴럭턴스 전동기회전자 설계 방법.

$$\{ K_w = \sum (W_{air}) / \sum (W_{iron}) \}$$

청구항 2.

청구항1에 있어서,

상기 단편형 동기 릴럭턴스 전동기회전자의 1/4 모델에서 자속장벽의 폭과 면적을 변화시키기 위하여 필요한 변수(W, P)들의 수는 각각 한 쌍으로 이루어지며, 자속장벽의 수가 증가함에 따라 변수(W, P)를 증가시켜 순차 비제약 최소화 기법에 의하여 해를 구하는 단편형 동기 릴럭턴스 전동기회전자 설계 방법.

청구항 3.

청구항1 또는 청구항2에 있어서,

상기 단편형 동기 릴럭턴스 전동기회전자 설계 방법에서 유한요소법과 순차 비제약 최소화 기법을 적용함에 있어서 자속장벽의 수는 3내지 5개로 한정하고, 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(K_w)는 0.1내지 1.1범위에서 이루어진 단편형 동기 릴럭턴스 전동기회전자 설계 방법.

청구항 4.

청구항3에 있어서,

상기 단편형 동기 릴럭턴스 전동기회전자 설계 방법에서 유한요소법과 순차 비제약 최소화 기법을 적용함에 있어서 전동기회전자 반경은 회전자 반경의 최소 값에 대하여서는 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(K_w)가 1에 근접하고, 회전자 반경의 최대 값에 대하여서는 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(K_w)가 0.5에 근접하는 값으로 이루어진 단편형 단편형 동기 릴럭턴스 전동기회전자 설계 방법.

청구항 5.

청구항1 또는 청구항2의 단편형 동기 릴럭턴스 전동기회전자 설계 방법에 의하여 설계 제작된 단편형 동기 릴럭턴스 전동기회전자 구조.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 설계 시에 고려하여야 하는 자속장벽의 수, 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(Kw)를 유한요소법과 순차 비제약 최소화기법을 이용하여 최적화시켜 역률과 토크를 향상시킨 전동기회전자설계방법 및 회전자구조에 관한 것이다.

일반적으로 동기형 릴럭턴스 전동기(Synchronous Reluctance Motor; SynRM)는 성층방법에 따라 축방향 성층형과, 횡방향 성층형으로 분류되며, 축방향 성층형의 경우에 돌극비는 증가하지만 구조가 복잡하고 축에 회전자 철심을 고정시켜야 하는 문제 등 횡 방향 성층형에 비하여 제작하기가 어렵고 비용이 많이 소요되는 문제점이 있다.

또한 상기 횡 방향 성층형에 해당하는 단편형 SynRM은 제작이 비교적 용이하고, 고정자의 슬롯으로 인해 발생하는 토크 리플을 스큐를 이용해 개선시킬 수 있으며, 축 방향 성층형 구조 못지않은 높은 돌극비를 갖도록 설계 제작할 수 있으므로 많이 이용되고 있으나, 단편형 SynRM에서는 전동기 특성에 영향을 미치는 변수들인 자속 장벽의 수, 자속 장벽의 폭, 공극, 슬롯 및 립 등의 다수의 변수에 의하여 전동기회전자의 토크와 역률이 달라지므로 최적화된 회전자를 설계 제작하는 것이 용이하지 않은 문제점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 상기한 바와 같은 종래기술의 문제점을 인식하고 이를 해결하기 위하여 안출된 것으로, 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 설계 시에 전동기의 역률과 토크를 향상시키기 위하여 전동기회전자의 q 축의 누설 자속을 감소시켜 자속이 회전자의 극표면을 따라 흐르도록 유도하기 위하여 전동기의 역률과 토크를 변화시키는 다수의 변수 중에서 몇 개의 변수를 일정상수로 고정한 후, 유한요소법과 순차 비제약 최소화기법을 사용하여 공기에 의하여 형성되는 자속장벽(Flux barrier)의 개수와, 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(Kw)를 변수로 두고 이를 최적하여 설계하는 방법을 제공함으로써 역률과 토크가 향상된 최적의 회전자를 설계하는 방법 및 회전자구조를 제공하는데 그 목적이 있다.

본 발명의 또 다른 목적은 전동기회전자 반경에 따른 자속장벽의 수 및 최적화된 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(Kw)를 나타내주는 그래프로 제공함으로써 회전자 설계 시에 자속장벽의 수, 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비를 결정할 때 그래프를 이용할 수 있고, 회전자의 자속장벽의 좌표를 연산하고 지정하여 표시해 줌으로써 최적의 회전자를 신속하게 설계 제작할 수 있도록 하는데 있다.

발명의 구성

본 발명은 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 설계 시에 고려하여야 하는 자속장벽의 수, 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(Kw)를 유한요소법과 순차 비제약 최소화기법을 이용하여 최적화시켜 역률과 토크가 향상된 전동기회전자설계방법 및 회전자구조에 관한 것이다.

일반적으로 동기형 릴럭턴스 전동기(Synchronous Reluctance Motor; SynRM)는 성층방법에 따라 축방향 성층형과, 횡방향 성층형으로 분류되며, 축방향 성층형의 경우에 돌극비(L_d/L_q)는 증가하지만 구조가 복잡하고 축에 회전자 철심을 고정시켜야 하는 문제 등 횡 방향 성층형에 비하여 제작하기가 어렵고 비용이 많이 소요되는 문제점이 있다.

또한 상기 횡 방향 성층형에 해당하는 단편형 SynRM은 제작이 비교적 용이하고, 고정자의 슬롯으로 인해 발생하는 토크 리플을 스큐를 이용해 개선시킬 수 있으며, 축 방향 성층형 구조 못지않은 높은 돌극비(L_d/L_q)를 갖도록 설계 제작할 수 있으므로 많이 이용되고 있으나, 단편형 SynRM에서는 전동기 특성에 영향을 미치는 변수들인 자속 장벽의 수, 자속 장벽의 폭, 공극, 슬롯 및 립 등의 다수의 변수에 의하여 전동기회전자의 토크와 역률이 달라지므로 최적화된 회전자를 설계 제작하는 것이 용이하지 않은 문제점이 있다.

본 발명은 상기와 같은 종래기술의 문제점을 인식하고 창안된 것이다. 본 발명의 이해를 용이하게 하는 도면을 살펴본다. 도1은 일반 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 단면도를 나타낸 것이며, 도2는 일반 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자 립에서의 자속 흐름 경로를 나타낸 것이다. 도3은 본 발명에 따른 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자 해석 모델과 변수를 도시한 것이며, 도4는 본 발명에 따른 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자의 자속장벽의 형상변화를 위한 변수 (W)와 변화 방향을 도시한 것이다. 도5는 본 발명에 따라 유한요소법과 순차 비제약 최소화 기법에 의하여 연산 처리하여 얻은 회전자 반경에 따른 Kw 의 값을 나타낸 그래프이다.

본 발명을 이루기 위한 구성수단을 구체적으로 살펴본다. 본 발명에 따른 출력이 1HP내지 8HP를 가지는 4극 단편형 SynRM(Synchronous Reluctance Motor; SynRM)의 토크 및 역률을 향상시키기 위한 최적 설계과정을 단계별로 살펴본다.

전동기회전자의 토크는

$$T=3P/4(L_d-L_q)i_d \cdot i_q(1)$$

상기 수식(1)에서 나타난 바와 같이 토크(T)에 중요한 영향을 미치는 요소인 d 축과 q 축 인덕턴스 비(L_d/L_q)와 차(L_d-L_q)에 기초하여 토크와 역률을 향상시키는 구조로 설계된다. 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자의 일반적인 구조는 도1과 같다. 도1에서의 회전자는 수개의 자속장벽(Flux barrier)과 립(Rib)구조를 갖는 횡방향 성층형이며, 본 발명에서는 상기 도1의 회전자에서 토크와 역률에 영향을 미치는 d 축과 q 축 인덕턴스의 차(L_d-L_q)와 인덕턴스 비(L_d/L_q)를 증가시키기 위하여 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(Kw)와 자속장벽수를 고려하여 용량별로 회전자의 최적설계를 용이하게 이룰 수 있는 방법을 제시한다. 상기 도1에서 다소 검게 나타난 부분은 철심구조(Rotor segment)이며, 흰색부분은 공기영역인 자속장벽이다. 상기 수식(1)에서 L_d 는 d 축의 인덕턴스 값이고, L_q 는 q 축의 인덕턴스의 값이다.

여기서, 본 발명과 관련하여 회전자 외측에 위치하는 고정자에 대하여 살펴보면, 고정자의 슬롯에서는 자속누설로 인한 q 축 인덕턴스(L_q)의 증가로 돌극비가 감소하고, 슬롯의 개방 폭에 따라 누설자속이 결정되어 L_d 와 L_q 의 인덕턴스 특성이 달라지므로 이를 고려하여 설계하여야 한다. 일반적으로 공극은 돌극비(L_d/L_q)를 개선시키기 위해 작게 유지해야 하지만, 제작상의 문제 등으로 제한이 있으며, 본 발명의 회전자 설계를 위하여 사용된 고정자의 기본 모델은 24개의 슬롯을 갖고, 공극은 0.4 mm로 고정하였다.

다음은 회전자의 외측에 위치하여 회전자의 각 단편들을 기계적으로 고정시키는 역할을 하는 립에 대하여 살펴본다. 상기 립 부분은 도2와 같이 회전자에 q 축 자속이 흐를 수 있는 자로를 형성하고 폭이 넓을수록 누설자속의 영향으로 L_q 가 증가하여 q 축 인덕턴스를 증가시켜서 d, q 축의 인덕턴스에 의해서 토크를 발생시켜 릴럭턴스 전동기의 토크에 영향을 줌으로 이를 최소화하기 위하여 립의 폭을 좁게 해야 하지만 기계적 구조 상 줄이는데 한계가 있으며, 본 발명에서는 회전자의 성능이나 강도를 고려하여 설계 모델의 립은 0.5mm로 고정하였다.

다음은 L_d 는 증가하고 L_q 를 감소시켜 단위 전류 당 토크를 증가시키기 위하여 q 축 자속의 흐름을 제한하기 위한 자속 장벽(Flux Barrier)의 수에 대하여 살펴본다. 자속 장벽(Flux Barrier)을 제한하기 위하여서는 회전자 철심의 자기 포텐셜을 다르게 형성하여 L_d 는 증가하고 L_q 가 감소하도록 회전자 내측에 공기에 의한 절연 층으로 필요한 개수의 자속 장벽을 형성한다. 회전자 내의 자속 장벽을 적정수로 증가시키면 L_d 는 증가하고 L_q 가 감소하며 토크는 증가하지만 자속 장벽 수를 계속 늘리면 제한된 회전자 반경 내의 철심 영역이 상대적으로 감소하여 포화가 일어나며, 돌극비는 더 이상 증가하지 않으며, 기계적으로도 견고하지 못한 구조가 되므로 제작 상 발생하는 기계적 편의를 고려하여 적정 수의 자속장벽을 형성하는 것은 최대 토크를 얻는데 중요한 요소이다. 본 발명에서는 제작 상의 문제(와이어 커팅 등) 등을 고려하여 3내지 5개의 자속 장벽을 갖는 여러 모델의 설계 및 해석을 통해 각각의 성능을 비교 검토한다.

다음은 토크 및 역률 특성에 영향을 미치는 여러 설계 변수들 중 자속 장벽의 개수 외에 전체 자속 장벽의 폭에 대한 전체 철심영역의 폭의 비인 Kw 을 회전자 설계 시 주 설계 변수로서 고려하기로 한다. 자속 장벽의 두께는 인덕턴스의 차와 돌극비가 최대가 되도록 선택해야하는데 Kw 는 식 (2)로 정의한다.

$$K_w = \sum(W_{air}) / \sum(W_{iron}) \quad (2)$$

여기서, $\sum(W_{air})$; 전체 자속 장벽의 폭

$\sum(W_{iron})$; 전체 철심 영역의 폭

본 발명을 용이하게 이해하고 본 발명에 따른 단편형 SynRM의 경우 파라미터 중에서 상기 인덕턴스의 값(L_d, L_q)이 전류, 토크 및 역률 등의 특성을 결정하는 중요한 요소가 된다. 본 발명에서는 정확한 해석을 통한 특성분석을 위하여 자기적 비선형성 및 복잡한 형상의 전동기를 정확하게 해석할 수 있는 장점을 가지고 있는 유한요소법(Finite Element Method; FEM)을 이용하였다. 상기 인덕턴스의 값을 정확하게 추출하기 위하여 유한요소법으로 각상의 자속을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\lambda = N \int B \cdot dS = N(A_1 - A_2)L_c \quad (3)$$

여기서, L_c 는 1차측 적층폭

N 은 코일 턴수

A_1, A_2 는 회전자축의 슬롯에서의 자기벡터 포텐셜이다.

식 (3)을 이용하여 각 상에서의 쇄교 자속을 구한 후 텐서(tensor) 변환을 이용하여, 각각 d 축과 q 축의 자속을 계산한다. 마찬가지로, 전류도 텐서(tensor)변환을 이용하여 d, q 축 성분을 계산한 후, 인덕턴스를 계산하면 다음과 같다.

$$L_d = \frac{\lambda_d}{I_d}, L_q = \frac{\lambda_q}{I_q} \quad (4)$$

입력전류의 증가에 따른 d, q 축 인덕턴스 성분의 변화곡선은 d 축으로 전류인가시 q 축 전류는 영(zero)이며, q 축으로의 전류인가시도 d 축 전류는 영(zero)이다. d 축 전류와 q 축 전류에 의한 상호 간섭의 영향은 무시한다.

본 발명에 따른 단편형 SynRM회전자의 설계에 앞서 단편형 동기 릴럭턴스 전동기는 전류가 흐르는 고정자의 권선 부분과, 주 자속이 통과하는 고정자와, 회전자의 철심 부분, q 축 자속의 흐름을 제한하는 절연 층인 자속 장벽으로 이루어져 있고, 토크 및 역률의 특성은 이들 구성 요소들의 영향을 받는다. 즉, 발생토크를 최대화하고 역률을 높일 수 있는 자화 인덕턴스를 충분히 얻기 위하여서는 d 축 자속이 전체 극표면을 따라 흐를 수 있게 설계되어야 하며, q 축 인덕턴스를 최소화하기 위하여 q 축 자속은 적게 흐르도록 설계되어야 한다. 본 발명에 따른 동기형 릴럭턴스 전동기 회전자의 설계의 주목적은 기존 전동기의 회전자와의 대체가능성이다. 본 발명에 따른 기본 설계모델의 비교 대상은 동급 전동기이며, 따라서 고정자와 회전자 직경이나 공극, 적층길이, 축 등의 사양은 동급전동기와 동일하므로 주 설계 대상은 전동기의 회전자이다.

따라서, 전동기의 회전자 내 자속 장벽의 개수와 Kw 를 달리한 여러 모델에 대해 유한요소법을 수행하여 인덕턴스 특성을 구하고 이로부터 기본모델에 비해 증가한 d 축과 q 축 인덕턴스의 차($L_d - L_q$)와 높은 돌극비(L_d/L_q)를 갖는 개선된 회전자 모델의 설계방법 및 설계방법에 의하여 얻은 회전자 구조를 제공한다. 돌극비 개선을 위해 제작상의 한계를 고려하여 자속 장벽의 개수는 3-5개를 사용하였고, 회전자의 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비 Kw 는 0.1에서 1.1 사이를 기준으로 여러 가지 값에 대하여 해석이 이루어졌다.

또한, 본 발명에서는 회전자의 립과 고정자 치부분에서 일어나는 자기적 포화는 돌극비가 큰 경우 d 축 기자력 여자시 자기적 포화현상이 고정자 요크, 치, 회전자의 립에서 일어나게 되어 전동기의 토크, 효율, 역률에 영향을 주는 L_d 값이 50% 까지 떨어뜨리는 경우가 발생하기도 하고, 운전조건에 따라 최적제어 전류각을 변화시키는 요인이 되므로 이에 대한 정확한 해석이 반드시 요구된다. 따라서 비선형 해석에 의한 자기포화 현상을 고려하기 위하여 자기회전자의 철심재료로는 기본 모델과 동일한 S18의 $B-H$ 특성곡선을 사용하여 자기포화를 고려하여 설계하고, 자속 장벽은 공기 영역으로 해석한다.

다음은 본 발명을 위하여 채용된 최적설계 알고리즘으로, 일반 비선형 최적화 프로그래밍의 일종인 순차 비제약 최소화 기법(Sequential Unconstrained Minimization Technique : SUMT법 ; 이하 SUMT)을 이용하여 동기형 릴럭턴스 모터의 회전자 설계 파라메터인 자속 장벽의 개수와, 회전자의 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비를 최적화하였다.

일반적으로 비선형 최적화 프로그래밍의 문제는 다음과 같이 표현된다.

$$g_j(x) < 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

의 조건하에서

$F(x)$ 를 최소화시키는 $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 를 구한다.

상기 순차 비제약 최소화 기법(SUMT)은 페널티(Penalty)함수법이라고 부르기도 한다. 본 발명에서는 페널티함수법을 사용하여 이러한 최적화 문제를 다른 형태로 변환시킨 식(6)을 통해서 일련의 비제약 최소화 문제를 풀어냄으로써 본 발명에 따른 회전자 설계에 필요한 자속 장벽의 개수와, 회전자의 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비 K_w 에 대한 최적화 해를 구하였다. 즉,

$$\phi_k = \phi(x, r_k) = F(x) + r_k \sum_{j=1}^m G_j[g_j(x)] \quad (6)$$

이다.

여기서 G_j 는 제약함수 g_j 의 함수이고, r_k 는 페널티 변수로서 양의 정수이다. 식 (6)의 두 번째 항은 페널티 항이다. 만일 함수 ϕ 의 비제약 최소화가 일련의 페널티 변수 r_k ($k = 1, 2, \dots$)에 대해서 반복된다면 식 (5)에 표현된 문제의 해에 수렴하게 된다.

부등식 제약 문제에 대한 페널티함수의 정식화는 내점법(interior method)과 외점법(exterior method)으로 크게 나누어지며, 본 발명에서는 내점법을 택하였으며, 내점법에서 주로 사용하는 G_j 의 형태는 다음과 같다.

$$G_j = -1/g_j(x) \quad (7)$$

따라서, 식 (6)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\phi(x, r_k) = f(x) - r_k \sum_{j=1}^m 1/g_j(x) \quad (8)$$

여기서, ϕ_k 의 비제약 최소값들은 모두 실행가능영역(Feasible Region)에 존재하고, r_k 가 변화함에 따라 식 (5)의 해에 수렴한다.

한편, 목적함수를 함수화하기 위하여 각 용량별, 자속장벽에 대하여 잔델(Zandel)을 이용하여 Kw 에 따른 L_d-L_q 를 구하여 최적설계를 수행하였다.

본 발명에 따라 SUMT알고리즘에 의해 Kw 최적 해를 구하는 방법은 수학적으로, 함수 $F=F(X)$, $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 를 최소화하는 것이 목적이다. 함수 F 는 목적함수(Objective Function)라고 부른다. X 는 독립변수들이다.

각 변수는 상하위 경계(upper and/or lower bounds, $X_{li} < X_i < X_{ui}$ $i=1,2,3,\dots,n$)에 의한 제한되어져야 한다.

도3에서 보는 바와 같이 회전자의 1/4 모델은 9개의 독립변수를 나타낸다. 이러한 변수들은 구조적 제약에 따라 변화되어 진다.

잔델(Zandel) 함수로 구해진 비제약 최소화 함수와 위의 제약조건을 포함한 목적함수는 다음과 같다.

$F1(X)$ 는 반경 35.7mm의 3, 3.5, 4.5 HP의 경우이고, $F2(X)$ 는 반경 42.475mm의 5.5, 6, 7, 8 HP의 경우이다.

$$F1(X) = 56.1(X-0.1)^2 - 62.1(X-1) - 40.1 \quad (6)$$

$$F2(X) = 51.9X^2 - 68.2X - 47.5 \quad (7)$$

도4는 Kw 에 따른 자속장벽의 형상변화를 위한 변화점 변수와 변화방향을 보여준다. 도4에서 $W1-W10$ 의 점들은 화살표 방향에 따라 움직이며 자속의 흐름경로를 결정한다. 각각 한쌍이 되는 $(W1, W10), (W2, W9), (W3, W8) \dots$ 은 q 축을 기준으로 하여 대칭적으로 움직인다. 그리고 $P1-P10$ 점들은 유한요소 계산에서 요소면적 계산에 의하여 결정된 Kw 를 고려한 값으로 움직인다.

본 발명에서는 SynRM의 회전자 자속 장벽의 폭과 전체 철심 영역의 폭의 비 Kw 는 0.1에서 1.1까지 고려되었다. 그리고 산업응용을 위해 기계적인 제약, 립 등에 제작조건을 고려해 자속장벽 수는 3, 4, 5로 제한하였다.

본 발명에서의 SynRM 최적화에 대한 관점으로서 최대 토크를 설정하였으며, 따라서 인덕턴스의 차(L_d-L_q)의 최대화 또는 $-(L_d-L_q)$ 의 최소화를 위해 목적함수 $F(X)$ 가 Kw 를 산출하는 기준이 된다. 상기 순차 비제약 최소화 기법(SUMT)은 변화하는 회전자설계에 따라 목적함수의 국부 최소를 발견하는 기법이다.

본 발명에 따른 단편형 SynRM의 회전자 설계 방법의 구성요소를 단계별로 명료하게 기재하면

설계하고자하는 단편형 SynRM 모델에 따라 고정자의 슬롯 수, 공극 및 립 값을 결정하여 일정한 상수 값으로 입력하는 단계와,

도4에서 회전자의 1/4 모델에서 자속장벽의 폭과 면적을 변화시키기 위하여 필요한 변수들을{각각 한쌍이 되는 $(W1, W10), (W2, W9), (W3, W8) \dots$ 은} q 축을 기준으로 하여 대칭적으로 변화시키면서 유한요소법에 의하여 (L_d-L_q) 가 최대가 되는 값을 찾는 단계와,

상기 (L_d-L_q) 가 최대가 되는 값에서 상기 수식(2)에 정의된 Kw 값을 순차 비제약 최소화 기법으로 연산하는 단계와,

상기 연산된 Kw 값에 의하여 회전자의 자속장벽의 수와 전체자속장벽의 폭을 결정하는 단계로 단편형 SynRM의 회전자 설계 방법이 이루어진다.

상기 단편형 SynRM의 회전자 설계 방법에 의하여 얻은 최적의 Kw 값으로부터 얻은 W 값과 P 값에 기초하여 설계된 회전자 역시 본 발명의 보호범위에 속한다.

본 발명에 따라 유한요소법과 순차 비제약 최소화 기법(SUMT)을 이용하여 회전자 반경에 따른 회전자 자속 장벽의 폭과 전체 철심 영역의 폭의 비를 구한 구체적 실시 예를 살펴본다.

[실시 예]

본 발명에 따라 유한요소법과 순차 비제약 최소화 기법(SUMT)을 이용하여 회전자 반경에 따른 회전자 자속 장벽의 폭과 전체 철심 영역의 폭의 비 Kw 를 구한 구체적인 실시 예를 살펴보면, 총 10가지의 용량과 3가지의 회전자 반경의 차이에서 1HP의 경우(회전자 반경 : 33.411mm) 정격전류에서 Flux-barrier가 4인 경우에 L_d-L_q 의 값과 L_d/L_q 의 값이 더 크게 나타났고, Kw 의 최적설계 값은 0.968로 나타났으며, 같은 회전자 반경의 2HP에서도 Flux-barrier가 4인 경우에 L_d-L_q 의 값과 L_d/L_q 의 값이 더 크게 나타났고, Kw 의 최적설계 값은 0.9645로 나타났고, 같은 회전자 반경의 3HP에서도 Flux-barrier가 4인 경우에 L_d-L_q 의 값과 L_d/L_q 의 값이 더 크게 나타났고, Kw 의 최적설계 값은 0.939로 나타났다. 상기 데이터에 기초하여 회전자 반경이 33.411mm에서는 Flux-barrier가 4로 결정되고, Kw 는 약 0.96으로 결정된다.

다음은 회전자 반경이 약간 증가한 3HP의 경우(회전자 반경 : 35.7mm) Flux-barrier가 3인 경우에 L_d-L_q 의 값과 L_d/L_q 의 값이 더 크게 나타났고, Kw 의 최적설계 값은 0.6867로 나타났으며, 같은 회전자 반경의 3.5HP에서도 Flux-barrier가 3인 경우에 L_d-L_q 의 값과 L_d/L_q 의 값이 더 크게 나타났고, Kw 의 최적설계 값은 0.6803으로 나타났고, 같은 회전자 반경의 4.5HP에서도 Flux-barrier가 3인 경우에 L_d-L_q 의 값과 L_d/L_q 의 값이 더 크게 나타났고, Kw 의 최적설계 값은 0.681로 나타났다. 상기 데이터에 기초하여 회전자 반경이 35.7mm에서는 Flux-barrier가 3으로 결정되고, Kw 는 약 0.68로 결정된다.

다음은 회전자 반경이 42.475mm 5.5HP의 경우 Flux-barrier가 5인 경우에 L_d-L_q 의 값과 L_d/L_q 의 값이 더 크게 나타났고, Kw 의 최적설계 값은 0.6985로 나타났으며, 같은 회전자 반경의 6HP에서도 Flux-barrier가 5인 경우에 L_d-L_q 의 값과 L_d/L_q 의 값이 더 크게 나타났고, Kw 의 최적설계 값은 0.6954으로 나타났고, 같은 회전자 반경의 7HP에서도 Flux-barrier가 5인 경우에 L_d-L_q 의 값과 L_d/L_q 의 값이 더 크게 나타났고, Kw 의 최적설계 값은 0.6903로 나타났고, 같은 회전자 반경의 8HP에서도 Flux-barrier가 5인 경우 L_d-L_q 의 값과 L_d/L_q 의 값이 더 크게 나타났고, Kw 의 최적설계 값은 0.6919로 나타났다. 상기 데이터에 기초하여 회전자 반경이 42.475mm에서는 Flux-barrier가 5로 결정되고, Kw 는 약 0.69으로 결정된다.

본 발명에 따라 유한요소법과 순차 비제약 최소화 기법(SUMT)에 기초하여 상기와 같은 방법으로 L_d-L_q 의 값과 L_d/L_q 의 값을 구하여 회전자 반경의 차이에 따라 최적설계를 위한 자속장벽(Flux-barrier) 수가 결정되고, 그것에 따라 Kw 의 최적설계 값이 연산하여 결정한다. 회전자 반경에 따른 Kw 의 최적설계 값을 그래프로 나타내면 도5와 같다. 도5에서 알 수 있듯이 단편형 SynRM의 회전자 반경은 33mm내지 43mm범위에서 설계가 이루어진다. 출력의 범위는 1HP내지 8HP범위에서 설계가 이루어진다.

상기와 같은 단계를 거치면서 Kw 를 구할 경우에 도5의 그래프에서 회전자 반경이 커질 경우에는 최적의 Kw 은 0.5에 근접하며 회전자 반경이 작아질 경우에는 Kw 은 1에 근접한다.

상기 3HP의 경우 회전자 반경의 약간의 차이에도 Kw 가 급격히 감소하는 이유는 고정자 치가 35.7mm에서 33.411mm보다 작기 때문에 포화가 보다 쉽게 일어나는 이유로 분석되어졌다.

발명의 효과

본 발명은 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 설계 시에 전동기의 역률과 토크를 향상시키기 위하여 전동기회전자의 누설 자속을 감소시키고 q 축 자속이 회전자의 극표면을 따라 흐르도록 유도하기 위하여 전동기의 역률과 토크를 변화시키는 다수의 변수 중에서 몇 개의 변수를 상수로 고정한 후, 공기에 의하여 형성되는 자속장벽(Flux barrier)의 개수와, 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(Kw)를 고려하여 최적으로 설계하는 방법으로 유한요소법과 순차 비제약 최소화기법을 사용하여 최적의 회전자를 용이하게 설계하는 방법으로 역률과 토크가 향상된 최적의 회전자 구조를 제공하는 작용효과가 있다.

본 발명의 또 다른 목적은 전동기회전자 반경에 따른 자속장벽의 수 및 최적화된 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비(K_w)를 나타내주는 그래프로 제공함으로써 회전자 설계 시에 자속장벽의 수, 전체자속장벽의 폭과 전체철심영역의 폭의 비를 결정할 때 그래프를 이용할 수 있고, 회전자의 자속장벽의 좌표를 연산하고 지정하여 표시해 줌으로써 최적의 회전자를 신속하게 설계 제작할 수 있도록 하는데 있다.

도면의 간단한 설명

도1 : 일반 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 단면도

도2 : 일반 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자 름에서의 자속 흐름 경로

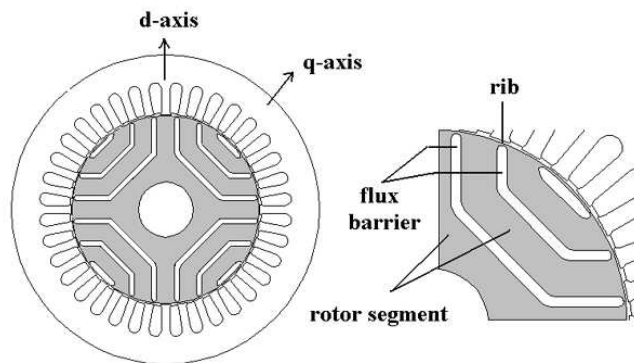
도3 : 본 발명에 따른 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자 해석 모델과 변수

도4 : 본 발명에 따른 단편형 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자의 자속장벽의 형상변화를 위한 변수(W)와 변화 방향

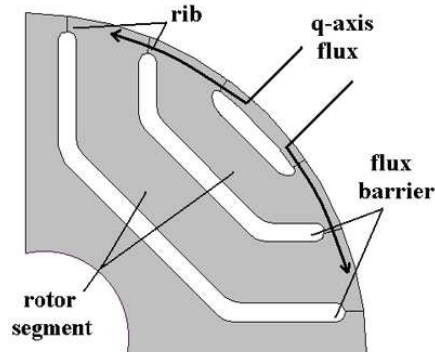
도5 : 본 발명에 따라 유한요소법과 순차 비제약 최소화 기법에 의하여 연산 처리하여 얻은 회전자 반경에 따른 K_w 의 값을 나타낸 그래프

도면

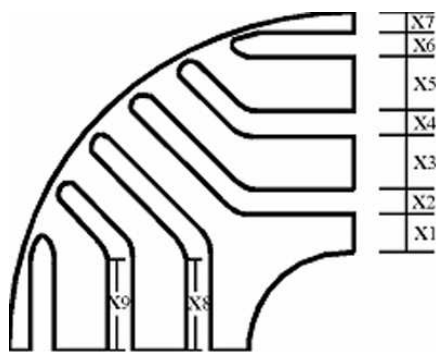
도면1



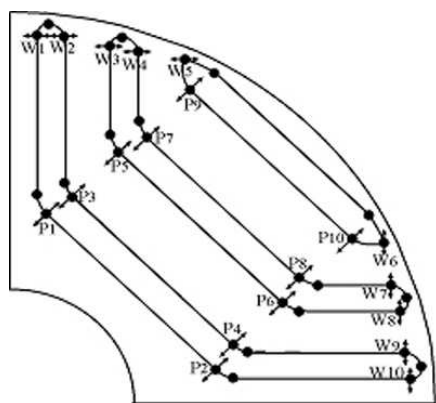
도면2



도면3



도면4



도면5

