전력전자학술대회 논문집 1999. 7.21-24

Random PWM을 이용한 Compressor의 스위칭 소음 저감

양순배* 김학원 조관열
LG 전자 홈어플라이언스 연구소

Switching Noise Reduction for Compressor using Random PWM

Soon-Bae Yang , Hag-Wone Kim , Kwan-Yeol Cho
Home Appliance Laboratory, LG Electronics Inc.

Abstract

Recently, it is increased to adopt inverter system to household electrical appliances, especially in ai conditioner and refrigerator. Inverter system is adopted for improving the efficiency. But Inverter system makes acoustic noise caused by switching frequency. In household electrical appliace, it is important to reduce acoustic noise. And in some cases it is possible to magnify the acoustic noise caused by switching, by system which may have different transfer characteristic.

In this papaer, random PWM method was adopted in inverter refrigerator using 8 bit microprocesso We found useful PWM frequency and adoptation method.

1. 서론

최근 가정용 전기 제품에 있어서 인버터를 채용한 제품들이 증가하고 있다. 이들 제품은 주로 에어컨, 냉장고등이며 최근에는 국내의 업체에서 생산되어 판매되고 있다. 이러한 인버터의 제품의 주요 장점은 회전수 제어를 함으로서 제품의 총합 효율을 증가 시키고 또한 기존의 60Hz의 단일 주파수로 구동시키는 On/Off 방식으로는 해결할 수 없었던 쾌적함(에어컨의 경우), 저소음화 등의 효과를 얻을 수 있다. 이중에서도 특히 냉장고 시스템은 소비전력의 저감과 저소음화가 중요한 제품이다. 그리고 그 중에서도 소비전력의 저감은 실생활에서 주의 깊게 보지 않으면 알기 힘들지만 저소음의 문제는 제품을 작동하는 즉시 알게 되는 인지되기 쉬운 특성이라 할 수 있다. 본 논문은 냉장고에 적용되는 인버터에 있어서 Random PWM을 적용하여 그 효과를 알아보고자 한다.

2-1. 냉장고용 왕복동식 Compressor의 소음

냉장고용 Compressor의 소음원은 Motor와 Motor의 회전에 의해 움직이는 기구들이다. Motor가 회전하게 되면 냉매를 흡입/압축하면서 발생하는 소음, 기구의 진동과 마찰이 발생하여 소음이 발생한다. 발생한 소음들은 각각의 경로를 통해 Compressor Shel의 바깥까지 전달이 되어 비로소 우리가 듣는 소음이 된다. 이러한 Compressor의 소음원을 주파수 대역에서 보면 주로 2~5[kHz] 대역에 존재한다. 그리고 인버터에 의해 구동 되면 인버터의 스위칭 주파수에서 소음이 존재하게 된다. 이러한 주파수 대역별의 소음의 대소는 Compressor를 구동하는 주파수에 의해서 그 대소가 달라진다. Compressor 고속으로 회전하게 되면 회전에 의한 진동이 저속에 비해서 커지게 된다. 따라서 기계적인 마찰이나 밸브에 의한 소음이 커지고 이에 비해 PWM에 의한 소음은 상대적으로 작은 값을 갖게 된다. 그러나 Compressor가 저속으로 회전하는 경우에는 기계적인 소음들은 줄어들게 되지만 PWM 주파수에 의한 소음은 전류의 크기가 크게 줄어들지 않아 상대적으로 커지게 된다. 이러한 Compressor가 냉장고에 적용이 되면 냉장고 운전 초기와 냉력이 많이 필요한 과부하의 경우를 제외하고는 대부분이 저속에서 회전하게 된다. 따라서 저속 회전에서의 저소음화는 냉장고의 소음의 느낌을 결정하는 중요한 Factor가 된다.

2-2. Random Number의 발생

Random PWM 을 위한 Random Number의 발생은 Linear Congruential Generator(LCG) 를 이용하였다. LCG는 기존의 Computer 들에서 사용하던 방법들로서 계수의 차이에 의해 발생된 Random 수자의 분포나 주기등이 달라진다. LCG는 이전의 Random Number를 사용하여 새로운 수자를 만들어 내는 것이기 때문에 정확한 Random Number를 발생하는 것이라기보다는 의사 Random Number를 발생하는 방법이다. LCG는 주로 LCG(m,a,b,y0)로 표시되며 계산은 다음과 같은 식에 의해 구한다.

$$Y(n+1) = a * Y(n) + b \pmod m$$

가전용 제품에는 8 Bit Micom을 사용하기 때문에 a,b,m등의 계수의 값이 커서는 곤란하다. 따라서 본 논문에서는 Niederreiter's LCG 중에서 2^16 이내의 값을 사용하는 Random Number Generation 방법을 사용하였다. Niederreiter's LCG중 사용한 LCG는 LCG(2^16,47485,0,1)의 계수를 가진다. Random Number의 중요한 특성은 Random Number의 분포와 반복 주기 이다. 선택한 LCG가 적절한지 알아보기 위해 Random Number의 주기와 발생된 회수를 검토해 보았다.

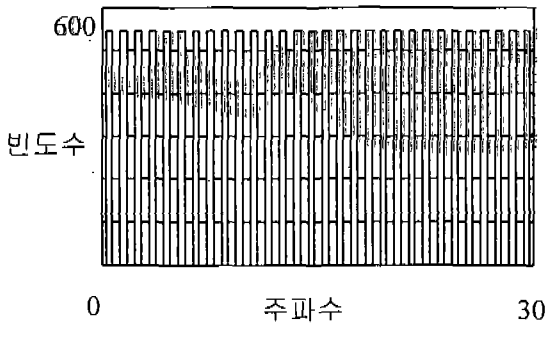


그림 1. Random Number의 빈도

발생된 Random Number의 주기는 16385였다. Random PWM의 평균 Switching Frequency가 10[kHz]라면 주기는 약 1.63초가 된다. 이는 1[Hz] 미만의 저주파로서 충분히 주기가 길다고 말할 수 있다. 또한 그림 1을 보면 약 30개의 주파수로 분할하였을 때 각 주파수의 분할 회수가 거의 같음을 알 수 있다. 이는 Random Number의 분포가 고르게 잘 되어 있다는 것을 의미한다.

2-3. PWM 주파수 대역의 선정

Random PWM은 일정 PWM 주파수로 구동할 경우 하나의 PWM 주파수에 집중되는 소음원을 분산시킴으로써 소음을 저감하는 역할을 한다. 따라서 Random PWM이 가지는 주파수 범위가 넓을 수록 전류의 고조파 성분은 넓은 범위에 작은 값으로 분포하게 된다. 하지만 적용 대상의 특성에 따라 아주 작은 값의 가진원이 아주 높은 값의 소음을 나타낼 수도 있다. 이는 적용 대상의 주파수 대역별 소음 특성이 전달 함수로 작용하게 되는데 가진원 과 적용대상이 공진이 일어나는 현상이 발생하면 소음은 증폭이 되어 나타나기 때문이다.
냉장고용 Compressor 역시 소음의 전달 매체로서 주파수에 따라 다른 특성을 보인다. 따라서 Compressor의 주파수에 다른 소음을 측정하여 소음에 문제가 없는 범위에서 사용하여야 한다.

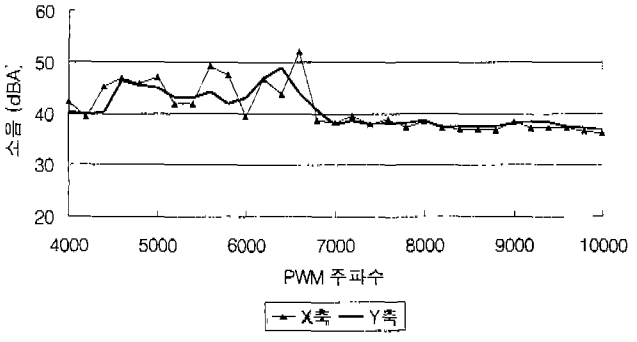


그림 2. 스위칭 주차수 vs 소음의 크기

그림 2는 Compressor를 일정 부하 조건에서 PWM 주파수만을 바꾸었을 경우의 소음을 나타내는 그림이다. 그림 2를 보면 7[kHz]이하의 일정 PWM 주파수를 사용하는 경우는 소음이 매우 불안정함을 알 수 있다. 이는 7[kHz]이하는 소음원의 크기에 상관이 없이 민감한 영역이라는 이야기이며, Random PWM에 적용할 PWM 주파수의 범위는 7[kHz] 이상이 되어야 한다.

사용 가능한 PWM 주파수의 범위를 결정하는데 주의를 기울여야 하는 또 하나의 인자는 개발된 인버터가 Compressor를 Sensorless로 구동하기 때문에 회전자의 위치를 검출하는데 충분한 PWM On 시간을 확보해야 하는 것이다. 이의 결정을 위해서는 무부하 최저 RPM에서의 Duty 비를 측정하고 최고 PWM 주파수에서 PWM On 시간이 Sensorless Logic에서 위치신호로 인지 가능한 시간이 되도록 PWM 최고 주파수를 구하여야 한다.

2-4. Random PWM 발생

대부분의 8 Bit Micom에서는 PWM 파형을 만들어내는데 삼각파 또는 톱니파와 비교하는 방식을 사용한다. 비교 방식을 채택하는 경우 삼각파는 일정주기의 Clock 펄스를 Count 다가 일정값이 되면 Count 값을 Clear 함으로서 톱니파를 만들어 낸다. 이러한 방법에서는 PWM의 주기를 바꾸기 위해서는 Count 값의 목표값을 재설정 해 주어야 한다. 목표값의 재설정은 톱니파의 주기의 변화만이 아니라 톱니파의 크기 역시 바꾸는 효과가 있다. 따라서 Micom에서 Random PWM을 적용하기 위해서는 새로운 주파수가 결정되면 새로운 Duty값이 계산되어야 한다. 이를 Micom에서 계산하였더니 Random Number를 발생하고, Random Number로부터 새로운 주파수와 주기 그리고 Duty를 계산하는데 약 103[USEC] 정도 시간이 소요되었다. 따라서 PWM 한 주기마다 발생하는 Interrupt에서 계산을 한다면 인터럽트의 인가 시간, 대기 시간 등을 합하면 9[kHz] 이상의 PWM은 불가능하다.

본 논문에서는 사용 가능한 PWM 주파수의 범위를 확장하기 위해 Random PWM 계산Routine을 Main Program 사이에 두어 PWM주파수의 주기와 Duty On Time을 계산하도록 하였다. 이렇게 구현할 경우 PWM 한 주기마다 PWM 주파수를 변경하는 것은 어려울 수 있으나 Random PWM의 계산 시간에 의해 사용 가능한 PWM 주파수가 제한 받는 것을 감소시킬 수 있다.

3. System의 구성

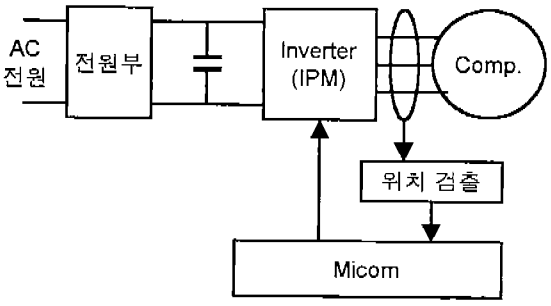
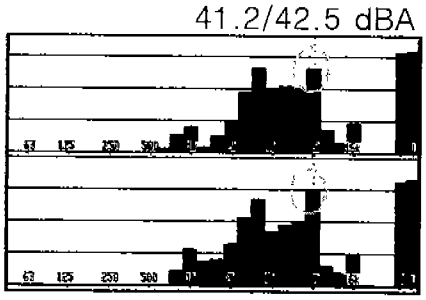


그림 3. 시스템의 블록도

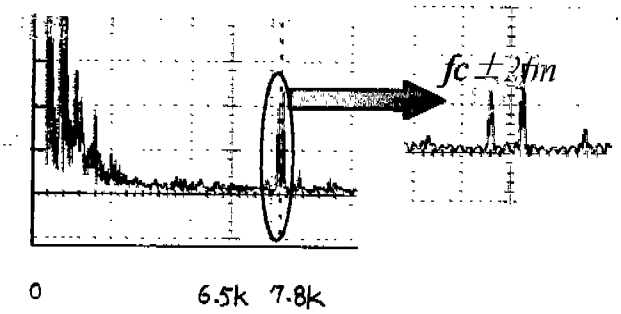
시스템의 구성은 그림 1에 보이고 있다. 시스템은 교류 입력을 정류하는 정류부, DC 콘덴서, 인버터, Compressor의 Compressor를 움직이는 BLDC 모터의 회전자의 위치를 검출하기 위한 위치 검출부, 위치 검출부의 위치 신호를 입력으로 받아 Motor를 구동하는 Gate 신호를 출력하는 Micom으로 구성이 되어 있다. 사용된 Micom은 CPU로 8Bit Core를 채택하고, Motor구동에 사용되는 위치 검출회로와 PWM 비교 회로 등을 Hardware로 구성하여 Micom의 기능으로 사용할 수 있도록 한 Toshiba의 88CK48을 이용하였다. Inverter의 대부분의 제어는 Micom에서 이루어지도록 하였다. 본 연구에 사용된 Compressor는 Recipro Type Compressor로서 모터는 BLDC 모터를 채택하였다. 스위칭 주파수의 범위는 8~11[kHz]로 하였으며 이는 Compressor의 주파수별 소음특성을 측정하여 무리가 없는 범위로 정하였다.

4. 실험 및 고찰

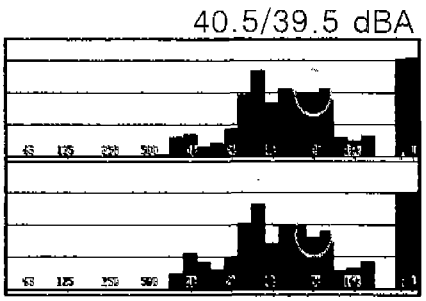
그림 4의 a와 b에 냉장고용 Compressor 부하 Test 조건인 Ashrae 조건에서 35[Hz]로 Compressor가 회전하고 7.8[kHz]의 고정 주파수로 PWM할 경우의 전류와 소음의 FFT Data가 나타나 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 스위칭 주파수 부근에서 전류의 Peak가 존재하고 이로 인한 소음의 Peak가 존재함을 볼 수 있다. 그리고 같은 속도인 35[Hz]로 회전할 때 8~11 [kHz]의 주파수 대역에서 Random PWM을 적용한 실험 파형이 그림 4의 c와 d에 그려져 있으며 그림에서 볼 수 있듯이 8~11[kHz] 대역에 전류의 Peak가 존재하지 않고 또한 PWM 주파수 대역의 소음의 크기가 줄었음을 알 수 있다.



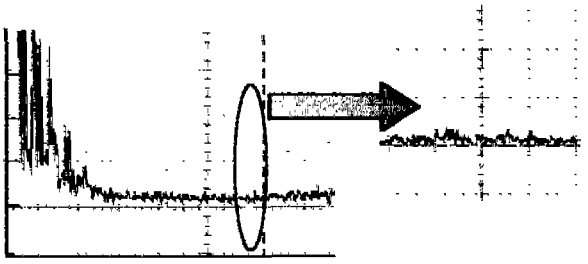
a 7.8[kHz] PWM시의 소음의 FFT



b 7.8[kHz] PWM시의 전류의 FFT



c 8~11[kHz] RPWM시의 소음의 FFT



d. 8~11[kHz] RPWM 시의 전류 FFT

그림 4. 35[Hz]회전시의 소음과 전류의 FFT 파형

그림 5와 6에는 Compressor의 회전수가 60[Hz]이고 Test조건은 Ashrae 조건인 경우의 7.8[kHz] 일정 주파수와 Random PWM인 경우의 소음의 FFT 파형이다. 이 경우에 있어서는 2~4 [kHz] 대역의 소음이 큰 비중을 차지하고 있음을 볼 수 있다. 이 부분의 소음은 기계적인 소음으로서 Motor가 회전하는 속도에 의한 소음이다. 이러한 상태의 운전에서도 스위칭 소음이 저속 회전하는 경우와 마찬가지로 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

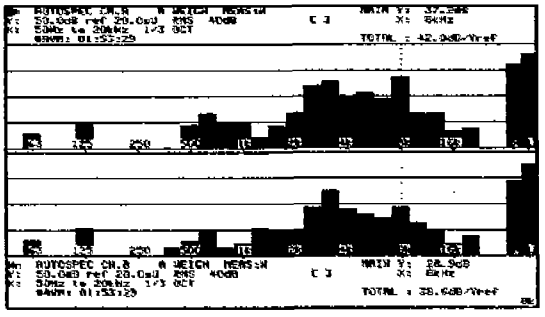


그림 5. 60[Hz] 7.8[kHz] PWM 시의 소음 FFT

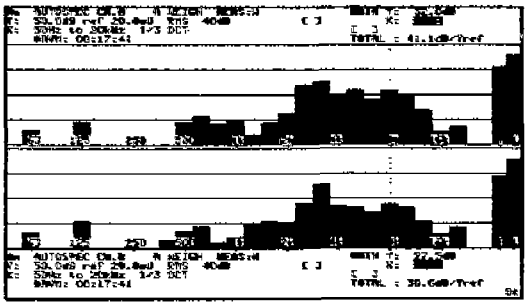


그림 6. 60[Hz] RPWM 시의 소음 FFT

5. 결론

가정용 냉장고에 사용되는 왕복동식 Compressor를 구동하는 인버터에 Random PWM을 적용하여 보았다. 극히 제한된 주파수 범위의 PWM 주파수 가변 구간을 설정하였지만, 이러한 범위에서도 PWM스위칭에 의한 소음을 분산시킬 수 있음을 확인하였다. 특히 저속으로 회전하는 스위칭에 의한 소음의 영향이 커짐을 볼 수 있었다. 따라서 Compressor의 주 소음 요인이 기계적인 소음이지만 스위칭 소음을 저감함으로서 Compressor의 소음을 저감할 수 있음을 확인하였다. 앞으로는 저속으로의 운전 범위를 확대하리라고 예상되므로, 추후 저속 운전이 주운전 범위가 될 Compressor의 주 운전 범위의 소음 특성을 개선하는데 Random PWM은 더 많은 도움이 되리라고 생각한다. 또한 Random PWM을 적용함으로써 Compressor의 편차에 의해 발생할 수 있는 스위칭 주파수의 소음을 저감함으로서, 인버터 제어용 Compressor의 제품간의 소음의 편차가 줄어들었다.

참고 문헌

[1] 임영철 나석환, "Random Position PWM을 이용한 유도전동기의 가청 스위칭 소음 저감", 전력전자학회 논문지, 제3권 4호, PP. 287-297, 1998..12

[2] Entacher. K, "A collection of selected pseudorandom number generators with linear structure", ACPC 97-1, 1997