

1.5kW 연료전지 인버터 개발

권형남, 김래영, 최시영, 정홍주, 최대식, 송종환
 효성중공업 연구소

Development of 1.5kW Fuel Cell Inverter

H.N. Kwon, R.Y. Kim, S.Y. Choi, H.J. Hong, T.S. Choi, and J.W. Song
 R&D Institute, Industrial Performance Group, Hyosung Crop.

ABSTRACT

오늘날 청정에너지 중에서 많은 주목받고 있는 것으로 연료전지를 들 수 있다. 그러나 연료전지의 경우 저전압 대전류의 특성으로 인하여 상용전원에 전원을 공급하기 위해서는 승압 및 상용주파수로 변환해야 하는 중간 과정을 거쳐야 한다. 이러한 전력변환장치로 1.5kW를 제작하고 실험으로서 전력변환장치의 타당성을 검증하고자 한다.

1. 서론

최근 급속한 산업화에 따른 전력 사용이 증가하고 있다. 이로 인하여 화석연료사용 증가로 인하여 지구 온난화 문제 등 지구환경문제에 자유롭지 못하다. 이와같은 환경문제를 해결하기 위하여 환경친화적인 새로운 발전 방식에 연구가 활발히 진행 중이다. 이러한 발전 방식에는 태양광발전, 풍력발전, 연료전지발전에 많은 관심을 가지고 있다. 그러나 태양광발전의 경우 태양광이 일정하게 있는 것이 아니라 날씨에 많은 영향을 받게 되며 풍력발전의 경우도 바람이 일정하게 불어주는 것이 아니기 때문에 기상에 많은 영향을 받게 된다. 이러한 기상조건에 따른 발전량이 달라지는 단점을 가지고 있다. 그러나 연료전지발전은 일정한 발전을 하게 되는 것과 동시에 연료전지발전으로 발생이 되는 열을 이용을 할 수가 있어 고효율 운전을 할 수가 있는 장점을 가지게 된다. 연료전지의 효율적인 사용을 위하여 계통과 연계가 되는 방식을 취하며, 또한 연료전지 단독으로도 운전이 가능하기 위한 전력 변환 장치를 사용하게 된다. 본 논문에서는 연료전지의 저전압 대전류의 특성을 가지는 계통연계형 인버터를 개발하게 되었으며, 개발된 인버터의 제어와 고립운전방지를 실험을 통해 검증하고자 한다.

2. 본론

2.1 전체시스템

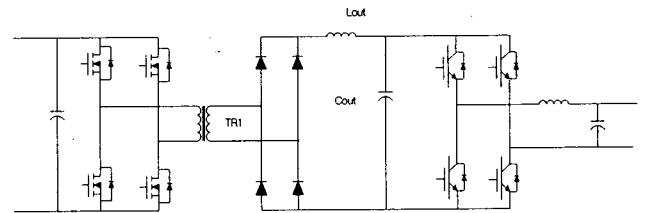


그림1 1.5kW급 연료전지용 인버터 시스템

그림 1은 1.5kW 연료전지 인버터의 전체 시스템을 보여주고 있다. 전체시스템은 입력 전압을 400V 까지 승압을 시켜주는 DC/DC 컨버터와 승압된 직류전압을 교류로 바꿔주는 인버터 부분으로 나뉘져 있다.

2.1 DC/DC 컨버터

2.1.1 DC/DC 컨버터 구성

DC/DC 컨버터는 대용량 직류 전원 장치에 많이 쓰이는 full-bridge DC/DC 컨버터를 사용하였으며, 2차측은 전파 정류회로를 사용하였다. DC/DC 컨버터의 효율을 상승하기 위하여 스위칭 소자의 선정은 저전압 대전류의 특성에 의하여 스위치의 도통손실을 최소화 하는 방향으로 하기 위하여 스위치의 특성 중 도통 저항이 작은 소자를 선정하였다. DC/DC 컨버터의 고조파 변압기는 220V의 계통 전압에 연계시키기 위해서는 인버터의 입력전압이 최소한 350V 전압까지 상승하기 위한 변압비와 고조파 변압기의 코어의 손실, 1차와 2차 권선에 의한 각각의 손실을 고려하여서 변압비를 선정하였다. 변압비에 따른 1차와 2차의 권선수는 식(1), (2)에 의하여 선정이 된다.

$$E = N \frac{d\Phi}{dt} = N \cdot A_f \cdot \frac{dB}{dt} = N \cdot A_f \frac{\Delta B}{\Delta T} \quad (1)$$

여기서 A_f : 코어의 단면적, ΔB : 자속의 변화량
 N : 권선수

위의 식을 정리하면,

$$N = \frac{E \times \Delta T}{\Delta B \cdot A_f} \quad (2)$$

가 된다.

변압기에 의하여 승압된 전압은 전파 정류기에 의하여 정류가 되나 평활한 전압과 전류가 되지 않는다. 전압의 평활화를 위하여 인덕터와 커패시터를 삽입을 하게 되는데 다음의 식 (3)에 의하여 선정이 된다.

$$L = \frac{V \cdot \Delta T}{\Delta I} = \frac{V_{out} \times (T/2 - D)}{\Delta I} \quad (3)$$

DC/DC 컨버터의 전체적인 사양은 표1에서와 같다.

표 1 컨버터 사양

입력전압	48V(39-72V)
출력전압	400V
스위칭 소자	IXYS 150N15
변압비	12.5 : 1
인버터	8mH
커패시터	6800uF

2.1.2 DC-DC 컨버터 제어

그림 2는 출력 전압 제어를 위한 DC/DC 컨버터 제어부의 기능적 블록도이다. 전압 지령치 V_{DC}^* 와 피드백된 실제의 출력 전압 V_{DC} 과의 차를 구하고 이를 비례적분 제어기에 입력시켜 적절한 스위치 ON 시간 D 를 구하게 된다. 그러나 DC/DC 컨버터를 초기 기동하는 순간에는 과도한 충전전류의

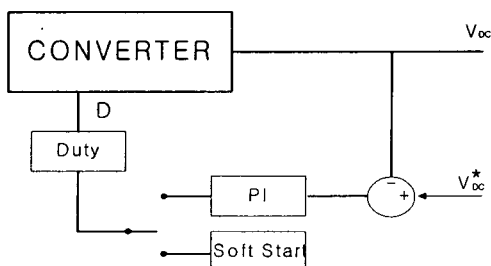


그림 2. DC/DC 컨버터의 제어 기능 블록도

위험이 있으므로 일정 시간동안 제어 블록에 관계 없이 Soft Starter 블록에 의해 최소의 스위치 ON 시간 D 가 출력되도록 하여 초기 충전에 의한 과도한 전류를 억제 한 후 제어 전압까지 soft start 방식으로 충전을 한 후 PI 제어로 동작을 한다.

2.2 인버터

2.2.1 인버터의 구성

DC/AC의 스위칭의 주파수는 5kHz이며 인버터의 출력에는 스위칭에 의한 고조파 리플 전압 및 전류를 감쇄시켜 위한 LC 필터를 채용하여 계통과 연계시 요구되는 고조파 규격을 만족 시키도록 하였으며 특히 LC 필터에 사용된 인덕터는 계통 연계 운전시의 전류 제어를 위한 임피던스를 제공해야 하기 때문에 상기 LC 필터의 설계가 계통 연계형 인버터의 성능에 많은 영향을 미치게 되며, LC필터의 정량적 설계는 식 (4)와 같다.

$$f_c = \frac{1}{\sqrt{2\pi L_f C_f}} \quad (4)$$

여기서 f_c : 필터 차단주파수 L_f : 필터 인덕터
 C_f : 필터 커패시턴스

DC-AC 인버터의 전체적인 사양은 표2와 같다.

표 2 인버터 사양

입력전압	DC 400V
출력전압	AC 220V
사용소자	SK 30GD 123
필터용 인버터	6mH
필터용 커패시터	10uF

2.2.2 인버터 제어기법

DC/AC 컨버터는 동작이 두가지로 구분이 된다 첫째는 연료전지 단독 운전이며 두 번째는 계통연계 운전이다. 단독 운전의 경우 출력전압을 유지시키기 위한 전압제어를 사용하여 일정전압을 유지하며, 계통연계운전인 경우 내부에 구비된 PLL(Phase Lock Loop)에 의해 연계계통의 위상정보 θ 를 구하여 연계계통의 전압 크기 V_{AC} 를 DQ변환으로 변환시킨다. 상기 변환된 D축의 값이 피드백이 되어 DQ변환이 된 인버터의 출력의 전압 V_{INV}

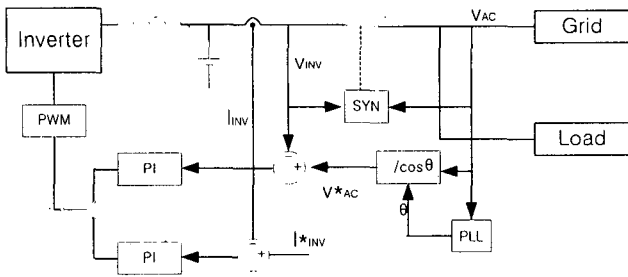


그림 3. DC/AC 컨버터의 제어 기능 블록도

와 차이를 PI 제어기에 입력하여 인버터의 출력전압을 얻어 PWM 신호로 변환하여 각 게이트 신호로 준다. 만약, 인버터의 출력전압 V_{INV} 가 계통전압의 위상 및 크기와 일치하게 되면 계통 전압 V_{AC} 가 0이 되는 순간 연계 스위치를 투입하고 제어기는 전류제어기로 순간 대체된다. 전류제어기는 지령 전류와 인버터 전류의 차이로부터 PI 제어기를 통해 인버터의 출력전압을 구하고 이를 PWM 신호로 변환하는 것이다.

2.2.3 단독운전 방지 기법

계통 연계형 인버터는 계통에서 사고에 따른 차단기의 동작 또는 보수 작업에 의해 전력공급이 중단되었을 경우 인버터가 계속해서 전력을 공급하면 사고의 위험과 계통의 복구 시 어려움이 있으므로 단독운전을 신속히 검출을 하여 계통과 분리시켜야 한다. 이러한 단독운전 방지 기법에는 크게 Passive Method 와 Active Method로 구분될 수 있다. Passive Method는 연계 계통이 차단되는 순간의 전압이나 주파수 변동을 감지하여 부족전압, 과전압 또는 부족주파수, 과주파수 보호와 같은 방법을 사용한다. 그러나 이러한 Passive Method는 계통 연계형 인버터가 출력하는 전력과 부하 용량이 일치하여 연계 계통으로 수수되는 전력이 존재하지 않는 경우 이를 감지할 수 없으며 경부하에 공진 등으로 인해 전압이 변화하게 되는 경우와 같이 일부 동작 환경에서는 만족할만한 성능을 보여 주지 못한다. 따라서 단독 운전시 계통의 여러 파라미터를 이용한 단독운전을 검출하는 방법으로 인버터 출력 주파수 제어회로를 불안정하게 만들어 단독운전 상태가 되면 주파수가 계속해서 증가 또는 감소할 수 있도록 하는 주파수 천이 기법과 같은 Active Method에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 본 계통 연계 시스템은 위상 천이 기법을 적용하였다. 위상 천이 기법은 그림 4와 같이 DC/AC 컨버터의 제어기 내에 위치하는 PLL이 전원 주파수 한주기 내에 비선형적으로 증가하도록 하는데 단독 운전시 이러한 선형성이 인버터 출력

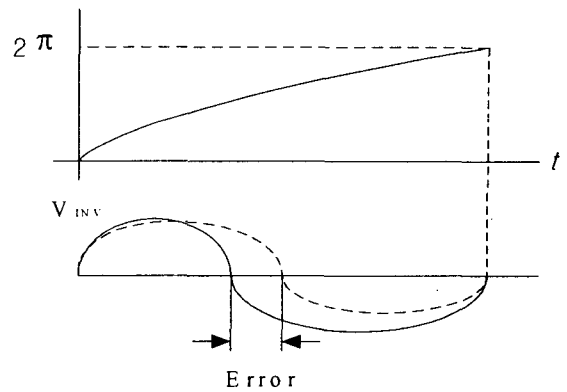


그림 4. 위상 천이 기법의 개념도

전압에 반영되어 출력전압의 영전압에 왜곡이 발생하고 이러한 영전압 왜곡을 감지하여 단독운전을 방지하는 기법이며, 무효전력 주입 기법은 연계 계통으로부터 일정량의 무효전력을 수수하여 단독 운전 시 이러한 수수에 의해 발생하는 주파수 천이를 감지하여 단독운전을 방지하는 것이다.

3. 실험

그림 5는 계통 전압과 인버터의 출력 전압을 보여 주고 있으며, 계통 전류의 파형은 부하의 용량이 인버터의 용량보다 커서 계통에서 전력이 부하로 유입이 되는 파형을 보여주고 있다. 그림 6은 부하의 용량과 인버터의 용량이 같은 경우 계통에서의 전류의 유입이 되지 않은 파형을 보여 주고 있다. 즉 부하의 전류는 인버터에서 공급을 하고 있음을 보여 주고 있다. 그림 7은 부하가 없는 경우 인버터에서 발생한 전력이 계통으로 공급을 하고 있는 것을 보여 주고 있다.

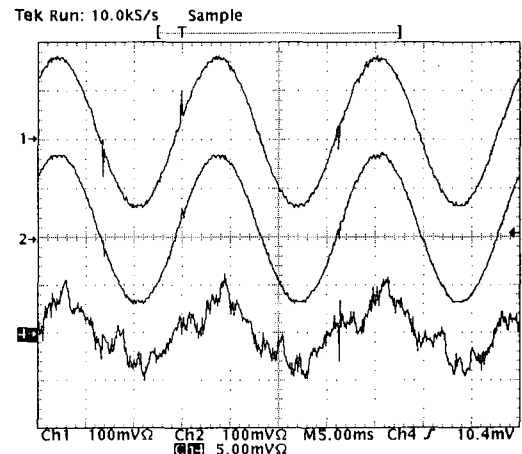


그림 5 (1) 계통전압 200v/DIV
(2) 인버터전압 200v/DIV
(3) 계통전류 20A/DIV

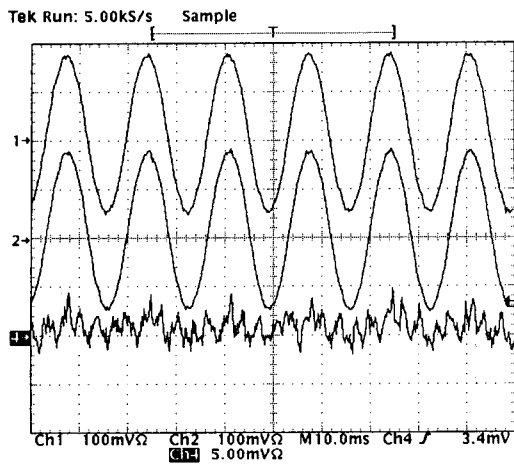


그림 6 (1) 계통전압 200v/DIV
 (2) 인버터전압 200v/DIV
 (3) 계통전류 20A/DIV

[2] F. Santi, D. Franzoni, A. Monti, D. Patterson, F. Pconci and N.Barry, "A Fuel Cell Based Domestic Uninterruptible Power Supply", IEEE APEC 2002, Dallas, Texas, pp. 605-613, March 10-14, 2002

[3] A. M. Tuckey, J. N. Krese, " A Low-Cost Inverter for Domestic Fuel Cell Applications", PESC 02. 2002 IEEE 33rd Annual, Volume: 1, 2002 pp. 339-346, vol. 1.

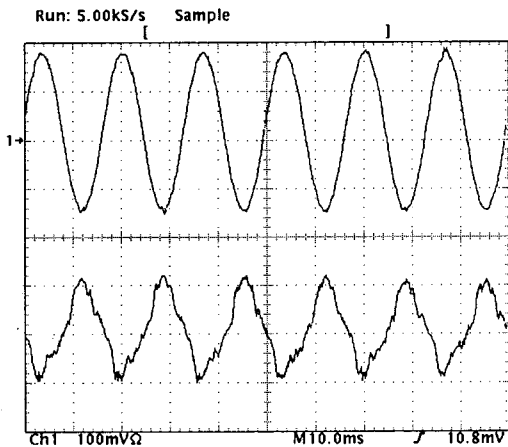


그림 7 (1) 계통전압 200v/DIV
 (2) 계통전류 20A/DIV

4. 결 론

연료전지의 저전압 대전류의 특성을 계통과 연계 하기위한 방법으로 Full bridge 방식의 DC/DC 컨버터를 사용하여 낮은 전압을 승압하였으며, DC/AC 인버터의 경우 단독운전과 계통연계운전 각각의 제어 방법과 계통 연계 운전 시 고립 운전 방식을 위한 기법에 대하여 실험으로 검증할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] A. Monti, E. Santi, F. Ponci, D. Franzoni, "Fuel Cell Based Domestic Power Supply - A Student Project", PESC 02. 2002 IEEE 33rd Annual, Volume: 1, 2002 pp: 315-320 vol. 1