

DSP를 이용한 출력전압 가변형 2KW AC-DC Converter

유광민*, 신헌철*, 이윤재*, 이동후**, 김윤성**, 정유석*, 이준영*
 명지대학교 전기공학과*, (주)동아일렉콤**

2KW AC_DC Converter for Variable Output Voltage Using DSP

Kwang-min Yoo*, Heon-cheol Shin*, Yun-jae Lee*, Dong-hoo Lee**, Yun-Sung Kim**, Yu-seok Jeong*, Jun-young Lee*

Department of Electrical Engineering, Myongji University*, DONGAH ELECOMM Corporation**

ABSTRACT

점차 Converter에 디지털 제어를 활용하는 부분이 점차 늘어나고 있다. 이에 컨버터에 응용되는 부분도 상당히 이루어지고 있으며 컨버터의 중점인 고효율, 고역률에 대한 부분도 달성하는 동시에 디지털 제어를 사용함으로써 실시간 모니터링 및 프로텍션 부분을 활용할 수 있어 앞으로 디지털 제어가 컨버터에 중요한 이슈로 작용 될 것으로 보인다. 본 논문에서는 디지털 제어기(TMS320F28035 : TI社)를 이용하여 Bridgeless PFC converter와 LLC converter의 2단 구성을 갖는 AC-DC Converter를 제안한다.

1. 서 론

디지털제어의 장점은 유저가 실시간 모니터링 및 보안 설계, 고장진단, 각 모듈간에 통신 등에 대한 적용 운전이 가능하다는 장점이 있다. 제안된 Converter는 2단 구성을 갖는 컨버터이며 1단은 DC_link전압이 380V~410V 가변되는 Bridgeless PFC Converter이며 2단은 출력전압이 -43V~53V로 가변되는 LLC converter를 제안하며 이는 User가 원하는 출력전압을 얻을 수 있게 제어를 통해 조정 할 수 있다. 본 논문에서는 DSP(TMS320F28035)를 이용하여 역률개선과 고효율화, 고전력밀도, 출력전압 가변형 2KW급 AC-DC Converter를 검증하고 실험을 진행을 하였다.

2. 본 론

2.1 제안한 2KW급 AC-DC Converter

본 논문에서 제안한 2KW급 converter는 2단 구성을 갖는다. 1단구조로 PFC단이며 Bridgeless PFC로 구성된 구조이다. 2단 구조는 DC-DC부를 담당하는 LLC converter이다. Bridgeless PFC Converter는 기존의 Bridge 타입의 Boost Converter에 비해 도통손실이 적은 장점이 있다.^[2] Bridgeless PFC Converter는 Boost mode로 기본 동작한다. 전류제어 mode는 CCM으로 동작하며 제어 방식으로는 평균전류 제어 방식을 채택하였다. DSP를 이용한 평균전류제어 모드를 사용하기 위해서는 압력전류가 입력전압을 추종할 수 있는 전류제어를 하는 방식인 CCM방식이 용이 할 것으로 판단되며 CCM방식이 DCM방식 보다는 상대적으로 스위치의 전류 스트레스가 작아 유리하다.

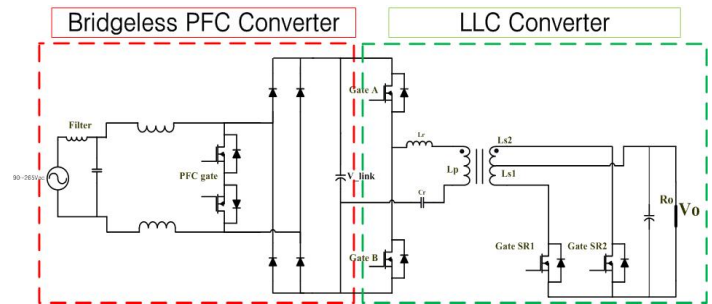


그림 1 제안한 AC-DC Converter 회로도
 Fig. 1 Proposed Bridgeless PFC Converter Circuit

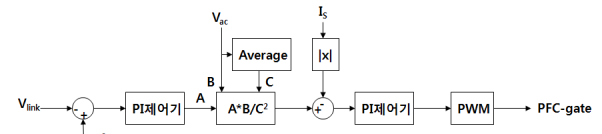


그림 2 제안한 PFC control Block도
 Fig 2 Proposed PFC Control Block

평균전류 모드 제어 방식을 디지털로 구현하기 위해서는 오차증폭기를 이용한 아날로그 제어를 토대로 이루어진다. 그림 2은 아날로그 제어기의 오차 증폭기의 역할을 PI 제어기로 구현하는 디지털 제어기의 개념도 이다. LLC 방식은 출력에 인덕터가 필요가 없으며 스위치와 출력 rectifier의 turn-off전압이 입력과 출력 Capacitor에 의해 clamping이 되므로 EMI에 유리하며 특히 저전압 출력인 경우 저내압 SR(Synchronous rectifier)을 사용하는데 유리하다. 그림 3는 LLC control에 대한 Block diagram이다.

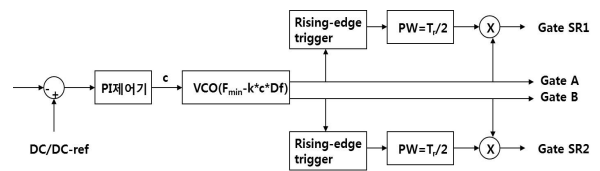


그림 3 제안한 LLC control Block도
 Fig 3 Proposed LLC Control Block

전압 제어 루프를 거친 링크 전압 값과 입력의 ac전압 값으로 연산되어 만들어진 전류 reference와 sensing된 전류의 오차를 PI 제어기를 통하여 보상하고 보상으로 만들어진 값은

VCO를 거쳐 1차 Gate신호를 만들고 이 신호와 함께 SR FET를 위한 PWM Duty를 만드는데 PWM은 rising-edge trigger를 이용해 최고점을 Detecting하고 그 펄스 폭은 1/2 PWM duty를 내보내게 된다. 이때 1차와 2차의 FET는 서로 상보적으로 동작을 하게 된다. SR의 주기의 1/2은 SR Driver의 역전류를 방지하는 효과를 가져오게 된다. LLC 방식이 효율양상에 유리하지만 가변전압 range가 좁아 별도의 회로들이 고안되어야 한다. LLC converter를 디지털로 제어하고 중간 부하 이하에서의 효율을 극대화하기 위해서는 부하에 따른 스위칭 주파수의 변위를 작게 설계하여야 한다. 부하에 따른 LLC converter의 공진주파수 범위는 변압기의 자화 인덕턴스 Lm과 누설인덕턴스 Lk의 비인 K값과 부하와 공진회로의 임피던스 비와 관계있는 Quality factor Q에 의해 좌우된다. 관계식은 식 (1)에 나타내었다.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \left[\frac{2}{n} \sqrt{1 + \frac{1}{k} \left(1 - \left(\frac{f_s}{f_r} \right)^2 \right)} \right] + \left[Q \left(\frac{f_s}{f_r} - \frac{f_r}{f_s} \right) \right] \quad (1)$$

$$Q = \pi \sqrt{L_r / C_r} / (8\pi^2 R_r)$$

$$k = L_m / L_r$$

$$f_r = 1 / (2\pi \sqrt{L_r C_r})$$

일반적으로 K와 Q가 작을수록 기울기가 상승하는 형태를 갖고 있으며 그림 4에 보면 부하에 따라 작아질수록 Gain이 커지므로 Full load시의 gain을 맞추기 위해 주파수가 약간씩 커짐을 알 수 있다. 또한 부하에 따라 주파수의 변위가 거의 없어 디지털 제어기의 설계가 용이하게 된다.

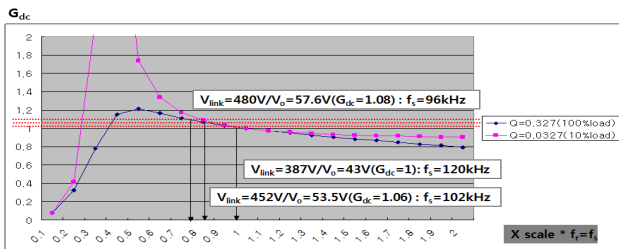


그림 4 LLC Converter의 입출력 특성
Fig 4 Input/output characteristics of LLC converter

각 Converter간에 통신을 위해서 SPI 통신을 채택하였으며 이때 LLC부에서 전체적인 제어를 담당하게 된다. PFC_link전압을 조절할 수 있으며 이에 따른 LLC출력전압을 조절하게 된다. 그리고 모든 상황시 발생하는 부분을 User가 외부에서 실시간 모니터링, 고장진단을 할 수 있게 CAN통신을 적용했다.

2.2 실험 결과 및 검토

표 1 컨버터의 실험 사항
Table 1 Experimental Data of AC_DC Converter

입력전압(V _{ac})	90~265VAC
DC_link(V _{link})	380~410V _{link}
출력전압(V _o)	-43~-53V
출력전류(I _o)	37.7A ~ 46.5A
PFC switching frequency	60KHz(Fixed frequency)
LLC switching frequency	50kHz~200KHz
LLC resonant frequency	110KHz

앞에서 구성한 내용을 바탕으로 2KW급 AC-DC 컨버터를 제작하였고 제작된 회로를 통한 실험을 하였다. 실험사항은 표1과 같다.

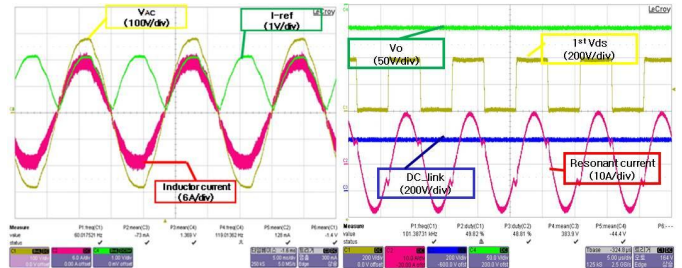


그림 5 각부파형
Fig 5 Waveform of each part

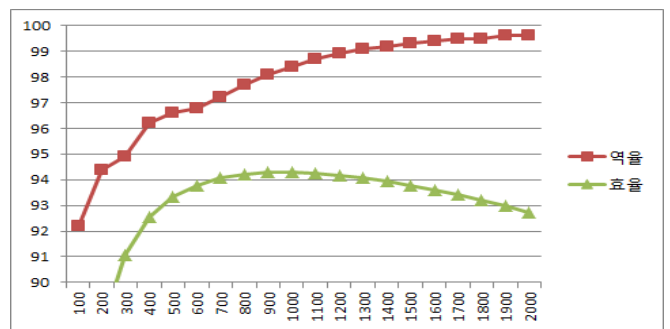


그림 6 제안한 컨버터의 PF와 효율
Fig 6 Power Factor, Efficiency

제안된 회로를 DSP제어를 통해 실제 구성하여 진행한 과정이다. 그림 5에서 입력전압, 인덕터 전류, 그리고 평균전류제어 모드를 위한 I_{ref}파형, DC_link전압, 출력전압, 각 LLC 스위치 양단전압을 보여준다. 이때 DC_link전압은 390V이며 출력전압은 -43V이다. 효율은 최대효율 94.5%이며 최대역률은 99% 이상이다.

3. 결 론

본 논문에서는 DSP(TMS320F28035)를 이용한 2KW급 AC-DC converter를 설계 및 제작하고 실험을 진행하였다. 기존의 analog제어를 통한 Converter에서 Digital제어 Converter를 구현하였고 또한 검증을 하였다. 하지만 효율 및 역률이 만족하는 수준이 아니다. 따라서 DC_link전압에 따른 출력전압의 최대효율점을 찾아 효율 및 역률 개선이 필요하다.

이 논문은 (주)동아일렉콤의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 양 오, "DSP를 이용한 단상 PFC의 설계", 전자공학회 논문지, 제 44권, pp. 57-65, 2007.
- [2] 이윤재, 유광민, 신현철, 고돈열, 정호철, 정유석, 이준영 'DSP를 이용한 2KW급 고효율 Bridgeless PFC Converter' 전력전자학술대회 논문집, pp.359~360, 2010.7