

무정전전원장치용 인버터의 순시전압제어

김재식* 민완기* 김효성* 박세현** 최재호*

* 충북대학교

** 안동대학교

Instantaneous Voltage Control of Inverter for Uninterruptible Power Supply

Jae-Sik Kim*o Wan-Ki Kim* Hyo-Sung Kim* Se-Hyun Park** Jae-Ho Choi*

* Chungbuk National University

** Andong National University

ABSTRACT

Instantaneous Voltage Control of inverter for uninterruptible power supply(UPS) is presented. In order to improve the transient response, the authors propose a control scheme based on a double regulation loop with sinusoidal hysteresis band. And also, using 8097 single chip microprocessor, software synchronization and static switch control scheme is implemented with minimal hardware structure.

1. 서론

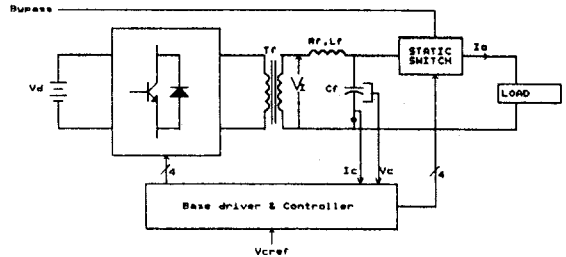
무정전전원장치는 어떠한 조건하에서도 크기와 주파수가 일정한 정현파 전압의 발생을 목표로한다. 따라서 인버터 출력측 전압 파형을 개선하기 위하여 많은 연구가 진행되었다. 일반적으로 변압기를 이용하여 상수를 증대시키는 방식이나[1], 프로그램화된 PWM 기법을 사용함으로써 일정 차수의 고조파를 억제하는 방식들이 이용 되었다.[2][3] 그러나 상수 증대법은 무정전전원장치의 크기와 중량을 감소시키려는 최근의 경향과 근본적으로 대립되고 무정전전원장치의 대부분 부하들이 정류기와 같은 커패시터 입력형 부하라는점을 감안할때 프로그램화된 PWM 기법은 정형화된 패턴을 가지므로 부하변동시에 응답이 늦기 때문에 전압을 일정하게 유지하기 어렵다. 따라서 부하가 변동되는 과도상태 또는 비선형 부하조건 하에서도 전압파형을 일정하게 유지하기 위하여 시간최적응답 또는 순시제어방식 등과 같은 실시간 제어방식이 연구되었다.[4][5][6]

본 연구에서는 부하변동 및 과도상태에서 빠른 응답속도를 가지도록 정현파 히스테리시스 밴드를 가지는 히스테리시스 순시전압제어 방식을 제안하였다. 본 방식은 출력전압제어 loop의 내부에 필터 커패시터 전류제어 loop를 가지는 이중 제어 loop로 구성되었으며 출력전압의 유지에 커패시터 전류의 제어가 우세하게 작용한다. 특히, 기존의 고정된 히스테리시스 밴드를 사용하지 않고 정현파 히스테리시스 밴드를 사용함으로써 커패시터 입력형 정류기부하에서 안정된 출력전압을 유지하도록 하였다.

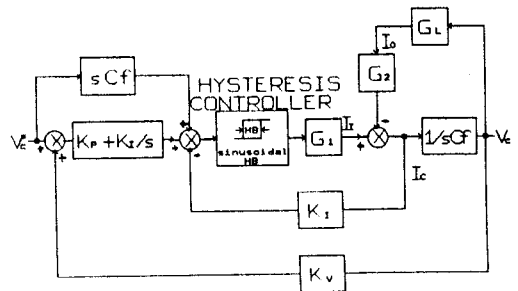
그리고 Intel 8097BH 16-bit Single-chip 마이크로프로세서를 병렬로 사용하여 무정전전원장치의 주 기능을 수행하도록 하였다. 따라서 마이크로프로세서는 기준 전압파형의 발생, 스위칭 주파수의 평균치 제어, Bypass 전원의 동기, Static Switch(S/S)의 ON/OFF제어 및 과부하에서의 수하특성유지 등의 기능을 간단한 방법으로 수행한다.

2. 인버터 구성 및 히스테리시스 제어기

2.1 인버터 동작원리



<그림 1> 단상 인버터의 계통 구성도



<그림 2> 인버터 제어계통 기본 구성도

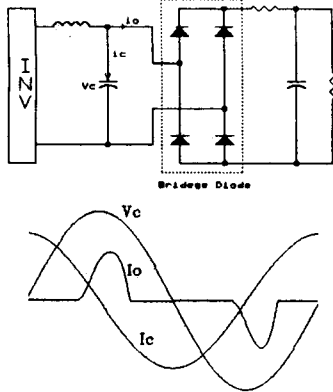
그림 1은 단상 인버터의 계통 구성도를 보여준다. 인버터는 출력측에 변압기를 가지고 있다. 그림 2는 제어계통의 기본 구성도이다. 출력전압의 제어방식은 전동기 제어계통에서 채택하

고 있는 이중제어 loop로 구성되었는데 하나는 외부의 전압제어 loop이고 다른 하나는 내부의 전류제어 loop이다. [6] 즉, 인버터의 출력측 필터 커패시터 양단의 전압과 커패시터에 흐르는 전류가 선형적인 관계를 가지므로 커패시터 양단의 전압을 일정하게 유지하기 위하여 부하조건에 따라서 커패시터에 흐르는 전류를 제어한다. 따라서, 기준전압 파형으로부터 실제 전류가 기준전류를 히스테리시스 밴드에서 추종 제어되도록 한다. 그러면 결국 출력전압은 필터 커패시터의 기준 전류파형을 취하고 Feed Forward 제어 기능을 가지게 되어 빠른 응답특성을 가지게 된다.

2.2 히스테리시스 제어기

일반적으로 히스테리시스 제어기에서는 제어대상의 출력변화율이 스위칭 조건에 따라서 다르다. 그러므로 기준신호가 정현파일때 히스테리시스 밴드를 고정시키면 1주기 동안의 스위칭 구간이 일정하지 못한다. 즉, 기준신호의 최대값 부근에서는 스위칭수가 많아지고 기준신호의 영전위 근방에서는 스위칭수가 적어진다.

무정전전원장치에서 커패시터 입력형 정류기부하를 사용하면 정류기 입력측 전압과 전류는 거의 동상이다. 앞에서 이미 언급



<그림 3> 정류기부하 및 파형

한 바와 같이 본 연구에서는 출력전압의 제어에 커패시터 전류의 히스테리시스 제어가 커패시터 전압보다 우월하게 작용한다. 그런데 커패시터 전류는 커패시터 전압보다 90도 위상이 앞서므로 그림 3과 같이 커패시터 전류값이 '0' 근방에서 부하전류가 증가하게 된다. 따라서 밴드폭이 고정된 히스테리시스제어기를 사용하면 전류값의 '0' 근방에서 스위칭이 자주 일어나지 못하여 부하전류의 변동이 심한 비선형 부하에서 급속한 응답을 가지지 못한다. 반면에 밴드폭이 기본파와 같이 정현적으로 변하는 히스테리시스 제어기를 사용하면 전류값의 '0' 근방에서 스위칭이 자주 일어나서 부하 전류의 변동에 급속하게 응답할 수 있다. 이러한 특성은 부하가 급변하는 과도상태에서도 효과적으로 동작한다.

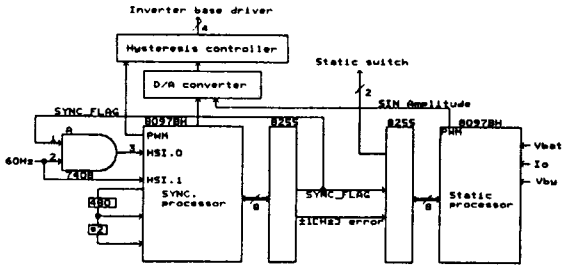
기준신호의 최대값 부근에서 히스테리시스 밴드폭은 같게 할 경우에 고정밴드를 사용할 때보다 정현파 밴드를 사용하는 경우

에 스위칭 주파수는 증가한다. 그러나, 단락회로 방지를 위한 lock-out 기능을 부여하면 스위칭 주파수의 차이는 어느 정도 줄어들게 된다.

3. 동기화 및 static switch 제어방식

3.1 하드웨어

무정전전원장치는 크기와 주파수가 일정한 정현파 전압을 발생하여야 하며 정전 절체시에 계통소자가 전기적인 충격을 받지 않도록 하기위하여 인버터의 출력전압은 Bypass 전원과 주파수 및 위상이 항상 동기를 유지하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 그림 4와 같이 2대의 마이크로프로세서를 병렬로 구성하여 동기 및 Static Switch ON/OFF 제어를 수행하였다. 그림의 SYNC 프로세서에서는 60[Hz]의 정현파 기준전압파형을 발생한다. 동기 제어는 60[Hz]에서 일정 주파수의 범위를 벗어나지 않는 한 계속되나 그 범위를 벗어나면 인버터는 자체적으로 60[Hz]의 정현파를 발생한다. 본 연구에서는 1[Hz]를 동기유지 범위로하고 마이크로프로세서를 이용하여 1Hz/sec 조정률을 가지는 디지털 동기제어를 수행한다. 따라서 프로세서 자체에서 발생한 동기제어에 대한 정보와 Bypass 전압의 영전위 검출신호를 AND gate로 묶어 high speed input(HSI) 단자로 입력을 받아서 동기제어 구간에



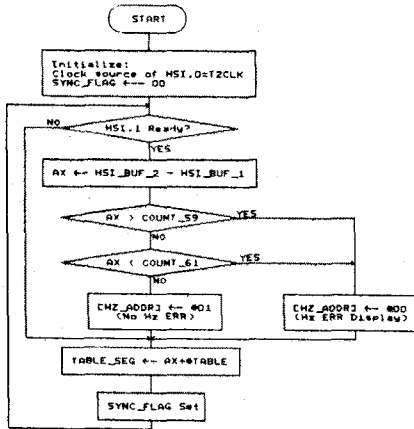
<그림 4> 마이크로프로세서 구성도

서는 인버터출력 전압과 Bypass 전압과의 위상오차로써 SIN ROM table의 시작번지를 변경한다. 한편, 비동기구간에서는 CPU의 자체 Clock을 사용하여 마이크로프로세서 자체에서 60[Hz]의 정현파를 발생하도록 한다. 이때 ROM table에 의해 출력된 정현파의 크기는 기준전압치를 나타내는데 과부하 상태하에서 수하특성을 가질 수 있도록 DAC의 전압 기준치를 수하특성에 따라서 조절되도록 하였다.

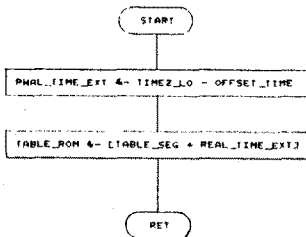
Static 프로세서에서는 S/S의 ON/OFF 제어를 수행한다. 정전 절체시에 SYNC_FLAG의 정보에 따라서 동기조건에서는 무순단 절체를 그리고 비동기 구간에서는 정전절체를 수행한다. 특히, 부하전류를 검출하여 과부하시에 수하특성을 가지도록 한다. 즉, 부하전류의 크기에 따라서 출력전압의 크기를 가변시키도록 SYNC 프로세서의 DAC 전압기준치를 결정한다. 그 밖에 Battery의 under voltage 검출기능, Bypass 전압 및 주파수의 불량 검출기능등을 수행하고, 스위칭소자의 평균 스위칭 주파수를 유지하기 위하여 정현파 히스테리시스 제어기의 밴드폭을 조절한다.

3.2 소프트웨어

그림 5는 SYNC. 프로세서의 주흐름도와 외부 인터럽트를 그리고 그림 6은 동기제어 흐름도를 보여준다. 주흐름도에서는 Bypass전압의 매 사이클 간격을 계수하여 60[Hz]에 대한 ±1[Hz]의 오차를 검출하여 동기조건의 만족 여부를 결정하고 SYNC_FLAG를 발생시킨다. 외부 인터럽트에서는 동기흐름도의 진행결과에 따라 256개의 SIN ROM table값을 DAC를 통하여 출력하도록 한다. 동기제어는 그림 6과 같이 HSI 단자의 값에 따라서

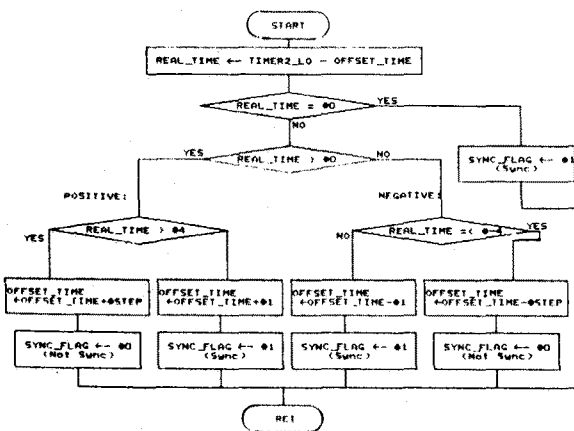


(a)

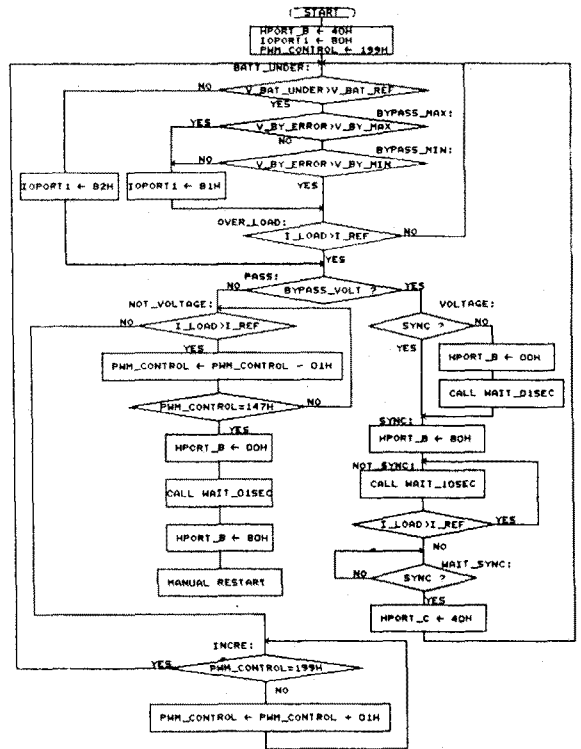


(b)

〈그림 5〉 sync. 프로세서 (a) 주 흐름도 (b) 외부 인터럽트 흐름도



〈그림 6〉 동기제어 흐름도



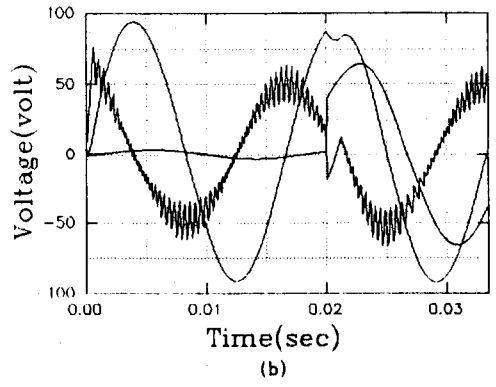
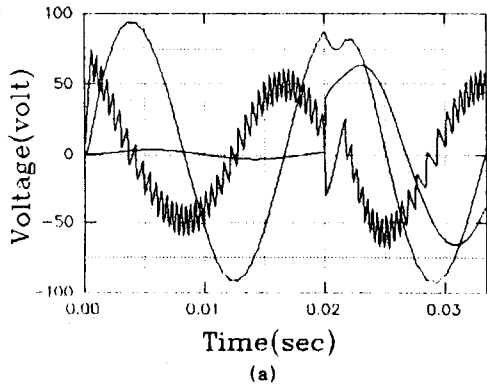
〈그림 7〉 Static 프로세서 제어 흐름도

SIN ROM table의 시작번지를 결정한다. 그런데 다음 사이클에서 HSI 신호에 따른 시작번지의 변동분은 동기오차를 나타내므로, 이 값에 따라서 동기화를 위해 SIN ROM table의 시작번지를 조정한다. SIN ROM table의 정보는 256단계를 가지므로 적절한 조정률과 정도를 유지하기 위하여 시작번지의 차이가 4단계이상 차이가 나면 4단계씩 조정하고 4단계 이내에 있으면 1단계씩 시작번지를 조정한다. 동시에 4단계는 동기 범위를 결정하는 기준치가되어 SYNC_FLAG를 발생시킨다.

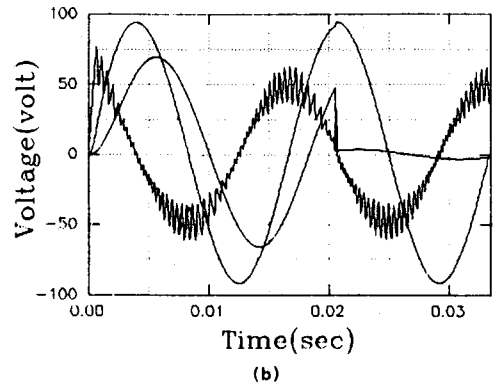
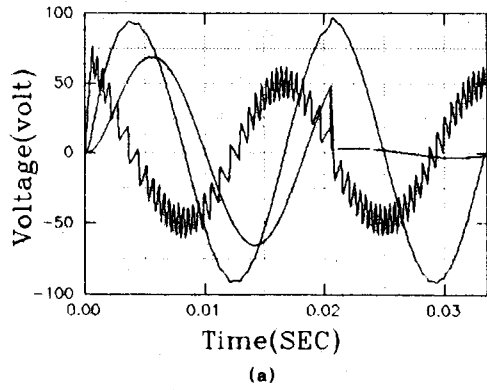
그림 7은 static 프로세서 제어흐름도를 보여준다. static 프로세서에서는 과부하, bypass 전원의 불량상태, 그리고 battery의 under voltage등을 검출한다. 특히 과부하시에 SYNC. 프로세서에서 전달된 동기에 대한 정보와 자체에서 검사한 Bypass 전원의 불량조건을 판단하는 정보를 가지고 부순단 결체 또는 정전절체를 결정하고, 수하특성을 가지기위한 기준전압의 크기를 SYNC. 프로세서로 전송한다.

4. 시뮬레이션

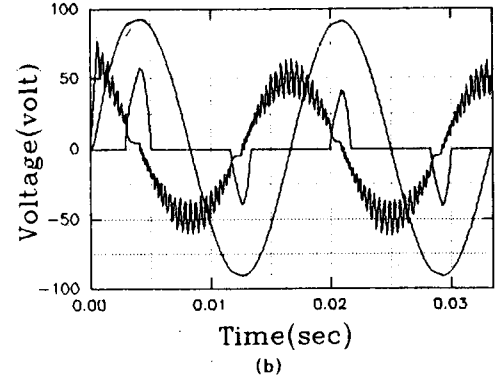
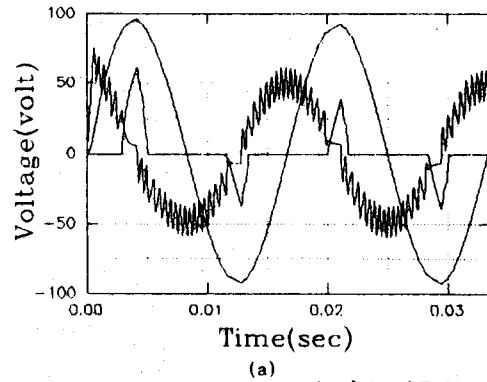
본 시스템의 특성을 해석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 부하변동의 과도상태와 비선형 부하조건에서 고장전압을 가지는 히스테리시스 제어기와 정현파 밴드를 가지는 히스테리시스 제어기의 특성을 비교 하였다. 그림 8과 그림 9는 R.L 부하 조건에서 부하변동의 과도상태에서 각부의 파형을 보여준다. 그림 10은 정류기 부하시에 각부의 파형을 보여주며 그림 11은 동 조건에서 고조파 분석결과를 보여준다. 이상의 그림에서 알 수



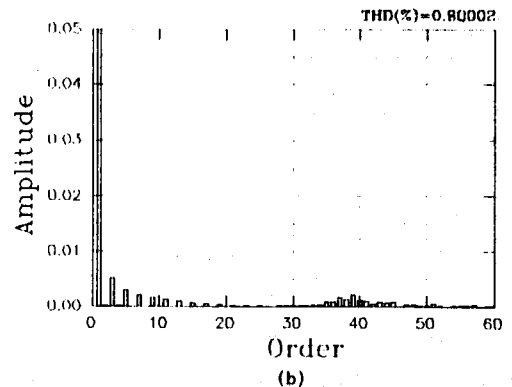
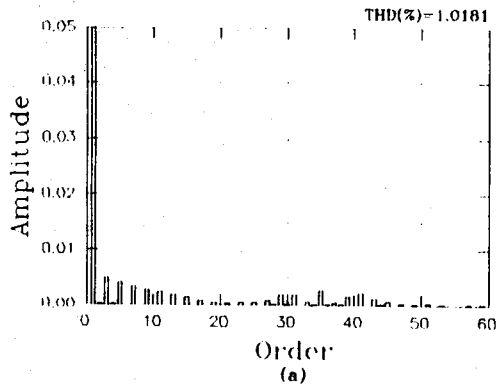
<그림 8> 부하증가시의 파형 (a)고정밴드 (b)정현파 밴드



<그림 9> 부하감소시의 파형 (a)고정밴드 (b)정현파 밴드



<그림 10> 정류기 부하의 파형 (a)고정밴드 (b)정현파 밴드



<그림 11> 고주파 분석 결과 (a)고정밴드 (b)정현파 밴드

있는 바와같이 인버터의 출력전압이 순시적으로 잘 제어되고 있음을 알 수 있으며 히스테리시스를 정현적으로 부여할때 더 양호한 특성을 가짐을 알 수 있다.

5. 결 론

Intel 8097BH 16비트 Single-chip 마이크로프로세서를 이용한 UPS용 인버터의 순시전압제어 방식은 출력속 전압제어 loop에 캐패시터 전류제어 loop를 내부적으로 가지는 이중 loop를 구성함으로써 부하 변동시 또는 커패시터 입력형 정류기부하 조건에서도 기준전압 파형을 잘 추종해감을 알 수 있었으며, 이러한 히스테리시스 제어기법에서는 고정 band 보다 sinusoidal band 를 사용함으로써 출력파형을 개선됨을 알 수 있었고, 마이크로 프로세서의 병렬운전으로 by-pass 전원과 static switch의 제어기능을 보다 간편하고 신뢰성있게 수행할 수 있었다.

참고문헌

1. B.D.Bedford and R.G.Hoft, Principles of inverter circuits, John Wiley & Son, 1964.

2. H.S.Patel and R.G.Hoft, "Generalized technique of harmonic elimination and voltage control in thyristor inverter," IEEE Tran. Ind. Appl., Vol. IA-19, pp.310-317, 1973.

3. G.S.Buja, "Optimum output waveform in PWM inverter," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-16, pp.830-836, 1980.

4. A.Kernick, D.L.Stechschutz, and D.W.Shireman, "Static inverter with synchronous waveform synthesized by time-optimal-response feedback," IEEE Trans. Ind. Electr. Contr. Instrum., Vol. IEC1-24, pp.297-305, 1977.

5. A.Kawamura and R.G.Hoft, "Instantaneous feedback controlled PWM inverter with adaptive hysteresis," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-20, pp.769-775, 1984.

6. M. Carpita, M. Mazzucchelli, S. Savio, and G. Sciutto, "A NEW PWM CONTROL SYSTEM FOR UPS HYSTERESIS COMPARATOR," In Conf. Rec. IEEE Tran. Ind. Appl. Annu. Meet, pp.749-954, 1987.

7. I.J.Pitel, S.N.Talukdar, and P.Wood, "Characterization of programmed waveform pulse width modulation," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-16, pp.707-715, 1980.