

마이크로프로세서를 이용한 PWM 인버터에 관한 연구  
A Study on Microprocessor Based PWM Inverter

최 수 현  
한 수 변\*

한국동력자원연구소  
전기에너지연구실

1. 서론

유도전동기의 가변속을 위한 VVVF 제어방법으로서의 PWM 인버터는 전기에너지절약을 목적으로 응용이 점차 확대되고 있으며 또한 고성능을 추구하고 있다. 현재 주로 사용되는 PWM 인버터는 전류(Commutation) 특성에 영향을 미치지 않고, 낮은 차수의 고조파(Harmonics)를 제거해 줄 수 있는 장점은 있지만 상대적으로 복잡한 제어방법에 의존하게 된다.

최근 반도체기술의 발전으로 마이크로프로세서 등의 LSI, 높은 용량의 전력용 트랜지스터, 스위칭 속도가 빠른 thyristor 등이 개발되어 PWM 이라는 특성을 보다 잘 이용할 수 있게 해주고 있으며 특히 마이크로프로세서를 이용한 제어에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.<sup>1)</sup> 이는 hardware 의 간단함 및 신뢰도 향상등의 장점이 있지만 근본 목적은 성능향상에 있으며 Universal hardware 로서의 역할을 수행하는데 있다. 즉 기본 구조의 큰 변화없이 software로써 시스템의 요구사항을 만족시켜 줄 수 있기 때문이다.

가장 보편적으로 사용되는 가변속 제어는 아직까지는  $V/f$  비를 일정하게 제어함으로써 속도에 관계없이 최대 토크(torque)를 일정하게 유지시켜주는 방법이 일반적이다.<sup>2)</sup> 그러나 DC Motor 의 제어 특성이 요구되는 응용분야, Vector 제어방법등을 사용할 경우, 또는 송풍기나 펌프와 같이 2승적감 토크 특성을 갖는 기기들이 경부하에 운전될 때는 최적효율에서의 운전이 불가능하게 되는 문제점이 있다.

따라서 근본적으로 전압과 주파수가 독립적인 입

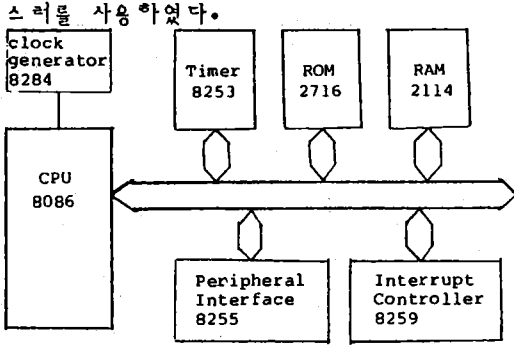
력으로 주어져 임의의 로오크 속도특성을 실현시킬 수 있는 시스템이 요구되나 이 제어방법은 기존 hardware 로는 어려움이 매우 크고 마이크로프로세서로서는 가능성이 매우 높다. 물론 마이크로프로세서를 이용한 경우에도 software 의 개발없이 단순히 Look-Up-Table(LUT)에 의존한다면 그 응용 가능성이 거의 제한되게 된다.

본 논문에서는 마이크로프로세서를 이용한 고성능 인버터 개발 및 전동설비 에너지절약을 위한 인버터 응용에 관한 연구의 일부로서 개발중인 PWM 인버터의 구성 및 on-line 계산에 의한 펄스 발생방법에 대하여 기술한다.

2. 시스템 구성 및 동작

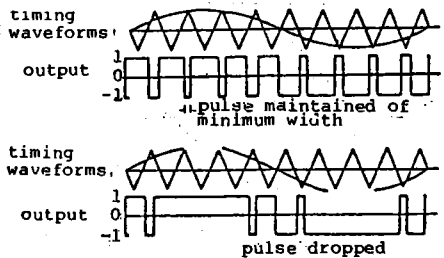
1) Hardware: 제어부는 (그림 1)에 보여진 바와 같이 5MHz CPU 8086 을 중심으로 Timer 8253, Interrupt Controller 8259, Peripheral Interface 8255, ROM 2716 및 RAM 2114로 구성된다.

모든 제어기능은 software 로 처리되며 multiprocessor system 으로 자유롭게 확장될 수 있도록 하였다. 이는 feedback loop 가 여러개인 복잡한 제어시스템을 이루기 위해서는 1개의 CPU로는 불가능하기 때문이다. 즉, 최소한 1개는 제어시스템외 마지막 loop 의 error signal 을 입력으로 받아서 PWM 파형을 출력시키고 power-circuit 을 제어하는 역할을 해야하며 또한 feedback loop 의 기능을 담당해서 계산하고 처리해 주어야 하는 CPU 가 필요하므로 Multiprocessor system 으로서의 확장을 고려하였다. Power-circuit 에서의 반도체 소자로는 전력용 트랜지



(그림 1) 제어부의 개략도

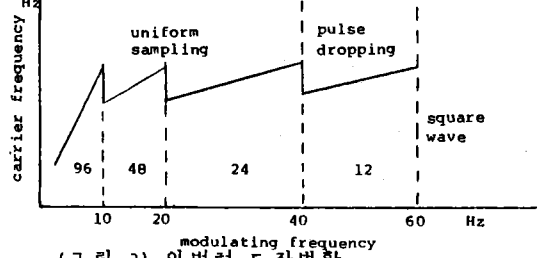
2) 제어의 방법 : 실제 pulse-width-modulation 을 실현시키는 데는 power-circuit 의 특성 에 의한 제약을 받게 된다. PWM 인버터의 경우, 교류전원을 직류로 변환시킨 후 다시 가변주파수의 교류전원으로 변환시킬때 교류 출력전압의 최대치는 교류입력 전압의 0.826정도 얻게 된다.<sup>3)</sup> 따라서 1 PU가 넘는 주파수는 1 PU전압을 공급해 주기 위해서 square-wave 로 제어방법을 바꾸어 준다. 즉 (그림 2)와 같이 40Hz 이후 변조 지수가 1이 넘는 과변조 (over modulation)에 의한 최소의 펄스 유지과점 이후 pulse-dropping 에 의해 점차로 PWM 에서 square-wave 로 변화되게 한다. 본 연구에서는 최소 펄스폭을 170 μsec로 하였다.



(그림 2) 과변조시의 펄스발생

또 PWM 제어에서 낮은 차수의 고조파를 최대한 억제하기 위하여는 가능한 반송파의 주파수를 높여 주어 고조파 성분을 반송파의 주파수와 그 고조파를 중심으로 모이게 만들어 주어야 한다. 그러나 이것은 power-circuit의 스위칭 능력에 의해 제한되고 더우기 스위칭이 많아질수록 손실이 증가하므로 적절한 값의 주파수를 설정해야 한다. 본 연구에서는 (그림 3)과 같이 0-10Hz는 반송파의 주파수와 변조파의 주파수비를 96으로,

10-20 Hz 에서는 48로, 20-40Hz는 24로, 40-60 Hz 사이는 12로 하였다. 40-60 Hz 사이는 pulse-dropping 이 생김에 따라 실제 펄스의 수는 적어지며 60 Hz 이후는 square-wave 로 동작한다.



(그림 3) 인버터 동작변화

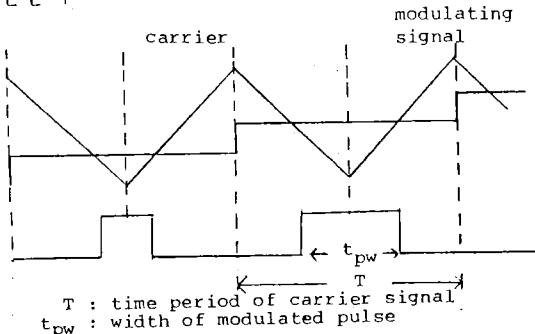
3) Uniform sampling에 의한 펄스폭 계산 : 기존 아날로그에 의한 sinusoidal PWM 방법은 변조파인 정현파와 반송파인 삼각파의 교점을 comparator 로 감지하여 펄스를 발생시키는 natural sampling 방식이다. 이것을 마이크로프로세서로 실현할 경우는 그 펄스폭  $t_{pw} = \frac{T}{2} + \frac{M}{2} (\sin \omega_m t_1 - \sin \omega_m t_2)$ <sup>4)</sup> 을 사전에 계산하여 결과를 기억장치에 저장하는 Look-up-table(LUT) 방법을 사용해야 하는데 이는 과다한 기억용량이 필요하게 되어 실용 가치가 희박하다.

그러나 (그림 4)와 같이 uniform sampling 을 사용할 경우의 펄스폭은  $t_{pw} = \frac{T}{2} (1 + M \sin \omega_m t_1)$ <sup>4)</sup> 로서 표현되며, 이 식에서  $\omega_m t_1$  은 반송파와 변조파의 비에 의해서만 결정되고 주파수와 전압과는 독립적인 관계를 갖으므로  $\sin \omega_m t_1$  값만 LUT 에 저장하고 실제 펄스폭을 간단한 계산에 의해 구할 경우 natural sampling 에 비하여 더욱 적은 기억용량이 필요하고 이것만으로도 모든 조항의 torque-speed 특성을 실현하기에 충분하다. 또한 uniform sampling은 고조파억제 기능에서도 natural sampling 보다 우수한 성능을 갖는 것으로 보고되고 있다.<sup>5)</sup>

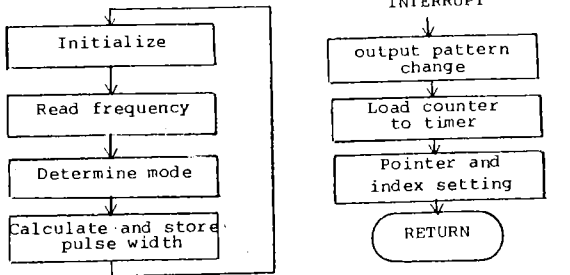
전압, 주파수 관계가 독립적이 아닌 일반적인 경우는 변조지수 M 은 주파수의 함수가 되고,  $v/f$  비가 일정하게 제어될 경우는  $M=kf$  의 관계가 되며 그외에는 비선형 특성의 torque-speed 곡선을 실현시킨다. 본 실험에서는 여러 조항의  $v/f$  비의 제어에 의한 정로오크 특성 및 비선형 로오크-속도 특성을 실현할 수 있었다.

4) Software : (그림 5)는 사용된 software 의

흐름도이다. Main program에서는 주파수 입력을 받아들여 1주기의 PWM 파형을 계산하며 interrupt routine은 interrupt가 걸릴때마다 계산된 결과를 timer에 넣고 다시 main으로 돌아와 다음 interrupt가 걸릴때까지 다음 1주기의 PWM 파형을 계산한다.



(그림 4) Uniform sampling시 펄스 발생



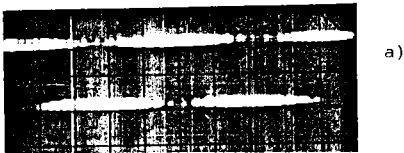
a) Main program

b) interrupt routine

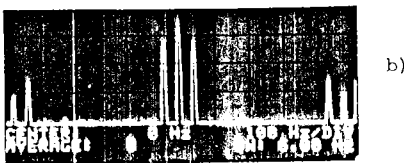
(그림 5) Software의 흐름도

3. 실험결과

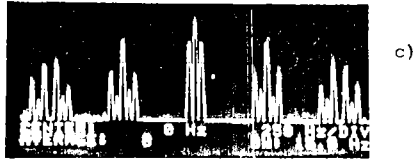
(그림 6)은 변조파 45Hz, 변조지수 0.91, sampling 수 12일때의 natural sampling과 uniform sampling에 대한 실험결과이다. a)는 uniform sampling의 PWM 파형, b)와 c)는 주파수 spectrum이다. d)는 natural sampling시 주파수 spectrum이며 b)와 d)를 비교해볼때 모두 저주파수의 고조파를 억제하나 uniform sampling이 좀 더 우수함을 볼 수 있다.



a)



b)



c)



d)

(그림 6) PWM 파형과 주파수 분포 파형

4. 결론

1) Uniform sampling을 사용하여 임의의 전압, 주파수에 대해 PWM 파형을 on-line으로 계산하여 발생시킬 수 있음을 보였으며 natural sampling에 비해 낮은 차수 고조파의 억제가 잘되는 것으로 분석되었다.

2) 비선형적인 로오크-속도 특성을 쉽게 실현할 수 있었다.

3) 과변조에서 pulse drop이 생기는 경우 PWM 파형의 펄스폭을 계산해줄 수 있는 일반적인 알고리즘을 찾지 못하여 이 영역에서는 모든 펄스 data를 LUT에 저장하는 방법을 사용하였다. 향후 이에 대한 보안적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. B.K.Bose, "A High Performance pulse-width Modulator Inverter-Fed Drive System Using a Microcomputer", IEEE Trans, IA-19, pp.235-243, 1983
2. B.K.Bose, "Adjustable Speed AC Drive Systems", IEEE Press, New York, pp.1-21, 1981
3. D.A.Grant, "Technique for pulse dropping in pulse-width modulated inverters", IEE Proc., Vol.128, pp.67-72, 1981
4. S.R.Bowes, "Microprocessor control of PWM inverters", IEE Proc., Vol.128, pp.293-305, 1981
5. S.R.Bowes, "New Sinusoidal Pulse-width-modulated Inverter", IEE Proc., Vol.122, pp.1279-1285, 1975