



Researcher 김경은, 전자공학과 (kke2926@ajou.ac.kr), 이명훈, 전자공학과 (lmhx0x@ajou.ac.kr)

김예지, 전자공학과 (yj11004@ajou.ac.kr), 최혜원, 전자공학과 (chw042710@ajou.ac.kr)

오세희, 전자공학과 (addgg95@ajou.ac.kr), 한선헌, 전자공학과 (tjsgp1259@ajou.ac.kr)

임주은, 전자공학과 (iksal1@ajou.ac.kr)

Professor 이교범, 전자공학과

ABSTRACT

- PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor)는 높은 효율을 가지는 장점으로 인해 로봇 산업이나 가전제품 등 정밀한 제어가 요구되는 서보 시스템 분야에서 사용이 증가되고 있다.
- PMSM 회전자의 위치 정보를 얻기 위해 엔코더(encoder)나 레졸버(resolver) 등의 센서를 사용하는데, 이러한 센서는 시스템 가격 상승의 원인이되며, 사용 환경에 민감한 특성을 갖고 노이즈에 취약하다.
- 본 연구에서는 EEMF (Extended Electromotive Force)를 기반으로 하는 센서리스 제어 방법으로 회전자의 위치 정보를 추정하고 추정값을 이용하여 PMSM의 속도 제어를 수행하였다.

OBJECTIVES

- 본 연구에서는 전동기의 센서리스 제어 방법 중 EEMF 기반의 회전자 위치추정 알고리즘을 사용하여 회전자 위치를 추정하며, 엔코더나 레졸버 없이 PMSM을 제어 할 수 있다.
- 모터의 센서리스 제어방법 중의 하나로 모터의 저속 영역과 고속 영역에서 모두 회전자 위치를 추정하는 능력이 향상되는 최소차원 관측기를 이용한 센서리스 속도 제어 알고리즘을 구현한다.

METHODOLOGY

1. 시뮬레이션 구성

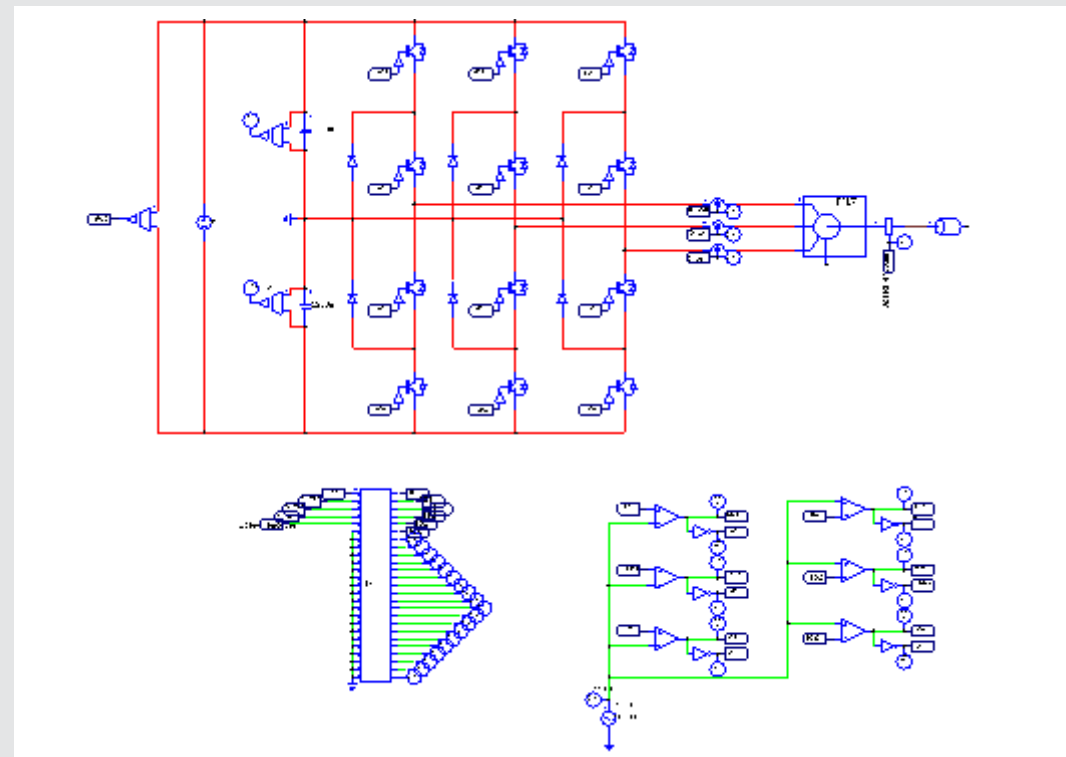


Fig 3. Simulation PSIM 회로

Parameter	Value
R_s	0.099 Ω
L_d	0.00407 H
L_q	0.00465 H
No. of Poles	6
Moment of Inertia	0.02

2. EEMF 기반 센서리스 운전 방법

- (1) $\gamma - \delta$ 축의 수학적 모델링
- (2) 최소차원 관측기를 사용하여 e_γ, e_δ 를 추정
- (3) 추정할 값을 사용하여 동기좌표계 $d-q$ 축과 $\gamma - \delta$ 축의 차이인 θ_e 를 계산
- (4) θ_e 를 0으로 제어하여 모터의 속도와 회전각을 추정
- (5) 위 과정을 통해 추정된 속도와 회전각 정보와 속도 및 전류 제어기를 통해 전동기 구동

센서리스 제어 기술

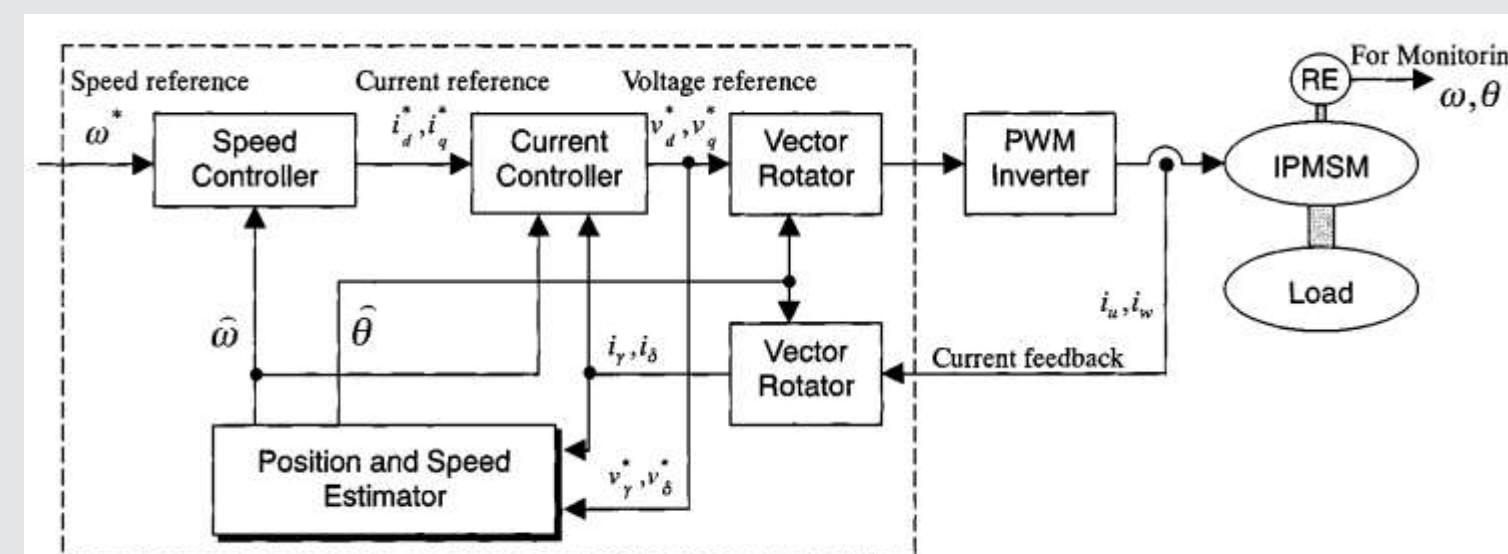


Fig 1. EEMF 기반의 센서리스 속도 제어 블록도

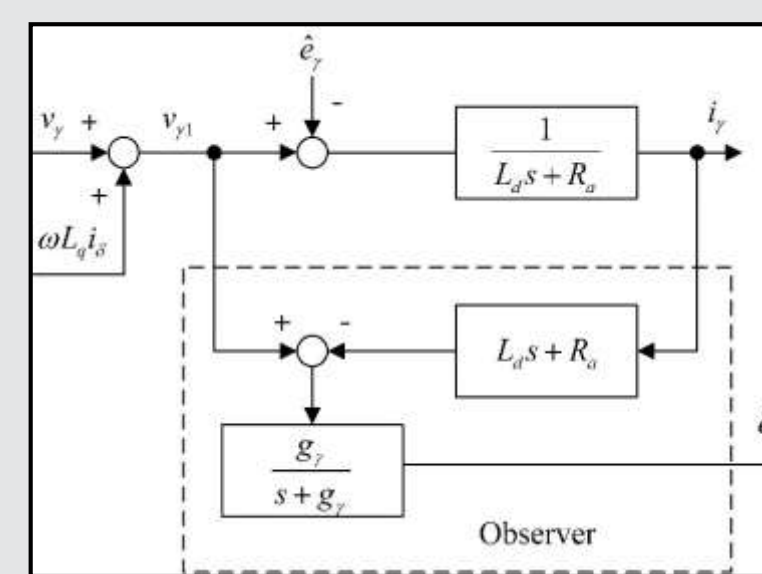
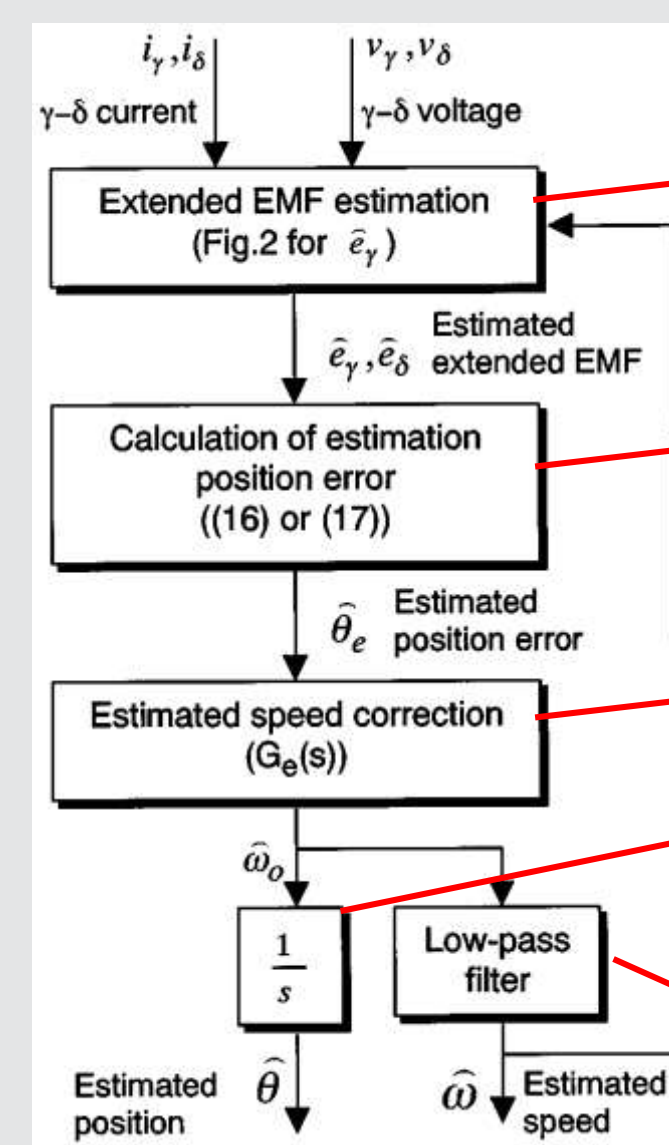


Fig 2. 최소차원 관측기의 블록도

- 최소차원 관측기를 통하여 e_γ 의 추정값 \hat{e}_γ 를 구할 수 있다.
- e_δ 의 추정값 \hat{e}_δ 도 같은 방법으로 추정할 수 있다.
- 실제 각속도 ω 를 추정 각속도 $\hat{\omega}$ 가 일치하는 경우, 정확한 EEMF 추정 가능

3. 최소차원 관측기를 사용한 EEMF기반의 회전자 위치 추정 블록도



- $\gamma - \delta$ 축의 수학적 모델링을 통해 얻은 전류 및 전압 정보를 이용하여 역기전력 추정 수행
- 추정된 역기전력 e_γ, e_δ 를 통해 실제 회전자의 위치와 추정된 회전자의 위치의 오차를 계산
- 추정된 속도의 보정을 통해 추정 각속도를 계산
- 추정된 각속도를 적분하여 추정된 회전자의 위치 계산
- 저역 통과 필터를 이용하여 추정된 회전자의 속도 계산

Fig 4. PMSM의 위치 및 속도 추정 알고리즘

RESULTS

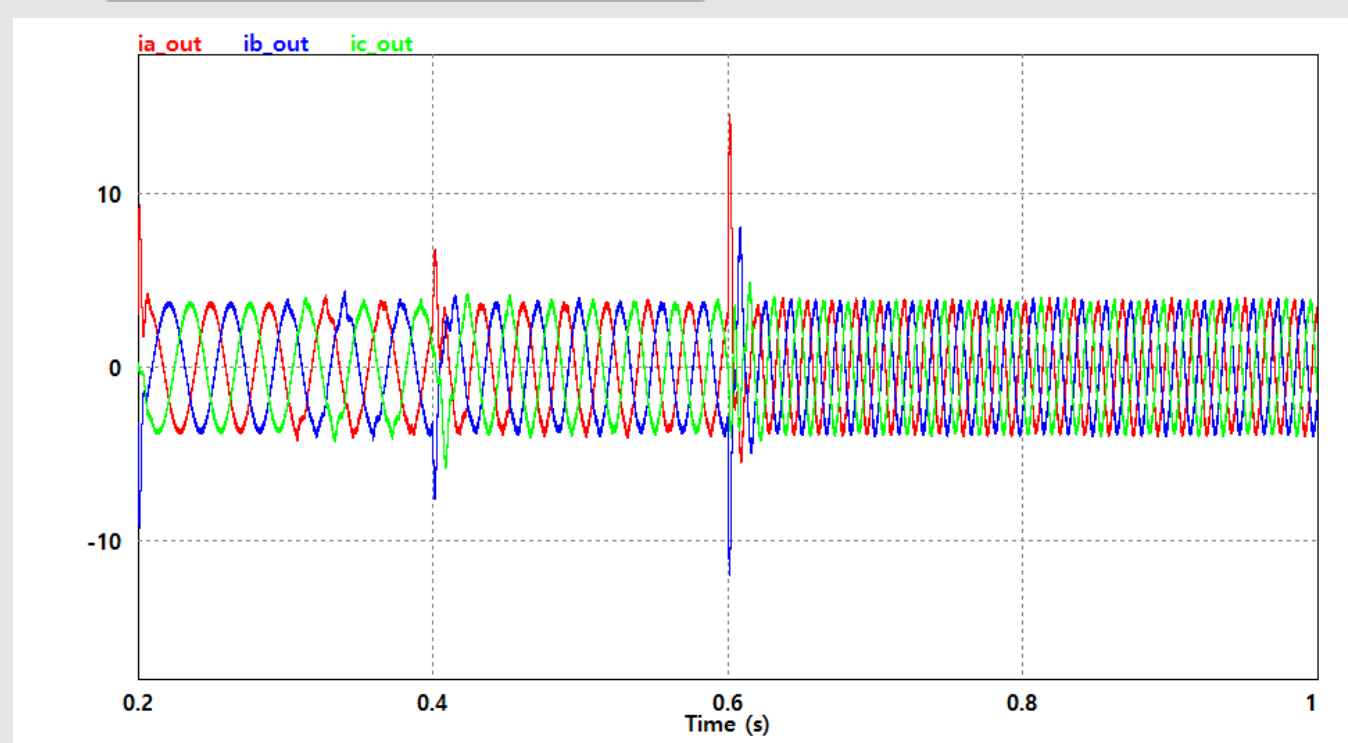


Fig 5. 센서리스 속도 제어에 따른 3상 전류 파형

- 지령 속도가 변화에 따라 오버슈트가 발생하지만 전반적으로 제어가 잘 되는 것을 확인할 수 있다.

	$t < 0.4$	$0.4 < t < 0.6$	$0.6 < t$
속도(RPM)	500	700	1200

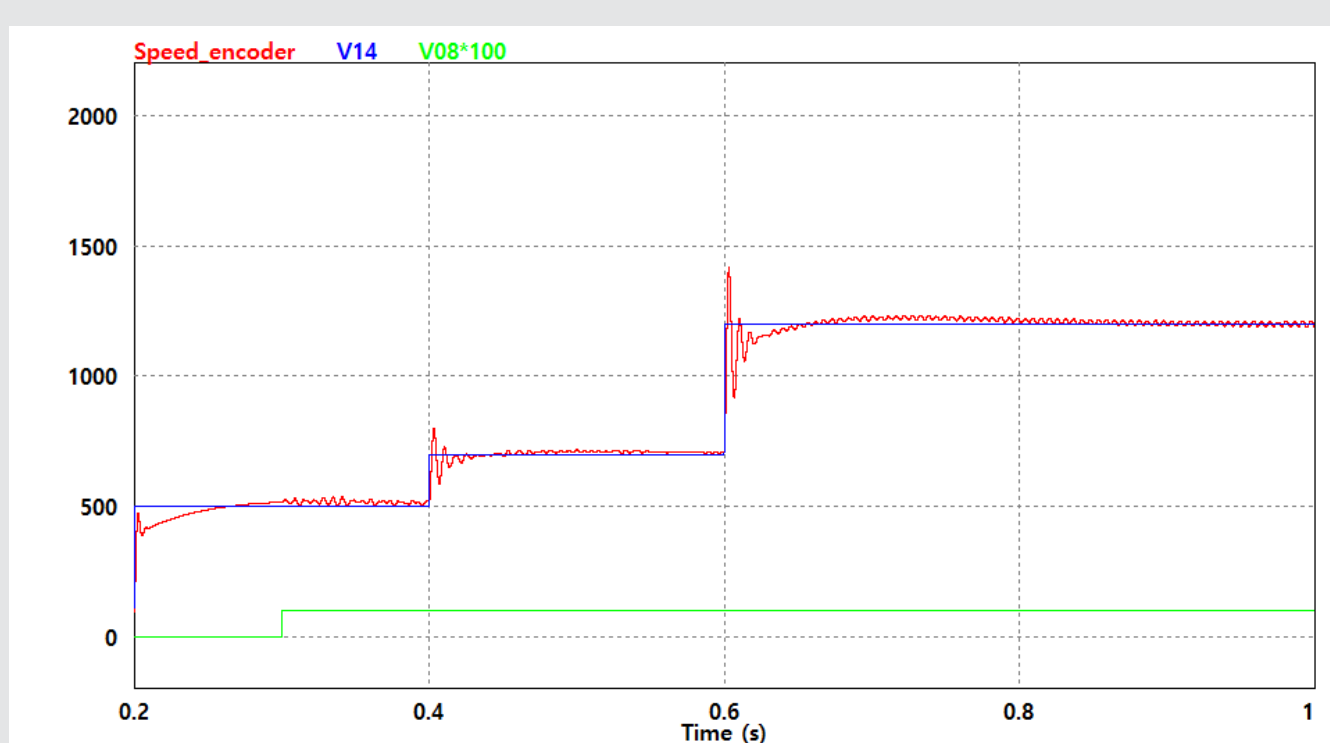


Fig 6. 실제 회전자의 속도와 센서리스를 통해 제어하는 회전자의 속도

- 센서리스 제어는 0.3 s에서 정한 하도록 설정
- 0.3 s 이후에도 센서 없이 추정값만으로도 속도 제어가 원활히 이루어짐

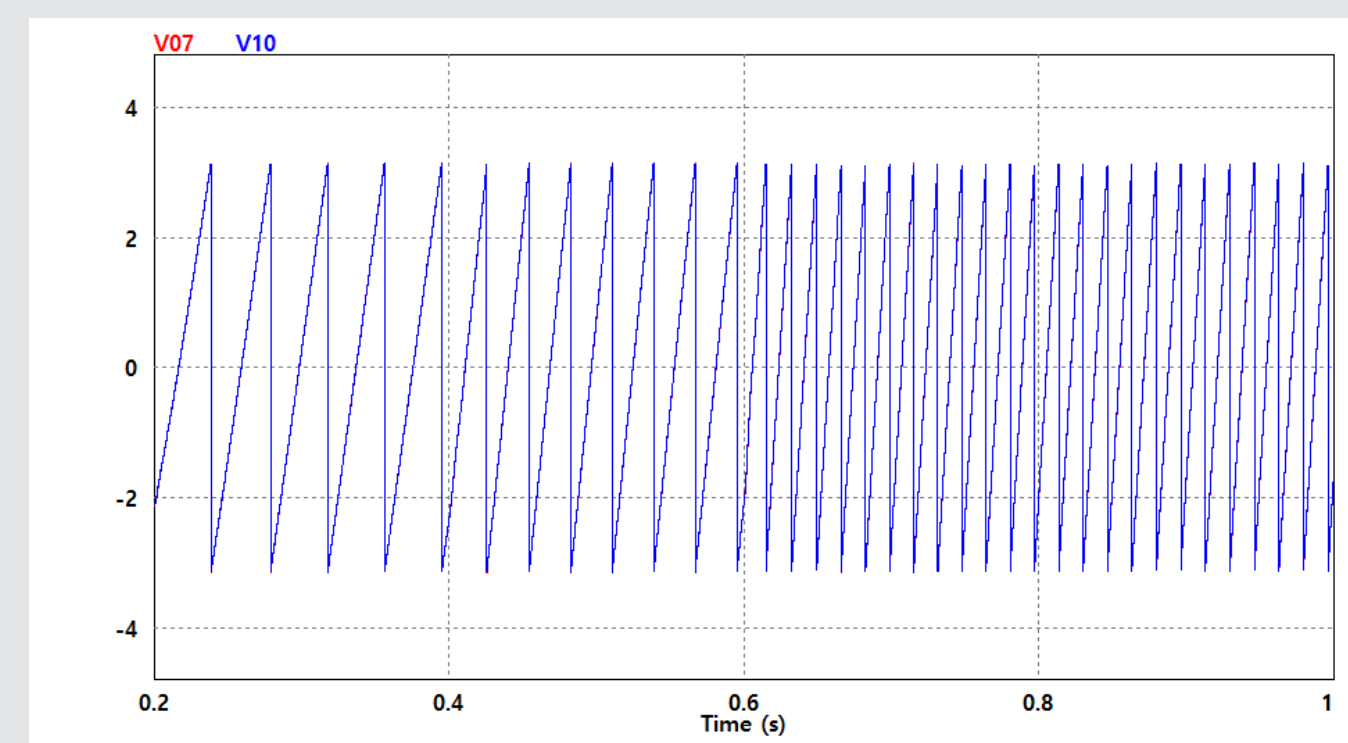


Fig 7. 실제 회전자의 위상각과 추정 위상각의 비교

- 실제 회전자의 위상각 (적색)과 EEMF 기반으로 계산한 추정 위상각 (청색)을 비교할 때, 오차가 매우 적은 것을 확인할 수 있음

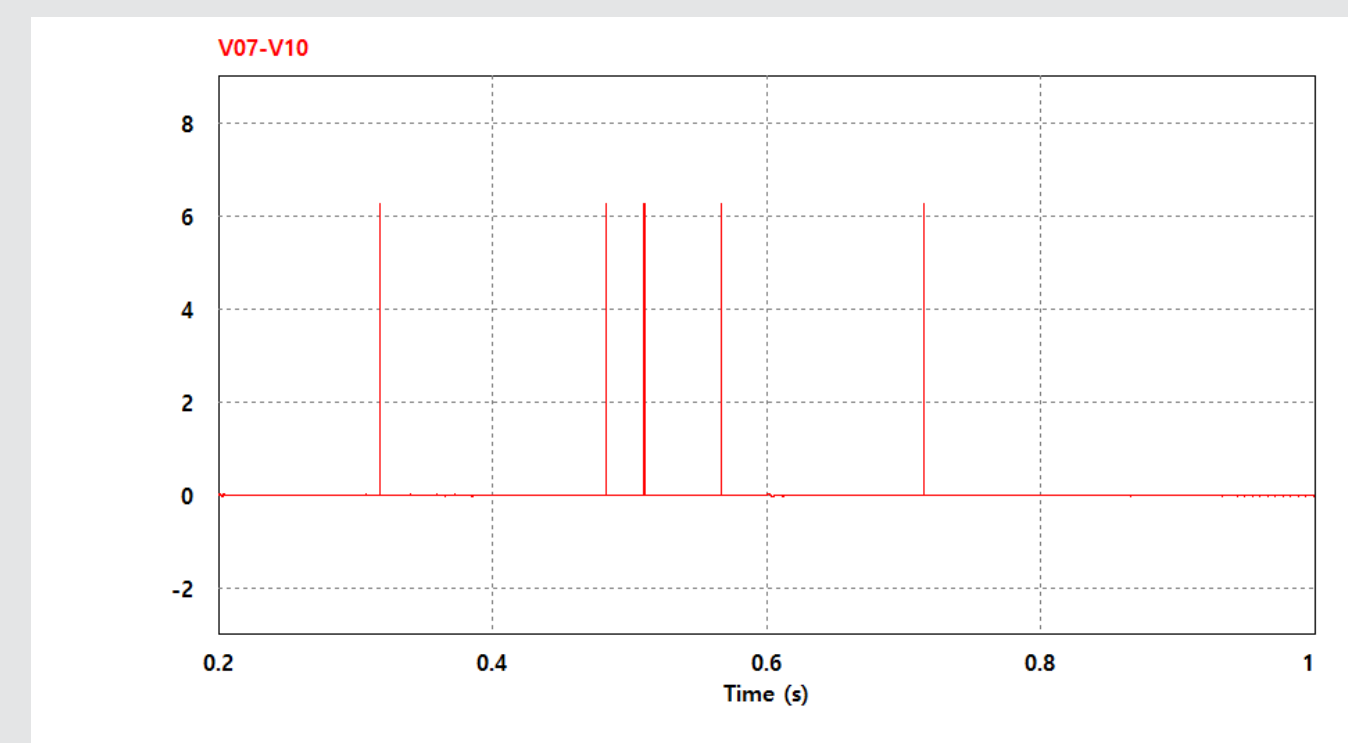


Fig 8. 실제 회전자의 위상각과 추정 위상각의 오차

- 실제 회전자의 위상각과 추정 위상각의 차를 이용하여 오차를 계산한 결과 매우 작은 오차를 얻을 수 있다.

CONCLUSIONS

- 본 연구에서는 EEMF를 활용하여 PMSM의 회전자 위치 정보 및 속도를 추정하고, 추정된 값들을 제어기에 피드백하여 센서 없이 구동 가능한 속도 제어 방법을 수행한다.
- d, q 축 인덕턴스가 다른 IPMSM (Interior PMSM)을 사용하여 전동기 및 속도 제어기의 모델링을 진행하였다.
- 센서리스를 통한 PMSM의 속도 제어 수행 결과 추정된 회전자의 위치 오차는 매우 작았으며, 지령 속도를 잘 추종하는 것을 확인하였다.
- 실제 저속구간에서는 PMSM의 역기전력 성분이 매우 작아 센서리스를 수행하기 어려운 단점이 있으나, 이러한 단점은 고주파 주입 센서리스 방법 등을 통해 개선이 가능하다.