

마이크로프로세서를 이용한 고압전원용 커패시터의 충전 속도 향상

김철진*, 홍성호*, 이수랑**, 김영태***
 한라대학교*, 씨유메디칼시스템**, 원주대학***

Improvement method for Charging Speed of high voltage Capacitor with Microprocessor

Cherl-Jin Kim*, Sung-Ho Hong*, Soo-Rang Lee**, Young-Tae Kim***
 Halla University*, CU Medical Systems Inc**, Won-Ju national college.***

Abstract -This paper proposes the method to improve the charging speed of high voltage capacitor used in the medical device with high voltage. Feedback control method with microprocessor was used to detect and control the charging voltage. The result shows that the proposed method is more efficient than the previous converting method with typical PWM IC.

용량 $C=q/v$, 전력 $P=vi$ 및 전기 에너지 $W=\int Pdt$ 의 관계를 가지므로, 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$W = \int Pdt = \int vidt = \int \frac{q}{C} dt \quad (1)$$

위의 식에 충전 에너지(W)와 전하(Q), 정전용량(C)의 상관관계를 적용함으로써 식(1)을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$W = \int \frac{q}{c} dq = \left(\frac{1}{2C}\right)[q^{2(t=t_1)} - q^{2(t=0)}] = \left(\frac{1}{2C}\right)Q^2 \quad (2)$$

여기서 $Q = CV$ 의 관계를 적용하면 다음과 같다.

$$W = \left(\frac{1}{2C}\right)Q^2 = \frac{1}{2} CV^2 \quad (3)$$

식으로부터, 충전에너지와 정전용량의 상관관계를 표현할 수 있으며, 충전에너지와 충전 시간과는 $i = dq/dt$ 의 관계를 가지므로 충전전류가 증가함에 따라 충전시간 t는 감소하게 된다.

1. 서 론

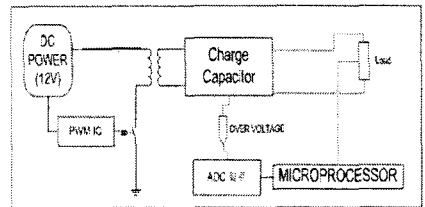
최근 산업의 발전에 따라 다양한 출력을 필요로 하는 전원장치의 개발이 요구되고 있다. 특히 고압 커패시터 충전 시간 개선은 의료장비 등의 고압 전원이 필요로 하는 부하에 적용 가능하다.

마이크로프로세서(microprocessor)를 이용한 방식은 기존의 PWM IC를 이용한 방식에 비해 고가의 가격과 충전 방식에 맞는 프로그래밍(programing)을 해야 하는 시간적 단점이 있다. 그러나 PWM IC를 이용하는 기존의 컨버터 방식에 비해 입력전압 대비 트랜스포머(transformer) 2차 측의 피드백(feedback)된 커패시터 충전전압 값을 비교하여 빠른 PWM 제어를 통한 충전 시간을 단축시킬 수 있으며 고압 충전 시 발생할 수 있는 과충전 및 과방전의 위험으로부터 회로의 신속한 차단을 실시할 수 있다. 또한 PWM IC를 사용하는 기존의 방식에 비해 마이크로프로세서를 이용한 회로의 경우 부품 수의 감소로 인한 충전 회로의 소형화를 기할 수 있다. 이와 같은 장점으로 최근 고압의 전원이 요구되는 각종 의료기기에서는 마이크로프로세서를 이용하여 부하변동에 따른 안정적인 전원 공급과 보호회로 제어가 가능한 회로를 적용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 고압의 신속한 충전이 요구되는 고전압 충전 방식에 마이크로프로세서를 이용함으로써 보다 유연한 PWM 제어를 실시하였다. 고압 전원장치를 이용한 커패시터의 신속하고 유연한 충전방안은 이러한 특성을 요구하는 의료기기 등에 유용하게 적용 가능하다.

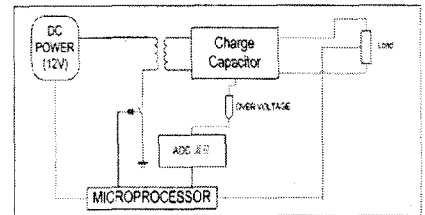
2. 고압 커패시터의 충전방안

2.1 커패시터의 충전 원리

커패시터의 에너지는 축적된 전하(Q)에 의해 이루어져 있으며 그 충전된 에너지는 고압 커패시터의 용량에 따라 완충된 상태에서 그 에너지 값이 결정되며 커패시터의 고전압 충전 속도는 식(1)에 의해 설명될 수 있다. 식(1)에서 전류는 시간에 따른 전하의 흐름과 같고, 정전



(a)



(b)

그림 2 PWM IC 와 마이크로프로세서제어
 (a) PWM IC 제어
 (b) 마이크로프로세서 응용제어

그림2(a),(b)는 각각 PWM IC 제어 방식과 마이크로프로세서를 이용한 제어방식의 블록도를 나타내고 있다. 그림2(a)의 경우는 트랜스포머 2차 측의 부하변동에 따른 응답이 제한적인데 반해, (b)의 경우는 1,2차 측의 입출력 및 부하변동에 대해 트랜스포머 2차측에 적용된 고압 커패시터의 전압을 직접 검출함으로써 부하변동에 따른 능동적인 제어가 가능함을 알 수 있다.[2]

2.2 고압 충전 시스템과 PWM 제어

현재 고압이 요구되는 일부의 의료기기에서는 일반적으로 비교적 낮은 직류입력 전압을 부스트컨버터(boost converter) 회로를 통해 고압 충전 전압을 제어해 왔다. 그림 3은 고압 충전회로에 일반적으로 적용되는 플라이백(flyback) 충전회로이다.

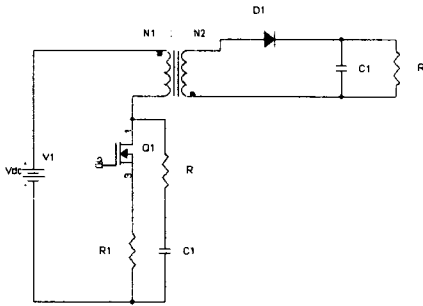


그림 3. 플라이백 방식의 충전회로

그림 3의 고압충전을 위한 전력변환회로는 주스위치소자인 FET Q1이 도통하면 트랜스포머의 1차측 권선으로 전류가 흐르게 되어 자화 인덕턴스성분에 에너지가 축적된다. 이후 스위치 Q1이 차단되면 트랜스포머의 자화 인덕턴스에 축적된 에너지는 출력 측으로 전달되어 자기적인 회복(reset) 상태가 이루어진다. 1주기내의 트랜스포머의 자기에너지의 평형상태를 고려하면 다음과 같이 입출력 전압 및 듀티비(duty ratio)와의 상관관계를 나타낼 수 있다.

$$V_i D T_s = \frac{N_1}{N_2} V_o (1 - D) T_s \quad (4)$$

따라서 출력 전압은 다음과 같다.

$$V_o = \frac{N_2}{N_1} \frac{D}{1 - D} V_i \quad (5)$$

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 마이크로프로세서를 이용한 PWM제어의 특성을 파악하기 위해 실제 회로를 제작하여 실험을 실시하였다.

그림4는 전력변환회로를 나타낸 그림3의 Q1의 gate단에 제어신호를 공급하기 위한 마이크로프로세서의 주변 회로도를 나타낸 것이다.

사용된 마이크로프로세서는 PIC16F876을 사용하였으며, 마이크로프로세서 PIC16F876은 10bit 5채널의 A/D Converter와 2채널의 PWM Port가 있어 최적의 PWM 제어가 가능하다.

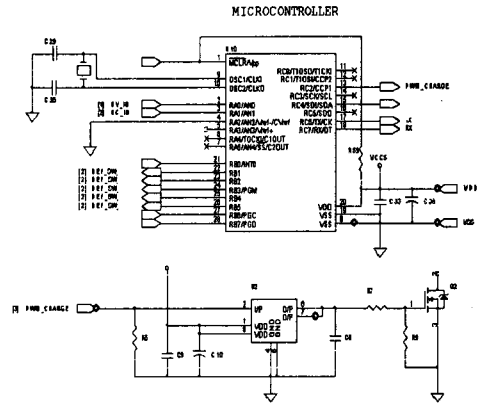


그림 4 마이크로프로세서 응용 회로

그림4의 PIC 하단 부 회로(b)는 고압 트랜스포머의 1차측 PWM 스위칭(switcing) 회로이며 스위칭 주파수는 30kHz에서 주파수를 서서히 증가하여 62.5kHz까지 스위칭 주파수를 선택할 수 있도록 프로그램을 구성하였다.

그림 5는 전력 변환회로의 주스위치 소자 FET Q1을 구동하기 위하여 마이크로프로세서로부터 출력된 gate 입력신호를 나타낸 것이다.

여기서, PWM제어는 고압캐시터 C1의 전압 값을 피드백하여 듀티비를 25%에서40%까지 서서히 증가시켰다.

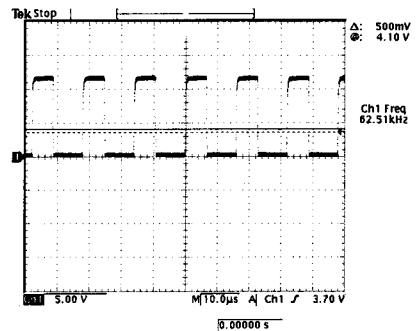


그림 5. FET Q1의 gate 입력신호

다음의 그림 6은 충전 중 트랜스포머 2차측 출력 전압 값을 측정된 것이다.

측정결과로부터 30kHz에서 65kHz내의 주파수 범위와 약 35%의 듀티비를 출력하고 있음을 알 수 있다.

또한 그림 7은 고압 커패시터에 에너지를 충전하기 위한 전력변환회로를 통하여 커패시터의 충전이 진행되는 전압 값을 검출하여 AD Converter로 피드백 되는 전압 값을 측정된 결과이다.

여기서는 이 값을 이용하여 듀티비를 순차적으로 증가시킬수 있도록 시스템을 구성하였다.

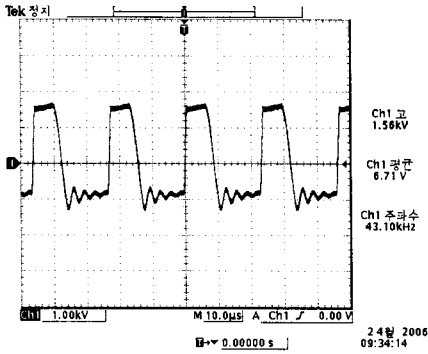


그림 6. 트랜스포머 2차측 출력 전압

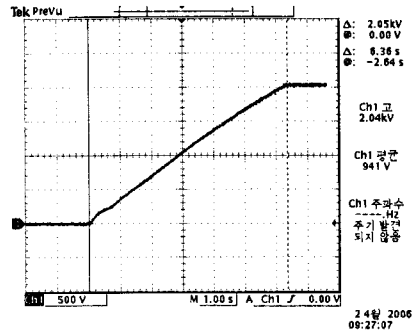


그림 9. 마이크로프로세서를 이용한 고압 커패시터 충전곡선

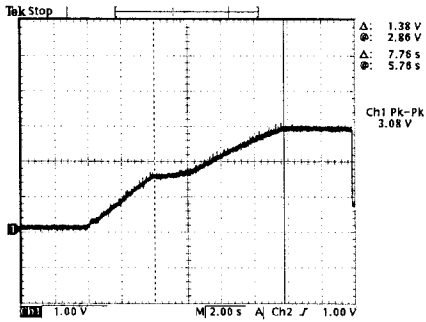


그림 7. A/D Converter 입력전압

그림 8은 동일한 조건에서 기존의 PWM IC를 이용하여 고압커패시터를 충전한 결과를 나타낸 것이며, 그림9는 본 연구에서 제안한 마이크로프로세서를 이용한 고압 커패시터의 충전결과이다.

그림 8과 그림 9를 비교하면, 기존의 PWM IC를 사용한 방식에 비해 마이크로프로세서를 이용한 충전방식이 1.8 KV의 충전전압에 도달하기 까지 약 2.5초 정도의 시간이 개선되는 것을 알 수 있다.

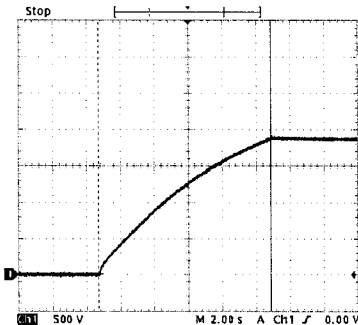


그림 8. PWM IC를 이용한 고압 커패시터 충전곡선

4. 결 론

본 연구에서는 고압 커패시터의 충전 속도 향상을 위해 마이크로프로세서를 이용한 제어방식을 제안하였다. 제안한 방안의 타당성을 확인하기 위해 실험을 통한 A/D Converter의 입력전압의 관측결과 시간의 경과에 따라 충전시간이 개선됨을 확인하였고, 전형적인 PWM IC를 이용한 기존의 제어 방식에 비해 완충상태의 고압 커패시터의 충전 기율기 및 속도 향상이 이루어짐을 확인하였다.

따라서, 제안한 충전방안을 적용함으로써 보다 유연한 PWM 제어를 기할 수 있으며, 고압 충전을 필요로 하는 각종 의료기기 및 산업용의 고압전원 회로에도 유용하게 활용 가능할 것으로 기대할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jai . Agrawal , "Power Electronic Systems Theory and Design ", pp.95-98,2002
- [2] Ge Li, Yingui Zhou , "Compact Digital High Voltage Charger",Conf. Rec. of IEEE PAC-Annual Meeting pp. 3964-3966, 2005
- [3] 김희준, "스위칭 전원의 기본 설계", pp.71-75, 2002
- [4]R. M. Nelms, B. E. Strickland, Mike Garbi "High voltage capacitor charging power supplies for repetitive rate loads", Conf. Rec. of IEEE, pp.1281-1285, 1990