

동적전압보상장치에서의 울트라커패시터 동작 특성

권윤희, 강진아, 최효신, 박완기
 LS전선주식회사 기술개발본부 HEV전장팀

The Operation Characteristics of Ultracapacitor in Dynamic Voltage Restorer

Yoonhyeok Kwon, Jina Kang, Hyoshin Choi, Wanki Park
 HEV Team, LS Cable R&D Headquarter

Abstract - 에너지저장소자로 커패시터를 이용하여 순간정전 또는 순간전압강하 방지의 목적으로 사용되는 동적전압보상장치(Dynamic Voltage Restorer)에 울트라커패시터를 적용/시험하였다. 이로부터 울트라커패시터의 적용가능성을 에너지저장소자들 간의 출력특성 관점에서 비교하였다.

1. 서 론

울트라커패시터는 슈퍼커패시터 또는 전기이중층커패시터라고도 명명되는 전기화학적 커패시터이다. 기존 커패시터와 비교하여 높은 에너지밀도를 가짐과 동시에 배터리 대비 높은 출력밀도와 장수명 특성을 보임으로 인해 커패시터와 배터리를 대체하거나 보완하여 널리 적용이 되고 있다.[1] 특히 일정시간 이상의 정전을 보상하기 위해 배터리를 사용하는 무정전전원장치(UPS)에 배터리를 대체하여 적용할 시 배터리가 가지는 부피문제와 유지보수의 불편함을 해소시켜주는 긍정적 결과가 많이 보고되고 있다. [2,3]

아래의 표1에 커패시터와 배터리, 그리고 울트라커패시터의 재원을 간략하게 나타내었다.

구분	Conventional Capacitor	Ultracapacitor		Lithium Battery
		EDLC	Hybrid-type	
에너지 저장 원리 (반응)	전하 분리	전하 분리	전하 분리 + 산화 환원	산화 환원
전극 재료	→ 산화알루미늄 → 예상알루미늄	다공성 활성탄	→ 리튬산화물 → 다공성 활성탄	→ 리튬산화물 → 흑연화 탄소
충전시간	< sec	sec ~ min		~ hours
방전시간	< sec	< min		min ~ hours
에너지밀도 (Wh/kg)	< 0.3	5~7	7~12	20~170
출력밀도 (W/kg)	< 10 ⁴	1000 ~ 2000	500 ~ 1000	50~200
충방전효율	> 95%	90% ~ 95%		70% ~ 85%
Cycle Life	> 100,000	> 100,000		< 1,000

표1. 에너지 저장장치의 성능 비교

최근에는 전력공급이 안정되어 공급부족이나 사고로 인한 대규모 정전은 발생하지 않는 반면, 극지적인 부하량 급변동에 의한 순간정전 및 전압강하는 오히려 발생빈도가 증가하고 있다. 따라서 반도체생산라인이나 통신장비 밀집지역 등 순간정전에 취약한 중요 부하 및 분산전원의 활용에 있어서 예상되는 순간정전 및 출력보강을 대비하기 위해서는 보상시간은 짧지만 동작신뢰성이 높은 출력안정화에 대한 대비책들이 많이 필요한 실정이다.[4] 표1에서의 배터리 대비 높은 출력밀도(power

density)는 이러한 출력안정화 장치에 적용될 시 작은 부피로 큰 출력을 낼 수 있다는 의미를 가지며, 커패시터 대비 높은 에너지밀도(energy density)는 수초 이상의 순간 정전까지 대비가 가능하다는 것을 보여주고 있다. 그림1에 대표적인 에너지저장소자들이 가지는 출력밀도와 에너지저장밀도를 나타내었다. 이 그림에 표시된 시간은 각 소자들이 사용되는 시스템에서 요구하는 출력유지 시간의 평균치를 나타낸다.

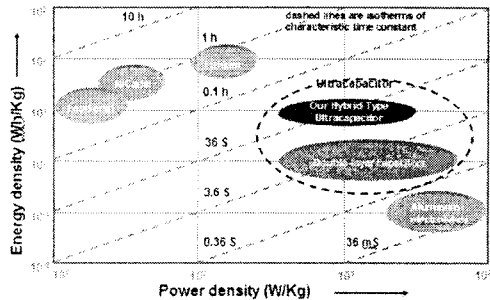


그림1. 출력밀도와 에너지밀도에 따른 에너지저장소자

본 논문에서는 커패시터 또는 배터리를 에너지저장소자로 사용하는 동적전압보상장치에 울트라커패시터를 적용하여 기존의 에너지저장장치와의 출력특성을 비교하였으며, 이를 통하여 동적전압보상장치에의 적용 가능성을 검토하여 보았다.

2. 본 론

과제를 수행하기 위해서 울트라커패시터를 직렬연결하여 고전압 모듈화하였으며, 동적전압보상장치에 연결하여 순간정전에 대한 성능측정을 하였다.

2.1 에너지저장장치

일반적으로 울트라커패시터 단위 소자가 가지는 정격전압은 2.3~2.7V 수준이며, 에너지저장장치로 활용하기 위해서는 직병렬 연결을 이용하여 고전압/대용량 모듈로 구성을 하게 된다. 또한 고전압 모듈 구성 시 단위소자의 불균일 충전 및 고온환경에서의 수명저하를 고려하여 소자가 가지는 정격보다 낮은 전압으로 사용하게 된다. 본 과제에서는 정격전압 2.8V 및 정격용량 120F의 당사 개발품을 사용하여 모듈을 구성하였다. 표2에 단위소자의 특성치를 나타내었다.

Item		120F
Rated Capacitance, CR	F	120
Rated Voltage, VR	V	2.8
Internal Resistance, (R _{LAC})	mΩ	7
Internal Resistance, (R _{d,DC})	mΩ	9
Leakage Current	mA	<2.5
Maximum Energy, E _{max}	Wh	0.131
Energy Density, EM	Wh/kg	5.23
Energy Density, EV	Wh/l	5.92
Peak Power Density, PM	W/kg	8711
Peak Power Density, PV	W/l	9864
Weight	kg	0.025
Volume	l	0.022
Dimension-L	mm	-
Dimension-W or D	mm	25
Dimension-T	mm	45

표2. 120F 울트라커패시터 기초성능 데이터

2.1.1 울트라커패시터 모듈 구성

울트라커패시터 모듈을 시험하기 위해 사용된 동적전압보상장치의 인버터 입력전압은 300~600V이며, 2.8V 정격의 단위셀을 직/병렬로 연결하여 인버터 입력전압을 맞추기 위한 고전압 모듈을 구성하였다. 모듈의 구성은 직렬로 240개의 소자를 연결한 단위모듈을 병렬로 2개 연결하여 0.5F/600V의 용량과 정격을 가지도록 하였다. 이 때 단위소자의 사용전압은 2.5V가 되며, 이는 고온(50℃)의 환경에서도 10년 이상의 사용수명을 확보할 수 있기 위함이다. 일반적으로 울트라커패시터는 상온 기준으로 사용온도 편차 10℃ 마다 정격전압을 0.1V 낮추어 모듈 구성을 하도록 하고 있다. [5]

2.1.2 기초성능 측정

모듈은 PCB에 연결패턴과 안정화 회로를 구성한 후 소자를 삽입연결하여 제작하였다. 소자연결 시 저항의 증가, 소자 간의 성능편차에 의한 수명 저하 등을 최소화하는 것이 가장 중요한 요소이며 제작 후 기초성능 평가를 실시하였다. 표3에 제작된 울트라커패시터 모듈의 주요 특성치를 나타내었다.

Item		Value
Rated Capacitance, C _R	F	0.5
Max. Voltage	V	600
Min. Voltage	V	300
ESR, DC	Ω	2.16
Surge Current rating	A	80
RMS Current rating	A	28
Stored Energy, E _{max}	KJ	90
End of life definition	F	70% capacitance of initial value
	Ω	2x ESR of initial value
Ambient Temp	℃	-40~60
Weight	kg	10.45
Volume	l	25
Dimension-W	mm	274
Dimension-D	mm	524
Dimension-H	mm	174
Balancing		Passive Balancing

표3. 울트라커패시터 모듈의 기초성능 평가

2.2 동적전압보상장치

모듈 평가를 위해 사용된 동적전압보상장치는 독립전 및 분산전원 장치 등에 출력보상을 하기 위하여 사용될 수 있도록 정격출력 20kW로 설계되었으며, 에너지저장소자로 수용성 전해질의 커패시터를 채택하고 있다.

2.2.1 시스템 구성

동적전압보상장치의 구성은 에너지저장장치와 이를 충전하기 위한 입력부, 직류입력을 3상 교류로 변환시키는 변환부, 입출력 제어 및 계측을 위한 제어부로 구성되어 있으며 그림2에 개략도를 나타내었다. 시스템의 구성은 온라인 UPS의 형태로 부하입력단과 주전원 사이에 직렬로 연결이 되어 순간정전 및 전압강하 시 전원을 공급하고 이동형 전원장치를 이용할 경우 출력보상이 가능하도록 하였다. 입력부에 연결된 에너지저장장치는 직류전압 600V로 충전되어 순간전압강하 및 정전 시 300V까지 사용이 가능하게 제어되도록 하였다.

2.2.2 요구 특성

동적전압보상장치에서 요구하는 에너지저장장치는 최대출력 24kW에서 0.5초 이상의 출력을 낼 수 있도록 충분한 에너지가 저장되어 있어야 하며, 정격출력의 50% 출력에서는 2초 이상의 출력을 유지하여 충분한 정전보상을 할 수 있도록 하고 있다.

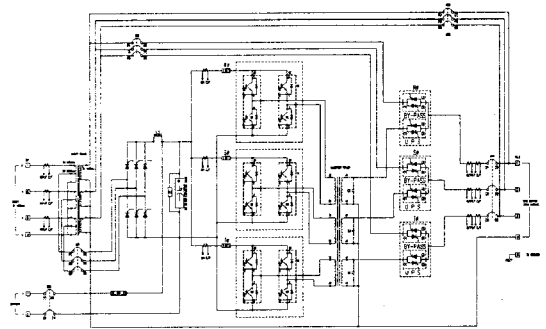


그림2. 동적전압보상장치 개략도

3. 결 론

에너지저장장치의 특성시험은 동일한 동적전압보상장치에 적용된 기존장치와의 출력과 유지시간의 비교를 통하여 이루어졌다. 일반적으로 에너지저장소자는 출력이 증가함에 따라 출력유지 시간이 비선형적으로 감소하게 되며(Ragone Plot), 이는 고유의 내부저항에 의한 출력 감소분과 전기화학적 반응에 요구되는 시간의 합으로 나타나게 된다.

울트라커패시터 모듈과의 비교를 위해 기존에 동적전압보상장치에 적용하고 있는 수용성 전해질을 사용한 커패시터의 출력특성을 측정하였다. 동일한 입출력 제어와 출력파형을 보이도록 시험을 진행하였으며 그림3과 4에 각각의 에너지저장장치의 출력에 따른 유지시간을 나타내었다.

그림3에는 기존 시스템의 출력특성을 나타내었다. 시스템 요구 최대출력인 24kW에서는 0.7초의 출력유지시간을 보이며, 평균 출력에 해당하는 12kW 출력 시에는 2.5초의 출력유지시간을 보이고 있다.

같은 방법으로 출력특성을 측정하기 위하여 설계된 본 과제의 울트라커패시터 모듈은 직접비교대상인 수용성 전해질의 커패시터 대비 부피가 약 35% 수준으로 감소된 설계 결과를 보이며, 이는 같은 출력의 배터리 대비 (NiMH 기준) 약 16%의 부피에 해당하게 된다.

그림4에 동일한 방법으로 측정한 울트라커패시터 모듈의 출력에 따른 유지시간을 나타내었다.

출력곡선에서는 부피가 약 1/3로 감소하였음에도 불구하고 최대출력인 24kW에서 0.6초의 출력유지시간으로 기존 커패시터의 85% 출력을 보이며, 12kW의 출력에서는 3.5의 출력유지시간을 보이며 기존소자 대비 40% 향상되는 것으로 나타나고 있다. 이후로 출력이 낮아질수록 출력유지시간이 상대적으로 길어짐으로써 적은 부피로도 동일 이상의 출력을 유지, 보다 컴팩트한 시스템 디자인이 가능함을 시사하고 있다.

같은 방법으로 계산한 12kW의 출력을 내기 위한 배터리의 부피는 울트라커패시터 모듈 대비 4배 이상이 필요한 것으로 나타났다.

- [1] A. Burke, "Ultracapacitors: Why, how and where is the technology", Journal of Power Sources 91, 2000, p 37-50
- [2] V. Hermann, A. Schneuwly, "High Performance double-layer capacitor for power electronic applications", proc. PCIM 2001
- [3] R. Schottle, G. Threin, "Electrical power supply systems: Present and future", VDI, Nr.1547, 2000
- [4] 오태규, "전력 신기술의 발전 방향", 전기저널 324호, 2003. 12, p 20-26
- [5] S. Buller, E. Karden, D. Kok, R. W. De Donker, "Simulation of Supercapacitors in Highly Dynamic Applications" Electric Vehicle Symposium EVS 18, Berlin 2001

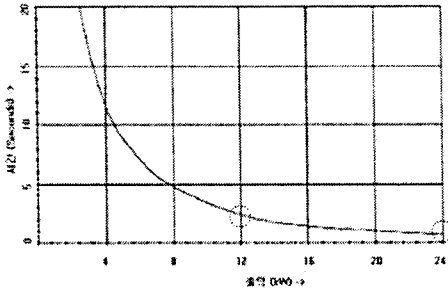


그림3. 기존 커패시터의 출력특성곡선 (시간 vs. 출력)

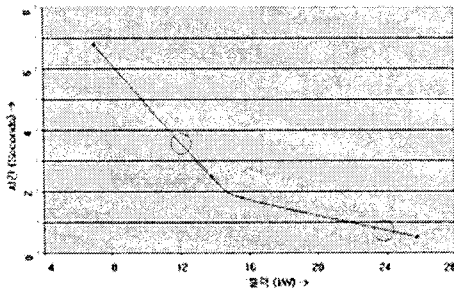


그림4. 울트라커패시터의 출력특성곡선 (시간 vs. 출력)

본 과제에서 사용된 울트라커패시터 모듈의 출력밀도와 에너지밀도는 각각 3kW/kg 및 1Wh/kg으로 최대출력에서도 충분한 출력과 에너지를 가질 수 있음을 보여 주며, 평균출력 상태에서는 기존의 커패시터 및 배터리와 대비하여 월등한 출력과 에너지 특성을 보여줌으로써 그림1의 에너지소자별 출력-에너지 특성곡선을 만족함을 알 수 있다.

이러한 출력-에너지 특성은 시간의 함수로 나타낼 수 있으며, 시스템에서 요구하는 출력유지시간의 관점에서는 수백ms에서 수분 이내에서 타 에너지저장소자에 비해 울트라커패시터가 가장 효과적임을 알 수 있다.

이러한 울트라커패시터의 장점을 활용하여 높은 충전 수명을 요구하는 분야, 특히 순간적인 출력보강이 필요한 분산전원 시스템에 널리 적용될 것이라 기대된다.