

LabVIEW를 이용한 2차 회로의 미지 파라미터 추정

윤정주*(부산대 대학원), 이민철(부산대 기계공학부), 이승희(부산대 대학원), 고석조(동의공업대학 기계시스템계열), 이영진(부산대 기계공학부), 안철기(부산대 대학원)

Estimation unknown parameter of 2nd order circuits using LabVIEW

J. J. Yun*(Mech. Eng. Dept., PNU), M. C. Lee(Mech. Eng. School, PNU), S. H. Lee(Mech. Eng. Dept., PNU), S. J. Go(Division of Mech. Eng., DIT), Y. J. Lee(Mech. Eng. School, PNU), C. K. Ahn(Mech. Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

Unknown parameters of a nonlinear system were estimated using a signal compression method. The estimated parameters were natural frequency and the damping coefficient. This study applied a algorithm using the comparison of the cross-correlation coefficient between the impulse response from a model and it from the signal compression method. The impulse through linear element included in a nonlinear system could be obtained by the signal compression method. The unknown parameters of the linear element could be estimated by comparing the Bode plots of system's impulse response with them of model's response. In this study, a LSCM(LabVIEW-Signal-Compression-Method) was developed to identify a nonlinear system. The LSCM consisted of National Instrument's (NI) Data Acquisition (DAQ) Board (Model PCI-1200), a monitoring program using LabVIEW software package, DAQ Signal Accessory Board, and 2nd-order electric circuits. The designed electric circuits consisted of resistors, inductors and capacitors. To evaluate the performance of the LSCM, the response from model with known parameters is compared with the response from the real system using the monitoring program. The results from simulation of experiment showed that the developed LSCM provided a reliable estimation performance.

Key Words : LabVIEW, cross-correlation coefficient(상호상관 계수), signal compression method(신호압축법), 2nd-order electric circuits(2차 회로)

1. 서론

단일입출력을 가지는 임의의 선형시스템의 미지 파라미터는 최소자승법이나 적응디지털필터 등을 이용하여 추정할 수 있다. 특히 이 두 방법을 이용하여 서보시스템과 같은 2차 선형시스템의 관성모멘트나 점성마찰계수 등을 추정하는 연구결과는 잘 알려져 있다[1]. 그러나 비선형 요소가 포함된 시스템에 대해 위의 방법을 적용시킬 경우에는 추정된 파라미터의 오차가 커서 파라미터의 추정값을 바로 사용하기에는 곤란하다. 그래서 비선형 시스템에도 적용 가능하며 비선형 요소를 제외한 선형요소의 미지의 파라미터를 추정할 수 있는 방법으로 제안된 것이 신호압축법이다[2,3]. 신호압축법을 이용함으로써 선형요소와 비선형 요소의 응답을 분리할 수 있으므로 선형요소의 임펄스 응답을 얻을 수 있다. 그리고 구한 임펄스 응답을 이용하여 선형요소의 미지의 파라미터를 근사적으로 구할 수 있다[2,3]. 그러나 신호압축법을 이용한 실제 시스템에 대한 미지 파라미터 규명 과정을 살펴보면 시스템 응답을 분석하고 이에 대한 신뢰성 검증까지 그 과정이 복잡하고 검증 과정이 까다롭다는 단점을 가지고 있었다.

이에 본 연구에서는 신호압축법에 의한 시스템 규명 과정을 보다 편리하고 쉽게 사용할 수 있도록 하기 위해서

LabVIEW를 이용한 모니터링 프로그램을 개발하고자 한다. 그리고 본 연구에 개발한 모니터링 프로그램인 LSCM(LabVIEW-Signal-Compression-Method)의 미지 파라미터 추정 성능 및 안정성을 검증하기 위해서 2차 회로인 액티브 필터(active filter)에 대한 성능 평가 실험을 수행하였다. 실험에서 사용된 액티브 필터는 서로 다른 파라미터를 가지도록 4개의 회로로 구성하였으며, 각각의 미지 파라미터를 LSCM에 의해 추정하고 그 결과값을 회로의 이론값과 비교하여 추정 성능을 평가하고자 한다.

2. 신호압축법에 의한 동특성 규명

2.1 비선형 시스템에 대한 신호압축법

시스템의 주파수 응답을 측정하기 위한 입력신호는 넓은 주파수 범위에서 평탄한 파워 스펙트럼을 가지는 것이 바람직하다. 필요한 주파수 영역까지 임펄스 특성을 가진 파형을 푸리에(Fourier) 변환하여, 주파수 영역에서 위상 지연을 가져오는 수학적인 신장필터를 통과시키면, 입력 신호의 주파수 특성은 일정한 파워를 가지면서 위상지연을 얻게 된다. 이 신호를 역 푸리에 변환에 의해 시간영역으로 바꾸면 그림 1의 크기는 작고, 시간적으로 긴 시험신호(test signal)가 구해진다. 여기서 구한 시험신호를 측

정하고자 하는 시스템에 입력하여 측정한 출력을 주파수 영역에서 위상전진을 가지는 필터를 통과시킨 후 역 푸리에 변환시키면 시간 영역에서의 임펄스응답이 구해진다. 이러한 방법으로 임펄스응답을 구하는 것을 신호압축법이라 하고, 그 개략도는 그림 1과 같다[2~5].

신호압축법을 이용하면 선형성분의 경우 교환법칙이 성립하므로 압축과정에서 신장필터와 압축 필터의 상쇄가 이루어져 선형성분의 임펄스 응답이 구해진다. 그러나 비선형 성분의 경우 교환법칙이 성립하지 않아 신장필터와 압축필터의 상쇄가 이루어지지 않으므로 압축과정에 의해 시간영역으로 바꾸어도 비선형성분은 선형성분의 임펄스 응답과는 다른 영역에서 나타난다. 이러한 성질을 이용하면 비선형 시스템에서 선형성분과 비선형 성분이 분리될 수 있어 선형성분만의 임펄스응답을 구할 수 있다[2~5]. 본 연구에서는 주파수의 제곱에 비례하는 위상 특성을 가진 필터를 사용하였다. N점의 이산시험신호를 구하기 위해 특정 대상이 필요로 하는 주파수 영역까지는 임펄스 특성을 가진 파워스펙트럼을 가지면서, 신장필터에 의해 곱해짐으로 위상지연을 가져오도록 하였다. 두 특성을 만족하는 파워스펙트럼을 데이터의 수 n ($0 \leq n < N$)에 대하여 주파수 영역에서 나타내면 다음과 같다.

$$X(n) + jY(n) = P(n) \times H(jn), \quad 0 \leq n < N/2 - 1 \quad (1)$$

$$X(n) + jY(n) = X(N-n) - jY(N-n), \quad N/2 + 1 \leq n \leq N-1 \quad (2)$$

$$X(n) + jY(n) = 0, \quad n = N/2 \quad (3)$$

여기서, $P(n)$ 은 시험신호의 파워스펙트럼을 나타내는 함수이며, $H(jn)$ 은 신장필터를 나타내는 함수로서 각각 식 (4), (5)와 같다.

$$P(n) = 60 \exp\left[-\left(\frac{n}{a}\right)^{12}\right], \quad 0 \leq n < N/2 - 1 \quad (4)$$

$$H(jn) = \exp\left[-\frac{12n^2}{b}j\right] \quad (5)$$

식 (4)에서 a 를 적절히 선택함으로써 측정에 필요로 하는 주파수영역까지 평탄한 파워스펙트럼을 얻을 수 있다. 시험신호를 구할 때의 시간지연을 길게 할 것인가, 짧게 할 것인가는 식 (5)의 b 에 의해 선택되어진다.

2.2 상호상관함수를 이용한 미지파라미터 추정

비선형 성분이 포함되어진 시스템의 경우에 있어, 신호압축법에 의해 구한 선형성분의 등가적인 임펄스 응답을 이용하여 미지 파라미터를 추정할 수 있다. 즉, 구한 등가적인 임펄스 응답의 Bode 선도와 측정하고자 하는 시스템과 같은 차수를 가진 모델의 전달함수에 대한 Bode 선도의 상호상관계수를 구해 계수값이 최대가 될 때 두 응답의 모양이 가장 잘 일치된다고 볼 수 있으므로 이 때의 파라미터 값을 시스템의 특성값으로 선정한다. 상관계수를 이용한 동특성 규명 과정은 그림 2와 같다.

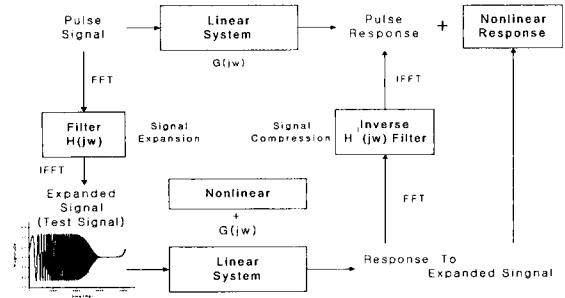


Fig. 1 Principle of the signal compression method

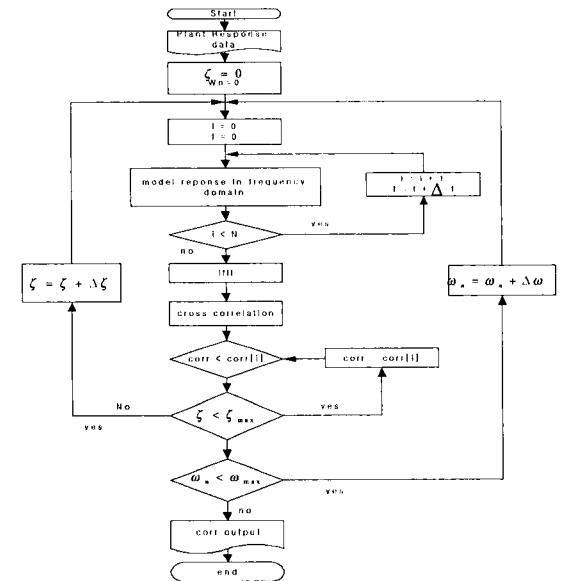


Fig. 2 The flow chart of identification algorithm

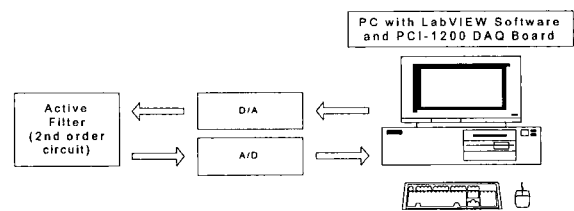


Fig. 3 System block diagram

3. 실험

3.1 액티브 필터의 동특성 규명 및 평가

본 연구에서는 LSCM의 추정 성능을 평가하기 위해서 그림 3과 같은 시스템을 구축하였다. 시스템 규명 대상은 2차 액티브 필터 회로로 선정하였다. DC 서보 모터 시스템의 경우에는 시험신호를 시스템에 입력시켜 얻어지는 출력을 그대로 측정할 경우 비선형 성분의 영향과 구동기 자체가 복원력이 없는 관계로 시스템이 불안정하게 되어 발산하기 쉬우므로 비례제어를 이용해서 페루프 시스템을 구축한다. 그러나 전자 회로의 경우에는 이러한 문제가 없으므로 시험신호를 시스템에 바로 인가하여 얻은 출력

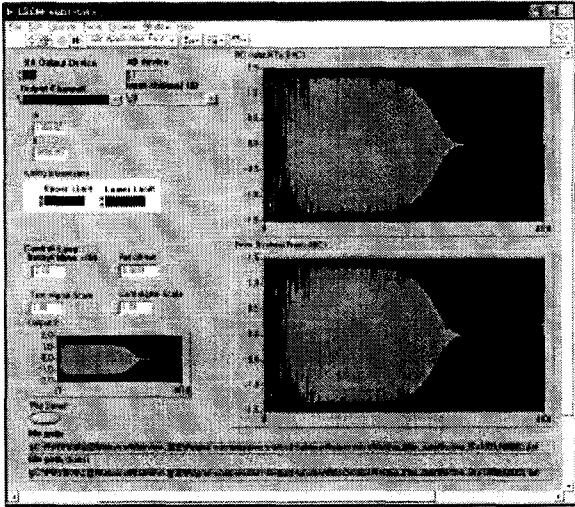


Fig. 4 LSCM-sub1

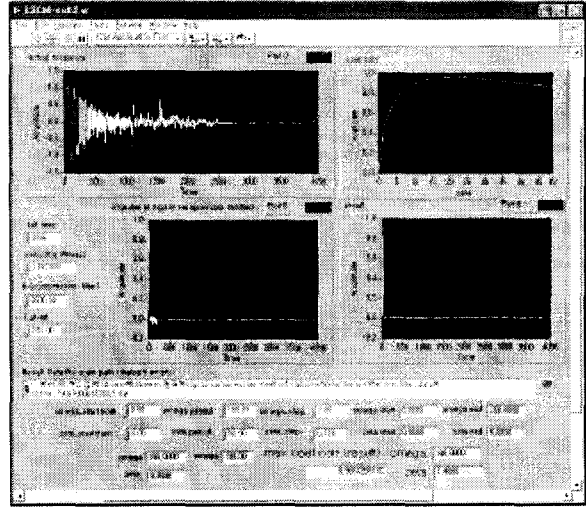


Fig. 6 LSCM-sub2

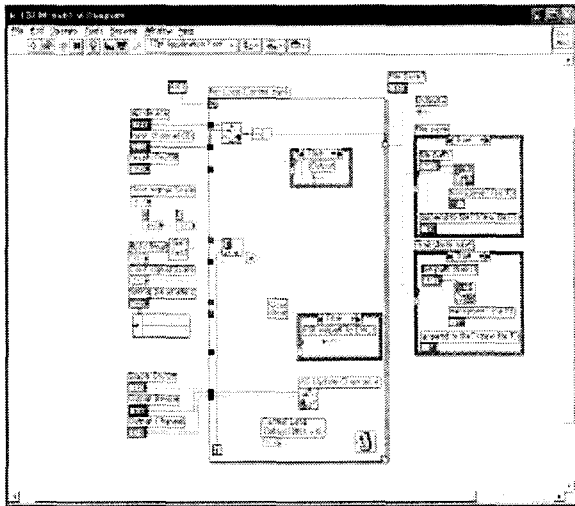


Fig. 5 Diagram of LSCM-sub1

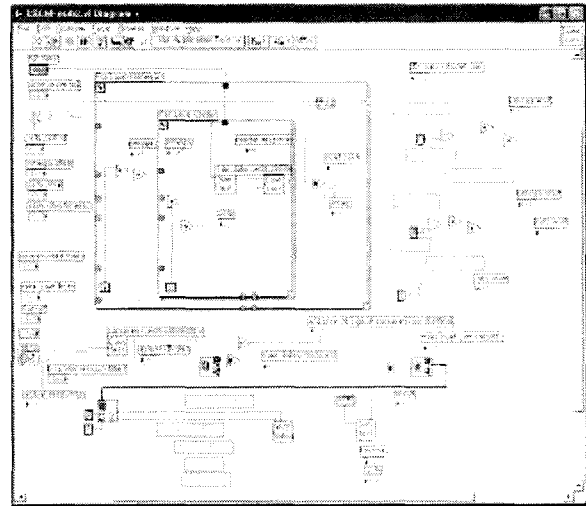


Fig. 7 Diagram of LSCM-sub2

을 이용하여 미지의 파라미터를 추정한다. 인터페이스 카드는 NI사의 PCI-1200 DAQ 보드를 사용하였고, 모니터링 프로그램인 LSCM은 NI사의 LabVIEW 6.1을 사용하여 개발하였다[6,7]. LSCM은 크게 두 개의 프로그램으로 나누어진다. 시험 신호를 생성하고 이 생성된 신호를 2차 회로에 인가하는 그 결과 값을 얻는 프로그램(LSCM-sub1)과 그 결과값을 이용하여 미지의 파라미터를 추정하는 프로그램(LSCM-sub2)으로 나뉜다. LSCM-sub1과 LSCM-sub2의 프론트 패널과 블록 다이어그램은 각각 그림 4,5와 그림 6,7과 같다. 그리고 LSCM-sub2의 계층구조는 그림 8과 같다.

3.2 미지의 파라미터의 추정 및 검증

본 연구에서 개발한 모니터링 프로그램인 LSCM의 미지 파라미터 추정 성능과 안정성을 검증하기 위해서 그림 9와 같은 2차 회로를 4개 구성하여 성능 평가 실험을 수행한다. 각 회로에서의 소자 R1, R2, C1, C2의 값은 표 1과 같다.

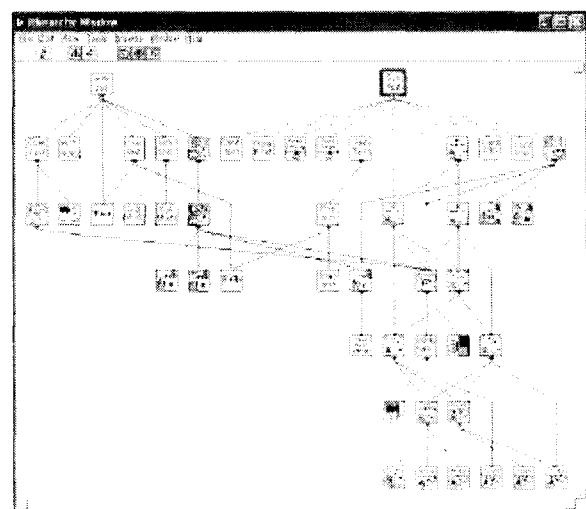


Fig. 8 Hierarchy of sub-function

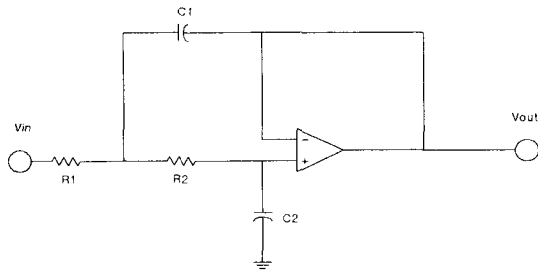


Fig. 9 Active Filter(2nd order system)

먼저 그림 9로부터 2차 회로에 입력전압 e_i 와 출력전압 e_o 에 따른 전달함수는 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$G(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (6)$$

$$\text{단, } \zeta = \frac{1}{2 \cdot Q}, \quad Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{c_1}{c_2}},$$

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{R^2 \cdot c_1 \cdot c_2}}, \quad R_1 = R_2 = R$$

식 (6)에서 출력전압 e_o 을 이용하여 미지의 파라미터를 추정하면 이론적인 고유주파수 ω_n 과 점성마찰계수 ζ 를 구할 수 있다. LSCM을 이용하여 추정된 2차 회로의 미지 파라미터인 고유주파수와 점성마찰계수는 표 2와 같다.

다음으로는 규정된 모델의 타당성을 검증하기 위해서 실제 실험결과와 시뮬레이션의 결과를 비교하고자 한다. 시험신호에 거의 모든 주파수영역의 신호가 들어 있기 때문에 주파수별 응답을 판단할 수 있기 때문에 시험신호를 이용하여 추정된 파라미터들을 검증하였다. 표 2의 1번째 시스템($\omega_n:100, \zeta:1$)의 Bode 선도와 추정된 파라미터들을 이용한 시뮬레이션 결과의 Bode 선도를 그림 10에 나타내었다. 두 결과를 서로 비교해 보면 규명 성능이 양호함을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 신호압축법에 의한 시스템 규명 과정을 보다 편리하고 쉽게 사용할 수 있도록 하기 위해서 LabVIEW를 이용한 모니터링 프로그램인 LSCM을 개발하였다. 그리고 모니터링 프로그램의 미지 파라미터 추정 성능을 검증하기 위해서 실제로 구성된 4개의 액티브 필터에 대한 추정 실험을 통해 추정된 파라미터와 회로식으로 구한 이론 파라미터 값들을 서로 비교하여 LSCM의 미지 파라미터 추정 성능을 검증하였다. 또한 LSCM를 이용하면 실험 데이터들의 변화 추이를 모니터링 할 수 있으며 대상 시스템이 교체되는 경우에도 쉽게 적용할 수 있다.

참고문헌

1. Widrow, B. and Stern, S. D., Adaptive Signal Processing, Prentice-Hall, 1985.

Table 1 Electric-parameters of active filter

No.	R1(k Ω)	R2(k Ω)	C1(μ F)	C2(μ F)
1	1	1	10	10
2	1	1	10	100
3	1	1	100	10
4	1	1	100	100

Table 2 Estimated parameters of 1th circuit

No.	ideal		LSCM		cross corr. coef.
	ω_n	ζ	ω_n	ζ	
1	100	1	125	1.20	0.973
2	31.623	3.1623	35	2.98	0.944
3	31.623	0.31623	32.0	0.30	0.990
4	10	1	11.6	0.90	0.997

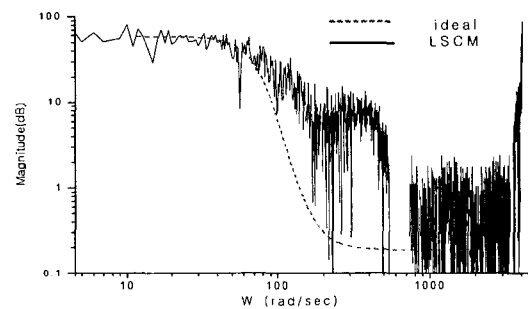


Fig. 10 Bode plot(1st circuit)

2. Aoshima, N., "Measurement of Flow Control System Characteristics by Signal Compression Method," Trans. of SICE, Vol. 22, No. 12, pp. 1298-1304, 1986.

3. Aoshima, N., "Microprocessor-Based System Identification by Signal Compression Method," D.Reidel Pub. Com., pp. 81-103, 1986.

4. 이민철, "신호압축법에 의한 로봇 매니퓰레이터의 파라미터 추정," 부산대학교 공과대학 논문집 제 44호, 1992.

5. 진상영, 이민철, 손권, 이만형, 이장명, 안두성, 한성현, "신호압축법과 상관계수를 이용한 비선형 시스템의 동특성 규명에 관한 연구," 대한기계학회 '93 춘계 학술대회 논문집, pp. 519-523, 1993.

6. 박두영, LabVIEW 컴퓨터 기반의 제어와 계측 Solution, Ohm사, 2002.

7. 최성주, Graphical Programming LabVIEW 입문, 동일출판사, 1998.