

H-브릿지 멀티레벨 인버터를 이용한 고전압 대용량 유도 전동기 속도 센서리스 제어

박영민, 유한승, 이현원, 이세현
현대중공업 (주)

Speed Sensorless Control of High Power Induction Motor Using a Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter

Young Min Park, Han Seong Ryu, Hyun Won Lee, and Se Hyun Lee
*Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

본 논문에서는 H 브릿지 멀티레벨 인버터를 이용한 고전압 대용량 유도 전동기 구동을 위한 단순하고 강인한 속도 센서리스 제어를 소개하였다. H 브릿지 멀티레벨 인버터는 고전압 대용량화, 우수한 입출력 전력품질, 모듈화, 그리고 설치 조건 편의성으로 인해 고전압 대용량 유도 전동기 가변속 용도로 적용이 확대되고 있지만, V/F 운전시의 대표적인 단점인 저속 영역에서의 낮은 토오크, 무부하 혹은 경부하 조건의 전류 및 전동기 진동, 그리고 전동기 슬립에 의한 속도 변동은 대용량 유도 전동기의 인버터 적용에 걸림돌이 되고 있다. 따라서, 이러한 문제점을 극복하기 위해 속도 센서가 필요 없으며 전동기 상수에 강인한 속도 센서리스 제어를 전류 및 슬립 보상을 적용하여 유도 전동기의 기동 토오크 증대, 경부하 진동 억제, 그리고 속도 제어 특성을 향상 시켰다.

1. H-브릿지 멀티레벨 인버터

H 브릿지 멀티레벨 인버터 시스템의 각 상은 단상 인버터 (Power Cell) 직렬 연결 구조이며, 여러 개의 Power Cell을 직렬로 연결함으로써 저전압 Power Cell, 즉 저전압 전력용 반도체를 사용하여 고전압을 얻을 수 있다. 또한 Power Cell의 수에 따라 출력 전압 레벨의 갯수가 증가하여 정현파에 가까운 전압 파형을 얻을 수 있다. 입력측 변압기는 2차측 권선간에 위상차를 두어 Multi pulse 방식의 정류기형 컨버터를 구성함으로써 기존의 6 pulse 정류 방식에 비하여 아주 낮은 입력단 전류 고조파 특성이 있다. 인버터 최종 출력 전압은 Power Cell의 갯수를 조정함으로써 대응이 가능하다. 따라서, 입출력 전력 품질이 우수하며 강압 및 승압 변압기, 입출력 필터 그리고 고전압 전력용 반도체 소자를 사용하지 않으면서 고전압 전동기를 직접 구동할 수 있는 우수한 전력 토폴로지이다.

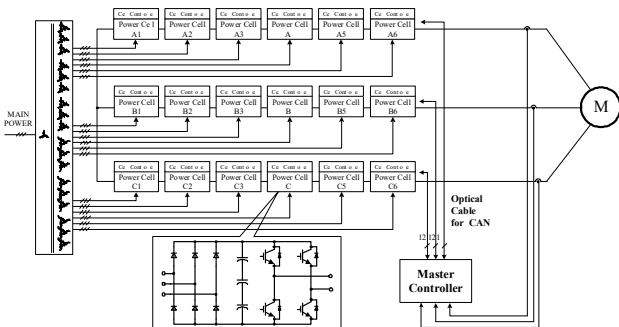


그림 1. H-브릿지 멀티레벨 인버터 구성도



그림 2. 개발된 H-브릿지 멀티레벨 인버터 사진

2. 적용된 속도 센서리스 제어

제안된 속도 센서리스 제어 방법은 유도 전동기의 정상 상태 방정식, 슬립 보상, 그리고 자속 성분의 전류 제어기로 구성된다.

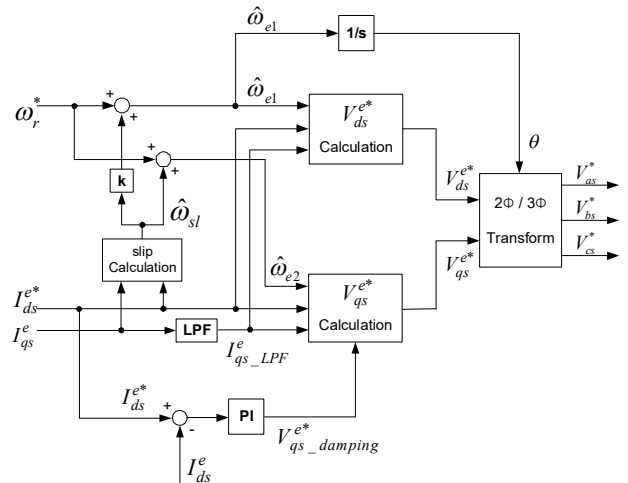


그림 3. 속도 센서리스 제어 블록도

식(1)과 (2)는 d 축 전압 기준값 V_{ds}^{e*} 과 q 축 전압 기준값 V_{qs}^{e*} 을 나타내며, 식(4), (5)에 보여진 것처럼 다른 각주파수 $\hat{\omega}_{e1}$, $\hat{\omega}_{e2}$ 에 의해 계산된다. 자속 감속을 방지하는 슬립 보정값 k는 속도 기준값 ω_r^* 에 의해 변경된다. I_{qs}^e 는 전류 센서를 사용해서 관측된 부하 전류이고, $I_{qs_LPF}^e$ 는 저역 통과 필터를 통해 계산된다. R_s 는 고정자 저항, R_r 은 회전자 저항, L_s 는

고정자 인덕턴스, L_r 은 회전자 인덕턴스, L_σ 는 과도 인덕턴스, 그리고 T_r 은 회전자 시정수이다. 경부하 진동억제^[2]를 위하여 식(6)과 같이 다이내믹 전류 보상기 $(I_{ds}^{e*} - I_{ds}^e)(PI)$ 를 추가하여 그림3의 단순하고 강인한 센서리스 제어 블록도를 적용하였다.

$$V_{ds}^{e*} = R_s I_{ds}^{e*} - \hat{\omega}_{e1} L_\sigma I_{qs_LPF}^e \quad (1)$$

$$V_{qs}^{e*} = R_s I_{qs_LPF}^e + \hat{\omega}_{e2} L_s I_{ds}^{e*} \quad (2)$$

$$\hat{\omega}_{sl} = \frac{R_r I_{qs}^e}{L_r I_{ds}^{e*}} = \frac{1}{T_r} \frac{I_{qs}^e}{I_{ds}^{e*}} \quad (3)$$

$$\hat{\omega}_{e1} = \omega_r^* + k \hat{\omega}_{sl}, \quad (0 \leq k < 1) \quad (4)$$

$$\hat{\omega}_{e2} = \omega_r^* + \hat{\omega}_{sl} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} V_{qs}^{e*} &= R_s I_{qs_LPF}^e + \hat{\omega}_{e2} L_s I_{ds}^{e*} + V_{qs_damping}^{e*} \\ &= R_s I_{qs_LPF}^e + \hat{\omega}_{e2} L_s I_{ds}^{e*} + (I_{ds}^{e*} - I_{ds}^e)(PI) \end{aligned} \quad (6)$$

3. 실험장치의 구성 및 결과

3.1 실험장치의 구성

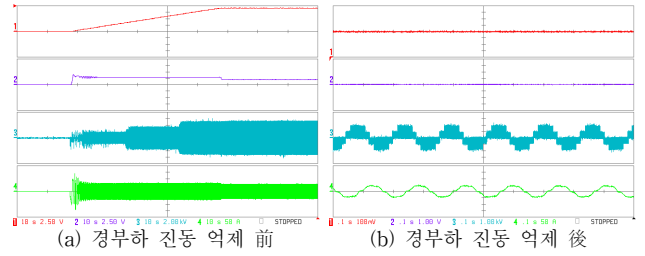
9 레벨로 구성된 H 브릿지 멀티레벨 인버터를 이용한 3300V 450kW 유도 전동기 속도 센서리스 실험을 한국 전기연구원의 다이내모미터 부하를 적용하여 수행하였다.



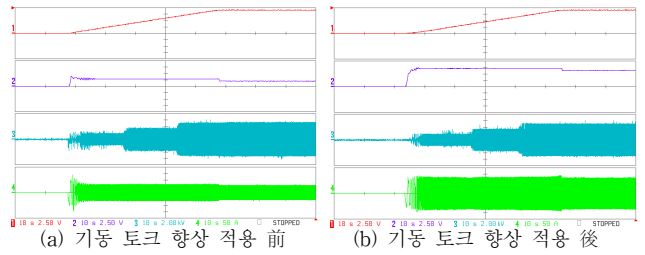
그림 4. 다이내모미터 부하 실험 사진

3.2 실험 결과

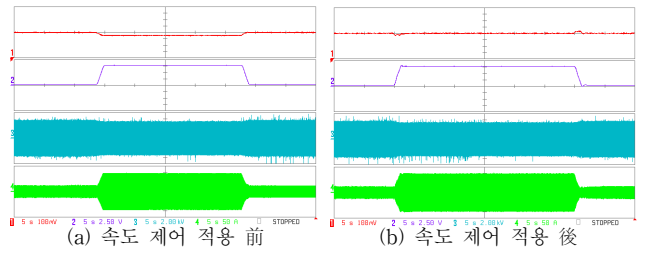
그림 5는 경부하 조건의 전류 및 속도의 진동 억제에 관한 실험으로 V/F 운전시의 진동과 다이내믹 전류 보상기를 이용한 진동 억제를 보여 주며, 그림 6은 기동 토크에 관한 실험으로 V/F 운전시 기동 토크는 정격의 33%이며, 제안된 제어방법 적용시 기동 토크가 100%로 향상되었음을 보여준다. 또한, 그림 7은 부하에 의한 속도 변동을 보상하는 실험으로 정격 속도에서 100% 부하를 인가하여 유도 전동기의 고유한 슬립 특성에 의해 속도가 변동하는 V/F 운전과 속도 제어를 적용하여 부하 변동에 관계없이 속도 제어가 원활히 수행됨을 보여준다.



Ch. 1 : 전동기 속도 (X axis: 100msec/div., Y axis: 20rpm/div.)
Ch. 2 : 전동기 토크 (X axis: 100msec/div., Y axis: 300Nm/div.)
Ch. 3 : 출력 선간 전압 (X axis: 100msec/div., Y axis: 1000V/div.)
Ch. 4 : 출력 전류 (X axis: 100msec/div., Y axis: 50A/div.)
그림 5. 경부하 진동 억제 前 / 後의 실험 결과



Ch. 1 : 전동기 속도 (X axis: 10sec/div., Y axis: 500rpm/div.)
Ch. 2 : 전동기 토크 (X axis: 10sec/div., Y axis: 750Nm/div.)
Ch. 3 : 출력 선간 전압 (X axis: 10sec/div., Y axis: 2000V/div.)
Ch. 4 : 출력 전류 (X axis: 10sec/div., Y axis: 50A/div.)
그림 6. 기동 토크 향상 적용 前 / 後의 실험 결과



Ch. 1 : 전동기 속도 (X axis: 5sec/div., Y axis: 20rpm/div.)
Ch. 2 : 전동기 토크 (X axis: 5sec/div., Y axis: 750Nm/div.)
Ch. 3 : 출력 선간 전압 (X axis: 5sec/div., Y axis: 2000V/div.)
Ch. 4 : 출력 전류 (X axis: 5sec/div., Y axis: 50A/div.)
그림 7. 속도 제어 적용 前 / 後의 실험 결과

4. 결론

제안된 제어 방법의 타당성과 실용성을 검증하기 위해 다이내모미터 부하 조건에서 H 브릿지 멀티레벨 인버터를 이용한 고전압 대용량 유도 전동기 속도 센서리스 제어 실험을 실시하였다. 속도 센서를 취부한 벡터 제어보다 기동 토크 및 속도 제어 특성은 떨어지지만 정밀한 속도 제어를 요구하지 않으면서 속도 센서를 취부할 수 없는 대용량 동력용 전동기 드라이브에 적합한 현실적인 대안으로 선택할 수 있다.

참고 문헌

[1] Bin Wu, "High Power Converters and AC Drives", A John Wiley & Sons, 2006
[2] Y. Q. Xiang, "Instability compensation of V/Hz PWM inverter fed induction motor drives", in Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meeting, vol.1, pp.613 620, Oct., 1997