

위상 변이 LLC 공진 컨버터를 이용한 고효율 AC/DC 서버 전력 공급과 링크 전압 기변

임천용, 김재현, 유찬훈, 문건우
한국과학기술원

High efficiency AC/DC server power supply using Phase-shift LLC resonant converter and link voltage variation

Cheon-Yong Lim, Jae-Hyun Kim, Chan-Hun You, Gun-Woo Moon
Korea Advanced Institute of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 위상 변이 LLC 공진 컨버터를 이용하여 주파수의 변동을 제한하며 링크 전압을 기변함으로써 효율을 높이고자 한다. 전부하에 걸쳐 효율이 약 0.26~0.69 만큼 상승하였고 특히나 50% 부하 조건에서는 제안된 컨버터를 통해 titanium level 을 달성하였다. 또한 높은 링크 전압에 대해서는 위상 변이 방법을 통하여 효과적으로 전압 조정을 할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

현재 서버용 전원 장치는 전부하에 걸쳐 80% 이상의 효율 (80plus) 을 요구하고 있으며 특히 최근에 제시된 Titanium 등급에서는 10%의 낮은 로드에서도 90%의 효율을 요구하며 경부하에서의 효율도 점점 더 중요해지고 있다. LLC 직렬 공진 컨버터는 전부하에서 영전압스위칭 조건을 만족하며 구조가 간단하기 때문에 이러한 필요에 적합한 컨버터이다. 서버용 전원 장치는 그림 1과 같이 구성되어 있으며, 크게 PFC(Power Factor Correction)단과 DC/DC 전원단으로 구성된다. PFC는 고조파 규제를 만족시키기 위하여 입력부에 위치하며 Universal line 전압(90~264V_{ac})을 입력으로 하여 385V의 링크 전압을 DC/DC 컨버터에 제공한다. 한편, 서버용 전원 장치 효율의 기준이 되는 80 plus 프로그램은 230V_{ac} 에서 고효율을 요구한다. 이를 위해 링크 전압을 가변 하는 기법이 많이 사용 되어 왔다^[1]. 하지만 이를 LLC 컨버터에 적용 시 주파수 변동폭이 커지는 문제가 발생한다. 본 논문은 링크 전압을 가변하여 효율을 높이고 위상 변이 방법을 사용하여 주파수 변동폭을 제한하고자 한다.

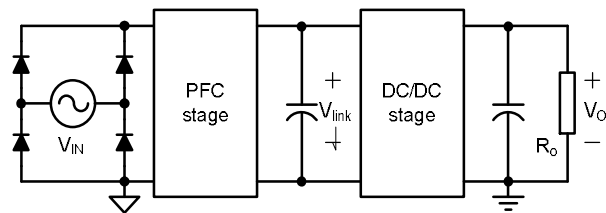


그림 1 서버용 전원 장치의 기본 구성

2. 동작원리 및 회로 특징

2.1 동작원리

그림 3에서 볼 수 있듯이 기존의 방식에서는 모든 입력 전압에 대해서 동일하게 380V 을 PFC의 출력 전압을 내는 반면 제안된 컨버터에서는 235V_{ac} 을 기준으로 링크 전압을 가변 하여 준다. 따라서 최적화 설계가 필요한 230V_{ac} 의 입력 전압에서는 보다 낮은 링크 전압에서 동작한다. 이 조건에서는 기존의 LLC 컨버터와 같이 주파수 변동으로 전압 조정을 해 준다. 입력 전압이 235V_{ac} 보다 커지는 경우에는 링크 전압이 380V 로 상승하게 되고 DC/DC 단의 1차측에서는 buck 동작이 요구된다. 이 때 주파수 변동폭을 제한하기 위해 스위칭 주파수는 고정된 채 위상을 변이시켜 전압 조정을 해준다.

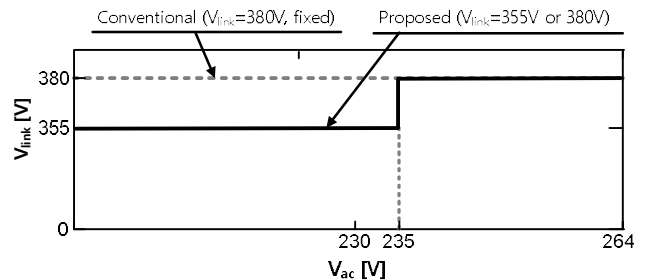


그림 3 라인 전압에 따른 링크 전압 가변

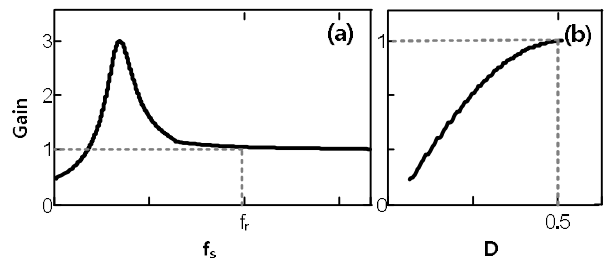


그림 4 제안하는 위상 변이 LLC 컨버터 이득 제어 방식 (a) frequency regulation ($V_{ac} < 230V$, $V_{link} = 355V$) (b) duty regulation ($V_{ac} > 230V$, $V_{link} = 380V$)

3. 실험결과

제안한 회로의 교류입력전압은 universal line(90~264V_{ac})의 조건을 가지며, 출력 조건은 12V/750W 이다. 회로에 사용된 소자는 표 1과 같다. 기존의 컨버터와 제안된 컨버터의 소자를 비교해 보면 PFC를 구성하는 소자와 DC/DC 단의 스위치 소자는 동일한 반면, 고효율이 요구되는 230Vac의 입력전압에서는 링크 전압이 다르므로 변압기의 턴수와 자화 인덕턴스 값은 차이를 보인다. 또한 효율 측정시 스위칭 주파수를 동일하게 맞춰주기 위하여 공진 캐패시터 값을 조정해 주었다.

그림 5는 50% 부하 조건에서 제안된 컨버터의 게이트 신호와 1차측 전류 파형 그래프이다. 게이트 신호의 위상이 변이됨으로써 1차측 전류가 자화 전류와 같은 값으로 고정되며 이로써 2차측으로 넘어가는 전류가 줄어든다. 따라서 동일한 주파수에도 buck 동작을 하는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 기존 LLC 컨버터와 제안된 위상 변이 LLC 컨버터의 측정 효율을 나타낸 것이다. 전부하에 걸쳐 효율이 상승한 것을 확인할 수 있고 특히 50%의 부하에서는 새로 제안된 컨버터를 통해 titanium level 을 달성하였다.

표 1 사용된 소자

Components/Parameters		Value	
		Conventional	Proposed
부스트 인덕터	L _B	777uH	
변압기	L _m	1.318 mH	1.1003mH
	turns ratio (n _p : n _s)	32:1	29:1
공진 인덕터	L _r	19.09 uH	19.10 uH
공진 캐패시터	C _r	99 nF	146 nF
스위치	M _{PFC}	IPP60R299CP	
	M _{LLC}	IPI60R199CP	
SR	Q _i	IRF7946	

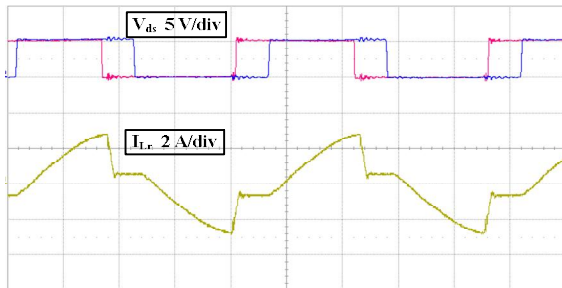


그림 5 제안된 컨버터의 50% 부하 기준 게이트 신호와 1차측 전류 파형

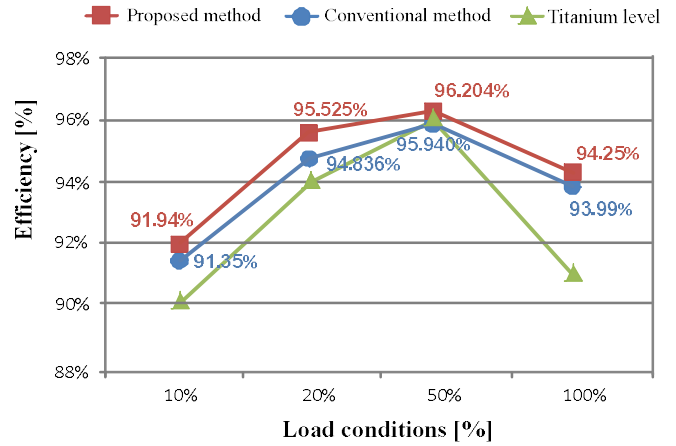


그림 6 기존 컨버터와 제안된 컨버터의 각 부하별 효율 비교

4. 결론

본 논문에서는 universal line 전압(90~264V_{ac})에 따라 링크 전압을 가변하여 효율을 높이고 위상 변이 방법을 사용하여 주파수 변동폭을 제한하였다. 특히 50% 부하 조건에서는 새로 제안된 컨버터를 통해 titanium level 을 달성하였고 이는 서버 시스템의 고효율화와 양산성에 상당한 기여를 할 것으로 기대된다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2010-0028680).

참고 문헌

- [1] Duk-You Kim, Young-Do Kim, Kyu-Min Cho, and Gun-Woo Moon, "Adaptive Link Capacitor Voltage Control for Server Power System", IPEMC, 2009, pp. 505-510