

개선된 계측 및 스위칭 기법을 이용한 정전류조정 인버터 시스템

論 文

56P-4-4

Inverter Systems of Constant Current Regulate by Using Advanced Measurement and Switching Techniques

孫 珍 勛[†] · 徐 一 東* · 田 喜 鐘**
(Jin-Geun Shon · Il-Dong Seo · Hee-Jong Jeon)

Abstract - As development of industry is accelerated, most electricity load system requires power supply that could be high precision and effective control. Among supply and control unit of suitable power supply in these load characteristic, inverter systems of constant current regulate is used widely control of lighting & beaconing of aerodromes and electric heating system. Therefore, in this paper proposed a inverter systems of constant current regulate that using improved measurement and switching techniques. Proposed measure techniques that used moving average method of instantaneous r.m.s. for measuring current sensing improved response and precision. Also, in this paper proposed improved high effectiveness switching techniques that get high efficiency of inverter by the double-carrier modulation. Results of an experiment proved effect of proposed system.

Key Words : Inverter Systems, Constant Current Regulator(CCR), Moving Average Method, Instantaneous r.m.s. Double-carrier modulation.

1. 서 론

제어정보기술 및 반도체산업의 급속한 발전에 따라 산업계에서의 전기부하장치들은 제어의 정밀성과 고성능화 및 성(省) 에너지를 지속적 요구하고 있다. 이와 같이 전기산업계에서 사용되고 있는 부하장치들은 일반적이고 범용적인 부하에서 특수하고도 고 기능· 고정밀의 부하시스템으로 확장 보급되면서, 이의 전원공급장치인 전력변환기의 발달도 동시에 지속되고 있는 추세에 있다.

이러한 전력변환기는 컨버터/인버터를 기반으로 하여, 가정용 및 산업용 뿐 만 아니라 통신 및 의료기기 등에 널리 적용되고 있으며, 특히 직류/교류 변환 인버터는 UPS, VVVF 가변속 전동기 드라이버 등 교류전원 공급시스템에도 널리 적용된다. 이러한 인버터 시스템 중에서 정전류조정(constant current regulator ; CCR) 인버터는 항공관제용 유도등 등과 같은 각종 조명제어 및 전열제어장치 등에 널리 사용되고 있다[1-3].

그러나, 이러한 CCR인버터는 계측 제량의 계측 제량에 대한 부정확성 및 부하의 외란 등으로 인하여 제어의 비선형성 및 속응성, 효율면에 다소 미흡한점이 있을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 개

선된 전류계측 기법 및 고효율 스위칭 기법을 기반으로 하는 고성능의 정전류조정 인버터 시스템을 제안하였다.

제안된 계측기법은 정전류 조정에 필수적인 전류의 계측을 실효치 이동평균법을 사용하여 응답 속도와 정밀성을 개선한 방식이다. 정전류 제어에 필요한 교류전류의 계측은 실효적 직류량이 필요하게 되는데, 기존에 사용되었던 실효치 측정방법은 대부분 정류기법에 의존한 하드웨어적 처리 기법을 사용하거나 평균적 실효치 기법을 사용하여 왔다 [4-6].

그러나 이의 방법은 계측 제량의 정밀성 및 순시성이 떨어져서 제어의 성능을 악화시키지만, 개선된 계측기법은 순시적 실효치 이동평균기법을 사용하기 때문에 이러한 문제점은 노출되지 않은 장점이 있다. 또한 CCR인버터에서의 스위칭 방식은 기존의 정현파 PWM방식을 탈피하여 이중반송파(double-carrier) PWM방식을 이용하여 시스템의 효율을 높이도록 하였다.

따라서, 이러한 개선된 계측기법 및 고효율 스위칭 방식을 적용한 본 실험시스템의 CCR인버터는 UPS와 전동기 구동용 인버터 등에 적용가능하며, 특히 항공관제 조명용 CCR인버터 등 각종 조명장치와 유도가열과 같은 전열제어 장치 등에도 매우 유용하게 사용되리라 판단된다.

2. 교류전력제어와 CCR인버터

2.1 기존의 CCR형 교류전력제어장치

그림 2.1은 기존에 사용되었던 CCR기능을 가지는 교류전력 제어장치의 일례를 나타낸 것이다. 이러한 방식은 교류전압 $V_s = V_m \sin\theta$ 에서 위상각 θ 를 위상각 α 로 제어하여

[†] 교신저자, 正會員 : 暎園大學校 電氣工學科 副教授 · 工博

E-mail : shon@kyungwon.ac.kr

* 正會員 : 崇實大學校 電氣工學部 博士課程

** 正會員 : 崇實大學校 電氣工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2007年 9月 4日

最終完了 : 2007年 11月 5日

교류부하의 전류를 제어하며, 이때의 위상각 α 는 부하의 상태에 따른 제어기의 기준신호에 의해 조정된다. 이러한 시스템은 교류 부하단에 주 변압기(main transformer)가 있고, 이 변압기와 직렬로 복수개의 변류기(CT)가 연결되어 있다. 각각의 변류기 2차 측에는 각종 항공용 조명관제등이 연결되어 있는 전형적인 직렬부하형 CCR회로이다. 특히, 위와 같은 전력제어장치는 복수개의 단심기가 직렬로 연결되어 있으므로 어느 전구 하나가 고장이 나더라도 다른 전구는 계속 정상적인 동작을 수행하여야 하며, 이때의 부하 전구는 조명밝기의 일정유지와 수명, 고장검출 등의 유지관리를 위하여 이와 같은 CCR 제어장치가 절대적으로 필요하다.

이러한 제어장치는 시스템의 구성이 간단하고 저 가격의 구현이 가능하며 시스템의 전체 효율이 우수하다는 장점이 있다. 그러나, 위와 같은 시스템은 SCR의 제어 시작점인 위상각 α 로부터 부하전류가 흐르기 때문에 입력의 역률 저하, 느린 부하 응답 특성으로 사고 발생시 파급 효과 크고, 전류의 불연속으로 인하여 많은 고조파 성분이 발생하고, 부하의 불평형에 따른 상호 간섭작용이 발생한다는 결정적인 문제점이 존재한다.

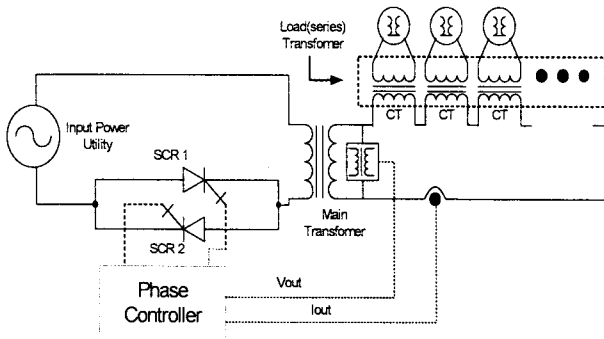


그림 2.1 기존 SCR의 교류전력 제어장치
Fig. 2.1 Conventional AC power control system by SCR

한편, 그림 2.1과 같은 제어시스템은 항공기의 이착륙을 안전하게 유도하기 위한 비행장의 조명기구에 직렬부하회로(활주로의 진입등, 활주로의 등, 활주로의 중심선등, 접지대등, 진입각지시등, 유도등 및 기타등화)에 일정한 전류를 공급하는 장치로 전압, 주파수, 부하용량의 변동에도 능동적인 작동으로 부하에 정전류를 공급하는 대표적인 장치이다. 그러므로 CCR 시스템은 여러 악조건의 환경에서도 높은 신뢰성을 가지고 일정한 전류를 부하에 공급할 수 있어야 한다.

지금 현재 사용되고 있는 항공관제용 CCR은 이 방식 외에도 리액터와 콘덴서의 공진회로를 응용한 공진형 CCR이 있으나 전원전압이나 주파수의 변동에 따른 출력전류의 변동이 심하다는 문제점이 있다.

따라서, 이러한 문제점의 해결을 위해서는 그림 2.1과 같은 SCR의 PWM방식을 고려해 볼 수 있으나, 이 방법 역시 고조파의 문제가 잔존하고, 교류입력의 제로크로싱 부근에서 제어범위가 좁아진다는 문제가 있기 때문에 인버터 방식의 CCR 제어를 최근에는 도입하는 추세에 있으며, 특히 항공 등화의 추세가 기존의 할로겐 램프에서 LED로 변화되고 있는 단계에서 LED 등화 설비의 특성상 위상 전류의 입력

전원보다 정현파의 정전류에서 보다 나은 특성을 나타내고 있기 때문에 인버터형 CCR의 선호도가 더 높아지고 있는 추세에 있다.

2.2 인버터에 의한 CCR의 구성

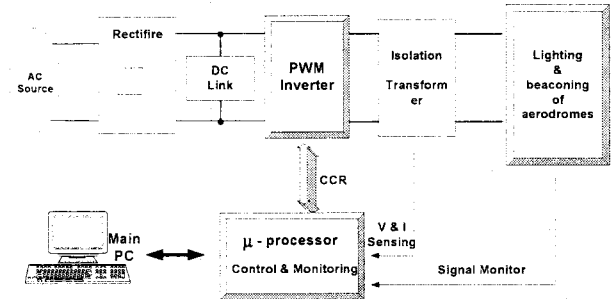


그림 2.2 조명제어용 CCR 인버터의 구성
Fig. 2.2 Lighting control by CCR inverter

앞 절에서 제기된 여러 문제점을 해결하기 위한 방안으로 인버터 시스템의 도입이 요구되며, 인버터의 입력부분은 다양한 직류전원을 포함한다. 즉 2차전지인 배터리(battery), 연료전지(fuel cell), 태양전지(solar cell) 등과 같은 전지류이거나 위상제어정류기 등 다른 전력변환기의 출력일 수도 있으며, 아래 그림과 같이 AC를 정류하여 DC 링크단의 전압을 변환할 수도 있다.

3. 개선된 계측 및 스위칭 기법에 의한 CCR의 구성

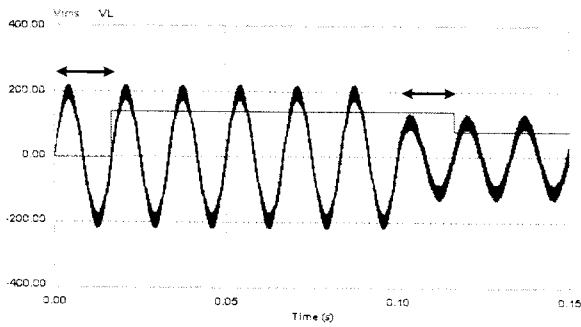
3.1 개선된 전류의 계측(순시적 이동평균)

본 논문에서 구현하고자 하는 CCR기능을 가진 인버터의 출력단 전류는 교류파형이므로 이를 PID제어기 등의 제어 입력으로 사용하기 곤란하며 교류의 제량(전압이나 전류, 또는 자속 등)을 빠른 응답과 정확성을 갖는 직류적인 실효치로 변환할 필요가 있다.

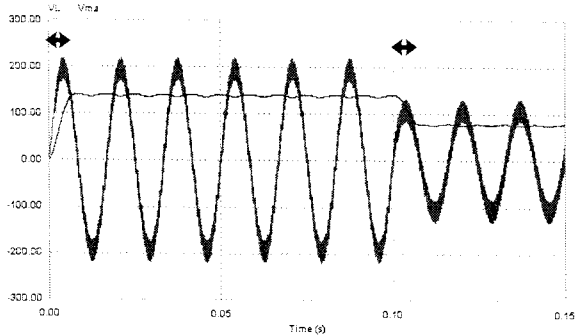
교류의 전기적 제량을 실효치로 검출하기 위한 전통적인 방법은 평균적 개념의 계측기법을 주로 사용한다. 이는 주기적인 함수에서 전기적 제량을 시간평균의 개념으로 계산하며 디지털 신호적 처리는 샘플링의 개념이 추가된다. 그러나 이러한 방법은 검출에 최소 반주기 이상의 긴 시간을 필요로 하는 단점을 가지고 있으며, 정현파적인 주기적 평균값을 구하려면 시간적분을 수행하게 되는데 이를 위해서는 정확한 영점검출(zero crossing)이 필요하다.

그림 3.1(a)는 위에서 설명한 평균적 개념의 계측기법에 의한 모의파형의 실효치 계산 결과로서, 검출 초기 기간 동안에 한주기의 시간이 계산될 수 없기 때문에 이 부분에 대한 상당한 고려도 필요하다는 단점이 존재함에 따라 개선된 고속 계측기법이 필요함을 알 수 있다. 그림 3.1(b)는 이후 설명하게 될 순시적 이동평균기법에 의한 모의파형의 계산 결과로 순간전압강하 발생시의 교류/직류 변환파형을 나타내고 있으며, 그림 3.1(a)와 비교하여 검출시간이 매우 빠름

을 확인할 수 있다(화살표 비교참조).



(a) 평균적 계측기법에 의한 실효치(Average Method)



(b) 순시적 이동평균법에 의한 실효치(Moving Average)

그림 3.1 실효치의 계산 결과파형

Fig. 3.1 Waveform results of r.m.s. computation

그림 3.2는 본 논문에서 제안한 순시적 이동평균기법의 개념도를 나타낸 것이다. 이는 계측신호의 최초 반주기에서 시작되는 순시치 기법의 기본 Mapping모양이 여러 개로 중첩되고 있는 개념을 그림 3.2(a)에서 보여주고 있다. 그림 3.2(b)에서는 순시적 계측을 위한 디지털 처리의 샘플링 저장 개념도를 나타낸 것이다.

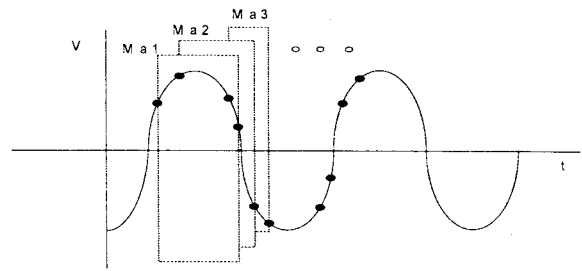
제안된 순시적 이동평균 계측기법을 이용하여 교류량을 직류량으로 표현하기 위해서는 실효치 개념의 접근이 필요하며, 이는 식 (3)부터 식 (5)까지의 식을 이용하여 계측 값이 순시적 개념을 갖도록 지속적으로 반복하여 검출할 수 있다.

$$I_1 = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + \dots + S_N^2}{N}} \quad (3)$$

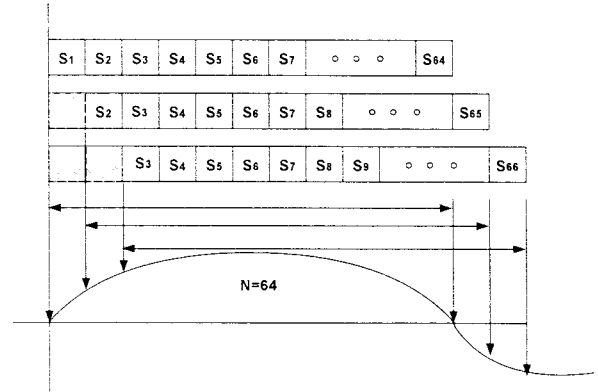
$$I_2 = \sqrt{\frac{S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + \dots + S_{N-1}^2}{N}} \quad (4)$$

$$I_3 = \sqrt{\frac{S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + \dots + S_{N+2}^2}{N}} \quad (5)$$

식 (3)부터 식 (5)까지의 식을 디지털적으로 처리하기 위해서는 샘플링의 과정을 거치는데, 본 모의과형 생성에서는 교류파형의 반주기 동안 샘플링 수는 64개를 갖도록 하였다. 이후의 매 샘플링 값마다 평균값을 계산하여 정해진 순서에 따라 교류량을 실효치 개념의 순시적 직류량으로 처리하도록 하였다.



(a) 교류신호의 순시적 이동평균 개념도



(b) 순시적 계측을 위한 샘플링 저장 개념도

그림 3.2 순시적 이동평균 기법의 개념도

Fig. 3.2 Block diagram of instantaneous moving average Methode

3.2 인버터형 CCR의 제어 및 고효율 스위칭

본 논문에서 구성하고자 하는 정전류조정(CCR) 인버터의 구조 및 제어블럭을 그림 3.3과 같이 구성하였으며, 이의 부하시스템에는 항공관제용 유도등으로 구성하여 CCR의 성능 실험을 수행하도록 하였다. 이러한 CCR인버터는 계측신호의 계측량에 대한 부정확성 등으로 인하여 제어의 선형성 및 속응성 제어에 문제점이 있고, 인버터의 입력단 전압의 맥동 등에 의하여 CCR의 제어기능을 저하시키는 요인이 있다. 따라서 본 논문에서는 정전류조정에 필수적인 전압 및 전류의 계측을 실효치 이동평균법을 사용하여 응답 속도와 정밀성을 개선하였다.

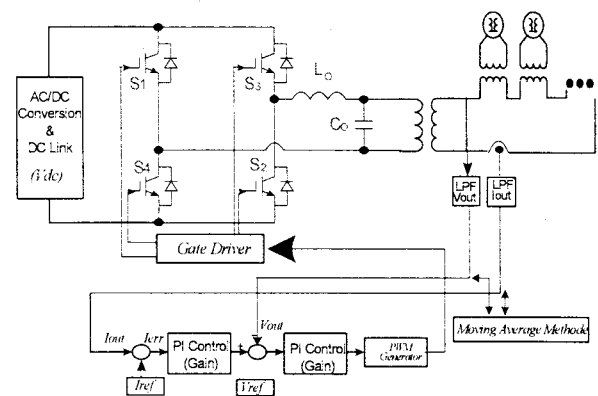


그림 3.3 CCR 인버터의 구성과 제어블럭

Fig. 3.3 Overall system and control diagram of CCR inverter

이때, 인버터형 CCR의 전류 제어방식은 그림 3.3과 같은 전류제어 방식으로 구성하여 전류제어를 수행하였다. 항공 등화관제용 정전류 전원장치의 특성상 주 변압기의 2차측 출력 전류 및 전압을 센싱하여 출력 부하에 무관하게 일정한 출력 전류를 발생시키도록 제어루프를 구성하였다. 이러한 제어기의 구성은 일반적으로 사용되고 있는 인버터 제어 루프와 달리 내부 제어 루프가 전압제어루프, 외부 제어 루프가 전류제어루프로 구성되는 것이 정전압 방식의 인버터 제어기와 차이점이며 이때의 제어기는 기존의 비례적분 제어 방식을 적용하였다.

그림 3.3과 같이 간단한 교류전원 공급장치로서의 인버터는 전압/전류를 제어하고자 할 때는 기준전압과 실제전압과의 오차전압과 삼각파 신호를 이용한 정현파 PWM방식을 일반적으로 적용한다. 그러나 이러한 정현파 PWM 방식은 스위칭 주기의 한 주기 내에서 모든 스위치($S_1 \sim S_4$)가 On/Off 동작을 하여 스위칭 손실을 초래하는 등 효율적이지 못한 단점이 있다.

따라서 이러한 문제점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 더블캐리어(이중반송파) PWM 방식인 고효율 PWM변조방식을 그림 3.4와 같이 적용하였다. 이는 삼각파 캐리어 신호 2개를 발생시키고, 변조(Modulation signal) 정현파 신호가 정(positive)일 때와 부(negative)일 때 각각 비교하는 방식에 의하여 4개의 IGBT 스위칭 소자의 On/Off 동작이 결정되는 방식이다. 이는 인버터의 출력전압(정현파 신호)이 정일 때는 (+)삼각파와 비교하여 S_1 및 S_4 는 상보형으로 PWM을 결정하고 S_3 은 Off, S_2 는 On 동작을 수행한다.

또한 인버터의 출력전압이 부(negative)일 때는 (-)삼각파와의 비교결과에 의하여 S_2 및 S_3 은 On/Off의 PWM을 수행하고, S_1 은 Off하고, S_4 는 On하게 된다. 이와 같은 개념의 스위칭 패턴은 결과적으로 변조 정현파 신호가 정(positive)때는 스위치 S_2 와 S_3 가 PWM을 수행하지 않고, 부(negative)일때는 스위치 S_1 및 S_4 가 PWM을 수행하지 않기 때문에 기존의 정현파 PWM방식 보다 스위칭 효율을 더 높일 수 있는 장점이 있다.

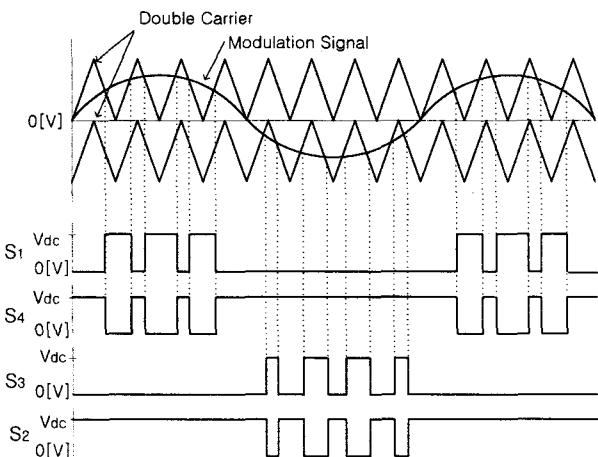


그림 3.4 고효율 인버터의 PWM스위칭 패턴
Fig. 3.4 PWM switching of high-efficiency inverter

4. 실험 및 결과고찰

본 논문에서는 인버터 사용에 의한 CCR기능을 수행하기 위하여 개선된 계측 및 고효율 스위칭기법을 적용하여 실험을 수행하였다. 그림 2.2와 같이 전체 실험시스템을 구성하였으며, 그림 3.3과 같이 제어기를 구성하여 실험을 수행하였다.

또한, 본 논문에서는 시스템의 디지털화의 구현을 위해서 고성능 CPU소자인 TI사의 32[bit]- 33[MHz]의 시스템 클럭인 TMS320C31의 DSP소자를 사용하였다. IGBT 및 다이오드 선정은 10[kW]급의 CCR을 고려하여 Semikron社의 SKM100GAL123D를 선정하였고, 입력전압 220[Vac]에 해당하는 직류링크의 캐패시터는 4,700[μF], 출력측의 LC필터는 $L_o=1[mH]$, $C_o= 50[\mu F]$ 으로 선정하여 실험하였다.

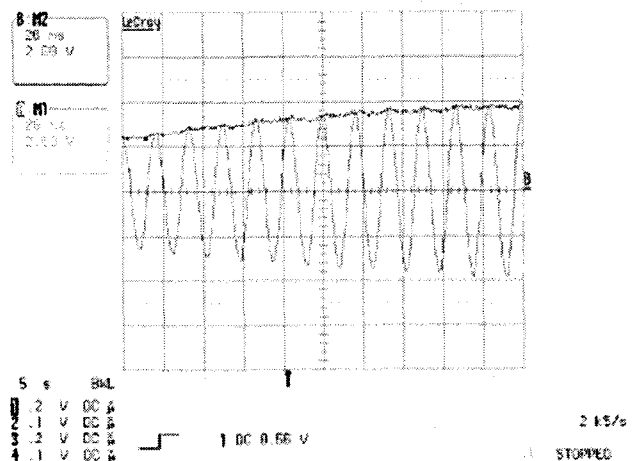


그림 4.1 가변전류의 실효치 계측결과 (1)
Fig. 4.1 Measurement results of variable current

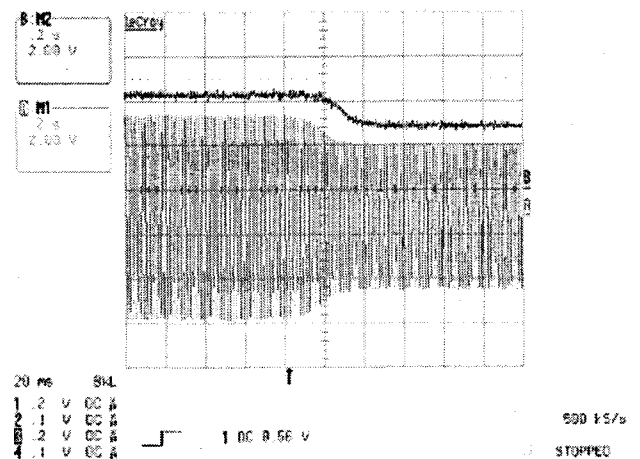


그림 4.2 가변전류의 실효치 계측결과 (2)
Fig. 4.2 Measurement results of variable current

그림 4.1(시간확장된 파형)과 그림 4.2는 인버터 출력의 가변전류에 따른 이동평균 전류 실효치의 계측파형을 나타

낸 것이다. A채널에서는 전류 증폭프로브의 계측장비에 의한 가변전류의 파형을 나타낸 것이고, B채널에서는 이동평균 전류 실효치의 계산 결과파형을 나타낸 각각 나타낸 것으로 그림 3.1의 결과와 일치하고 있음을 보이고 있다.

그림 4.3에서는 고효율 스위칭을 위한 정현파와 더블케리어파와의 비교에 의한 CCR 인버터의 출력 및 PWM결과 파형을 나타낸다. Ch1, Ch2에서는 인버터의 필터 출력전류와 전압을 나타내고, Ch3, Ch4는 인버터 한 암(arm)에서의 PWM 변조결과에 의한 스위칭 신호를 나타낸 것이다. 그림 4.4는 그림 4.3과 같은 더블케리어파의 PWM방식을 사용하여 CCR인버터의 고효율 출력을 나타낼 수 있는 인버터 두 암간의 전압 및 출력전류를 나타내고 있으며, 이의 출력파형은 그림 3.4의 고효율 스위칭 패턴과 일치함을 볼 수 있다.

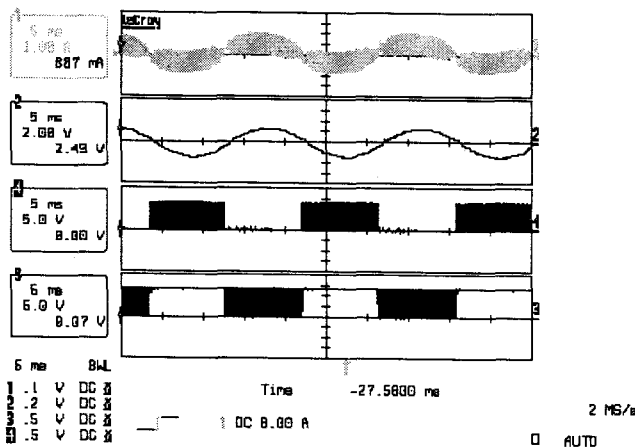


그림 4.3 PWM의 신호발생과 인버터 전류
Fig. 4.3 Gate signal and current of PWM inverter

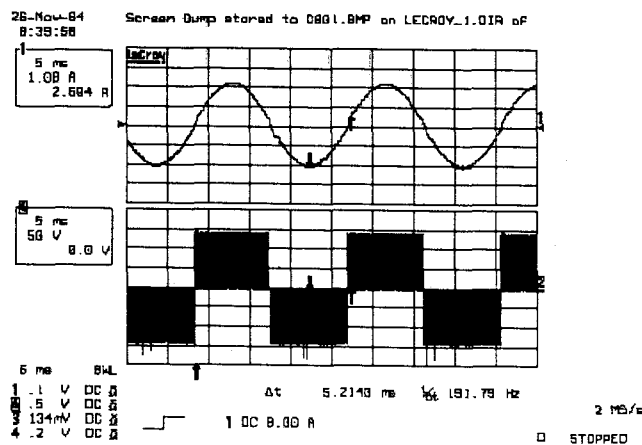


그림 4.4 고효율 인버터의 출력전류와 전압
Fig. 4.4 Voltage & current of high-efficiency inverter

그림 4.5는 인버터의 가변 전류지령에 따른 전류의 추종 제어특성을 나타낸 것이다. Ch 1에서는 전류 증폭프로브의 가변 부하전류, Ch 2에서는 전류센서에 의한 부하전류 계측 파형, Ch 3은 가변전류 지령의 실효치 전류추종용 Ch 4는 가변전류 지령치를 각각 나타낸 것으로 전류제어 기능이 잘 수행되고 있음을 보여준다.

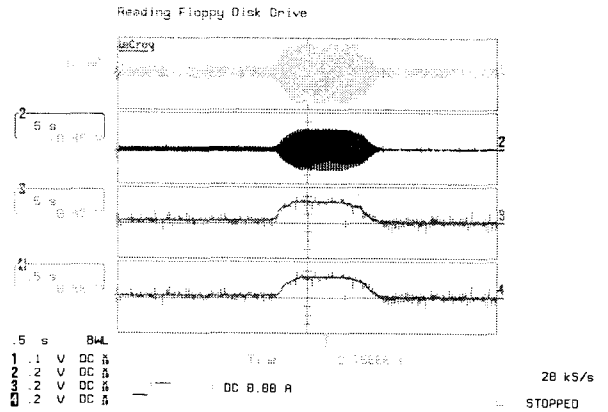


그림 4.5 가변 전류지령에 따른 전류의 추종제어
Fig. 4.5 Response waveform of variable current reference

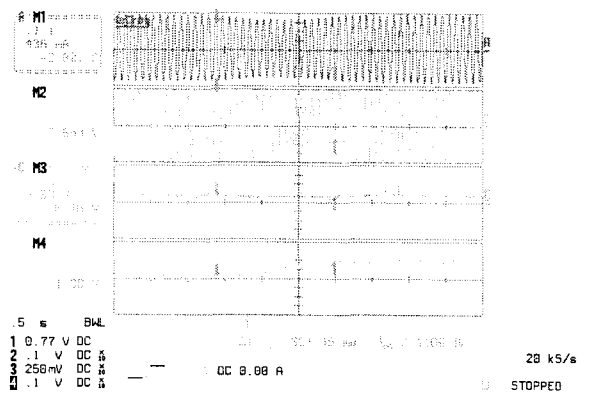


그림 4.6 부하가변에 따른 CCR 제어기 성능
Fig. 4.6 CCR controller performance with variable load

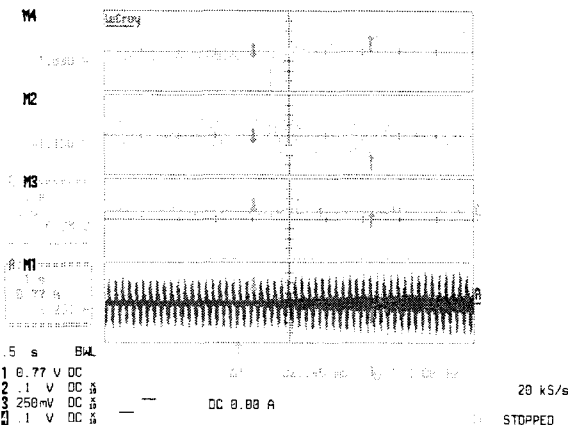


그림 4.7 부하가변에 따른 PWM변조와 변압기의 전류
Fig. 4.7 PWM voltage and CCR current with variable load

그림 4.6과 그림 4.7은 CCR 인버터의 최종 전류제어 성능을 평가하기 위한 변압기 2차측의 부하가변 실험파형이다. 그림 4.6에서 Ch A, Ch B, Ch C는 각각 CCR 인버터의 출력부 측 변압기 2차측 부하가변의 계측기 전류파형, 센서부 출력전류 및 이에 따른 전류의 실효치를 각각 나타내고, Ch D는 부하가변에 따른 PI제어기의 출력파형 즉 PWM파형의 변조지수 가변제어 전압파형을 나타낸 것이다. 그림 4.7은 위의 그림 4.6과 동일 조건에서, Ch A에는 부하가변

에 따른 변압기 1차측의 가변전류를 나타낸 것으로 이의 값의 변동에도 불구하고 Ch B, Ch C의 전류값은 그대로 CCR 기능을 수행하고, Ch D에서의 PWM 변조지수만 가변됨을 알 수 있다.

5. 결 론

전력변환 장치 중에서 대표적이라 할 수 있는 인버터 시스템의 각종 부하장치는 제어의 용이성, 고 효율성, 다기능화 및 고 정밀성 등 다양하고도 특수한 전력변환 제어를 요구하면서 그 수요 또한 계속 증대되고 있는 실정이지만 이들의 만족도측면에서는 다소 미흡하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 인버터의 부하장치 중에서 정전류 조정(CCR)을 목적으로 한 항공관제용 조명등의 인버터시스템을 주 테마로 선정하여 제어의 원활성 및 고효율 제어기법을 제시하였으며, 부하의 피드백제어를 원활히 수행할 수 있는 개선된 계측기법을 제안하였다. 기존의 CCR인버터는 레환신호의 계측 제량에 대한 부정확성 및 부하의 외란 등으로 인하여 제어의 비선형성 및 속응성의 문제점이 발생하였으나, 본 논문에서는 정전류조정에 필수적인 전류의 계측을 실효치 이동평균법을 사용하여 응답 속도와 정밀성을 개선하였다.

CCR인버터에서 필요한 정전류 제어기법에서는 보통 직류량의 전기적 신호가 필요하게 되는데, 기존에 사용되었던 실효치 측정방법은 대부분 정류기법에 의존한 하드웨어적 처리기법을 사용하거나 평균적 실효치 기법을 사용하여 제어의 기대치가 미흡하였으나 제안된 방법으로 위의 문제점을 해결할 수 있었다.

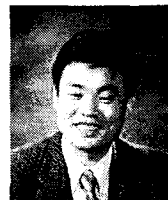
따라서 본 논문에서는 순시적 이동평균기법을 이용한 실효치계산에 의하여 CCR의 기능이 원활히 수행되도록 하였으며, 고효율 스위칭 기법을 이용한 인버터 시스템의 효율향상을 제안하였다. 이러한 개선된 기법을 적용한 CCR인버터의 적용은 UPS와 같은 범용적인 인버터에서도 적용가능하며, 특히 항공관제조명용 CCR인버터 등 각종 조명장치와 유도가열과 같은 전열제어장치 등에도 매우 유용하게 사용되리라 사료된다.

참 고 문 헌

[1] G. O. Gareia et al., "An Efficiency Controller for an Adjustable Speed Induction Motor Drive," IEEE Transactions on Industry Electronics, Vol.41, No.5, pp. 533-539, Oct. 1994.
 [2] Hee-Jong Jeon, Jin-Geun Son, Kuk-Jin Kim, and Jin-Sang Kim. "Adjustable Speed Control of Induction Motor Using On-Line Efficiency Maximization Method." Proc. of ICEE, Vol.2, pp.854-858, August 1996.
 [3] Kanokvate Tungpimolrut and Tadashi Fukao, "Robust Vector Control of Induction Motor without Using Stator and Rotor Circuit Time Constants," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.30, No.5, pp.1241-1246, 1994.

[4] Theodore Wildi "Electrical Machines, Drives and Power System" Ch.21. Simon & Schuster. NJ : Prentice-Hall, 1997.
 [5] Ying-yu Tzou and Shih-Liang Yung, "Full Control of a PWM DC-AC Converter for AC Voltage Regulation", IEEE Trans. Aerospace and Electron. Sys., Vol.34, No.4, pp. 1218-1226, 1998.
 [6] Takao Kawabata and Shigenori Higashino, "Parallel Operation of Voltage Source Inverter", IEEE Trans. Ind. Applicat, vol. 24, no. 2, pp. 281-287, 1988.
 [7] Takeshi Uematsu, Takumi Ikeda, Noriyuki Hirao, and Shigeru Totsuka, "A Study of the High Performance Single Phase UPS", IEEE Power Electronics Specialists Conference, in Proc, IEEE PESC'98, vol.2, pp.1872-1878. 1998.
 [8] D. Mahinda Vilathgamuwa et al, "Voltage Sag Compensation With Energy Optimized Dynamic Voltage Restorer", IEEE Trans., POWER DELIVERY , Vol.18, NO.3, pp.928-936, July 2003.

저 자 소 개



손진근 (孫珍勳)

1990년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1992~1995 현대중공업(주) 중앙연구소 주임연구원. 2002. 2~2003. 2 일본(국립) 가고시마대학 해외 Post-doc. 1997~현재 경원전문대학/경원대학교 전기공학과 부교수.



서일동 (徐一東)

2005년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005. 9~현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정. 현재 (주) 도열산업 대표이사.



전희증 (田喜鍾)

1975년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1977년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1977~1981 공군사관학교 전자공학과 교수부. 1987년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1995년~1996년 Univ. of Victoria. CA. 객원교수. 1983년~현재 숭실대학교 전기공학부 교수