

항공기 디스플레이용 LED Backlight의 광대역 Dimming Controller 구현

임수현*, 임정규*, 신휘범*, 정세교*, 신민재**, 손승걸**
 경상대학교 전기전자공학부*, 국방과학연구소**

Implementation of Wide-Range Dimming Controller of LED Backlight for Avionics Displays

S.H. Lim*, J.G. Lim*, H.B. Shin*, S.K. Chung*, M.J. Shin**, S.G. Sohn**
 Gyeongsang National University*, Agency for Defense Development**

ABSTRACT

This paper describes an implementation of a wide-range dimming controller of a LED backlight for Avionics applications such as the control data unit(CDU) and multi-function display(MFD). A feedback controller using a light sensor is proposed to control the brightness in the low dimming range. The proposed controller provides an improved control performance in the wide dimming range of 1:3000 even under the temperature variations. The experimental results are provided to show the effectiveness of the proposed control system.

1. 서 론

최근 항공전자 (Avionics) 기술의 급속한 발전에 따라 항공기 조종석에 표시되는 다양한 정보들이 몇 개의 대형 디스플레이 장치에 통합되는 추세이다. 현재 개발되고 있는 항공기 조종석에 적용되는 통제시현장치 (Control Data Unit; CDU)와 다기능시현장치 (Multi-function Display; MFD)에는 대부분 LCD가 디스플레이 장치로 사용되고 있다. LCD는 기존에 사용되던 CRT에 비해 명암 비(Contrast Ratio)가 크고, 크기, 무게, 전력 소모, 방열 등에 큰 장점을 가지고 있어 CRT를 대체하고 있다.^[1]

항공기 디스플레이 장치는 고효율, 긴 수명, 고 휘도가 필요하다. 또 외부의 자연광에 노출되어 사용되기 때문에 주간 태양광 아래에서는 약 150fL 이상의 고 휘도 디스플레이가 가능해야 하며 야간에 Night Vision Goggle(NVG) 착용 시에는 0.05fL 정도의 디스플레이가 가능해야 한다. 따라서 이러한 조건의 만족을 위해서는 3000:1 이상의 광대역 Dimming 제어가 필요하다.

LED는 저 전력으로 고 휘도를 구현할 수 있고 크기에 비해 경량이다. 그리고 긴 수명과 빠른 기동특성을 가지고 있어 LCD의 Backlight 적용에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 LED는 전류나 온도변화에 따라 색도 및 휘도가 변하는 단점이 있다.^[2] 이러한 점은 광범위한 영역에서 휘도제어가 필요한 항공기 디스플레이에서는 매우 중요한 문제이다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 LED Backlight를 피드백(Feedback) 하여 0.05-150fL(1:3000)의 광대역에서 휘도제어가 가능한 제어시스템을 설계 및 제작하였다. 그리고 항공기 CDU용 Backlight에 대한 실험을 통하여 타당성을 입증하였다.

2. LED Backlight 구현

2.1 시스템 구성

그림 1은 제안된 LED Backlight 휘도 제어 시스템의 구성을 나타낸 그림이다. TMS320F2812 DSP를 사용해 전체 시스템을 제어했다. LED 구동회로는 벡 컨버터를 사용하였다. 그리고 LED의 전류변화 특성에 따른 색도 변화를 감소시키기 위해 LED 구동회로는 전류제어를 통해 LED에 정 전류를 입력하도록 구현했다. LED 구동회로의 정 전류 제어가 가능하도록 Reference(V_{ref})는 DSP의 SPI 통신과 D/A 컨버터를 이용해 입력하였다. LED 구동회로의 출력 단에는 LED 부하와 Dimming 제어 스위치를 연결하였다. 그리고 DSP의 PWM 신호로 이 스위치를 on/off 시켜 LED를 Dimming 제어 하였다.

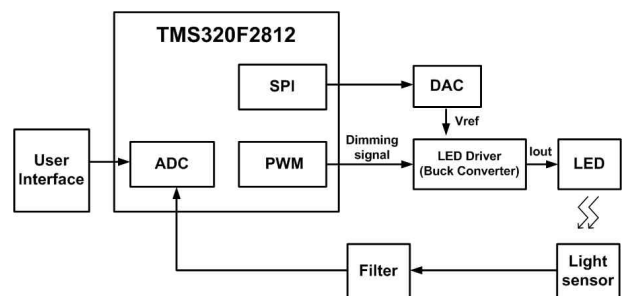


그림 1 시스템 구성도
 Fig. 1 Construction of system

LED Backlight Unit은 White LED를 사용했고 Unit의 구성 형태는 도광판(Light Guide Plate)을 가진 사이드형으로 구성되어 있다.^[3] LED의 구성은 3개의 직렬이고 가로측은 48개, 세로측은 33개의 병렬로 구성되어 있다.

Dimming Controller를 구현하기 위해 광센서를 사용하여 LED에서 방사되는 빛의 세기값을 센싱한다. 이를 2차 필터를 통해 DC값으로 변환하고 이 값을 A/D Converter에 입력하여 Feedback Controller를 구현했다.

2.2 LED 구동회로

그림 2는 본 논문에서 사용한 벡 컨버터 타입의 LED 구동회로를 나타내고 있다. 이 벡 컨버터는 Linear Technology 사의 LTC3475 칩이다. 이 벡 컨버터 회로는 구동스위치(SW1)의 스위칭에 의해 구동된다. 그리고 LED의 전류변화에 따른 휘도 감

소 문제를 해결하기 위해 전류제어를 통해 고정 전류를 출력한다. 또한 백 컨버터의 출력단에는 LED와 Dimming 제어를 하기 위한 스위치(SW2)가 있다. 이 스위치를 on/off 하여 Dimming 제어를 하게 된다.

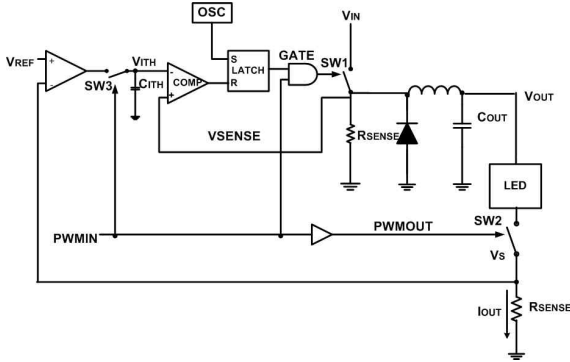


그림 2 구현된 LED 구동회로
Fig. 2 Implemented LED drive circuit

Dimming 제어 주파수를 100Hz로 선정 하면, 10ms 주기에서 최고 Dimming 제어 범위가 3000:1 이므로 최소 스위치 on 시간은 3.3us이다. LED 구동회로의 스위칭 주기는 이시간 보다 더 빨라야 광대역 Dimming 제어 순간에도 안정하게 제어할 수 있다. 3.3us는 300KHz의 스위칭 주파수의 주기와 같다. 따라서 LED 구동회로는 이보다 더 고속의 스위칭 주파수가 필요하고 본 논문에서는 1MHz를 선정했다. 그리고 Dimming 제어 주파수는 100Hz를 선정했다. LED 구동회로의 설계 식은 다음과 같다.

$$V_{o,min} = V_{f,min} \cdot n_L \quad (1)$$

$$T_{on} = \frac{V_{o,min}}{V_i} \cdot \frac{1}{f_{sw}} \quad (2)$$

$$L_f = \frac{(V_i - V_{o,min})}{\Delta I} \cdot T_{on} \quad (3)$$

$$C_{out} = \frac{\Delta I}{8 \cdot \Delta V} \cdot T_{on} \quad (4)$$

$V_{o,min}$ = 최소 출력전압, $V_{f,min}$ = LED 최소 순방향 전압, n_L = 직렬LED수, f_{sw} = 스위칭 주파수, T_{on} = 스위치 on 시간, L_f = 필터 인덕터, ΔI = 허용 가능한 LED의 리플 전류, ΔV = 허용 가능한 LED의 리플 전압, C_{out} = 출력 커패시터이다.

2.3 Dimming Controller의 구현

그림 3은 제안된 Dimming Controller 블록선도 이다. 제안된 제어기에서 Dimming 제어를 하기위한 PWM 신호가 LED 구동회로를 구동해 LED 빛을 방사 시킨다. 이 빛은 광센서를 통해 센싱되고 2차 필터를 지나 필터링 된 값이 ADC에 입력된다. 그리고 PI 제어기를 통해서 이 값과 Vref와의 차를 보상해 주어 광량을 제어하는 Dimming Controller가 구현된다.

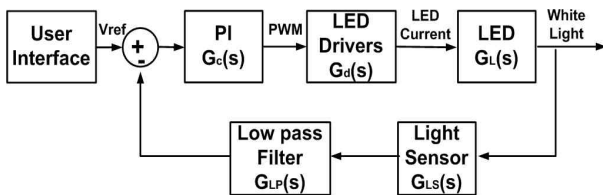


그림 3 Dimming Controller 블록선도
Fig. 3 Block diagram of dimming controller

광센서는 센싱 성능에 따라 Dimming Controller의 성능을 결정하는 중요 요소이다. 제안된 제어기에서 광센서는 Osram사의 SFH5711을 사용했다. 이 광센서는 LED에서 Dimming 제어된 빛의 세기를 센싱하고 그 광량을 log단위로 출력한다. 이 값을 2차 필터를 통해 노이즈 제거와 DC 값으로 필터링 후 Feedback 하게 된다.

3. 실험 결과

그림 4는 구현된 실험시스템이다. 표 1은 구현한 시스템의 실험 파라미터이다. 그리고 그림 5는 LED 구동회로의 출력전압(V_{out}), 출력전류(I_{out}), 스위칭 주파수(f_{sw})의 파형이다. 스위칭 주파수는 1MHz이고 출력전류는 500mA, 전류리플은 50mA로 전류 제어되고 있음을 볼 수 있다. 이때의 전압은 약 9V이다.

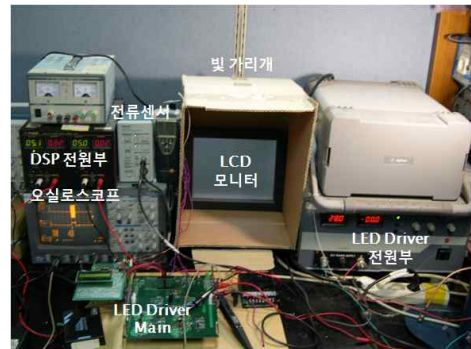


그림 4 실험 시스템
Fig. 4 Experimental system

표 1 실험 시스템 파라미터
Table 1 Parameters of Experimental System

Item	Symbol	Value	Unit
Input voltage	V_{in}	28	V
Output voltage	V_{out}	10	V
Switching frequency	f_{sw}	1	MHz
Filter inductor	L_f	15	μ H
Output capacitor	C_{out}	2.2	μ F
Dimming frequency	f_d	100	Hz
Dimming control range		0.05~150 (1:3000)	fL

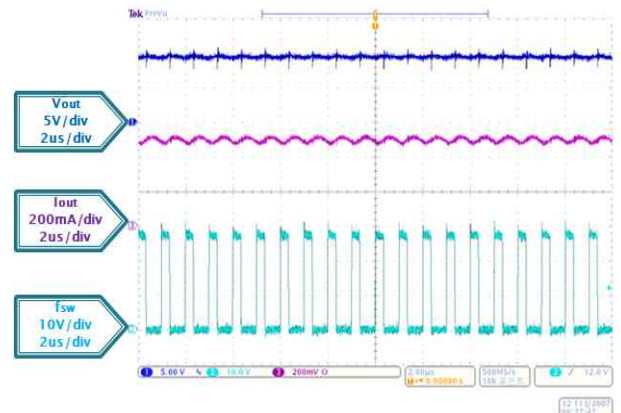


그림 5 LED 구동회로 파형
Fig. 5 Waveform of LED drive circuit

Backlight Unit은 주간에는 150fL의 고 휘도에서 디스플레이가 가능해야 하고 야간에는 0.05fL의 저 휘도에서 디스플레이가 가능해야 한다. 그래서 주간모드와 야간 모드로 나누어 주간에는 150fL(100%)에서 7.5fL(5%)까지, 야간에는 5fL(3.33%)에서 0.05fL(0.033%)까지로 구분하였다. 그리고 각 모드에서 미세 스케일링 하여 Dimming 제어 하였다. 그림 6은 주간모드, 그림 7은 야간모드에서의 Dimming 율에 따른 Backlight Unit의 휘도를 나타낸 그림이다.

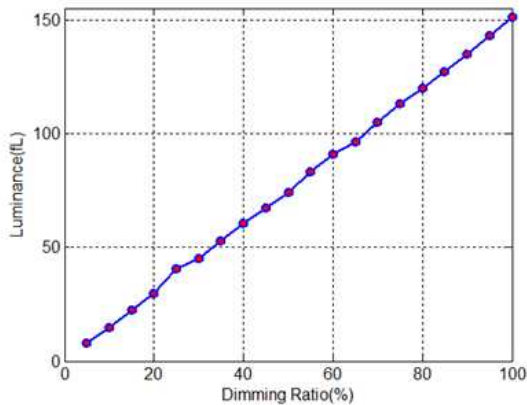


그림 6 주간 모드에서 Dimming 율에 따른 Backlight Unit의 출력
Fig. 6 Output of backlight unit for dimming ratio in day mode

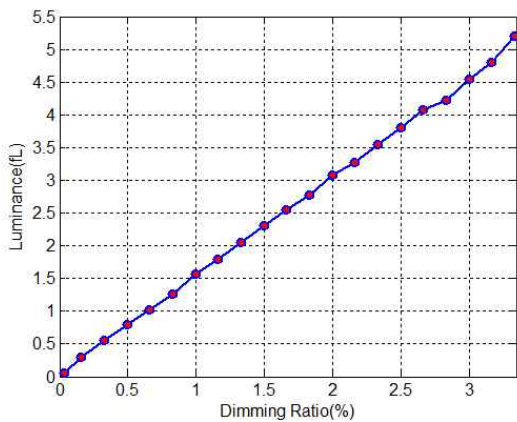


그림 7 야간 모드에서의 Dimming 율에 따른 Backlight Unit의 출력
Fig. 7 Output of backlight unit for dimming ratio in night mode

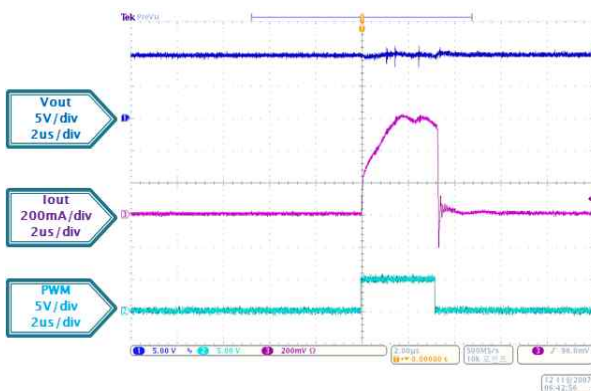


그림 8 0.05fL Dimming 제어 파형
Fig. 8 Waveform of 0.05fL dimming control

그림 8은 최소 휘도인 0.05fL에서의 출력 파형이다. 10ms의 Dimming 제어 주기에서 PWM 입력 on 시간은 약 3.3us이다. LED에 입력되는 출력 전류(I_{out})는 PWM on 시간 안에 정상상태에 도달하는 것을 확인할 수 있다.

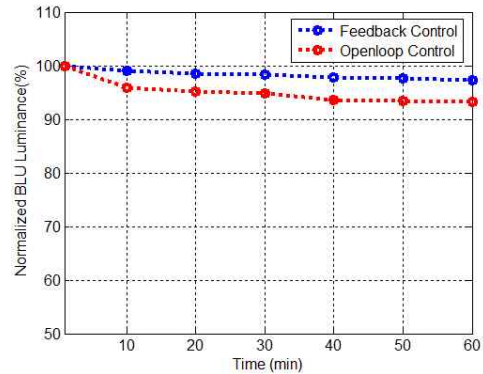


그림 9 LED Backlight Unit의 성능
Fig. 9 Performance of LED backlight unit

그림 9는 LED Backlight Unit의 Open loop 제어 시와 Feedback 제어시의 성능을 비교하여 나타낸 그림이다. Open loop 제어될 때는 다음과 같이 시간이 지남에 따라 온도는 상승하고 출력은 계속 감소하는 형태로 나타난다. Feedback 제어될 때는 시간이 지남에 따라 약 97%이상의 휘도를 유지하면서 안정된 상태에 도달한다. 약 3%의 오차는 광센서의 온도와 비선형성에 의해 발생하는 오차이다. 광센서의 성능이 개선된다면 오차를 더 줄일 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 항공기용 Display 장치의 특성에 맞는 LED Backlight Unit을 구현하였다. Dimming Controller는 주간모드와 야간 모드로 구현하였다. 주간에는 150fL의 고 휘도 Display가 가능하고 야간 시에는 0.05fL의 저 휘도에서 Display가 가능하도록 구현하여 3000:1의 광대역 Dimming 제어가 가능함을 보였다. 그리고 Feedback 제어를 통해 그 성능을 검증하였고 Open loop에서의 LED Backlight Unit의 성능과 비교 분석을 통하여 LED의 특성 변화에 따른 Feedback 제어 정확성이 97% 이상으로 더 우수함을 보였다.

이 논문은 국방과학연구소의 연구비 지원에 의하여 이루어진 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] D. G. Hopper, "Digital flat panel cockpit displays and specifications", AIAA/IEEE 12th Digital Avionics System Conference, pp. 306-311, 1993.
- [2] 임수현, 임정규, 신휘범, 정세교, 신민재, 손승걸, "RGB형 LED Backlight의 전류 및 온도 변화에 따른 특성 분석", 2007년 전력전자학술대회 논문집, pp. 244-246, 2007. 7.
- [3] A. Stich, "LEDs, New Light Sources for Display Backlighting", See www.osram-os.com.
- [4] S.Y. Lee et al., "New Design and Application of High Efficiency LED Driving System for RGB-LED Backlight in LCD Display", PESC'06 37th IEEE, pp. 1-5, 2006.