

인덕터를 사용하지 않는 새로운 AC-DC 변환 방식

°윤진한, 차형우**이만섭*, 조영창,
에이스전자기술(주), ICU*, 청주대학교**

A novel AC-DC switching technology without inductors

Jin-Han Yoon, Man-Seop Lee, Young-Chang Cho, Hyeong-Woo Cha
ACE electron-technics corp. ICU*, Chongju univ.**,

ABSTRACT

A novel AC-DC switching technology is suggested without inductors for one-chip semiconductor. The suggested converter consists of a rectifier diodes, AC source level detector, switching control, detector of over-current and voltage, feedback controller and switching block. The key technology of the proposed AC-DC converting method is detecting of the low level voltage for AC voltage, power control transistor and rectifying of DC level. The measurement results with commercial devices show that the converter has power efficiency of 66.5% for DC 12V 0.24A and the standby power is 49.58mW at AC 110V.

1. 서론

AC-DC 변환기는 상용 교류(AC) 전압을 임의의 직류(DC) 전압으로 변환하는 전원장치로서, 최근 휴대용 정보기기의 급속한 발전에 따라 저전력용 AC-DC 변환기의 수요가 빠른 속도로 증가하고 있다^{[1]-[2]}. 종래의 AC-DC 변환기법은 그림 1과 같이 AC 전압을 일차 정류하여, 변압기를 사용하여 전압을 낮추고 다이오드, 스위칭 트랜지스터, 그리고 인덕터를 사용하여 평활시키는 원리이다^[3].

일반적인 AC-DC 변환기는 브리지 정류기, 평활부, 변압기와 스위칭부, 반파정류 회로, 출력전압 및 과전류 검출 및 귀환 회로로 구성되어 있다. 이러한 변환기의 구성에서는 변압기와 DC전압 평활을 위해 반드시 인덕터를 필요로 하는 구조이다. 따라서, 현재의 반도체 제조 기술로는 인덕터를 구현할 수 없기에 전체의 AC-DC 변환기를 하나의 반도체 칩으로 구현하는 것은 불가능하다.

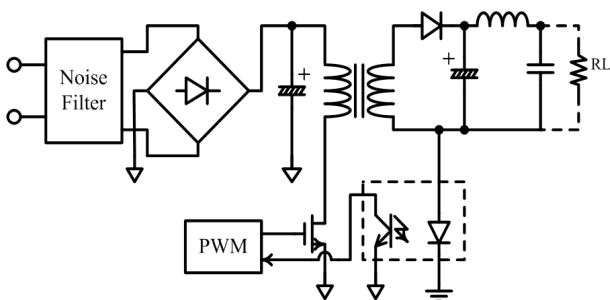


그림 1 종래의 AC-DC 변환기의 회로도^[3]
Fig. 1 Circuit diagram of conventional AC-DC converter^[3]

체 칩으로 구현하는 것은 불가능하다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해, 변압기와 인덕터를 사용하지 않는 새로운 AC-DC 변환 방법을 제안하였다. 제안한 방식은 전파 정류된 교류전원의 전압레벨이 낮은 위상에서는 비교적 긴 도통시간과 짧은 단속시간을 갖으며, 교류전원의 전압레벨이 높은 위상에서는 비교적 짧은 시간의 도통시간과 긴 단속시간을 갖도록 동작하여 교류전원의 도통시간과 단속시간을 조절하여 통과전력을 제어하게 하는 방식이다^[4].

또한, 제안한 원리를 바탕으로 개별소자를 사용하여 실험을 통해 그 원리를 증명하였고 350V 고전압 반도체 공정기술을 이용하여 단일 칩으로 실현하기 하기 위해 PSpice/Spectre 시뮬레이션을 통해 최적화를 하였다.

2. 변환 원리 및 회로 구성

2.1. 변환원리

본 연구에서 제안한 AC-DC 변환원리를 설명하기 위한 블록도를 그림 2에 나타냈고, AC입력, 제어신호, 출력단 트랜지스터 파형을 그림 3에 각각 나타냈다. 그림 2에서 A, B, C D로 표시된 부분의 파형을 그림 3의 (a), (b), (c)에 각각 해당된다. 그림 3에서 V_A 는 AC 전압의 크기를 의미한다.

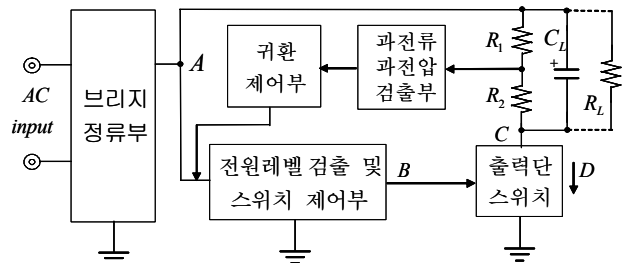


그림 2 제안한 AC-DC 변환원리를 설명하기 위한 블록도
Fig. 2 Block diagram for the proposed AC-DC conversion

제안한 변환 방식은 전파 정류된 교류전원의 낮은 전압레벨을 검출하여, 출력단 트랜지스터 스위치를 도통시켜 부하에 큰 전류를 흐르게 한 다음, 이를 커패시터와 저항 부하를 이용 평활시켜 DC 전압으로 만드는 것이다. 일정한

DC 전압을 얻기 위해 출력단의 전압을 검출, 귀환시켜 스위칭 시간을 조절하게 하였다. 그림 3에서 출력단 트랜지스터 스위치의 전압 파형 (c)와 도통 전류 파형 (b)를 이용하여 출력단 트랜지스터의 전력 소비를 계산하면 0[W]에 가깝게 주어지기 때문에 전력 전달 효율이 매우 높고, 무부하시 평활 커패시터로 통과되는 전류가 없기 때문에 대기전력이 매우 작다는 것을 증명 하였다.

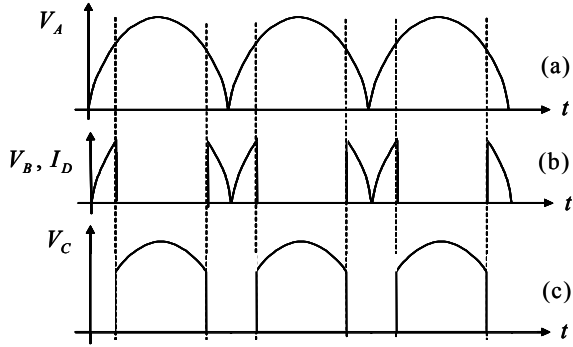


그림 3 제안한 AC-DC 변환 방법의 입력 파형
Fig. 3 Input waveforms of the proposed AC-DC method

2.2. 회로 구성 및 동작원리

제안한 방법의 AC-DC 변환기 회로를 그림 4에 나타냈다. 회로에서 $D_1 \sim D_4$ 는 전파 정류기를 구성하고 R_1, R_2, Q_1, R_4 는 정류된 낮은 전압(약 18V의 피크 전압)을 검출 한다. Q_3, Q_4 와 $R_3, R_5 \sim R_7$ 은 출력단 트랜지스터를 구동하기 위해 전류 증폭을 하고 Q_5, Q_6 과 R_6 은 출력단 트랜지스터를 구성하고 한다. R_8, R_9, Q_2 는 전압 및 전류를 일정하게 유지하기 위한 귀환 증폭기 부분이다. R_8, R_9 는 무부하시 대기 전력을 줄이기 위해 매우 큰 저항을 사용 한다.

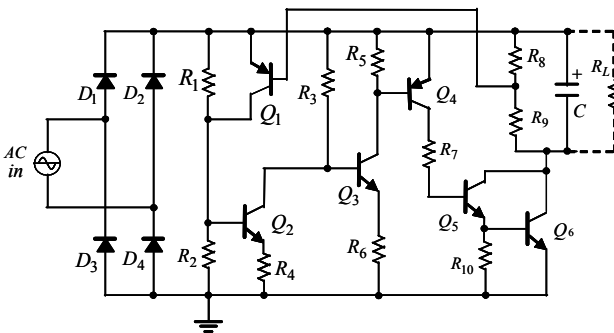


그림 4 제안한 AC-DC 변환기의 간략화된 회로도
Fig. 4 The proposed AC-DC converter circuit diagram

상용 AC 220V의 전압은 Q_1 에 의해 그림 3(b)와 같은 전압을 검출되며, 이 전압은 Q_3 에 의해 반전이 되고 Q_4 의 입력 신호가 된다. Q_4 의 전류는 다알링턴으로 구성된 출력단 Q_5, Q_6 의 입력 전류가 되어 결국 출력단 트랜지스터는 그림 3(b)와 같은 전압에 의해 구동하게 되는

것이다. 이때 흐르는 전류를 $I(t)$ 이라고 하면 커패시터 양단의 전압 $V_o(t)$ 은 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$V_o(t) = \frac{1}{C} I(t) e^{-\frac{1}{CR}t} \quad (1)$$

또한, $I(t)$ 는 근사적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I(t) \cong \frac{R_2}{R_1 + R_2} A \sin(\pi 120 t) B \pm I_{FED} \quad (2)$$

여기서 A는 AC 전압의 피크값, B는 Q_1, Q_6 으로 구성된 회로의 전류 증폭율, I_{FED} 는 Q_1 에 의해 귀환되는 전류를 의미한다.

3. 실험 결과 및 검토

그림 4에 나타낸 회로를 개별소자를 사용하여 실험을 하였고 350V 반도체 제조공정 파라미터를 사용하여 시뮬레이션을 하였다. 사용한 개별소자는 다이오드는 DIN4007, npn 트랜지스터는 MPSA92, pnp 트랜지스터는 MPSA44, 출력단 트랜지스터는 FDP15N50, 출력단 커패시터는 2200uF, 부하저항은 50Ω을 각각 사용하였다. 제작된 변환기는 상용 110V를 사용하였고 출력전압은 12V 240mA로 약 2.8W로 설계하였다.

출력단 스위치 트랜지스터의 컬렉터 전압과 베이스 전압을 그림 5에 나타냈다. 출력단 트랜지스터가 ON 될 때 큰 전류가 흐르지만 컬렉터 전압이 0V가 되기 때문에 소비 전력은 0W에 가깝게 된다. 부하와 정류 다이오드를 제외한다면 다른 부분의 회로에 흐르는 전류는 작게 할 수 있기 때문에 전체 회로의 소비 전력은 매우 적다. 또한, 다이오드의 양단 전압이 매우 작기 때문에 공급되는 전력은 부하로 대부분 전달되어 전력 효율은 높게 된다.

부하를 연결하지 않을 경우, 매우 큰 저항값을 갖는 R_7, R_8 에 의해 출력단 트랜지스터에는 매우 작은 전류가 흐르기 때문에 부하가 없는 대기 전력은 매우 적다. 50Ω 부하를 사용하였을 경우와 사용하지 않을 경우에 대하여 전압, 전류, 전력 등을 표 1에 정리하였다. 측정결과 표 1와 같이 대기전력이 49.58mW이며, 공급전력과 부하전력을 사용하여 계산한 변환기의 효율은 66.5%임을 보였다. 이 결과들은 범용의 다이오드(DIN4007)과 출력단 트랜지스터(FDP15N50)를 사용한 결과이다.

표 2 제안한 AC-DC 변환기의 성능
Table 2 Performances of the proposed AC-DC converter

항목	부하	무부하	출력
입력전압	111.4[V]	112.61[V]	12.04[V] 240.8[mA]
입력전류[A]	0.9024[A]	1.7571[mA]	
입력전력[W]	4.36[W]	49.58[mW]	

그러나 본 실험에서는 정류 다이오드의 큰 전위장벽과 출력단 트랜지스터의 포화전압에 따른 전력손실이 가장 크기 때문에 낮은 효율을 얻었으나, 다이오드는 쇼트키 다이오드로 대체하거나 트랜지스터의 포화전압이 낮은 소자로 구성할 경우 효율이 더 높아질 것으로 예상된다.

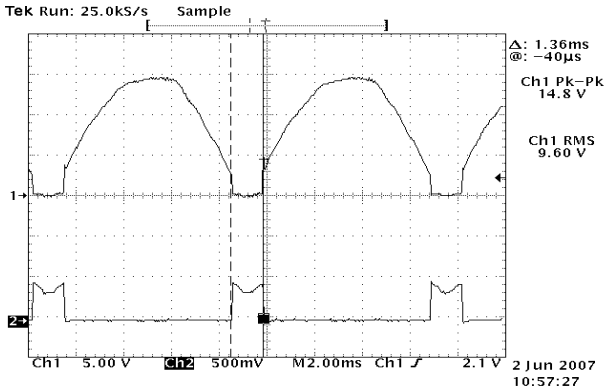


그림 5 출력단 스위칭 트랜지스터의 컬렉터(상부)과 베이스(하부) 파형
 Fig. 5 Waveform of for drain(upper) and gate(lower) for output transistor

제한한 AC-DC 변환기의 최종 DC를 측정된 결과를 그림 6에 나타냈다. 이 결과로부터 DC 출력은 11.63V에 리플 전압은 1.2Vp-p이라는 것을 알 수 있다.

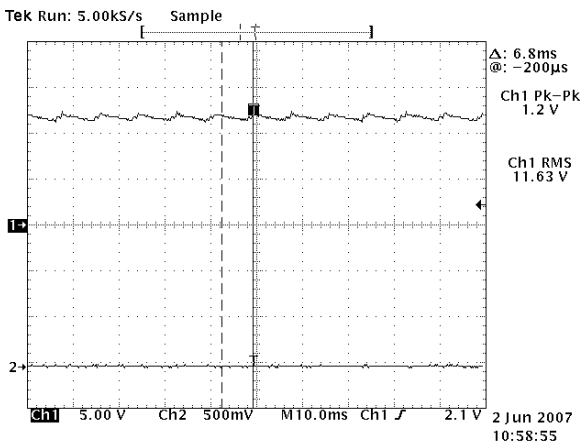


그림 6 DC 출력 파형
 Fig. 6 Waveform of DC output

50Ω 저항기 부하 사용의 경우와 무부하의 경우 AC전원의 전압, 전류, 전력, 그리고 제한한 AC-DC 변환기의 출력전압을 측정하는 실험을 그림 7과 8에 각각 나타냈다. 현재, 350V 공정을 이용하여 P-Spice 및 Cadence Spectre 로 설계된 변환기의 회로를 최적화 하고 있다. 시뮬레이션 결과 출력단 트랜지스터가 ON되는 경우, 그림 5의 결과와 다르게 컬렉터 전압이 0V로 떨어지지 않는 것이 확인되었다. 이것은 출력단의 전류 구동 능력이 낮은 것과 simulation이 이상적인 평할 커패시터를 사용한 것에 기인 되는 것으로 판단된다. 앞으로 이 문제는 해결 할 예정이다.



그림 7 50Ω 부하를 사용하였을 경우 실험 환경 사진
 Fig. 7 Experimentation photography at load of 50Ω



그림 8 무부하때 실험 환경 사진
 Fig. 8 Experimentation photography without a load

4. 결론 및 향후 연구과제

인덕터를 사용하지 않는 새로운 AC-DC 변환 방식을 제안하였고 이를 바탕으로 변환기 회로를 제작, 측정하였다. 제작한 회로는 상용의 개별소자를 사용하여 변환 방식과 성능을 확인하였다. 측정결과 상용 AC 110V를 DC 12V, 0.24A 출력으로 변환하는데 66.5%의 전력 효율과 49.58mW 대기전력을 갖고 있는 것을 확인하였다. 특히, 본 변환기는 변압기 또는 인덕터를 사용하지 않기 때문에 단일 반도체 칩으로 실용화할 수 있는 장점을 갖고 있기 때문에, 앞으로 AC-DC 변환기의 시장을 주도할 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] <http://www.lge.co.kr/>
- [2] <http://www.sec.co.kr/index.jsp>
- [3] http://www.fairchildsemi.com/whats_new/
- [4] 조영창, "직접 변환 스위칭을 이용한 전원공급장치" 공개특허공보(10-2006-0031137)