

새로운 H-type 스너버를 이용한 차량 헤드램프용 고효율 컨버터

(High-Efficiency Converter for Automotive Headlamp Using New H-type Snubber)

김성주* · 김선필 · 정태욱 · 박성준 · 박성미**

(Sung-Joo Kim · Sun-Pil Kim · Tae-Uk Jung · Sung-Jun Park · Seong-Mi Park)

Abstract

Recently, LED light has been increasingly adopted for vehicles in both domestic and foreign automotive markets, while a variety of LED lights have been developed to be used particularly for headlamps. In this paper, we propose an H-type resonant snubber circuit topology for high efficiency of vehicle LDM (LED Driver Module) and realized LDM functions for vehicle headlamp by designing high-efficiency convertors. In addition, this study reduced the financial burden by configuring the system to control the whole with micom except for the use of individual dedicated chips to drive LED for high and low beam. In order to verify the validity of the proposed H-type resonant snubber capable of soft switching, simulations were performed using PSIM. As a result, the validity was experimentally verified by creating a prototype. Moreover, in order to actually attach the headlamp, the performance of the proposed convertor was confirmed by designing LDM to the limited size. Communications between the headlamp and higher controller were realized using LIN(Local Interconnect Network).

Key Words : Low Cost, Automotive, Headlamp, LDM, Boost Converter

1. 서 론

근래에 국·내외 자동차 시장은 큰 변화를 하고 있다. 기존의 단순히 차량연비만 신경을 쓰던 시대에서 이제는 차량 전체적인 에너지 효율을 높이는 관점이

로 옮겨 가고 있다.

자동차 업계는 자발적으로 2025년까지 기존 자동차의 에너지 소비를 50%까지 줄인다는 목표를 세웠다. 현재 자동차의 등화용 에너지 소비 비중이 꽤 높음을 감안할 때 반도체 광원으로 전환할 경우 이 목표 달성에 크게 기여할 것으로 기대되고 있다. 특히 반도체 광원으로 대표되는 LED는 자동차의 친환경화, 경량화, 지능화, 전장화를 표방하는데 부합하는 차세대 조명기술로 에너지 소모량이 적으며 친환경적인 광원으로 주목을 받으며 차량의 LED 조명의 채택률이 급격히 증가하고 있다. 2013년에 자동차용 LED 시장은 약 10억 2,600만 달러 규모이며, 2020년에는 27억 700만

* Main author : Doctor course, Department of Electrical Engineering, Chonnam National University

** Corresponding author : Assistant Professor, Department of Lift Engineering, Korea Lift College

Tel : 055-949-2251, Fax : 055-949-2222

E-mail : seongmi@klc.ac.kr

Received : 2015. 8. 3

Accepted : 2015. 9. 3

달리로 연평균 15.9%씩 성장할 것으로 전망이 되고 있다. 2011년 유럽에서 자동차 안전을 위해 주간 주행등(DRL, Daytime Running Lights)사용을 법제화하면서 자동차용 LED 시장이 크게 성장하고 있다. 자동차 조명의 가장 큰 시장인 헤드램프에 LED채용이 시작되면서 기존 조명의 대체를 가속화할 것으로 전망되고 있다. LED 헤드램프는 현재 고급차를 중심으로 사용이 되고 있지만, LED의 효율 향상과 가격하락에 힘입어 일반차량에도 빠르게 확산될 것으로 예상하고 있다[1].

현재 대형차를 중심으로만 적용이 되고 있는 LED 헤드램프는 가격이 높다는 단점이 있어 전체 자동차 시장에서 많은 비중을 차지하고 있는 중·소형 자동차에 적용이 되지 않고 있다. 전체 자동차시장의 60% 이상을 차지하는 소·중형차 시장에 보다 빠르게 진출을 할 경우 선점 효과 및 많은 수익 창출이 기대되며, 또한 튜닝업체와 DIY(Do It Yourself)유저들을 중심으로 한 애프터 마켓시장 또한 정부의 자동차 튜닝 시장 활성화 정책아래 더욱 커질 것으로 예상된다 [2-3].

본 연구는 차량용 헤드램프 LDM을 위해 새로운 H-type 공진형 스너버(Resonant snubber)를 이용하여 소프트 스위칭을 구현하였으며, 그 결과 차량용 헤드램프 LDM인 승압형 컨버터의 효율을 94.5%까지 높일 수 있어 차량 전체적인 에너지 효율을 높이는 데 일조할 것으로 사료된다. 또한 제안된 Headlamp 구동 드라이브 사이즈는 통신, Diagnosis 및 protection기능을 포함하여 기존 Headlamp 구동드라이브 사이즈와 동일한 70*70(mm²)로 구현하였다.

2. 본 론

2.1 H-type의 스너버를 적용한 소프트 스위칭 승압 컨버터

그림 1은 제안된 H-type의 스너버가 적용된 소프트 스위칭 승압컨버터의 전력회로도이다. 제안된 H-type 컨버터는 일반적인 부스트 컨버터의 구조에 소프트

스위칭을 위한 공진 인덕터 L_{r1} 과 L_{r2} , 커패시터 C_r , 전류 루프 형성을 위한 다이오드 D_{r1} 과 D_{r2} 를 추가하여 공진형 스너버 회로를 구성한다.

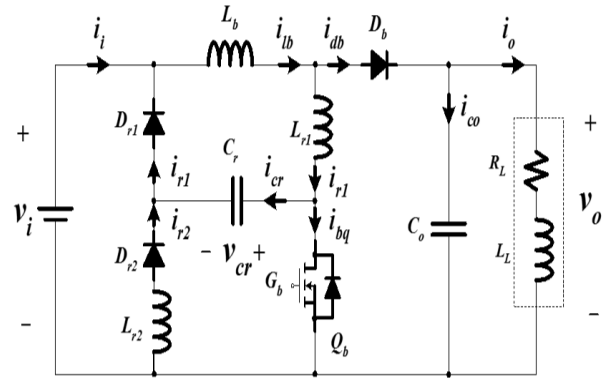


Fig. 1. Soft switching boost converter applying the proposed H-type snubber

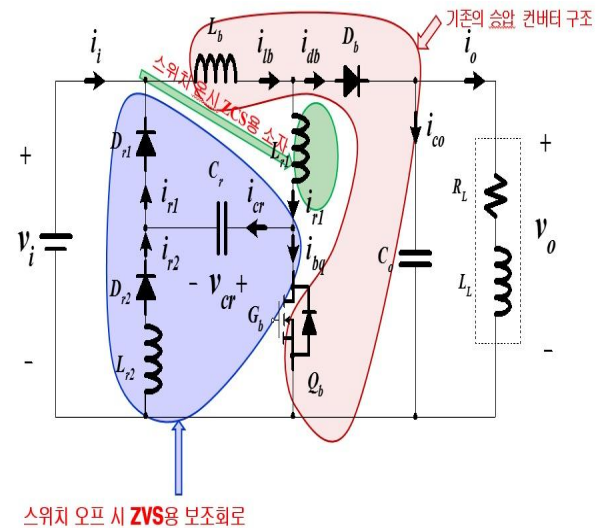


Fig. 2. Operating Principle of the Proposed H-type Snubber ZVS and ZCS

그림 2는 제안된 공진형 스너버 회로의 동작원리를 나타낸 그림이다. 스위치 Q_b 가 On상태가 되면, 스너버 L_{r1} 에 의해 스위치에 흐르는 전류에 지연현상이 발생한다. 따라서 스위치가 On 시 ZCS(Zero-Current Switching)이 된다. 스위치 Q_b 가 Off상태가 되면 커패시터 C_r 의 전압을 전원부 전압으로 충전함으로써 ZVS(Zero-Voltage Switching)을 하게 된다.

Mode 1 ($t_0 \sim t_1$)

Mode 1은 스위치(Q_b)가 On되는 순간(t₀)부터 시작되며 스위치 전류(i_{bq})는 식 (1)과 같이 ZCS를 위한 공진 인덕터를 통하여 흐르는 전류(i_{r1})과 콘덴서(C_r)의 전압에 의해 다이오드(D_{r2})와 스위치 Off시 ZVS를 위한 공진 인덕터(L_{r2})을 통하여 흐르는 전류(i_{cr})의 차로 구할 수 있다.

$$i_{bq} = i_{r1} - i_{cr} \tag{1}$$

스너버 콘덴서(C_r)은 공진 인덕터 L_{r1}의 에너지 회수에 의해 v_{cr}(t₀) 로 충전되어 있다고 가정하면, 스위치가 On될 때 콘덴서에 충전된 에너지는 인덕터(L_{r2})와 공진되어 전원전압과 같은 전압이 된다. 이 때 공진전류(i_{cr})는 다음과 같다.

$$i_{cr} = \frac{v_c(t_0)}{Z_r} \sin[\omega_r(t-t_0)] \tag{2}$$

단, $\omega_r = 1/\sqrt{L_1 C_1}, Z_r = \sqrt{L_1/C_1}$

$$v_{cr} = v_{cr}(t_0) \cos[\omega_r(t-t_0)] \tag{3}$$

따라서 스위치가 On되는 순간의 스위치 전류(i_{bq})를 구하면, 아래와 같이 스위치 전류가 Zero가 되어 ZCS가 이루어짐을 알 수 있다.

$$i_{bq}(t_0) = i_T(t_0) - i_{cr}(t_0) = 0 \tag{4}$$

이 모드는 콘덴서 전압(v_{cr})이 입력전압(V_i)과 같아지면 종료되며, 이 모드의 유지시간(t_{m1})은 아래와 같다.

$$t_{m1} = \frac{1}{\omega_r} \cos^{-1}\left(\frac{V_i}{v_{cr}(t_0)}\right) \tag{5}$$

이 때 공진 인덕터(L_{r2})에 흐르는 전류는 아래와 같다.

$$i_{Lr2}(t_{m1}) = \frac{v_{cr}(t_0)}{Z_r} \sin[\omega_r(t_{m1})] \tag{6}$$

이 모드가 시작할 때 스너버 콘덴서에 축적된 에너

지는 식 (7)과 같고 끝나는 순간 콘덴서에 축적된 에너지는 식 (8)과 같다.

$$E_C(t_0) = \frac{1}{2} v_o(t_0)^2 \tag{7}$$

$$E_C(t_1) = \frac{1}{2} V_i^2 \tag{8}$$

단, $t_1 = t_0 + t_{m1}$

이 모드가 끝나는 순간 콘덴서의 전압은 부의 전원 전압이 되며 공진 인덕터에 축적된 에너지는 아래와 같다.

$$E_{Lr2}(t_1) = \frac{1}{2} (v_o(t_0)^2 - V_i^2) \tag{9}$$

$$= \frac{1}{2} L_{r2} i_{Lr2}(t_1)^2$$

스너버 회로의 역률은 아래와 같이 정의할 수 있다. 역률이 1이 되는 조건은 콘덴서 전압 v_{cr}(t₀)과 입력전압(v_i)이 동일한 경우이다. 하지만 콘덴서 전압 v_{cr}(t₀)는 부하에 따라 변동함으로 실제로 두개의 전압을 항상 동일하게 하는 것은 불가능하다.

$$\phi = \left(\frac{v_i}{v_{cr}(t_1)}\right)^2 \tag{10}$$

이 모드에서 콘덴서 전압(v_c)이 입력전압에 부가됨으로 스위치가 Off 시 ZVS가 되는 조건을 만들 수 있다.

Mode 2 ($t_1 \sim t_2$)

Mode2에서 스위치 전류는 전원전압과 인덕터 L_b와 L_{r1}을 통하여 흐르는 전류(i_{r1})만 존재하게 되고, 그 관계는 Mode1과 동일하다. 본 모드에서 인덕터(L_{r2})에 축적된 에너지는 전원 측으로 전달된다. 이 때 인덕터(L_{r2})에 흐르는 전류는 다음과 같다.

$$i_{Lr2}(t-t_1) = i_{Lr2}(t_{m1}) - \frac{v_i}{L_{r2}}(t-t_1) \tag{11}$$

이 모드는 인덕터(L_{r2})에 흐르는 전류가 Zero가 되는

새로운 H-type 스너버를 이용한 차량 헤드램프용 고효율 컨버터

순간에 끝이 난다. 이 모드의 유지시간(t_{m2})은 아래와 같다.

$$t_{m2} = \frac{L_{r2} i_{L_{r2}}(t_{m1})}{v_i} \quad (12)$$

Mode 3 ($t_2 \sim t_3$)

Mode3은 기존 부스트 컨버터와 동일하게 동작한다. 이 모드는 스위치가 Off되는 순간에서 끝이 난다. 이 모드 끝나는 순간, 인덕터 L_{r1} 을 통하여 흐르는 전류 (i_{r1})은 아래와 같다.

$$i_{r1}(t-t_0) = \frac{v_i}{L_{r1} + L_b}(t-t_0) \quad (13)$$

Mode 4 ($t_3 \sim t_4$)

이 모드에서는 Mode1에서 콘덴서 전압(v_{cr})이 입력 전압의 부가된 상태에서 스위치가 Off 함으로 ZVS가 이루어지며 다이오드 C_r - D_{r1} - L_b - L_{r1} 으로 1차 측 루프를 형성하여 커패시터 전압(v_{cr})과 공진형 인덕터(L_{r1})의 공진에 의해 형성된다. 이 모드가 되는 순간의 인덕터 전류는 다음과 같다.

$$i_{r1}(t_3-t_0) = \frac{v_i}{L_b + L_{r1}}(t_3-t_0) \quad (14)$$

또는

$$i_{r1}(t-t_3) = i_T(t_3-t_0) \cos[\omega_m(t-t_3)] - \frac{v_i}{Z_m} \sin[\omega_m(t-t_3)] \quad (15)$$

$$\text{단, } \omega_m = \sqrt{(L_b + L_{r1})C_1}, Z_m = \sqrt{(L_b + L_{r1})/C_1}$$

$$v_{cr}(t-t_3) = -v_i \cos[\omega_m(t-t_3)] - Z_m i_T(t_3-t_0) \sin[\omega_m(t-t_3)] \quad (16)$$

$$v_Q(t-t_3) = v_i 1 - \cos[\omega_m(t-t_3)] - Z_m i_T(t_3-t_0) \sin[\omega_m(t-t_3)] \quad (17)$$

이 모드는 2차 측 전류 연속 및 불연속 모드로 구분할 수 있으나 그 동작 모드는 생략한다.

Mode 5 ($t_4 \sim t_5$)

Mode 5는 기존 부스트 컨버터에서 스위치 Off와 동일하게 동작한다.

$$i_{L_{r1}}(t-t_4) = i_{L_{r1}}(t_4-t_0) - \frac{v_o}{L_{r1}}(t-t_4) \quad (18)$$

2.2 Automotive Headlamp용 LDM

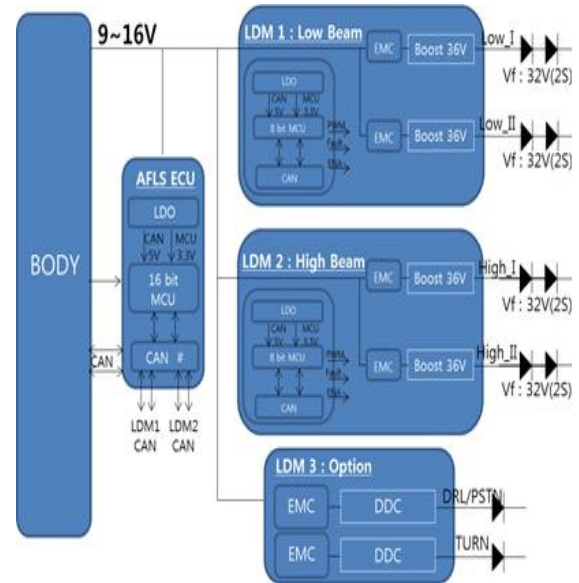


Fig. 3. System Configuration of the Existing Vehicle Headlamp

그림 3은 기존의 헤드램프용 LDM 시스템의 구성을 나타내고 있다. LDM의 구성은 크게 제어를 위한 16-bit MCU와 상위제어기와 통신을 위한 CAN(또는 LIN)통신 모듈, 그리고 LED 구동을 위한 부스트 컨버터로 구성되어 있다. 일반적인 차량용 헤드램프는 Low beam과 High beam으로 구성으로 하나의 LDM은 2세트의 라이트를 구동한다.

MCU는 부스트 컨버터의 Enable 신호, Fault 신호, 그리고 PWM 신호를 출력한다. CAN 통신 모듈은 AFLS(Adaptive Front-lightning System)의 MCU와 통신을 하게 된다. CAN 통신을 통하여 Main MCU로부터 PWM, Enable 신호, Beam pattern 신호등 다양한 명령을 받아 헤드라이트의 동작을 수행한다. 또한 LED 온도를 낮추기 위한 FAN의 고장유무 진단 및

LDM dimming기능을 수행한다. 현재의 헤드라이트는 Low beam과 High beam을 구동을 위해서 각각의 LDM을 가지고 있다. 따라서 현재의 차량용 헤드라이트 가격은 자연스럽게 올라 갈 수 밖에 없다[4-5].

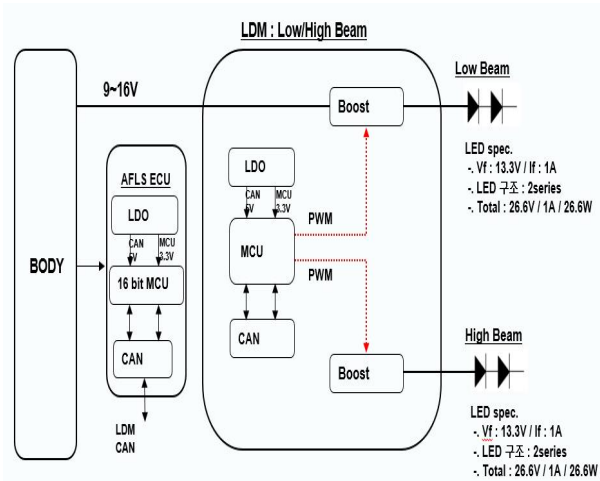


Fig. 4. LDM Design Specifications

그림 4는 두 조의 LDM을 구동을 위한 개별의 전용 칩 이동을 배제하고 마이컴으로 전체를 제어하는 시스템 설계구조를 나타내고 있다. 기존의 헤드램프의 구조와는 다르게 1개의 LDM으로 구성이 되며, Low beam과 High beam을 제어한다. 기존에는 LED 전류 제어를 위한 부스트 컨버터 IC를 사용하였으나, 본 연구에서 제안하는 LDM은 앞 절에서 제안한 하이브리드 컨버터를 적용하여 MCU가 전압·전류 피드백을 받아 직접적인 전류 제어를 하게 된다.

3. 시뮬레이션 및 구현

3.1 하이브리드 컨버터의 시뮬레이션 수행

그림 5는 제안된 회로를 PSIM으로 구현한 회로이다. 시뮬레이션 조건은 입력전압 14V, 출력전압 36V, 스위칭 주파수는 60kHz이다.

CCM(Continuous Current Mode)에서 동작을 확인하기 위하여 메인 인덕터 L_b 는 1.5mH, 공진 스너버 인덕터 L_{r1} 은 1uH, L_{r2} 는 5uH, 공진 커패시터 C_r 은 470pF

으로 설정하였다.

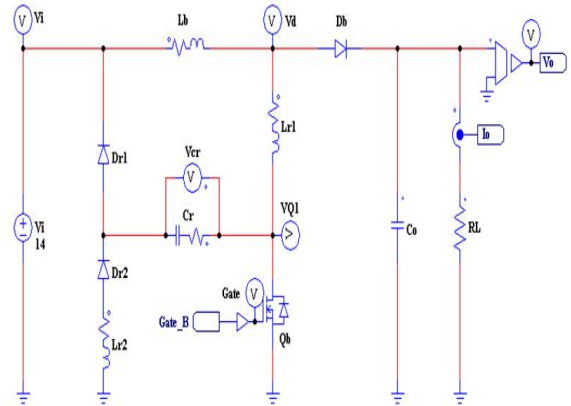


Fig. 5. Configuration of Simulation Circuit for the Proposed Circuit

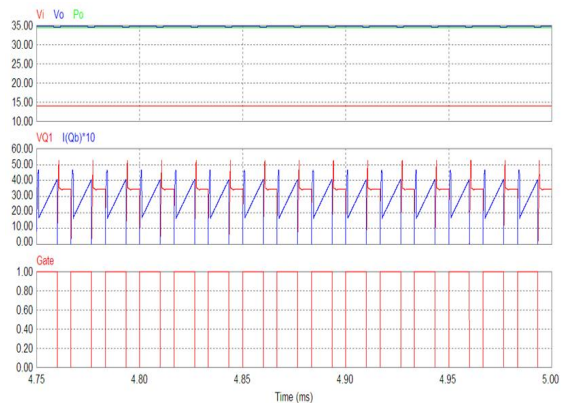


Fig. 6. Simulation Result Waveform

그림 6은 시뮬레이션 결과 파형이다. 맨 위부터 입력전압과 출력전압파형, 스위치의 전압·전류 파형, 그리고 스위치의 Gate 신호 파형이다. 시뮬레이션 결과, 입력전압 14V 출력전압이 36V가 출력이 됨을 확인할 수 있다.

그림 7은 소프트 스위칭을 확인하기 위해 그림 6을 확대한 파형이다. Gate의 신호가 High인 경우, 스위치가 On이 되며 ZCS를 하고, 스위치가 Off 상태가 되면 ZVS가 되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 제안된 H-type의 공진형 스너버 회로를 이용한 승압 컨버터의 경우, 높은 스위칭 주파수에서도 스위칭의 과도손실을 감소시켜 효율을 높일 수 있을 것으로 예상된다.

새로운 H-type 스너버를 이용한 차량 헤드램프용 고효율 컨버터

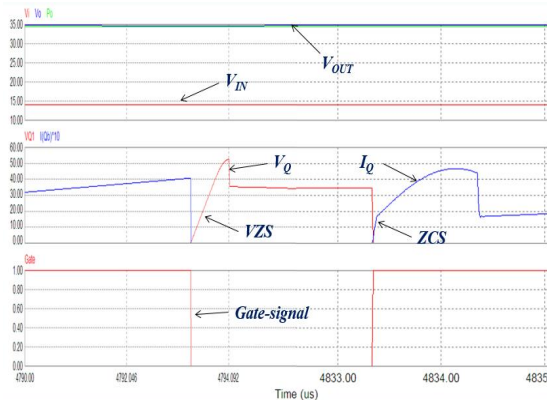


Fig. 7. The simulation Results Waveform (ZVS, ZCS)

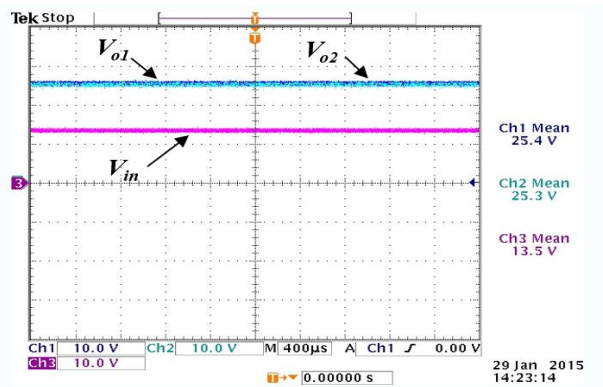


Fig. 8. Input and Output Voltage Waveforms of LDM

그림 8은 LDM의 입력전압과 출력전압의 파형이다. 입력전압 13.5V와 2개의 출력전압이 각각 25.4V, 25.3V가 출력됨을 확인할 수 있다.

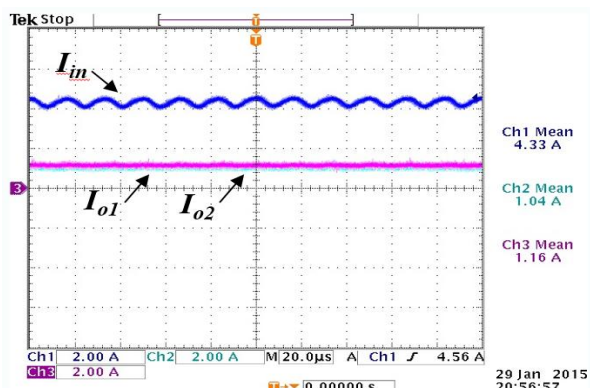


Fig. 9. Input and Output Current Waveforms of LDM

그림 9는 LDM의 입력전류와 출력전류의 파형이다. 입력전류 4.33A와 2개의 출력전류 각각 1.04A와 1.16A를 확인할 수 있다. 따라서 그림 8과 그림 9를 통하여 1개의 모듈에서 2개의 부스트컨버터 출력이 나옴을 확인할 수 있다.

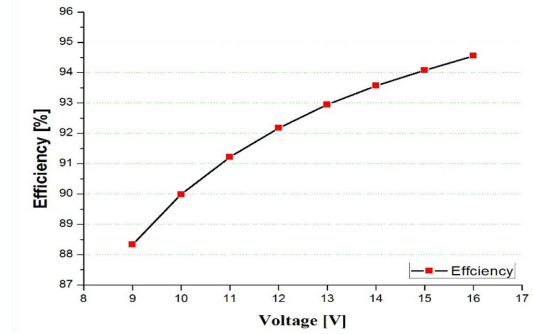


Fig. 10. Each Graph of Voltage Efficiency by LDM

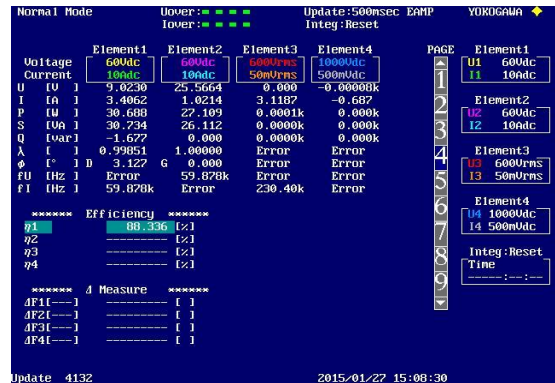


Fig. 11. Output Efficiency in the Output Voltage of 9V

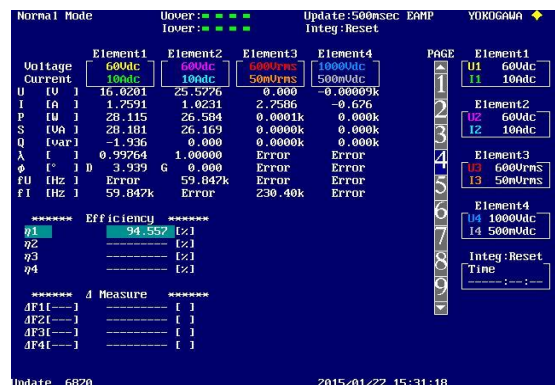


Fig. 12. Output Efficiency in the Output Voltage of 16V

그림 10은 LDM의 각 전압별 효율을 측정하여 그래프로 나타낸 그림이다. LDM의 구동을 위한 입력전압 9~16V에서 효율을 측정, 최소효율은 9V에서 88.3%, 최대효율은 16V에서 94.5%가 나옴을 확인하였으며, 그림 11은 최소 입력 전압일 경우와 그림 12는 최대 입력전압인 경우의 효율을 측정한 결과이다.

3.2 Automotive Headlamp용 LDM 구현

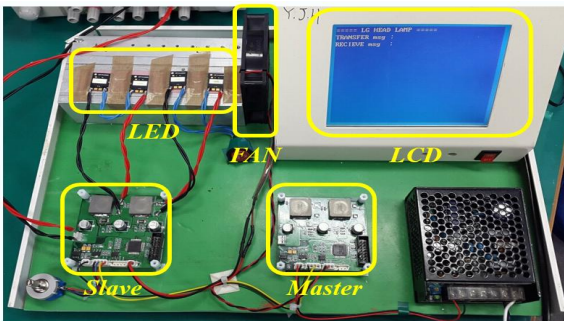


Fig. 13. Experimental Stack to Realize LDM Functions

그림 13은 LDM 기능구현을 위하여 구성된 실험스택이다. 1개의 Master LDM보드는 Slave LDM에 명령을 보내는 역할을 하며 LCD 출력을 한다. Slave LDM은 2개의 부스트 컨버터 구동, FAN제어, 통신기능을 하게 된다. 본 실험스택을 이용하여 Diagnosis기능 및 LIN통신을 구현하였다.

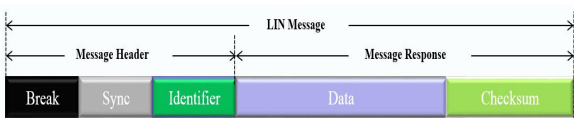


Fig. 14. LIN Communication Data Structure

그림 14는 LIN 통신의 데이터 구조를 나타낸 그림이다. Break는 모든 LIN 프레임의 시작을 알리는 부분으로 모든 버스의 모든 노드에게 알리는 역할을 한다. Sync의 동기는 x55로 정의되며, Slave 디바이스가 보드속도의 주기를 측정하여 버스와 동기화를 하게 된다. Identifier은 각 메시지에 대한 식별을 제공하여 어떤 노드가 수신하고 전송에 응답하는지 결정을 하게 된다. Data는 일반적인 통신과 같이 수신 또는 송

신하는 데이터의 영역이다. 마지막으로는 Checksum은 통신으로 주고받는 데이터에 대한 오류를 체크하는 영역이다.

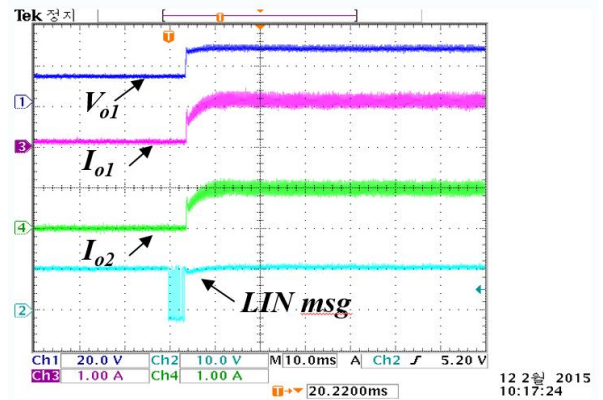


Fig. 15. Experimental Waveforms - LDM Driver

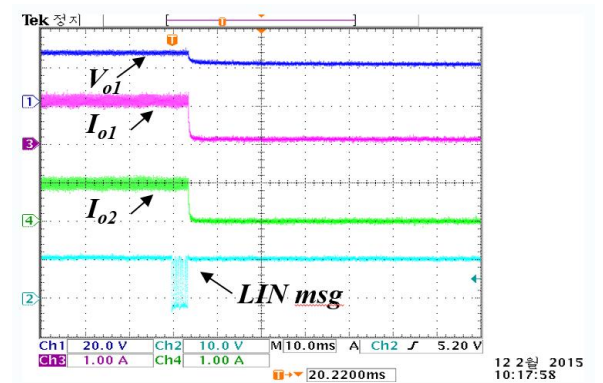


Fig. 16. Experimental Waveforms - LDM Stop

그림 16은 Slave LDM의 구동중의 파형이다. LIN을 통하여 정지 메시지가 입력이 되면, Slave LDM의 2개의 부스트컨버터가 동작을 정지하게 된다. LIN 통신을 이용하여 통신 알고리즘을 구현하였음을 통신을 통한 시스템 On/Off를 통하여 확인하였다. 구현된 LIN 통신 알고리즘은 LDM protection 기능과 연동하여 구현하였다.

4. 결론

반도체 광원으로 대표되는 LED는 자동차의 친환경화, 경량화, 지능화, 전장화를 표방하는데 부합하는 차

세대 조명기술로 에너지 소모량이 적으며 친환경적인 광원으로 주목을 받으며 차량의 LED 조명의 채택률이 급격히 증가하고 있다.

소프트 스위칭을 위한 제안된 H-type 공진형 스너버가 적용된 승압형 컨버터를 Headlamp용 LDM로 적용한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 새로운 H-type 공진형 스너버 적용으로 Headlamp용 LDM 구동드라이브의 효율은 정격 출력에서 92.9%, 최대효율 94.5%로 나타났다.
- Low Beam과 High Beam용 LED 구동 전용칩을 이용하는 기존의 LDM 구동드라이브의 단점을 극복하기 위해 마이컴으로 전체를 제어하였다.
- 상용화를 위해 Headlamp 구동드라이브 사이즈는 통신, Diagnosis 및 protection기능을 포함하여 70*70(mm²)로 구현하였다.
- 제품화를 위해 LIN통신 방식을 적용하였으며, Diagnosis기능도 겸비하였다.
- 본 연구를 통하여 개발된 LDM은 MCU가 직접적인 시스템 제어 및 통신을 통하여 보다 능동적인 제어가 가능하다는 점이다.

따라서 향후 이를 바탕으로 하여 다양한 기능을 갖는 LDM 개발 뿐 만 아니라 차량용 LED조명 장치에도 응용이 될 것으로 예측된다.

이 논문은 (주)LG 이노텍의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

References

[1] H.J Kim, H.J Kim, G.H Kim, C.M Lee, H Kim, O.H An, "A Study of Driver Brain Wave Characteristics through Changes in Headlamp Brightness", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol.21 No.9, pp 1-6, 2007.

[2] H.G Jeong, S.B Han, C.Y Jang, "Energy Efficient LED Lighting Design to utilize the Sun Light, Journal of the Korean Solar Energy Society Vol. 31, pp.31~36, 2011.

[3] J.Bayer, M.Koplin, J.Butcher, K.Frieddrich, T.Roebke, H.Wiegman, G.R.Brower, "Optimizing thr University of Wisconsin's Parallel Hybrid-Electric Aluminum Intensive Vehicle", SAE, March, 1999.

[4] S.W. OH, J.S. Bae, Y.M. Kim, H.B. Han, "Standardization Development of DRL LDM inside Head Lamp", The Korean

Society of Automotive Engineers, Vol. 13, pp.1031~1032, 2013.

[5] I. V. Rozhansky and D. A. Zakheim, "Analysis of the cause of the decrease in the electroluminescence efficiency of AlGaInN light-emitting-diode hetero structures at high pumping density," Semiconductors, vol. 40, no. 7, pp. 839-845, 2006.

◆ 저자소개 ◆



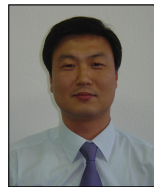
김성주 (金成柱)

1977년 6월 4일생. 2002년 동아대 전기공학과 졸업. 2004년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 3월~현재 전남대 전기공학과 박사과정.



김선필 (金善必)

1985년 4월 7일생. 2011년 한밭대 제어계측공학과 졸업. 2013년 동대학원 제어, 계측공학과 졸업(석사). 2013년 3월~현재 전남대 전기공학과 박사과정.



정태욱 (鄭泰旭)

1970년 5월 16일생. 1993년 부산대공대 전기공학과 졸업. 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996~2005년 LG전자(주) 책임연구원. 2006~2007년 한국생산기술연구원 선임연구원. 2007년 전기공학과 부교수. 본 학회 편수위원. ~현재 경남대



박성준 (朴晟濬)

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002년 동 대학원 지능 기계공학과 졸업(박사). 1996년 3월~2000년 2월 거제대학 전기과 조교수. 2000년 3월~2003년 8월 동명대학 전기공학과 조교수. 2003년 8월~현재 전남대학교 전기공학과 교수.



박성미 (朴成美)

1963년 6월 20일생. 1986년 전남대 계산통계학과 졸업. 2001년 전남대 컴퓨터공학과 졸업(석사). 2011년 전남대 컴퓨터정보통신공학과 졸업(박사). 2013년 3월~현재 한국승강기대 승강기공학부 설계전공 조교수.