

IPMSM 비퍼미언스를 활용한 진동예측에 관한 연구

Vibration Prediction using Relative Permeance of IPMSM

저자 (Authors)	이승현, 양인준, 송시우, 이승원, 김광수, 김원호 Seung-Hyeon Lee, In-Jun Yang, Si-Woo Song, Seung-Won Lee, Kwang-Soo Kim, Won-Ho Kim
출처 (Source)	대한전기학회 학술대회 논문집 , 2020.7, 1168-1169 (2 pages)
발행처 (Publisher)	대한전기학회 The Korean Institute of Electrical Engineers
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10440602
APA Style	이승현, 양인준, 송시우, 이승원, 김광수, 김원호 (2020). IPMSM 비퍼미언스를 활용한 진동예측에 관한 연구. 대한전기학회 학술대회 논문집, 1168-1169.
이용정보 (Accessed)	가천대학교 203.249.127.*** 2021/11/24 11:13 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

IPMSM 비퍼미언스를 활용한 진동예측에 관한 연구

이승현*, 양인준*, 송시우*, 이승원*, 김광수**, 김원호*
가천대학교* 한라대학교**

Vibration Prediction using Relative Permeance of IPMSM

Seung-Hyeon Lee*, In-Jun Yang*, Si-Woo Song*, Seung-Won Lee*, Kwang-Soo Kim**, Won-Ho Kim*,
Gachon University*, Halla University**

Abstract - IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) 치집중권모터는 제작의 편의성으로 널리 사용되나 Cogging Torque와 전자기 진동이 크다는 단점이 있다. 본 논문에서는 전자기적인 진동을 기초설계에서 예측하기 위해 새로운 비퍼미언스 수식을 제안했다. 기존의 Cogging Torque를 저감하는 기법을 토대로 회전자 형상에 변화를 주고 회전자 위치에 따라 변화하는 공극길이를 고려해 공극자속밀도를 Analytic한 방법으로 계산했다. FEM(Finite Element Method)을 활용하여 기존수식 및 제안된 수식의 자속밀도 파형을 비교하여 식에 대한 타당성을 검증했으며, FFT(Fast Fourier Transform)를 활용해 고조파 성분에 대한 경향성을 분석했다. 이를 통해 기존의 고조파 진동을 예측하는 방법보다 빠르게 예측할 수 있는 방법을 제안했다.

1. 서 론

치집중권 모터는 고효율 밀도를 위해 영구자석 모터를 사용하며 생활과 밀접한 응용분야이므로 소음의 발생원인이 되는 진동저감이 필요하다. 전자기적인 진동속도는 Radial Force로부터 계산할 수 있으며 이는 자속밀도의 제곱에 비례한다. 자속밀도는 회전자에서 발생하는 자속밀도와 고정자에서 발생하는 자속밀도가 있다. 인가되는 전류가 정현적이라고 가정하면, 고정자 자속밀도의 시간고조파 성분은 1fc 성분만 발생하며 이는 2fc의 성분만 존재하게 된다. 이는 자속밀도의 시간고조파의 기본과 성분이 되며, 회전자에 의한 자속밀도의 고조파 성분에 따라 2fc 이하에도 4fc, 6fc, ..., 2nfc성분의 고조파 성분이 발생한다. 따라서 전자기적인 진동을 예측하기 위해서는 시간에 따른 공극자속밀도의 공간적 분포를 정확하게 구해야 한다.

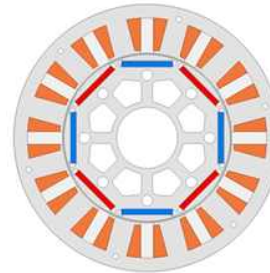
공극자속밀도는 기자력과 슬롯 비퍼미언스의 곱으로 나타낼 수 있다. 이때 회전자위치에 따라 변화하는 공극길이가 변형이 안된 기존식을 이용할 경우 전기적인 기본과성분도 차이가 나기 때문에 토크예측에도 오차가 발생하게 된다. 따라서 성능 및 전자기적인 진동을 예측하기 위해서는 기자력과 슬롯 비퍼미언스의 공간적 분포를 정확하게 구해야 한다.

이에 본 논문에서는 회전자 형상을 변형시켜 진동을 저감시키고, 진동예측을 위해 회전자 위치에 따라 변화하는 공극길이에 대한 비퍼미언스 수식을 제안했다. 기존 비퍼미언스식을 통해 도출된 자속밀도 파형과 제안된 식을 통해 도출된 자속밀도의 파형을 FEM과 비교하여 식의 타당성을 검증하였다. 전자기적인 진동의 예측을 위해 제안된 식과 FEM결과를 FFT하여 자속밀도의 공간고조파 차수 및 고조파 진동을 비교분석했다. 제안된 식을 통해 회전자에 의한 공극자속밀도의 공간적 분포를 잘 반영해 고조파 진동의 경향성을 분석하는데 적용할 수 있다.

2. 본 론

2.1 변수설정 및 회전자 위치에 따른 공극길이 계산

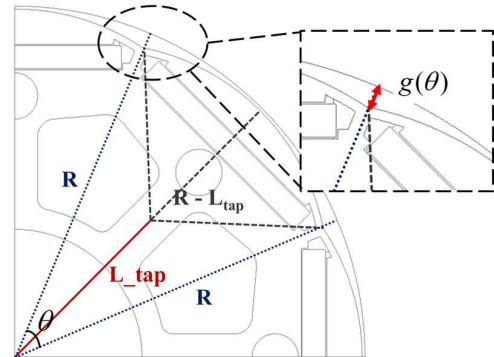
치집중권 모터의 이상적인 극수 슬롯수 조합인 8P12S IPMSM을 분석모델로 선정했다. 기존모델을 그림 1에 나타냈으며 기본 사양은 표1에 나타났다.



항목	값	단위
고정자 외경/내경	48/30.5	mm
회전자 외경/내경	30/11	mm
적층길이	26.95	mm
전류	14.5	A
공극길이	0.5	mm

〈그림 1〉 8P12S IPMSM 기존모델 및 기본사양

공극길이에 따른 공극자속밀도의 변화를 보기 위해 회전자 중심과 이격거리를 L_{tap} 으로 명칭하고 변수로 설정했으며 L_{tap} 의 길이가 증가함에 따라 회전자 외경의 공극길이가 증가하는 Model을 설정했다.



〈그림 2〉 변수설정 및 $g(\theta)$ 정의

회전자 외경에 tap을 줌으로써 회전자 web상단의 공극길이가 더 증가하게 된다. 기존 공극길이를 g 라고 했을 때, 증가되는 공극길이는 회전자 위치에 따라 변화하기 때문에 $g(\theta)$ 라고 정의했으며 회전자 외경을 $R[\text{mm}]$ 라고 했을 때 식 (1)로 표현할 수 있다. θ 는 극수에 대한 주기성을 위해 식 (2)와 같이 표현했다.

$$g(\theta) = (R - (L_{tap} \cos \theta + \sqrt{(R - L_{tap})^2 - (L_{tap} \sin \theta)^2})) \times 2 \quad (1)$$

$$\theta = \text{rem}(\theta_m + \frac{360^\circ M}{P \times 2}, \frac{360^\circ M}{P}) - \frac{360^\circ M}{P \times 2} \quad (2)$$

2.2 회전자 기자력 및 비퍼미언스 계산

영구자석에 의한 공극기자력 F_r 는 공극저항과 공극자속의 곱인 식 (3)로 주어진다. 이때 $\Phi_r/2$ 는 반극에 해당하는 자속이며, Φ_{rb} 는 립으로 누설하는 자속이다. 영구자석 릴럭턴스 R_m 과 공극저항 R_g 도 각각 식 (4)(5)로 정의된다. T_m 은 영구자석의 두께, A_m 은 영구자석의 다면적이다. g' 은 유효 공극길이를 기존공극길이 g 와 tap에 의한 공극길이 $g(\theta)$ 의 평균값을 더한 값을 의미한다.

Φ_g 는 공극자속, k_{lb} 와 k_{ls} 는 각각 베리어 및 공극 누설계수를 의미하며 1보다 약간 작은 값을 가진다. k_r 은 누설계수이다.

$$F_r = R_g \Phi_g = \frac{2k_{lb}k_{ls}}{1 + \frac{k_r}{R_g}} \left(\frac{\Phi_r}{2} - \Phi_{rib} \right) \quad (3)$$

$$R_m = \frac{T_m}{\mu_0 \mu_r A_m} \quad (4) \quad R_g = \frac{g'}{\mu_0 A_g} \quad (5)$$

슬롯과 공극을 고려한 공극비퍼미언스 파형을 슬롯비퍼미언스라고 정의한다. 실제자속은 프린징 현상 등에 의해 슬롯의 실제 길이가 고려되면 그 오차가 심해지므로 유효슬롯길이 l_s' 을 이용하여 계산한다. 기존 유효슬롯길이 l_s 는 카터계수를 구하는 식으로부터 구할 수 있으며 슬롯 오프닝 폭 길이(w_{so})와 공극길이에 비례하게된다. Tap에 의한 유효슬롯길이는 회전자 위치에 따라 변화하므로 Theta를 이용해 $l_s''(\theta)$ 로 표현했다.

$$l_s' = \frac{\pi \omega_{so}}{4 \ln \left(1 + \frac{\pi \omega_{so}}{4g'} \right)} \quad (6)$$

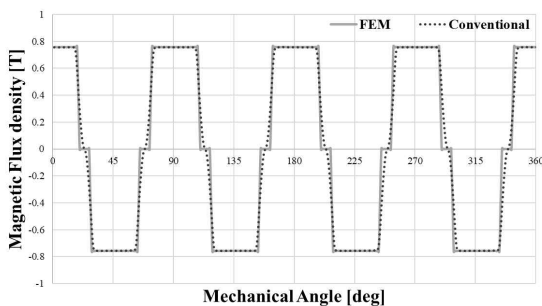
$$l_s''(\theta) = \frac{\pi \omega_{so}}{4 \ln \left(1 + \frac{\pi \omega_{so}}{4(g + g(\theta))} \right)} \quad (7)$$

비퍼미언스는 투자율/공극길이를 계산한다. 기존의 비퍼미언스를 G_1 , tap에 의한 비퍼미언스를 G_2 라고 표현했다.

$$G_1 = \frac{\mu_0}{l_s'} \quad (8) \quad G_2 = \frac{\mu_0}{l_s''(\theta)} \quad (9)$$

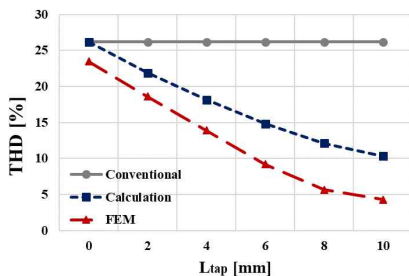
2.3 FEM을 통한 타당성 검증

L_{tap} 길이가 0mm 일 때 기존식과 FEM의 자속밀도 파형을 비교한 결과를 그림 3에 나타냈다. 두 개의 파형이 일치함으로 기존식의 타당성을 확인할 수 있다.



〈그림 3〉 자속밀도 파형 비교 ($L_{tap}=0mm$)

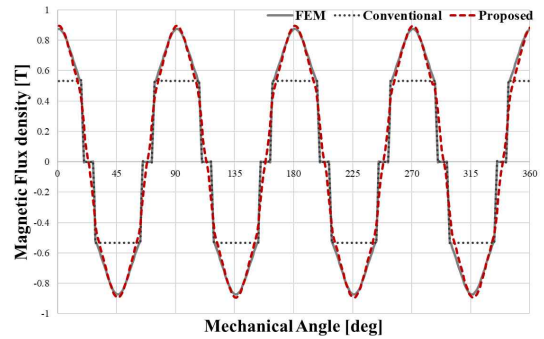
제안된 식의 타당성을 검증하기 위해 L_{tap} 길이가 0mm부터 10mm 구간에서 2mm단위로 THD를 계산했다. THD비교한 결과를 그림 4에 나타냈으며, FEM결과와 계산결과와의 경향성이 일치한 것을 확인할 수 있다.



〈그림 4〉 L_{tap} 길이에 따른 THD경향성 분석결과

L_{tap} 길이가 8mm의 파형을 비교해보면 제안된 비퍼미언스를 활용한 파형이 기존의 식을 활용한 파형보다 FEM결과와 더 일치한

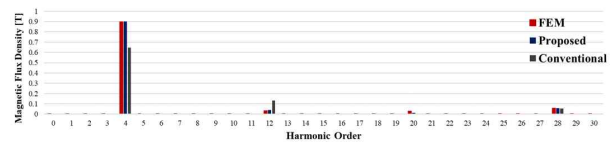
것을 확인했다. 결과는 그림 5에 나타냈다.



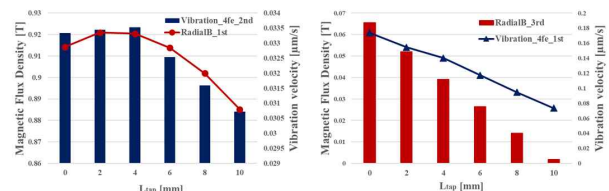
〈그림 5〉 자속밀도 파형 비교 ($L_{tap}=8mm$)

2.4 FFT를 활용한 고조파 분석

전자기적인 진동은 주로 라디얼포스에 의해서 발생하게되며, 라디얼포스는 공극자속밀도의 제곱에 비례한다. 진동을 예측하기 위해 공극자속밀도를 시간과 공간에 대해서 FFT했다. 그 결과를 그림6에 나타냈으며, 유한요소해석법을 FFT한 결과와 제안식 FFT한 결과가 일치한 것을 확인할 수 있었다. 제안한식을 통한 자속밀도를 FFT한 결과와 FEM의 진동을 FFT한 결과를 그림 7에 나타냈으며, 자속밀도의 기본파성분과 진동의 4fc성분의 2차 성분, 자속밀도의 3차성분과 4fc의 1차 성분의 경향성이 일치함을 확인했다. 이를 통해 최적설계가 아닌 방법으로 진동을 검토하는데 적용할 수 있음을 확인했다.



〈그림 6〉 Radial Force FFT비교결과



〈그림 7〉 자속밀도 및 진동 주파수 분석결과

3. 결 론

본 논문에서는 회전자 형상변화에 따른 진동저감을 위한 회전자 설계변수를 제안했다. 기존 공극자속밀도를 구하는 식에 Tap 길이에 따라 변화하는 새로운 비퍼미언스식을 제안했으며, FEM을 통해 식의 타당성을 검증했다. FFT를 통한 고조파 분석을 통해서 제안된 식과 FEM 자속밀도의 고조파 성분을 분석했으며 진동을 예측할 수 있는 비퍼미언스식을 제안했다.

감사의 글

이 성과는 2018년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2018R1C1B5085711).

[참 고 문 헌]

- [1] Ik-Sang Jang, "Method for Analyzing Vibrations Due to Electromagnetic Force in Electric Motors", Journal of IEEE Transactions on Magnetics, Volume: 50, Issue: 2 (2014)