

3상 Single Stage 방식의 48V/100A급 고효율 고역률 직류 전원장치

박진영*, 김경환*
이화전기(주)*

High efficiency and power factor 48V/100A DC power supply of three-phase single stage method

J.Y. Park, K.H. Kim
EHwa Technologies Information

ABSTRACT

This paper presents a novel, single stage, isolated, three-phase switching rectifier capable of switching at high frequency. The circuit topology provides zero-voltage switching for all switches, output voltage regulation, unity input power factor, all in a single power conversion stage. Operating principle and experimental results in the 48V/100A DC power supply of three-phase single stage method are presented.

1. 서 론

통신기기용 직류 전원장치는 그 수요가 지속적으로 증가하고 있으며, 전력변환부에 대한 효율 및 입력역률 그리고 고조파 성분에 대한 규제가 강화되고 있다. 기존의 통신용 전원장치의 경우 교류 60Hz의 전압을 3상 다이오드 브릿지로 정류하여 얻은 HVDC(High Voltage Direct Current)를 다시 DC/DC 컨버터에 의하여 48VDC로 출력하는 Tow-Stage방식의 구조를 가지고 있다. 이로 인하여 기존의 통신용 전원장치는 입력단 역률이 매우 낮으며 입력단 전류에도 많은 고조파(입력전류 THD=약25%이상)가 함유하게 되어 효율 또한 나빠진다. 지금까지의 3상 입력의 역률 보상형 정류 시스템은 그림 1과 같이 PFC회로 부분과 DC/DC컨버터(Converter) 부분으로 나뉘어 구성되어 있다. 이와 같이 PFC와 DC/DC 컨버터의 2단계로 구성된 Two-stage의 정류기는 두 번의 전력 변환 단계를 거쳐야 하기 때문에 효율적인 측면에서 전체적인 효율 감소를 가져오며 Two-stage구현에 따른 가격증가의 문제점을 안고 있다. 또한, 대부분 아날로그 제어방식을 채용하고 있는데, 이는 구현이 까다롭고 복잡하다. 또한, 완성된 제품에 있어서 소자의 노후화 등에

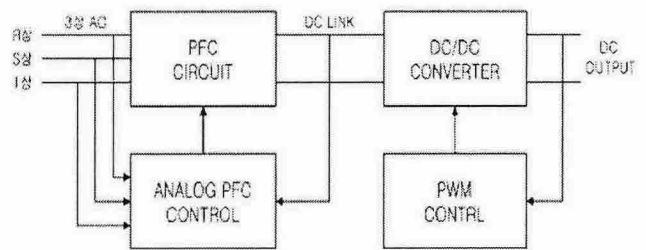


그림 1 Two-stage 3-상 PFC 정류기
Fig. 1 Tow-stage 3-Phase PFC Rectifier

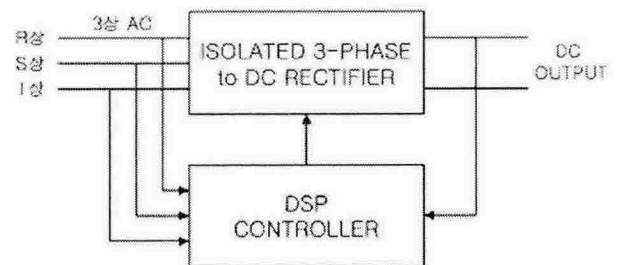


그림 2 Single-stage 3-상 PFC 정류기
Fig.2 Single-stage 3-Phase PFC Rectifier

따른 드리프트 문제 등 여러 가지 면에서 많은 단점을 가지고 있다.

앞서 기술한 바와 같이 기존의 Two-stage 변환 방식의 단점을 보완하고자 본 논문에서는 Single-stage 변환 방식의 토폴로지를 제안하였다. 이 방식은 한 단계의 전력 변환만으로 필요한 출력 DC를 얻을 수 있고 가격적인 측면에서도 장점이 있다. 또한, 본 논문에서는 아날로그 제어방식의 단점을 개선하고자 DSP를 사용한 디지털제어 방식을 이용하였다. 그림 2는 제안된 Single-stage 변환 방식의 시스템 블럭도를 보인다. 그리고 부가적으로 출력단의 노이즈성분을 제거하여 깨끗한 DC성분을 얻을 수 있는 능동형 필터(Active filter)의 적용에 대하여 검토한다.

2. 본 론

2.1 제안된 Single-stage 직류 전원장치

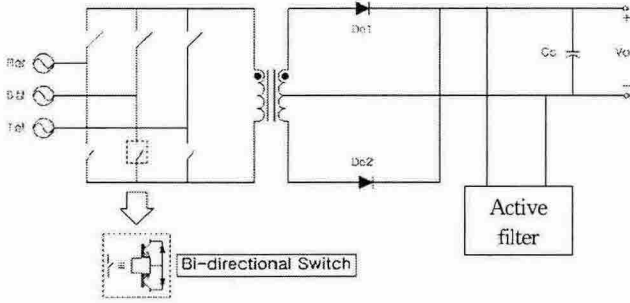


그림 3 제안된 single-stage 직류 전원장치의 구성
Fig 3. Construction of proposal single-stage DC power supply

제안된 Single-stage 직류 전원장치는 전체적인 체적이나 필터요소들의 무게를 최소화하기 위하여 고주파형태의 PWM(Pulse-Width-Modulation) 스위칭을 적용했다. 일반적으로 3상 브릿지 정류기의 스위칭 제어를 위하여 six-step PWM기술이 사용된다. 이런 PWM스위칭 기술은 작은 용량의 입·출력 필터로써 고조파 리플성분이 없이 깨끗한 DC 출력전압을 얻을 수 있도록 해준다.^{[1]-[2]} 그리고 제안된 직류 전원장치의 토폴로지는 양방향 스위칭이 가능한 ZVS(Zero-Voltage-Switching) 스위칭을 통해 도통손실을 줄였으며 1차측의 에너지를 절연된 고주파 변압기를 거쳐 2차측으로 전달하여 정류 회로를 통해 DC전압을 생성하는 구조로 되어 있다. 또한, 출력단 전압의 Regulation을 개선하기 위하여 2상한 초퍼를 사용한 능동필터 회로를 추가하였다. 그림 3은 제안된 직류 전원장치의 토폴로지를 보여준다.

2.2 능동형 필터 회로(Active filter circuit)

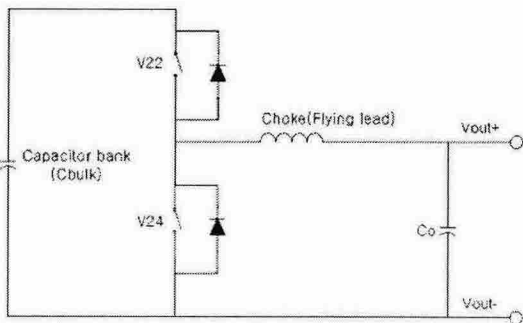


그림 4 기본적인 능동형 필터 회로의 구성
Fig 4. Construction of conventional active filter circuit.

그림 4는 기본적인 능동형 필터 회로로 2상한 초퍼(Chopper)이다. 이 회로는 UC2843AD라는 전류 모드 PWM Controller에 의해서 200kHz 주파수에서 동작하게 된다. Active Filter 회로는 두 개의 MOSFET (V22, V24) 스위칭 소자와 커패시터 bank(Cbulk) 단의 입력과 choke(Flying lead) 단의 출력으로 배열되어 있다. 스위칭 소자(V24)는 일반적인 벽-컨버터의 환류(freewheeling) 다이오드를 스위칭 소자로 대치한 것이다. 제안한 직류 전원장치의 Controller부에서 Active Filter Control을 하는데 이곳의 UC2843AD라는 전류모드 PWM Controller의 출력을 IR2110이라는 Driver가 받아 Active Filter 회로에 두 개의 High Side 출력과 Low Side 출력을 보내 Active Filter 회로의 주 스위치(V22, V24)가 동작을 하게 된다.

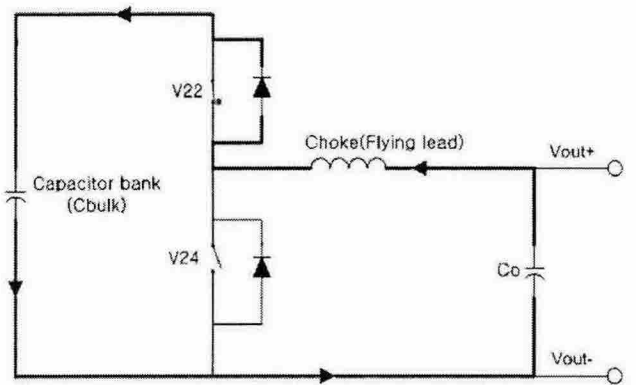


그림 5(a) 스위치 V22가 turn-on V24가 turn-off된 상태
Fig 5(a). Switch V22(on), V24(off)

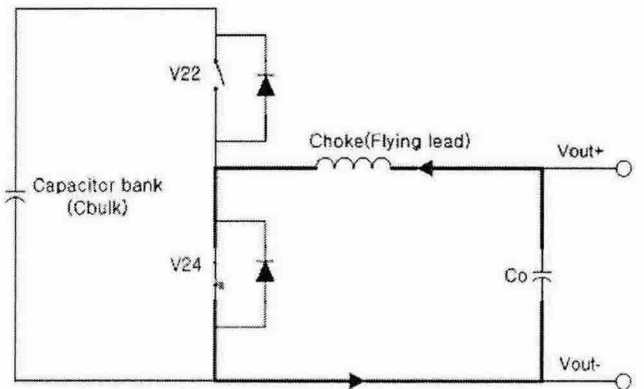


그림 5(b) 스위치 V22가 turn-off V24가 turn-on된 상태
Fig 5(b). Switch V22(off), V24(on)

이런 컨버터의 동작은 필요한 요구 조건에 따라서 Active Filter 회로의 컨버터가 두 가지 방향으로 에너지를 전달하게 된다. 만약, 출력 전압의 증가에 의해서 출력에 일그러짐(distortion)이 생길 경우

그러한 과도 에너지를 그림 5의 (a),(b)와 같은 동작에 의해서 Active Filter의 커패시터 bank(Cbulk) 쪽으로 에너지를 흐르게 함으로써 과도 에너지에 의한 일그러짐을 보상할 수 있다.

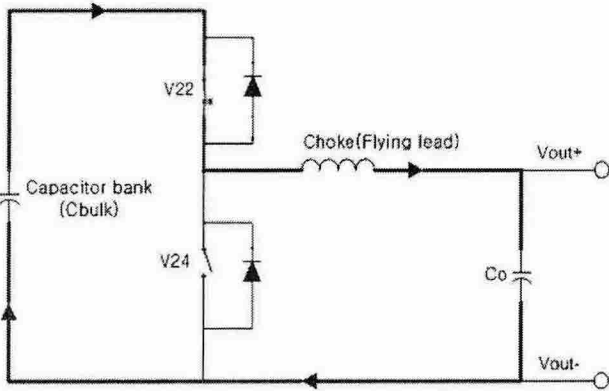


그림 6(a) 스위치 V22가 turn-on V24가 turn-off된 상태
Fig 5(a). Switch V22(on), V24(off)

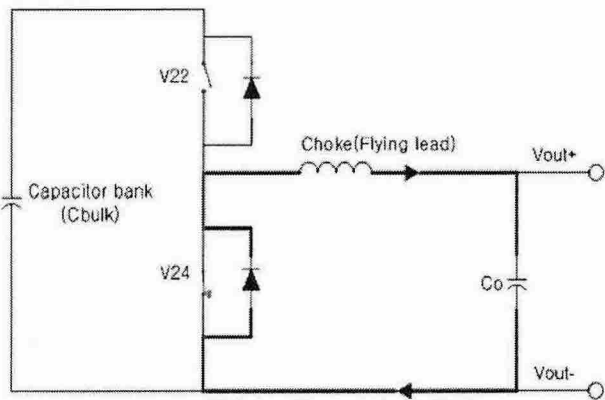


그림 6(b) 스위치 V22가 turn-off V24가 turn-on된 상태
Fig 5(b). Switch V22(off), V24(on)

반대로 전압의 부족에 의한 일그러짐이 생길 경우는 그림 6의 (a),(b)와 같은 동작에 의해서 Active Filter 회로의 커패시터 bank(Cbulk)에서 출력측으로 에너지를 전달하여 부족 전압에 의한 일그러짐을 보상할 수 있게 된다.

3. 실험결과

그림 7의 실험결과를 통해서 입력 전류와 입력 상 전압이 거의 동상이 되어 역률이 단위 역률(=1)에 가깝게 제어됨을 알 수 있었다. 그리고 그림 8을 통해서 출력 전압이 능동형 필터 동작에 의해 일그러짐이 없는 깨끗한 DC 출력이 발생됨을 알 수 있었다.

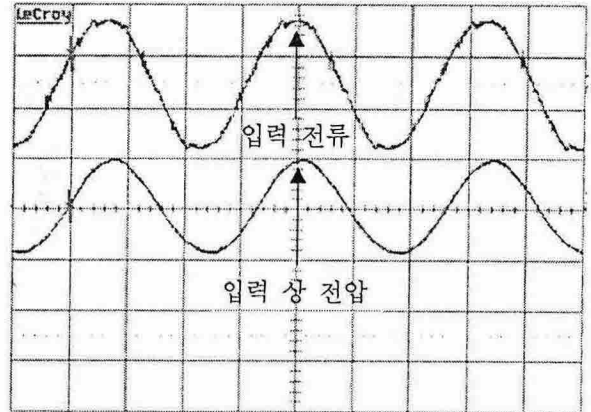


그림 7 입력 전류와 입력 상 전압
Fig 7. Input current and Input phase voltage
(10A/div, 350/div, 5ms/div)

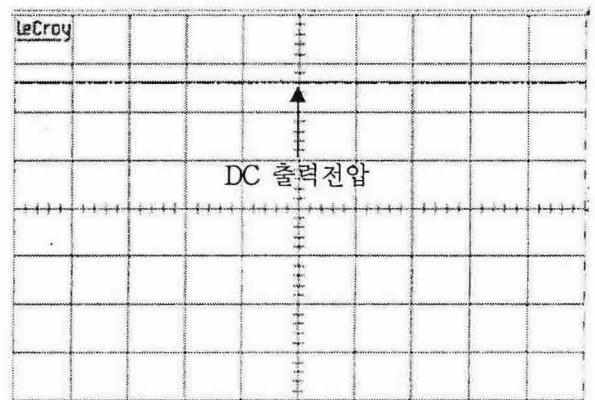


그림 8 출력전압 파형
Fig 8. Output voltage waveform (20V/div, 5µs/div)

4. 결론

본 논문에서 제안된 single-stage 직류 전원장치를 50kHz 주파수에서 3상 380VA 입력을 인가하여 실험한 결과 40%부하 이상에서 91%의 높은 효율을 얻었으며 100%부하시 0.99의 단위 역률에 가까운 역률을 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- [1] D.Borojevic, V.Vlatkovic and F.C.Lee, "A Zero-Voltage Switched, Three-Phase PWM Switching Rectifier with Power Factor Correction," Proceedings of the High-Frequency Power Conversion Conf., 1991, pp. 252-264.
- [2] Luigi Malesani and Paolo Tenti, "Three-Phase AC/DC PWM Converter with Sinusoidal AC Currents and Minimum Filter Requirements," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-23, No. 1, Jan./Feb., 1987, pp. 71-77.