

능동소음기를 위한 PWM 인버터의 제어기법 및 적용

이승요* 최규하* 강정유** 정도현***
*건국대학교 전기공학과 **호서대학교 전자공학과 ***호서대학교 전기공학과

Control Method and Application of PWM Inverter for Active Silencer

Seung-Yo Lee** Gyu-Ha Choe* Jung-Yu Kang** Do-Hyun Jang***
*Dept. of Electrical Eng. Konkuk University
**Dept. of Electronic Eng. Hoseo University
***Dept. of Electrical Eng. Hoseo University

Abstract - PWM(Pulse-Width Modulation) is frequently used as control method for inverter. In control of active silencer studied presently, PWM control method can be applied. This paper presents its possibility. As operating source of loudspeaker, inverter is used instead of audio amplifier and PWM controller controls the inverter to make canceling sound. This paper presents that active silencer of inverter-type using the PWM control method makes the canceling sound to acoustic noise and cancels the acoustic noise.

이상적으로만 전류소음이 임(0)이 되도록 제어기가 동작되어야 한다. 제시된 인버터는 단상 Full-bridge 인버터이며 DC링크의 에너지가 인버터를 통하여 스피커에 전달되므로 오디오 앰프를 대신할 수 있다. 인버터를 통하여 나온 신호는 PWM 펄스이며 상세음을 만들어내기 위하여 필터링이 반드시 필요하다. 그림의 오실로스코프는 마이크로 검출되는 소음의 감쇄추이를 관찰하기 위한 것이다.

1. 서론

최근 많이 연구되고 있는 능동 소음제어 방식은 원하지 않는 소음을 줄이기 위한 한가지 방법이다. 과거 흡음, 사패등을 이용한 수동적인 소음저감 방식이 저주파 소음에 대해서 처음 효과가 떨어지고 정치의 부피와 무게가 커지는 단점이 발생하는데 반해 능동 소음제어 방식은 저주파 소음을 효과적으로 감쇄시킬 수 있다(1,5). 능동 소음 제어방식은 검출되는 소음신호와 위상차가 180도이고 진폭이 같은 2차음을 공기중에 주입함으로써 소음을 상쇄시키는 방법으로 본 논문에서는 전력변환장치에 사용되는 PWM 인버터의 제어기법을 적용하여 능동소음제어기 가능성을 보이고자 하였다.

전력변환장치를 제어하기 위한 제어기법에는 P제어기법(삼각파비교방식), 델타제어기법, 히스테리시스 제어기법, 적응 히스테리시스 제어기법, 예측제어기법, 데드비트 제어기법, 적응 제어기법등 여러가지가 있으며 이 제어기법들은 제어하고자 하는 대상과 목적에 따라 선택적으로 사용된다.(3) 본 논문에서는 이 제어기법 중 삼각파와 기준신호를 비교, 제어하는 방식인 삼각파 비교방식과 전류기준신호를 기준으로 일정한 밴드를 설정하고 이 밴드내에서 전류가 흐르도록 하는 히스테리시스 제어기법을 적용하였으며 그 특성을 비교 검토하였다.

2. 시스템의 구성

그림 1은 제안된 능동소음기의 전체 시스템 구성도이다. 기성소음을 마이크로 검출하고 스피커를 통해 상세음을 발생시키는 구조를 갖는다. 마이크로에서 검출되는 신호는 제어기가 동작하지 않는 동안 소음 그 자체 신호이며 제어기가 동작하기 시작하면서 상세음이 발생하게 되고 그 시점부터 전류소음이 마이크로 검출된다.

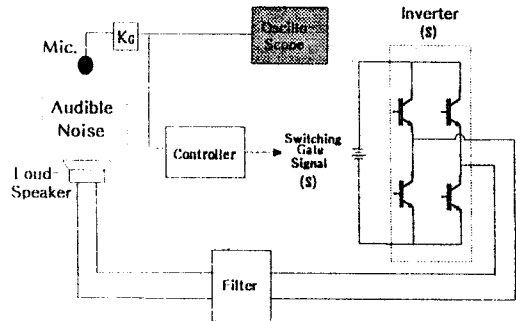


그림1 인버터를 이용한 능동소음기의 구성도

3. 능동소음제어를 위한 적응 제어기법

본 논문에서는 능동소음제어를 위한 제어기법으로써 P제어기(삼각파 비교방식)와 히스테리시스 제어기를 사용 하였으며 이에 대한 결과를 비교하였다.

3-1. P제어기(삼각파 비교방식)

그림 2는 삼각파비교방식 제어기를 나타낸다. 여기에서 삼각파와 비교될 신호는 마이크로 통해 검출되는 전류소음이며, 이는 삼각파와 비교되어 인버터를 동작시킬게이트 펄스신호를 만들어낸다.

그림 2에서 K_G 는 삼각파 캐리어와 비교될 전류소음의 승폭 이득이며, 효과적인 제어를 위해서는 크기 변조비(amplitude modulation ratio)와 주파수 변조비(frequency-modulation ratio)가 고려되어야 한다. 그러나 소음은 임의의 기법하는 신호이므로 이에대한 정량적인 관계를 정확히 따진 수 없으며, 본 연구가 대상으로 하는 소음

은 한정된 기변소음원에 적용하기 위한 것이기 때문에 산류소음의 최대 피크치가 삼각파 캐리어의 피크치를 벗어나지 않도록 이득 K_G 를 조절하거나 삼각파의 크기를 조절해 놓으면 된다. 또한 주파수 변조비에 대해서는 발생 소음원이 내는 최대 주파수에 대해 9배이상의 캐리어 주파수를 설정하여야 하고 가능한 큰 주파수 변조비를 갖도록 하는 것이 좋다.

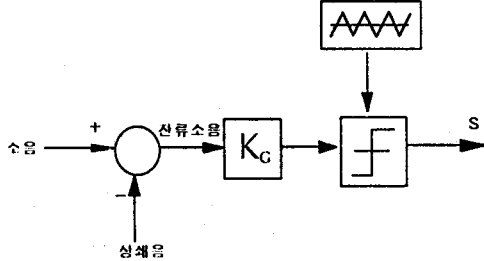


그림2 P 제한기법

3-2. 히스테리시스(Hysteresis) 제어기

그림 3은 히스테리시스 제어기의 제어불력선도를 나타낸다. 본 연구에서는 레퍼런스를 '0'로 해야 하며 이를 기준으로 일정한 밴드를 설정 한다. 잔류소음이 밴드를 벗어나지 않도록 인버터를 동작시키고, 상쇄음을 만들어냄으로써 소음을 감소시키게 된다. 히스테리시스 제어를 하는 경우 스위칭 주파수가 일정하지 않게 되나 삼각파 비교 방식보다 좋은 소음감쇄 효과를 얻을 수 있음을 뒤에 보았다.

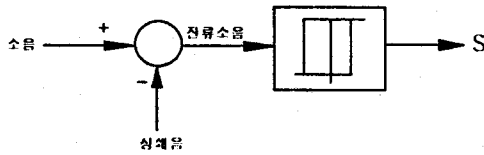


그림3 히스테리시스 제어기법

4. 필터

스피커 중에서 대표적인 콘 스피커의 경우는 구동력을 발생시키는 보이스코일과 자기회로, 그 힘을 음파로 변환하는 콘 진동판, 보이스코일이나 콘을 일정한 위치에 유지하기 위한 펌프, 다시 콘의 주변을 지지하는 예지, 그리고 이들의 부품을 연결하는 프레임으로 구성된다. 스피커 코일의 전기적 특성의 함수로서 코일에 흐르는 전류동적에 대한 방정식을 세우면(2,7)

$$L \frac{di_{sp}}{dt} + Ri_{sp} = v_{inv} - Bli_{sp}u \quad (1)$$

- L : 코일의 인덕턴스
- R : 코일의 저항
- u : 콘의 움직임 속도
- i_{sp} : 코일에 흘러 들어가는 전류
- v_{inv} : 코일에 공급되는 전압
- B : 스피커 영구자석의 자속밀도
- l : 코일의 길이

와 같다. 여기에서 $Bli_{sp}u$ 는 스피커의 자계에서 코일의 움직임에 의해 발생하는 역기전력이다. 스피커를 구동시키는 전류의 주파수 특성을 해석하기 위하여 콘의 움직임 속도를 일정하다고 가정하면($Bli_{sp}u = K$) 주파수영역으로 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$j\omega Li_{sp} + Ri_{sp} = v_{inv} - Ki_{sp} \quad (2)$$

$S = j\omega$ 이므로

$$LSI_{sp}(S) + RI_{sp}(S) + KI_{sp}(S) = V_{inv}(S) \quad (3)$$

이때 스피커를 구동시키는 원리는 자계중에 흐르는 전류에 의해 도선이 힘을 받는 것(플레밍의 왼손 법칙)이므로 본 시스템의 입력은 인버터의 출력단 전압이며 출력은 코일에 흐르는 전류가 된다. 이에 대한 전달함수는 다음과 같다.

$$\frac{I_{sp}(S)}{V_{inv}(S)} = \frac{1}{LS + R + K} \quad (4)$$

이곳에서 필터파라미터로 설정 될 수있는 요소는 인덕턴스 L 과 저항 R 뿐이다. 특히 능동소음기의 적용대상이 되는 소음은 저주파 소음이므로 필터는 저역필터를 사용하여야 하며 그 모델링은 그림 4처럼 나타낼 수 있다.

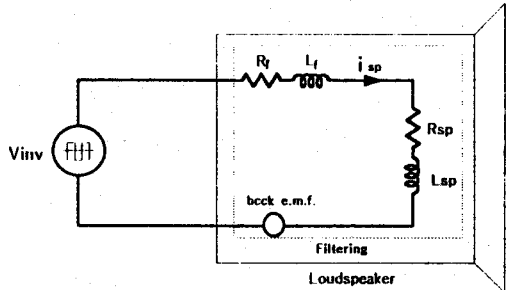
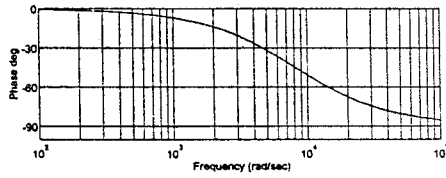
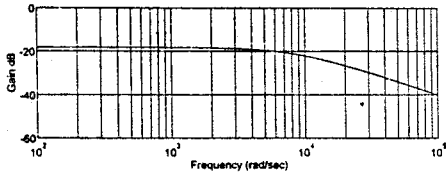
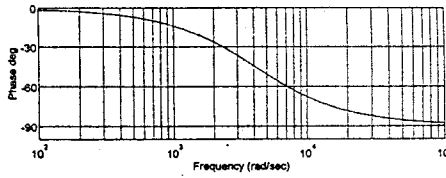
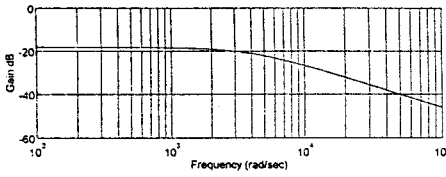


그림4 필터설계를 위한 등가모델

스피커 자체가 인덕턴스를 가지고 있고 로우패스필터 역할을 하기 때문에 스피커 자체의 파라미터값이 필터 파라미터에 포함되어야 한다. 인버터 출력단 전압을 v_{inv} 라 하고 스피커 자체의 저항 값을 R_{sp} , 자체 인덕턴스를 L_{sp} 라 놓았다. 필터로서 추가 되어야 할 저항 값은 R_f , 인덕턴스를 L_f 라 놓으면 전체 필터의 저항 값은 $R = R_{sp} + R_f$ 이고, 인덕턴스는 $L = L_{sp} + L_f$ 이다. $R = 8\Omega$ 이고 $K = 0.124$ 일때 L 값(1mH, 2mH)에 따른 보음선도는 그림 5의 (a), (b)와 같으며 이때 각각의 대역폭은 1.59kHz와 795Hz이다. 즉, 위의 파라미터 값을 갖는 경우 800Hz정도까지의 소음원에 대해서 소음기가 잘 동작될 수 있음을 의미한다.



(a) $L = 1[mH]$ 인 경우



(b) $L = 2[mH]$ 인 경우

그림5 필터의 주파수 특성 ($R=8\Omega$, $K=0.124$)

1(mH), 2(mH)인 경우에 대한 각각의 결과를 보여주고 있다. 소음이 전체적으로 1/10이상 감쇄했음을 보이고 있다.

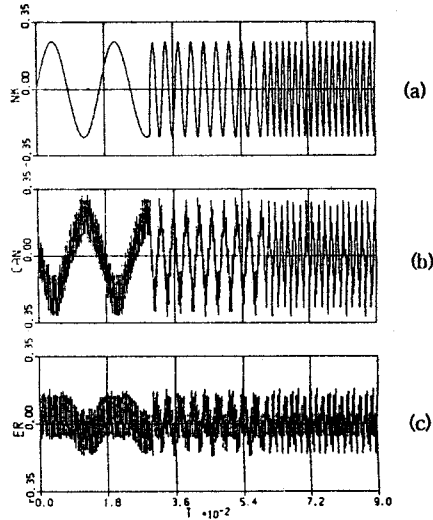


그림6 제이기를 사용한 경우 시뮬레이션 피형 $L=1[mH]$
(a)수음 (b)상쇄음 (c)잔류 오차음

5. 시뮬레이션

본 시뮬레이션에서는 삼각파비교 방식과 히스테리시스 제어방식을 사용하였으며 소음신호는 60(Hz), 300(Hz), 600(Hz) 정현파를 사용하였다. 시뮬레이션에서 스위치는 이상적인 스위치를 가정하여 인버터의 데드타임은 무시하였다.

5-1. 제이기를 사용한 경우(삼각파 비교방식)

삼각파비교 방식을 사용한 경우 삼각파 캐리어의 주파수를 12(KHz)로 하였고 캐리어의 피크치는 0.4로 하였다. 그림 6과 7의 (a),(b),(c)는 각각 필터 인덕턴스가 1(mH), 2(mH)인 경우 소음, 상쇄음, 잔류오차음을 나타낸다. 인덕턴스가 큰쪽의 경우(2(mH))가 리플이 작고 소음감쇄 효과도 좋을 것을 알 수 있다. 이 경우 소음신호의 피크치에 대해서 1/2정도 감쇄 효과가 있음을 확인 할 수 있다.

5-2. 히스테리시스(Hysteresis) 제이기를 사용한 경우

히스테리시스 제어기법을 사용하는 경우 레퍼런스는 '0'이며 이를 기준으로 하이 밴드를 설정하고, 오차음이 상위밴드보다 커지는 순간, 또는 하위밴드 아래로 떨어지는 순간에 인버터의 스위치의 동작을 바꿔줌으로써 인버터를 제어한다. 그림 8, 9는 밴드가 +, - 각각 0.02이며 삼각파 비교방식의 경우와 마찬가지로 인덕턴스가

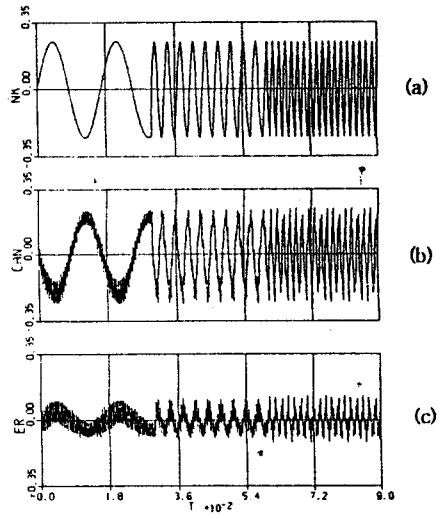


그림7 제이기를 사용한 경우 시뮬레이션 피형 $L=2[mH]$
(a)수음 (b)상쇄음 (c)잔류 오차음

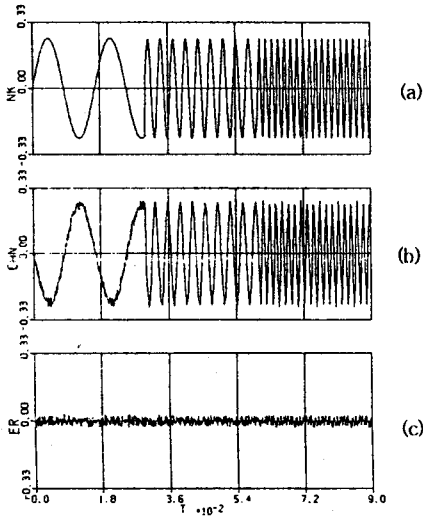


그림8 히스테리시스 제어를 사용한 경우 시뮬레이션
파형 $L = 1[mH]$
(a)소음 (b)상쇄음 (c)잔류 오차음

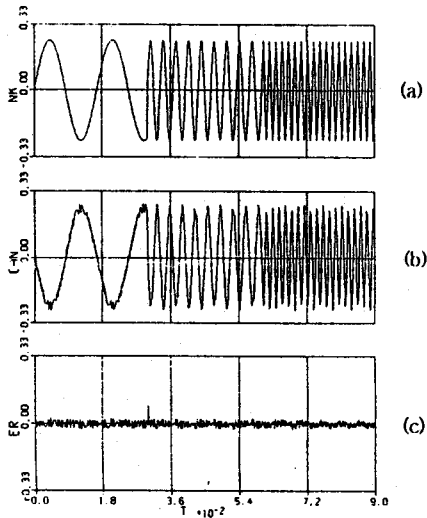


그림9 히스테리시스 제어를 사용한 경우 시뮬레이션
파형 $L = 2[mH]$
(a)소음 (b)상쇄음 (c)잔류 오차음

6. 결론

인버터를 제어하는 기법인 PWM 제어기법을 능동소음 제어에 적용할 수 있음을 본 논문은 제시하였다. 스피커 구동원으로서 인버터는 오디오 앰프를 대신할 수 있으며 본 논문에서는 삼각파 비교방식과 히스테리시스 제어를 사용하여 시뮬레이션하고 소음감쇄 특성을 비교하여 보았다.

인버터를 통해 출력되는 신호는 PWM 펄스 파형이므로 이를 필터링하는 것이 필수적고, 본 시뮬레이션에서는 필터 저항값이 8오옴인 경우에 대해 필터 인덕턴스를 변화시켜 가면서 소음 감쇄의 추이를 관찰하였다.

히스테리시스 제어를 사용하는 경우가 삼각파 비교 방식을 사용하는 경우보다 소음감쇄 효과 면에서 훨씬 유리함을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) O. TOKIL, "Active Noise Control", Oxford:Clarendon Press,1992
- (2) P.A.Nelson, S.J.Elliott, "Active Control of Sound",Academic Press
- (3) Joachim Holtz, "Pulsewidth Modulation-A Survey", IEEE PESC,1992
- (4) N.Mohan, "Power Electronics", John Wiley
- (5) 남현도, 민동준, "회전기에 의한 소음제거를 위한 능동 소음 제어-3차원 폐공간의 경우", 전기학회논문지,제43권 9호,1994.9
- (6) 정태진, 김호승, 정천수, "소형밀폐공간의 소음전달 특성" 대한전기학회•대한전자공학회 제어계측연구회 합동학술발표회,1995
- (7) 加銅鐵平, "현대오디오기술" 기전연구사