

고정자 형상 변화를 통한 EV용 구동모터의 유기전압 고조파 저감 설계

Harmonic Reduction Design of Induced Voltage by Modifying Stator Shape for EV Traction Motor

저자 (Authors)	위성혁, 진준우, 차경수, 박현진, 홍정표 Sung-Hyeok Wi, Jun-Woo Chin, Kyoung-Soo Cha, Hyeon-Jin Park, Jung-Pyo Hong
출처 (Source)	한국자동차공학회 춘계학술대회 , 2019.5, 1241-1244(4 pages)
발행처 (Publisher)	한국자동차공학회 The Korean Society Of Automotive Engineers
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08748078
APA Style	위성혁, 진준우, 차경수, 박현진, 홍정표 (2019). 고정자 형상 변화를 통한 EV용 구동모터의 유기전압 고조파 저감 설계. 한국자동차공학회 춘계학술대회, 1241-1244
이용정보 (Accessed)	한양대학교 166.***.168.162 2019/10/04 12:52 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 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.

고정자 형상 변화를 통한 EV용 구동모터의 유기전압 고조파 저감 설계

위 성 혁 · 진 준 우 · 차 경 수 · 박 현 진 · 홍 정 표*

한양대학교 미래자동차공학과

Harmonic Reduction Design of Induced Voltage by Modifying Stator Shape for EV Traction Motor

Sung-Hyeok Wi · Jun-Woo Chin · Kyoung-Soo Cha · Hyeon-Jin Park · Jung-Pyo Hong*

Department of Automotive Engineering, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Sungdong-gu, Seoul 04763, Korea

Abstract : This paper proposes the method of reducing induced voltage harmonics in high speed region through the stator optimal design of the electric vehicle traction motor. The design variables of the stator that are sensitive to lowering the induced voltage harmonics are selected using the analysis of variance(ANOVA). From the selected design variables, optimal design was carried out using the response surface method(RSM). Through the optimal design, the harmonic of the induced voltage is reduced so that the line to line induced voltage does not exceed the DC link voltage.

Key words : Chamfer(첼퍼), Concentrated winding(집중권), Induced voltage(유기전압), Interior permanent magnet synchronous motor (IPMSM, 매입형 영구자석 동기전동기), Notch(노치), Slot opening(슬롯 오프닝), Traction motor (구동 모터)

1. 서 론

최근 내연기관 차량의 이산화탄소 배출로 인한 환경문제가 대두됨에 따라 전기차에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 내연기관 차량의 엔진을 대체할 전기차용 구동 모터에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

전기차는 다양한 속도와 토크를 요구하기 때문에 구동 모터는 넓은 운전영역을 가져야 한다. 모터가 정격속도 이상의 고속 영역에서 구동되기 위해서는 약계자 제어가 필요하다. 이로 인해 고정자 쇄교자속의 고조파 성분이 증가하고 선간 유기전압이 전압제해를 초과하게 된다.

본 논문은 집중권 구동용 모터의 고정자 최적 설계를 통한 고속 영역 구동 시의 유기전압 고조파 저감을 다룬다. 분산분석법을 이용하여 고정자의 형상 변수 중 유기전압 고조파를 낮추는데 민감하게 작용하는 설계 변수를 선정한 후 반응표면법을 통해 최적설계를 진행한다. 최적 설계 결과를 바탕으로 대상 모델과 최종 모델간의 선간 유기전압의 최대치와 고조파의 저감을 확인한다.

2. 대상 모델 분석

본 논문의 대상 모델은 12극 18슬롯의 구동용 모터이다. 차량 구동용 모터는 배터리에 의해 전압제한과 선간 유기전압 최대치가 결정되는데 본 모델의 경우 500V이다. 따라서 FEA를 통하여 대상 모델의 선간 유기전압이 전압제한을 초과하는지를 분석했으며, 그 결과는 Fig. 1과 같다.

* Corresponding Author, E-mail: hongjp@hanyang.ac.kr

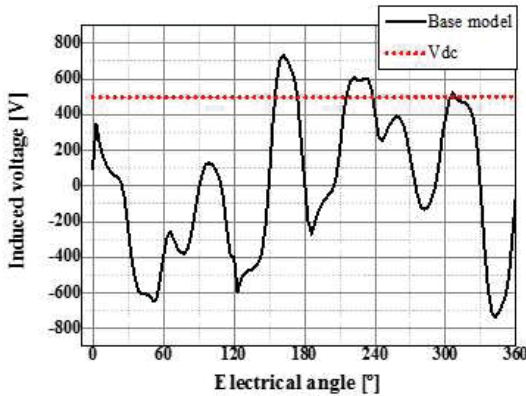


Fig. 1 Induced Voltage of Base Model

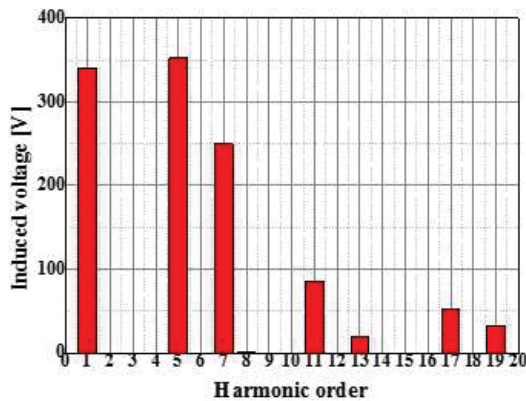


Fig. 2 Harmonic Analysis of Induced Voltage

선간 유기전압 최대치는 735V로 전압 제한보다 47% 높음을 확인하였다. 이에 따라 유기전압 고조파 분석을 통하여 어떤 고조파 성분이 문제가 되는지 확인한다. 그 결과는 Fig. 2와 같고 이를 통해 유기전압 고조파의 5차, 7차 성분을 저감시켜야 함을 알 수 있다.

3. 분산분석을 통한 설계 변수 선정

대상 모델의 유기전압 고조파 성분을 낮추기 위해 고정자 형상의 최적 설계를 진행한다. 최적 설계를 진행하기 위해 분산분석법을 이용하여 유기전압 고조파 저감에 민감하게 영향을 미치는 설계 변수를 선정한다.

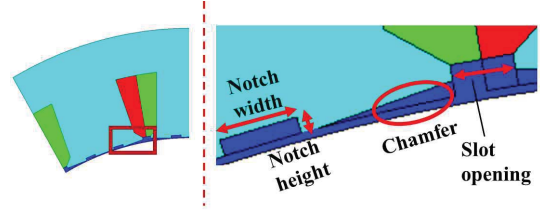


Fig. 3 Design Parameters of Stator

초기 설계 변수를 노치의 폭, 노치의 높이, 챔퍼, 슬롯 오프닝으로 선정했고, 이는 Fig. 3과 같다. 각 변수의 값을 변화시키면서 FEA를 통해 결과를 확인한다. 이를 바탕으로 분산분석을 통해 최종 설계변수를 선정한다.

3.1 노치

고정자에 노치를 적용하면 전기적으로 슬롯 수가 늘어난 것과 같은 효과가 발생해 슬롯 수와 극수의 최소공배수를 조정할 수 있다. 고조파를 저감하기 위해서는 최소공배수를 키워야하고, 12극 18슬롯 전동기의 경우 치 당 2개의 노치를 적용할 경우 고조파를 저감할 수 있다. 이때 노치의 폭과 높이의 변화에 따른 유기전압 고조파의 경향을 확인한다.

3.2 챔퍼

약계자 제어시 공극 자속밀도가 정현적이지 않아 유기전압에 고조파가 생긴다. 고정자 치에 챔퍼를 적용하여 공극 자속밀도를 정현적으로 만들어 유기전압의 고조파를 저감할 수 있다. 챔퍼 값의 변화에 따른 유기전압 고조파의 경향을 확인한다.

3.3 슬롯 오프닝

회전자로부터의 자속이 치를 통과하는 유효단면적은 슬롯오프닝의 변화에 따라 달라진다. 이에 따라 공극자속이 치로 전달될 때 발생하는 누설자속 등에 변화를 준다. 슬롯오프닝 값의 변화에 따른 유기전압 고조파의 경향을 확인한다.

3.4 설계변수 선정

분산분석법을 이용하여 설계변수를 선정한다. 분산분석법은 P-value와 기여율을 통해 성능과 관련된 요인들 중에 특히 큰 영향을 주는 요인들을 찾아내는 방법이다. P-value란 설계 인자가 전동기 성능에 영향을 주지 않을 확률을 나타낸 값이고, 기여율

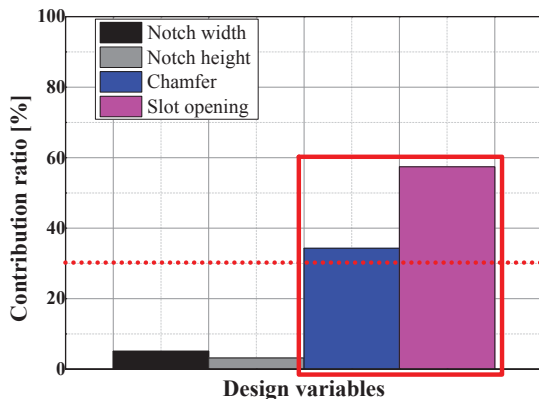
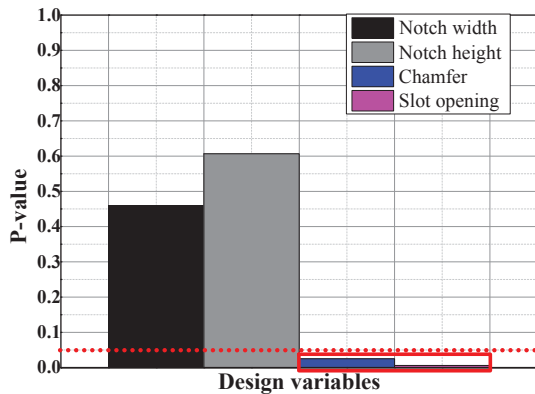


Fig. 4 P-value and Contribution Ratio of Design Variables

은 특정 설계 인자가 전동기 성능에 영향을 주는 정도를 나타내는 값이다. P-value가 0.05 이하, 기여율이 30% 이상인 챔퍼와 슬롯오픈링을 최적 설계에 이용할 최종 설계 변수로 선정하였다. 각 변수의 분산분석 결과는 Fig. 4와 같다.

4. 최적 설계

반응표면법은 여러 설계 변수가 반응 변수에 영향을 줄 때 시뮬레이션 데이터를 이용하여 설계 변수와 반응 변수의 관계를 찾는 통계적 방법이다. 최적 설계의 목적은 요구 토크를 만족하면서 선간 유기전압이 전압 제한을 만족하는 것이다. 반응표면법을 이용하여 Fig. 5와 같이 유기전압 고조파의 최대치에 대한 등고선을 그린다.

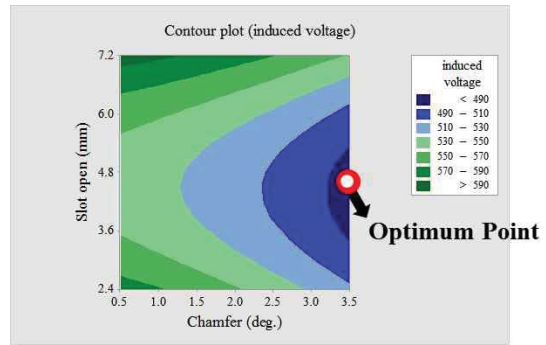


Fig. 5 Induced Voltage Contour Plot of Optimum Point

4.1 최종 모델

Fig. 6의 좌측은 초기모델, 우측은 최종 모델의 형상을 보여주고 있다. 최종모델의 각 형상 치수는 Table 1 와 같다. Fig. 7은 전압 제한 이하에서 형성된 최종모델의 선간 유기전압을 나타낸다. Fig. 8은 대상 모델과 최종 모델의 유기전압 고조파의 차이를 나타낸다. 고정자 최적설계를 통해 유기전압 고조파가 저감됨을 확인할 수 있다.

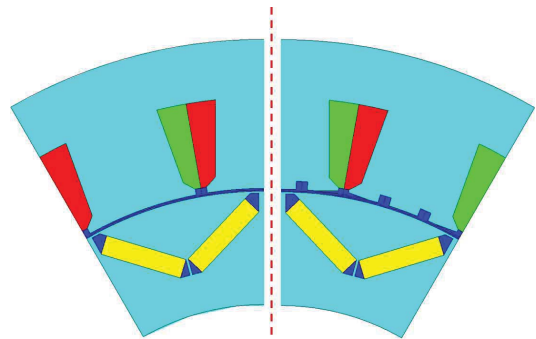


Fig. 6 Base Model and Improved Model

Table 1 Values of Design Variables

	Notch width	Notch height	Chamfer	Slot opening
Value	4.8 (mm)	3.4 (mm)	3.5 (deg.)	4.4 (mm)

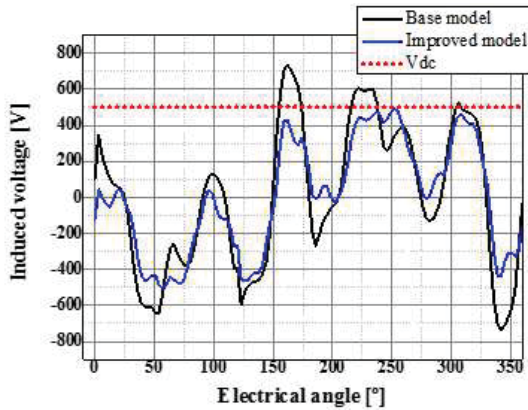


Fig. 7 Induced Voltage Profile of Each Model

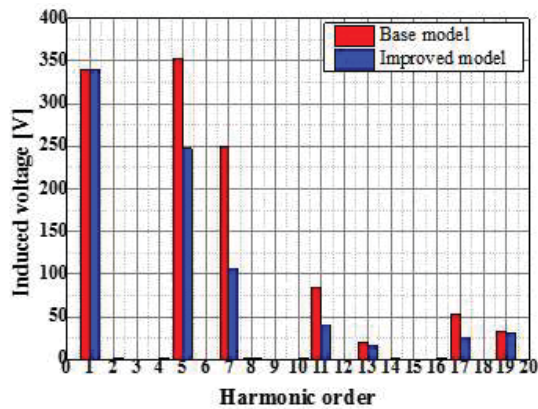


Fig. 8 Harmonic Analysis of Induced Model

5. 결 론

본 논문에서는 차량 구동용 전동기의 유기전압 고조파를 저감하는 설계를 진행했다. 분산분석법을 통해 고정자의 챔퍼와 슬롯 오프닝을 설계 변수로 선정하여 반응표면법을 이용해 최종 모델을 설계하였다. FEA 해석을 통해 확인한 결과 선간 유기전압의 최대치가 기존 735V에서 491V로 33.2% 저감되어 전압 제한 500V를 초과하지 않음을 확인했다.

References

- 1) Jae-Yui Kim, Kyoung-Soo Cha, Min-Ro Park, Myung-Seop Lim, Jung-Pyo Hong, "Design of Traction Motor to Reduce Induced Voltage through Shape Change", KSAE Conf, 1258-1262, 2016
- 2) Jae-Hyun Kim, Doo-Young Kim, Kwon-Il Park, Myung-Hwan Yoon, Jung-Pyo Hong, "Torque Ripple Analysis and Reduction Design of Surface-mounted Permanent Magnet Synchronous Motor for EPS", KSAE Conf, 1107-1111, 2017
- 3) Nyeon-Han Hong, Myung-Hwan Yoon, Jung-Pyo Hong, "Notch Design of EV Traction Motor for Improving Torque Performance", KSAE Conf, 1240-1242, 2015
- 4) Soo-Hwan Park, Ju-Hee Hong, Jin-Cheol Park, Kyoung-Soo Cha, Jung-Pyo Hong, "Optimum Design of IPMSM BEMF and THD of BEMF for Pump in Vehicles Using Response Surface Methodology", KSAE Conf, 1008-1011, 2015