

LCD Backlight 응용을 위한 Charge Pump Half-Bridge Inverter 회로

박규민, 노정욱, 한상규, 홍성수, 사공석진, 권기현*, 이효범*
 국민대학교 전력전자 연구소, *삼성전기(주) P&M 사업부

Charge Pump Half-Bridge Inverter for LCD Backlight Drive Applications

Kyu-Min Park, Chung-Wook Roh, Sang-Kyoo Han, Sung-Soo Hong, Sug-Chin Sakong,
 Gi-Hyun Kwon*, Hyo-Bum Lee*

Kookmin University Power Electronics center, *Samsung Electro-Mechanics Co., LTD

ABSTRACT

본 논문은 LCD Backlight 구동을 위한 새로운 방식의 회로를 제안한다. 제안된 회로는 Charge Pump 캐패시터를 이용한 Half-Bridge 타입의 인버터로 Full Bridge 회로와 동등한 성능을 갖는다. 제안 회로는 넓은 입력 범위와 넓은 부하 범위에서 영전압 스위칭(ZVS) 확보가 가능해서 인버터의 고효율 동작이 확보되고, MOSFET의 surge 및 noise를 저감시킨다. 제안된 회로의 동작 원리를 설명하고, 시뮬레이션 및 40" LCD 패널에 실제 적용 실험하여, 회로의 동작을 입증하였다.

1. 서론

최근 LCD TV와 PDP TV는 증서가 대형 디스플레이 시장을 선점하기 위한 치열한 가격 경쟁 중이다. 이러한 가격 경쟁에서 우위를 점하기 위해 LCD 업체들은 막대한 자본을 투입하여 저 가격화를 실현하기 위해 연구 중이다. 이러한 가격 경쟁은 LCD 디스플레이를 구성하고 있는 인버터 분야도 예외가 아니다.

그림 1은 현재 LCD TV의 Backlight용 인버터 중 가장 널리 쓰이는 topology는 Phase-Shift Full Bridge 인버터 회로이다.(Samsung 40" LCD Backlight 인버터 일레) 이는 1차측을 Full Bridge 단으로 구성하여 구형파를 만들고 Phase-Shift를 통해 영전압 스위칭을 확보하여 효율을 개선한다.^[1] 하지만 Phase-Shift Full Bridge 인버터 회로를 사용할 경우 O₂ Micro 사에 특허 로열티 지급을 해야 하기 때문에 저 가격화의 방해 요소가 된다.

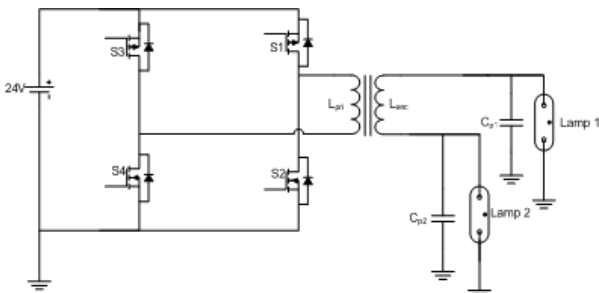


그림 1 Phase-Shift Full Bridge 인버터 회로 (Samsung 40" LCD Backlight 인버터 일레)

이와 같은 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서 Low Side Charge Pump Half-Bridge 인버터 회로를 제안한다.

제안 회로는 Charge Pump 캐패시터를 이용해서 Full Bridge 인버터와 동등한 성능을 낼 수 있는 Half-Bridge 형태의 인버터로서, 넓은 입력 및 부하 범위에서 영전압 스위칭을 보장하여 소자 발열이 줄고 인버터의 고효율 동작을 확보한다. 또한 출력 전류의 대칭성을 보장하여 램프의 수명을 해치지 않는 효과가 있다.

2. Charge Pump Half-Bridge Inverter

2.1 Low Side Charge Pump Half-Bridge Inverter

다음의 그림 2는 본 논문에서 제안하는 Low Side Charge Pump Half-Bridge Inverter(LCPI) 회로이다.

제안된 LCPI 회로는 NMOS 주 스위치 S1, S2, S3 그리고 S4 4개로 구성되고, 스위치 S1과 S4는 시비율 D로 180도 위상 차이를 가지고 교대로 도통, 차단을 반복한다. S2와 S3 역시 시비율 (1-D)로 180도 위상차이를 가지고 도통, 차단을 반복하게 된다. 각 스위치의 스위칭 신호 S1, S2, S3 그리고 S4를 살펴보면, S2와 S3는 각각 S1과 S3의 반전이므로 제안된 회로는 일반적인 Push-pull 인버터 구동용 제어 IC의 출력 신호 2개로 스위치 4개의 구동을 이룰 수 있다. 정상 상태에서 캐패시터 C의 전압은 입력전압 +V_{in}을 유지한다.

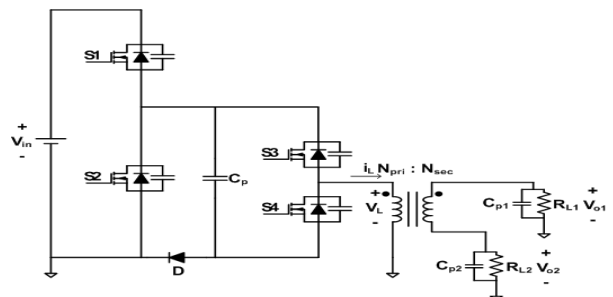


그림 2 LCPI 회로

2.1.1 Low Side Charge Pump Half-Bridge Inverter 회로의 동작 원리

그림 3은 제안된 회로의 동작 전압 및 전류 파형이다.

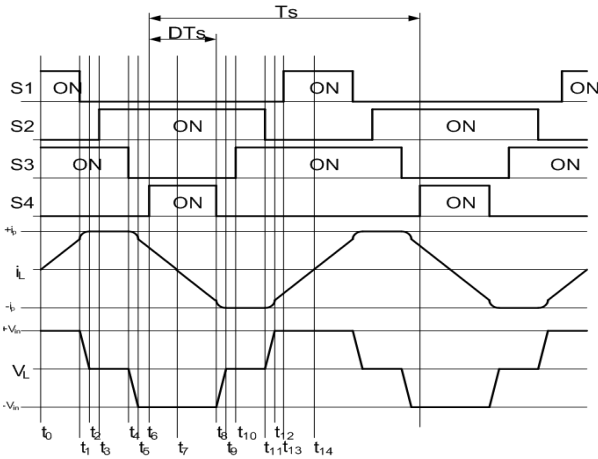


그림 3 LCPI 동작 전압 및 전류 파형

그림 4은 각 구간의 동작의 등가회로 이다. 구간별 동작은 다음과 같다.

Mode 1 [t_0-t_1] : S1과 S3가 도통되어 트랜스퍼머 1차측 권선의 양단 전압 V_L 은 $+V_{in}$ 이 인가되고, 전류 i_L 은 $+V_{in}/L_m$ 의 기울기로 증가한다.

Mode 2 [t_1-t_2] : S1이 차단되면 i_L 은 $+I_p$ 값을 갖고, L_m 과 $C_{ds}(S1)$ 그리고 $C_{ds}(S2)$ 의 경로로 공진 path가 형성된다. $V_{ds}(S1)$ 는 0에서 $+V_{in}$ 까지 상승하고 $V_{ds}(S2)$ 는 $+V_{in}$ 에서 0까지 하강한다. 이때 V_L 압은 $+V_{in}$ 에서 0으로 떨어진다.

Mode 3 [t_2-t_3] : S2의 body diode가 도통되어 전류가 흐르게 된다. V_L 의 전압은 0V이므로 i_L 의 전류는 i_p 를 유지한다.

Mode 4 [t_3-t_4] : $t=t_3$ 에서 S2는 $V_{ds}(S2)$ 가 0V인 상태에서 도통하여 영전압 스위칭으로 동작하고, i_L 의 전류는 계속 i_p 를 유지한다.

Mode 5 [t_4-t_5] : S3이 차단되면 i_L 은 $+i_p$ 에서 하강하기 시작하고, L_m 과 $C_{ds}(S3)$ 그리고 $C_{ds}(S4)$ 의 경로로 공진 path가 형성된다. $V_{ds}(S3)$ 는 0에서 $+V_{in}$ 까지 상승하고 $V_{ds}(S4)$ 는 $+V_{in}$ 에서 0까지 하강한다. 이때 V_L 은 0에서 $-V_{in}$ 까지 하강한다.

Mode 6 [t_5-t_6] : S4의 body diode가 도통되어 전류가 흐르게 된다. V_L 의 전압은 $-V_{in}$ 이므로 i_L 의 전류는 $-V_{in}/L_m$ 의 기울기로 감소한다.

Mode 7 [t_6-t_7] : $t=t_6$ 에서 S4는 $V_{ds}(S4)$ 가 0V인 상태에서 도통하여 영전압 스위칭으로 동작하고, i_L 의 전류는 $-V_{in}/L_m$ 의 기울기로 감소한다.

t_7 이후에 i_L 은 음의 값을 가지고, 전력이 부하로 전달되는 나머지 반 주기 동작이다.

그림 5은 LCPI를 구동하기 위한 gate driver 회로이다.^[2]

그림 5의 G1 블록은 스위치 S4를 구동하기 위한 gate drive 회로이다. level shift에 low신호가 인가되면 Q_1 이 도통되면서 Charge Pump 캐패시터 C_p 와 C1 그리고 저항을 통해 펄루프가 형성되므로 C1에는 V_{in} 이 충전된다. 스위치 S4가 도통하기 전에 S2가 먼저 도통이 되어있으므로 S4의 소스측 전압은 $-V_{in}$ 이 되고, V_A 는 $+V_{cc}$ 이므로 부트스트랩 캐패시터 C_{bt1} 에는 그라운드 대비 V_{cc} 가 충전된다. level shift에 high 신호가 인가되면 Q_2 가 도통되므로 V_{G1} 의 전압은 $-V_{in}+V_{cc}$ 가 된다. 그러므로 S4의 소스 대비 게이트 전압은 V_{cc} 가 인가되어 S4는 도통되게 된다.

그림 5의 G2 블록은 스위치 S3을 구동하기 위한 gate drive 회로이다. S2와 S4가 도통될 때, V_B 전압은 $-V_{in}$ 이 되고 C_{bt2} 의 전압은 V_{cc} 가 되므로 C2의 양단 전압은 V_{in} 이 된다.

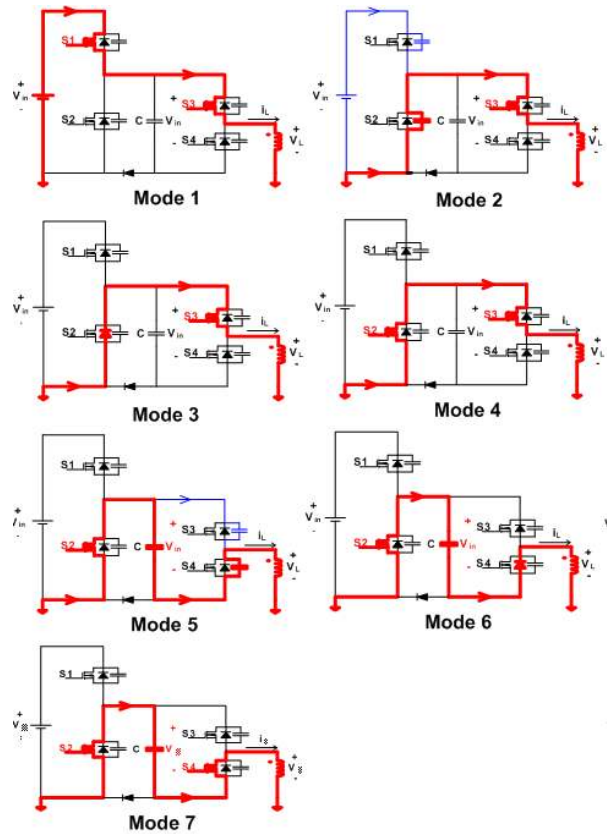


그림 4 LCPI의 동작 모드별 등가회로

level shift에 low 신호가 인가되면 Q_3 가 도통되고 C3는 C2에 의해 V_{in} 으로 충전이 된다. S3이 도통되기 전에 S4는 차단된다. level shift에 high 신호가 인가되면 Q_4 가 도통되고 V_C 의 전압은 $V_B+V_{in}+V_{cc}$ 가 된다. Q_3 이 도통되어 있을 때 C3에 V_{in} 전압이 충전되어 있었으므로 V_{C2} 에는 V_B+V_{cc} 의 전압이 된다. 즉 S3에 소스 대비 게이트 전압이 V_{cc} 가 인가되어 S3이 도통된다.

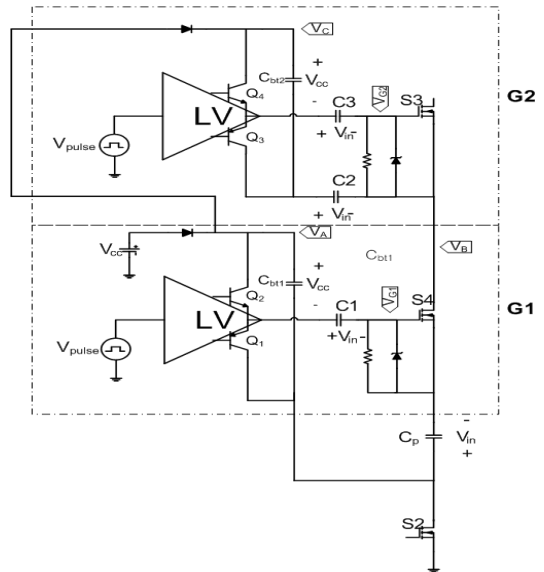


그림 5 스위치 S3과 S4를 구동하기 위한 LCPI gate drive 회로

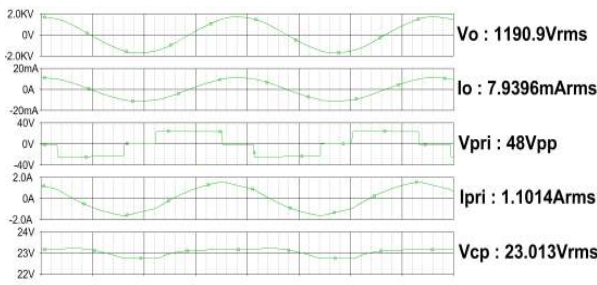


그림 5 LCPI 회로의 모의 실험 결과

2.1.2 Low Side Charge Pump Half-Bridge 인버터 회로의 모의 실험 및 실험

그림 5은 LCPI의 모의 실험 결과이다. 모의 실험의 조건은 다음과 같다. 입력 전압 V_{in} 은 24V이고, 주 스위치 S1과 S4의 Duty는 0.32이고 S2와 S3의 Duty는 0.64이다. 스위칭 주파수 f_s 는 52.5kHz이다. 그리고 트랜스포머의 parameter는 L_m 은 219.8uH, 1차측 Leakage Inductance L_{k_pri} 는 20.8uH, 2차측 Leakage Inductance L_{k_sec} 는 451.8mH이고, 트랜스포머의 턴비는 24:2300이다. 램프는 Sanken사의 LTA400W2-LO2가 1200Vrms의 경우 8mA_{rms}가 흐르므로 저항 150kΩ으로 모델링하였다. 모의 실험 결과, 트랜스포머의 1차측 전압은 양의 Powering구간에는 $+V_{in}$ 값을 유지하고 음의 Powering 구간에는 $-V_{in}$ 의 값을 유지하면서 peak-to-peak 값이 $2V_{in}$ 인 48V를 가진다. 램프 양단 전압의 RMS 값은 1190.9V_{rms}이고 램프 전류의 RMS 값은 7.9396mA_{rms}을 나타낸다. Charge Pump 캐패시터 전압은 약 23V 정도로 V_{in} 과 비슷하다.

그림 6는 실제 LCPI 회로의 게이트 신호, Charge Pump 캐패시터 전압 그리고 출력 전류 파형이다.

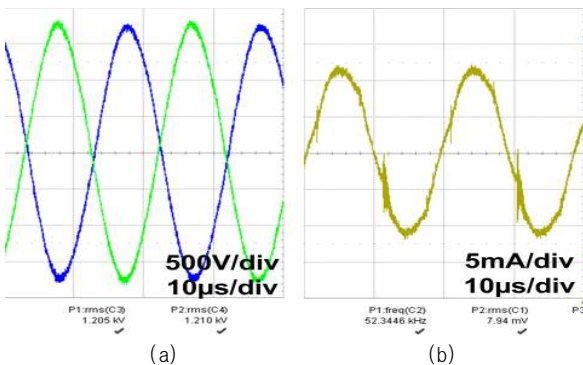


그림 6 LCPI 회로의 (a) 램프 양단 전압파형 (b) 램프 전류

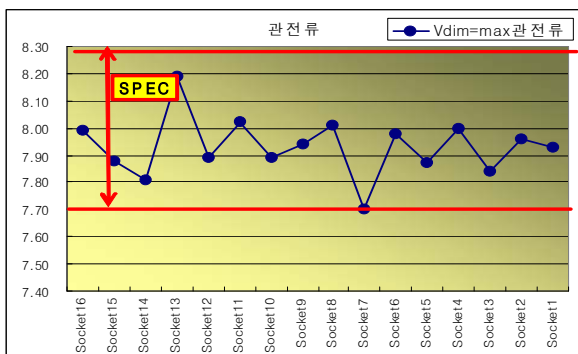


그림 7 램프에 흐르는 전류

실제 실험 결과와 모의 실험 결과가 일치함을 알 수 있다.

그림 7은 각각의 램프에 흐르는 전류 편차를 그래프로 나타낸 것이다. 램프에 흐르는 전류의 최대값은 8.19mA이고 최소값은 7.65mA이다. 전류 편차 스펙이 8mA±0.5mA이므로 전류 편차를 만족하는 것을 알 수 있다.

모의 실험과 실제 실험을 통하여 LCPI가 Full Bridge와 비슷한 파형을 갖는 것을 볼 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 LCD Backlight 응용을 위한 Charge Pump Half-Bridge 인버터를 제안하였다. 제안 회로는 Charge Pump 캐패시터를 이용한 Half-Bridge 타입의 새로운 형태의 인버터 회로로서 영전압 스위칭이 가능하여 인버터의 고효율 동작과 FET의 surge 및 noise의 감소를 예상할 수 있다. 이를 모의 실험과 실제 실험을 통하여 증명하였다.

이 논문은 (주)삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Yung-Lin Lin, "High-efficiency adaptive DC/AC converter", U.S. Patent 6804129, Oct.12, 2004
- [2] 노정욱 외 3인, "Multi-level PDP 구동 회로를 위한 Gate Driver의 Boot-strap chain에 관한 연구", 전력전자학회지 제 11권 제 2호, 2006