

다축 서보 시스템의 Gain Tuning 에 관한 연구
 정원지(창원대 기계설계공학과), 김효근*(창원대 대학원 기계설계공학과),
 서영교(두산메카텍㈜), 이기상(엘피시스)

Development of Experimental Gain Tuning Technique for Multi-Axis Servo System

W. J. Chung(Mecha. Design. Eng. Dept. CNU), H. G. Kim(Mecha. Design. Eng. Dept. CNU),
 Y. G. Seo(Doosan Mecatec Co., Ltd.), K. S. Lee(LPSIS)

ABSTRACT

This paper presented a new experimental gain tuning technique for a Multi-Axis Servo System. First, the investigation for proportional gain of velocity control loop by using a Dynamic Signal Analyzer (DSA) was performed. Using the FUNCTION characteristic of DSA based on the Bode plot, the Bode plot of open loop transfer function was obtained. In turn, the integral gain of a servo controller can be found out by using the integration time constant extracted from the Bode plot of open loop transfer function. In the meanwhile, the positional gain of the servo controller has been obtained by using the Bode plot of the closed loop transfer function. We have also proposed the technique to find out an optimal parameter of a notch filter, which has a great influence on vibration reduction, by using the damping factor extracted from the Bode plot of closed loop transfer function.

Key Words : Gain Tuning, Dynamic Signal Analyzer, Position Control Loop Tuning, Velocity Control Loop Tuning, Notch Filter Tuning

1. 서론

현재 고품질, 고정밀도의 제품을 가공, 조립하는 데 있어 정밀제어가 가능한 서보 시스템이 적용되고 있다. 서보 시스템은 상위 제어기로부터 지령을 받고 충실한 명령 수행을 위한 피드백 제어를 행한다. 서보 시스템의 최적 성능을 위해서 비례제어, 적분제어, Feed Forward Control 과 같은 제어시스템이 적용되고 있다.

현재의 서보 시스템은 다품종 소량생산을 가능하게 하는 FMS(Flexible Manufacturing Systems)을 지향하기 때문에 다축의 액츄에이터를 가지고 있다.

따라서 각축에 최적의 Gain 값을 적용시켰어도 전축이 동기화 되지 않으면 이동 속도가 빠를수록 프로그램에 의해 교시된 경로를 크게 벗어나는 현상이 발생한다. 이런 이유로 제어시스템은 각축의 최적의 성능을 위한 제어뿐만 아니라 다축의 동기제어가 필수적이다.

본 연구는 다축 서보 시스템의 Gain Tuning 기법에 대한 것으로 다축 동기 제어를 고려한 각 축의 최적 Gain 값의 도출법과 진동 저감 필터인 노치필터, 외란 읍저버 필터, Low-Pass 필터의 최적 파라미터 도출법에 대해 이론과 실험적인 방법으로 접근하였다.

2. Velocity Control Loop Tuning

Velocity Control Loop 의 Proportional Gain 은 Dynamic Signal Analyzer 을 이용하여 Closed Loop Transfer Function 의 Bode Diagram 과 Open Loop Bode Plot 을 얻을 수 있다.

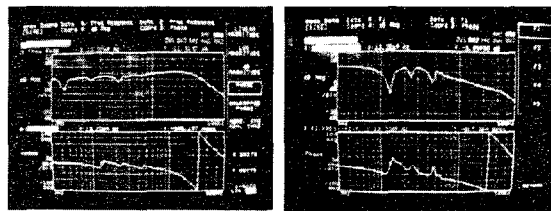


Fig. 1 Bode plot of open loop transfer function and Closed loop transfer function

일반적으로 Gain Margin 은 -6db ~ -20db 로 사이에 Phase Margin 은 45 도 이상이 되도록 Proportional Gain 을 조정한다. 예를 들어 Proportional Gain 이 K_v 인 경우 Gain Margin -25db 이 되고 Gain Margin 을 -6db 이 되도록 새로운 K_v' 을 구하는 계산식은 식(1)과 같다.

$$20 \log x = (-6dB) - (-25dB)$$

$$K'_v = xK_v \quad (1)$$

Velocity Loop 의 적분 Gain 은 적분 시정수에 의해 결정되는데 Fig. 2 에서 보는 바와 같이 적분기에 의한 Open Loop Transfer Function $\frac{T_i s + 1}{T_i s}$

의 Bode Diagram 특성은 적분 시정수 $\frac{1}{T_i}$ 의 10 배가

되는 지점에서 Phase 는 0 에 가까워지므로 적분기를 사용하여도 Phase Margin 이 변하지 않도록 Phase Margin 이 계산된 지점(Gain Cross Over Frequency)의 $\frac{1}{10}$ 이 되는 지점에 적분기의 시정수가 있도록 한다.

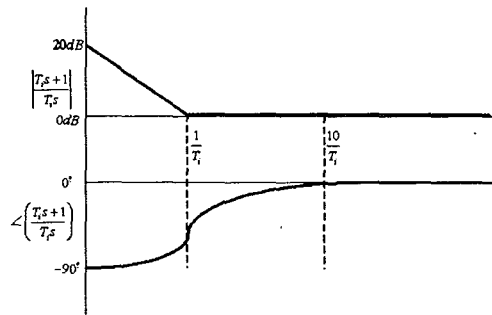


Fig. 2 Bode Diagram of Open Loop Transfer Function

3. Position Control Loop Tuning

Velocity Loop 의 Proportional Gain 을 조정하기 위해 추출된 Closed Loop Transfer Function 의 Bode Diagram 으로부터 Magnitude 가 -3dB 되는 지점이 Position Loop 에 유효한 Velocity Loop 의 Bandwidth(Cut-Off Frequency)가 된다.

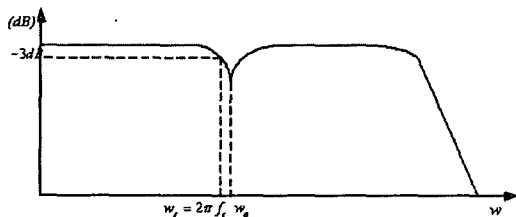


Fig. 3 Bode Diagram of Closed Loop Transfer Function

Proportional Gain 인 K_p 는 다음과 같이 계산할 수 있다. (f_c : f 의 -3dB 되는 지점)

$$K_p = \frac{\pi f_c}{2\zeta^2} \quad (2)$$

ζ 는 t_s 가 가장 짧게 나오는 값을 선택한다.

4. 진동 저감 필터 튜닝

Notch Filter Tuning 은 특정 주파수의 불완전한 복소공액근을 제거한다. 노치주파수는 앞에서 찾은 Closed Loop Transfer Function 의 Bode Diagram 에서 구한다. 노치폭은 실험적으로 진동 폭이 가장 적고 잔류진동이 생기지 않는 값을 찾는다.

Low-Pass Filter 는 고주파 진동을 제거하는 Filter 이고 외란 읍저버 필터는 저주파의 기계적인 외란에 의해 생기는 진동을 저감한다. 이 두 Filter 의 Parameter 는 실험적으로 진동 폭이 가장 적고 잔류진동이 생기지 않는 값을 찾는다.

5. 결론

제시한 Tuning 법을 산업용 수직 6 축 다관절 로봇인 DR6-II Robot (Doosan Mecatec co., Ltd., Korea)에 적용하였다. 6 축을 가지기 때문에 각축의 최적의 성능을 위한 제어뿐만 아니라 다축의 동기제어가 필수적이다. 제시한 Tuning 법을 DR6-II Robot 에 적용하여 찾은 Gain 은 Table. 1 과 같다.

Table. 1 Gain of DR6-II Robot (Doosan Mecatec co., Ltd., Korea)

	Kv	Ti	Kp
T 축	162	5ms	276
B 축	220	27	59
R 축	150	3.25	122
U 축	70	50	23
L 축	70	50	34
S 축	70	62	29

위치 제어 모드시의 Proportional Gain, Kp 값은 가장 작은 U 축의 값으로 전축을 통일한다.

각 축이 동기제어 되기 때문에 진원과 직선을 무리 없이 그릴 수 있게 된다.

후 기

본 연구는 창원대학교 공작기계기술 연구센터 지원으로 수행된 연구결과 임을 밝힙니다.

참고문헌

1. BENJAMIN C. KUO, Automatic control systems, Prentice-Hall, Inc, 1991.
2. Haugen, Finn(NA), PID control of dynamic systems, Intl specialized book service inc, 2004.
3. Katsuhiko Ogata, Modern Control Engineering, Prentice-Hall, Inc, 1990.
4. Charles L., Phillips H., Troy Nagle, Digital control system analysis and design, Prentice Hall, 1994.