

단상 AC Line 호환 형 대용량 전원 장치 구현 방안

김병석, 이운민, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Universal Single Phase Line Compatible High Power AC/DC Converter

Byeong Seok Kim, Yoon Min Lee, Chung Wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

기존 대용량 전원 회로는 상용 전원 조건에서 AC Line 입력 전류가 높아져 누전기가 차단되는 문제가 있다. 그 뿐만 아니라 입력 전류가 높아지면 기존 전력 설비 용량이 부족한 경우가 발생하여, 전력 설비 교체 등 공사의 필요가 있다.

따라서 기존의 전력 설비를 그대로 이용하면서 단상 AC 전원의 허용 한계를 넘는 대용량 전력을 구동할 수 있는 방안을 제안한다. 역률개선회로에 전력 제한 기능을 구현하여 입력 전류를 제한하는 방법과 부족한 전력을 배터리 충/방전 회로를 이용해 보충하는 방안을 제안하며, 제안된 회로의 분석을 수행하고, 1.2KW 급 시작품을 이용한 실험적 분석을 통해 그 가능성을 검증한다.

1. 서 론

최근 개별 장비의 집적화와 모듈화, 급속 냉난방 및 가열, 충전 기술들이 주목 받으면서 가전제품, 의료기기, 전기 차 충전기와 같은 상용 전원을 입력으로 하는 장비들의 전력 사용량이 높아지고 있다.

이러한 장비 운용에는 높은 전력이 필요한 만큼 입력 전류가 높아지면서, 기존 전력 설비 용량이 부족한 문제가 발생하고 있다. 특히 단상 AC 입력 전압이 90V_{ac} 지역의 경우, 220V_{ac} 인 곳에 비해 입력 전류가 2배 이상 크기 때문에 전기 설비의 용량 증대가 불가피한 상황이다.

본 논문에서는 역률개선회로에 전력 제한 기능을 구현하여 AC Line 입력 전류를 낮추었으며, 이 때 부족한 출력 전력을 배터리 보조회로를 통해 보충하였다. 따라서 제안 회로는 역률개선회로의 입력 전류는 낮추면서 최대 출력을 보장할 수 있는 장점을 갖는다.

2. 제안된 전력 제한 회로 전원 시스템

그림 1은 제안된 전력 제한 역률개선회로와 배터리 충/방전 보조회로 블록도이다. 제안 회로는 역률 개선을 위한 전원 회로로 부스트 컨버터를 사용하였으며, 전력 제한 기능 회로와 배터리의 충/방전이 가능한 양방향 컨버터로 구성되어 있다.

2.1 역률개선회로의 전력 제한 기능 원리

그림 2는 역률개선회로의 입력 전류 제어 블록도이다. 이를 통해 역률개선회로의 Feedback 전압인 $V_{control}$ 전압과 출력 전력 P_{av} 에 관한 식 (1), (2)를 유도할 수 있다.

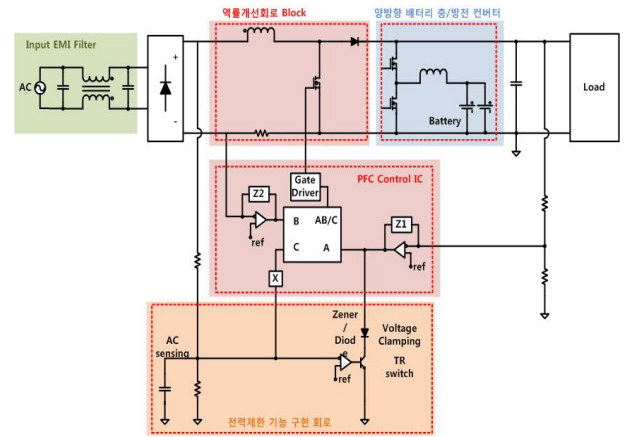


그림 1. 제안 전력 제한 역률개선회로와 배터리 보조회로 블록도

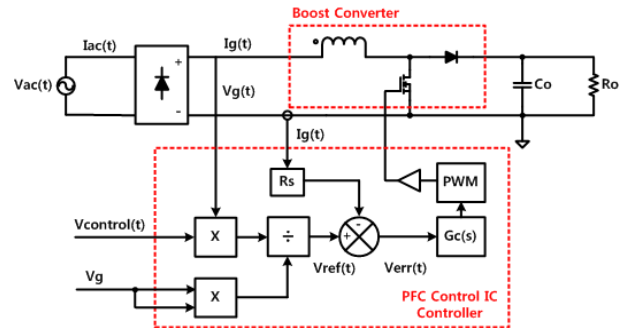


그림 2. 역률개선회로의 입력 전류 제어 블록도

$$V_r(t) = \frac{P_{av} V_g(t) R_s}{V_g^2} = \frac{k_v V_{control}(t) V_g(t)}{V_M^2} \quad (1)$$

$$P_{av} = \frac{k_x V_{control}(t)}{2R_s} \quad (2)$$

최종 정리된 식 (2)를 통해 출력 전압의 Feedback 전압인 $V_{control}$ 전압과 출력 전력 P_{av} 가 비례 관계임을 알 수 있다.

따라서 $V_{control}$ 전압을 일정 전압으로 Clamp 하여 출력 전력 P_{av} 를 제한할 수 있다.

2.2 배터리 보조회로 충 방전 시 동작 원리

배터리 보조회로는 배터리 충전 모드와 방전 모드로 동작이 구분된다.

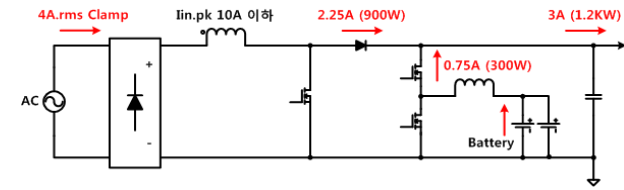


그림 3-a. 제한된 출력 전력 백업 시, 배터리 방전 모드 동작

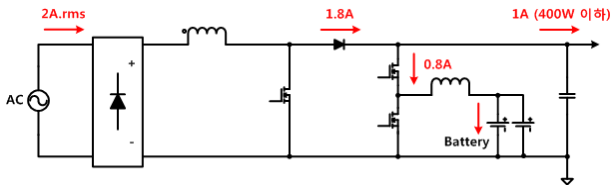


그림 3-b. 대기 모드 시, 배터리 충전 모드 동작

그림 3. 배터리 보조회로 총 방전 모드 동작

그림 3 a는 제한된 출력 전력 백업 시, 배터리 방전모드 동작을 나타낸 회로도이다. 이 때, 회로는 부스트 컨버터로 동작하며, 전력 제한으로 부족한 0.75A의 출력 전류를 보충해준다. 그림 3 b는 대기 모드 시, 배터리 충전 모드 동작을 나타낸 회로도이다. 전력이 낮은 경우, 배터리 회로는 PFC 출력 전압을 입력으로 하는 벡 컨버터 동작으로 배터리 전압을 충전한다.

3. 실험 결과

본 논문에서는 제안된 전원 시스템의 타당성을 검증하기 위해 그림 3의 1.2KW 급 전원 시작품을 제작하여 실험하였다. 실험 조건은 다음 표 1과 같다.

표 1. 전력 제한 역률개선회로 및 배터리 보조회로 실험 조건

Table 1 Per unit values of the system parameters

	역률개선회로	배터리 회로
입력 전압 (V_{in})	220V _{ac}	48V _{dc}
출력 전압 (V_{out}) 및 전력 (P_{out})	400V _{dc} / 1.2KW	360V _{dc} / 300W
스위칭 주파수 (f_{sw})	25kHz	50kHz
Feedback Clamping 전압 ($V_{control}$)	1.6V (900W)	
전력 제한 시, 출력 전력 (P_{olim})	900W	300W

그림 4는 제안 회로 전원 시스템의 동작을 보여주기 위한 실험결과 파형이다. 이 실험결과 파형은 역률개선회로의 1.2KW 동작 구간과 900W 전력 제한 구간 및 배터리 회로 백업 구간으로 구분된다. 그림 4 a는 제안 회로의 입력 전류 (I_{in}), 출력 전압 (V_{out}), 출력 전류 (I_{out}) 및 Feedback 전압 ($V_{control}$)에 대한 전체 실험 파형이며, 그림 4 b는 배터리 회로의 백업 시점의 확대 실험 파형이다.

상기 회로의 1.2KW 동작 구간에서는 $V_{control}$ 전압이 2V, 입력 전류 최대치 ($I_{in,pk}$)가 14A, 출력 전류 (I_{out})가 3.1A 임을 알 수 있다.

이 후, 전력 제한 구간에서는 $V_{control}$ 전압이 2V (=1.2KW)에서 1.6V (=900W)로 Clamping 되면서 출력 전류 I_o 가 3.1A에서 2.1A로 줄어들었다. 따라서 역률개선회로의 입/출력 전력 (P_{out})이 1.2KW에서 900W로 제한되어 입력 전류 최대치 ($I_{in,pk}$) 또한 10A로 낮아진 것을 볼 수 있다.

배터리 회로 백업 구간에서는 제한된 전력을 보상하기 위해 배터리 회로가 동작하여 출력 전류 (I_{out})가 0.7A 오른 2.8A로,

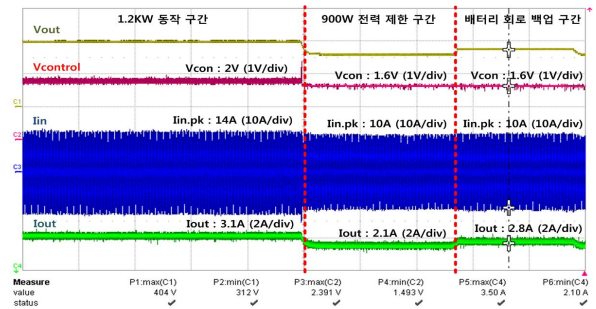


그림 4-a. 전력 제한 시, 입력 전류 (I_{in}), PFC 출력 전압 (V_{out}), 전류 (I_{out}) 및 Feedback 전압 ($V_{control}$) 실험 전체파형

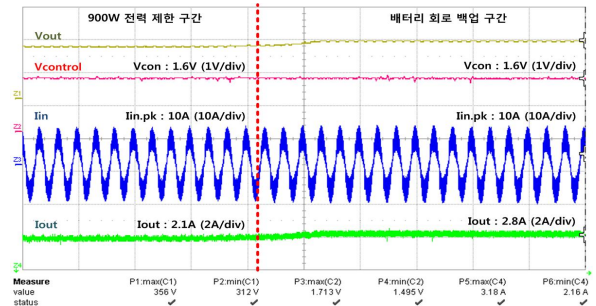


그림 4-b. 배터리 회로 백업 시, 실험 확대파형

그림 4. 출력 전력 1.2KW 급, 전력 제한 회로 실험 파형

출력 전력 (P_{out})이 300W 보상됨을 알 수 있다. 이 때, 역률 개선회로의 입력 전류 최대치 ($I_{in,pk}$)는 10A로 계속 유지되는 것을 확인할 수 있다.

상기의 실험 파형을 통해 $V_{control}$ 전압을 조절하여 역률개선회로의 입력 전력 (P_{in})을 제한할 수 있음을 확인하였고, 배터리 보조회로를 통해 입력 전류 (I_{in})을 일정 이하로 유지하면서 출력 전력 (P_{out})의 보상이 가능함을 확인하였다. 위와 같은 실험 결과를 바탕으로 제안 회로의 우수성을 검증하였다.

4. 결론

본 논문에서는 대용량 전원 회로에서 역률개선회로의 높은 입력 전류 (I_{in})을 줄일 수 있는 전력 제한 기법을 제안한다. 또한 제한된 전력의 보상을 위해 배터리 충 방전 보조회로를 연계한 시스템을 제안한다. 제안된 전원 시스템은 1.2KW 급 전원 시작품을 제작하여 역률개선회로의 전력 제한 동작과 배터리 회로 연계 성능을 실험을 통해 확인하였다.

이를 통해, 대용량 전원 장치의 입력 전류를 낮추면서, 최대 부하 출력을 보장할 수 있음을 검증하였다.

이 논문은 (주)바텍의 연구비 지원과 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학CT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA 2014 H0301 14 1005)

참고 문헌

- [1] R. W. Erickson and D. Maksimovic, Fundamentals of Power Electronics, Second Edition, Kluwer Academic Publishers, 2000
- [2] Laszlo Balogh, "UC3854A/B Provide Power Limiting With Sinusoidal Input Current for PFC Front Ends", Degisn Note, DN-66