

LED TV 백라이트 소비전력 저감을 위한 스마트 디밍 알고리즘 개발

류제승¹, 박주희¹, 임성호¹, 김태우[†]

Smart Dimming Control Algorithm for Reducing Power Consumption of LED TV Backlight

Je-Seung Ryu¹, Ju-Hee Park¹, Seong-Ho Lim¹, and Tae-Woo Kim[†]

Abstract - In this paper, the new smart dimming algorithm which is mixed with PWM and PAM control method is proposed for reducing the power consumption of LED TV Backlight. The proposed technique is using the curve characteristics of LED forward voltage and current which is proportionally changing LED forward voltage as changing LED forward current. Therefore, each PWM and PAM control method has different LED forward voltage and current in the same brightness condition. The PWM control method adjusts the brightness of LED TV Backlight by only varying the duty ratio of PWM and constantly sustaining the amplitude of LED forward current and voltage. So, the level of LED forward current and voltage in the PWM control method is relatively high and constant regardless of duty ratio of PWM. On the other hand, the PAM control method adjusts the brightness of LED TV Backlight by directly varying the level of LED forward current. So, the level of LED forward current and voltage in the PAM control method is lowered according to the brightness level. For the above-mentioned reason, the PAM control method has the advantage of reducing the total power consumption of LED TV Backlight at the brightness condition of below 100%, compared with PWM control method. By implementing this characteristic to LED driver circuit with control algorithm in MCU, the power consumption of LED TV Backlight can expect to be reduced. The effectiveness of the proposed method, new smart dimming algorithm, CPWAM(=Conditional Pulse Width Amplitude Modulation), has been verified by experimental results.

Keywords: PWM(Pulse Width Modulation), PAM(Pulse Amplitude Modulation), LED(Light Emitting Diode) CPWAM(Conditional Pulse Width Amplitude Modulation), LCD(Liquid Crystal Display)

1. 서 론

현재 산업계에 LCD TV 백라이트 휘도를 조절하기 위해 사용하는 대표적인 방법은 그림 1과 그림 2의 펄스폭 변조방식(PWM)과 진폭 변조방식(PAM)이 있다. 기존 램프(EEFL, CCFL)에서는 펄스폭 변조가 휘도

선형성(Linearity) 확보 및 휘도 조절 범위가 넓다는 이점 때문에 주류를 이뤘고^{[1][2]}, 광원이 램프에서 LED로 대체되는 현시점에도 낮은 시비율(<2%)에서 휘도의 선형성 확보를 위해 대부분 펄스폭 변조방식을 선택하고 있다. 그리고 LED Driver用 제어 IC의 기능도 대부분이 펄스폭 변조에 의해서만 휘도가 제어된다^{[3][4]}. 두 방식은 모두 평균 시간 동안 LED의 순방향 전류(I_f)를 제어한다는 공통점이 있지만, 펄스폭 변조 방식은 LED의 순방향 전류의 크기는 일정하게 유지하면서 펄스폭의 넓이를 조절하므로 순방향 전류와 전압의 크기가 일정한 반면에 진폭 변조방식은 LED의 순방향 전류의 크기가 감소하면 LED V-I 특성곡선(그림 8)에 따라 순방향 전압도 비례적으로 낮아져 소비전력

Paper number: TKPE-2014-19-4-4

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: twkimpower@lgdisplay.com, TV Power Design Team, LG Display

Tel: +82-31-933-7578 Fax: +82-31-933-7308

¹ TV Power Design Team, LG Display

Manuscript received Feb. 4, 2014; accepted Apr. 15, 2014

— 본 논문은 2013년 추계학술대회 우수추천논문임

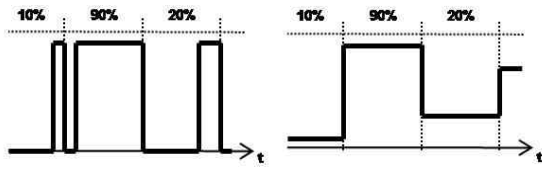


Fig. 1 PWM Dimming

Fig. 2 PAM Dimming

이 감소한다. 그리고 펄스폭 변조는 DC-DC 컨버터(Step up, Step down, Step up/down converter)의 인덕터에 흐르는 전류가 가청 대역(Audible frequency range)의 90~250[Hz] 디밍 주파수에 따라 규칙적인 불연속 구간의 발생으로 소음레벨(Acoustic noise level)이 높은 반면에 진폭 변조방식은 인덕터에 흐르는 전류의 불연속 구간이 존재하지 않아 소음수준이 상대적으로 낮다^[5]. 추가적으로 진폭 변조방식은 EMI 및 LCD(Liquid Crystal Display)에 보이는 웨이비(Wavy) 노이즈 개선에도 효과를 보인다.

본 논문에서는 기존의 펄스폭 변조와 진폭 변조방식의 장점과 단점들을 분석하고 이 중에서 유효한 장점들만을 취합하여 최적의 휘도 조절 알고리즘(CPWAM) 및 회로를 제안하였다. 그리고 실제 LED 구동용 Driver에 적용하여 LED 백라이트 TV 소비전력 저감 효과를 검증하고자 한다.

2. 휘도 조절방식

2.1 기존의 LED 휘도 조절방식

LED 휘도를 조절하는 방식에는 크게 두 가지가 있다. 하나는 그림 1과 같이 펄스의 폭(Width)을 조절하는 PWM 방식과 그림 2와 같이 전류의 크기(Amplitude)를 조절하는 PAM 방식이다. 이 두 방식은 다채널 LED를 구동함에 있어서 각각의 장단점을 가진다.

일반적인 PWM 방식은 그림 3과 같이 DC-DC 컨버터의 출력에 다채널 LED의 애노드(Anode)단이 병렬로 연결되어 있고, 각각의 캐소드(Cathode)단에 흐르는 순방향 전류를 제어하기 위한 연산 증폭기(OP-Amp)와 트랜지스터(Transistor)로 구성된 선형 레귤레이터(Linear regulator)가 있다. 각 채널의 기준 전류 레벨은 채널간 동일하고 출력전압은 V_{f_max} 채널 기준으로 전압 조절되는(Dynamic Headroom Control) 조건에서 외부 펄스폭 신호와 로컬 디밍 신호를 인가하여 개별 또는 전체 채널에 대한 휘도를 조절할 수 있는 장점을 가지며 입력되는 휘도 정보를 출력 펄스폭으로 반영하여 LED 순방향 전류를 제어한다. 그러나 항상 높은 순방향 전류의 크기 때문에 LED 양단에 걸리는 순방향 전압도 항상 높은 상태에서 정상 동작하게 되며 그에 따라 에너지 손실도 증가하게 된다.

또 다른 방식인 PAM 방식은 입력되는 휘도 정보를 출력 진폭에 반영하여 LED 순방향 전류를 제어한다.

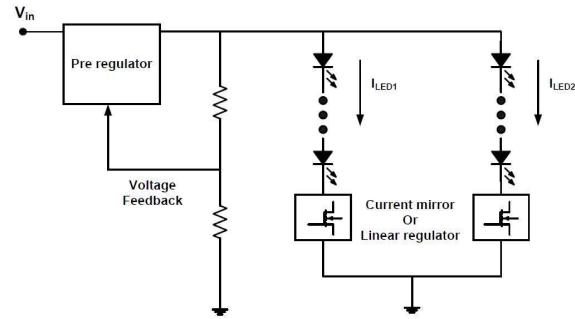


Fig. 3 General concept of LED Driver

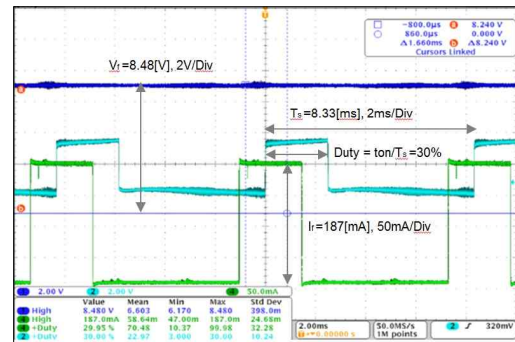


Fig. 4 PWM Dimming Method

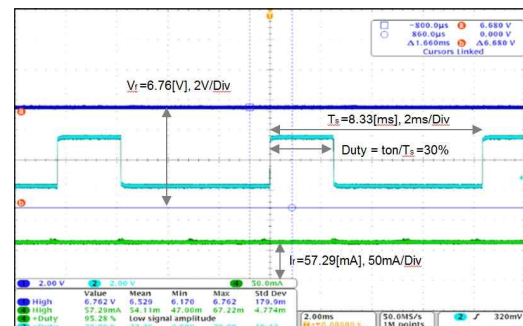


Fig. 5 PAM Dimming Method

LED에 흐르는 순방향 전류에 따라 순방향 전압이 변하기 때문에 순방향 전류가 낮아지면 LED 양단에 걸리는 순방향 전압도 낮아져서 전체 소비전력이 PWM 방식에 비해 상대적으로 낮아지게 된다. 그러나 PAM 방식으로 다채널 LED 구동시 그림 3과 같은 구조로는 각 채널의 기준 전류와 전압레벨이 입력 신호(Local Dimming & Scanning signal)에 따라 상이하므로 각 DC-DC 컨버터와 개별 Driver IC 부품수가 증가하여 소비전력 저감효과대비 가격 경쟁력이 낮아지고, 로컬 디밍 신호와 스캐닝 신호의 오프 구간 구현 및 2% 이하의 휘도에서 선형성과 정상동작이 어렵다는 단점이 있다. 그래서 본 논문에서는 그림 3과 같은 구조에서 추가 가격 상승 없고 입력 신호에 따라 오프 구간 구현 및 낮은 시비율 조건에서도 안정적으로 동작 가능한 CPWAM 알고리즘을 구현하여 소비전력 저감효과를 극대화한다.

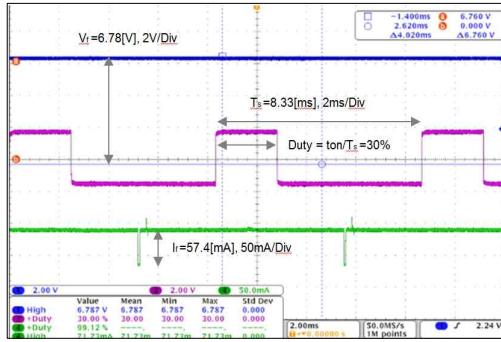


Fig. 6 Proposed CPWAM Dimming Method

2.2 기존과 새로운 휘도 조절방식 비교

그림 4와 그림 5는 PWM 방식과 PAM 방식의 전기적 특성을 비교한 파형이다. 동일한 시비율(Duty) 30%로 PWM과 PAM 두 가지 출력방식을 가지는 LED Driver에 인가하여 측정한 파형이다. 결과 PWM 구동 방식이 PAM 방식보다 LED에 인가되는 순방향 전압(PWM $V_f = 8.48[V]$, PAM $V_f = 6.76[V]$)이 약 25% 높은 것을 확인할 수 있다. 그림 4에서 입력 30%의 펄스폭 대비 LED 순방향 전류가 앞서있는데 이것은 MCU에서 백라이트 스캐닝 정보를 반영하기 때문이다. 주기를 기준으로 LED에서 나오는 광량은 PWM 방식과 PAM 방식이 동일 하지만 LED 양단에 걸리는 전압이 높은 PWM 방식이 식 (1)에 의해 더 많은 입력 전력이 필요하게 된다.

$$P_{LED} = V_f \times I_f \times \text{Duty} \quad [W] \quad (1)$$

그림 6은 제안된 CPWAM 방식을 적용한 실험파형이다. PAM 방식을 적용한 그림 5의 측정파형과 유사함을 확인할 수 있다. 단 채널(Single-channel)을 PAM과 제안된 CPWAM 방식으로 디밍 제어하면 동등한 소비전력 저감효과를 얻을 수 있다고 판단 하지만, 다 채널(Multi-channel)인 경우에는 앞서 언급한 내용처럼 DC-DC 컨버터와 Driver IC 부품 추가로 가격 경쟁력이 낮아지므로 가격 상승 없이 제안된 CPWAM 알고리즘을 적용하여 소비전력 효과를 극대화 하고자 한다. 그리고 최대 턴-온 구간을 99%로 제한하여 오프 되는 구간도 발생하여 개별 LED 제어와 로컬 디밍 및 스캐닝 기능도 구현할 수 있다.

3. 제안된 CPWAM 알고리즘

3.1 전류량에 따른 LED 광도 특성

LED 밝기는 칸델라(Candelas [cd])단위로 표시되는 광속 밀도 단위로 측정하여 수치로 나타낼 수 있다. 전체 LED의 밝기는 루멘(Lumens [lm])양의 측정치이고 평균 순방향 LED 전류가 LED의 밝기를 결정하게 된다.

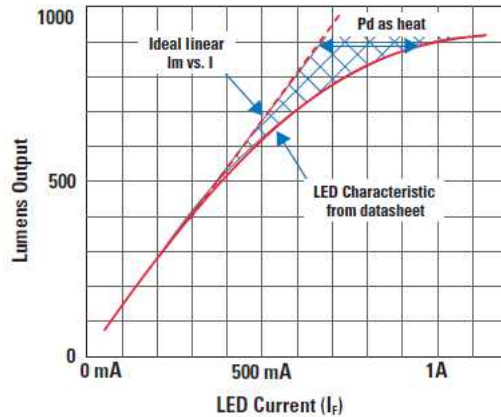


Fig. 7 LED output vs. LED forward current

■ Forward Voltage vs. Forward Current

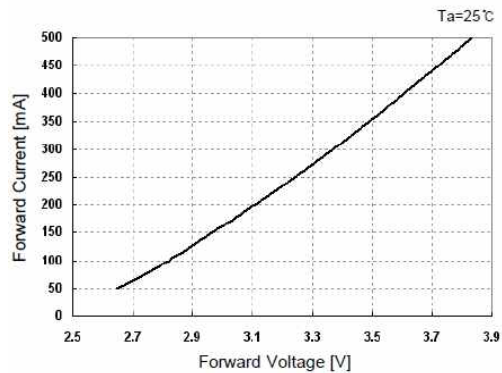


Fig. 8 LED forward voltage vs. current

그림 7은 순방향 LED 전류와 일정한 LED의 출력(루멘) 사이의 관계를 보여준다. 순방향 LED 전류의 허용범위에서 뚜렷한 직선 함수 관계를 보이고, 순방향 LED 전류가 증가함에 따라 비선형적인 관계로 변화된다. 비선형 구간부터 출력 전력이 LED에서 열로 변환되면서 와트 당 루멘(lm/W)의 출력효율이 저하되는 특징을 가진다. 그림 8은 순방향 LED 전압과 전류의 관계를 보여준다. 순방향 LED 전압이 증가하면 순방향 LED 전류도 증가하는 특정 구간에서 선형관계임을 볼 수 있다^{[6]-[8]}.

이와 같은 LED의 특성들을 고려 할 때 LED 휘도 조절 방식은 전류를 고정시키고 펄스폭의 변화를 주는 PWM 방식 보다 전류의 크기를 가변하는 PAM 방식이 에너지 효율 면에서는 더 유리하다고 할 수 있다.

3.2 CPWAM 알고리즘

제안된 CPWAM 방식은 다채널 LED 구동시 LED를 개별 채널의 휘도 조절이 용이한 PWM 방식과 에너지 효율 면에서 유리한 PAM 방식을 조합하는데 있다.

LED에서 발생하는 빛의 양인 휘도는 전류와 펄스폭의 곱인 면적에 따라 결정 된다. PWM 방식과 동일한 휘도를 내기 위해 CPWAM 방식은 PWM 방식에서의

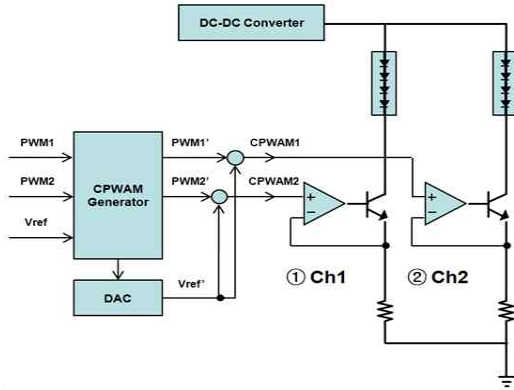
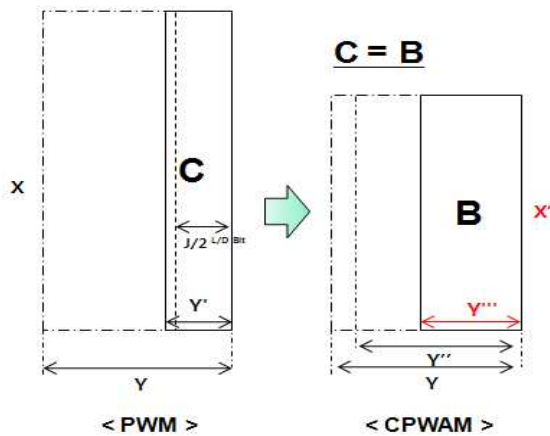


Fig. 9 CPWAM Driving Algorithm



■ CPWAM Concept Parameter

- Y : PWM Pulse Period.
- X : PWM Current(Amplitude).
- Y' : PWM Pulse HT(Width).
(※ Global Dimming Value)
- J : Local Dimming Value(8bit : 0~255).
- X' : CPWAM Common Current(Amplitude).
- L/Dmax & Current based on Y'' duty
- Y'' : CPWAM Max Period.(Constant Value)
- Y''' : CPWAM Each Channel's HT(Width).

◆ CPWAM Equation 1

$$X' = \frac{X \times Y' \times \frac{L/D_{max}}{255}}{Y''}$$

◆ CPWAM Equation 2

$$Y''' = \frac{X \times Y' \times \frac{J}{255}}{X'}$$

Fig. 10 CPWAM Calculation Algorithm

전류와 펄스폭의 곱인 면적과 동일한 밝기를 발생시키는 것을 목적으로 한다.

그림 9와 같이 발생된 PWM 신호를 CPWAM 발생기(Generator)를 통해 계산하여 PWM 방식과 PAM

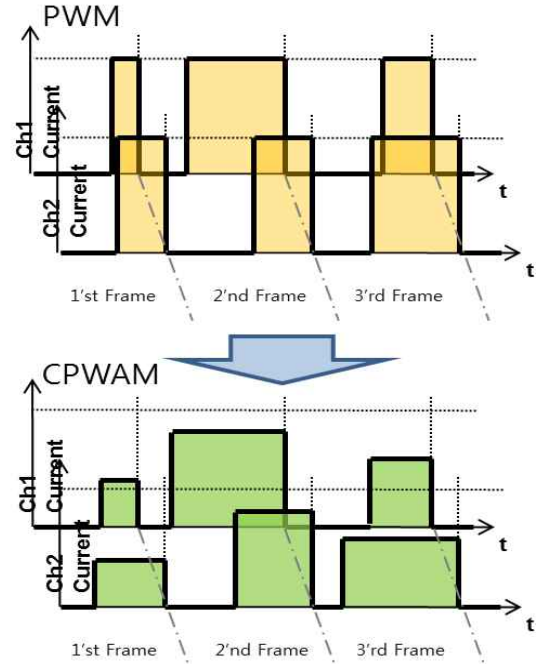


Fig. 11 Multi-Channel LED CPWAM Conversion

방식이 조합된 출력을 발생 시킨다. CPWAM 발생기에 적용되는 연산 알고리즘은 그림 10과 같으며, 가장 면적이 큰 채널을 기준으로 모든 채널에 동일한 전류를 설정하도록 하고 개별 채널에는 펄스폭을 달리 함으로써 기존 PWM 방식과 동일한 면적을 유지하면서 PWM 방식과 동일한 휘도를 발생하게 한다. 수식 1(그림 10에서 CPWAM Equation 1)은 PWM 조건에서 한 주기에 전류의 크기(X)와 외부 펄스폭(Y') 및 로컬디밍 정보 중 최대값 (L/D_max)의 곱이 면적(=X×Y'×L/D_max÷255)이 되고 그것을 CPWAM 연산 알고리즘을 통해 한 주기내로 펄스폭의 넓이(=Y'')를 고정한 상태에서 X'을 계산한다. 이 결과를 바탕으로 로컬 디밍 최대값(L/D_max)을 제외한 나머지 채널들의 면적은 펄스폭의 크기는 고정(=X')되고 넓이만 변경되는 수식2(그림 10에서 CPWAM Equation 2)를 이용해서 나머지 채널의 C 면적과 B 면적이 동일한 각 Y'''을 계산한다. 다채널 LED 구동 시 발생한 PWM 신호가 위와 같은 알고리즘을 통해 계산되어 나온 CPWAM 파형은 그림 11과 같다. 이렇게 발생한 출력은 PWM 방식의 동일 면적 대비 전류가 낮기 때문에 LED에 인가되는 순방향 전압이 낮아져 에너지 손실을 저감 할 수 있으며, 다채널 LED 개별 채널에 대한 휘도 제어도 가능하다.

3.3 저 듀티(Low Duty) 보상 알고리즘

LED 백라이트 저 듀티 구간에서 제안된 CPWAM 방식의 경우 그림 12과 같이 전류가 낮게 설정된다. 이렇게 낮은 전류에서 휘도 조절시 구동 소자의 특성에

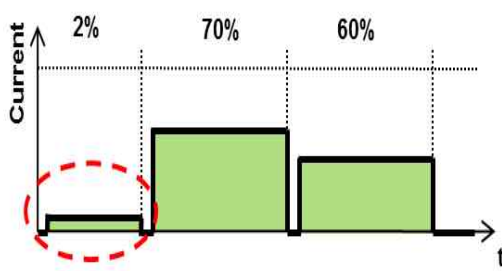


Fig. 12 CPWAM Low duty output before compensating

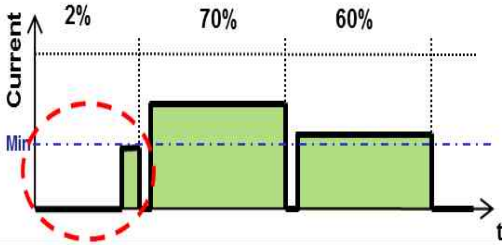


Fig. 13 CPWAM Low duty output after compensating

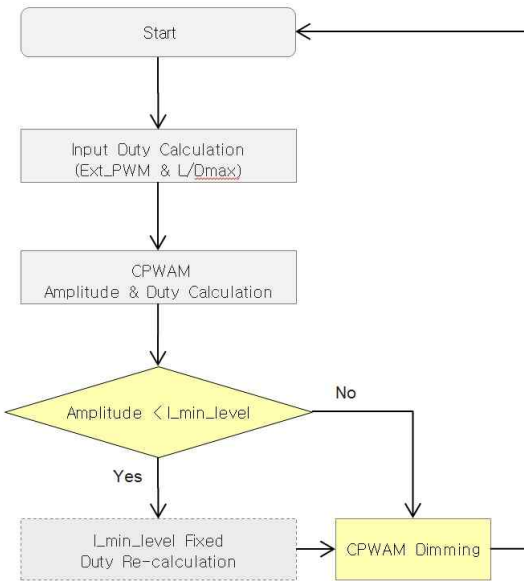


Fig. 14 Overall Flowchart of CPWAM algorithm

의해 급격한 밝기 변화에 반응하기 어려우며, 작은 전류 리플(Ripple)에 의한 화면 플리커(Flicker)가 인지될 가능성이 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해 본 논문에서는 저 듀티 보상 알고리즘을 포함한 CPWAM을 제안한다. 그림 13과 같이 Driver IC에서 제어할 수 있는 최저 전류레벨(Min Current Level)과 설계 마진(Design Margin)을 포함한 전류레벨 값을 설정하고 CPWAM 알고리즘을 통해 한 주기내의 전류레벨이 최저 전류레벨 이하로 나오면 전류의 크기는 최저 전류레벨로 고정시키고 펄스폭을 변경하여 LED 순방향 전류를 조절한다. 이러한 보상 알고리즘을 통하여 저 듀티에서의 불안정한 동작(Unstable Operation)을 제거하였다.



Fig. 15 65" Edge type 12ch LED Driver

Table 1 Parameter of LED Driver

| Parameter | Value/Model |
|---------------------|-------------------------------|
| DC/DC Topology | Coupled inductor Boost #1, #2 |
| Vin | 24[V] |
| LED Forward Vf / If | 74.4(=6.2V*12ea)[V]/100[mA] |
| Channel No. | 12 channel |
| LED Power | 89[W], 44.5[W]/1_Boost_Block |
| Couple Inductor Lm | 33[μH] |
| In/Output Cap. | 680[μF]/35V, 68[μF]/160V |
| Switching frequency | 110[KHz] |
| Dimming frequency | 120[Hz] |
| Boost FET | FDD390N15A |
| Boost Diode | SF5A400HD |
| PWM IC | SM1203A |
| MCU IC | MC93F5508 |
| Driver IC | AS3820 |

그림 14는 전체 CPWAM 알고리즘의 플로우차트(Flow-Chart)에서 최저 전류레벨을 확인 후 기준값보다 작으면 최저 전류 레벨에서 펄스폭을 다시 계산해서 밝기 조절을 하는 저 듀티 보상 알고리즘이 추가되었다.

4. 실험 결과

본 논문에서 제안한 CPWAM 알고리즘의 유효성을 검증하기 위하여 65" LED 백라이트 구동용 12채널 LED Driver를 프로토타입(Prototype)으로 제작하였고, 로컬 디밍(Local Dimming)과 스캐닝 기능 및 Driver IC 제어를 관장하는 MCU(AVOB社, MC93F5508)에 제안된 CPWAM 알고리즘을 추가하여 유효성을 입증하였다. 그림 15는 제안된 CPWAM 알고리즘을 검증하기 위해 제작된 65" Edge type 12채널 LED Driver 이고, 표 1는 LED Driver의 주요 설계 파라미터(Parameter)이다.

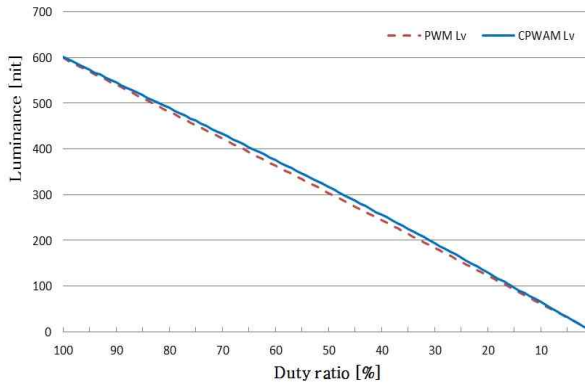


Fig. 16 Luminance comparison PWM vs. CPWAM

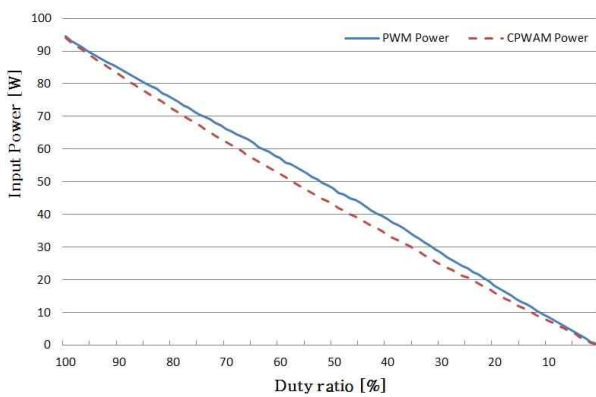


Fig. 17 Input Power comparison PWM vs. CPWAM

그림 16은 동일한 LED 백라이트에서 LCD에 풀 화이트 패턴(Full White Pattern)을 띄우고 측정한 휘도 데이터를 바탕으로 PWM 방식 대비 CPWAM 방식이 더 높은 휘도를 보였다.

그림 17은 동일 듀티에서 동일 휘도가 나오도록 제안된 CPWAM 알고리즘을 보정한 조건에서 입력 전력(Input Power)을 비교한 그래프이다. 동일 휘도 조건에서 PWM 방식대비 제안된 CPWAM 방식이 상대적으로 낮은 전력을 소비함을 확인할 수 있다. 듀티 75%, 50%, 35% 조건에서 PWM 방식대비 CPWAM 방식의 소비전력 저감효과는 각각 4.76%, 10.5%, 12.14%로 나타났다.

표 2는 위에서 설명한 제안된 CPWAM 방식과 기존의 PWM 방식을 국제 표준 소비전력 측정용 동영상(IEC 62087, 오디오/비디오 및 관련기기의 전력소비량 측정 방법)조건에서 적산 적력계로 누적 측정하여 비교한 데이터이다. 실험 제품은 시중에 출시된 LED 백라이트 LCD TV로 표준영상을 구동하였을 때 PWM 방식과 제안된 CPWAM 방식의 누적 소비전력을 비교하였다. 그 결과 본 논문에서 제안한 CPWAM 방식이 TV 실 사용 영역에서 5~10% 이상의 소비전력 저감 효과가 있다는 것을 확인할 수 있다.

Table 2 Power Consumption PWM vs. CPWAM in the condition of standard videos, IEC 62087

| Duty | | [%] | 30 | 37 | 50 | 70 |
|---------------------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| Mode | PWM | [W] | 30.18 | 37.28 | 49.31 | 68.41 |
| | CPWAM | [W] | 26.57 | 33.21 | 45.03 | 64.56 |
| ▽ Power (PWM-CPWAM) | | [W] | 3.61 | 4.07 | 4.29 | 3.84 |
| ▽ Efficiency | | [%] | 11.96 | 10.92 | 8.69 | 5.62 |

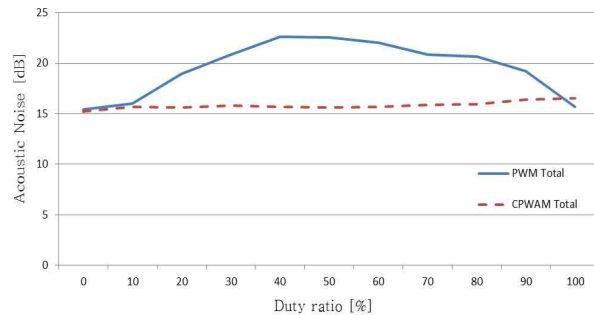


Fig. 18 Acoustic Noise PWM vs. CPWAM

그림 18는 LED Driver를 LCM 배면에 장착후 제안된 CPWAM 방식과 PWM 방식으로 구동시 펄스폭 별로 발생하는 소음수준을 비교한 그래프이다. 전체 LCM의 소음은 LED Driver의 디밍조건(120[Hz] Fixed dimming frequency)에 따라 연속/불연속 교번동작으로 인해 발생하며, 온/오프(On/Off) 시간이 비슷한 중간 영역인 40~60% 사이에서 소음수준이 높다. PWM 방식 대비 제안된 CPWAM 방식은 디밍 펄스의 연속동작으로 온/오프 시간과 디밍 주파수에 상관없이 가청대역 소음수준이 개선됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존 PWM과 PAM 밝기 조절방식의 장점만을 최적화한 스마트 디밍 컨트롤 방식인 CPWAM을 제안하였다. 제안된 알고리즘 적용으로 기존 PWM 방식대비 순방향 LED 전압과 전류의 감소로 인한 LED TV 백라이트 구동 소비전력이 실 사용영역에서 5~10% 이상 저감됨을 실험을 통해 검증하였다. 제안된 방식은 기존 PWM 구동 회로 및 IC 변경 없이 구현이 가능하여 추가 가격 상승이 발생하지 않으며, 사용되는 LED 패키지 수량이 많고 순방향 전류를 높게 사용할수록 더 큰 저감 효과를 기대할 수 있다. 최근 LCD TV의 대형화 추세 및 글로벌 시장에서 소비전력에 대한 규제가 각 지역 및 나라별로 강화되고 있는 시점에 본 논문에서 제안한 CPWAM 방식은 LED관련 산업에 확대 적용할 수 있다고 기대 된다.

References

- [1] Mu-Shen Lin, Wen-Jung Ho, Fu-Yuan Shih, Dan Y. Chen, Yan-Pei Wu, "A Cold-Cathode Fluorescent Lamp Driver Circuit with Synchronous Primary-Side Dimming Control," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 45, No. 2, pp. 249-255, April 1998.
- [2] Chang-Hua Lin, "The Design and Implementation of a New Digital Dimming Controller for the Backlight Resonant Inverter," *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol. 20, No. 6, pp. 1459-1466, Nov. 2005.
- [3] Prathyusha Narra and Zinger. D. S, "An Effective LED Dimming Approach," in *proceeding of IAS*, Vol. 3, pp. 1671-1676, Oct. 2004.
- [4] Sung-Soo Hong, Sang-Hyun Lee, Sang-Ho Cho, Chung-Wook Roh, and Sang-Kyoo Han, "A New Cost-Effective Current-Balancing Multi-Channel LED Driver for a Large Screen LCD Backlight Units," *Journal of Power Electronics*, Vol. 10, No. 4, pp. 351-356, July 2010.
- [5] 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 *Proceeding of APEC*, pp. 447-453, Mar. 2001.
- [6] Rich Rosen, "Dimming Techniques for Switched-Mode LED Drivers," <https://www.ti.com/litv/pdf/snva605>.
- [7] S. H. Lim, J. G. Lim, H. B. Shin, S. K. Chung, M. J. Shin, S. G. Sohn, "Characteristic Analysis of RGB-LED Backlight for Current and Temperature Variations," *2007 Conference of KIPE*, pp. 244-246, 2007.
- [8] S. H. Lim, J. G. Lim, H. B. Shin, S. K. Chung, M. J. Shin, S. G. Sohn, "Development of Wide-Range Brightness Controller of LED Backlight for Avionic Displays," *The Transactions of Korea Institute of Power Electronics*, Vol. 13, No. 4, pp. 287-294, Aug. 2008.

**류제승(柳濟丞)**

1984년 3월 14일생. 2009년 숭실대 전자통신공학과 졸업. 2009년~현재 LG Display TV Power 설계팀 주임연구원.

**박주희(朴珠喜)**

1986년 12월 1일생. 2011년 숭실대 전자통신공학과 졸업. 2011년~현재 LG Display TV Power 설계팀 연구원.

**임성호(任城昊)**

1976년 1월 8일생. 2003년 동의대 전자공학과 졸업. 2005년 부산대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2005년~2008 LG전자 주임연구원. 2009~현재 LG Display TV Power 설계팀 선임연구원.

**김태우(金泰旻)**

1974년 2월 24일생. 1997년 금오공대 전자제어공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전자제어공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전자제어공학과 졸업(공박). 2004년~2006년 파워밸리 선임연구원. 2007년~현재 LG Display TV Power 설계팀 책임연구원.