

# 부하전류 예측기법을 이용한 PDP DC-DC 컨버터의 디지털 제어 알고리즘

채수용, 현병철, 평가귀 아가왈, 조보형  
 서울대학교 전기공학부

## A digital control algorithm for PDP's DC-DC converters using a load current prediction technique

S. Y. Chae, B. C. Hyun, P. Agarwal, B. H. Cho  
 Department of Electrical Engineering, Seoul National University

### ABSTRACT

본 논문은 플라즈마 디스플레이 패널(PDP) 전원공급 장치로 사용되는 DC-DC 컨버터의 동적 응답특성을 향상시킬 수 있는 새로운 디지털 제어 알고리즘을 서술한다. 제안하는 알고리즘은 PDP에 영상을 표시하기 위한 영상 입력신호와 구동회로의 유지방전 파형의 제어를 위한 신호를 이용하여 부하전류의 변화량과 시점을 예측한다. 별도의 추가적인 전류센서를 사용하지 않고 예측된 부하전류 정보는 일반적인 디지털 전압 제어기에 피드포~워드 형태로 추가되어 적용된다.

제안된 알고리즘은 디지털 PI 전압 제어기만을 사용한 경우에 비해 부하전류가 급격히 변동할 때 좀 더 빠른 응답특성과 낮은 출력전압 변동 특성을 보인다. 제안된 알고리즘은 FPGA를 사용하여 구현 되었으며, Buck 컨버터를 사용하여 기본 동작을 검증하였다.

### 1. 서 론

PDP전원회로에서는 400~500W급의 유지방전 전원의 공급을 위해 비대칭 하프브리지 형태의 전원회로가 비교적 많이 사용되고 있다. 스위치 전압이 입력 전압으로 클램프 되며, 일정 부하 이상에서 모든 스위치에서 ZVS가 보장될 수 있는 장점이 있는 구조이다.<sup>[1]</sup> 비대칭 하프브리지 DC-DC 컨버터는 일반적으로 직류차단 캐패시터와 변압기의 자화 인덕턴스의 공진으로 인해서 소신호 전달함수가 4차 시스템의 특성을 보이게 된다.<sup>[2]</sup> 4차 시스템 특성으로 인해 전압제어기로 피드백 회로를 구성할 경우 대역폭이 제한되어 동적 응답특성이 제한되는 단점이 있다. 이런 단점을 극복하고자 전류제어기를 추가로 적용하는 연구가 수행되기도 하였다.<sup>[3]</sup>

PDP는 영상정보를 디지털화 하여 방전회수를 제어하는 동화상 표시장치이다. 유지방전, 스캔, 어드레싱을 위한 모든 구동회로는 일반적으로 디지털 회로를 통하여 제어된다. 디지털 회로와의 상호 연동을 위해 PDP 전원회로의 DC-DC컨버터를 디지털 방식으로 제어하는 것이 다양한 정보의 활용 측면에서 매우 유리하다. 일반적인 DC-DC 컨버터에서 디지털 제어기를 활용하여 성능을 향상시키고자 하는 방식은 다양한 방법으로 연구되고 있다. 특히 전압제어기의 디지털 구현 측면, 예측기법을 활용한 전류제어방식 및 디지털 구현에 따른 전류 및 전압 정보의 샘플링 기법에 관한 연구가 활발하게 수행되고 있다.<sup>[4][5]</sup>

본 논문에서는 비대칭 하프브리지 형태의 DC-DC 컨버터와

같이 컨버터의 자체 특성으로 인해 동적응답특성의 확보가 제한되는 경우에도 이를 개선할 수 있는 방법을 보이도록 하였다. PDP와 같은 영상표시 장치의 특성을 이용하여 영상신호로부터 얻어진 부하전류정보를 활용하는 DC-DC 컨버터의 디지털 제어 방식을 제안한다.

### 2. 제안된 제어기의 동작원리

#### 2.1 영상정보를 활용한 부하 전류정보의 예측

일반적으로 산업계에서 널리 적용되고 있는 PDP의 ADS구동방식에서는 유지방전 구간과 초기화, 어드레스 구간이 분리되어 있기 때문에 유지방전 구간에서만 방전전류가 발생하게 된다. 200KHz 정도의 펄스 형태로 방전전류가 발생하며, 구동회로 전원 입력단의 캐패시터의 영향으로 DC-DC 컨버터에 입력되는 부하전류의 모양은 그림 1과 같은 형태이다.

일반적인 PDP 구동회로의 제어회로는 영상 입력신호의 평균값(ASL : Average Signal Level)에 따라서 유지방전의 회수를 조절하는 방식을 채택하고 있다.<sup>[6]</sup> 이 방식을 통해 평균 소비전력을 일정하게 유지하며 입력영상에 따른 화면밝기의 가변적 변화가 가능하게 된다. 이 때 입력 영상정보에 따라서 유지방전 구간의 시간과 부하전류의 크기가 변화하게 된다. 부하전류의 최대값은 ASL과 유지방전 개수(Ns)의 함수이기 때문에 42인치 PDP의 측정을 통해서 부하전류의 최대치를 모델링하는 함수를 추출하여 디지털 제어기에서 사용하도록 한다.

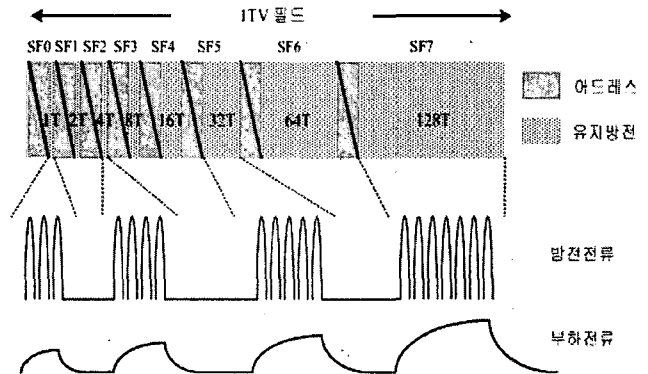


그림 1 ADS 구동파형과 방전전류 및 부하전류  
 Fig. 1 ADS waveform, discharge current, load current

부하전류의 최대값  $I_{Lp}$ 는 ASL별로 식(1)과 같은 3차함수로 표현되며  $A_3-A_0$ 의 계수정보를 디지털 제어기의 메모리에 저장하여 각 서브필드별로 최대값을 추정하게 된다.

$$I_{Lp} = A_3 \times N_s^3 + A_2 \times N_s^2 + A_1 \times N_s + A_0 \times N_s \quad (1)$$

그림 2의 실선은 식(1)을 이용하여 계산된 값이며, 별표는 42인치 PDP 부하전류 최대치의 측정값을 나타낸다.

식(1)을 통해서 얻은 전류  $I_{Lp}$ 와 PDP의 디지털 중앙처리회로에서 전달받은 현재 서브필드에 대한 유지방전 시간 정보를 이용하여, 식(2)의 간단한 관계식을 통해서 부하전류를 예측한다. 아래의 그림 3을 통해서 측정값과 예측값을 비교해 볼 수 있다.

$$I_L(t) = \begin{cases} I_{Lp} - I_{Lp} \times e^{-(t-t_0)/\tau_1} & , t_0 < t \leq t_1 \\ I_L(t_1) \times e^{-(t-t_1)/\tau_2} & , t_1 < t \leq t_2 \end{cases} \quad (2)$$

### 2.2 부하전류 정보를 활용한 시비율 예측

부하전류가 변화할 때 출력전압을 유지하기 위해 일반적인 PID 전압제어기는 출력전압의 변동에 따라서 시비율을 변화시키는 방식이다. 사용된 DC-DC컨버터의 동적특성으로 인

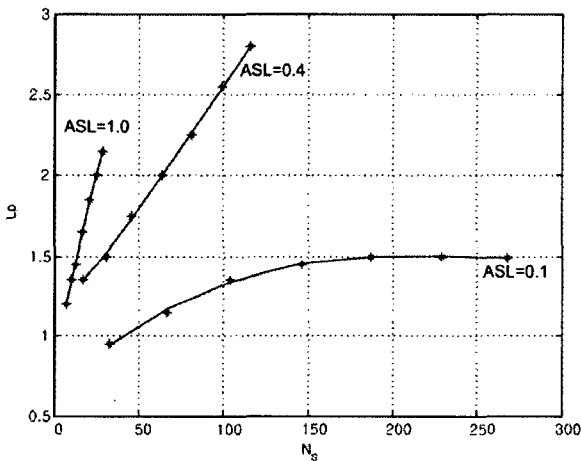


그림 2 유지방전펄스 개수에 대한 부하전류의 최대값  
Fig. 2 Load current peak value vs sustain pulses number

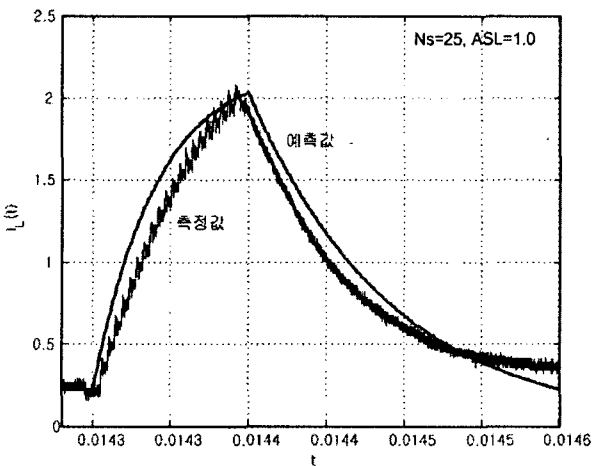


그림 3 부하전류의 측정값과 예측값  
Fig. 3 Predicted and measured value of a load current

해 PID 전압제어기의 대역폭을 충분히 크게 설계할 수 없는 경우 부하전류가 급격히 변화할 때 천이시간이 증가하거나, 전압 리플이 크게 증가하게 된다. 이러한 경우 전압 리플을 줄이기 위해 출력 캐패시터의 용량을 증가시키거나, 전류제어기와 결합하여 이중으로 제어하는 방법이 주로 사용된다.

본 연구에서 제안된 방식은 영상정보를 통해 예측된 부하전류를 이용하여 다음 스위칭 시점의 시비율을 계산하고, PID 디지털 전압제어기에 피드포워드 보상루프를 추가한다. 기본 개념은 Buck 형태의 출력단이 있는 DC-DC컨버터에서 필터 인덕터의 전류가 부하전류를 추종하게 한다. 이를 통해서 출력 캐패시터로 흐르는 전류의 양을 최소화하여 전압 리플을 줄이게 된다. 부하전류 정보를 이용한 시비율의 계산은 그림 4에서 표현한 것처럼 기본적인 출력전류와 인덕터 전류의 관계에 의해서 구할 수 있다.

식(2)를 통해 얻은 시간에 대한 부하 전류의 관계식을 컨버터의 스위칭 주기  $T_s$ 마다 계산하여  $n, n+1$ 시점에서 필요한 전류정보를 구한다. 두 시점에서의 전류변화량을 식(3)을 이용하여 부하전류 변화에 따른 시비율을 계산한 후 기존 전압제어기에 의한 시비율 출력에 더해지게 된다.

$$d_{es}(n) = \frac{L}{V_g} \left( \frac{i_{o,e}(n+1) - i_{o,e}(n)}{T_s} \right) + D \quad (3)$$

제안된 피드포워드 보상방식의 제어기는 PDP의 유지방전에 의한 부하전류의 급격한 변화가 있는 영역에서만 동작하도록 하며, 다른 영역에서는 PID 전압제어기만을 사용하도록 한다.

### 2.3 제어회로의 구현

그림 5는 제어회로의 개념도를 나타낸다. A/D변화기를 제외한 나머지 부분은 20MHz로 동작하는 FPGA(VirtexIV)를 이용하여 디지털 회로로 구성되었다. 디지털 제어회로에 의한 계산 지연은 약 1.5us로 70KHz 스위칭 동작을 하는 DC-DC컨버터의 제어가 충분히 가능하도록 하였다. 출력전압은 1MHz 12bit

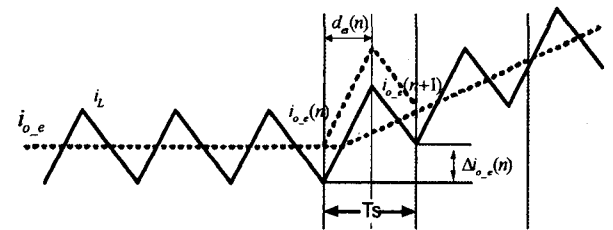


그림 4 부하전류의 인덕터 전류의 관계  
Fig. 4 Load current and inductor current

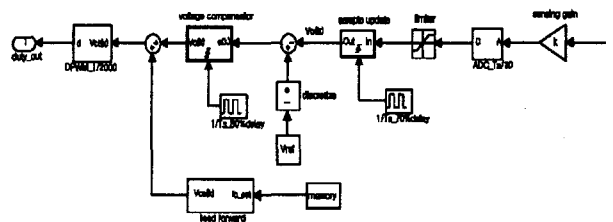


그림 5 제안된 제어기의 개념도  
Fig. 5 Block diagram of the proposed controller

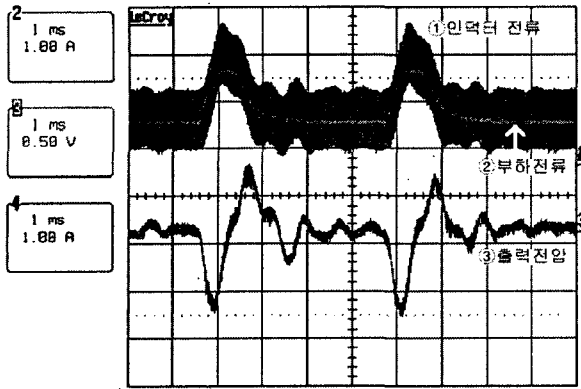


그림 6 PI제어기 측정파형  
Fig. 6 Measured waveform using PI controller

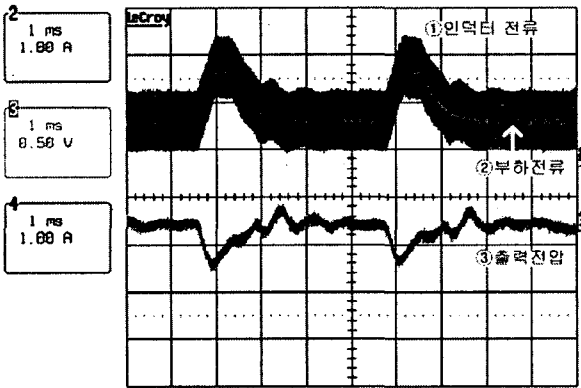


그림 7 제안된 제어기 측정파형  
Fig. 7 Measured waveform using proposed controller

A/D 변환기를 통해서 샘플링 된 후 제어회로로 입력되며, DPWM(Digital Pulse Width Modulator)은 70kHz 스위칭 기준 1/2000의 분해능으로 설계하였다.

### 3. 실험 결과

알고리즘 자체의 동작 검증을 위해 70KHz, 100W급 Buck 컨버터를 이용하여 실험을 수행하였다. 전압제어기의 대역폭이 낮아도 제안한 알고리즘을 이용하면 동적응답특성이 향상됨을 보이기 위해서 PI 전압 제어기만을 사용하여 대역폭을 낮춘 상태에서 실험을 실시하였다.

그림 6에서 제어기의 대역폭이 낮기 때문에 부하전류가 일정한 영역에서도 DC-DC 컨버터의 공진성분에 의한 전압리플이 발생한다. 유지방전구간에 해당하는 부하전류가 0.5A에서 1.5A로 급격히 변화하는 영역에서 전압리플이 1.5V정도 발생하게 된다.

그림 7은 그림 6에 비해서 인덕터 전류의 평균값이 부하전류를 더 잘 추종함을 확인할 수 있다. 또한 유지방전 구간에서 출력전압의 리플이 1.5V에서 0.5V수준으로 감소하였다.

그림 8에서 보면 예측전류의 최대값에 오차가 발생하여도 PI 전압제어기 만을 사용한 그림 6의 경우보다 개선됨을 확인할 수 있다.

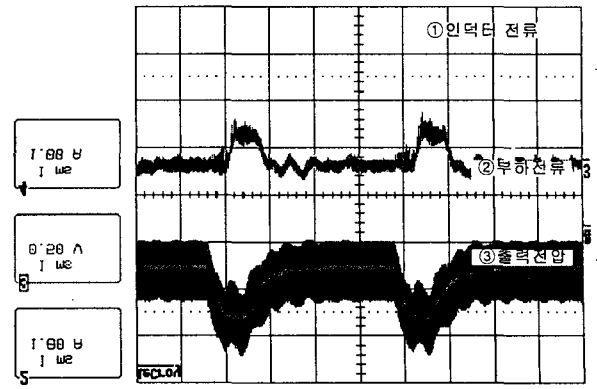


그림 8 제안된 제어기 측정파형(50% 예측오차)  
Fig. 8 Measured waveform using proposed controller(50% prediction error)

### 4. 결론

본 논문에서는 PDP의 영상정보 특성을 활용하여 DC-DC컨버터의 제어기의 동적응답특성을 향상시킬 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 별도의 추가적인 외부회로 없이 PDP 중앙처리회로에서 사용되고 있는 영상정보와 유지방전 신호정보를 이용하여 부하전류의 변화시점과 변화량을 예측할 수 있음을 보였다. 또한 이 정보를 이용하는 피드포워드 보상 디지털 PI 전압제어기를 통해서 제안한 알고리즘을 이용하면 출력전압의 리플특성이 개선됨을 실험을 통하여 확인하였다.

이 논문은 (주)삼성SDI의 연구비 부분지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] 한상규, 문건우, 윤명중, "플라즈마 디스플레이 패널용 전원 회로", 전력전자학회지, Vol.10, No.3, pp.211-27, June, 2005.
- [2] S. Korotkov, V. Meleshin, A. Nemchinov and S. Fraidlin, "Small-signal modeling of soft - switched asymmetrical half-bridge DC/DC converter", APEC, pp.701-711, 1995
- [3] B.Choi, W.Lim, "Current mode control to enhance closed loop performance of asymmetrical half-bridge DC-DC converters", IEE Proc.-Electr.Power Appl. Vol. 152, No.2 pp.416-422, March, 2005.
- [4] H.Peng, D.Maksimovic, "Digital current mode controller for DC-DC converters", APEC, pp. 899-905, 2005
- [5] A.Prodic, D.Maksimovic, R.Erickson, "Design and implementation of a digital PWM controller for a high frequency switching DC-DC power converter", IECON, pp. 893-898, 2001
- [6] M.Kasahara, M.Ishikawa, T. Morita, S. Inohara "New drive system for PDPs with improved image quality : plasma AI", SID, 1999