

연료전지를 이용한 보조전원 시스템 기반의 고역률 3상 무정전전원장치

(High Power Factor Three-Phase Uninterruptible Power Supply using the Fuel Cell based Auxiliary Power System)

이정호* · 김경민 · 박진호 · 원충연

(Jung-Hyo Lee · Kyung-Min Kim · Jin-Ho Park · Chung-Yuen Won)

(성균관대학교)

요 약

기존의 무정전전원장치는 배터리를 보조전원으로 사용하고, 3상 AC/DC 전력 변환 시스템으로 사이리스터의 위상 제어방법을 사용하였다. 하지만 배터리를 보조전원으로 사용함으로써 큰 부피와 수명에 제한을 받게 될 뿐만 아니라, 전원전류의 큰 고조파와 점호각의 증가와 함께 역률이 낮아지는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 무정전전원장치의 역률 개선과 전원전류의 고조파 저감을 위해 기존의 AC/DC 정류기 대신에 SVPWM기법을 적용한 3상 AC/DC Boost 컨버터를 제안한다. 그리고 보조전원으로 쓰이는 기존의 배터리 대신에 친환경 대체에너지원인 연료전지를 무정전전원장치에 적용하여 급격한 부하 변동 시 에너지를 보상하고, 기준전압에 맞는 안정된 출력을 갖도록 하였다.

1. 서 론

최근에 컴퓨터나 전자장비 그리고 산업 전반에 걸쳐 다양한 설비들은 전원환경에 민감한 부하들이 증가하는 추세이고, 그에 따라 품질이 우수하고 안정된 전원에 대한 수요가 급증하고 있다. 이들에 대한 대안으로서 무정전전원장치(UPS: Uninterruptible Power Supply)가 최적의 수단으로 제시되고 있고 이들 기기를 사용함으로써 상용 전원의 환경에 상관없이 양질의 전력을 공급받을 수 있다.[1],[2]

그러나 기존의 무정전전원장치는 계통 전원을 저장하기 위하여 대용량의 배터리가 필요하며, 이를 위한 넓은 면적의 공간이 요구된다. 그리고 부하의 급격한 변동 시 DC-Link 전압의 리플은 인버터를 이용한 계통 전원 변환 시 변조비의 제한을 가져오며 그 크기가 클 경우 DC-Link 커패시터의 전압 충격으로 소자 파괴의 위험성이 있다. 따라서 무정전전원장치의 역률을 개선시키고 선간전류의 고조파를 저감하기 위하여 SVPWM(Space vector Pulse Width Modulation) 방식을 적용한 3상 AC/DC Boost PWM 컨버터를 적용하였다. SVPWM기법을 이용하여 동기회전 좌표계의 d 축 무효성분전류를 0이 되도록 제어함으로써 역률을 거의 1로 하고, q 축 유효성분전류를 제어하여 전압형 컨버터의 출력측 직류 전압을 원하는 값으로 유지시킬 수 있다.

또한 무정전전원장치의 에너지 저장 및 공급 장치인 배터리 대신에 친환경 대체에너지원인 연료전지를 적용하여 계통 전원의 정전이 발생하더라도 연료 전지의 연료가

공급되는 한 전력을 계속 공급할 수 있다. 연료전지의 저전압 대전류의 특성을 고려하여 낮은 출력전압을 승압하고, 대전류를 분해하여 시스템을 안정화 하는 영전압 스위칭 위상천이 풀브리지 DC-DC 컨버터를 사용하였다.

본 논문에서는 무정전전원장치의 고역률 구현을 위해 SVPWM을 이용한 3상 AC/DC Boost 컨버터와 비상 전원 시스템 구축을 위한 연료 전지용 영전압 스위칭 AC/DC 컨버터를 구성하였다. 이러한 구성을 통해 계통 전원의 리플, 글리치, 정전에 의한 부하에 악영향을 차단하며 순간적인 부하변동에도 DC-Link 전압을 안정적으로 유지할 수 있도록 하였다. 제안된 방법은 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

2. 연료전지를 이용한 보조전원 시스템 기반의 고역률 3상 무정전전원장치

2.1. 3상 AC/DC Boost 컨버터의 SVPWM 제어

그림 1은 본 논문에서 구성된 3상 AC/DC Boost 컨버터의 블록도 이다. 제어기의 주요부분은 전압 제어기, 전류 제어기, 위상 검출기(Phase detector), SVPWM으로 구성된다. 3상 AC/DC Boost 컨버터의 제어각을 연산하기 위해 계통 입력전압을 변압기를 사용하여 제어 보드로 입력받게 된다. 입력받은 선간전압을 상전압으로 계산한 후, 위상검출기에서 동기좌표계 PLL기법을 사용하여 위상을 검출하게 된다.

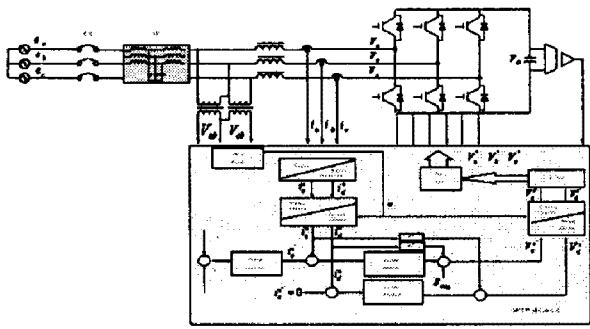


그림 1. SVPWM을 이용한 3상 AC/DC Boost 컨버터 구성도
 Fig. 1. The 3-phase AC to DC Boost Converter Using SVPWM

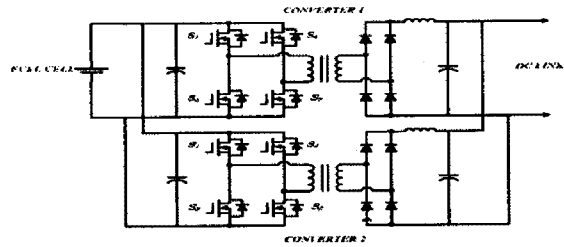
출력측의 DC-Link 전압은 저항분배를 이용하여 전압을 검출하며, 입력전류는 전류센서(CT)를 사용하여 검출하였다. 입력된 상전류는 $d-q$ 변환을 통해 2상 정지 좌표계로 변환되고, 위상검출기의 출력으로 나온 위상 정보를 가지고 2상 동기좌표계로 변환된다.

우선 직류전압 기준치와 검출된 직류전압과의 편차가 PI제어기에 입력된다. PI제어기의 출력은 q 축 전류의 기준 지령치가 되고, 실제 q 축 전류와 비교된 편차는 PI제어기에 의해 q 축 전압지령 V_q^* 이 된다. 한편 d 축 전류는 유효한 전력을 발생시키지 않기 때문에 d 축 전류 지령 i_d^* 은 0으로 설정한다. d 축 전류 지령과 실제 d 축 전류의 편차는 PI제어기에 입력되어 d 축 전압지령 V_d^* 를 발생시킨다.

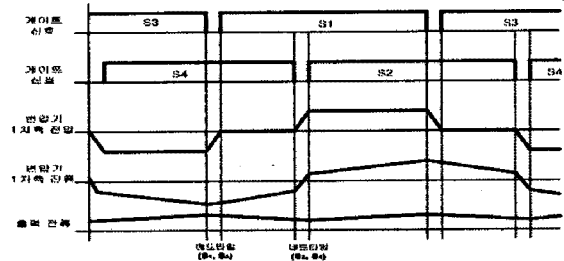
2.2. 연료전지용 영전압 스위칭 위상천이 풀브리지 컨버터의 병렬제어

연료전지용 발전시스템과 같은 저전압·대전류 시스템에서, 현대의 컨버터로 모든 부하에 전원이 공급되면 동손으로 인한 전력손실이 커지기 때문에 두 개의 풀브리지 컨버터를 병렬로 연결한 위상천이 풀브리지 컨버터를 사용하였다.

그림 2는 본 논문에서 사용한 위상 천이 풀브리지 컨버터의 토폴로지와 동작 파형을 나타내었다. 위상천이 풀브리지 컨버터는 환류 구간에서 생기는 링킹 성분을 최소화시키기 위해 왼쪽 압인 S_1, S_3 의 신호가 고정된 채, 오른쪽 압의 S_2, S_4 의 신호를 위상이동 하는 제어 방식에 의해 컨버터의 시비율을 결정한다. 1차측의 스위치들 중의 하나는 항상 온 상태를 유지하여 누설 자속의 전류가 순환하기 위한 통로를 만들어준다. 왼쪽 압은 출력필터에 저장된 에너지에 기인하여 영전압 스위칭이 이루어지며, 오른쪽 압은 변압기의 누설인덕턴스에 저장된 에너지만으로 영전압 스위칭을 한다.



(a) 위상천이 풀-브리지 컨버터



(b) 동작 파형

그림 2. 영전압 위상천이 풀-브리지 컨버터와 파형
 Fig. 2. ZVS Phase-shift full bridge converter and waveform

3. 시뮬레이션

시뮬레이션을 통하여 제안된 시스템 구성의 안정성과 성능 향상을 확인하였다.

제안된 시스템의 전체 시뮬레이션 구성회로는 그림 3과 같고, 3상 AC/DC Boost 컨버터의 파라미터 상수는 표 1과 같다.

그림 3의 시뮬레이션 회로는 크게 SVPWM을 적용한 AC/DC Boost 컨버터부, 모터부하를 연결한 인버터부 그리고 연료전지용 영전압 위상천이 풀브리지 컨버터부로 구성 되어 있다.

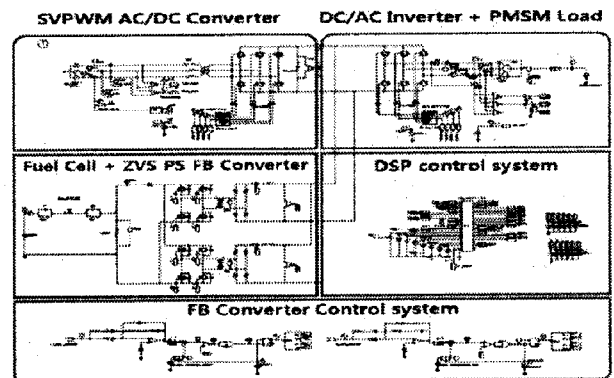


그림 3. 제안된 시스템의 시뮬레이션 회로도
 Fig. 3. The simulation circuit of proposed system

연료전지의 특성에 적합한 연료전지용 전력변환기를 구성하기 위하여 실제 연구에 사용 되어지는 Ballard사의 1.2[kW] 고분자 전해질 연료전지인 Nexa Power Module의 등가회로를 이용하여 표 2의 값으로 모델링 하였다.

또한 영전압 스위칭 위상천이 폴브리지 컨버터는 출력전압이 저 전압인 연료전지를 상용전원으로 변환하기 위해서 직류 380[V]까지 충분히 확보할 수 있게 설계되었고, 그 파라미터는 표 3와 같다.

표 1. 3상 PWM 컨버터의 파라미터
Table 1. Simulation Parameter of the 3-phase PWM Converter

설계사양	상수값
출력전압	380 [V]
입력전압	선간 220 [V]
입력측 인덕턴스	1.5 [mH]
출력측 평활용 커패시터	2200 [μF]
컨버터의 스위칭 주파수	10 [kHz]

표 2. Ballard Nexa 1.2kW 연료전지 스택 등가 모델 파라미터
Table 2. Simulation Parameter of the 3-phase PWM Converter

	R1 [Ω]	R2 [Ω]	R3 [Ω]	C1 [mF]	C2 [mF]
Ballad Nexa 연료전지 스택	0.15	0.07	0.15	70	7.5

표 3. 영전압 위상천이 폴브리지 DC/DC 컨버터 파라미터
Table 3. Simulaton parameter of ZVS Phase-shift full bridge DC/DC converter

설계사양	상수값
입력전압 [V_m]	22~50 [V_{dc}]
출력전압 [V_{out}]	380 [V_{dc}]
용량	500 [W]
변압기 턴수비	2 : 48
컨버터1의 인덕터	11 [mH]
컨버터2의 인덕터	11 [mH]
출력 커패시터	9400 [μF]
스위칭 주파수	30 [kHz]

그림 4는 DC-Link에 보조전원 시스템이 구성되어 있지 않은 무정전전원장치의 DC-Link 전압과 계통전류, 그리고 계통전압을 분석한 파형이다. 초기에 무정전전원장치가 동작하며 AC/DC Boost 컨버터의 출력측인 DC-Link는 과도상태가 약 1[s]의 긴 전압 변동을 갖는다. 또한 1.4[s]에서 부하의 변동을 주었을 때 기준전압을 신속하게 추종하지 못하며 계통전류에 영향이 미치는 것을 확인할 수 있다.

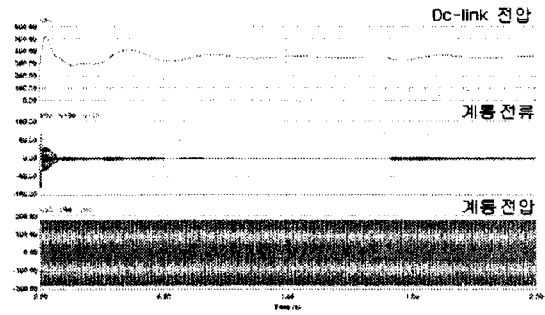


그림 4. 보조전원 시스템이 없는 무정전전원장치 파형
Fig. 4. The UPS waveform free from Auxiliary power system

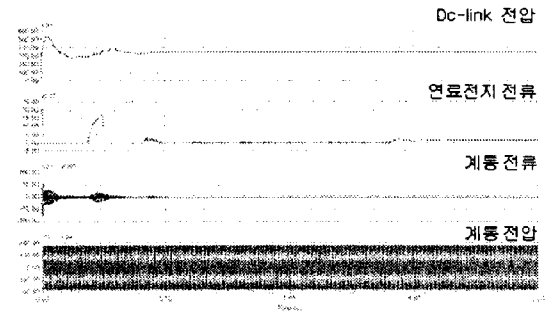


그림 5. 연료전지 보조전원 시스템이 적용된 무정전전원장치 파형
Fig. 5. The UPS waveform using Fuel Cell Auxiliary power system

그림 5는 DC-Link에 연료전지를 적용하여 보조전원 시스템이 구성된 무정전전원장치의 DC-Link 전압과 계통전류 그리고 계통전압을 분석한 파형이다. 초기 과도 상태는 약 0.5[s]이며 그 이후 안정적으로 기준전압을 추종하는 것을 확인할 수 있다. 또한 기준 전압 이하로 낮아질 때에는 연료전지가 함께 동작하여 에너지를 보상하여 준다. 과도상태에서 계통전류와 연료전지가 서로 분담하여 DC-Link 전원에 에너지를 공급하며, 부하의 변동 시에도 연료전지의 에너지 보상을 통하여 DC-Link의 전압은 1.4[s]의 부하변동에도 이상 없이 안정적으로 공급되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 무정전전원장치의 역할 개선 및 고조파를 저감하기 위한 방법을 제안하고, 무정전전원장치의 배터리 보조전원 시스템의 단점들을 극복하기 위하여 연료전지를 이용한 무정전전원장치를 제안하였다.

제안된 방법은 주전원이 이상이 생기거나 부하의 급변동이 있을 경우에도 안정된 전력을 부하에 공급할 수 있게 한다. 그리고 연료전지가 무정전전원장치의 전원으로써 배터리를 대체할 수 있음을 시

물레이션을 통하여 확인하였다.

본 논문의 연구 결과는 무정전전원장치의 고효율, 고역률화에 기여함은 물론, 에너지파동과 환경문제 등 화석연료의 고갈로 인해 발생할 수 있는 에너지 위기에 대한 현실적인 대응방안의 일환으로 차세대 에너지로 주목받고 있는 연료전지의 산업분야의 적용을 확대하는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] D. D. Shipp, "Harmonic analysis and suppression for electrical systems supplying power converter and other nonlinear loads", IEEE, IA-15, No.5, pp.1-6, 1979.
- [2] B.T. Ooi, J.C. Salmon J.W. Dixon and A.B. Kulkarni, "A Three-Phase Controlled-Current PWM Converter with Leading Power Factor", IEEE trans. on Ind. Appl., Vol, No.1, pp.78-84, 1987.
- [3] H.W.Van der Broeck, H.C.Skudelny, "Analysis and Realization of a Pulse with Modulator on Voltage Space Vectors", IEEE trans. on Application, Vol IA-24 No.1, pp.142-150, 1988.
- [4] R.P.joshi, B.K. Bose, "Base/Gate Drive Suppression of Inactive Power Devices of a Voltage-Fed Inverter and Precision Synthesis of AC Voltage and DC Link Current Wave", IEEE IECON '90, pp.1024-1040, 1990.
- [5] S.Fukuda, Y.Iwaji, H.Hasegawa, "PWM Technique for Inverter with Sinusoidal Output Current", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. PE-5, No.1, pp.54-61, 1990.
- [6] J.W. choi, S.K. Sul, "Fast Current Controller in Three-phase AC/DC Boost Converter Using d-q Axis Crosscoupling", IEEE trans. on Application, Vol. 13, No.1, pp.179-185, 1998.
- [7] M.Madigan, R.Erickson and E.Jsmail, "Integrated high quality rectifier regulators", IEEE Power Electronics Specialists Conference Record, pp.1-9, 1992.
- [8] "병렬운전 모델을 이용한 DC-DC 컨버터의 병렬운전 특성 해석"