능동회로에서의 노이즈 규명 및 저감

Identification and Reduction of Noise on active circuits

°오경석 *, 민성준 *, 장종수 * · 허훈 * *
Kyoung-Seok Oh, Seong-Joon Min, Jong-soo Chang, Hoon Heo

Abstract - In the study, the noise involved on the active circuit is identified using correlation function. In order to figure out the unknown location of noise source, signals from each sections in the system are collected and the location is identified by a concept called "Noise Source Surface".
Experiment is conducted to confirm the validity of the proposed method. Also a method to reduce and control the noise in the system signal by using Matrix Pencil Method is introduced.
Experiment is attempted to prove that the total noise of system can be reduced by controlling the external noise.

Key Words : Noise Source Surface , Matrix Pencil Method , External Noise , Power Spectral Density

1. 서론

본 논문에서는 능동회로 각 부위에서 탐지되는 개별신호 들의 상관관계 정보를 이용한 N.S.S (Noise Source Surface) 개념을 이용하여 그 NOISE SOURCE의 위치를 규명하고 규명된 노이즈를 Matrix Pencil Method을 통해 저감시키고 제어하는 방법을 제시하였다. 그리고 입력파형이나 시스템의 각 부위에서 노이즈를 인지하며 노이즈의 세기에 따라 노이즈를 저감하는 실험을 하였다.

2. 본론

2.1 Sample 능동회로 구성

그림1. NPN transistor amplifier

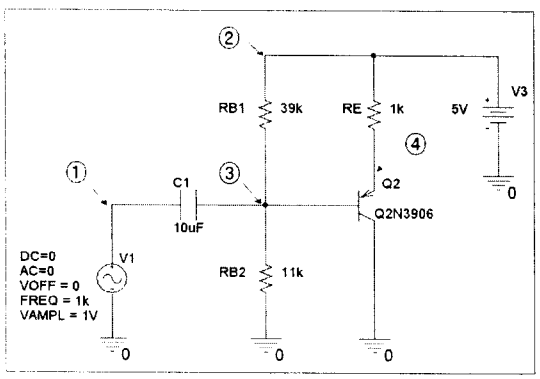


그림1의 간단한 능동 회로를 구성하였다. 능동회로에서의 임의의 위치에 노이즈가 감지됐을 때 그림1의 번호로 표시된 각 지점들의 전압 파형의 cross-correlation 결과로 노이즈의 위치를 어떻게 규명할 수 있는지 실험으로 증명하기 위하여 임의의 한 지점에서의 랜덤 노이즈를 인지하고 이를 N.N.S로 표현하였다.

2.2 노이즈의 규명

그림1.에서 점으로 표시된 각각의 위치를 기준으로 4부위로 나누어 볼 때 각 부위에서 노이즈를 인지하여 실험을 실시하였다. 그림1의 번호로 표시된 각 지점들의 전압 파형 측정된 신호들 간의 상관관계를 알아보기 위하여 cross-correlation을 구한다.

$$R_{x_1x_2}(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T}\int_{-T}^{T} x_1(t)x_2(t-\tau)dt \qquad (식1)$$

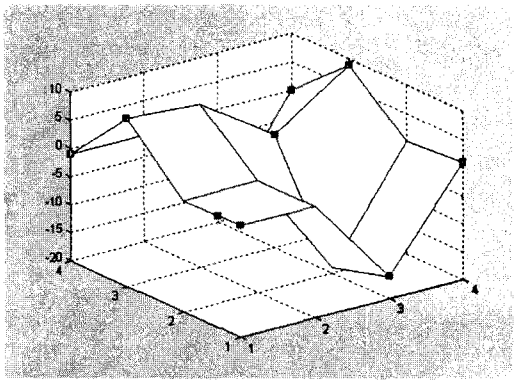
$R_{x_1x_2}(\tau)$가 최대값이 될 때의 τ를 이용하여 아래와 같은 도표와 그래프를 구성한다. 첫 실험으로 세 번째 부분에 노이즈가 인지된 경우에 각 부분에서의 응답을 이용하여 상관관계를 구한다.

표1. Time delay(τ) with correlation under the random noise on third part.

e_1 \ e_2	1	2	3	4
1	0	0	-16	1
2	0	0	-19	0
3	9	9	0	9
4	-1	-1	-19	0

저자소개
*高麗大 制御計測工學科 大學院
**高麗大 制御計測工學科 敎授

그림2. Time delay(τ) under the random noise on third part ("Noise Source Surface" by Experiment)



위의 그림에서 볼 수 있듯이 랜덤 노이즈가 포함된 세 번째 부분의 τ값은 이외의 부분에 대한 τ값에 비하여 최대 또는 최소의 값을 보이고 있으므로, 이로부터 세 번째 부분에 노이즈가 섞인 것임을 확인 할 수 있다. 또한 각 도표에서 대각 항은 자기 상관관계를 갖게 되므로 지연이 나타나지 않는다. 그러므로 τ는 0이 되는 것을 볼 수 있다. 표1에서 4번째 위치에서의 파형과 correlation된 파형에 약간의 시간지연이 있는 이유는 3번째 위치에서의 랜덤 노이즈가 4번째 파형에 영향을 준 것이다. 하지만 영향이 적기 때문에 3번째 위치에 노이즈가 생성됐다고 판단할 수 있다.

2.3 노이즈 저감

규명된 출력파형의 노이즈를 저감시키는 방법으로 MPM (Matrix Pencil Method)을 제안하였다. MPM의 장점은 기존 필터와는 달리 Cut-off 주파수와 잡음 신호의 주파수 설정이 필요가 없고 노이즈에 정보에 관계없이 신호처리가 가능하다.

MPM은 특정주파수만 통과 시켜, 지배적인 주파수 정보를 얻는 방법이다.

2.3.1 System Dynamic

그림1의 출력파형을 노이즈가 포함된 다음과 같은 시스템으로 고려하자

$$y(t) = x(t) + \eta(t) \approx \sum_{i=1}^{M} R_i \exp(S_i t) + \eta(t) \quad \text{식(2)}$$

$x(t)$: *signal* $\eta(t)$: *Noise in the system*

$y(t)$: *Observed time response*

2.3.2 Matrix Pencil Method

위와 같은 식(2)와 같이 시스템으로 고려된 출력파형을 다음 같이 Matrix를 구성한다.

$$[y_1] = \begin{bmatrix} x(0) & x(1) & \cdots & x(L-1) \\ x(1) & x(2) & \cdots & x(L) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x(N-L-1) & x(N-L) & \cdots & x(N-2) \end{bmatrix} \quad \text{(식3)}$$

$$[y_2] = \begin{bmatrix} x(1) & x(2) & \cdots & x(L) \\ x(2) & x(3) & \cdots & x(L+1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x(N-L) & x(N-L+1) & \cdots & x(N-1) \end{bmatrix} \quad \text{(식4)}$$

L (pencil parameter): 새롭게 구성될 배열의 크기를 나타내며 획득된 신호 크기의 1/2 또는 1/3의 크기로 정한다.

식(3)와 식(4)을 이용하여 다음과 같은 행렬을 구한다.

$$[Y] = \begin{bmatrix} y(0) & y(1) & \cdots & y(L-1) \\ y(1) & y(2) & \cdots & y(L) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y(N-L-1) & y(N-L) & \cdots & y(N-2) \end{bmatrix} \quad \text{(식5)}$$

(식5)에 대해서 SVD(Singular Value Decomposition)을 취한다.

$$[Y] = [U][\Sigma][V]^H \quad \text{(식6)}$$

$$[V] = [v_1, v_2, \cdots, v_M, \ldots, v_L]$$

(식6)에서 L개의 right-singular 행렬값 중에서 M개까지는 큰 값을 갖는다. M은 구하고자 하는 Dominant한 주파수 정보를 뜻한다(Matrix Parameter)

또한 식에서 M+1에서 L까지의 Right-Singular vector들은 크기가 작아 없어지게 된다.

그림3. 그림1 회로의 출력파형의 주파수 분석

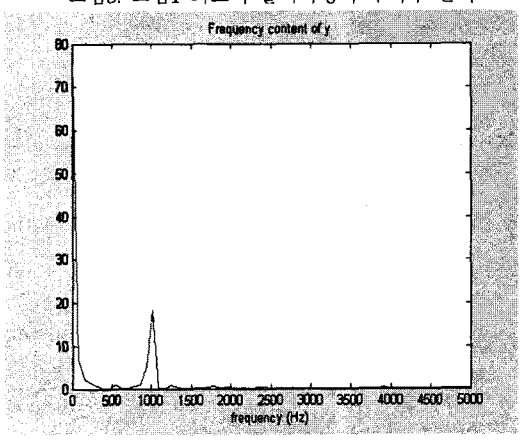


그림1의 능동 회로에서의 출력파형을 MPM 기법을 사용하여 노이즈를 제거했다.

그림3,4를 보면 지배적인 M개는 남겨두고, 나머지 신호들은 정보를 잃게 되어 상대적으로 낮은 신호 레벨을 갖는 잡음이 제거가 된 것을 볼 수 있다.

그림4. 출력파형을 Pencil Method한 후의 주파수 분석

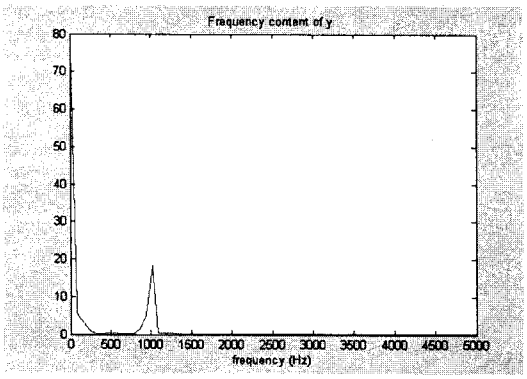


그림5. 노이즈가 포함된 그림1의 회로의 출력파형

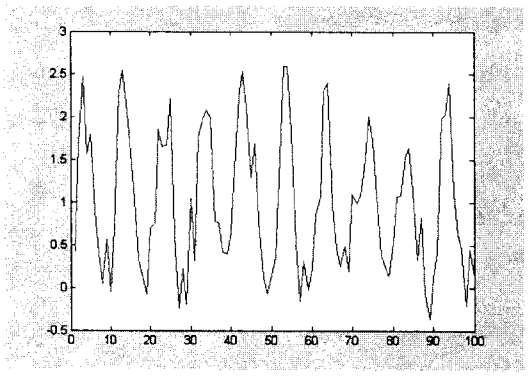
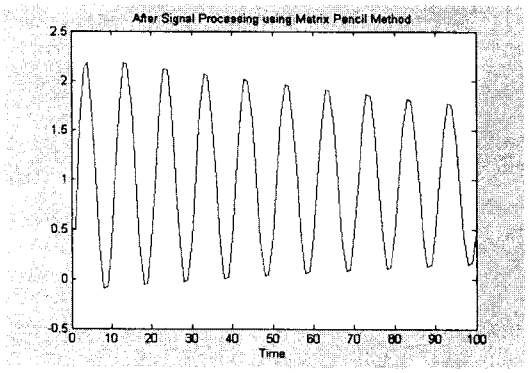


그림6. MPM실행 결과 노이즈가 제거된 출력파형



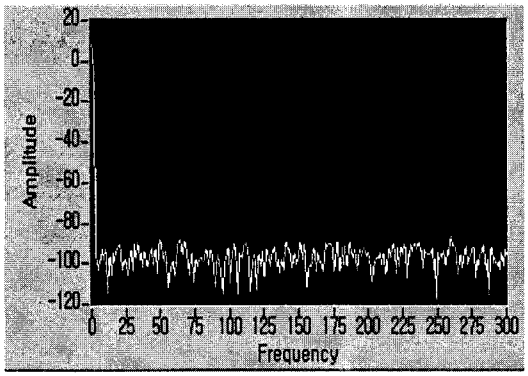
2.4 입력 노이즈에 의한 시스템 내부 노이즈 저감

2.4.1 내부 노이즈 저감 실험

능동회로에서의 노이즈가 포함된 입력파형에 의한 내부 노이즈의 저감 효과를 확인하기 위해 실험을 하였다.

그림1의 능동회로의 출력파형의 PSD (power spectral density)를 구하여 PSD를 관찰하여 노이즈의 저감효과의 척도로 활용하였다. 그림7은 출력파형의 PSD를 나타낸 것이다.

그림7. 출력파형의 power spectral density(dB)



2.4.2 노이즈 저감 효과에 대한 관찰

위와 같이 PSD값이 102.5(평균)을 기준으로 입력파형에 실은 gaussian white noise의 amplitude 조절해가면서 출력파형의 PSD값을 관찰하였다. 관찰한 결과 1×10^{14}~0.0001범위에서 PSD값(dB)가 미세한 상승하는 효과가 보였고, 특히 1×10^{14} 에 가장 큰 노이즈 저감효과가 나타났다. 그리고 1×10^{14} 보다 더 작은 값부터는 노이즈의 저감효과가 없는 것으로 관찰되었다. 이 실험은 외부 노이즈의 의해 능동회로의 내부노이즈의 저감효과를 얻을 수 있다는 가능성을 보여주는 실험으로, 현재 내부 노이즈의 세기와 외부 노이즈의 관계를 정립하여 노이즈를 보다 더 효과적으로 저감하는 방법에 대한 연구가 진행 중에 있다.

3. 결 론

본 논문은 간단한 능동 회로에서 Noise Source Surface개념을 적용시켜 노이즈의 위치를 규명하였다. 그러나 각 point의 파형이 파형 간에 상관성이 적을 경우에는 노이즈 규명이 현재로서는 곤란하다. 복잡한 능동회로에서는 심층적인 연구가 필요하다. 또 탐지된 노이즈를 MPM방법을 활용한 노이즈저감기법을 사용한 결과 averaging 방법보다 시간을 단축할 수 있으며 특정주파수만 통과 시킬 수 있는 장점을 갖고 있으며 기존의 필터보다 저감성능이 좋은 것을 확인하였다. 그리고 외부 노이즈로 내부 노이즈를 저감하는 실험을 통해 능동회로에서 랜덤 노이즈를 사용하여 랜덤 노이즈를 저감할 수 있는 가능성을 제시하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 정근용, 오용실, 민성준, 오경석, 허훈 "미지의 불규칙 외란에 노출된 유연계의 진동제어 및 불규칙 외란의 규명" 한국 소음진동 공학회 2004년도 춘계학술대회 논문지 pp.228~232

[2] Hoon.Heo, YunHyun cho, Daejung Kim, "Stochastic Control of Flexible Beam in Random Flutter",Journal of Sound and Vibration, Vol.267. pp335~354, 2003.

[3] Noise suppression by noise. Vilar JM, Rubi JM. Department of Physics, Princeton University, New Jersey 08544, USA