

고역필터를 사용한 선형압축기 구동용 LPMSM의 새로운 스트로크 계산 기법

安正烈[†], 全泰園[†], 李弘熙[†], 金興根[†], 魯義哲[†]

A Novel Method for Calculating the Stroke of LPMSM for Driving Linear Compressor Using High Pass Filter

Jung-Ryol Ahn, Tae-Won Chun, Hong-Hee Lee, Heung-Gun Kim, and Eui-Cheol Nho

요 약

근래에 선형전동기로 냉장고 등 냉동기기의 압축기 피스톤을 제어하는 선형압축기가 높은 효율 때문에 많이 주목받고 있다. 선형압축기의 피스톤 스트로크는 LPMSM의 입력 전압 및 전류값을 적분하여 구하며, 이 입력 신호에 직류성분이 포함될 경우 스트로크가 발산된다. 본 연구에서는 고역필터 및 직류 오프셋 보상 방식을 사용하여 입력 전압 및 전류의 직류성분에 의한 스트로크의 발산을 방지하는 기법을 제시하였다. 고역필터의 차단주파수에 대한 스트로크의 크기 및 위상과 스트로크에 포함된 직류오프셋 값의 관계를 유도하고, 직류 오프셋 값을 보상하여 정확한 스트로크를 계산한다. 새로 개발된 스트로크 계산방법의 성능은 16비트 DSP 구현된 선형압축기 시스템의 실험을 통하여 확인하였다.

ABSTRACT

Linear compressors with a free piston driven by a linear motor are widely attention in the cooling apparatus such as refrigerator due to the high efficiency. The stroke of piston in the linear compressor driven by LPMSM (Linear Permanent-Magnet Synchronous Motor) can be obtained from integrating the input voltage and current of LPMSM, but it may be diverged due to dc components in the voltage and current. The strategy to prevent the divergence of stroke using both the high-pass filter and dc offset compensation was suggested. The equations for the magnitude and phase of the stroke and also dc offset including the stroke are derived as a function of the cut-off frequency of HPF. The accurate stroke of a piston can be calculated by compensating for dc offset. The performance of the newly developed stroke calculation scheme has been verified by experimentally on a linear compressor drive system, where the control was implemented by a 16-bit DSP.

Key Words : LPMSM, Linear compressor, Stroke, Integration, High-pass filter

1. 서 론

일반적으로 냉장고 에어컨 등 냉동·공조기에서 증발기에서 나온 뜨거운 기체상태의 냉매를 압축하여 비교적 높은 온도에서 쉽게 액체가 될 수 있도록 하고 냉매에 힘을 주어 지속적인 순환이 가능하도록 해주는 압축기는 냉동·공조기기의 심장부라고 말할 수 있는 매우 중요한 것이다. 가정용 냉장고나 에어컨에서는 대부분이 왕복동식 압축기(Reciprocating compressor) 또는 로터리 압축기(Rotary compressor)를 사용하고

[†]교신저자 : 정희원, 울산대 전기전자정보시스템공학부 교수

E-mail : twchun@mail.ulsan.ac.kr

[†]정희원, 울산대 전기전자정보시스템공학부 박사과정

[†]정희원, 울산대 전기전자정보시스템공학부 교수

[†]정희원, 경북대 전자전기공학부 교수

[†]정희원, 부경대 공대 전기제어계측공학부 부교수

접수일자 : 2005. 7. 25 1차 심사 : 2005. 9. 20

2차 심사 : 2005. 10. 27 심사완료 : 2005. 11. 20

있다. 그런데 이 압축기들은 전동기의 회전운동을 크랭크축 메커니즘에 의해 피스톤의 왕복운동으로 바뀌주기 때문에 크랭크축등에서 기계적인 마찰 등에 의한 기계적인 손실 때문에 압축기의 효율이 떨어지고 소음이 발생하는 문제점이 있다. 냉동·공조기기의 전체 소비전력에서 압축기가 차지하는 소비전력이 80% 이상을 차지하므로 압축기의 효율은 아주 중요한 문제이므로, 이 압축기의 효율을 증가시키기 위하여 최근에 선형 압축기(Linear compressor)가 개발되기 시작하였다[1,2].

이 선형압축기는 프리 피스톤 구조로 되어 있어서 크랭크축등에 의한 기계적인 손실을 감소시키고, 부하나 주위온도에 따라 피스톤의 스트로크(stroke) 조절이 자유롭기 때문에 냉동·공조기기에 적용 시 소비전력 저감에 큰 효과가 있다. 선형압축기 피스톤의 스트로크를 정밀하게 제어하기 위하여 정확한 피스톤의 위치 즉 스트로크를 검출하여야 하며, 스트로크를 직접 검출하는 방식과 압축기의 입력 전압 및 전류값으로 스트로크를 계산하는 센서리스(Sensorless) 방식이 있다. 그런데 스트로크를 직접 측정하기 위하여 변위센서 등을 압축기내에 설치하는 것이 거의 불가능하므로 일반적으로 센서리스 방식을 사용한다. 이 센서리스 방식에서 전압 및 전류값으로 스트로크를 계산하는 과정에서 적분기를 사용하여야 한다. 그런데 입력 교류 전압 및 전류에 약간의 직류성분이 포함되어 있으면, 적분기에 의하여 직류성분이 축적되어 스트로크 값이 발산하는 문제가 있다.

이러한 적분문제를 해결하기 위하여 여러 논문이 발표되었다. 시스템 동작 전에 전동기의 입력 전압 및 전류에 포함된 직류성분을 측정후, 이 직류 값을 보상하는 방법이 있으나 이 직류값이 동작 중에도 바뀌므로 정확한 직류값을 측정하기 힘들다[3]. 주파수에 따라 3개의 저역필터 차단주파수를 계산하여 적분을 수행하는 3단계 프로그래밍 저역필터를 사용하는 방식은 3개의 저역필터에 의한 시간지연이 많이 발생한다[4]. 전압 및 전류 모델을 사용하는 방식은 회전기에서는 적용할 수 있으나 단상 선형전동기에서는 응용하기 힘들며, 계산량이 너무 많다는 단점도 있다[5,6].

따라서 본 연구에서는 고역필터 및 직류 옵셋 보상 방식을 사용하여 선형전동기의 입력 전압 및 전류의 직류성분에 의한 스트로크의 발산을 방지하는 기법을 제시하였다. 16비트 DSP를 사용한 실험결과로 본 논문에서 제시한 적분방식의 타당성을 확인한다.

2. 선형압축기의 구조 및 동작

그림 1은 선형압축기의 구조이다.

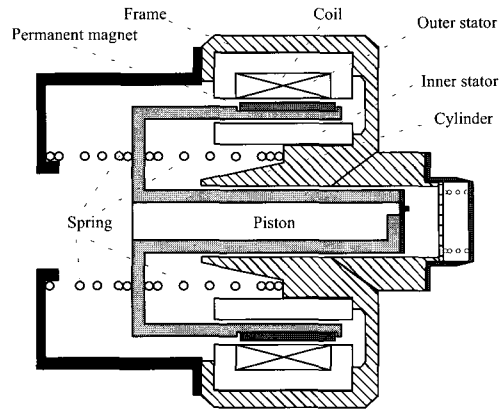


그림 1 선형압축기 구조
Fig. 1 Structure of linear compressor

선형전동기는 코일이 연결된 외측고정자와 철심으로 구성된 내측고정자의 중간에 영구자석으로 구성된 LPMSM로 사용한다. 외측고정자와 내측고정자는 프레임에 연결되어 고정되어 있고 영구자석은 피스톤과 연결되어 왕복 동작한다. 그리고 실린더 내부의 압축공간에 삽입되는 피스톤과 피스톤의 움직임을 탄성적으로 지지함과 더불어 운동에너지를 저장하는 역할을 하는 내측과 외측 스프링으로 결합되어 진다.

이 LPMSM의 외부권선에 교류전원이 인가되면, 외측 고정자 및 내측 고정자를 이루는 철심에 자속이 전류의 방향에 따라 교번되게 되면서 N극, S극이 고정자의 양측에 각각 교대로 형성된다. 한편 영구자석은 위쪽이 S극이며 아래쪽이 N극이다. 교류 전류에 의한 자기장과 영구자석의 자속간의 인력과 척력 및 공진스프링의 탄성력의 반복적인 작용으로 피스톤은 일정한 구간 내에서 전류의 한주기 동안 왕복운동을 하면서 선형 압축기 가스의 흡입 팽창 등의 과정을 차례로 수행한다.

3. LPMSM 스트로크 보상기법

3.1 스트로크 보상기법

그림 2는 LPMSM의 등가회로이다. 이 전동기의 고정자 권선 저항과 권선의 인덕턴스와 함께 역기전력이 직렬로 구성되며, 역기전력은 회전기일 경우에는 회전운동을 하기 때문에 전동기속도에 비례하며, 본 연구

와 같이 LPMSM일 경우에는 직선운동을 하기 때문에 속도에 비례한다^[7].

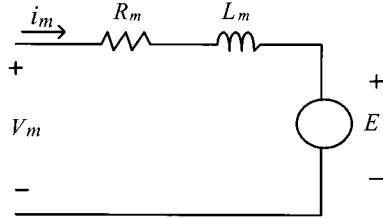


그림 2 LPMSM의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of LPMSM

등가회로를 사용하여 LPMSM의 고정자 전압방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V_m = \alpha \frac{dX}{dt} + R_m i_m + L_m \frac{di_m}{dt} \quad (1)$$

여기서

R_m, L_m : 전동기 고정자 저항 및 인덕턴스

X : 피스톤 행정거리 (Stroke)

α : 모터상수

$E = \alpha \frac{dX}{dt}$: 전동기의 역기전력 이다.

식 (1)에서 스트로크 X 는 다음 식과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{\alpha} \int (V_m - R_m i_m - L_m \frac{di_m}{dt}) dt \\ &= \frac{1}{\alpha} \int E dt \end{aligned} \quad (2)$$

위의 식에서 보면 역기전력 분을 적분하여 스트로크를 계산하는데 만약 이 적분을 위하여 순수적분기를 사용할 경우, 고정자 전류 및 전압에 포함된 직류 성분이 계속 누적되어 발산하게 된다는 큰 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 역기전력에 포함된 직류성분을 제거하여 스트로크의 발산을 방지하기 위하여 그림 3과 같이 고역필터 (High-pass filter)를 사용한다.

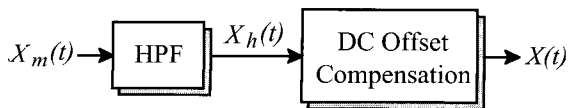


그림 3 고역필터를 사용한 스트로크 보상 블록도
Fig. 3 Block diagram for compensating stroke using HPF

고역필터의 효과를 분석하기 위하여 먼저 역기전력 E 에 직류성분 E_{dc} 가 포함되었을 경우 스트로크는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} X_m(t) &= \frac{1}{\alpha} \int_0^t (E_m \cos \omega t + E_{dc}) dt \\ &= \frac{E_m}{\alpha \omega} \sin \omega t + \frac{E_{dc}}{\alpha} t \end{aligned} \quad (3)$$

다음은 고역필터의 식을 표시하면 다음과 같다.

$$X_h(s) = \frac{\tau s}{\tau s + 1} X_m(s) \quad (4)$$

(여기서 $\tau = \frac{1}{2\pi f_c}$, f_c = 고역필터의 차단주파수)

식 (3)의 스트로크 식을 식 (4)에 대입하고, 고역필터 출력을 교류성분 X_{ss} 과 직류성분 X_{dc} 을 분리한다.

$$X_h = X_{ss} + X_{dc} \quad (5)$$

먼저 스트로크의 성분 중 먼저 교류성분은 정상상태이므로 다음 식과 같이 표현된다.

$$X_{ss} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{f_c}{f})^2}} \frac{E_m}{\alpha \omega} \sin[\omega t + \tan^{-1}(\frac{f_c}{f})] \quad (6)$$

여기서 인버터 주파수보다 고역필터의 차단주파수가 상당히 작게 설정할 경우, 차단주파수를 무시하여 근사화 시키면 다음 식과 같다.

$$X_{ss}(\omega t) \cong \frac{E_m}{\alpha \omega} \sin \omega t = X_p \sin \omega t \quad (7)$$

다음은 고역필터의 출력 스트로크 성분 중 직류성분을 표시한 것이다.

$$X_{dc} = \frac{\tau s}{\tau s + 1} \frac{E_{dc}}{\alpha} \frac{1}{s^2} \quad (8)$$

정상상태에서는 스트로크의 직류성분은 식 (9)와 같이 유도된다.

$$X_{dc} = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{\tau s}{\tau s + 1} \frac{E_{dc}}{\alpha} \frac{1}{s^2} = \frac{\tau}{\alpha} E_{dc} \quad (9)$$

식 (7)과 식 (9)를 사용하여 스트로크 식은 다음과 같다.

$$X_h = X_{ss} + X_{dc} = \frac{E_m}{\alpha\omega} \sin\omega t + \frac{E_{dc}}{2\pi f_c \alpha} \quad (10)$$

식 (10)에서 보면 고역필터를 통과하더라도 정상적으로 적분한 항에 직류성분이 포함되어 있으며, 이 직류 값은 역기전력의 직류성분에 비례하고 고역필터의 차단주파수에 반비례한다. 고역필터의 출력 스트로크 값에 포함된 직류성분 값을 측정하여, 식 (11)과 같이 직류성분을 빼면 거의 정확한 스트로크 값을 구할 수 있다.

$$X = X_h - X_{dc} = \frac{E_m}{\alpha\omega} \sin\omega t = X_p \sin\omega t \quad (11)$$

여기서, 스트로크의 피크치 값 $X_p = E_m / (\alpha\omega)$ 이다.

그림 4는 역기전력의 직류성분 $E_{dc} = 1V$ 라고 가정하고 인버터 주파수가 60Hz일 경우, 고역필터의 차단주파수가 0.5Hz에서 3Hz로 변화 시 입력신호에 대한 출력신호의 이득 및 위상의 변화와 고역필터 출력 스트로크의 직류성분의 변화를 보인 것이다.

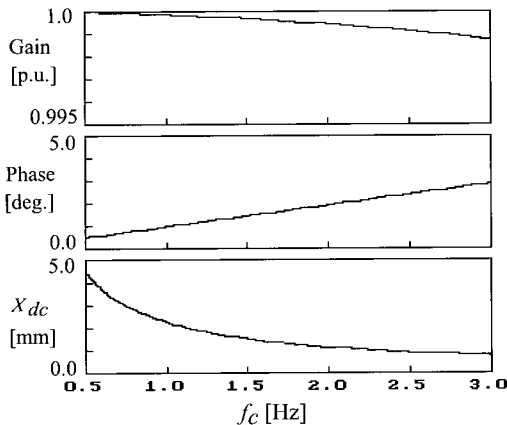


그림 4 차단주파수변화에 대한 고역필터 특성
Fig. 4 Characteristics of HPF with cut-off frequency

고역필터의 차단주파수가 감소되면 스트로크의 크기 및 위상에 대한 정확도는 증가되나, 직류성분 값이 증가되며 또한 역기전력의 직류성분이 커질수록 스트로크 직류성분이 더 증가한다. 반대로 차단주파수를 증가시키면 위와 반대 특성이 나오므로 역기전력에 포함

된 직류성분, 스트로크 정밀도등을 고려하여 본 논문에서는 고역필터의 차단주파수를 1Hz로 결정하였다. 고역필터의 차단주파수가 일정하고, 인버터 주파수가 변화되면 고역필터의 이득, 위상 및 직류성분 값이 바뀌게 된다. 그런데 선형압축기에서는 피스톤을 지지하는 스프링의 공진주파수가 거의 60Hz로 설계되어 있다. 따라서 선형압축기의 효율개선을 위하여 제어되는 인버터 주파수는 스프링 공진주파수 중심으로 $\pm 3Hz$ 범위 즉 약 57Hz에서 63Hz 사이에서 제어되므로, 이 주파수 범위에서는 고역필터 특성이 거의 유사하다.

실제 선형압축기 제어시스템에서는 고역필터를 통과한 스트로크 X_h 에서 직류성분은 다음과 같이 구한다. 즉 한 주기 동안 매 샘플링 구간마다 고역필터 출력 스트로크의 값을 더하고, 한 주기가 끝나는 시점에서 스트로크의 더한 값에 주기로 나누어 계산된 평균값으로 직류성분 X_{dc} 를 구한다. 다음 주기에서 고역필터 출력 스트로크에 이 직류성분을 뺌으로써 직류성분이 없으면서 발산하지 않는 상당히 정확한 스트로크를 구할 수 있다.

3.2 시뮬레이션결과

선형압축기의 LPMSM 정격 및 상수값은 다음 표와 같다.

표 1 LPMSM의 정격 및 상수
Table 1 Rating and parameters of LPMSM

정격전압	220 [V]
정격전류	0.9 [A]
정격주파수	60 [Hz]
고정자 저항 R_m	10.4 [Ω]
고정자 인덕턴스 L_m	0.42 [H]
전동기 상수 α	71

그림 5는 LPMSM의 역기전력에 직류성분이 있을 경우 고역필터를 사용한 스트로크 계산방법에 대한 시뮬레이션 결과이다. 역기전력에 포함된 직류값이 음의 값 즉 -2.5V일 경우 시뮬레이션 결과이며, 적분기 출력 값이 아래로 발산함을 볼 수 있다. 따라서 고역필터의 출력은 -5.3mm의 직류성분을 가지고 있으며, 이 직류성분은 제거하면 거의 정형과의 스트로크를 얻을 수 있다.

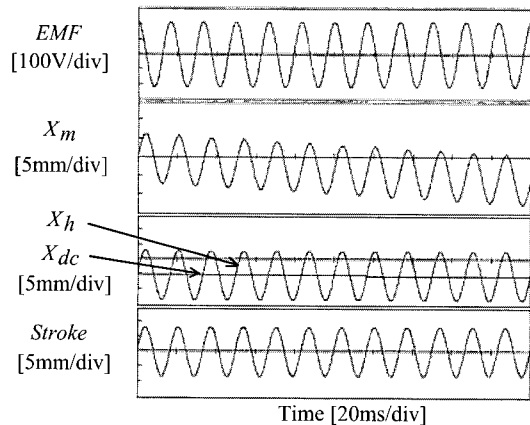


그림 5 스트로크 보상에 대한 시뮬레이션결과
Fig. 5 Simulation results for stroke compensation

4. 시스템구성 및 실험결과

4.1 시스템 구성

그림 6은 선형압축기 스트로크 제어를 위한 시스템 구성도이다. 선형 압축기의 피스톤의 스트로크제어를 위한 반도체 전력변환기로 교류전압의 크기만을 제어할 수 있는 트라이악(triac) 이나 교류전압 크기와 주파수까지 변화시킬 수 있는 PWM인버터를 사용하며, 본 논문에서는 단상 PWM인버터로 선형압축기 피스톤을 구동하며, 선형전동기내의 인덕턴스에 의한 유도성 부하를 보상하기 위하여 인버터와 선형전동기 사이에 커패시터를 설치하였다.

TI사의 클럭 주파수가 30MHz이며 16비트 DSP인 TMS320LF2407를 사용하고, 매 샘플링구간 40[μs]마다 선형압축기 피스톤의 스트로크를 계산 제어한다. 선형압축기 입력 전압과 전류를 차동증폭기와 Hall-CT를 사용하여 각각 측정후, PWM인버터 스위칭주파수 리플성분을 제거하기 위하여 저역필터를 사용한다. 필터링된 전압 및 전류 값을 DSP에 내장된 A/D컨버터로 읽어드려 피스톤의 스트로크를 계산한다. 직류링크 전류를 검출하여 과전류가 흐를 경우 인버터의 PWM 신호를 차단시킨다. 선형압축기 스트로크 제어 루프의 주요 변수를 오실로스코프로 관측하기 위하여 8채널 13비트 D/A컨버터를 사용하였다.

4.2 실험결과

그림 7은 인버터 주파수가 60Hz, 차단주파수가 1Hz인 고역필터를 사용하고 스트로크의 피크값을 8mm일 경우 입력전압 및 전류에 포함된 직류성분 때문에 스

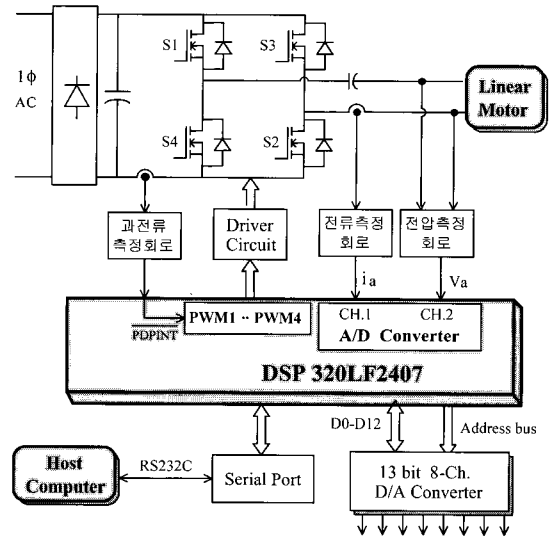


그림 6 시스템 구성
Fig. 6 System configuration

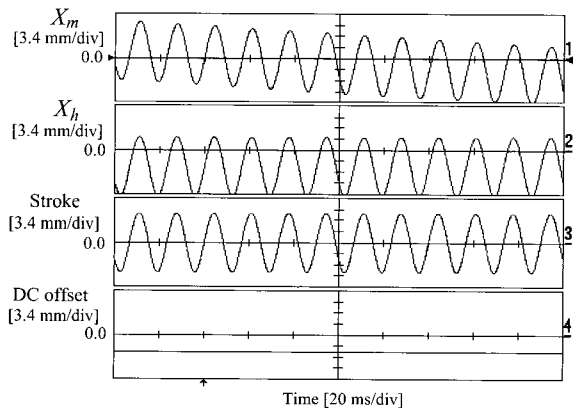


그림 7 스트로크 보상에 대한 실험결과
Fig. 7 Experimental results for stroke compensation

트로크 계산 시 발산되는 것을 방지하는 기법에 대한 실험을 수행한 결과이다. 첫 번째 파형은 LPMSM 입력전압 및 전류값으로 역기전력을 계산하고 이 역기전력을 적분한 스트로크 파형이며, 입력신호의 직류성분 때문에 발산됨을 알 수 있다. 두 번째는 고역필터 출력 파형이며, 정현파의 스트로크 값에 음의 값을 가지는 직류성분이 포함되어 있음을 알 수 있다.

스트로크 파형의 기울기를 측정하여 식 (3)을 이용하여 역기전력에 약 -2.3V의 직류값이 포함되어 있다. 세 번째 파형은 식 (11)과 같이 고역필터 출력 스트로크에 직류성분 X_{dc} 값을 뺀 스트로크 파형으로 직류성분이 없는 거의 정현파파형임을 알 수 있다. 네 번째

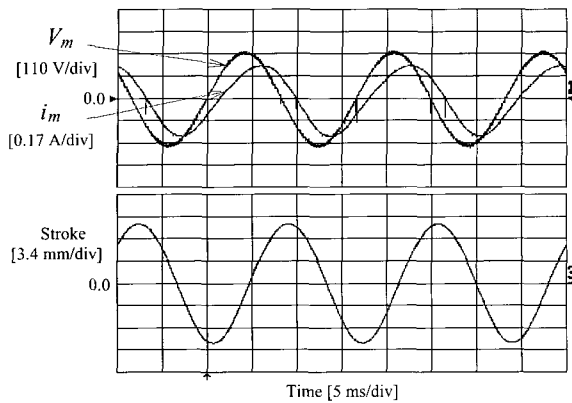
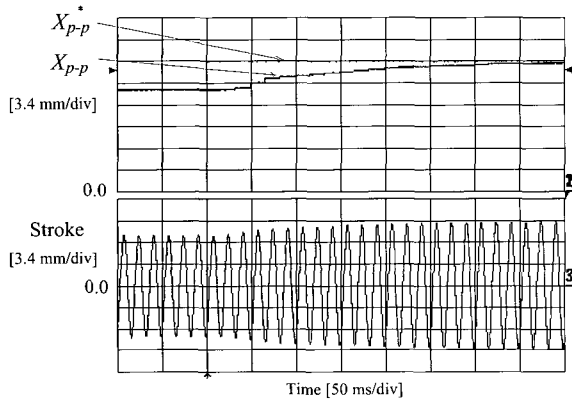
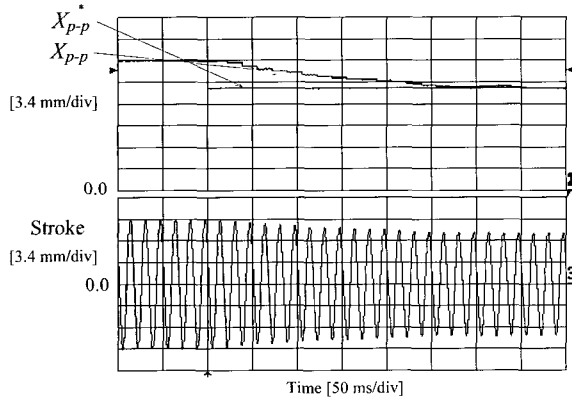


그림 8 전압, 전류 및 스트로크 파형
Fig. 8 Waveform of voltage, current and stroke



(a) 기준 스트로크 Peak-to-peak = 16[mm] → 20[mm]



(b) 기준 스트로크 Peak-to-peak = 20[mm] → 16[mm]

그림 9 스트로크 과도응답
Fig. 9 Transient responses for stroke

는 고역필터의 출력파형에서 약 -5.1mm의 직류성분 X_{dc} 만을 추출한 파형이다.

그림 8은 정상상태에서 저역필터로 필터링한 LPMSM의 입력전압 및 전류와 본 논문에서 제시한 기법으로 계산된 스트로크의 파형을 보인 것이다. 입력전압 및 전류에 약간의 직류성분이 있으나, 스트로크의 파형을 직류성분이 없는 거의 정현파임을 볼 수 있다.

그림 9는 스트로크의 과도응답 특성을 보인 것이다. 그림(a)는 기준 스트로크의 peak-to-peak를 16mm에서 20mm로 증가 시, 기준 스트로크의 peak-to-peak 및 실제 스트로크의 peak-to-peak와 함께 스트로크의 파형을 보인 것이고, 그림(b)는 기준 스트로크의 peak-to-peak를 20mm에서 16mm로 감소시 같은 파형을 보인 것이다. 실제 스트로크의 peak-to-peak가 기준값에 잘 추종하였으며, 또한 정상상태뿐만 아니라 과도상태에서도 스트로크가 직류성분 없는 정현파 파형으로 잘 유지됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 고역필터 및 직류 옵셋 보상 방식을 사용하여 시간지연을 최소화 하면서 입력신호의 직류성분에 의한 LPMSM에 의해 구동되는 선형압축기의 스트로크의 발산을 방지하는 기법을 제시하였다. 인버터 주파수에 대한 고역필터의 차단주파수가 감소될 경우에는 고역필터에서 출력된 스트로크의 값 및 위상의 변화가 감소되었으나, 스트로크에 포함된 직류 값은 증가됨을 알 수 있었다. 시뮬레이션 및 16비트 DSP를 사용한 실험결과 고역필터의 출력 스트로크 값에 직류성분을 계산 보상함으로써 정상상태뿐만 아니라 과도상태에서도 직류성분이 없는 정확한 스트로크를 얻을 수 있어서 본 논문에서 제시한 기법이 타당함을 확인하였다.

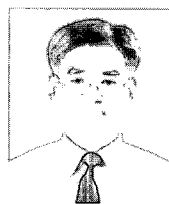
본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원 (과제번호:R2005-B-109)주관으로 수행된 과제임.

참 고 문 헌

[1] R.Z.Unger, "Linear Compressors For Clean and Specialty Class", International Compressor Engineering Conference, 1998, pp. 73-78.
[2] Van der Walt, N.R., and Unger, R., "The Simulation and Design of a High Efficiency, Lubricant Free, Linear Compressor for a Domestic Refrigerator",

Proceeding of the International Compressor Engineering Conference, 1992, pp. 1-9.

- [3] Xingyi Xu and D.W.Novotny, "Implementation of direct Stator Flux Orientation Control on a Versatile DSP Based System", IEEE Trans. On Ind. Appl., Vol. 27, No. 4, July/Aug., 1991, pp. 694-700.
- [4] L.E.B. da Silva, B.K.Bose, and J.O.P. Pinto, "Recurrent-neural-network-based implementation of a programmable cascaded low-pass filter used in stator flux synthesis of vector-controlled induction motor drive", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 46 No. 3, 1999, pp. 662-665.
- [5] H.Can, E.Akin, and H.B.Eratan, "A new integration algorithm for flux estimation using the voltage model", International Journal for Computation & Mathematics in Electrical & Electronic Engineering, Vol. 21, No. 2, 2002, pp. 252-264.
- [6] K.D. Hurst, T.G.Habetler, G. Griva, F. Profumo, and P.L. Jansen, "A Self-Tuning Closed-Loop Flux Observer for Sensorless Torque Control of Standard Induction machines", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 12, No. 5, 1997.
- [7] M.Sanada, S.Morimoto, and Y.Takeda, "Analysis for Sensorless Linear Compressor using Linear Pulse Motor", in Conf. Rec. of IAS, 1999, pp. 2298-2304.



이홍희(李弘熙)

1957년 10월 15일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1994~1995년 Texas A&M 방문교수. 현재 울산대 전기전자정보시스템공학부 교수.



김흥근(金興根)

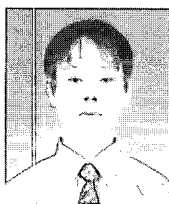
1956년 4월 24일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1990년~1991년 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 방문교수. 현재 경북대 전자전기공학부 교수.



노의철(魯義哲)

1960년 8월 2일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(공박). 1997년~1998년 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 방문교수. 1995년~현재 부경대 공대 전기제어계측공학부 부교수.

저 자 소 개



안정렬(安正烈)

1976년 11월 8일생. 2002년 원광대 전기전자공학부 졸업. 2004년 울산대 대학원 전기전자정보시스템공학부 졸업(석사). 2004년~현재 동 대학원 전기전자정보시스템공학부 박사과정.



전태원(全泰園)

1959년 1월 30일생. 1981년 부산대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1997~1997년 Tennessee 대학 방문교수. 현재 울산대 전기전자정보시스템공학부 교수.

보시스템공학부 교수.