

풀-디지털 제어 AC-DC 컨버터

서함*, 박준형*, 강철하*, 김은수*, 전용석*, 김동희**, 박성수**, 이영수**
전주대학교*, LG이노텍(주)**

Fully Digital Controlled AC-DC Converter

Han Xu*, J.H Park*, C.H Kang*, E.S Kim*, Y.S Jeon*, D.H Kim**, S.S Park**, Y.S Lee**
JeonJu University*, LG Innotek**

1. 서론

최근 스위칭모드 전력변환회로에 있어서 DSP적용 디지털 제어는 주로 모터구동과 UPS 등 중·대용량의 제어회로에 적용되어왔고, 300W이하 소용량 스위칭전원을 위한 DC DC 컨버터 제어는 주로 아날로그 IC가 적용 되어왔다. 하지만 최근 디지털제어를 위한 DSP IC 가격이 꾸준히 저감되고 있고, LED조명 및 LED TV PSU 등 소용량 스위칭전원에서 원격제어 및 스마트한 다기능이 요구되고 있어, DSP적용 디지털 제어 소용량 DC DC 컨버터에 대한 문헌들이 발표되고 있다.^[1,2]

기존 DSP적용 일정주파수 제어 불연속모드 PFC AC DC 컨버터가 발표되었지만 소프트스위칭 된 온 동작이 아니기 때문에 고 집적화를 위해 높은 스위칭주파수로 스위칭 동작시 턴 온(Turn on) 손실증가와 용량증대 시 피크전류 증가에 따라 스위칭 손실증가 등 문제가 발생할 수 있다.

따라서 턴 온 손실을 최소화 할 수 있는 CRM(Critical Conduction Mode) PFC(Power Factor Correction) AC DC 컨버터가 널리 적용되고 있고, 주로 아날로그 IC로 구현되어 적용되고 있지만 최근 DSP적용 CRM PFC AC DC 컨버터가 발표되고 있다.^[1,2,3,4] 하지만, 영전류검지(ZCD: Zero Current Detect)회로와 멀티벨리 스위칭(Multi valley switching)을 위한 기능구현에서 주변 아날로그 비교기 및 IC를 적용하여 완전한 디지털제어구현이 미흡하였다.^[4]

본 논문에서는 DSP 제어만으로 입력역률개선을 위한 풀 디지털 제어된 120W CRM PFC AC DC 컨버터 구현 실험내용에 대해 발표하고자 한다.

2. 풀-디지털 제어 CRM PFC AC-DC 컨버터

그림1의 CRM PFC AC DC 컨버터는 승압인덕터(L)와 Mosfet(Q) 및 다이오드(D₁), 기생커패시턴스(C_p)를 포함하고 있다. CCM, DCM PFC AC DC 컨버터와 달리 전류제어모드 없이 보조권선(L_{AUX})을 이용하여 승압인덕터(L)에 흐르는 영전류를 검지하여 벨리 포인트에서 소프트스위칭 된 온 제어를 통해 입력역률개선 및 낮은 입력전류 THD를 구현 할 수 있다. 벨리 포인트에서 스위칭 동작하는 CRM PFC AC DC 컨버터의 디지털제어를 위해 Microchip 16bit dsPIC33F 계열 칩을 사용하였다. 그림1과 그림2(a)와 같이 DSP칩 안에 내장되어있는 비교기(High Speed Analog Comparator, CMP_X)를 이용하여 인덕터보조권선(L_{AUX}) 전압(V_{ZCD})을 검출하고 벨리 스위칭포인트를 찾아 PWM모듈의 카운터를 리셋하고 턴 온 제어를 한다. 또한 DSP A/D컨버터를 이용하여 출력전압(V_o)을 검출하고 PID제어기를 통해 스위치(Q)의 턴 온 시간을 계산한다.

CRM PFC AC DC 컨버터의 입력전압(V_{AC})이 크거나 경부하 동작시 스위칭주파수는 상당히 높은 주파수에서 동작하게 되고, 이에 따라 스위칭손실은 증가하게 되며 인덕터의 코어 투자를 동작주파수 범위를 벗어날 수 있다. 이러한 문제를 해결하기위해서 PWM모듈에서 최소 주기 값으로 세팅된 듀티사이클(D_{min})과 최대스위칭주파수(f_{max}) 제한신호(TON Limit)를 활용하여 최대스위칭주파수(f_{max})는 350kHz로 제한하였다.

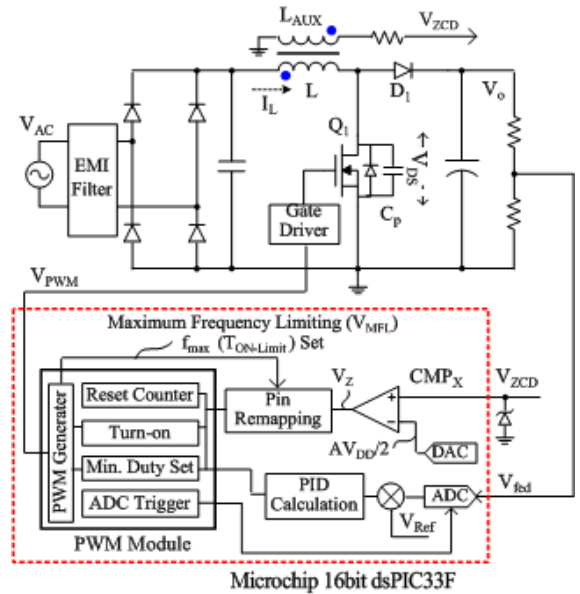
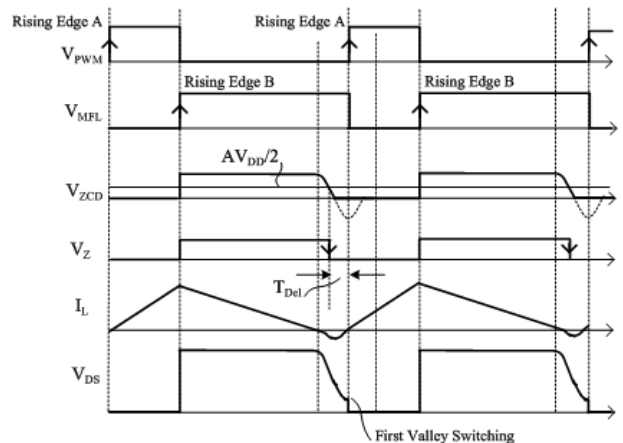
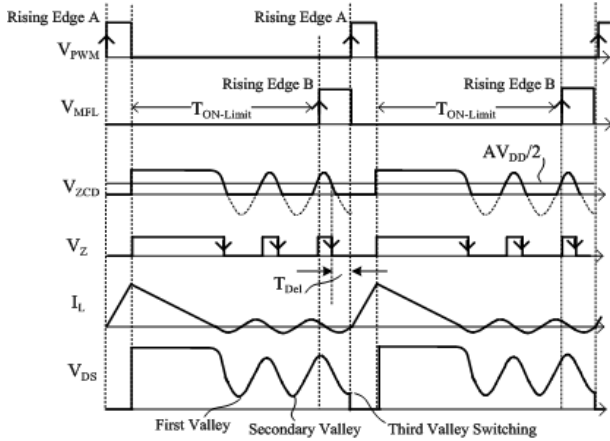


그림 1. 제어블록 다이어그램



(a) CRM 벨리 스위칭



(b) 최대스위칭주파수(f_{max})가 제한될 때 벨리 스위칭
그림 2. ZCD 동작 파형

그림2(b)와 같이 상승 엣지 A(Rising Edge A)에서 소프트웨어로 PWM모듈 안에 내장되어있는 비교기(High Speed Analog Comparator, CMP_x)의 출력 V_Z 를 무시하게 세팅하고 최소주기시간($T_{ON\ Limit}$)이 지난 다음에 상승 엣지 B(Rising Edge B)에서 다시 정상 동작하게 세팅한다. 이에 따라 최소주기($T_{ON\ Limit}$) 시간범위 안에서 승압인덕터전류(I_L)가 리셋 되었다 하더라도 바로 턴 온하지 않도록 하여 최대스위칭주파수(f_{max})를 제한하였다. 또한 최소주기($T_{ON\ Limit}$) 시간범위 후에 인덕터의 전류가 리셋 될 때는 Rising Edge B에서 다시 정상 동작할 수 있게 세팅한 후에 Mosfet(Q)의 기생 커패시터(C_p)와 인덕터(L)사이의 공진을 보조전선을 통해 검출하여 항상 벨리 포인트에서 스위칭 동작될 수 있도록 소프트스위칭 동작이 구현된다.

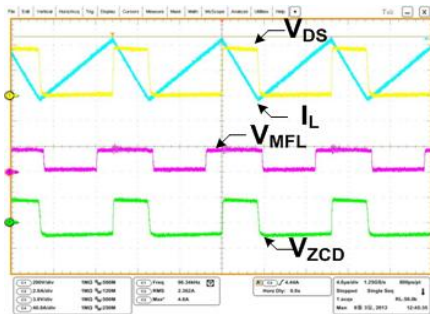
3. 실험결과

본 논문에서는 16bit dsPIC33F 적용 풀 디지털 제어 120W CRM PFC AC DC 컨버터 실험 구현 내용이다. 표1은 승압 인덕터(L) 인덕턴스 값 및 스위칭소자들에 대해 나타냈다.

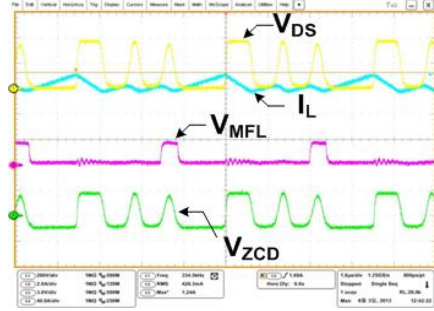
그림3(a)은 입력90V_{ac}, 출력120W 중부하에서의 실험파형으로 인덕터보조전선(L_{AUX})을 통해 영전류(V_{ZCD})를 검지한 후 Mosfet(Q) 양단전압(V_{DS})이 0 전압으로 떨어졌을 때 영전압 스위칭(ZVS: Zero Voltage Switching) 조건에서 턴 온 스위칭 제어됨을 볼 수 있다.

표. 1 사용된 소자 및 인덕터

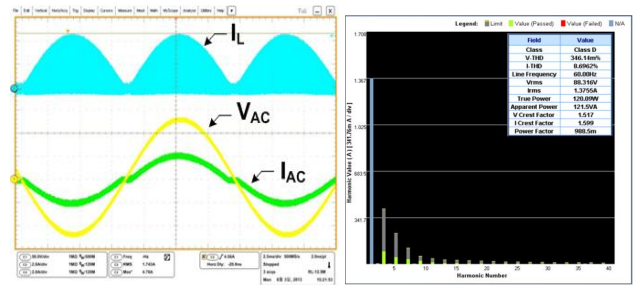
Power Mosfet(Q)	20N60C3	650V, 20.3A, 0.19Ω
다이오드(D ₁)	MUR460	600V, 4A
승압인덕터(L)		179 μH



(a) 입력 90V_{ac}, 출력용량 120W
(Ch1:200V/div., Ch2:2A/div., Ch3:3V/div., Ch3:40V/div., 4us/div.)



(b) 입력 90V_{ac}, 출력용량 10W
(Ch1:200V/div., Ch2:2A/div., Ch3:3V/div., Ch3:40V/div., 1.6us/div.)
그림 3. 입력 90V_{ac}에서 부하 변화에 따른 벨리 스위칭 동작파형



(Ch1(V_{AC}):50V/div., Ch2(I_L):2A/div., Ch3(I_{AC}):2A/div., 2.5ms/div.)
그림 4. 입력90V_{ac}, 출력120W 실험파형과 Power Quality 분석결과

그림3(b)는 입력90V_{ac}, 출력10W 경부하에서의 실험파형으로 인덕터의 전류가 0로 리셋 될 때 인덕터보조전선(L_{AUX})을 통해 영전류(V_{ZCD})를 검지하지만 최소주기($T_{ON\ Limit}$) 시간범위 안에서 발생되기 때문에 무시되고 두 번째 벨리 포인트가 지난 후 최소주기($T_{ON\ Limit}$) 시간 후 V_{MFL} 이 High가 되는 Rising Edge B에서 다시 정상 동작할 수 있게 세팅한 후에 다음 벨리 포인트 즉 Mosfet(Q) 양단전압(V_{DS})이 최소가 되는 전압에서 소프트스위칭 동작됨을 볼 수 있다. 그림4는 입력90V_{ac}, 출력120W 중부하에서의 승압인덕터 전류파형(I_L)과 입력전압(V_{AC})과 전류(I_{AC})파형을 보여주고 있고, 입력역률은 0.988이고, 입력전류(I_{AC}) THD는 8.696%로 IEC 61000 3 2를 만족하고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 120W CRM PFC AC DC 컨버터에 대한 풀 디지털 제어가능성을 검토하고 실험결과를 도출하였다. 향후에는 LLC 공진컨버터까지 추가하여 하나의 DSP 칩으로 두 개의 컨버터를 제어할 수 있도록 수행 할 예정이다.

이 논문은 LG이노텍(주) 산학협력연구과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고문헌

- [1] Xu Yang, Yanping Ying, and Wenjie Chen, "A Novel Interleaving Control Scheme for Boost Converters Operating in Critical Conduction Mode" Journal of Power Electronics, Vol. 10, No. 2, March 2010
- [2] "SMPS AC/DC Reference Design User's Guide", Microchip, 2008
- [3] Laszlo Huber, Brian T. Irving, Milan M. Jovanović, "Effect of Valley Switching and Switching-Frequency Limitation on Line-Current Distortions of DCM/CCM Boundary Boost PFC Converters" IEEE Trans. On PE, Vol. 24, No. 2, Feb. 2009
- [4] Jong-Won Shin, Gab-Su Seo, Bo-Hyung Cho, Kyu-Chan Lee, "Modeling and Implementation of Digital Control for Critical Conduction Mode Power Factor Correction Rectifier" IEEE 13th Workshop on COMPEL, 2012