



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0080653
(43) 공개일자 2010년07월12일

(51) Int. Cl.

H02K 15/02 (2006.01) H02K 19/06 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0000040

(22) 출원일자 2009년01월02일

심사청구일자 2009년01월02일

(71) 출원인

한밭대학교 산학협력단

대전 유성구 덕명동 산16-1

(72) 발명자

이중호

대전 유성구 지족동 열매마을 607동 1504호

(74) 대리인

이상목

전체 청구항 수 : 총 7 항

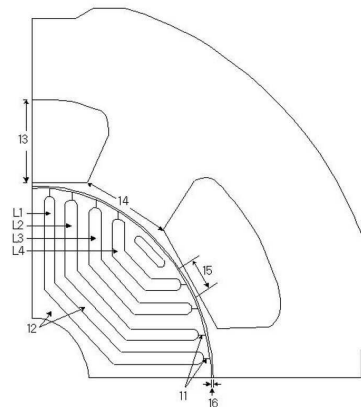
(54) 집중권선 동기 톨러턴스 전동기의 토크 리플 저감에 관한 회전자 및 고정자 설계방법 및 그 설계방법에 의하여 설계 제작된 집중권선 동기 톨러턴스 전동기의 회전자 및 고정자

(57) 요약

본 발명은 집중권선 SynRM의 생산비 절감과 성능 향상을 위해 고정자 혹은 회전자만의 개별적인 설계가 아닌 고정자와 회전자 모두의 설계변수를 기초로 토크리플을 저감하기 위한 집중권선 SynRM의 회전자 및 고정자 설계방법 및 그 설계 방법에 의하여 설계 제작된 집중권선 SynRM의 회전자 및 고정자를 제공하는데 그 목적과 효과가 있다.

본 발명은 집중권선 SynRM의 토크리플과 관련된 고정자 혹은 회전자만의 개별적인 설계가 아닌 고정자와 회전자 모두의 설계변수를 기초로 토크리플을 저감하기 위한 회전자 및 고정자를 설계하기 위하여 이와 관련된 설계변수인 고정자의 슬롯, 공극(Air gap), 회전자의 릿(rib) 폭, 자속장벽 수 및 자속장벽 폭의 적합한 조건을 찾아내기 위하여 RSM 및 유한요소해석(FEA)을 이용하여 토크리플 값을 계산하여 최적의 집중권선 SynRM의 회전자 및 고정자를 설계하는 방법 및 그 설계 방법에 의하여 설계 제작된 집중권선 SynRM의 회전자 및 고정자를 제공한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 설계변수를 기초로 토크리플을 저감하기 위한 회전자 및 고정자 설계방법에 있어서,

토크리플을 저감하기 위한 회전자 및 고정자를 설계하기 위하여 CAD파일 초기화하는 단계;

회전자의 립 폭은 고정 값으로 설정하고, 토크리플에 영향을 주는 고정자 측의 슬롯 오픈 폭, 슬롯 깊이, 치 폭 및 회전자 측의 자속장벽 폭을 설계변수로 채택하여 유한요소해석을 위한 설계 데이터를 모델링하는 단계;

통계적인 근사방법인 반응표면법 중 하나인 중심합성계획법을 이용하여 설계변수의 범위와 실험횟수를 설정하는 단계; 및

집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자와 고정자 설계를 위하여 제작된 유한요소해석 프로그램을 이용하여 토크리플 값을 계산하는 단계로 이루어진 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크리플을 저감하기 위한 회전자 및 고정자 설계방법.

청구항 2

청구항1에 있어서,

상기 설계변수를 설정 입력하여 얻은 토크리플 값에는 상기 사용된 중심합성계획법에 오차를 포함하고 있으므로 추정된 근사함수의 오차정도를 확인하여 설계된 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자 및 고정자 모델의 적합성 여부의 판단을 분산분석으로 이루어짐을 특징으로 하는 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크리플을 저감하기 위한 회전자 및 고정자 설계방법.

청구항 3

청구항2에 있어서,

상기 오차정도를 확인하기 위하여 사용하는 분산분석에서 회귀선의 타당성은 결정계수(R^2)과 수정결정계수(R_A^2)에 의하여 이루어짐을 특징으로 하는 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크리플을 저감하기 위한 회전자 및 고정자 설계방법.

청구항 4

청구항1에 있어서,

상기 설계변수와 토크리플사이의 관계를 컴퓨터에 의한 시뮬레이션을 통해서 찾아내되, 적은 횟수의 실험으로 반응곡면을 추정하기 위하여 중심점과 축점을 요인실험에 추가시킨 중심합성계획법을 적용함을 특징으로 하는 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크리플을 저감하기 위한 회전자 및 고정자 설계방법.

청구항 5

청구항1에 있어서,

상기 설계변수(X1, X2, X3, L1~L4)의 변화에 따르는 변화된 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 고정자 및 회전자 형상을 해석시에 동일한 자속 장벽 수에서는 회전자의 x, y좌표만이 변하고, 마디번호, 요소 번호 및 경계 조건을 변화하지 않음을 특징으로 하는 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크리플을 저감하기 위한 회전자 및 고정자 설계방법.

청구항 6

청구항2에 있어서,

상기 설계된 모델의 적합성 여부의 판단에 사용되는 오차는 잔차 제곱합(SS_E), 총 편차의 제곱합(S_y) 및 회귀 제곱합(SS_R) 중 하나 이상을 선택 사용하여 이루어짐을 특징으로 하는 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크리

플을 저장하기 위한 회전자 및 고정자 설계방법.

청구항 7

청구항1내지 청구항6 중 어느 한 항의 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크리플을 저장하기 위한 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자 및 고정자 설계방법에 의하여 제작된 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자 및 고정자.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 집중권선 SynRM의 토크리플과 관련된 고정자 혹은 회전자만의 개별적인 설계가 아닌 고정자와 회전자 모두의 설계변수를 기초로 토크리플을 저장하기 위한 회전자 및 고정자 설계하기 위하여 CAD파일의 초기화, 선처리(pre-processor)작업데이터를 설정하는 단계를 거쳐서, 제조상의 한계 때문에 회전자의 립(rib) 폭은 고정값으로 설정하고, 토크리플에 영향을 주는 고정자 측의 슬롯 오픈 폭(X1), 슬롯 깊이 (X2), 치 폭(X3) 및 회전자 측의 자속장벽 폭(L1~L4)을 설계변수로 채택하는 단계를 거쳐서, 통계적인 근사방법인 RSM 중 하나인 중심합성계획법(central composite design : CCD)을 이용하여 설계변수의 범위와 실험횟수를 설정하는 단계를 거쳐서, 유한요소해석(FEA)을 이용하여 토크리플 값을 계산하는 단계를 거쳐서, 상기 계산되어진 토크리플 값을 메모리에 저장하는 단계로 이루어진 집중권선형 동기 릴럭턴스 전동기의 토크리플 저감을 위한 최적의 회전자 및 고정자 설계방법 및 그 설계방법에 의하여 설계 제작된 집중권선형 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자 및 고정자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 동기형 릴럭턴스 전동기(SynRM)는 유도기에 비해 효율이 높고, 제작상의 비용이 적게 드는 등 많은 이점들이 있으며, 만약 동기형 릴럭턴스 전동기의 고정자 권선이 종래의 분포권선형이 아니라 집중권선형으로 했을 때는 공장제조 시 권선 작업이 단순해지며 동손이 저감되고 저가의 전동기를 확보할 수 있는 장점이 있다.

[0003] 하지만 토크리플에 의해 발생하는 진동과 소음이 상대적으로 다른 기기들에 비해 크기 때문에 토크리플을 줄이기 위해 설계변수의 적절한 조합이 이루어져야 한다.

[0004] 반응표면법(RSM)은 물리적 시스템의 응답연구 중에서 “최적값”을 찾는 데 유용한 통계 및 수학적 방법이다. 일반적으로 반응표면법 내에서 설계변수와 출력간의 관계를 나타내기 위해 다항식 모델이 만들어지기 때문에 이 모델은 출력을 예상하는데 사용될 수 있고, 설계 최적화는 보다 더 쉽게 수행될 수 있다. 적합한 모델의 특성은 실험 데이터를 기초로 한 통계표를 확인함으로써 평가된다.

[0005] 이와 관련하여 집중권선 SynRM에 관한 두 가지의 연구논문이 발표되었다. 첫째, 24슬롯 SynRM의 회전자 최적설계 모델을 기초로 토크리플 저감을 위해 고정자의 치 폭, 슬롯 오픈 폭, 슬롯 깊이를 설계변수로 한 고정자 설계가 있으며, 둘째, 첫 번째의 고정자 최적설계에 기초하여 자속장벽 수 및 자속장벽 폭을 설계변수로 하여 최적설계를 수행한 회전자 설계가 있다. 이러한 선행 연구 개발을 통해서 토크리플을 다소 감소시킬 수 있었지만 이를 상용화하기에는 아직 어려움이 있고, 집중권선형 SynRM의 물리적 특성은 이러한 고정자 및 회전자의 개별적인 설계에 의해서는 정확하게 예측되거나 개선될 수 없다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 집중권선형 SynRM의 고정자 혹은 회전자만의 개별적인 설계가 아닌 고정자와 회전자 모두의 설계변수를 기초로 토크리플을 저장하기 위한 최적설계를 수행하여 집중권선형 SynRM의 고정자 혹은 회전자를 설계 제작하므로 생산비를 절감하고 성능을 향상시키는데 있다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 집중권선 SynRM의 고정자 혹은 회전자를 설계 제작함에 있어서 통계적인 근사방법인 반응표면법(RSM)을 이용하며, 반응표면법은 항상 오차를 포함하고 있으므로 설계된 집중권선 SynRM의 회전자 및 고정자의 근사함수의 정도를 확인하여 설계 모델의 적합성 여부를 판단하여 최적 설계를 수행하는데

있다.

- [0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 중심점과 축점을 2^k 요인실험에 추가시킨 통계적인 근사방법인 반응표면법 중 하나인 중심합성계획법을 적용하여 적은 횟수의 실험으로 반응곡면을 신속 정확하게 추정하는데 있다.

과제 해결수단

- [0009] 본 발명의 과제해결수단은 집중권선 SynRM의 토크리플과 관련된 고정자 혹은 회전자만의 개별적인 설계가 아닌 고정자와 회전자 모두의 설계변수를 기초로 토크리플을 저감하기 위한 집중권선 SynRM의 회전자 및 고정자를 설계하기 위하여 CAD파일의 초기화, 선처리(pre-processor) 작업데이터를 설정하는 단계를 거쳐서, 제조상의 한계 때문에 회전자의 립(rib) 폭은 고정 값으로 설정하고, 토크리플에 영향을 주는 고정자 측의 슬롯 오픈 폭(X1), 슬롯 깊이 (X2), 치 폭(X3) 및 회전자 측의 자속장벽 폭(L1~L4)을 설계변수로 채택하는 단계를 거쳐서, 통계적인 근사방법인 반응표면법 중 하나인 중심합성계획법을 이용하여 설계변수의 범위와 실험횟수를 설정하는 단계를 거쳐서, 유한요소해석(FEA)을 이용하여 토크리플 값을 계산하는 단계를 거쳐서, 상기 계산된 토크리플 값을 메모리에 저장하는 단계로 이루어진 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크리플 저감에 관한 회전자 및 고정자 설계방법 및 그 설계방법에 의하여 설계 제작된 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자 및 고정자를 제공하는데 있다.

- [0010] 본 발명의 또 다른 과제해결수단은 집중권선형 SynRM의 고정자 혹은 회전자를 설계함에 있어서 통계적인 근사방법인 반응표면법의 적용 시에 오차를 포함하게 되므로 설계된 집중권선 SynRM의 회전자 및 고정자 모델의 적합성을 확인하기 위하여 추정된 근사함수의 정도를 분산분석(Analysis of variance : ANOVA)을 이용하여 판단하는 수단을 구비한 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크리플 저감에 관한 회전자 및 고정자의 설계방법을 제공하는데 있다.

- [0011] 본 발명의 또 다른 과제해결수단은 적은 횟수의 실험으로 반응곡면을 추정하기 위하여 중심점과 축점을 2^k 요인실험에 추가시킨 통계적인 근사방법인 반응표면법 중 하나인 중심합성계획법을 적용하여 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크 리플 저감에 관한 회전자 및 고정자의 설계방법을 제공하는데 있다.

효과

- [0012] 본 발명은 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 고정자 혹은 회전자만의 개별적인 설계가 아닌 고정자와 회전자 모두의 설계변수를 기초로 토크리플을 저감하기 위한 최적설계를 수행하여 집중권선 SynRM의 고정자 혹은 회전자를 제작하므로 생산비를 절감하고, 성능을 향상시키는 효과가 있다.

- [0013] 본 발명의 또 다른 효과는 집중권선 SynRM의 고정자 혹은 회전자를 설계 제작함에 있어서 통계적인 근사방법인 반응표면법을 이용하며, 통계적인 근사방법인 반응표면법은 항상 오차를 포함하고 있으므로 설계된 집중권선 SynRM의 회전자 및 고정자의 근사함수의 정도를 확인하여 설계 모델의 적합성 여부를 판단하여 최적 설계를 수행하는데 있다.

- [0014] 본 발명의 또 다른 효과는 중심점과 축점을 2^k 요인실험에 추가시킨 통계적인 근사방법인 반응표면법 중의 하나인 중심합성계획법을 적용하여 적은 횟수의 실험으로 반응곡면을 신속 정확하게 추정하는데 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0015] 본 발명의 실시를 위한 구체적인 내용에 대하여 살펴본다. 본 발명은 집중권선 SynRM의 토크리플과 관련된 고정자 혹은 회전자만의 개별적인 설계가 아닌 고정자와 회전자 모두의 설계변수를 기초로 토크리플을 저감하기 위한 회전자 및 고정자 설계하기 위하여 초기 시작기의 CAD파일, 선처리 작업데이터를 설정하는 단계를 거쳐서, 제조상의 한계 때문에 회전자의 립(rib) 폭은 고정 값으로 설정하고, 토크리플에 영향을 주는 고정자 측의 슬롯 오픈 폭(X1), 슬롯 깊이 (X2), 치 폭(X3) 및 회전자 측의 자속장벽 폭(L1~L4)을 설계 변수로 채택하는 단계를 거쳐서, 통계적인 근사방법인 반응표면법 중 하나인 중심합성계획법을 이용하여 설계변수의 범위와 실험횟수를 설정하는 단계를 거쳐서, 유한요소해석(FEA)을 이용하여 토크리플 값을 계산하는 단계를 거쳐서, 상기 계산되어진 토크리플 값을 메모리에 저장하는 단계로 이루어진 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크리플 저감에 관한 회전자 및 고정자의 설계방법 및 그 설계방법에 의하여 설계 제작된 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 회전자 및 고정자에 관한 것이다.

- [0016] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예의 구성과 작용을 설명하며, 도면에 도시되고 설명되는 본 발

명의 구성과 작용은 적어도 하나 이상의 실시 예로서 설명되는 것이며, 이것에 의해 상기한 본 발명의 기술적 사상과 그 핵심 구성 및 작용이 제한되지는 않는다.

[0017] 본 발명의 이해를 용이하게 하는 도면을 살펴본다. 도 1은 본 발명에 따른 집중권선 SynRM의 설계변수를 도시한 것이며, 도2는 본 발명에 따른 회전자의 변화점 변수와 변화 방향을 도시한 것이다. 도3은 고정자의 변화점 변수와 변화 방향을 도시한 것이며, 도4는 반응표면법의 기본 개념을 도시한 것이다. 도5는 본 발명에 따른 설계 절차의 흐름도를 도시한 것이며, 도6은 고정자 설계에 대한 초기 모델과 최적 모델을 비교하여 도시한 것이다. 도7은 회전자 설계에 대한 초기 모델과 최적 모델을 비교하여 도시한 것이며, 도8은 고정자와 회전자 설계에 대한 초기 모델과 최적 모델을 비교하여 도시한 것이다. 도9는 본 발명에 따른 집중권선 SynRM 고정자와 회전자의 설계방법에 따라 계산된 토크리플의 해석 결과를 도시한 것이다. 본 발명에 따른 구체적인 실시 예를 살펴본다.

[0018] [실시 예]

[0019] 본 발명에 따른 구체적인 실시 예를 도면에 기초하여 살펴본다. 본 발명에 따른 집중권선 SynRM(Synchronous Reluctance Motor)의 해석모델은 4극과 6슬롯이다. 적층 길이는 77(mm)이며, 회전자 직경은 30.1(mm)이고, 공극은 0.4(mm)이며, 고정자 직경은 87.9(mm)이다. 도 1에 나타난 것처럼 집중권선 SynRM의 토크리플과 관련된 설계 변수는 고정자의 슬롯, 공극(16, Air gap), 회전자의 림(11, rib) 폭, 자속장벽 수 및 자속장벽 폭 등이 있다. 본 발명에서는 고정자 측의 슬롯 오픈 폭(15, X1), 슬롯 깊이 (13, X2), 치 폭(14, X3) 그리고 회전자 측의 자속장벽 폭(L1~L4)을 집중권선 SynRM의 최적설계에 관한 변수로 채택한다. 도 2는 3개의 자속장벽 수에서 자속장벽 폭에 따른 형상변화를 위한 변화점 변수와 변화방향을 보여준다. 각각 한 쌍이 되는 (W1,W8), (W2,W7), (W3,W6)……은 q축을 기준으로 하여 대칭적으로 움직인다. 그리고 P1-P5점들은 자속장벽 폭에 따라 변화하는 상태로 움직인다. 또한, 도3은 고정자 측의 각 변수에 따른 형상변화를 위한 변화점 변수와 변화방향을 나타낸다.

[0020] 도 4에 집중권선 SynRM의 고정자 및 회전자 설계에 사용된 반응표면법(RSM)의 기본 개념도를 나타내었다. 반응표면법은 설계변수와 응답간의 관계를 찾아내고, 관측된 자료를 사용하여 통계적인 근사방법을 통해 최적의 집중권선형 SynRM의 고정자 및 회전자 모델에 대한 응답을 찾아낸다. 여기서, 설계변수에 대응되는 응답 또는 출력 값은 일반적으로 실제 실험이나 컴퓨터에 의한 시뮬레이션을 통해 얻어지고, 실제 응답 값 는 기대값 또는 평균값으로 이루어진다.

[0021] 따라서 본 발명에서는 설계변수와 출력 값의 대응관계를 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 유한요소해석(finite element method)을 통해서 관측자료를 획득하였다. 반응표면법(RSM, Response Surface Methodology)에서 k개의 설계변수에 대한 실제 응답 y는 다음과 같이 가정한다.

[0022]
$$y=f(X, \Theta) \quad (1)$$

[0023] 식(1)에서 변수 ($x_1, x_2, \dots, x_k$)는 자연변수(natural variables)이며, 실제의 측정 단위를 가진다. 실제 응답 함수 f의 근사함수인 y는 Taylor 급수전개를 기본으로 하여 1차 또는 2차 다항 모형으로 근사하게 된다.

[0024] 본 발명에서 선택한 연구대상의 반응표면이 곡면으로 표현될 것이라고 예측할 수 있으므로 근사함수를 2차 모형으로 사용하였다. 따라서, 실제 응답함수 f와 근사함수 y와의 관계는 식(2)과 같이 표현할 수 있다.

[0025]
$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon$$

[0026]
$$(2)$$

[0027] ϵ 은 응답의 오차항이고, 변수 는 코드 변수이다. 여기서, ϵ 을 통계적인 오차로 다루고, 일반적으로 평균이 0 이고 분산 σ^2 을 가지는 정규분포로 가정한다. 따라서 근사함수로부터 n개의 샘플자료에서 추정된 출력 값 y는 행렬의 형태로서 식(3)과 같이 정리된다.

[0028]
$$y=X\beta + \epsilon \quad (3)$$

[0029] 여기서 X는 설계변수 레벨의 행렬, β 는 회귀계수의 벡터, ϵ 은 임의의 오차의 벡터이다. 그리고 식(3)에서 추정된 함수 $\hat{y}$ 는 식(4)과 같다.

[0030]
$$\hat{\mathbf{Y}} = \mathbf{X}\mathbf{b} \quad (4)$$

[0031] 본 발명의 집중권선 SynRM의 고정자 및 회전자 설계에 이용된 반응표면법(RSM)에는 많은 실험적인 설계방법이 있다. 본 발명에서 추정된 근사함수의 정도를 확인하기 위해 중심합성계획법(central composite design : CCD)을 이용하였으며, 이는 반응표면 설계에서 가장 일반적으로 사용되어지는 방법이다.

[0032] 2^k 요인실험(2^k factorial experiments)은 각 변수의 두 수준(평균)에서만 실험이 되므로 변수의 수준변화에 따라서 발생하는 반응량의 곡면적인 변화를 감지할 수 없으며, 상기 식(2)의 이차 다항회귀모형에서 제곱항 x_j^2 의 계수 β_{jj} 등을 추정할 수 없다.

[0033] 이런 단점을 보완하고 적은 횟수의 실험으로 반응곡면을 추정하기 위하여 다음과 같이 중심점과 축점을 2^k 요인실험에 추가시킨 실험계획을 중심합성계획법이라 한다.

[0034] 표 1. 분산분석 (ANOVA)

요인	자유도	제곱합	평균제곱	F_0
회귀	k	SS_R	$SS_R/k=MS_R$	MS_R/MS_E
잔차	$n-k-1$	SS_E	$SS_E/n-k-1$ $=MS_E$	
총	$n-1$	S_{yy}	$S_{yy}/n-1$	

[0035]

[0036] 통계적인 근사방법인 반응표면법은 항상 오차를 포함하고 있고, 통계적인 근사방법인 반응표면법 중 하나인 중심합성계획법에도 오차를 포함하고 있으므로 설계한 후 추정된 근사함수의 오차정도를 확인해야만 한다. 본 발명에서는 추정된 근사함수의 오차정도를 확인하기 위해서 분산분석(Analysis of variance : ANOVA)을 이용하였으며, 표 1에서 n 은 실험의 총계이고, k 는 적합한 모델에 대한 설계 변수의 수를 나타내었다. 다음은 모델의 적합성을 판단하는데 있어서 중요한 역할을 하는 세 가지 오차합계인 잔차 제곱합(SS_E), 총 편차의 제곱합(S_{yy}) 및 회귀 제곱합(SS_R)이 있다.

[0037] 잔차 제곱합을 SS_E 라 하고, 총 편차의 제곱합을 S_{yy} 라 하며, 회귀 제곱합 $SS_R = S_{yy} - SS_E$ 이다.

[0038] 여기서,
$$SS_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

[0039] (y_i : 관측 값, $\hat{y}_i$: 예측 값, $\bar{y}$: 평균 값)

[0040] 결정계수 R^2 은 S_{yy} 와 SS_R 로 식(5)과 같다.

[0041]
$$R^2 = \frac{SS_R}{S_{yy}} \quad (5)$$

[0042] 결정계수는 총변동 중에서 회귀선에 의하여 설명되는 변동이 차지하는 비율을 말한다. R^2 을 수정하기 위한 수정 결정계수는

[0043]
$$R_A^2 = 1 - \frac{SS_E/n-k-1}{S_{yy}/n-1} \quad (6)$$

[0044] 표 1에서 보는 것과 같이 평균제곱은 제곱합을 자유도로 나눈 것이다. 식(6)은 총 평균 제곱($S_{yy}/n-1$)이고, 측도 비율(R_A^2)은 총 평균제곱에 이용되는 추정된 오차분산 값을 분모로 하고, 잔차 평균제곱에 의하여 제공된 추정된 오차분산 값을 분모로 하여 얻은 값이다. 그러므로 회귀선의 타당성은 결정계수(R^2)과 수정결정계수(R_A^2)에 의하여 결정된다. 도 5는 본 발명에 따른 집중권선 SynRM의 고정자와 회전자의 모든 설계변수를 기초로 토크리플을

저감하기 위한 집중권선 SynRM의 회전자와 고정자 설계의 흐름도를 나타낸 것이며, 도 5의 설계 흐름도에 나타난 본 발명에 따른 회전자 및 고정자 설계방법을 순서에 기초하여 기술하면 다음과 같다.

- [0045] 1. CAD(computer aided design)파일 초기화 및 선처리(pre-processor)작업으로 유한요소 모델링을 위한 데이터를 설정하는 단계이다.
- [0046] 상기 선처리 작업데이터의 설정은 토크리플을 저감하기 위한 회전자와 고정자 설계에 필요한 구조를 유한요소해석을 위하여 설계 데이터를 모델링하는 것이다.
- [0047] 2. 상기 토크리플을 저감하기 위한 회전자와 고정자의 설계변수는 토크리플에 영향을 주는 고정자 측의 슬롯 오픈 폭(X1), 슬롯 깊이 (X2), 치 폭(X3) 그리고 회전자 측의 자속장벽 폭(L1~L4)으로 채택하고, 회전자의 립(rib) 폭은 제조상의 한계 때문에 고정된 값으로 설정 사용하는 단계이다.
- [0048] 3. 본 발명에서는 반응표면법의 많은 실험적인 설계방법 중에서 표2와 표4에서 나타낸 것처럼 중심합성계획법을 이용하여 설계변수의 범위와 실험횟수를 설정하는 단계이다. 본 발명의 실시 예에서의 실험횟수(N)는 1~90까지 설정했다.
- [0049] 4. 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 고정자와 회전자 설계를 위하여 개발 제작된 유한요소해석(FEA)을 위한 프로그램을 이용하여 집중권선형 SynRM의 토크리플 값을 계산하는 단계이다.
- [0050] 5. 개발 제작된 프로그램에 의하여 FEA로부터 연산된 토크리플 값을 저장하는 단계이다.
- [0051] 상기 유한요소는 작은 격자 형태로 주어지고, 생성된 하나의 격자를 메쉬(mesh)라고 하며, 메쉬의 꼭지점을 이루는 점을 노드(node)라하고, 노드로 연결된 메쉬의 영역을 요소(element)라고 한다.
- [0052] 유한요소해석을 이용한 회전자 설계와 관련하여서는 출원인이 2005년 특허로 출원하여 등록 공고된 등록특허공보 제10-0709296호에 개시되어 있다.
- [0053] 6. 상기 실험횟수 N을 90으로 설정하였을 때 ($N > 90$?)를 체크하는 단계이다.
- [0054] N이 90보다 클 때에는 최적토크리플을 고찰하며, N이 90보다 작을 때에는 N값에서 1을 더하여 계속 토크리플 값을 연산하도록 구성되어 있다.
- [0055] 7. 고정자 및 회전자의 설계변수에 따른 형상변화를 위한 변화점 변수와 변화방향은 도2 및 도3에서 나타내고 있다.
- [0056] 설계변수(X1, X2, X3, L1~L4)의 변화에 따르는 변화된 고정자 및 회전자 형상을 해석할 때, 유한요소해석을 위하여 선처리 작업을 다수 수행해야하는 어려움이 따른다.
- [0057] 이러한 이유로, CAD파일은 자동적으로 자속 장벽 폭의 변화에 대하여 다시 그려지도록 프로그램되어 있다. 다음으로 자동으로 메쉬(mesh)작업이 다시 이루어진다(remesh). 여기서 동일한 자속 장벽 수에서 회전자의 x, y좌표만이 변하고 마디번호(node number), 요소 번호(element number), 경계 조건(boundary condition) 등은 변화하지 않는다.
- [0058] 이러한 자동 형상변화 프로그램은 본 발명의 설계 프로그램에 포함하여 프로그램을 설계하여 수행하므로 설계시간을 단축한다. 이러한 실험절차는 N=90까지 실행된다.
- [0059] 8. 설정된 설계변수 및 실험주기의 범위에 따라 유한요소해석을 통해 얻어진 데이터에 의해 반응표면의 모델을 형성하고 최적토크리플을 고찰하였다.
- [0060] 표2는 반응표면법의 많은 실험적인 설계방법 중에서 중심합성계획법에 의한 설계변수의 범위를 나타내며, 표3은 표2의 설계변수를 바탕으로 유한요소해석을 수행한 반응 값을 나타낸다. 표3에서 나타난 토크리플은 유한요소법으로 구하였다. 이러한 실험적인 결과를 이용하면 2차 다항식은

$$\hat{Y} = 3307.08 - 53.99X_1 - 17.04X_2 + 21.71X_3 - 1401.44L_1 + \dots - 31.46L_4 - 48.901L_3L_4 \quad (7)$$

[0062] 이고, 표4는 추정된 근사함수의 오차정도를 확인하여 설계된 모델의 적합성 여부의 판단을 위하여 표1에 주어진 수식에 따라 수행된 분산분석의 결과이다. $F_0=20.01$ 은 $F_{(35,53,0.05)}=0.1561$ 을 초과했기 때문에 모든 계수 β 가 0을

나타내는 무효의 가설은 기각된다. $R^2=0.892$ 과 $R_A^2=0.887$ 에서 총 변동 88.7%는 이는 80% 이상이므로 적합한 모델임을 식 (7)에 의하여 설명되어 질 수 있다는 것을 나타내고, 잔차 평균제곱에 의해 제공된 잔차 변동의 추정치는 표1의 수식에서 총 평균제곱을 분모로 하고, 잔차 평균제곱을 분자로 하여 얻은 것으로 11.3%이다.

[0063]

표2. 설계변수의 범위

설계 변수	설계 변수의 범위				
	-2	-1	0	1	2
X1[mm]	1.318	2.000	3.000	4.000	4.682
X2[mm]	12.659	13.000	13.500	14.000	14.341
X3[mm]	13.659	14.000	14.500	15.000	15.341
L1[mm]	3.451	3.480	3.522	3.564	3.592
L2[mm]	1.448	1.653	1.953	2.253	2.457
L3[mm]	1.448	1.653	1.953	2.253	2.457
L4[mm]	3.006	3.033	3.072	3.111	3.137

[0064]

[0065]

표 3. 중심합성계획법을 이용한 실험 결과

	X1	X2	X3	L1	L2	L3	L4	T _{ripple}
1	3.000	13.5	14.5	3.522	1.953	1.953	3.137	61.79
2	3.000	13.5	14.5	3.592	1.953	1.953	3.072	62.34
3	3.000	13.5	14.5	3.522	1.953	1.448	3.072	60.91
i	i	i	i	i	i	i	i	i
20	3.000	13.5	14.5	3.522	1.953	1.953	3.072	67.95
21	4.000	14.0	14.0	3.564	2.253	2.253	3.033	78.83
22	2.000	14.0	14.0	3.564	1.653	2.253	3.033	56.31
i	i	i	i	i	i	i	i	i
88	2.000	14.0	14.0	3.564	2.253	2.253	3.111	60.79
89	2.000	13.0	15.0	3.480	2.253	1.653	3.033	67.08
90	4.000	13.0	15.0	3.564	2.253	2.253	3.033	78.14

[0066]

[0067]

X1: 슬롯 오픈 폭, X2: 슬롯 깊이, X3: 치 폭, L1: 자속 장벽1, L2: 자속 장벽2, L3: 자속 장벽3, L4: 자속 장벽4, T_{peak}: peak-peak Torque (Nm), T_{ave}: average Torque (Nm) T_{ripple}: T_{peak} / T_{ave} (%)

[0068]

표 4. 분산분석 (ANOVA)

요인	자유도	제곱합	평균제곱	F ₀
회귀	35	3994.57	114.1305	20.01
잔차	53	302.25	5.7029	
블록	1	182.20	1.0051	
총	89	4479.02	50.326	

[0069]

[0070]

본 발명에 따라 설계된 토크리플 저감을 위한 집중권선 SynRM의 고정자 및 회전자 모델의 적합성 해석 및 분석에 대하여 살펴본다. 도6 및 도7은 각각 6슬롯 모델의 고정자 및 회전자설계에 대한 초기 모델과 최적 설계된 모델의 비교 형상을 나타낸 것이고, 도8은 집중권선 SynRM의 고정자와 회전자 설계에 대한 초기 모델과 최적 설계된 모델의 비교형상을 나타내고 있다. 도9에서 보여준 것처럼 집중권선 SynRM의 고정자와 회전자 모두의 변수

(X1, X2, X3, L1~L4)를 고려하여 최적 설계된 집중 권선 SynRM의 토크리플은 기존의 24슬롯 모델보다는 더 크지만 각각의 개별적인 고정자 설계모델(109.8%)과 회전자 설계모델(63.8%)의 것보다는 더 작은 토크리플을 얻었다.

[0071] 자속 장벽 수가 5개이고 X1이 2.00[mm], X2가 14.00[mm], X3이 14.00[mm], L1이 3.564[mm], L2가 1.653[mm], L3이 2.253[mm], L4가 3.033[mm]일 때 도4와 표3에서 보여준 것처럼 집중권선 SynRM의 토크리플은 최소가 된다 (56.3%). 결과적으로, 고정자 및 회전자에 개별적인 설계모델의 토크리플보다 고정자와 회전자 설계 모델의 토크 리플(56.3%)은 24슬롯 모델(48.3%)에 상당히 근접하였다.

[0072] 따라서, 본 발명은 집중권선 SynRM의 토크 리플을 감소시키기 위해 반응표면법을 이용한 최적설계 방법을 제공하였다. 집중권선 SynRM의 생산비 절감하고 성능 향상을 위해 집중권선 SynRM의 고정자 혹은 회전자만의 개별적인 설계가 아닌 고정자와 회전자 모두의 설계변수를 기초로 토크리플을 저감하기 위한 최적설계를 수행하였다. 빠른 설계를 위해서 자동으로 형상변화에 따르는 CAD파일을 작성하고 선처리 작업을 하는 프로그램을 설계 프로그램에 포함하여 설계시간을 단축하였다. 기존설계로부터 시작하여 최적의 설계 값이 선택되었고, 이는 유사 모터 설계에 중요한 자료가 될 것이다. 또한, RSM은 집중권선 SynRM과 다른 기기의 최적 설계를 위해 좋은 수단으로 고려되어질 수 있다.

[0073] 본 발명은 집중권선 SynRM의 토크리플과 관련된 고정자 혹은 회전자만의 개별적인 설계가 아닌 고정자와 회전자 모두의 설계변수를 기초로 토크리플을 저감하기 위한 회전자 및 고정자 설계하기 위하여 초기 시작기의 CAD파일, 선처리 작업데이터를 설정하는 단계를 거쳐서, 제조상의 한계 때문에 회전자의 립(rib) 폭은 고정 값으로 설정하고, 토크리플에 영향을 주는 고정자 측의 슬롯 오픈 폭(X1), 슬롯 깊이 (X2), 치 폭(X3) 및 회전자 측의 자속장벽 폭(L1~L4)으로 설계 변수를 채택하는 단계를 거쳐서, 많은 반응표면법 중에서 중심합성계획법을 이용하여 설계변수의 범위와 실험횟수를 설정하는 단계를 거쳐서, 유한요소해석(FEA)을 이용하여 토크리플 값을 계산하는 단계를 거쳐서, 상기 계산되어진 토크리플 값을 메모리에 저장하는 단계로 이루어진 집중권선 동기 릴럭턴스 전동기의 토크 리플 저감에 관한 회전자 및 고정자 설계방법을 제공하므로 생산비 절감하고 성능을 향상시킬 수 있으므로 산업상 이용가능성이 매우 높다.

도면의 간단한 설명

[0074] 도1 : 본 발명에 따른 집중권선 SynRM의 설계변수를 도시한 도면

[0075] 도2 : 본 발명에 따른 회전자의 변화점 변수와 변화 방향을 도시한 도면

[0076] 도3 : 고정자의 변화점 변수와 변화 방향을 도시한 도면

[0077] 도4 : 반응표면법의 기본 개념을 도시한 도면

[0078] 도5 : 본 발명에 따른 설계절차의 흐름도

[0079] 도6 : 고정자 설계에 대한 초기 모델과 최적 모델을 비교하여 도시한 도면

[0080] 도7 : 회전자 설계에 대한 초기 모델과 최적 모델을 비교하여 도시한 도면

[0081] 도8 : 고정자와 회전자 설계에 대한 초기 모델과 최적 모델을 비교하여 도시한 도면

[0082] 도9 : 본 발명에 따른 집중권선 SynRM 고정자와 회전자의 설계방법에 따라 계산된 토크리플의 해석 결과를 도시한 도면

[0083] <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

[0084] 11; 립(rib) 12; 회전자 세그먼트(rotor segment)

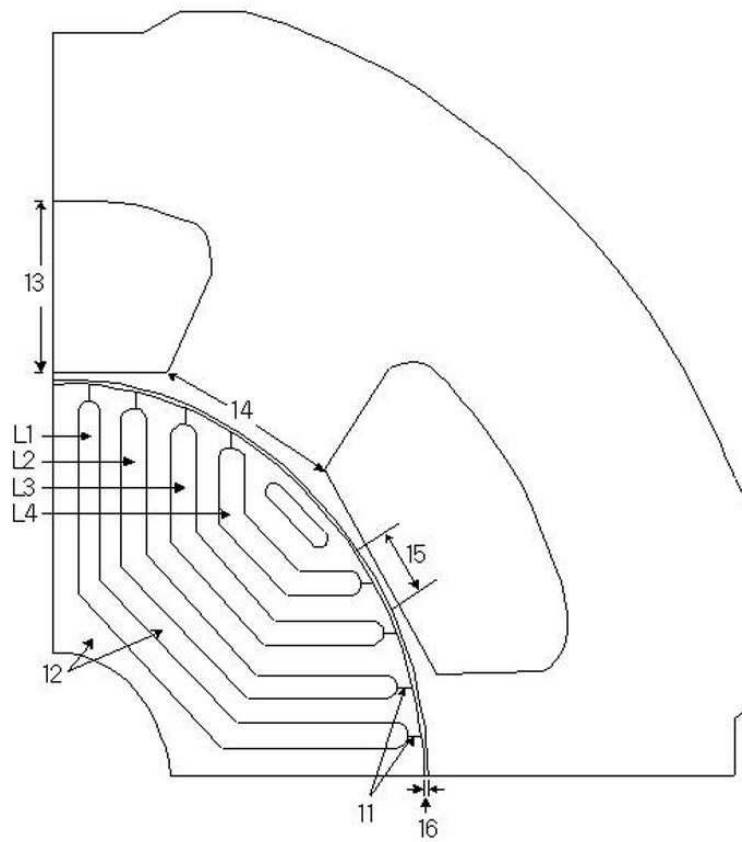
[0085] 13; 슬롯 깊이(X2) 14; 치 폭(X3)

[0086] 15; 슬롯 오픈 폭(X1) 16; 공극(air gap)

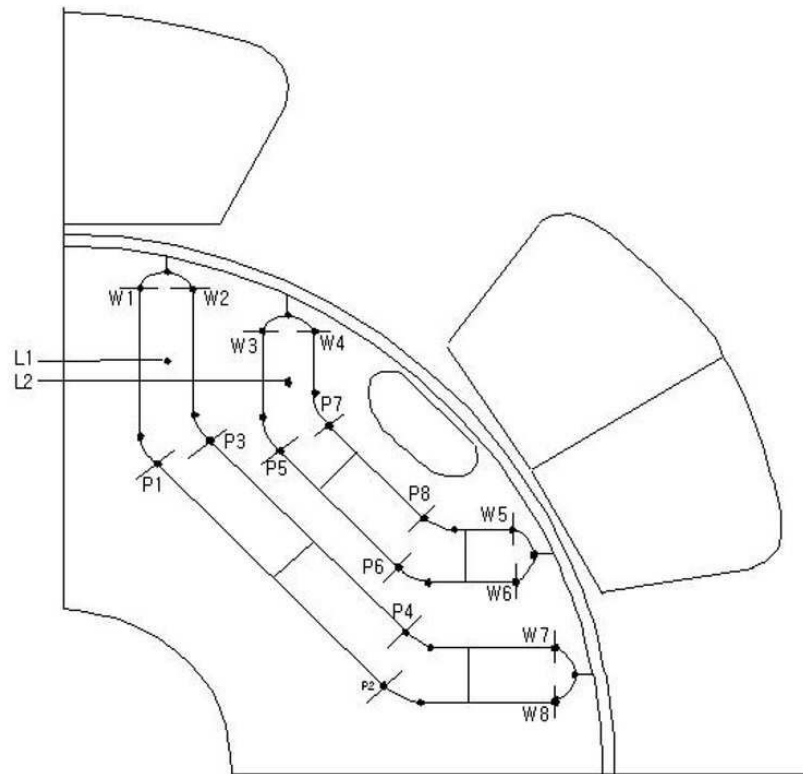
[0087] L1~L4 ; 회전자 측의 자속장벽 폭

도면

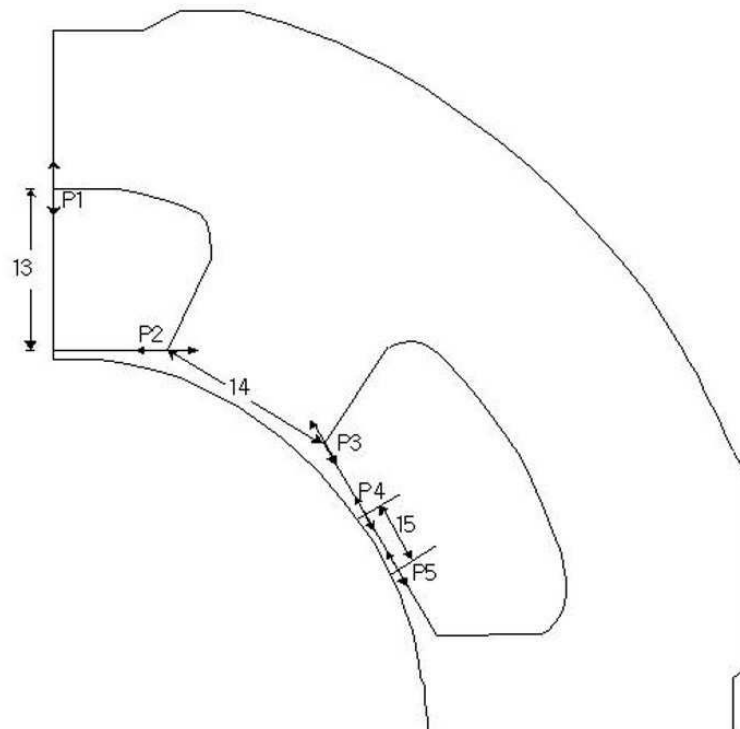
도면1



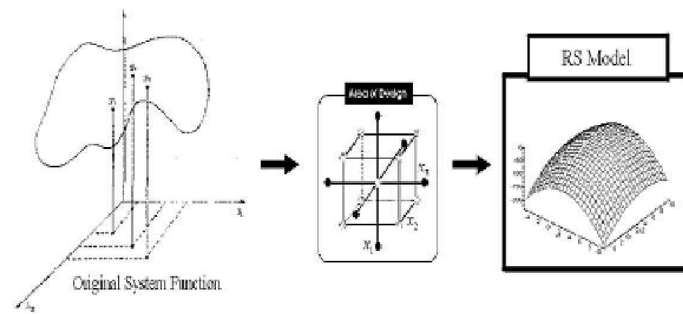
도면2



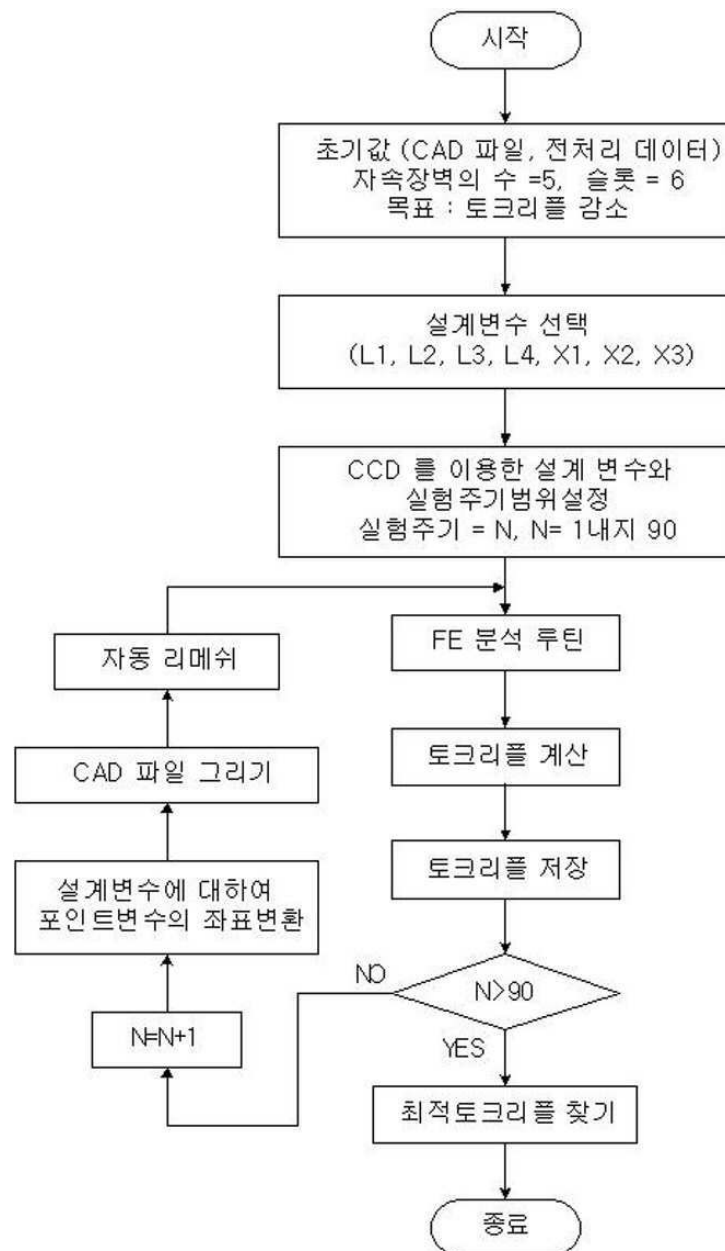
도면3



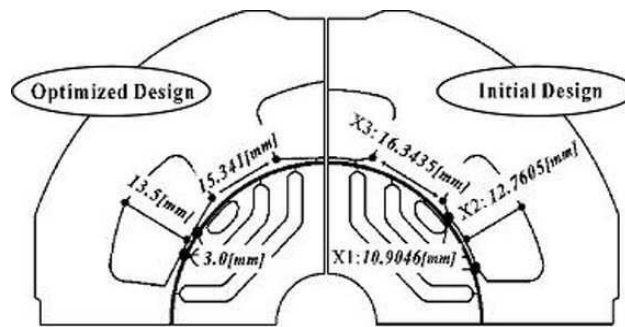
도면4



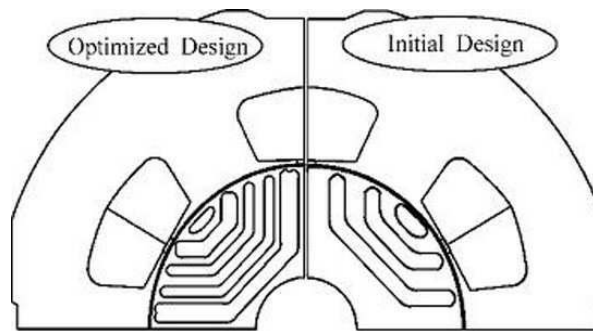
도면5



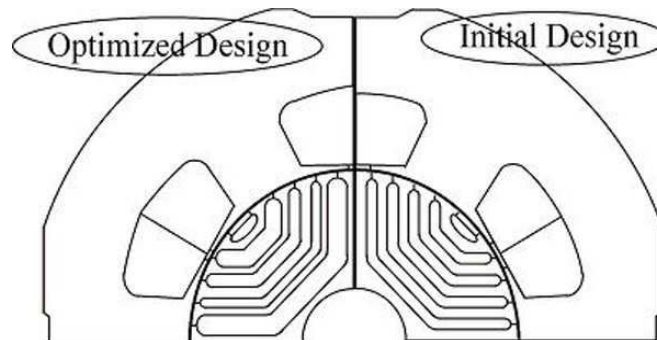
도면6



도면7



도면8



도면9

