

동기정류기형 포워드 컨버터의 디지털 제어에 관한 연구

가동훈, 김일남, 박종성, 안태영
청주대학교 전자공학과

A study about the digital control for the forward converter with synchronous rectifier

Dong-Hoon Ka, Il-Nam Kim, Jong-Sung Park, Tae-Young Ahn
Dept. of Electronics Eng. Cheongju Univ.

ABSTRACT

This is experimental result which is reported with use the dsPIC30F2020 16-Bit SMPS microprocessor of MicroChip company which composes a digital control circuit and it applies in switched-mode power supply unit. The basic topology consist of the synchronous rectifier in a two transistor forward converter. In a experiment, it is used from microprocessor to do with A/D conversion and it is embodied with PID controls in order to detect a over-current, over-voltage, over-temperature and output voltage.

1. 서론

최근 마이크로프로세서를 이용한 디지털 제어는 가격은 하락하고 성능은 더욱 높아지고 있는 추세이다. 또한 외형도 소형화된 제품들이 계속 출시되고 있기 때문에 제조가격에 민감한 전원장치 분야에서도 마이크로프로세서를 적용한 전원장치가 주목 받을 것으로 판단된다. 마이크로프로세서를 이용한 디지털 제어는 소프트웨어의 변경으로 내부 동작에 필요한 스위칭 주파수, 전압범위, 출력설정 등의 내용을 쉽게 변경이 가능하며 시스템의 성능이 개선되고 전원장치의 집중제어와 감시가 용이하고, 과전류, 과전압, 과온도 등의 보호기능을 실시간으로 감시하고 정보를 공유할 수 있다는 장점이 있다. 또한 디지털 제어는 별도의 하드웨어의 변경 없이 전원장치 설계가 가능하기 때문에 설계기간과 개발기간이 획기적으로 단축되고 소프트웨어의 변경으로 개발 시 발생하는 문제를 쉽게 해결 할 수 있고, 시간을 단축하게 되며 설계 변경 시 발생하는 위험부담을 감소시킬 수 있다.

본 논문에서는 'MicroChip'사의 dsPIC30F2020 16-Bit SMPS Digital Signal Controller를 이용하여 디지털 제어회로를 구성하고 스위칭 전원장치에 적용하여 그 실험 결과를 보고한 것이다. 기본회로는 고효율, 소형 박형화가 요구되는 스위칭 전원장치에서 중대형 용량에서 사용되는 동기정류기형 포워드 컨버터로 구성하였으며 실험

에서는 마이크로프로세서로 과전류, 과전압, 과온도 그리고 출력전압을 PID 제어로 안정화 시켰다. 실험 회로의 입력전압은 380V, 출력전압은 12V, 최대전류는 30A, 최대전력은 360W급 출력으로 설계하여 실험하였다.^[1]

2. Forward 컨버터의 기본특성

그림 1은 두 개의 스위치를 사용한 포워드 컨버터의 기본회로를 나타내었다. 그림 2에는 그림 1의 기본 회로에 대한 등가회로를 나타내었다. 본 논문에서 사용된 기본회로방식은 비교적 500W급 정도의 중급 용량에서 널리 사용되고 있으며, 변압기의 리셋회로가 별도로 필요하지 않다는 장점이 있어서 고효율 동작과 소형화 전원 장치에 유리하다고 알려져 있다.

그림2의 등가회로는 기본회로에서 스위치와 다이오드는 모두 이상적인 스위치로서 동작한다고 가정하였으며, 변압기는 자화인덕턴스만 고려하였고 누설인덕턴스는 모두 무시하였다. 권선비를 고려하여 2차측 회로를 1차측으로 변환하였다. 변압기와 직렬로 연결된 커패시터는 정상상태에서 자동 리셋기능을 수행하고 있다. 또한, 충분히 크다고 가정하여 그 결과 정전압으로 변환할 수 있었다.

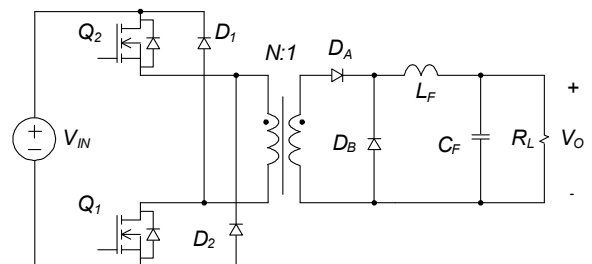


그림 1. 포워드 컨버터의 기본회로
Fig 1. Basic topology of forward converter

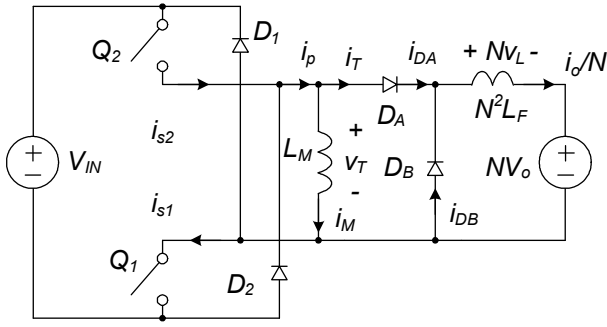


그림 2. 포워드 컨버터의 등가회로
Fig 2. Equivalent circuit of forward converter

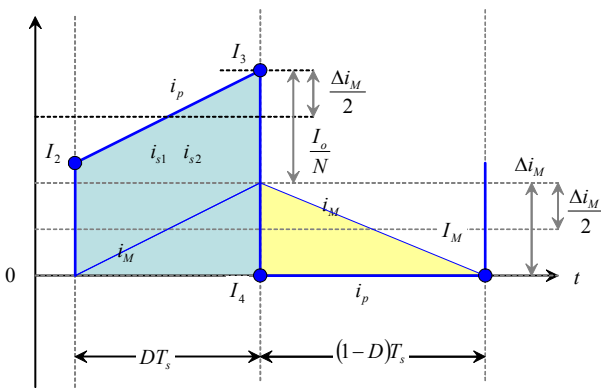


그림 3 포워드 컨버터의 동작파형
Fig 3 Operational waveforms of forward converter

그림 3은 정상상태에서 포워드 컨버터 회로가 동작하는 경우 주요 부분의 이론 파형을 나타낸 것이다. 회로의 동작에서 컨버터의 특징을 가장 잘 나타낼 수 있는 부분이 변압기의 전류라고 판단하여 본 논문에서는 변압기의 전류를 중심으로 나타내었다. 그림 3의 포워드 컨버터는 주 스위치가 ON 상태가 되면 변압기의 자화전류가 선형으로 증가하고 스위치에 흐르는 전류는 출력전류가 권선비만큼 더해져서 흐르게 된다. 주스위치가 OFF 되면 변압기는 음의 전압이 걸리고 따라서 직선으로 감소하며 보조스위치를 통해 감소된 전류가 커패시터를 통해서 흐르게 된다. 주스위치가 OFF 되면 변압기의 리셋 동작에 의해 자화전류가 감소되어 0이 된다.

위의 정상상태 설명으로부터 컨버터 각 부분의 전압과 전류에 대한 정상상태 값을 계산 할 수 있다. 식 (1)은 컨버터의 입출력 전압비를 나타내고 있다. 포워드 컨버터의 경우에는 시비율과 전압이득이 비례하지만 실제로는 변압기의 리셋기간이 필요하기 때문에 최대 시비율은 0.5로 제한된다.^[2] 식 (2)에는 변압기의 자화변류 변화량을 나타내었다. 식 (3)은 자화전류의 평균값을 나타내었으며, 식 (4)에는 출력 필터용 인덕터에 흐르는 전류의 변화량을 나타내었다.

그림 4에는 본 논문에서 포워드 컨버터의 출력전압 안정화시키기 위해서 사용된 프로그램 흐름도를 나타낸 것이다. 그림에서 기본적으로 출력전압을 안정화시키기 위해서 프로그램 내부에 PID 제어기능을 사용하였으며, 입

력전압과 출력전압을 항상 감시하면서 시스템을 보호 할 수 있도록 보호 기능을 추가 하였다. 또한 입력전류와 출력전류를 감시하여 과전류에 대한 보호기능과 과온도에 대한 보호 기능을 추가하였다.

$$M = N \frac{V_o}{V_I} = D \quad (1)$$

$$\Delta i_M = \frac{D V_T N}{L_M} T_s \quad (2)$$

$$I_M = \frac{D V_T N}{2 L_M} T_s \quad (3)$$

$$\Delta i_F = \frac{D(1-D)V_T N}{N L_F} T_s \quad (4)$$

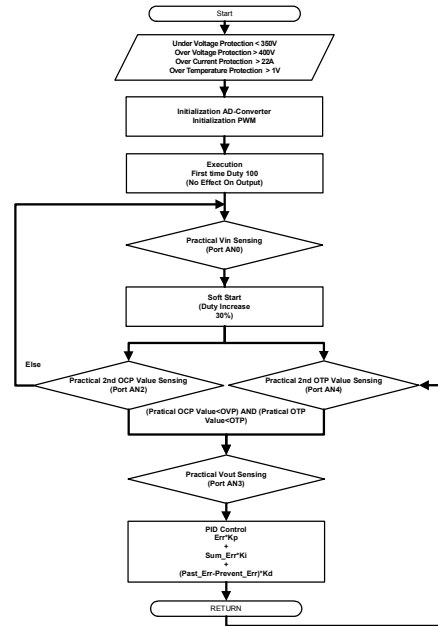


그림 4. 프로그램 흐름도
Fig 4. Program flowchart

3. 실험 결과

그림 5에는 본 논문에서 제작한 실험회로의 구성도를 간단하게 표현 한 것이다. 그림에서 포워드 컨버터의 출력전압을 안정화시키기 위해서 'MicroChip'사의 dsPIC30F 2020 16-Bit 마이크로프로세서를 이용하였다. 표 1에는 실험회로 구성에서 참고한 시스템의 전기적 사양을 나타내었다. 실험회로에서는 컨버터의 입력전압이 스위칭 정류기를 사용한다고 가정하였으며, 출력전압은 시스템 전원에서 가장 널리 사용되고 있는 12V로 정하였다. 특히 출력전류가 비교적 대전류이기 때문에 정류

기의 전도손실을 저감시키고 전력변환 효율을 개선시키기 위해서 기존 다이오드 정류기 대신 동기정류기로 출력을 구성하였다. 이 때 동기정류기용 스위치도 프로세서에 의해 직접 구동되기 때문에 안정된 스위칭 동작에 필수적인 데드타임 설정을 소프트웨어에서 변경할 수 있도록 하였다. 또한 변압기의 1차측과 2차측을 전기적으로 절연하기 위해서 프로세서와 2차측을 공통접지로 하였으며, 1차측은 구동변압기와 절연 소자를 사용하여 절연하였다.

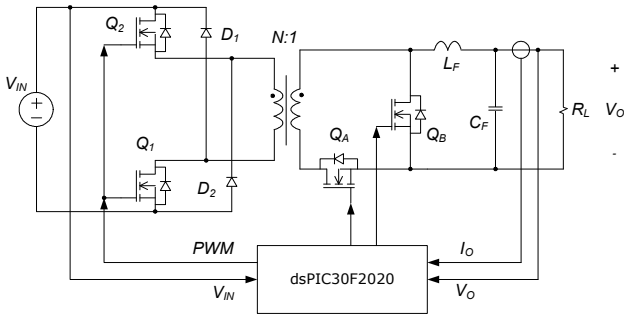


그림 5. 실험 회로
Fig 5 Experimental circuit

표 1. 실험 회로의 파라메타
Table 1. Parameters of Experimental circuit

Parameters	Unit	value
Input voltage range	V_{IN}	V 380
Output voltage	V_O	V 12
Maximum load current	I_O	A 30
Maximum power	P_O	W 360
Magnetizing inductance	L_F	mH 4.0
Turns ratio of transformer	N	- 10.3

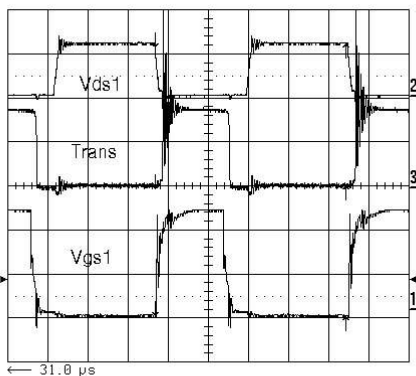


그림 6. 최대 부하에서 실험 파형
Fig. 6 Experimental waveforms at maximum load

그림 6은 실험회로의 출력 전류가 30A일 때의 1차측 MOSFET의 V_{GS} , V_{DS} , I_P 와 2차측 정류 다이오드의 V_{CA} 의 파형을 나타낸 것이다. 그림에서 실험회로로 사용된 파워드 컨버터의 주스위치와 동기정류기용 스위치 모두

정상적으로 스위칭 하고 있다는 것을 알 수 있었다. 그림 7은 실험에서 사용된 파워드 컨버터의 전력변환 효율을 측정하여 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 실험회로의 최대 효율은 약 91.5%를 나타내었으며, 최대부하에서는 89%를 나타내었다.

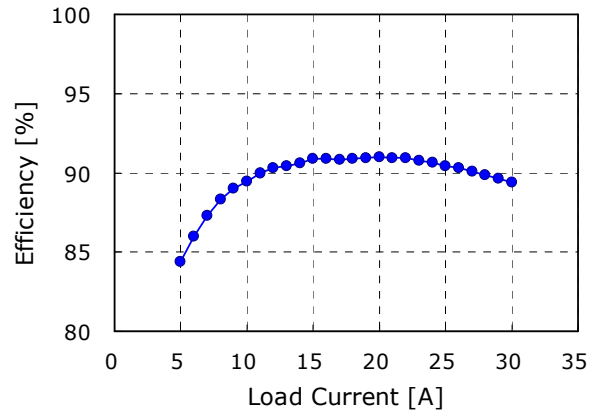


그림 7. 측정된 전력변환 효율
Fig 7. Measured power conversion efficiency

4. 결론

본 논문에서는 파워드 컨버터의 출력전압을 안정화시키기 위하여 'MicroChip'사의 dsPIC30F2020 16-Bit 마이크로프로세서를 이용하여 디지털 제어로 제어 시스템을 구현한 실험결과를 보고한 것이다. 실험회로는 입력전압이 380V, 출력전압 12V, 출력전류 30A, 최대전력 360W 급으로 설계하였으며 대전류에서 효율특성을 개선시키기 위해서 동기정류기를 구현하였다. 실험결과 주스위치 뿐만 아니라 동기정류기용 스위치의 데드타임과 각 제어동작을 프로그램으로 구현하였으며 시스템의 신뢰성을 높이기 위해서 각 보호회로를 시스템에 구현하였다. 실험결과 본 논문에서 구현한 제어 프로그램으로 파워드 컨버터의 출력이 안정화 되었으며, 각 보호회로의 동작에 의해 시스템이 과전압, 과전류, 저전압, 과온도 등에 보호되었다. 실험회로는 정상상태에서 최대 효율은 약 91.5%를 나타내었으며, 최대부하에서는 89%를 나타내었다.

본 연구는 산업 자원부-한국산업기술평가원 지정 청주대학교 정보통신 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

[1] Wilson Eberle, Yongtao Han, Yan-Fei Liu and Sheng Ye, "An Overall Study of the Asymmetrical Half-Bridge with Unbalanced Transformer Turns under Current Mode Control", IEEE PESC, 2004, pp. 1083-1089.
[2] J.-J. Shieh, "Realisation of the zero-voltage switching condition for asymmetrical half-bridge DC/DC forward converters", IEEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 153, No. 1, pp. 23-30, January