

이송계 진동 특성을 실시간 측정하기 위한 위상동기 기법 A New Phase Locking Control for Real-Time Estimation of Oscillation Characteristics in Machine Tools

* # 김재홍¹, 최낙원¹, 성대중¹

* # J. H. Kim¹(jaehong1.kim@doosan.com), N. W. Choi¹, D. J. Sung¹

¹두산인프라코어

Key words : Servo Motor, Machine Tools, Phase-Locked-Loop(PLL)

1. 서론

본 논문은 공작기계의 이송축 서보 드라이버에 있어서 제어 정밀도 향상을 목적으로 기계적 진동을 제거/보상하는 알고리즘을 구동하기 위한 관측기 설계에 대한 것이다. 제안된 방법은 부하 관측기(load torque observer)와 같은 알고리즘을 구성하지 않고도 측정되는 전류 정보로부터 진동의 크기, 주파수, 서보의 로터 각을 기준으로 한 위상 등을 바로 관측할 수 있는 새로운 알고리즘이다.

2. 동기 좌표계에서 진동

삼상 서보모터에서 로터 자속(rotor flux)의 위치를 기준으로 하는 동기축 좌표 변환(Park's Transformation)은 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\mathbf{f}_{dq}^e = \frac{2}{3} e^{-j\omega t} [f_a^s + f_b^s e^{j\frac{2\pi}{3}} + f_c^s e^{j\frac{4\pi}{3}}] \quad (1)$$

여기서, \mathbf{f}_{dq}^e , f_a^s , f_b^s , f_c^s 는 각각 동기 좌표축에서의 임의의 벡터, 이 벡터에 매핑되는 정지 좌표계 벡터의 a, b, c 상 성분들을 나타낸다.

삼상 서보 드라이버에서 모터의 삼상 전류는 실시간으로 측정되며 (1)의 변환에 의해 동기 좌표계 전류는 $i_{dq}^e = i_d^e + j i_q^e$ 로 표시되는데, d-상 자속의 방향이 기준이 되는 표면 부착형 영구자석 동기전동기의 MTPA (Maximum Torque Per Ampere) 제어에서는 q-상 전류성분이 곧 토크 성분이 된다.

$$T_e = \frac{3p}{4} \lambda_m i_q^e \quad (2)$$

여기서 p , λ_m 은 각각 모터의 극수와 역기전력 상수를 나타낸다. 따라서, 외부의 기계적

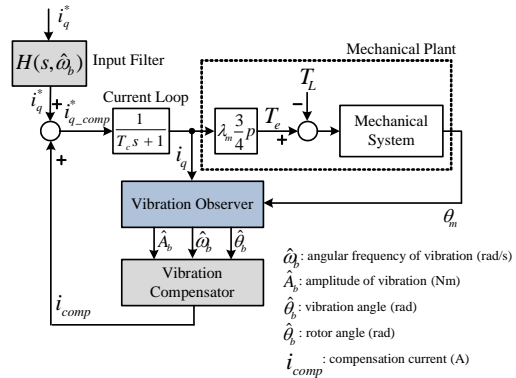


Fig. 1 Block diagram of the proposed torque control.

진동은 모터의 전기적인 제어에서 전류의 맥동으로 나타난다.

3. 진동 관측을 위한 FLL-PLL 알고리즘

Fig. 1의 진동 관측기는 Fig. 2의 블록을 이용하여 구성된다. $T_v = T_e - \bar{T}_e$ 으로 진동의

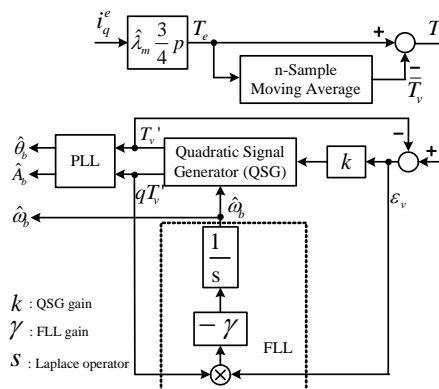


Fig. 2 Block diagram of vibration observer.

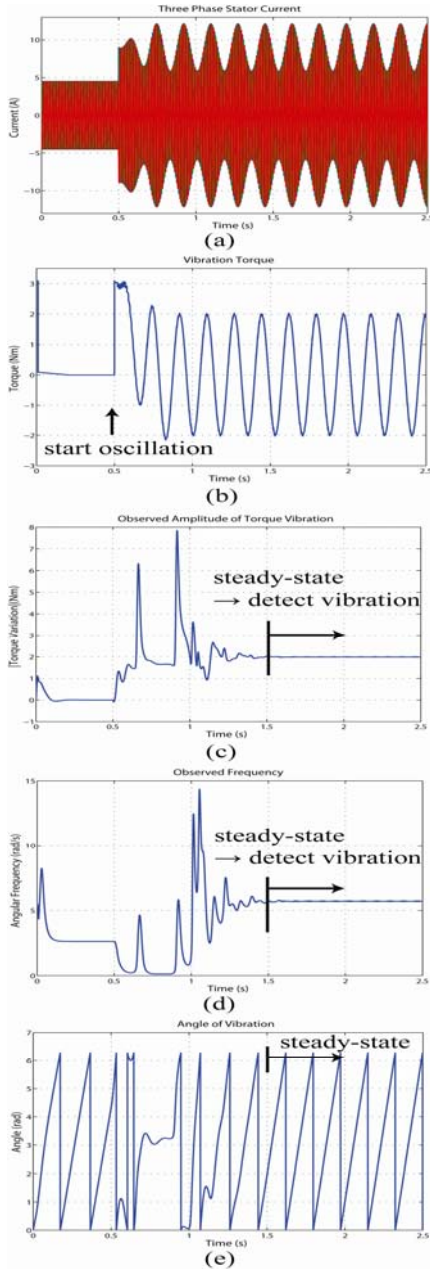


Fig. 3 Simulated waveforms: (a) three-phase motor current, (b) extracted sinusoidal component of torque vibration (T_v'), (c) estimated magnitude of torque vibration ($\hat{A}_b = |T_v'|$), (d) estimated angular frequency of torque vibration ($\hat{\omega}_v$), (e) estimated vibration angle ($\hat{\theta}_b$).

정현과 성분이 추출되고(Fig. 3 (b)), Fig. 2의 QSG(Quadratic Signal Generator)로부터 위상이 90° 떨어진 qT_v' 신호가 발생하게 된다. 이는 원래의 정현과 성분과 합쳐져서 2 차원 벡터의 신호 정보를 가지게 되어 PLL(Phase-Locked-Loop)을 통하여 신호의 위상과 크기 정보가 실시간으로 관측된다.

$$\mathbf{T}_v = T_v' + jqT_v' \rightarrow \hat{A}_b \angle \hat{\theta}_b \quad (3)$$

Fig. 2 에서와 같이 qT_v' 신호와 에러신호 (ε_v)는 FLL(Frequency-Locked-Loop) 식 (4)의 적응법칙(adaptive law)이 적용되어 주파수를 관측하게 되고 QSG로 피드백 된다.

$$\hat{\omega}_b = -\gamma(qT_v' - \varepsilon_v) \frac{1}{s} \quad (4)$$

$$\varepsilon_v = T_v - T_v' \quad (5)$$

3. 시뮬레이션 고찰

제안된 알고리즘의 성능을 검증하기 위한 시뮬레이션 결과는 Fig. 3에 도시되었다. 0.5초에 급격한 부하변동으로 인하여 진동이 시작되고 5.7Hz의 기계적 진동이 야기되었다. Fig. 3(c), (d), (e)에 도시된 바와 같이, 제안된 알고리즘은 대략 1초(5-주기) 만에 정상상태로 수렴하였고 0.05%내의 정상상태 오차율을 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 진동관측을 위한 새로운 FLL-PLL 알고리즘이 제시되었으며, 시뮬레이션 결과 적절한 응답성을 보이고있다.

참고문헌

1. R. E. Best, "Phase-locked loops: Design, Simulation, and Applications," New York: McGraw-Hill Professional, 5th edition, 2003.
2. P. Rodriguez, A. Luna, I. Candela, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "Grid synchronization of power converters using multiple second order generalized integrators," in Proc. IEEE int. Conf. on Ind. Electron., Orlando, 10-13 Nov. 2008.