

연료전지 시스템을 이용한 Line-Interactive 방식의 무정전 전원 공급 장치의 설계

(Design of the Fuel Cell Powered Line-Interactive UPS System)

최우진* · 전희종

(Woo-Jin Choi · Hee-Jong Jeon)

요 약

본 논문에서는 연료전지와 컨버터 모듈을 채용한 1-[KVA] 용량의 Line-interactive 방식의 무정전 전원 공급장치(UPS)가 제안된다. 제안된 시스템은 두 개의 500[W]급 양자 교환막형 연료전지에 DC/DC 컨버터가 결합된 모듈을 채용하며, 이 모듈들이 인버터의 DC-Link를 공유한다. DC-Link에는 슈퍼커패시터 모듈이 채용되어 출력의 변동이나 연료 개질기의 느린 동특성으로 인한 연료전지와 부하 사이의 순시적인 전력의 불균형을 개선시킨다. 또한 슈퍼커패시터에 저장된 에너지는 단시간 동안의 과부하를 처리할 때에도 사용될 수 있다. 제안된 시스템은 배터리를 사용하지 않으므로 환경친화적이며 청정 에너지원에 대한 요구를 만족시킨다. 1-[KVA] 시스템의 설계 예가 제시되며, 1시간의 정전동안 부하에 전력을 공급하기 위해 필요한 수소의 양과 보상용 슈퍼커패시터의 용량을 계산하는 방법이 소개된다.

Abstract

In this paper the design of a 1-[KVA] fuel cell powered line-interactive UPS system employing modular (fuel cell & DC/DC converter) blocks is proposed. The proposed system employs the two fuel cell modules along with suitable DC/DC converters and these modules share the DC-Link of the DC/AC inverter. A supercapacitor module is also employed to compensate for the instantaneous power fluctuations and to overcome the slow dynamics of the fuel processor. The energy stored in the supercapacitor can also be utilized to handle the overload conditions for a short time period. Due to the absence of batteries, the system satisfies the demand for an environmentally friendly and clean source of the energy. A complete design example illustrating the amount of hydrogen storage required for 1hr power outage, and sizing of supercapacitor for transient load demand is presented for a 1-[KVA] UPS.

Key Words : Fuel cell, Line-interactive UPS, Supercapacitor, Reformer, Fuel calculation

* 주저자 : 숭실대학교 강사
Tel : 02-814-7965, Fax : 02-817-7961
E-mail : cwj777@hanmail.net
접수일자 : 2004년 10월 4일
1차심사 : 2004년 10월 6일
심사완료 : 2004년 11월 2일

1. 서 론

기존의 무정전 전원 공급장치(UPS : Uninter-

ruptible Power Supply)는 내연기관을 이용하는 발전기나 배터리를 전력원으로 사용하여 정전과 같은 원인으로 인해 주전원(Utility)이 작동하지 못할 경우에도 중요한 부하에 전력을 공급할 수 있도록 하는 장치이다[1],[5]. 따라서 보통의 UPS는 충전이 가능한 SLA(Sealed Lead-Acid) 또는 Ni-Cd(Nickel Cadmium) 타입의 배터리를 이용하게 되는데 이들 배터리들은 카드뮴, 수은, 납과 같은 독성이 강한 중금속들을 포함하고 있기 때문에 사용 후 특별한 방법을 사용하여 폐기하지 않으면 심각한 환경문제를 일으키게 된다.

연료전지는 그 원리의 특성상 깨끗하고 효율적이며 신뢰성이 있어 청정 전력원으로서 관심을 끌고 있다. 단독발전시설, 비상발전시설 및 분산전원의 사용이 증가함에 따라 연료전지의 사용범위도 점차 확대되어 왔다. 게다가 가격도 점진적으로 낮아져서 이미 새로운 전력원으로서의 위치를 확고히 해나가고 있다[5]. 다양한 종류의 연료전지중 양자 교환막형 연료전지는 작고 가벼우며 상온에서 출력의 밀도가 높고, 시스템의 작동이 용이한 장점을 갖고 있다[4]. 또한 배터리와 다르게 연료전지는 연료가 공급되는 한 전력을 계속 공급할 수 있어 유용하며, UPS에 응용할 경우 정전시간을 분명히 알 수 없는 경우에 특별히 유리하다.

UPS에 있어서 데이터의 손실이나 제어되지 않은 시스템의 정지, 또는 각종 기기들의 오동작 등을 피하기 위해서는 주전원에 이상이 발생하였을 경우 UPS는 즉시 주전원으로부터 전부하를 넘겨받을 수 있어야 한다. 또한 민감한 부하는 짧은 시간동안(수십 [msec]의 전력 장애도 허용하지 않는다. 그러나 양자 교환막형 연료전지의 경우 일반적으로 작동개시 시간이 수십초에서 수분까지 걸리며, 특히 개질기를 이용하는 시스템은 개질기 차체의 동특성 때문에 수십 초 이상의 응답지연이 생기게 된다.

이러한 응답의 지연을 보상하기 위해 슈퍼커패시터가 채용되었다. 슈퍼커패시터는 일반 커패시터에 비해 출력밀도가 월등히 높아 주전원에 이상이 없는 동안 에너지를 저장하였다가 필요한 순간에 에너지를 신속하게 방출할 수 있으므로 적합하다. 또한 저장된 에너지는 순시적인 과부하를 처리하기 위해서

도 사용될 수 있다.

본 논문에서는 연료전지에 DC/DC 컨버터가 결합된 모듈을 이용하는 1-[KVA] 용량의 Line-interactive 방식의 무정전 전원 공급장치(UPS)의 설계 방법에 대해 논의한다. DC/DC 부스트 컨버터의 설계, 슈퍼커패시터의 용량을 결정하는 방법, 그리고 정전시간동안 필요한 연료의 양을 계산하는 방법이 소개된다.

2. 제안된 Line-interactive UPS 시스템의 구조

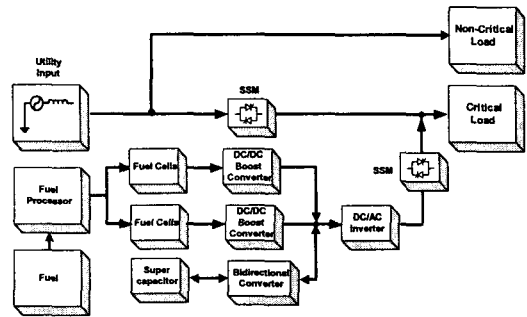


그림 1. 제안된 연료전지 시스템을 이용하는 Line-interactive 방식의 무정전 전원 공급 장치
Fig. 1. Proposed fuel cell powered line interactive uninterruptible power supply system

그림 1은 제안된 시스템의 블록선도이다. 시스템은 각각의 DC/DC 부스트 컨버터를 가진 두 개의 연료전지 스택과 양방향 컨버터와 연결된 슈퍼커패시터 모듈로 구성되어 있다. 주전원에 이상이 없는 경우 전력은 전원에서 SSM(Static Switch Module)을 통해 부하로 공급된다. 초기에 연료전지는 양방향 컨버터를 통해 슈퍼커패시터를 충전하며 동시에 주전원과 함께 10[%] 정도의 부하를 담당한다. 그러나 주전원에 이상이 생긴 경우 시스템 제어기는 주전원과 부하사이의 SSM을 off 시키며, 이때부터는 연료전지와 그의 컨버터 모듈이 단독으로 전부하를 담당하게 된다. 그런데 주전원과 연료전지가 함께 부하에 전력을 공급하는 운전모드에서 연료전지의 단독 운전 모드로 전환되는 순간 연료전지 시스템은 개질기의 느린 응답특성으로 인해 순간적으로 전부하를

감당할 수 없게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 슈퍼커패시터와 그와 결합된 양방향 컨버터 모듈을 연료전지와 부스트 컨버터의 모듈과 병렬로 연결한다. 이 모듈은 정상운전 기간 동안 슈퍼커패시터에 에너지를 저장했다가 단독운전 모드로 전환시에 생기는 연료전지 시스템과 부하 사이의 순시적인 전력 불균형을 보상하기 위해 저장된 에너지를 방출한다. 이러한 저장된 에너지는 단시간 동안의 과부하를 처리하기 위해서도 사용될 수 있다. 과도상태가 지나가 주전원의 이상이 제거되면 연료전지는 최소의 전력(10%)을 부하에 공급하며 동시에 슈퍼커패시터를 재충전한다.

시스템의 제어회로는 주전원과 연료전지의 상태를 지속적으로 감시한다. 시스템이 주전원의 이상을 감지할 경우 지체 없이 연료전지와 컨버터 모듈을 제어하여 최대 전력을 공급하도록 한다. 주전원이 정상화되면 제어기는 동기화 절차를 거쳐 다시 주전원을 부하에 연결한다. 제안된 시스템의 장점은 다음처럼 요약된다.

1. 배터리를 사용하지 않으므로 환경친화적이며 깨끗하고 조용하다.
2. 주전원의 장애가 발생하였을 경우 슈퍼커패시터의 빠른 방전특성을 이용하여 시간 지연 없이 전부하를 감당할 수 있다.
3. 단시간 동안의 과부하를 무리없이 처리할 수 있다.
4. 연료가 연료전지에 공급되는 한 연속적인 전력

의 공급이 가능하다.

그림 2는 제안된 시스템의 세부 구조를 나타낸다. DC/DC 변환부는 부스트 컨버터와 결합된 연료전지 스택과 양방향 (벅/부스트) 컨버터와 결합된 슈퍼커패시터 모듈, 그리고 저압 DC 버스 커패시터로 구성되어 있다. 추가적인 Push-pull 타입의 DC/DC 컨버터와 고주파용 절연 변압기가 고압 DC 버스를 만들기 위해 채용되었다. 초기 기동시 연료전지는 MOSFET S3을 통해 슈퍼커패시터와 DC 버스 커패시터를 동시에 충전한다. 정상운전 모드에서 연료전지에 결합된 두 개의 컨버터는 정격부하의 10%에 해당하는 전력을 공급한다. 그러나 부하가 스텝으로 변화할 경우 연료전지 시스템에서 연료흐름이 증가하는데 걸리는 시간지연으로 인해 부하가 요구하는 전력의 변화에 신속히 응답할 수 없게 된다. 이러한 경우 시스템 제어기는 양방향 컨버터가 부스트 동작을 하도록 MOSFET S4를 제어하여 DC 버스를 지지한다. 이러한 제어방식은 순간적인 과부하를 처리하는 데에도 유용하다. 부하가 순시적으로 정격이상의 출력을 요구할 경우 슈퍼커패시터에 저장된 에너지가 출력되도록 제어하여 연료전지에는 과부하가 걸리지 않게 된다. 만일 슈퍼커패시터와 같은 보조 에너지 저장수단이 없다면 부하의 변동이나 과부하시 시스템의 응답 지연 및 DC 버스 전압의 강하가 불가피하다는 것은 명백하다. DC/AC 변환부는 IGBT 인버터로 구성되어 있고 스위치 S5와 S6를 제어하여 생성되는 접지점을 이용한 고품질의 120/240[V] 정현파 전압을 출력한다. 제안된 토폴로지에서 추가적인

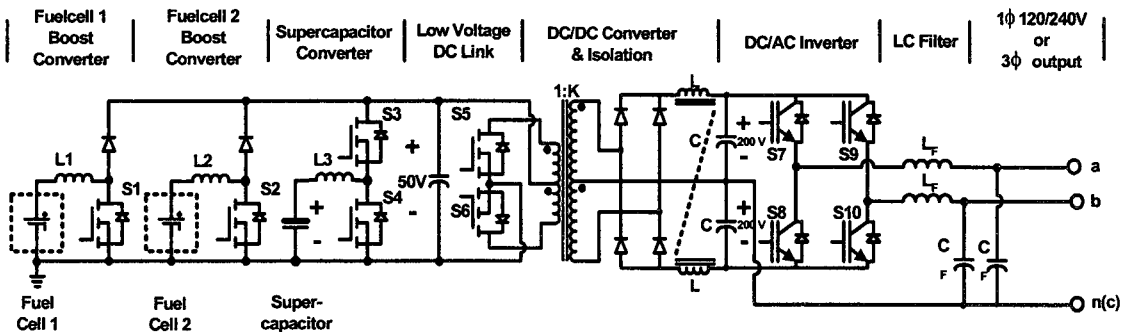


그림 2. 제안된 연료전지를 이용한 Line-interactive UPS 시스템의 회로
 Fig. 2. Circuit topology of the proposed fuel cell powered line-interactive UPS system

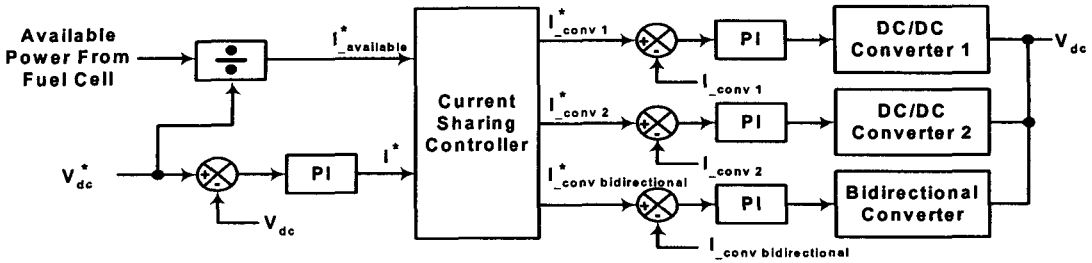


그림 3. 병렬 DC/DC 컨버터의 제어 블록선도
 Fig. 3. Block diagram of the parallel DC DC converter control scheme

Push-pull 방식의 DC/DC 컨버터는 전체 시스템의 효율을 감소시키는 단점이 있지만, 크고 무거운 저주파 변압기의 사용을 피할 수 있다.

3. 직류버스 전압제어

그림 3은 병렬 연결된 3개의 DC/DC 컨버터들의 제어방법을 나타내는 블록선도이다. 그림에서 DC/DC 부스트 컨버터 1과 2는 연료전지와 결합되어 있고 양방향 컨버터는 슈퍼커패시터와 결합되어 있다. 전체 제어 시스템은 하나의 전압제어 루프와 세개의 독립된 전류제어 루프로 구성되어 있다. 전압제어기에 의해 DC-link 전압을 유지하기 위해 필요한 전류지령이 만들어지며, 연료전지가 만드는 가용출력신호(Power available signal)는 특정한 순간에 얼마만큼의 전력을 연료전지 시스템이 공급할 수 있는지를 제어기에 알려준다.

따라서 이 신호로부터 가용 전류값을 계산할 수 있고, 이 값은 전압제어기에서 만들어진 전체전류지령과 비교된다. 전체전류지령이 가용 전류값보다 작으면, 이 값은 컨버터 1과 2에 균등하게 배분된다. 그러나 정전이나 과부하시는 전체전류지령 값이 가용 전류값보다 크므로 이 경우 제어기는 컨버터 1과 2는 가용한 최대 전력을 출력하도록 제어하고, 양방향 컨버터에는 두 값의 차에 해당하는 만큼의 전류지령을 할당하여 슈퍼커패시터에 저장된 에너지가 방출되도록 한다.

4. 모의실험결과

그림 4(a)는 모의실험 결과파형을 나타낸다. 초기

에 연료전지와 부스트 컨버터 모듈은 10[%]의 전력을 부하에 공급하고 나머지 90[%]의 전력은 주전원이 담당한다. 모의실험의 시간원점에서 정전이 발생하여 연료전지 모듈이 전부하를 담당하게 되었으나 리포머를 포함하는 연료전지 시스템은 순간적으로 전부하를 담당할 만큼 빠르게 응답할 수 없다. 첫 번째 파형은 연료전지 시스템이 공급할 수 있는 가용 전력의 양을 나타내는 신호이다. 실제적으로 리포머는 수십초 정도의 응답지연을 갖지만, 이 모의실험에서는 편의상 리포머가 6초 정도의 응답지연을 갖는 것으로 가정했다. 따라서 연료전지와 리포머 시스템은 정전의 순간으로부터 100[%]의 부하를 감당할 수 있는 전력을 생산하기까지 6초가 걸리게 된다. 두 번째와 세 번째 파형은 연료전지에 결합된 부스트 컨버터의 인덕터 전류를 나타낸다. 각각의 컨버터는 가용전력의 범위안에서 동일하게 부하를 담당하게 된다. 네 번째 파형은 슈퍼커패시터에 결합된 양방향 컨버터의 인덕터 전류의 파형이다. 순시적인 전력의 부족을 보충하기위해 슈퍼커패시터에 저장되었던 에너지가 방출되는 모습을 나타낸다. 마지막 파형은 버스전압의 파형인데 연료전지 UPS가 전부하를 넘겨받는 순간에도 버스전압이 안정하게 유지되고 있는 모습을 보인다.

그림 4(b)는 전부하로 운전되던 시스템에 단시간 동안 200[%]의 부하가 가해졌을 때의 모의실험 결과이다. 모의실험의 시간원점에서 두 연료전지 모듈은 100[%]부하를 동등하게 담당하고 있다. 모의실험 시작 후 0.5초의 순간에 부하는 100[%]에서 200[%]로 바뀐다. 이 경우 슈퍼커패시터는 과부하를 감당하기 위해 저장한 에너지를 방출한다. 두 번째와 세 번째 파형은 200[%]의 과부하 상태에서도 두 개의 연료전

지 시스템 모두가 정격출력을 초과하여 운전되지 않음을 보인다.

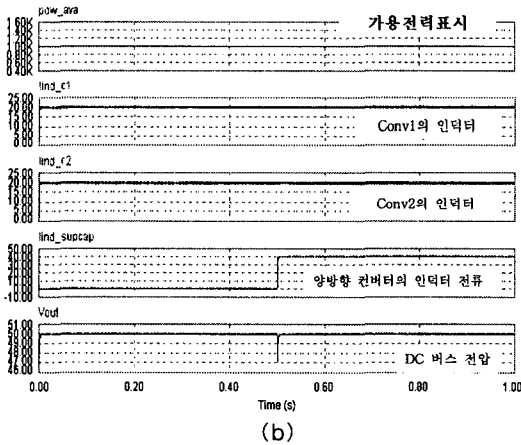
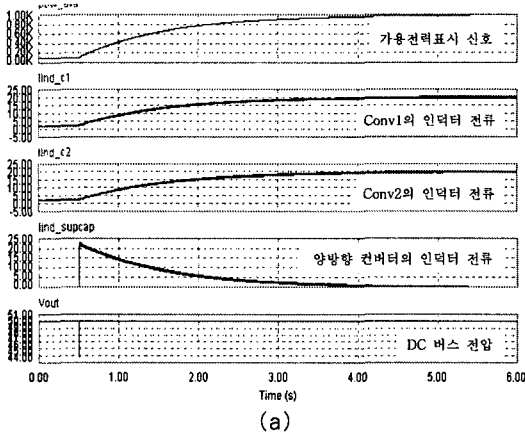


그림 4. 제안된 UPS 시스템의 모의실험 결과
(a) 정전시 (b) 과부하시

Fig. 4. Simulation results of the proposed UPS system

5. 설계 방법

이 장에서는 연료전지를 사용하는 UPS 시스템의 설계 방법에 관하여 다룬다. 본 장에서 모든 계산은 부록 1의 상용 양자 교환막형 연료전지를 기준으로 해서 수행된다.

5.1 필요한 수소 연료의 양 계산법[4],[6]

연료전지의 화학반응식은 다음과 같다.



단일 셀에서 전류와 수소연료의 사용량의 관계는 다음처럼 나타낼 수 있다.

$$Q_{H_2} = \frac{I}{Z \times F} [\text{moles/sec}]$$

Q_{H_2} : 수소의 유량

F: Faraday constant, 96485[coulombs/mole]

Z: 반응에 참여하는 전자의 수

(2)

따라서 한 개의 연료전지 셀이 1A의 전류를 만들기 위해 필요한 수소의 유량은 식 (3)처럼 계산된다.

$$Q_{U,H_2} = \frac{I}{Z \times F \times I \times K} = \frac{1 \left[\frac{\text{coulomb}}{\text{sec}} \right] \times 60 \left[\frac{\text{sec}}{\text{min}} \right] \times 22.4 \left[\frac{\text{SL}}{\text{mol}} \right]}{2 \times 96485 \left[\frac{\text{coulomb}}{\text{mole}} \right] \times 1 [\text{A}] \times 1 [\text{cell}]} = 0.007 \left[\frac{\text{SLM}}{\text{A} \cdot \text{Cell}} \right] \quad (3)$$

K: 스택의 셀수

SLM: 표준상태에서의 분당 수소 유량

연료전지는 제어를 포함하는 자체의 BOP (Balance of Plant)에도 스택에서 생산된 전력을 공급해야 하므로 실제 스택은 그의 정격출력보다 10~20[%] 더 많은 전력을 생산해야 한다. 따라서 연료전지가 1[kW]의 출력을 내기 위해 필요한 수소의 유량은 식(4)처럼 계산된다.

$$Q_{T,H_2} = Q_{U,H_2} \times \frac{P \times 1.1}{V_{\text{cell}}} \times N \times S = 0.007 \times \frac{1000 \times 1.1}{25} \times 48 \times 1.05 = 15.5 [\text{SLM}] \quad (4)$$

Q_{T,H_2} : 정격출력시 수소의 총유량

P: 시스템 출력

V_{cell} : 연료전지 스택의 정격출력 전압

N: 스택의 셀 수,

S: Stoichiometry

그러므로 1시간의 정전 기간 중 UPS 시스템이

연료전지 시스템을 이용한 Line-Interactive 방식의 무정전 전원 공급 장치의 설계

1[kW] 부하에 전력을 공급하기 위해서 필요한 수소 연료의 양은 식(5)와 같이 계산된다.

$$Q_{T,H_2} [SLM] \times 60 [\text{min}] = 15.5 \times 60 = 931 [\text{L}] \quad (5)$$

만일 수소가 25°C(298.15[K])에서 압축가스의 형태로 실린더에 저장된다고 가정하면, 150[atm](2200[psi])에서 수소의 부피와 용기를 포함한 수소의 무게는 식(6)~(10)과 같이 계산된다.

먼저 수소의 무게는 식(6)과 같이 계산된다.

$$G_{H_2} = \frac{931 [\text{L}] \times 2 \left[\frac{\text{g}}{\text{mole}} \right]}{22.4 \left[\frac{\text{L}}{\text{mole}} \right]} = 83 [\text{g}] \quad (6)$$

고압 실린더에 저장된 수소가스의 경우 단위무게(저장용기+수소의 무게)당 수소의 무게가 보통 3wt[%] 정도이므로 식(6)에 계산된 양의 수소를 고압실린더에 저장하였을 경우 용기를 포함한 수소의 무게는 식(7)과 같다.

$$G_{H_2, \text{Total}} = \frac{G_{H_2}}{3[\text{wt}\%]} = \frac{83 [\text{g}]}{3[\text{wt}\%]} = 2766 [\text{g}] \quad (7)$$

150[atm]에서 수소의 부피는 식 (8)-(10)으로 계산될 수 있다. 우선 표준상태(1기압, 25°C)에서 1시간의 정전 기간 동안 1[kW]의 부하에 전력을 공급하기 위해서 필요한 수소연료의 양(931[L]) 속에 들어 있는 수소의 몰수는 이상기체방정식에 의해 식(8)처럼 계산된다.

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1 [\text{atm}] \times 931 [\text{L}] \times 10^3 [\text{cm}^3/\text{L}]}{82.06 \left[\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \times 298.15 [\text{K}]} = 38 [\text{moles}] \quad (8)$$

n: 수소의 몰수, P: 압력 [atm], V: 기체의 부피[cm³]
R: 기체 상수, T: 온도[K]

1몰의 수소가 150[atm]에서 갖는 부피는 Virial Equation[9~10]을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$V_{U,H_2} = \frac{R \times T}{P} + B = \frac{82.06 \left[\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \times 298.15 [\text{K}]}{150 [\text{atm}]} + 15.4 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \right] = 178.5 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \right] \quad (9)$$

V_{U,H_2} : 특정 압력에서 수소 1몰의 부피
B: Virial constant at 298.15[K]

따라서 25°C, 150[atm]에서 931[L]의 수소가 갖는 부피는 식 (10)으로 계산된다.

$$V_{U,H_2} \times n = 178.5 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \right] \times 38 [\text{mole}] \times 10^{-3} \left[\frac{\text{L}}{\text{cm}^3} \right] = 6.78 [\text{L}] \quad (10)$$

제안된 Line-interactive 방식의 UPS 시스템은 정상상태에서 10[%]의 전력을 담당하므로 이 경우 시간당 93.1[L]의 수소가 소모된다.

5.2 부스트 컨버터의 설계

DC/DC 부스트 컨버터는 아래의 계산식들을 이용하여 설계한다. 스위칭 주파수는 100[kHz]로 선정하고, 정상상태에서 연료전지/컨버터 모듈이 10[%]의 부하를 담당하므로 이때 컨버터가 연속전류 모드로 동작할 수 있도록 임계전류를 10[%]로 하고, 출력전압의 리플은 1[%]로 제한할 때 각 회로의 소자 선정을 위한 정격값 들은 식(11)~(15)에 의해 계산될 수 있다.

각 부스트 컨버터의 출력(P_o)은 500[W], 입력전압(V_{in})의 범위는 25~39[V], 컨버터 출력전압(V_o)은 50[V]이다. 따라서,

$$\text{최대승압비: } M = V_o / V_{in, \text{min}} = 50 / 25 = 2 \quad (11)$$

$$\text{출력전류: } I_o = P_o / V_o = 500 / 50 = 10 [\text{A}] \quad (12)$$

최대입력전류: $I_{in_peak} = P_o / V_{in_min} = 500 / 25 = 20[A]$ (13)

부스트 컨버터의 첨두 전류 값은 식(14)에 의해 계산되며, 스위치의 최대 전압은 식(15)와 같다.

$$I_{peak} = I_o \times \left[M + \left(\frac{V_o}{2 \times F_s \times I_o \times L_c} \right) \times \left(\frac{M-1}{M^3} \right) \right] = 22[A] \quad (14)$$

$$V_{sw_peak} = V_{in_max} + V_{out} = 39 + 50 = 89[V] \quad (15)$$

10[%] 부하에서 전류가 연속이 되기 위한 인덕터의 최소값은 식(16)에 의해 계산되며 출력전압의 리플을 1[%]로 제한하는 출력단 커패시터의 용량은 식(17)로 계산된다.

$$L_c = \frac{V_o \times (M-1)}{(I_o \times 0.1) \times F_s \times 2 \times M^3} = 32.15[\mu F] \quad (16)$$

$$C_o = \frac{I_{peak}^2 \times L_c}{2 \times \Delta V_o \times (V_o - V_{in_min})} = 600[\mu F] \quad (17)$$

5.3 슈퍼커패시터의 용량 계산

슈퍼커패시터에 저장된 에너지는 식(18)에 의해 주어진다.

$$W_c = \frac{1}{2} C V^2 \quad (18)$$

슈퍼커패시터에 저장된 에너지를 모두 이용하는 것은 짧은 시간 내에 전압의 변화를 최대치에서 0으로의 급격한 변화를 만들게 되어 방전 전류의 크기가 너무 커지게 된다. 따라서 다음에 설명하는 방법에서처럼 저장된 에너지의 50[%]정도만 사용하는 것이 효율적이며, 이 경우 슈퍼커패시터 전압은 30[%]정도 강하게 된다. 또한 슈퍼커패시터의 충방전을 제어하는 양방향 컨버터의 효율과 슈퍼커패시터 내부의 등가직렬저항(ESR)에 의한 손실도 계산되어야 한다. 따라서 요구되는 슈퍼커패시터의 용

량은 식(19)에 의해 계산된다.

$$\frac{1}{2} \times C \times [V_{scap}^2 - (0.7 \times V_{scap})^2] = P_{shortage} \times t \quad (19)$$

여기서 C는 요구되는 슈퍼커패시터의 커패시턴스이며, k는 양방향 컨버터와 슈퍼커패시터의 전체 효율, 그리고 Pshortage는 리포머를 포함하는 연료전지 시스템의 응답지연시간 또는 과부하 시간동안의 부족한 전력양이며, t는 그러한 사건들의 발생기간이다. 여기서 리포머와 결합된 연료전지 시스템은 20초의 1차 응답지연을 갖는 것으로 가정되며, 그림 4의 모의실험에서 보인 것처럼 슈퍼커패시터에 저장된 에너지는 순간적으로 발생하는 연료전지 시스템과 부하사이의 전력의 부족분을 메우기 위해 사용된다. 그림 5는 주전원 이상으로 인해 연료전지 시스템이 전부하를 담당하게 될 때에 응답지연으로 인한 전력의 부족분을 메우는데 필요한 에너지의 양을 계산하기 위한 그림이며 점선으로 표시된 역삼각형의 넓이가 대략적으로 요구되는 에너지의 양이 되며 이 값으로부터 슈퍼커패시터의 값이 계산된다.

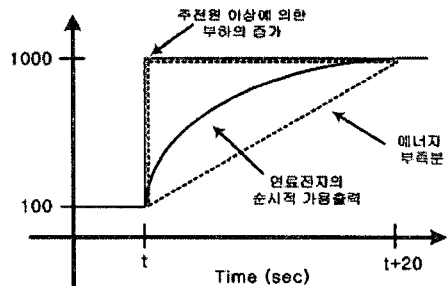


그림 5. 주전원 이상시 개질기를 포함하는 연료 전지 시스템의 응답지연으로 인한 에너지 부족분
Fig. 5. Energy shortage due to the response delay of the fuel cell system with the reformer

제안된 시스템에서 정전이나 과부하시 연료전지 UPS에서 발생하는 전력의 부족분(Pshortage)은 500[W]이며, 기간(t)은 20초이다. 효율(k)을 0.9로 가정하면, 슈퍼커패시터가 연결된 DC-Link의 전압은 50[V]이므로, 요구되는 슈퍼커패시터의 커패시턴스 값은 식(19)를 이용하여 식(20)처럼 계산된다.

연료전지 시스템을 이용한 Line-Interactive 방식의 무정전 전원 공급 장치의 설계

$$C = \frac{4 \times P_{\text{shortage}} \times t}{V_{\text{scap}}^2 \times k} = \frac{2 \times 500 \times 20}{0.9 \times 50^2} = 17.8 [\text{F}] \quad (20)$$

이것은 부록 2의 상용 슈퍼커패시터 16개를 직렬 연결하여 구성할 수 있다.

6. 결 론

연료전지를 이용하는 Line-interactive 방식의 UPS가 제안되었고 그 설계방법에 관해 자세히 다루었다. 제안된 방법은 주전원에 이상이 생겼을 경우에도 안정된 전력을 부하에 공급할 수 있게 한다. 또한 본 논문은 연료전지가 UPS용 전원으로서 기존의 엔진 발전기, 배터리, 플라이 휠 등을 대체할 수 있음을 보였다. 개질기를 사용하는 연료전지 시스템의 느린 동특성이나 과부하로 인하여 발생하는 전력의 요동을 보상하여 전력의 품질을 높이기 위해 슈퍼커패시터 모듈이 채용되었다. 환경 친화적이며 깨끗한 비상전원 시스템이 제안되었고 그 유용성과 실현 가능성을 모의실험을 통해 입증하였다.

References

- (1) S.B. Bekiarov and A. Emadi, "Uninterruptible Power Supplies: Classification, Operation, Dynamics, and Control", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC '02 Proceedings pp. 597-604, 2002.
- (2) Department of Energy, "Fuel Cells: Opening New Frontiers in Power Generation", November, 1999.
- (3) Avistalabs, "SR 12 Modular PEM Generator Operator's Manual", 2000.
- (4) Christopher C. Boyer, "Special Topics: Fuel Cell Technology", CHEN 689 Class Notes, Texas A&M University, 2002.
- (5) E.Santi, et al, "A Fuel Cell Based Domestic Uninterruptible Power Supply", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC '02 Proceedings, pp. 605-613, 2002.
- (6) J. Laminie and A. Dicks, "Fuel Cell System Explained", John Wiley & Sons LTD, 2000.
- (7) On Semiconductor Application Note, "CS51227 in a 112W Boost Converter Application", Nov, 2000.
- (8) Sukumara, G.V.; Parthasarathy, A.; Shankar, V.R, "Fuel cell based uninterrupted power sources", Power Electronics and Drive Systems, Proceedings Volume: 2, pp. 728-733, 1997.
- (9) J.H. Dymond and E.B. Smith, "The Virial Coefficients of Pure Gases and Mixtures: A Critical Compilation",

Oxford University Press, Oxford, 1980.

- (10) J. M. Smith and H.C. Van Ness, "Introduction to Chemical Engineering Thermo Dynamics", McGraw Hill International Edition, 1987.
- (11) W. Choi, Jo. Howze, P. Enjeti, "Fuel Cell Powered UPS Systems: Design Considerations," PESC 2003 Conference, Proceedings Vol. 1, pp 385-390, Accapulco, June, 2003.

부록 1. 설계에 사용된 연료전지 스택의 사양 (SR-12, Avistalabs)

Power Output(Cont.)	500[W]
Output Voltage	25~39[VDC]
Fuel Source	Hydrogen
Fuel Consumption	7.0[L/min] 500[W] (<1.0L/min @ no load)
System Start Time	7minutes @room temperature
Turndown Ratio	500[W] to no load, infinity
Operating Temperature	5[°C] to 35[°C]
Dimension(W×D×H)	22.3["]×24.2["]×13.6["]
Weight	44[kg] w/cartridge

부록 2. 설계에 사용된 슈퍼커패시터의 사양

Capacitance	450 Farads
Maximum Series Resistance ESR(25[°C])	2.4 mohms
Specific Power Density	3400(W/kg)
Voltage(Cont.)	2.5[V]
Voltage(Peak)	2.8[V]
Maximum current	180[A]
Dimensions	50×97[mm]
Weight	190[g]
Volume	.15[L]
Temperature (Operating & Storage)	35[°C] to 65[°C]
Leakage Current (12hours, 25[°C])	3[mA]

◇ 저자소개 ◇

최우진 (崔宇鎭)

1967년 1월 7일생. 1990년 숭실대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~1998년 대우중공업 중앙연구소 전자기술실(주임 연구원). 1998년~1999년 (주)세창산전 연구개발부(선임 연구원). 1999년~2004년 Texas A&M University(박사). 현재 숭실대학교 전기공학과 강사.

전희중 (田喜鍾)

1953년 1월 6일생. 1975년 숭실대 전기공학과 졸업. 1977년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995~1996년 캐나다 Univ. of Victoria 객원교수. 2001년 전력전자학회 부회장. 현재 숭실대학교 전기공학과 교수.