

AC-PDP를 위한 단일 전원 단일 에너지 회수 서스테인 구동회로

최성욱, 문건우, 박정필*, 정남성*
한국과학기술원, 삼성SDI(주)*

Single Energy Recovery Sustaining Driver with Single Power Supply for AC-PDP

Seong-Wook Choi, Gun-Woo Moon, Jung-Pil Park*, Nam-Sung Jung*
Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Samsung SDI Co. Ltd.*

ABSTRACT

AC-PDP를 위한 단일 서스테인 구동회로로서 단극성 전원을 이용하여 양극성 서스테인 파형을 출력할 수 있는 새로운 단일 전원 단일 에너지 회수 서스테인 구동회로를 제안한다. 제안하는 회로는 회로 구성이 간단하면서도 전원 공급 장치의 추가 부담 없이 단극성 전원장치를 그대로 사용하여 가스 방전 유지 전압 크기의 양전압 및 음전압의 양극성 파형을 생성할 수 있다. 또한 에너지 회수 회로를 이용하여 플로팅 캐패시터를 충전시키기 때문에 충전 돌입 전류가 발생하지 않아 스위치의 전류 스트레스를 줄일 수 있는 특징이 있다.

1. 서론

플라즈마 디스플레이 패널(PDP)은 큰 화면과 넓은 시야각, 두께, 높은 명암비 등으로 CRT를 대체할 수 있는 차세대 디스플레이 소자로서 기대되고 있다. 하지만 이러한 고성능에도 불구하고 높은 가격 때문에 여전히 특정 영역에서만 국한되어 사용되고 있다. PDP 원가의 많은 부분은 패널의 뒤쪽에 위치하고 있는 전자장치에 의한 것으로, 이러한 전자장치의 절반 이상은 에너지 회수 서스테인 구동회로가 차지하고 있다. 그림 1은 Weber & Wood 에너지 회수 서스테인 구동회로^[1]를 나타내고 있다. 대부분의 PDP 제조업체에서 채택되어 널리 사용되고 있지만 구형파를 인가하기 위한 풀 브리지 인버터 및 패널의 무효전력을 회수하기 위한 에너지 회수부의 소자수가 많고 그 구성이 복잡해서 가격이 높다. 이를 해결하기 위해 제안된 Sakai 에너지 회수 서스테인 구동회로^[2]는 Weber 회로에 비해 소자수를 절반 가까이 줄였지만 그 구조상 PDP의 좌우 양단에 위치한 전극들을 연결해야 하므로 회로 및 기구가 복잡하고 시스템 부피가 커지게 된다. 한편, 위에서 언급한 두 회로 모두 풀 브리지 인버터를 사용하고 있기 때문에 PDP의 X 전극 및 Y 전극 각각에 구동회로부가 위치해야 하므로 원가 절감에 근본적인 한계를 안고 있다. 따라서 기존에 PDP의 X, Y 전극에 모두 존재하던 구동회로를 한 전극에만 위치시켜 구동보드를 하나로 만드는 단일 에너지 회수 서스테인 구동회로에 관한 연구가 요구되고 있다.

그림 2는 V_s 및 $-V_s$ 크기의 양극성 전원을 이용한 단일 에너지 회수 서스테인 구동회로^[3]이다. 패널의 한 전극을 0V로 고정하고 다른 전극에 하프 브리지 인버터와 에너지 회수 회로를 구성하여 $+V_s$ 및 $-V_s$ 전원을 패널에 인가한다. 구동회로

의 소자수를 기존회로의 절반으로 줄이고 단순한 구조의 단일 보드 형태의 구현이 가능하다. 하지만 스위치 S_1 및 S_2 의 전압 스트레스는 $2V_s$ 되는 되어 기존 회로에 비해 스위치들의 전압 스트레스가 두 배로 증가하며 음 전원이 필요하기 때문에 별도의 전원 공급 장치를 구성하거나 기존의 서스테인 전원 공급

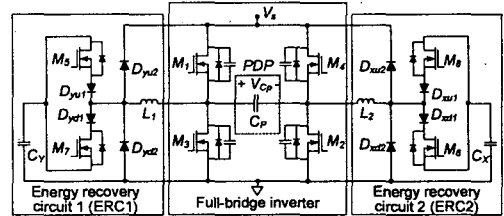


그림 1 Weber & Wood 에너지 회수 서스테인 구동회로

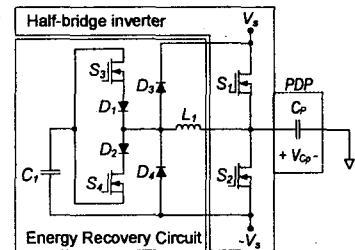


그림 2 양극성 전원 단일 에너지 회수 서스테인 구동회로

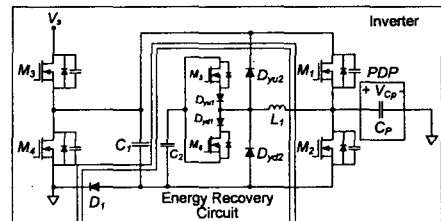


그림 3 TERES 단일 에너지 회수 서스테인 구동회로

장치의 출력을 두 배가 되도록 재설계하여야 한다. 이를 개선하기 위하여 그림 3의 TERES(Technology of Reciprocal Sustainer) 단일 에너지 회수 서스테인 구동회로가 제안되었다. PDP에 V_s 크기의 구형파를 인가하는 동안 캐패시터 C_1 이 V_s 로 충전되고 이 캐패시터 C_1 을 이용해서 PDP에 $-V_s$ 전압을 인가한다. 따라서 전원 공급 장치의 변형 없이 단일 구동회로를 구성할 수 있으며 인버터 스위치의 전압 스트레스가 V_s 이고 에너지 회수 소자들의 전압 스트레스가 $0.5V_s$ 로 기존의 Weber 풀 브리지 구동회로와 동일한 장점을 가지고 있다. 하지만 소자수면에서 풀 브리지 형태의 구동회로와 차이가 없으며 회로 구성이

매우 복잡하다. 또한 스위치 M_3 및 M_4 은 가스 방전 전류뿐만 아니라 에너지 회수 전류 또한 흐르기 때문에 도통 손실이 증가하고 영전압 스위칭이 보장되지 않기 때문에 스위칭 손실도 발생한다. 특히 그림 4에 보인바와 같이 PDP에 $-V_S$ 전압 인가 시 가스 방전 전류로 인해 캐패시터 C_1 에 발생하는 전압강하를 PDP에 $+V_S$ 에 인가 시 스위치 M_3 및 다이오드 D_1 을 통해 보상하므로 매우 큰 돌입 전류로 인해 소자의 전류 스트레스가 증가하는 심각한 문제를 안고 있다.

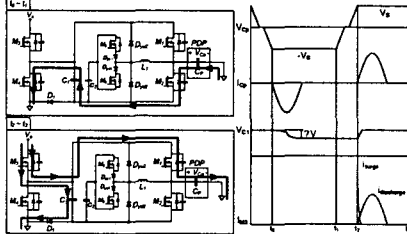


그림 4 캐패시터 C_1 의 전압 강하에 따른 충전 돌입 전류

따라서 이와 같은 기존 회로의 단점을 극복하기 위해서 그림 5와 같은 새로운 단일 전원 단일 에너지 회수 구동회로를 제안한다. 제안하는 회로는 음전압 생성을 위해 부유 캐패시터를 사용하기 때문에 전원 공급 장치의 변형 없이 방전 유지 동작이 가능하면서도 에너지 회수 인덕터가 에너지 회수 동작뿐만 아니라 부유 캐패시터의 전압을 충전하는 역할을 동시에 수행하기 때문에 충전 돌입 전류가 없으면서도 회로 구조가 단순한 특징이 있다.

2. 제안회로의 동작원리

그림 5 및 그림 6은 각각 단일 전원을 사용하는 새로운 단일 에너지 회수 구동회로와 주요 동작파형을 나타내고 있다. 해석의 편의를 위해 부유 캐패시터 C_1 은 그 값이 매우 커서 가스 방전 전류가 흘러도 양단 전압의 변화가 없다고 가정한다.

모드 0(t_0 이전): 스위치 M_1 이 도통되어 패널 양단 전압을 입력전압 V_S 로 유지하고 있다. 스위치 M_4 또한 도통되어 에너지 회수 인덕터 L_1 전압을 $0V$ 로 유지하고 있다.

모드 1(t_0-t_1): M_1 과 M_4 는 여전히 도통되어 있는 상태에서 스위치 M_3 를 켜면 모드 1이 시작된다. t_0 에서 t_1 동안 에너지 회수 인덕터 L_1 의 전류는 V_S/L_1 의 기울기로 선형적으로 증가하면서 그림 7과 같이 M_1 , L_1 , M_4 , 그리고 M_3 를 통해 흐르게 된다. 이 때 회수 인덕터 전류 i_{L1} 은 다음과 같다.

$$i_{L1}(t) = \frac{V_S}{L_1}(t - t_0) \quad (1)$$

이 모드 동안 에너지 회수 인덕터는 패널 양단 전압을 완전하게 V_S 에서 $-V_S$ 로 변화시킬 수 있는 충분한 에너지를 축적하게 된다.

모드 2(t_1-t_2): M_3 와 M_4 가 여전히 켜져 있는 상태에서 스위치 M_1 이 꺼지면 모드 2가 시작된다. $0V$ 를 바이어스로 하고 L_1 과 C_P 로 구성되는 직렬 공진회로가 형성되면 $v_{ds1}(t) = 0V$, $v_{ds2}(t) = 2V_S$, $v_{Cp}(t) = V_S$ 와 $i_{L1}(t) = (V_S/L_1)\Delta T$, $\Delta T = t_1 - t_0$ 을 초기 조건으로 공진하면서 패널에 축적된 에너지를 회수 및 투여하게 된다.

이때 패널 전압 $v_{Cp}(t)$ 와 패널전류 $i_{Cp}(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$i_{Cp}(t) = \left(\frac{V_S}{L_1}\Delta T\right)\cos\omega_c(t-t_1) + V_S\sqrt{\frac{C_P}{L_1}}\sin\omega_c(t-t_1) \quad (2)$$

$$v_{Cp}(t) = V_S\cos\omega_c(t-t_1) - \frac{V_S}{L_1}\Delta T\sqrt{\frac{L_1}{C_P}}\sin\omega_c(t-t_1) \quad (3)$$

여기서 $\Delta T = t_1 - t_0$ 이고 $\omega_c = 1/\sqrt{L_1C_P}$ 이다.

t_2 전에 v_{Cp} 는 $-V_S$ 로 고정되며 M_2 스위치의 출력 캐패시터들은 완전히 방전되어 스위치 양단 전압이 $0V$ 로 떨어진다.

모드 3(t_2-t_3): 스위치 M_2 의 양단전압이 같기 때문에 영전압 스위칭 되면서 모드 3이 시작된다. 동시에 스위치 M_4 가 꺼지게 된다. 에너지 회수 인덕터의 전류는 $-V_S/L_1$ 의 기울기로 감소하면서 i_{L1} 은 L_1 , M_4 의 바디 다이오드, C_1 , 그리고 M_2 을 통해 흐른다. 인덕터 전류는 다음과 같이 주어진다.

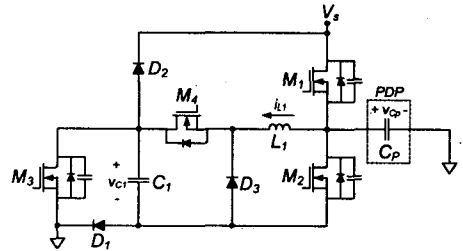


그림 5 제안하는 단일 전원 단일 서스테인 구동회로

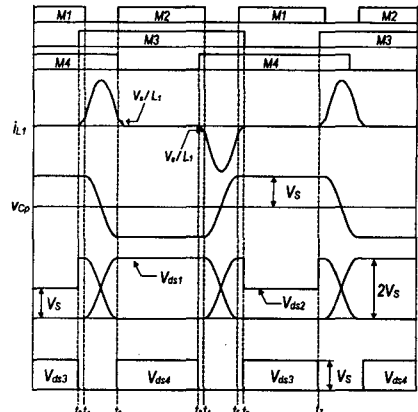


그림 6 제안회로의 주요 동작 파형

$$i_{L1} = i_{L1}(t_2) - \frac{V_S}{L_1}(t - t_2) \quad (4)$$

동시에 가스 방전전류가 패널을 거쳐 M_2 , C_1 , M_3 로 흐르면서 PDP를 발광시킨다. ΔT 시간후 에너지 회수 인덕터의 전류가 $0A$ 가 되면 다이오드 D_3 가 인덕터 양단 전압을 클램핑시킨다. 모드 3 동안 패널 전압은 $-V_S$ 로 유지된다.

모드 4(t_3-t_4): 스위치 M_4 가 꺼지면서 모드 4가 시작된다. 인덕터 L_1 양단에 캐패시터 C_1 의 전압이 인가되면서 패널에 축적된 에너지를 완전히 회수하기 위한 에너지가 인덕터에 축적된다. 이 때 회수 인덕터 전류 i_{L1} 은 다음과 같다.

$$i_{L1}(t) = -\frac{V_S}{L_1}(t - t_3) \quad (5)$$

모드 5(t_4-t_5): M_3 와 M_4 가 여전히 켜져 있는 상태에서 스위치 M_2 이 꺼지면 모드 5가 시작된다. L_1 과 C_P 로 공진회로가 형성되어 에너지 투여 동작을 실시한다. 이때 패널 전압 $v_{Cp}(t)$ 와 패널 캐패시터의 변위전류 $i_{Cp}(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$i_{Cp}(t) = -\left(\frac{V_s}{L_1} \Delta T\right) \cos \omega_c(t-t_1) - V_s \sqrt{\frac{C_p}{L_1}} \sin \omega_c(t-t_1) \quad (6)$$

$$v_{Cp}(t) = -V_s \cos \omega_c(t-t_1) + \frac{V_s}{L_1} \Delta T \sqrt{\frac{L_1}{C_p}} \sin \omega_c(t-t_1) \quad (7)$$

여기서 $\Delta T = t_4 - t_3$ 이고 $\omega_c = 1/\sqrt{L_1 C_p}$ 이다.

t_5 전에 v_{Cp} 는 V_s 로 고정되며 M_1 스위치의 출력 캐패시터들은 완전히 방전되어 스위치 양단 전압이 0V로 떨어진다.

모드 6(t_5-t_6): 스위치 M_1 이 영전압에서 켜지면서 모드 6이 시작된다. 에너지 회수 인덕터의 전류는 V_s / L_1 의 기울기로 감소하면서 i_{L1} 은 스위치 M_3, M_4 그리고 M_1 의 바디 다이오드를 통해 입력전원으로 흐른다. 이때의 인덕터 전류는 다음과 같이 주어진다.

$$i_{L1} = i_{L1}(t_5) - \frac{V_s}{L_1}(t-t_5) \quad (8)$$

동시에 가스 방전전류가 스위치 M_1 을 거쳐 패널로 흐르면서 PDP를 발광시킨다. 인덕터 전류 i_{L1} 이 0A에 도달하면 모드 6이 끝난다.

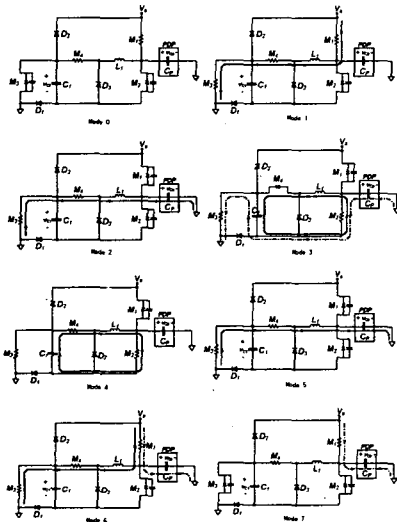


그림 7 제안회로의 동작 별 전류 도통 경로

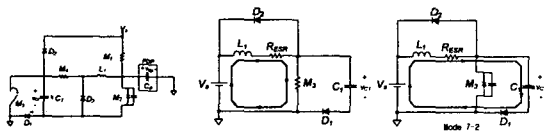


그림 8 캐패시터 충전 시의 등가 회로 및 전류 도통 경로

모드 7(t_6-t_7): 인덕터 전류가 0A가 되면서 스위치 M_3 가 꺼지면서 모드 7이 시작된다. 모드 7 동안 패널전압은 계속해서 V_s 로 유지되면서 스위치 M_1 을 통해 가스 방전 전류가 흐르게 된다.

제한한 단일 구동회로의 동작을 간결하게 설명하기 위해서 캐패시터 C_1 의 값이 매우커서 가스 방전 전류가 흘러도 캐패시터 전압은 변화가 없다고 가정하였지만 실제 동작 시에는 모드 3에서 가스 방전 전류가 캐패시터 C_1 을 통해 흐르면 전압 강하(ΔV)가 발생하게 된다. 따라서 캐패시터 C_1 을 충전하기 위한 동작이 필요하다. 이를 위해 서스테인 구간의 모드 7 혹은 리셋이나 어드레스 구간의 스위치 M_1 이 켜져있는 부분에서 스위치 M_3 를 이용해서 부스트 컨버터와 같은 원리로 캐패시터 C_1

을 충전할 수 있다. 이때의 등가회로는 그림 8과 같다. 스위치 M_1 과 M_4 은 켜져 있고 온 저항만이 보이므로 스위치 M_3 의 온 저항으로 근사화하였다. 또한 캐패시터 C_1 은 $V_s - \Delta V$ 의 초기값을 갖는다고 가정한다. 캐패시터 충전 동작은 다음과 같다.

모드 7-1: 에너지 회수 인덕터의 전류가 0A가 되어도 계속해서 스위치 M_3 를 켜 놓으면 인덕터 L_1 은 다음과 같이 전류를 선형적으로 증가하면서 에너지를 축적하게 된다.

$$i_{L1}(t) = \frac{V_s}{L_1} t \quad (9)$$

이때 캐패시터 C_1 은 다이오드 D_1 에 의해 개방되어 있다.

모드 7-2: 스위치 M_3 가 꺼지면 모드 7-2가 시작된다. 캐패시터 C_1 의 전압이 입력전원 V_s 보다 작기 때문에 인덕터 전류 i_{L1} 은 C_1, D_1 을 거쳐서 흐르게 된다. 이 때 인덕터 L_1 양단전압은 다음과 같이 주어진다.

$$v_{L1} = V_s - v_{C1} = V_s - (V_s - \Delta V) = \Delta V \quad (10)$$

ΔV 은 V_s 에 비해 매우 작기 때문에 0V로 근사화하면 인덕터 L_1 의 전류는 모드 7-2동안 일정하다. 따라서 캐패시터 C_1 의 전압은 인덕터 L_1 의 전류에 의해 다음과 같이 증가한다.

$$v_{C1}(t) = V_s - \Delta V + \frac{V_s T_{ON}}{L_1 C_1} t \quad (11)$$

여기서 T_{ON} : 모드 7-1에서 스위치 M_3 가 켜져 있던 시간, ΔV : 가스방전 전류에 의한 캐패시터 C_1 전압의 감소분.

모드 7-2동안 스위치 M_3 가 꺼져있는 시간을 T_{OFF} 라 하면 캐패시터 C_1 전압은 최종적으로 다음과 같이 주어진다.

표 1 실험 세부 사항

항목	값
Plasma Display Panel	6-inch test panel
Energy Recovery Time	0.8usec
Inductor Buildup Time	0.1usec
Energy Recovery Inductor	50uH
Sustaining Voltage	200V
Test Image	Full White

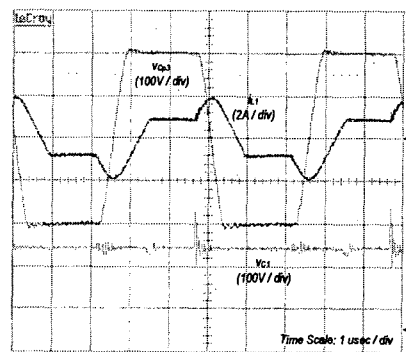


그림 9 제안회로의 실험 파형

$$v_{C1} = V_s - \Delta V + \frac{V_s T_{ON}}{L_1 C_1} T_{OFF} \quad (12)$$

따라서 $\Delta V = (V_s T_{ON} / L_1 C_1) T_{OFF}$ 의 조건을 만족하면 캐패시터 C_1 전압은 입력전압 V_s 로 유지된다. 캐패시터 C_1 의 전압이 입력전원 V_s 보다 커지는 경우는 다이오드 D_2 가 켜져서 C_1 전압을 V_s 로 고정시킨다.

3. 실험 결과

제안한 단일 에너지 회수 구동회로의 동작을 검증하기 위해서 6인치 시험패널을 이용한 축소 실험을 수행하였다. 실험 세부 사양은 표 1과 같다. 실험 결과는 그림 9에 도시되어 있다.

캐패시터 C_1 의 전압이 일정하게 200V로 유지되면서 패널에 +200V 및 200V의 구형파를 인가되는 것을 확인할 수 있다. 실제 패널의 발광면적에 따라 가스 방전 전류의 침투값이 변화하면 그에 따라 인덕터 L_1 에 에너지를 축적하는 시간을 조절하여 캐패시터 C_1 의 전압을 V_s 로 유지시킬 수 있다. 가스 방전 전류의 침투값은 영상정보에 따라 변화함으로 제어기의 APC(Auto Power Control) 알고리즘에 연동하여 인덕터 L_1 의 축적시간을 결정한다.

4. 결론

본 논문에서는 회로부의 가격을 절감하기 위한 새로운 단일 전원 단일 구동회로를 제안하였다. 제안하는 구동회로는 캐패시터를 이용하여 음전압을 생성하기 때문에 현재 사용되고 있는 전원 회로를 별다른 변경 없이 바로 이용 가능하면서도 이 캐패시터를 충전하기 위한 서지 전류가 발생하지 않기 때문에 회로의 신뢰성이 매우 높다. 따라서 기존 회로에 비해 소자 수가 작고 그 구조가 매우 단순한 특징이 있다. 제안하는 구동회로를 동작 원리를 분석하고 축소 실험을 통해 동작을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] L. F. Webber and K. W. Warren, "Power efficient sustain drivers and address drivers for plasma panel," U.S. Patent 4 866 349, Sept. 1989.
- [2] M. Ohba and Y Sano, "Energy recovery driver for a dot matrix AC plasma panel with a parallel resonant circuit allowing power reduction," U.S. Patent 5 670 974, Sept. 1997.
- [3] 이준영, 이동영, "플라즈마 표시 장치와 플라즈마 표시 패널의 구동 장치 구동 방법," 대한민국 특허 10-2003-0076975, 2003년 10월 31일.