

EV의 저속 회생영역 확장을 위한 토크보정 알고리즘

김우재* · 원일권* · 추경민* · 홍성우* · 김준찬* · 김영렬** · 원충연*
성균관대* · 안양대**

Torque Compensation Algorithm for Expansion of Low Speed Regeneration Area of EV

Woo Jae Kim*, Il Kuen Won*, Kyoung Min Choo*, Sung Woo Hong*, Jun Chan Kim*,
Young Real Kim**, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*, Anyang University**

ABSTRACT

In an electric vehicle driving system, the regeneration power charging the battery with electricity is applied as the driver controls the brake. This paper is proposed a torque compensation algorithm that can regenerate due to extend regeneration area at the low speed of EV system. In order to verify the proposed method, PSIM simulation is performed and it is confirmed that regeneration occurred the proposed method is regenerated at low speed by comparing the existing method with the proposed method.

1. 서론

전기자동차는 모터의 회생제동을 통해 에너지의 소비를 최소화 하며 구동될 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 교통량이 많아 반복적인 제동과 구동을 해야 하는 경우에는 그에 따른 회생 량이 증가하여 높은 효율을 낼 수 있다. 그러나 앞서 언급한 교통량이 많은 지역에서 전기자동차는 서행하게 되며 이때 전기적으로 일정 이상의 제동토크를 발생시키면 회생이 불가능하고 전력을 소모하며 제동을 한다. 때문에 최대 제동토크를 발생시켰을 시 회생이 불가능한 최저 속도를 사전에 미리 측정하여 일정 속도 이하의 영역에서 기계적인 제동토크를 주는 연구가 진행되었다.[1] 그러나 이러한 제동기법도 교통량이 많은 지역에서는 차량이 서행해야하므로 높은 효율을 낼 수 없다. 본 논문에서는 전기자동차의 효율을 높이기 위해 회생이 가능한 영역을 분석하고 그 영역을 확장 시켜 저속에서도 높은 효율을 낼 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

2. 저속 회생불가영역

전동기의 회전방향과 동일한 방향의 토크지령이 인가되면 모터구동을 수행하고, 반대 방향의 토크지령이 인가되면 모터 제동을 수행한다. 앞서 언급했듯이 모터제동 시 회생제동으로 작동하여 에너지의 소비를 최소화 할 수 있지만 전기적으로 일정 이상의 제동토크를 발생시키면 회생이 불가능하다. 이는 상대적으로 역기전력이 작은 저속에서 고정자의 저항에 의한 전압강하로 인해 회생이 불가능한 영역이 존재하기 때문이다.

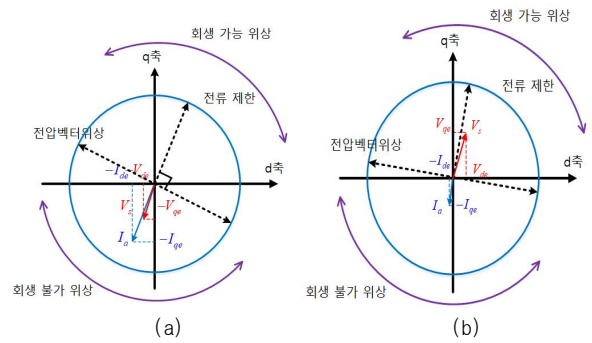


그림 1 지령전류에 따른 모터구동시스템의 회생 여부
(a) 회생불가 (b)회생가능

Fig. 1 Regeneration able or regeneration disable according to reference of current
(a) Regeneration able (b) Regeneration disable

고속에서는 상대적으로 역기전력이 고정자 전압에 의해 발생하는 전압강하보다 크기 때문에 제동 시 원활하게 회생모드로 작동할 수 있다.

저속의 경우 고정자 저항 값에 의하여 전압강하 값이 역기전력성분과 비교하여 무시할 수 없을 정도로 크기 때문에 실제 전압에 영향을 미치게 된다. 저속영역에서 고정자 저항에 대한 전압강하를 포함하는 d q축 전압벡터는 수식(1)과 같다.

$$V_s^2 = v_d^2 + v_q^2 = (R_a i_d^* - \omega_r L_q i_q^*)^2 + (R_a i_q^* + \omega_r L_d i_d^* + \omega_r \phi_a)^2 \quad (1)$$

그림 1는 지령전류에 따른 모터구동시스템의 회생가능 여부를 나타낸다. 지령전류는 미리 실험으로 구해진 값으로 고정되도록 제어됨에 따라 토크출력이 정상상태일 때 전압벡터의 위상은 전류지령벡터에 대하여 90도 이상일 때부터 회생가능위상이며 180도의 위상차일 때에는 최대 회생량을 가진다. 기본적으로 회생제동 모드를 할 때 전류벡터는 d q축 기준평면의 3사분면에 위치하여 전압벡터는 1사분면에 위치하는 것이 가장 바람직하다. 운전자는 저속영역에서 제동토크를 출력하면서 회생이 가능하도록 전압벡터의 위상 및 크기를 수정해야 한다.

전압벡터를 수정하는 방법에는 첫 번째로 전동기의 회전속도를 증가시켜 역기전력 성분을 증가시켜 전압벡터를 양의 값으로 이동시키는 것이 있다. 하지만 브레이크 페달의 동작에 의해 운전자는 자동차의 속도를 감소시켜야 하므로 전기자동차

의 속도를 회생영역으로 증가시킬 수 없다. 두 번째로 회생토크의 양을 줄어줌에 따라 회생모드로 전환되는 것이 있다. 이는 회생토크를 적게 출력할 때 회생이 가능한 전압벡터 위상으로 진입한 것을 알 수 있기 때문에 회생토크지령 값에 따라 전력을 소모하지 않도록 전압벡터의 보정제어가 필요하다.

3. 제안하는 회생영역확장 기법

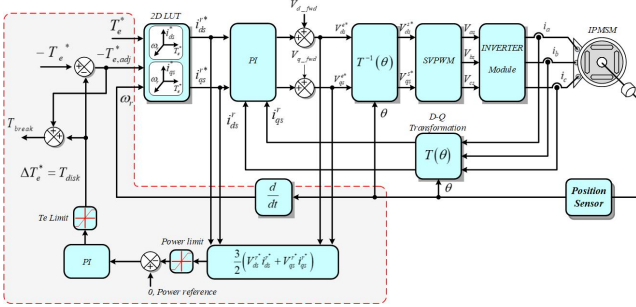


그림 2 제안된 전기적 회생토크 보정 블록도
Fig. 2 Proposed electric regenerative torque compensation block diagram

그림 4는 2D LUT를 사용하는 제안된 전기적 회생토크 보정 블록도를 나타낸다. 역 토크지령은 2D LUT을 통해 최적의 전류지령으로 작성되어 전류벡터는 고정적으로 제어되어야 한다. 이에 따라 전류지령과 전압지령을 이용하여 인버터의 출력 전력을 수식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

$$\frac{3}{2} (V_{ds}^{r*} I_{ds}^{r*} + V_{qs}^{r*} I_{qs}^{r*}) \quad (2)$$

이 때 회생토크 지령이 인가가 되었지만 전력량이 양의 값을 가지는 경우에는 회생은 하지 않고 전력을 소모한다. 이와 같이 전력제어를 이용하여 수식 (2)을 통해 양의 값이 출력될 경우 회생토크의 크기를 회생이 가능한 크기로 감소시켜주고 원하는 제동력을 얻기 위해 감소된 토크는 디스크 브레이크가 감당하여 전기적 회생이 가능한 형태로 제어가 가능하게 된다.

4. 시뮬레이션 결과

제안한 회생영역확장 기법의 신뢰성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

표 1 IPMSM의 파라미터 종류 및 값
Table 1 Parameter types and values of IPMSM

전동기 파라미터 종류	값
L_d	303 [μH]
L_q	907 [μH]
Flux	0.0455 [Wb]
R_s	0.72 [Ω]
연속 정격 전류	46 [A]
최대 피크 전류	157 [A]
극수(P)	8

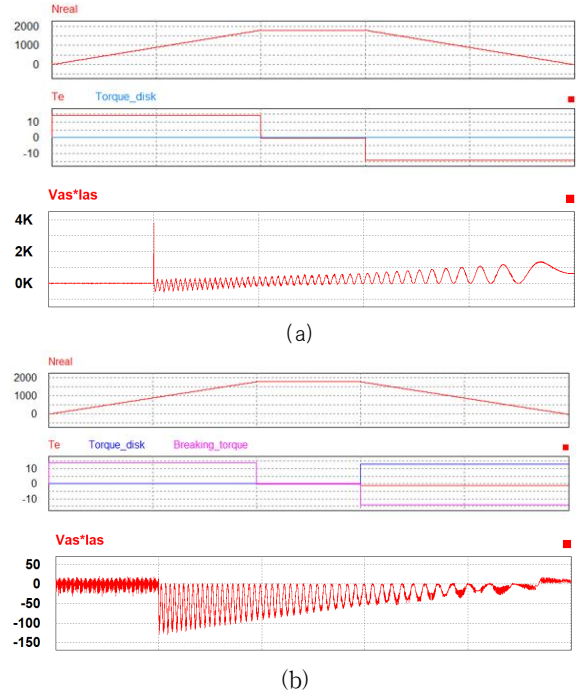


그림 3 정/역 토크지령 인가에 따른 회생불가영역 및 회생영역확장
(a) 기존의 방식 (b) 제안한 방식
Fig. 3 Regeneration disabled area and regeneration area extension according to forward/reverse torque reference
(a) the existing method (b) the proposed method

표 1은 IPMSM의 파라미터 종류 및 값을 나타내며, 그림 3은 정/역 토크지령 인가 시 회생불가영역과 회생영역확장을 시뮬레이션을 통하여 나타낸다. 파형들은 각각 기존의 방식과 제안한 방식의 전력과 전압, 전류를 나타내는데 두 방식의 파형들을 비교하여 속도의 변화는 없지만 기존의 방식에서 회생이 불가능했던 영역이 제안한 방식에서는 회생이 가능한 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 저속에서의 회생불가영역에 대하여 정의하였고, 제안한 방식으로 회생불가영역에서의 전압벡터 보정제어를 다루었다. 기존의 방식에서는 저속에서 회생불가영역이 존재하여 속도가 감소함에 따라 전력을 소모하는 것을 볼 수 있었는데, 제안한 방식으로 기존의 회생불가영역의 회생토크가 수정되어 회생영역의 확장을 통해 회생모드로 작동하는 것을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

이 논문은 0000년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. 2017R1D1A1B03033811).

참고 문헌

[1] P. Fajri, S. Lee, V. A. K. Prabhala and M. Ferdowsi, "Modeling and Integration of Electric Vehicle Regenerative and Friction Braking for Motor/Dynamometer Test Bench Emulation," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 6, pp. 4264-4273, 2016, June.