

랜덤 PWM을 이용한 왕복동식 압축기의 전자기소음 저감

趙官烈, 梁淳培, 金學源

Electromagnetic Noise Reduction of Reciprocating Compressor using Random PWM

Kwan-Yuhl Cho, Soon-Bae Yang, Hak-Won Kim

요약

근래 에어컨, 냉장고 및 세탁기와 같은 가전 전기제품에도 전력소비의 저감, 저속운전에 의한 소음저감 및 인간에게 보다 안락한 기능을 제공하기 위하여 인버터 시스템의 적용이 증가되고 있다. 그러나 인버터 시스템은 PWM에 의해 불필요하게 발생하는 전자기소음의 저감과 소음의 질에 대한 감성소음의 개선이 요구된다. 본 논문에서는 브러시없는 직류전동기로 구동되는 왕복동식 압축기에 대하여 고정 PWM과 랜덤 PWM의 전자기소음 분석을 통하여 인버터 냉장고에 랜덤 PWM을 적용함으로써 전자기소음의 저감 및 감성소음의 개선효과가 있음을 실험을 통하여 검증하였다.

ABSTRACT

Recently, it is increased to apply the inverter system to household electrical appliances, especially in the air conditioners, refrigerators and washing machines, to reduce the power consumption and the acoustic noise by the low speed operation, and to make their functions more comfortable for human beings. For the inverter systems, however, it is highly required to reduce the undesirable electromagnetic noise and psychoacoustic noise generated by PWM for variable speed operation. In this paper, the electromagnetic noise for the deterministic PWM and random PWM for the reciprocating compressors driven by the brushless dc motor was analyzed. It was also verified through the experiment that the electromagnetic noise was reduced and the sound quality was improved by applying the random PWM.

Key Words : random PWM, inverter refrigerator, BLDC motor, electromagnetic noise, psychoacoustic noise.

1. 서론

산업용에 주로 적용되어 왔던 인버터 시스템은 최근 가정용 전기제품에도 적용이 증가되고 있다. 에너지 사용량이 큰 에어컨에 주로 적용되었던 인버터 시스템이 근래에는 국제적으로 에너지 규제가 강화되면서 냉장고, 세탁기에도 적용이 점차 활발해지고 있다. 에어컨, 냉장고, 세탁기 등의 가전제품에 인버터를 적용할 경우 기존의 정속 단상 유도기를 사용한 제품에 비해 전동기의 속도를 부하에 따라 적절하게 제어함으로써

시스템의 총합효율을 높이고 에너지 사용량을 저감할 수 있다. 또한 기존의 50Hz 또는 60Hz의 단일주파수로 운전 및 정지를 반복하는 시스템에서는 해결하기 어려운 에어컨의 급속 냉난방 및 쾌적성 향상, 냉장고의 급속냉동, 냉장 및 보관물의 신선도 향상등의 기본 기능을 인버터 시스템을 적용함으로써 도모할 수 있다. 그러나 인버터 시스템은 전동기의 가변속 운전을 위하여 추가되는 전력변환회로의 스위칭에 의해 발생하는 전자기소음이 문제가 될 수 있다. 또한 최근에는 소음자체의 크기는 물론 소음의 질(sound quality)에

대한 개선요구가 증대되고 있다. 이러한 전자기 소음 및 감성소음을 저감하기 위하여 랜덤 PWM에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있으며, 인버터의 랜덤 PWM 방법의 제안 및 해석,¹¹⁻³¹ 랜덤 PWM 적용시 전자기 소음 및 EMI등에 미치는 영향을 검토하였다.⁴⁻⁶ 그러나 전자기 소음 및 소리음질(sound quality)에 민감한 가전제품에의 적용 및 효과 등에 대한 연구는 미비한 상황이다. 본 논문에서는 거실 또는 부엌에 설치되어 일년내 운전되는 냉장고의 인버터 시스템에 대하여 랜덤 PWM 방식을 적용하고 실험을 통하여 전자기소음의 저감과 감성소음 개선의 효과를 검증하였다.

2. 랜덤 PWM 알고리즘

2.1 왕복동식 압축기의 소음

일반적인 가정용 냉장고의 주요 소음원은 응축기(condenser)와 증발기(evaporator)의 냉기순환용 팬(fan) 및 압축기(compressor)로 구성되며 압축기에 의한 소음의 영향도가 가장 크다. 냉장고에 주로 적용되는 왕복동식 압축기의 소음은 모터의 전자기소음과 모터의 회전시 냉매의 흡입 및 압축에 의한 기구부의 진동, 마찰에 의해 발생하는 기구적 소음으로 구분할 수 있다. 정속형 단상 유도전동기를 사용하는 왕복동식 압축기에서 발생하는 소음은 압축기 셸(shell)의 고유특성에 의해 2~5[kHz] 주파수 대역에 주로 존재한다. 그러나 인버터에 의해 가변속 운전되는 압축기의 경우 인버터의 전력변환시 PWM에 의한 PWM 주파수의 전자기 소음이 부가된다. 압축기의 고속운전시는 마찰이나 밸브(valve)에 의한 기구적인 소음이 커지므로 PWM 스위칭에 의한 전자기소음은 상대적으로 작게 된다. 그러나 압축기의 저속 운전시 기구적인 소음은 상대적으로 줄어들지만 PWM 주파수에 의한 전자기 소음은 줄어들지 않으므로 상대적으로 커지게 된다. 인버터 냉장고의 경우 냉장고 기동초기와 냉력이 크게 요구되는 과부하의 경우 이외에는 소비전력 및 소음저감을 위하여 운전시간의 대부분을 시스템 효율(EER, Energy Efficiency Ratio)이 높은 저속영역에서 운전하게 된다. 따라서 저속운전시 압축기의 전자기소음 저감 및 음질개선은 냉장고의 소음을 결정하는 중요한 요인(factor)이 된다.

2.2 랜덤 숫자의 발생

랜덤 PWM을 위한 랜덤숫자(random number)의

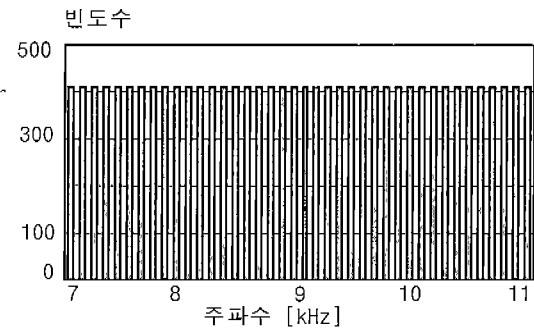


그림 1 랜덤숫자의 발생빈도
Fig. 1 Generation frequency of random number

발생은 주로 LCG(Linear Congruential Generator)를 이용한다. LCG는 계수의 차이에 의해 발생된 랜덤 숫자의 분포와 주기를 변화시킬 수 있으나 이전의 랜덤숫자를 사용하여 새로운 숫자를 만들어 내는 것이기 때문에 정확한 랜덤숫자보다는 의사 랜덤숫자(pseudo random number)를 발생하는 방법이다. LCG는 주로 $LCG(m, a, b, y_0)$ 로 표시되며 랜덤숫자의 발생은 식 (1)로 주어진다.

$$y(n+1) = [a * y(n) + b] \pmod{m} \quad (1)$$

식 (1)에서 (n+1)번째의 랜덤숫자 y(n+1)을 구하기 위해서는 (n)번째의 랜덤숫자인 y(n)을 이용하여 $a * y(n) + b$ 의 값을 계산한 후 m으로 나누어 그 나머지 값을 랜덤숫자로 사용하는 방법으로 a, b, m의 값에 따라 Liederreiter's LCG, ANSIC's LCG, MAPLE's LCG 등의 여러가지 방법이 있다. 가전용 인버터 제품에는 제조비 저감을 위하여 주로 8비트(bit) 마이컴을 사용하기 때문에 a, b, m 등의 계수의 최대값이 제한을 받게 된다. 따라서 본 논문에서는 Niederreiter's LCG 중에서 마이컴에서 가장 간단하게 Data를 처리할 수 있는 Liederreiter's LCG(2¹⁶, 47485, 0, 1)를 사용하였다. 발생된 랜덤숫자의 중요한 특성은 랜덤숫자의 분포와 반복주기이므로 적용된 LCG의 타당성을 알아보기 위해 랜덤숫자의 주기와 발생된 횟수를 검토하였다. 그림 1은 랜덤 PWM의 주파수를 7~11[kHz]로 할 경우 0.1[kHz]의 주파수 영역별 랜덤숫자의 발생빈도를 나타낸다. 발생된 랜덤숫자의 주기는 16,385로 랜덤 PWM의 평균 스위칭 주파수(switching frequency)가 10[kHz]일 경우 발생주기는 약 1.63초가 된다. 이는 1[Hz] 미만의 저주파로서 충분히 주기가 길다고 말할 수

있다. 또한 그림 1에 나타난 바와 같이 발생된 랜덤 숫자는 40개의 주파수로 분할하였을 때 각 주파수의 분할횟수는 409~410회로 나타나므로 발생된 랜덤숫자가 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다.

2.3 PWM 주파수 대역의 선정

고정(deterministic) PWM은 일정한 PWM 주파수로 인버터를 스위칭함에 따라 PWM 주파수에 해당하는 전자기소음이 발생한다. 반면 랜덤 PWM은 고정된 주파수의 전자기 소음원을 넓은 주파수대역으로 분산시킴으로써 전자기소음을 저감할 수 있다. 그러므로 랜덤 PWM의 주파수대역이 넓을수록 전류의 고조파 성분은 넓은 범위에 작은 값으로 분포하게 된다. 하지만 적용 대상의 공진특성에 따라 작은 값의 가진원이 높은 값의 소음을 나타낼 수 있고 하드웨어 및 알고리즘 구현상의 제한에 의해 랜덤 PWM의 주파수대역(최소 및 최대주파수)은 제한을 받는다. 그림 2는 본 논문에서 사용된 왕복동식 압축기의 일정 부하조건에서의 PWM 주파수에 대한 소음특성을 나타낸다. 그림 2에서 PWM 주파수가 7[kHz]이하일 경우 압축기의 고유 공진 주파수와외 공진에 의해 소음이 매우 불안정하게 나타남을 알 수 있다. 즉 7[kHz]이하의 PWM 스위칭은 PWM에 의해 발생하는 전자기소음 이외에 압축기의 공진특성에 의해 소음이 민감하게 발생하므로 랜덤 PWM 적용시 최소주파수는 7[kHz] 이상으로 선정하여야 한다. 고정 PWM의 경우 15kHz 이상으로 PWM 스위칭을 하면 가청소음의 저감이 가능하나 이 경우 PWM 스위칭손실의 증가에 의해 냉장고의 소비전력이 증대되고 EMI(Electro-Magnetic Interference) 및 누설전류(leakage current)의 증대에 의해 신뢰성에 영향을 줄 수 있다. 따라서 랜덤 PWM의 최대주파수를 결정할 때에는 인버터 시스템의 하드웨어, 위치검출 및 속도제어등의 알고리즘 계산시간, EMI 및 누설전류등의 신뢰성을 고려하여 결정해야 한다. 일반적으로 브러쉬없는 직류전동기의 회전자 위치를 검출하기 위하여 레졸버(resolver), 엔코더(absolute encoder), 홀센서(hall sensor)등을 사용하나 압축기에 적용하는 경우에는 취부구조 및 압축기 내부의 고온, 고압환경에 의해 위치검출소자를 사용하기가 어렵다. 통상 압축기 적용시는 브러쉬없는 직류전동기의 3상 권선중 비통전상(open phase)의 전압으로부터 회전자의 위치를 검출하므로 이를 위해서는 일정시간 이상의 PWM 도통(on)시간을 확보해야 한다. 최소의 PWM 도통시간은 무부하 최저속도 운전시 PWM 듀티비(duty ratio) 및

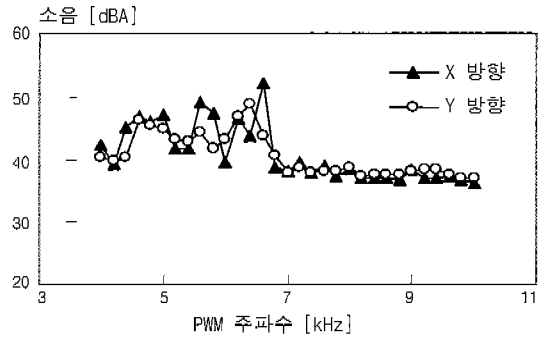


그림 2 PWM 주파수별 압축기의 소음특성
Fig. 2 Noise characteristics of compressor with PWM switching frequency.

회전자 위치감지시 감지회로, 위치검출 알고리즘에서 위치신호로 인지가 가능한 최소시간에 의해 결정되며 이 값에 의해 PWM의 최고주파수를 선정해야 한다. 본 논문에서는 사용된 브러쉬없는 직류전동기의 특성 및 위치감지 알고리즘, EMI 및 누설전류등을 고려하여 랜덤 PWM의 최소 주파수는 7[kHz], 최대주파수는 11[kHz]로 선정하였다.

2.4 랜덤 PWM 발생

가전제품에 사용되는 대부분의 8비트 마이컴의 경우 PWM 파형은 삼각파(triangular wave) 또는 톱니파(saw wave)와 기준전압을 비교하여 발생시킨다. 비교방식을 적용할 경우 삼각파는 일정주기의 클럭펄스(clock pulse)를 계수(counting)하다가 일정값이 되면 계수값을 제거(clear)함으로써 톱니파를 만들어 낸다. 이때 PWM의 주기를 바꾸기 위해서는 계수값의 기준값을 재설정해 주어야 하며 기준값의 재설정은 톱니파의 주기 및 톱니파의 크기를 동시에 바꾸는 효과가 있다. 8비트 마이컴을 사용하여 랜덤 PWM을 구현하기 위해서는 새로운 랜덤숫자 발생 및 발생된 랜덤숫자로부터 새로운 주파수와 주기, 듀티비 계산, 인터럽트 인가시간 및 대기시간을 합하여 110[μsec]의 시간이 소요되므로 9[kHz] 이상의 PWM은 불가능하다. 사용 가능한 PWM 주파수의 범위를 확장하기 위하여 본 논문에서는 랜덤 PWM 계산 루틴(routine)을 본 프로그램(main program) 사이에 두어 PWM 주파수의 주기와 도통시간(on time)을 계산함으로써 PWM 한 주기마다 PWM 주파수를 변경하는 것은 어렵지만 랜덤 PWM의 계산시간에 의해 사용 가능한 PWM 주파수가 제한받는 것을 감소시킴으로써 랜덤 PWM의 최대주파수를 11[kHz]이상으로 구현하였다.

3. 시스템의 구성

그림 3은 인버터 냉장고의 압축기 구동용 브러쉬없는 직류전동기의 속도제어 블럭도를 나타낸다. 전체 시스템은 교류 전원을 직류전원으로 변환하는 정류부(rectifier), DC 링크(link) 콘덴서, 인버터(inverter), 압축기를 구동하는 브러쉬없는 직류전동기, 브러쉬없는 직류전동기의 회전자 위치를 검출하기 위한 위치 검출부, 위치 검출부의 위치신호 변환 및 부하에 따라 모터의 속도를 제어하기 위한 게이트 신호(gate signal)를 발생하는 마이컴으로 구성된다. 브러쉬없는 직류전동기는 전압원 PWM 인버터로 구동되는 120도 통전방식으로 PWM은 톨니파와 기준신호를 비교하는 방식이다. 회전자의 위치검출 방법은 A, B, C 3상의 각각에 대해 전압이 인가되지 않는 전기각 60도의 구간(실제로는 상전류의 freewheeling 시간에 의해 60도보다 작음)에서 각상에 유기되는 역기전력(back emf)으로부터 정류(commutation) 시점을 전기각 60도 단위로 검출한다. 브러쉬없는 직류전동기의 초기기동은 회전자의 위치를 미리 정해진 위치에 고정시키는 위치 초기화 구간, 회전속도가 역기전력을 검출할 수 있는 속도까지 강제 기동하는 강제 기동구간, 일정속도에 도달한 이후 역기전력으로부터 검출된 위치 신호에 의해 브러쉬없는 직류전동기를 구동하는 위치검출 제어구간 등으로 이루어 진다. 마이컴은 도시바의 TMP88CK48을 사

표 1 브러쉬없는 직류전동기의 사양
Table 1 Specs. of brushless dc motor

전동기	3상 4극 BLDC 모터
정격 출력 (@2,100rpm)	86 [W]
정격 / 최대 전류	1.1 / 2.5 [A]
고정자 / 회전자 직경	35 / 40 [mm]
상저항	1.7 [Ω]
유기전압 상수	0.032 [V/rpm]
d축 인덕턴스 (Ld)	15 [mH]
q축 인덕턴스 (Lq)	43 [mH]

용하여 전동기의 속도제어 및 랜덤숫자의 발생과 랜덤 숫자에 따른 스위칭 주파수의 결정, PWM 듀티(duty) 등을 계산하여 인버터의 스위칭상태를 결정한다. 압축기 구동용 브러쉬없는 직류전동기의 주요사양(spec.)은 표 1과 같다. 페라이트(ferrite) 영구자석을 사용한 3상 4극 브러쉬없는 직류전동기로 냉장고 적용시는 소비전력 및 소음저감을 위하여 주로 2,100[rpm]으로 운전되고 부하가 많을 경우 또는 급속 냉각 및 급속 냉장이 필요할 경우는 주위환경에 따라 3,600[rpm] 또는 4,200[rpm]으로 운전한다.

4. 실험 및 고찰

그림 4는 Ashare 조건에서 냉장고용 압축기를 2,100[rpm]으로 운전할 때 7.8[kHz]의 고정 주파수로 PWM할 경우의 압축기의 소음 FFT(Fast Fourier Transform) 및 전류 FFT를 나타낸다. 그림 5는 동일한 조건에서 7~11[kHz]로 스위칭하는 랜덤 PWM의 압축기의 소음 및 전류 FFT를 나타낸다. 고정 PWM 시 압축기의 X-방향 및 Y-방향 소음은 각각 39.3[dBA], 36.0[dBA]이고 랜덤 PWM의 경우에는 각각 37.2[dBA], 35.1[dBA]로 X-방향의 소음은 약 2[dBA] 저감되었다. 고정 PWM의 경우 그림 4의 (a)에 나타난 바와 같이 PWM 주파수인 7.8[kHz] 대역의 스위칭 소음이 전체(total) 소음에 큰 영향을 미치고 있으며 이러한 7.8[kHz] 대역의 소음은 그림 4의 (b), (c)의 전류파형에 나타난 바와 같이 PWM 주파수대역의 피크전류(peak current)에 의해 발생한다. 피크전류의 발생 주파수(f_p)는 PWM 주파수(f_c), 모터의 전기적 운전주파수(f_e) 및 모터 상전류의 정류(commutation)에 의한 정류주파수(f_{com} , commutation frequency)의 변조(modulation)에 의해 발생하며 식 (2)와 같이 주어진다.

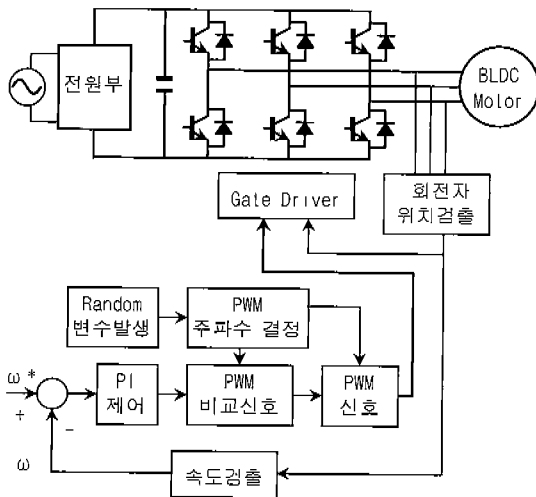


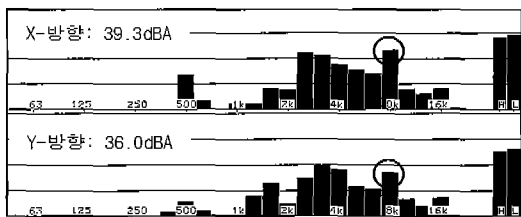
그림 3 속도제어 블럭도
Fig. 3 Block diagram of speed control

$$fb = (fc \pm mfcom) \pm nfe \quad (2)$$

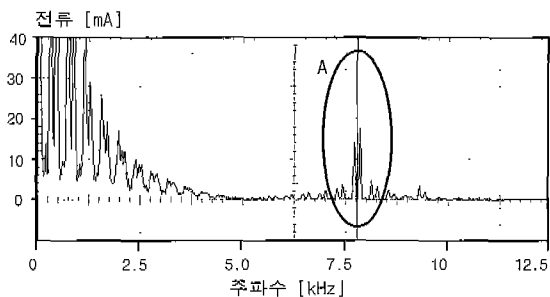
$$m = 0, 1, 2, \dots, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

식 (2)에서 $fe = (\frac{P}{2})fm$, P =극수(number of pole) 이고 상전류의 정류(commutation)는 A, B, C 3상의 조합에 의해 전기각으로 60도에 한번씩 발생하므로 $fcom = 6fe = 3Pfm$ 이다. 본 논문에 적용된 브러쉬 없는 직류전동기의 극수는 4극이므로 $fe = 2fm$, $fcom = 12fm$ 으로 주어진다. 피크전류는 $m=0, n=1$ 과 $m=1, n=1$ 에서 주로 나타나고 그 이외의 주파수에서는 감쇄되어 작게 나타난다. 랜덤 PWM의 경우 그림 5에 나타난 바와 같이 소음 및 전류 FFT에서 7.8[kHz] 대

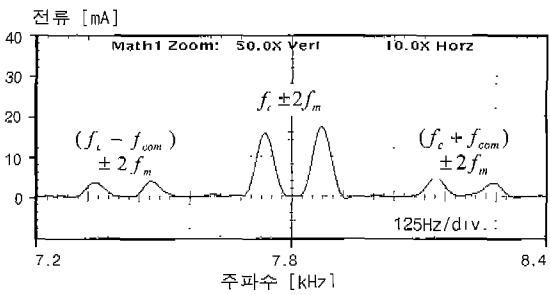
역의 피크전류가 711[kHz]의 전류로 분산되어 피크가 나타나지 않음에 따라 압축기의 소음에서도 7.8[kHz] 대역의 소음이 대폭 감소함으로써 전체 소음이 저감된다. 냉장기의 압축기에서 발생하는 소음은 전류 고조파(harmonics)에 의해 발생하는 모터의 진동이 가진원이 되고 모터 및 압축기의 셸(shell)을 통해 소음이 발생하는데 압축기의 소음은 특히 압축기 셸의 표면이 움직이는 속도와 관계가 많다. 그림 6은 본 논문에 사용된 압축기의 셸에 임펄스(impulse) 충격을 가했을 때 셸의 표면의 진동특성을 나타낸다. 그림 6에서 Y축은 단위 힘이 가해졌을 때의 셸 표면이 움직이는 속도를 나타낸다. 압축기의 셸은 모터의 가진원에 대해 필터(filter)로 작용하므로 그림 6에 나타난 바



(a)



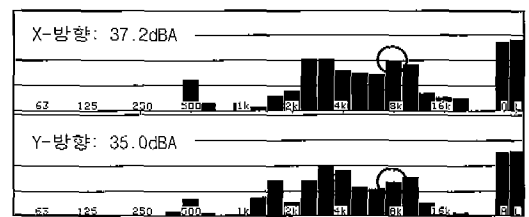
(b)



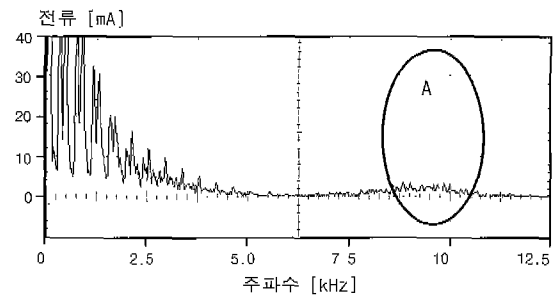
(c)

그림 4 모터속도=2,100[rpm]일때 고정 PWM의 특성
(a) 소음 FFT, (b) 상전류 FFT, (c) (b)의 "A" 영역 확대파형

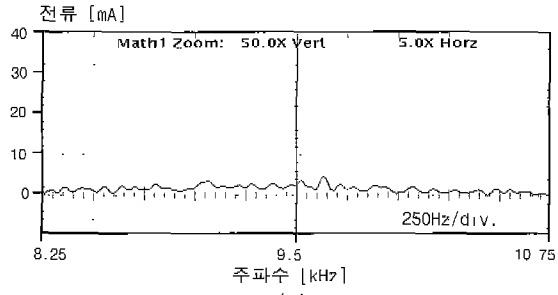
Fig. 4 (a) Noise FFT, (b) phase current FFT, (c) enlarged waveforms of region "A" in (b) of deterministic PWM when motor speed is 2,100[rpm]



(a)



(b)



(c)

그림 5 모터속도=2,100[rpm]일때 랜덤 PWM의 특성
(a) 소음 FFT, (b) 상전류 FFT, (c) (b)의 "A" 영역 확대파형

Fig. 5 (a) Noise FFT, (b) phase current FFT, (c) enlarged waveforms of region "A" in (b) of random PWM when motor speed is 2,100[rpm].

와 같이 2.5kHz 이하의 영역에서는 7.8[kHz] 대역보다 가진원의 진동을 크게 감쇄시키므로 2.5[kHz] 이하의 전류 고조파(harmonics)의 크기가 7.8[kHz]대역의 전류 고조파보다 큼에도 불구하고 소음은 작게 나타난다. 그림 7은 랜덤 PWM의 선간전압 및 상전류의 파형을 나타낸다.

표 2는 냉장고 주 운전영역, 즉 모터가 2,100[rpm]으로 운전할 경우의 고정 PWM 및 랜덤 PWM의 음질지수 평가결과를 나타낸다. 각각의 PWM 방식에 따른 정상운전시의 소음을 녹음하여 무작위로 선출된 평가 대상자를 대상으로 음질지수(SQ, sound quality index), 즉 인간이 느끼는 짜증의 정도를 평가하였다. 일반적으로 음질지수를 평가하는 구성요소는 음의 크기(loudness), 날카로움(sharpness), 거칠기(roughness) 및 변동강도(fluctuation strength) 등으로 구분할 수 있으나 본 논문에 사용된 인버터 냉장고의 경우 PWM 방식에 따른 음의 거칠기(roughness)의 변화는 무시할 만큼 작게 나타났다. 그러므로 음질지수는 식 (3)과 같이 음의 크기, 날카로움, 변동강도의 함수로 표시할 수 있다.

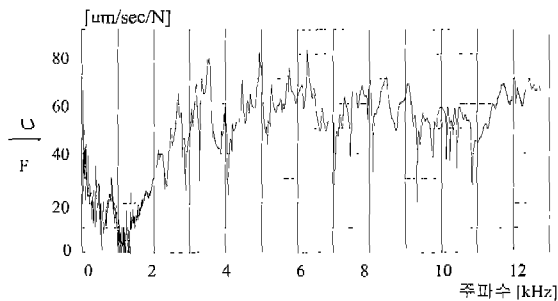


그림 6 압축기의 임펄스 응답특성
Fig. 6 Impulse response of the compressor

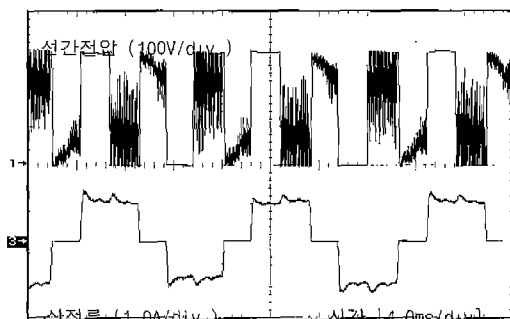


그림 7 모터속도=2,100[rpm]일때 랜덤 PWM의 전압 및 전류파형
Fig. 7 Voltage and current waveforms of random PWM when the motor speed is 2,100[rpm]

표 2 음질지수 비교

Table 2 Comparison of sound quality index

	크기 (SL, sone)	날카로움 (SS, acum)	변동강도 (SF, vacil)	음질지수 (SQ, UA)
고정 PWM	1.305	1.463	0.612	32.93
랜덤 PWM	0.999	1.144	0.712	25.54

$$SQ = -10 + 17 * SL + 10 * SS + 10 * SF \quad (3)$$

식 (3)에서 SQ는 음질지수(Sound Quality index)로 단위는 UA(Unbiased Annoyance)로 나타낸다. SL은 음의 크기(loudness)로 음압레벨(sound pressure level), 음의 주파수 및 주파수 대역폭에 의해 결정되며 1 [sone]은 40[dB], 1[kHz] 순음의 크기를 나타낸다. SS는 음의 날카로움으로 음의 주파수분포 특성을 나타내며 음의 크기와 주파수에 의해 결정되고 1 [acum]은 60[dB], 1[kHz] 순음의 거칠기를 나타낸다. SF는 음의 변동강도(fluctuation strength)로 음압의 시간분포 특성을 나타내며 음압레벨, 음의 주파수, 변조주파수 등에 의해 결정된다. 1 [vacil]은 60[dB], 1[kHz] 순음이 4[Hz]로 100% 진폭변조될때의 음의 변동강도를 나타낸다. 표 2에 나타난 바와 같이 랜덤 PWM의 음질지수는 25.5[UA]로 고정 PWM의 32.9[UA]에 비해 작게 나타났다. 그림 8과 그림 9는 각각 고정 PWM 및 랜덤 PWM의 운전시간에 따른 주파수별 음의 크기, 음의 날카로움, 음의 변동강도를 나타낸다. 고정 PWM의 경우 7.8[kHz] PWM 스위칭에 의해 8[kHz] 대역에서의 음의 크기, 음의 날카로움 정도가 크게 나타난 반면 랜덤 PWM의 경우에는 7~11[kHz] 대역의 넓은 주파수 대역으로 분산됨으로써 8[kHz] 대역의 소음과 전체소음의 크기가 저감되었다. 그림 8와 9에서 음의 크기, 변동강도가 시간에 따라 다소 변동하는 현상이 발생하는데 이러한 소음변동의 주요원인은 냉동 사이클(cycle)과 모터의 제어 알고리즘에 의한 것으로 구분할 수 있다. 냉동 사이클의 경우 냉장고의 압축기, 증발기(evaporator) 및 응축기(condenser)등을 순환하며 열교환을 담당하는 냉매가 정상운전중에도 압력의 변화에 의해 불균일하게 순환되어 발생하는 소음변동과 윤활 작용을 하는 오일(oil)의 불균일 순환에 의한 소음변동 등이 주요변동원이다. 모터 측면에서는 회전자 위치검출 알고리즘(sensorless)에서의 위치검출 오차에 의한 정류각(commutation angle)의 변동 및 토크리플(torque ripple)에 의한 속도변동에 따른 소음변동이 주요 변동

요인이다. 이와 같이 시간에 따른 냉동 사이클 및 모터의 속도변동에 따른 소음변화가 음질지수의 시간에 따른 변동원인이 된다. 이와 같이 시간에 따른 음질요소들의 변화를 보정하기 위하여 본 논문에서는 음질지수를 구할때 0.002초 단위로 주파수별 음질지수를 계산하여 일정시간동안의 평균값으로 SL, SS, SF를 나타내므로 시간에 따른 소음변동이 음질지수값에 미치는 영향은 무시할 수 있다.

5. 결론

가정용 냉장고에 사용되는 왕복동식 압축기를 구동

하는 인버터 시스템에 랜덤 PWM을 적용함으로써 기존의 고정 PWM에 비해 전자기 소음을 저감하였다. 또한 냉장고 운전상태에서의 감성소음의 음질지수를 개선함으로써 귀에 거슬리는 소음의 정도를 작게 하였다. 랜덤 PWM을 적용함으로써 압축기의 구성부품별 편차에 의한 압축기의 공진특성 변화에 의해 발생할 수 있는 전자기소음 및 감성소음을 저감할 수 있으므로 인버터 구동용 압축기의 시료간 소음의 편차를 줄일 수 있다. 또한 향후 냉장고의 지속적인 소비전력 저감을 위해서 압축기의 주 운전속도는 지금보다 더 저속영역으로 확대될 것으로 예상되므로 저속영역에서 압축기의 소음특성을 개선하는데 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

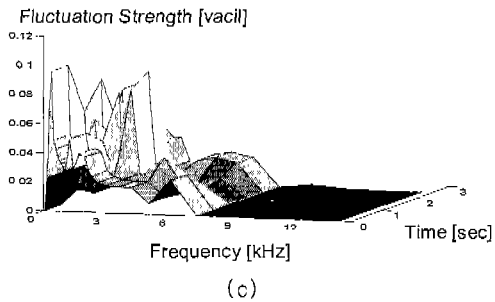
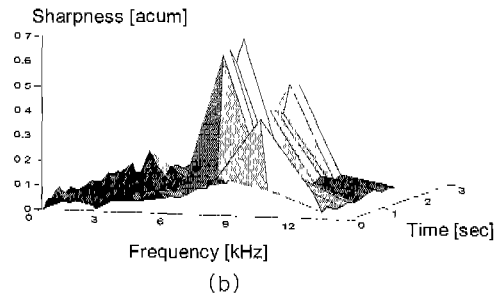
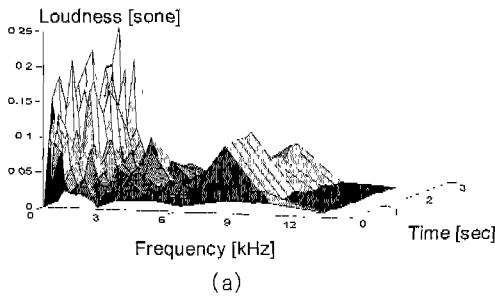


그림 8 시간 및 주파수에 따른 고정 PWM의 음질특성, (a) 크기, (b) 날카로움, (c) 변동강도

Fig. 8 (a) Loudness, (b) sharpness, (c) fluctuation strength of noise for deterministic PWM according to the time and frequency.

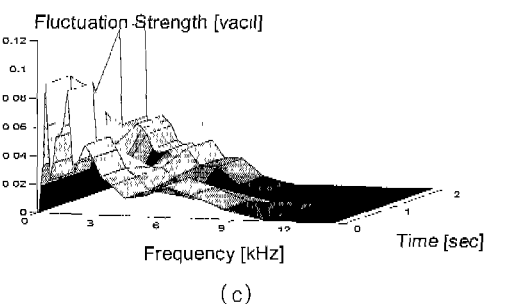
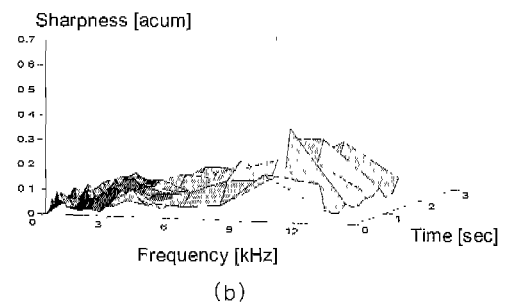
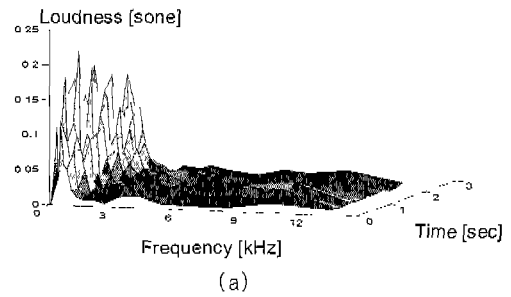


그림 9 시간 및 주파수에 따른 랜덤 PWM의 음질특성, (a) 크기, (b) 날카로움, (c) 변동강도

Fig. 9 (a) Loudness, (b) sharpness, (c) fluctuation strength of noise for random PWM according to the time and frequency.

참 고 문 헌

- [1] Y. Shrivastava, S. Y. Hui, and S. Sathiakumar, "Noise analysis of DC-AC random PWM schemes," IEEE Trans. Power Electronics, vol. PE-14, no. 4, pp. 761-770, July 1999.
- [2] M. M. Bech, J. K. Pedersen, F. Blaabjerg, and A. M. Trzynadlowski, "A methodology for true comparison of analytical and measured frequency domain spectra in random PWM converters," IEEE Trans. Power Electronics, vol. PE-14, no. 3, pp. 578-586, May 1999.
- [3] C. B. Jacobina, A. Lima, E. Silva, and A. Trzynadlowski, "Current control for induction motor drives using random PWM," IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. IE-45, no. 5, pp. 704-712, Oct. 1998.
- [4] S. Y. Hui, I. Oppermann, and S. Sathiakumar, "Microprocessor-based random PWM schemes for DC-AC power conversion," IEEE Trans. Power Electronics, vol. PE-12, no. 2, pp. 253-260, Mar. 1997.
- [5] J. Doval, A. Nogueiras, L. Eguizabal, A. Lago, and C. M. Penalver, "Improving pulse width modulation in order to get a silent A.C. motor," in Conf. Rec. ISIE'97, pp. 274-278, 1997.
- [6] B. Kaku, I. Miyashita, and S. Sone, "Novel random PWM method based on normally distributed random data," European Power Elect. and Apparatus, in Conf. Rec. EPE'97, vol. 1, pp. 152-157, 1997.

< 저 자 소 개 >



조관열(趙官烈)

1963년 2월 20일생. 1986년 서울대 전기 공학과 졸업(학사). 1988년 한국과학 기술 원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 졸업(공학박). 1993년~현재 LG전자(주) 디지털 어플라이언스 연구소 책임연구원. 당 학회 편집위원.



양순배(梁淳培)

1966년 8월 8일생. 1989년 서울대 전기공 학과 졸업(학사). 1991년 동 대학원 졸업 (석사). 1991년~현재 LG전자(주) 디지털 어플라이언스 연구소 선임연구원.



김학원(金學源)

1968년 3월 30일생. 1989년 고려대 전기 공학과 졸업(학사). 1991년 한국과학 기술 원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년~현재 LG전자(주) 디지털 어플라이언 스 연구소 선임연구원.