

단일칩 마이크로컨트롤러를 이용한 간단한 디지털 LCD 백라이트 인버터

정강률^{1*}

¹순천향대학교 전자정보공학과

Simple Digital LCD Backlight Inverter using a Single-chip Microcontroller

Gang-Youl Jeong^{1*}

¹Department of Electronic Information Engineering, Soonchunhyang University

요약 본 논문에서는 단일칩 마이크로컨트롤러를 이용하여 구현한 간단한 디지털 LCD 백라이트 인버터를 보고한다. 제안한 인버터는 냉음극형광램프(CCFL)의 점화전압을 감소시키고 전류스파이크를 제거함으로써 점화특성을 향상시켜 CCFL의 수명을 연장시킨다. 이것은 소프트스타팅 기법을 적용한 디지털 디밍제어 알고리즘을 단일칩 마이크로컨트롤러에 구현함으로써 달성하였다. 인버터의 전력구조는 풀브리지 공진형 회로를 이용하였다. 간략한 해석 결과에 따른 설계 예를 제시하였고, 이에 근거하여 구현된 프로토타입의 실험결과는 이론적 해석과 설명이 정확하게 일치함을 보였다. 전체 시스템의 효율은 약 85%였으며, 디밍제어 동작 시에 CCFL의 점화는 전류스파이크가 없이 이루어졌고 점화전압은 기존의 구조에 비해 약 30% 정도 감소하였다.

Abstract This paper presents a simple digital LCD backlight inverter using a single-chip microcontroller. The proposed inverter reduces the ignition voltage and eliminates the current spikes and hence improves the ignition behavior of the cold cathode fluorescent lamp(CCFL). Thus it increases the CCFL's life span. This is achieved by implementing a digital dimming control algorithm, that contains the soft-starting algorithm, all on a single-chip microcontroller. The inverter utilizes the full-bridge resonant circuit topology. The design example along with a simple analysis for the inverter is shown, and the experimental results of the designed prototype results in close agreement with the theoretical analysis and explanation. The overall system's power efficiency is approximately 85%. Compared with conventional inverters, the ignition voltage is reduced by around 30% without any lamp current spike occurring during the dimming control operation.

Key Words : LCD, CCFL, Backlight Inverter, Digital Dimming Control, Soft-starting, Resonant Inverter.

1. 서론

최근 고도 정보화 사회가 급격하게 도래하면서, 평판 디스플레이(FPD; Flat Panel Display)가 각종 전자제품에 광범위하게 이용되고 있다. FPD가 광범위하게 이용되는 중요한 이유 중의 하나는 디스플레이 장치가 가볍고 평평하고 얇은 특징을 가지고 있기 때문이다. 그런데 이러한 FPD 중에서 현재 가장 널리 이용되고 있는 것이 바로 LCD(Liquid Crystal Display)이다. LCD는 비자발광

(non-emissive) 소자이므로 별도의 광원부를 가지고 있어야 하는데 이 광원부를 백라이트 유니트(backlight unit, BLU)라 부른다. BLU는 LCD 기술에서 액정패널에 백색 광을 공급해 주는 중요한 요소이고, 이것의 동작 특성은 LCD의 화질을 결정하는 중요한 요소가 된다. BLU는 LCD를 이용하는 다양한 전자제품에서 채택되는데, 그 대표적인 예에는 LCD TV나 모니터 또는 PDA(Personal Digital Assistant), GPS(Global Positioning System)와 같은 다양한 휴대용 장치 등이 있다. 특별히 냉음극형광램

*교신저자 : 정강률(gangyoul@sch.ac.kr)

접수일 09년 08월 11일

수정일 (1차 09년 11월 24일, 2차 10년 01월 20일)

게재확정일 10년 02월 24일

프(cold cathode fluorescent lamp, CCFL)을 BLU의 광원으로 사용하는 LCD는 디스플레이의 화질, 크기, 효율 등의 디스플레이 장치의 필수적인 요구사항을 잘 만족한다. 제작비용, 효율 및 휘도균일성 등의 측면에서 볼 때, 현재 CCFL은 면적이 다소 큰 LCD용 광원으로써도 최상의 선택이라고 할 수 있다.[1,2,12]

LCD 백라이트 인버터(inverter)는 CCFL을 구동하기 위하여 전력을 공급하는 장치이다. LCD 백라이트 인버터는 전력단의 구조에 따라 크게 두 개의 형태로 구분할 수 있다. 그 중 하나의 형태는 2단 전력구조의 전류페드 푸쉬풀 병렬공진 인버터(CF-PPRI; Current-Fed Push-pull Parallel Resonant Inverter)이고, 또 다른 하나의 형태는 단일단 전력구조의 풀브리지 병렬공진 인버터(FB-PRI; Full-Bridge Parallel Resonant Inverter)이다.

CCFL과 같은 가스방전램프 구동 시스템의 특성을 향상시키고 디밍제어(dimming control), 최대효율추적, 보호회로 등과 같이 시스템에 필요한 기능을 확대하기 위하여, 많은 회로구조와 제어기법들이 제안되었다.[3][4][13] 근래에 들어서는 듀티비(duty ratio) 제어, 주파수 제어, 전압 제어 등과 같은 주요한 제어기법들이 가스방전램프의 디밍제어를 위해 이용되고 있다.[5]-[8] 듀티비 제어기법은 램프의 전류를 쉽게 제어할 수는 장점은 있으나, 그 결과로 발생하는 램프전류의 비대칭성과 빈약한 램프전류 첨예도(Crest Factor)로 인하여 램프의 변색현상을 유발하는 단점이 있다.[5] 주파수 제어법은 가장 널리 이용되는 램프전류 제어기법이다.[9] 그러나 제어되는 디밍영역이 스위칭 주파수 이하로 제한되고, 더 나아가 전주파수 영역에서 소프트스위칭을 쉽게 달성할 수 없는 단점을 가진다. 전압 제어법은 좋은 디밍특성을 보이는 기법이기도 하나, 제어회로가 실용적인 저전력 응용에 대해서는 너무 복잡한 단점을 가진다.[4]

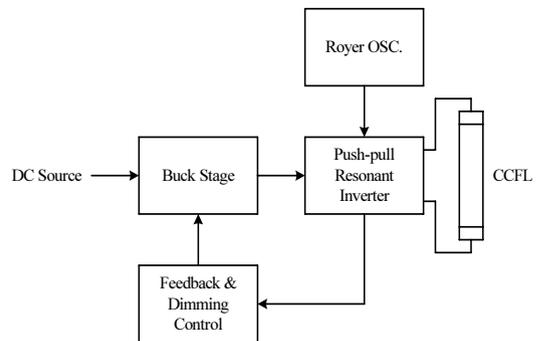
최근 들어 많이 이용되는 디지털 디밍제어 기법은 저주파수로 램프를 주기적으로 재점화하는 방식인데, 디밍영역을 기존의 디밍제어 기법보다 더 확대할 수 있는 장점을 가지는 제어 기법이다. 그러나 램프를 주기적으로 재점화하므로, 그 때마다 전류스파이크가 발생하고 이것에 의해 램프 수명이 단축되는 단점을 가진다. 그러므로 디지털 디밍 제어의 장점을 살리면서도 램프의 수명을 연장시키기 위해서는 적절한 제어기법을 이용하여 전류스파이크를 감소시켜야 한다.

본 논문에서는 단일단 LCD 백라이트 인버터 시스템에서 전류스파이크를 억제하기 위하여 새로운 디지털 디밍제어 기법을 적용한 간단한 디지털 LCD 백라이트 인버터가 제안된다. 새로운 디지털 디밍제어 기법은 단일칩 마이크로컨트롤러를 이용하여 구현되고, 소프트스타팅

기법을 적용하며, 시스템 안정도 향상을 위하여 피드백 회로를 포함한다. 프로토타입을 제작하고 실험하였는데, 약 85% 정도의 효율을 나타내었으며, 디밍제어 동작 시에 어떠한 램프 전류스파이크도 없이 램프는 점화 되었고, 램프 점화전압은 기존의 제어기법에 비해 약 30% 정도 감소되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2절에서는 단일단 LCD 백라이트 인버터를 설명하고, 3절에서는 새로운 디지털 디밍제어기에 대해서, 그리고 4절에서는 인버터 전력회로의 설계를 설명한다. 또한 5절에서는 디지털 LCD 백라이트 인버터의 구현과 실험결과를 설명하고, 마지막으로 6절에서는 결론을 맺는다.

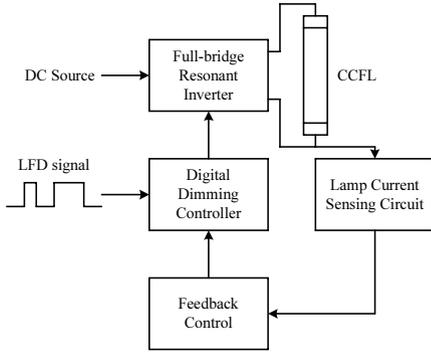
2. 단일단 LCD 백라이트 인버터



[그림 1] 전형적인 2단 CCFL 백라이트 구동시스템의 블록 다이어그램

그림 1은 전형적인 저가형 저전력 2단 전력구조의 LCD 백라이트 구동시스템을 보인다. 이 시스템은 벡(buck, 강압) 단과 CF-PPRI를 포함하는데,[2] 이러한 구동시스템은 전압원인버터에 비하여 낮은 전류고조파를 가지며 전력반도체스위치 구동회로에서의 절연이 필요 없고,[5,10] 플로팅 램프 구조와 1차측 디밍제어를 이용하여 기생캐패시턴스로부터 기인되는 누설전류의 감소 등의 장점을 가진다.[5,6] 그러나 이 전력구조는 2단 전력구조로 인하여 기존의 전통적인 CCFL 구동 회로에 비하여 단지 5% 정도의 전력효율 향상만이 가능하다.

그림 2는 본 논문에서 제안된 단일단 전력구조의 LCD 백라이트 구동시스템을 보이는데, 이 구조가 바로 LCD 백라이트 모듈의 디밍능력을 극대화하는데 가장 좋은 방법이라고 할 수 있다.



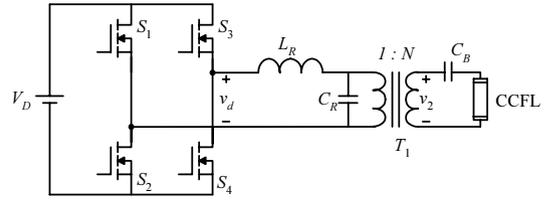
[그림 2] 제안된 단일단 전력구조의 LCD 백라이트 구동시스템

그림 3 (a)는 단일단 전력구조를 가진 LCD 백라이트 풀브리지 공진형 인버터 회로를 보인다. 이 인버터 회로는 초크인덕터 L_R , 공진캐패시터 C_R , 발라스트 캐패시터 C_B 및 4개의 교번 전력스위치 $S_1 \sim S_4$ 로 구성된다. 또한 이 회로에서 부스트(boost, 승압) 변압기 T_1 은 CCFL을 구동하는 정현파 전압을 발생시킨다.

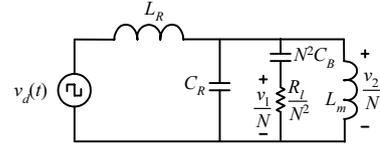
그림 3 (b)는 그림 3 (a)의 등가회로를 보인다. 여기서 L_R , T_1 의 자화인덕턴스 L_m , C_R 과 T_1 의 1차측으로 반영된 2차측의 임피던스는 공진탱크를 구성하는데, 1차측으로 반영된 2차측의 임피던스는 발라스트 캐패시터 C_B , 램프 임피던스 및 기생캐패시턴스를 포함한다. 그림 3 (b)에서는 회로 모델을 간략화하기 위하여 기생캐패시턴스는 무시하고 CCFL은 R_l 로 대체된다. CCFL은 점화 후에는 부성 동적 임피던스(negative dynamic impedance) 특성을 가지기 때문에 램프의 전류를 안정화하기 위하여 C_B 가 필요하다.[5] CCFL의 비선형성을 감소시키기 위하여 C_B 의 리액턴스는 CCFL의 임피던스보다 더 크도록 하여야 한다. 그림 3 (b)로부터 v_d 에 대한 램프전압 v_l 의 전달함수와 전달함수의 크기는 정현파 근사화를 통하여 다음과 같이 각각 구할 수 있다.

$$\frac{v_l(j\omega)}{v_d(j\omega)} = \frac{NL_m}{L_m + L_R} \times \frac{j\omega C_B R_l}{1 - \omega^2 L(N^2 C_B + C_R) + j\omega(C_B R_l - \omega^2 C_R C_B L R_l)} \quad (1)$$

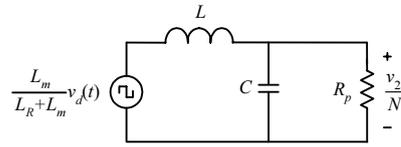
$$\left| \frac{v_l(j\omega)}{v_d(j\omega)} \right| = \frac{NL_m}{L_m + L_R} \times \frac{\omega C_B R_l}{\sqrt{[1 - \omega^2 L(N^2 C_B + C_R)]^2 + [\omega(C_B R_l - \omega^2 C_R C_B L R_l)]^2}} \quad (2)$$



(a) 풀브리지 공진형 인버터 회로



(b) 등가회로



(c) 간략화 등가회로

[그림 3] LCD 백라이트 인버터의 회로구조

식 (2)로부터 v_l 이 입력전압, 동작주파수, 램프특성(R_l), 변압기특성(L_m 과 N) 및 공진탱크 요소(L_R 과 C_R)와 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

그림 3 (c)는 그림 3 (b)의 간략화 회로를 나타낸 것으로, 여기에서 v_d 에 대한 2차측 전압 v_2 와의 전달함수는 다음과 같이 얻어진다.

$$\frac{v_2(j\omega)}{v_d(j\omega)} = \frac{NL_m}{L_m + L_R} \frac{R_p}{R_p(1 - \omega^2 LC) + j\omega L} \quad (3)$$

회로의 공진주파수 f_r 은 다음에 의해서 얻어진다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (4)$$

여기서

$$\begin{aligned} L &= \frac{L_m L_R}{L_m + L_R} \\ C &= C_R + C_p \\ C_p &= \frac{N^2 C_B}{1 + \omega^2 C_B^2 R_l^2} \\ R_p &= \frac{1}{N^2} \left(R_l + \frac{1}{\omega^2 C_B^2 R_l} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

이다. CCFL의 정상적인 기동 조건을 담보하기 위하여, T_1 의 최소 턴비 N 은 가장 낮은 입력전압 $V_{D,min}$ 과 기동전압 $V_{start,min}$ 을 이용하여 정현파 근사화에 의해 다음과 같이 결정된다.[11]

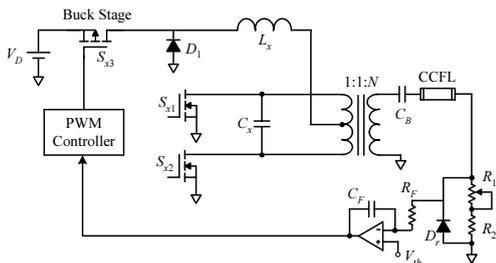
$$N = \frac{N_s}{N_p} \geq \frac{\sqrt{2} V_{start,min}}{\frac{4}{\pi} V_{D,min}} \quad (6)$$

여기서 N_p 와 N_s 는 각각 T_1 의 1차측과 2차측의 턴수이다.

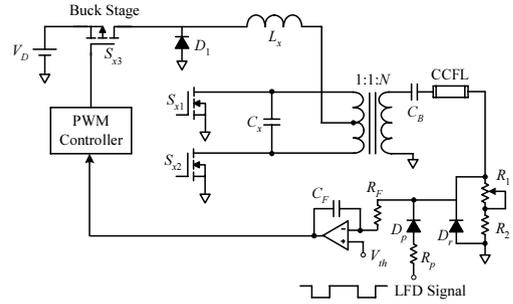
3. 새로운 디지털 디밍제어기

그림 4 (a)에 보인 전통적인 아날로그 디밍제어 회로는 가변저항 R_1 을 조절함으로써 피드백회로를 이용하여 램프의 휘도를 제어한다. 다이오드 D , 양단의 전압은 램프전류에 비례한다. 그런데 이 회로의 단점은 램프전류 비례의 비선형성과 낮은 전력효율이다. 특별히 전력효율은 낮은 레벨의 휘도 조건 하에서 더욱 낮게 된다.

그림 4 (b)는 그림 4 (a)와 비교를 하기 위하여 도시된 전통적인 디지털 디밍제어 회로이다. 디지털 디밍제어는 저주파 디밍(LFD; Low Frequency Dimming) 게이팅 신호에 의해 램프의 턴온과 턴오프 기간을 제어함으로써 램프의 휘도를 제어하는 제어기법으로, 게이팅 신호의 듀티비에 비례하여 램프의 평균 휘도를 제어한다. 그러나 이 제어기법은 그림 5에 나타낸 바와 같이 디밍동작 동안 전류스파이크에 의해 CCFL이 반복적으로 충격을 받으며 턴온됨에 따라 램프의 수명이 단축되는 단점이 있다. 그리고 심지어 어떤 경우에는 반복되는 이 전류스파이크가 부스트 변압기에 성가신 소리를 발생시키기도 한다. 그러므로 점화전압을 감소시키고 전류스파이크를 제거하기 위한 새로운 디지털 디밍제어 기법이 필요한데, 본 논문에서는 이것을 단일칩 마이크로컨트롤러를 이용하여 간단하게 구현한다.

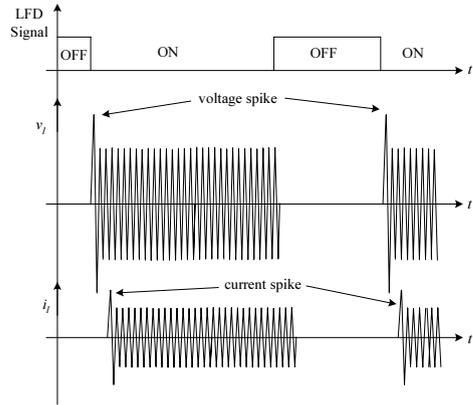


(a) 전통적인 아날로그 디밍제어 회로



(b) LFD 신호를 이용한 디지털 디밍제어 회로

[그림 4] 전통적인 아날로그 디밍제어 회로와 디지털 디밍제어 회로



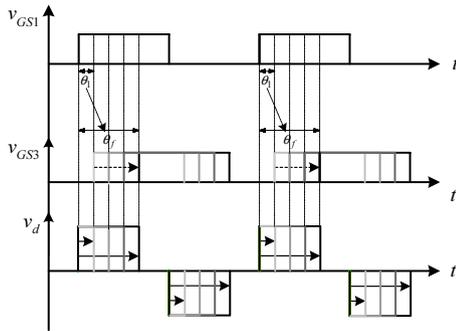
[그림 5] 전통적인 디지털 디밍제어 회로에 의한 램프전압 v_L 과 램프전류 i_L

그림 6은 디지털 디밍제어에서 소프트스타팅이 적용된 램프제어 기법과 하드스타팅(hard starting)이 적용된 전통적인 램프점화 기법을 비교하는 이론적 파형이다. 여기에서 v_{GS1} 과 v_{GS3} 는 각각 그림 3 (a)의 풀브리지 공진형 인버터의 전력반도체 스위치 MOSFET S_1 과 S_3 의 게이트-소스 드라이브 신호 전압이다. 그림 6 (a)의 소프트스타팅에 의한 램프점화는 두 게이트 신호간의 위상차를 최소로 하여 서서히 점화하기 시작함으로써 실제로 램프의 초기 점화전압을 감소시키고 나아가 램프의 전류스파이크를 제거한다. 반면, 그림 6 (b)의 하드스타팅에 의한 램프점화는 점화초기에 두 게이트 신호 간의 위상차가 최대가 되기 때문에 실제로 최대 전압이 램프에 걸리게 되어 램프 초기 점화전압이 커서 그림 5에서와 같은 전류스파이크가 발생하게 된다. 그림 7은 소프트스타팅과 하드스타팅의 개념을 요약적으로 비교하는 비교 그래프이다. 소프트스타팅은 초기에 계산된 최소 위상차로 CCFL을 점화하므로 보통의 램프동작 전압(v_{normal})로 점

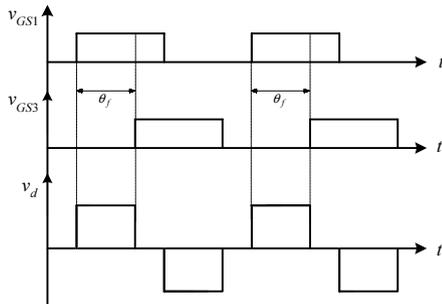
화되어 전류스파이크가 없이 보통의 동작점에서 동작하기 시작한 후 안정되어 보통 상태에서도 계속적으로 동작한다. 그러나 하드스타팅의 경우에는 제어기의 본질적인 기능으로 인해 처음부터 최대 위상차의 스파이크전압 (v_{spike})으로 램프를 점화할 수밖에 없고, 따라서 전류스파이크와 함께 램프가 점화된 후 안정되어 보통의 동작점으로 와서 램프를 구동시킨다.

그림 8에 나타낸 바와 같이, 제한된 소프트스타팅을 가진 디지털 디밍제어기는 소프트스타팅 기간 판단기 (SPD; Soft-starting Period Decider), 소프트스타팅 위상차 오픈루프 제어기(SPOC; Soft-starting Phase-difference Open-loop Controller), 전류제어기(CC; Current controller), 전력반도체스위치 MOSFET 게이트 드라이버로 구성된다.

이 제어기에서 SPD는 램프제어기가 소프트스타팅을 하기 위하여 주파수 디밍제어의 턴온기간의 초기에 해당하는 지를 마이크로컨트롤러의 타이머에 의해 판단하는 소프트웨어 알고리즘이다. 이로써 SPOC와 CC의 두 제어기 중 한 제어기를 선택하여 동작하도록 한다. 디밍제어의 온듀티 초기에는 오픈루프제어를 실시하고, 온듀티 초기를 지나 보통동작을 할 때에는 일반적인 전류제어를 실시한다.

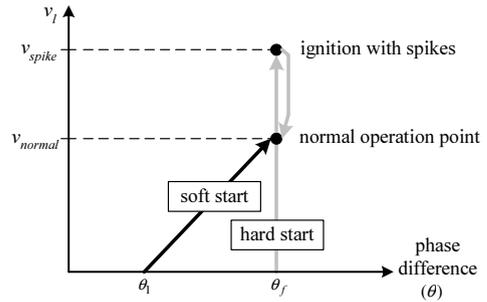


(a) 소프트스타팅에 의한 램프 점화



(b) 하드스타팅에 의한 램프 점화

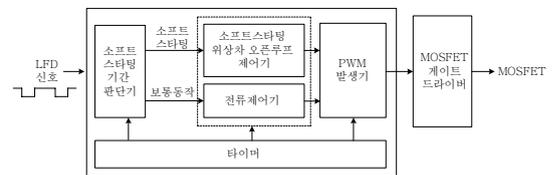
[그림 6] 각 램프 점화 방식의 이론적 파형



[그림 7] 소프트스타팅과 하드스타팅의 개념비교

SPOC는 미리 설정되는 소프트스타팅 기간 동안, 그림 6 (a)와 같이, 피드백 전류와 상관없이 MOSFET 게이팅 위상차를 최소 전이량에서 단위시간당(타이머인터럽트 시간당) 일정량씩 서서히 확대함으로써 램프에 대해 급격한 전압인가를 방지한다. 이렇게 하여 램프 전류가 어느 정도 빌드업(build-up) 된 후 전류제어기가 동작하도록 함으로써 램프 턴온의 초기에 점화 전압을 감소시키며 이에 따라 램프 초기 전류스파이크도 제거한다.

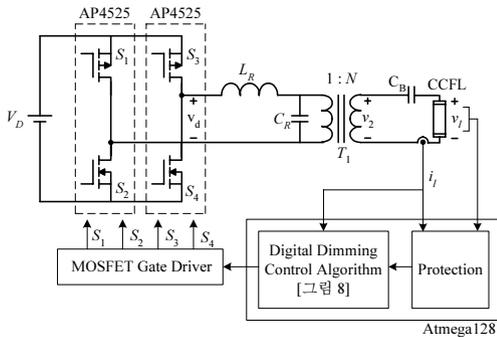
각각의 경우에 따라 SPOC와 CC가 선택되고 난 뒤, 각 제어기에서 계산된 결과값은 PWM 발생기에 주어져서 MOSFET 드라이브를 위한 PWM 신호를 발생시킨다. 이것은 다시 MOSFET 게이트 드라이버에 주어지고 드라이버를 통과한 PWM MOSFET 게이트 신호는 MOSFET을 드라이브하게 된다.



[그림 8] 소프트스타팅이 적용된 제한된 디지털 디밍제어 알고리즘

4. 인버터 전력회로의 설계

CCFL은 본질적으로 비선형부하이며 길이, 직경, 구조 등에 의해 특징지어지는 가스방전램프이다. CCFL을 위한 가장 좋은 램프 전류의 형태는 EMI (Electromagnetic Interference)를 감소시키고 효율이 향상되는 첨예도 1.414를 잘 유지할 수 있는 정현파이다.[5]



[그림 9] 제안된 디지털 LCD 백라이트 인버터의 제어 블록다이어그램

그림 9는 제안한 디지털 LCD 백라이트 인버터의 제어 블록다이어그램을 보인다. 또한 다음은 제안된 제어기법에 근거하여 디지털 디밍제어가 적용되는 저전력의 LCD 모니터용 프로토타입 단일단 LCD 백라이트 인버터를 설계한 예이다.

15인치급 LCD 모니터의 램프전압 $1000V_{rms}$, 램프전류 $10mA$ 의 CCFL 3개를 가진 30W급 백라이트 인버터를 설계한다. 각 램프의 기동전압은 램프 동작주파수 $50 \sim 90kHz$ 에서 $1500V_{ms}$ 이다. 권선비 N , 자화인덕턴스 L_m , 공진인덕터 L_r , 공진캐패시터 C_r , 발라스트 캐패시터 C_b 를 다음과 같이 선정한다.

턴비 $N(N=N_s/N_p)$ 은 식 (6)을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$N \geq \frac{\sqrt{2} V_{start,rms}}{\frac{4}{\pi} \times 12} = \frac{1500 \sqrt{2}}{\frac{4}{\pi} \times 12} = 139 \quad (7)$$

식 (7)로부터 실제 턴비 N 은 150으로 선정하고, 램프 초기동작 시 램프의 상태 및 동작주파수 $f=58kHz$ 를 고려하여 $L_m=15\mu H$, $C_b=0.1\mu F$, $R_f=v/i=100k\Omega$,으로 선정한다. 그리고 보통동작 모드에서의 전압전달비의 크기는 식 (6)의 $v_{start,rms}$ 를 v_l 로 대체하여 다음과 같이 얻는다.

$$\left| \frac{v_l(j\omega)}{v_d(j\omega)} \right| = \frac{1000 \sqrt{2}}{\frac{4}{\pi} \times 12} = 93 \quad (8)$$

식 (4)에 의해 동작주파수를 다음의 식 (9)와 같이 계산할 수 있으며, 이를 이용하여 공진요소 L_r 과 C_r 은 식 (8)과 함께 계산하여 쉽게 설계치를 설정할 수 있다.

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\left(\frac{L_m L_r}{L_m + L_r} \right) (C_r + C_b)}} = 58kHz \quad (9)$$

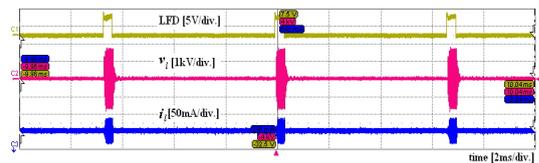
그리하여 표준 사양치에 가깝도록 L_r 과 C_r 의 파라미터 값을 $L_r=15\mu H$, $C_r=1\mu F$ 로 설정한다.

전력반도체스위치 MOSFET은 N-채널과 P-채널의 MOSFET이 한 패키지 안에 있어서 레그당 1개씩의 MOSFET 패키지를 사용할 수 있기 때문에 MOSFET 패키지 2개로 간편하게 모든 풀브리지 인버터 스위치부를 구성할 수 있는 Advanced Power Electronics사의 AP4525를 사용하였다.

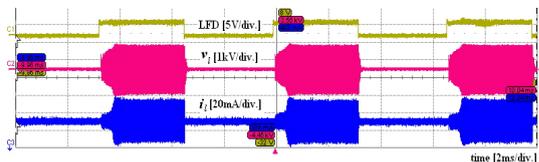
5. 디지털 LCD 백라이트 인버터의 구현과 실험결과

이상에서 설명된 내용과 그림 8을 토대로 프로토타입 디지털 LCD 백라이트 인버터를 그림 9와 같이 구현하였다. 전력회로의 각 파라미터는 4절에서 선정된 파라미터를 사용하였고, 3절에서 설명된 디지털 디밍제어의 알고리즘은 제안된 인버터의 주제어기인 Atmel사의 8비트 단일칩 마이크로컨트롤러 Atmega128을 이용하여 구현되었다.

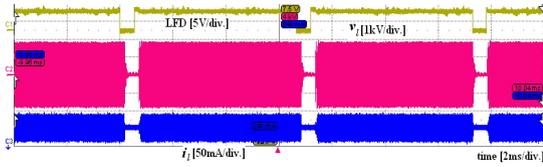
제안된 디지털 디밍제어의 저주파 디밍제어의 디밍주파수는 LCD 모니터 또는 TV 등에서 일반적으로 이용되고 있는 150Hz로 설정하였다. 그리고 디지털 디밍제어기에 외부에서 저주파 디밍제어의 주파수와 소프트스타팅 시간을 백라이트의 특성에 따라 디지털 디밍제어기에 쉽게 적용할 수 있도록 하기 위하여 마이크로컨트롤러의 AD변환기 입력단자에 가변저항을 접속하여 외부에서 전압명령치(voltage command)로 쉽게 입력할 수 있도록 하였다. 이렇게 함으로써 구현된 시스템의 유연성을 향상시켜서 적용 백라이트의 특성을 임의적으로 향상시킬 수 있게 하였다.



(a) 10% 디밍



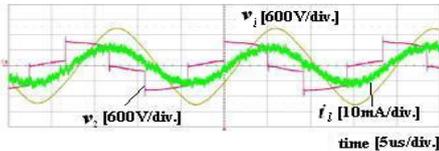
(b) 50% 디밍



(c) 90% 디밍

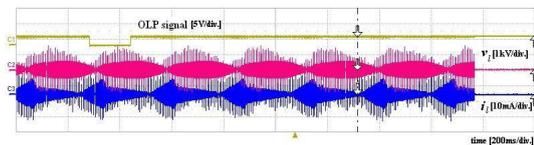
[그림 10] 프로토타입 인버터의 정상상태 동작 파형

그림 10은 프로토타입 인버터의 디지털 디밍제어의 동작 상태를 보여준다. 그림 10 (a)-(c)는 각각 램프의 디밍 턴온비(온듀티)가 각각 10%, 50%, 90%일 때의 램프 전압과 램프전류를 보이는 것이다. 각 디밍레벨에 있어서 각 동작 파형은 전술한 이론적인 내용과 정확하게 일치함을 볼 수 있다. 제어기의 제어기법이 효과적으로 동작하여 램프 점화를 소프트스타팅하게 하므로, 램프의 초기 점화전압을 감소시키며 이에 따라 전류스파이크도 제거되었음을 볼 수 있다. 기존에 일반적으로 이용되는 15인치급 LCD 모니터의 CCFL BLU들의 점화전압은 평균적으로 약 1.8kV로 측정되었는데 반해, 프로토타입 인버터의 점화전압은 약 1.2kV로 기존 구조에 비해 약 30% 정도 감소되었다.



[그림 11] 프로토타입 인버터의 정상상태 100% 디밍제어 동작 시의 램프전압, 램프전류 및 변압기 2차측 전압의 미세파형

그림 11은 프로토타입 인버터의 정상상태 100% 디밍 제어 동작시의 램프전압, 램프전류 및 변압기 2차측 전압의 미세파형이다. 램프전압과 램프전류가 정현파적으로 출력되고 변압기 2차측 전압은 구형파 형태가 정확하게 출력되므로 인버터의 전력회로 부분이 잘 설계되었음을 알 수 있다.

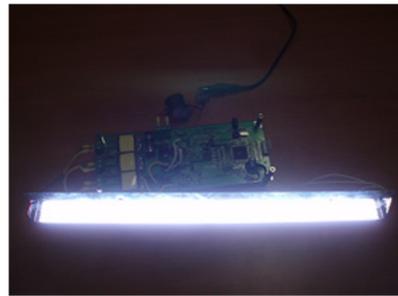


[그림 12] CCFL 램프 개방 시의 보호 알고리즘 동작 파형

그림 12는 CCFL 램프 개방 시의 보호 알고리즘(Open Lamp Protection, OLP)의 동작을 보이는 파형이다. OLP

신호를 제안된 인버터가 감지하게 되면, 약 1초 뒤에 제어기의 동작을 중지하도록 하였다. 이 보호 기능은 CCFL 백라이트 인버터의 필수적 기능으로 인버터를 보호하고 사람의 안전을 담보하는 기능이다.

그림 13은 프로토타입 인버터의 실제 모습과 그 동작 모습을 보인다. 이것으로부터 제안된 인버터는 작게 효과적으로 구현될 수 있으며 각 CCFL의 동작상태는 한 쪽 CCFL로의 전류 쏠림 현상이 없이 램프가 균일하게 켜지고 있음을 알 수 있다. 실제 LCD 모니터를 채용하여 실험해 본 결과, 휘도는 약 250cd/m²이었으며 명암비는 약 300:1 정도였다. 이것은 현재 시판되고 있는 일반적인 15인치급 LCD 모니터의 CCFL BLU 성능과 거의 유사한 것이다.



(a) 프로토타입 인버터의 회로기판과 CCFL의 동작



(b) 프로토타입 인버터에 의해 동작하는 BLU의 모습

[그림 13] 프로토타입 LCD 백라이트 인버터의 실제 모습과 그 동작 모습

표 1은 구현된 프로토타입 인버터의 인버터 제어회로와 아날로그 개별(discrete) 부품과 전용 드라이브 IC로 제작된 인버터 회로 간의 관련된 제어 주요 부품만의 단가 비교표이다. 각 인버터의 전력회로는 양측에 있어서 동일하게 이용되기 때문에 단가가 같으므로 비교의 의미가 없어서 제시하지 않았다. 제안된 인버터 회로의 경우에는 단일칩 마이크로컨트롤러를 이용하기 때문에 적용 드라이브 IC의 경우에 비해 제작 단가가 40% 정도 더 저렴함을 알 수 있다. 이것은 제안된 인버터가 산업에서 가

격 경쟁력이 있음을 보여주는 것으로, 제안된 인버터가 실제 산업 현장에서도 제작 단가 측면에서 매우 우수한 제품이 될 수 있음을 보이는 것이다.

【표 1】 인버터 제어 주요 부품의 제작 단가 비교
(단위: 원, 업체: ICBank)

회로	경우	전용 드라이브 IC	구현된 제어기
주제어기		9,500	6,000
증폭회로		1,000	.
부가회로(R, L, C)		1,000	500
합 계		11,500	6,500

6. 결론

본 논문에서는 단일칩 마이크로컨트롤러를 이용한 간단한 디지털 LCD 백라이트 인버터가 제안되어 구현되었다. 제안된 인버터는 CCFL의 점화전압을 감소시키고 전류스파이크를 제거하여 CCFL의 점화 특성을 향상시키므로써 CCFL의 수명을 연장할 수 있다. 이것은 디지털 디밍제어에 적용된 소프트스타팅 기법에 의한 것이며, 본 논문에서는 인버터에 Atmel사의 Atmega128 8비트 단일 칩 마이크로컨트롤러의 사용과 풀브리지 공진형 인버터 전력구조를 적용하여 구현하였다. 간략한 해석 결과에 따라 설계 예가 제시되었고, 이에 따라 제작된 프로토타입의 실험결과는 이론적 설명과 해석이 정확함을 보였다. 전체 시스템의 효율은 약 85%였으며, 디밍제어 동작 시에 CCFL의 점화는 전류스파이크가 없이 이루어졌고 점화전압은 기존의 구조에 비해 약 30% 정도 감소하였다.

참고문헌

[1] Y. L. Lin and A. F. Witulski, "Analysis and design of current-fed push-pull resonant inverters-cold cathode fluorescent lamp drivers", in Proc. IEEE IAS Annu. Meeting, pp. 2149-2152, 1996.

[2] M. Jordan and J. A. O'Connor, "Resonant fluorescent lamp converter provides efficient and compact solution", in Proc. APEC, pp. 424-431, 1993.

[3] G. H. Kweon, Y. C. Lim, and S. H. Yang, "An analysis of the backlight inverter by topology", in Proc. IEEE ISIE, pp. 447-453, 2001.

[4] S. Y. Ron Hui, L. M. Lee, H. S. Chung, and Y. K. Ho, "An electronic ballast with wide dimming range,

high PF, and low EMI", IEEE Trans. Power Electron., vol. 16, no. 4, pp. 465-472, July 2001.

[5] M. S. Lin et al., "A cold-cathode fluorescent lamp driver circuit with synchronous primary-side dimming control", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 45, no. 2, pp. 249-255, Apr. 1998.

[6] G. C. Hsieh, C. H. Lin, C. H. Lin, and H. I. Hsieh, "Primary-side charge-pump dimming controller for the cold-cathode fluorescent lamp ballast", in Proc. IEEE TENCON Conf., vol. 2, pp. 717-723, 2001.

[7] J. A. Donahue and M. M. jovanovic, "The LEE inverter as a cold cathode fluorescent lamp driver", in Proc. IEEE APEC Conf., pp. 427-433, 1994.

[8] S. W. Lee, D. Y. Ko, D. Y. Huh, and Y. I. Yoo, "Simplified control technique for LCD backlight inverter systems using the mixed dimming method", in Proc. APEC Conf., pp. 447-453, 2001.

[9] F. Raiser, "Problem with lamp current using a PWM signal", in Proc. IEEE IAS Conf., vol. 1, pp. 499-503, 2001.

[10] M. Matsuo, T. Suetsugu, S. Mori, and I. Sasase, "Class DE current-source parallel resonant inverter", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 46, no. 2, pp. 242-248, Apr. 1999.

[11] G. C. Hsieh and C. H. Lin, "Modeling and estimation of the fluorescent lamp and its pre-heating control", J. Light Vis. Environ., vol. 23, no. 1, pp. 1-9, Jun. 1999.

[12] 황락훈, "압전 변압기 특성을 이용한 35W급(T5급) 형광등용 안정기 구동에 관한 연구", 한국산학기술학회논문지, vol 9, no. 3, pp. 638-644, 2008.

[13] 백진열, 이인태, 오성권, 장성환, "퍼지추론방법에 의한 형광등의 디밍 제어에 관한 연구", 한국산학기술학회논문지, vol. 9, no. 4, pp. 911-917, 2008.

정 강 루(Gang-Youl Jeong)

[정회원]



- 1997년 2월 : 영남대학교 전기공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : POSTECH 전자전기공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 : POSTECH 전자전기공학과 (공학박사, 박사후 연구원)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전자정보공학과 부교수

<관심분야>

고급전원장치, 신재생에너지 전원장치, 전동기제어