

리튬이온전지 전기저장장치의 제어전원용 2-포트 서지보호장치의 설계 및 구현에 관한 연구

최형석*, 정태훈**, 황승욱***, 최익준***, 노대석***
*(주)티팩토리, **한국전기연구원, ***한국기술교육대학교
e-mail:elroi91@tfactory.kr or ryan0225@keri.re.kr

Design and Implementation of 2-Port Surge Protection Device for Control Power Supply System in Li-ion Energy Storage System

Hyoung-Seok Choi*, Tae-Hoon Jeong**, Seung-Wook Hwang***,
Ik-Joon Choi***, Dae-Seok Rho**
*TFactory, Inc, **KERI,
***Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약

ESS는 신재생에너지전원의 출력 안정화, 수요관리, 전력품질 개선, 주파수조정 등 다양한 기능을 가지고 있어, 그 중요성이 점차 부각되고 있다. 하지만, 급격한 기후 변화로 인하여 낙뢰의 발생빈도가 증가하고 있으며, 이에 뇌 서지가 전력선과 각종 신호선 및 통신선과 같은 경로를 통해 인입되어 ESS의 각종 제어전원장치의 오동작 및 파손이 발생되고 있는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 뇌 서지로부터 ESS 제어전원장치를 보호하기 위하여, 2-포트 서지보호장치의 설계 방안을 제시한다. 이 설계방식을 ESS의 제어전원공급장치에 적용하여 III등급 조합과 및 II등급 임펄스파 뇌격전류 내성시험을 수행한 결과, 서지내성 목표 값인 1.5kV보다 낮은 제한전압 특성을 확인하여, 본 논문에서 제안한 설계 방안의 유용성을 확인할 수 있었다.

1. 서론

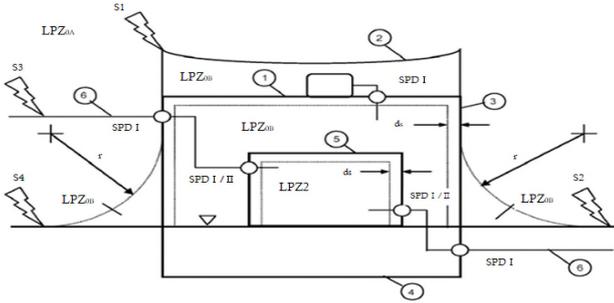
최근, 전력시스템의 패러다임 변화에 의한 스마트그리드 시대의 도래와 함께, 태양광 및 풍력 등의 자연 친화적인 에너지를 이용한 신재생에너지의 연계가 급속도로 증가하고 있다. 이러한 신재생에너지는 기상조건에 따라 출력변동이 심하여, 배전계통의 전력 공급불안정, 전력품질 문제를 야기시킬 수 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로, 전기저장장치(energy storage system, ESS)를 이용한 전력계통 운용에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나, 기후변화로 인한 뇌격의 발생빈도가 증가하고 있으며, 뇌격에 의한 서지는 전원선과 각종 신호선 및 통신선 등 다양한 경로를 통해 유입되어, 각종 전기설비 및 제어설비의 파손과 기기의 오동작을 야기시킬 수 있어, 이러한 뇌격전류에 대한 보호설비로 서지보호장치(SPD, surge protection device)가 설치 및 운용되고 있다. 그러나, 뇌격에 의해 발생한 뇌격전류는 상당히 크기 때문에 하나의 SPD를 이용하여 설비를 보호하는 것은 한계성이 있다. 뇌격전류로부터 전기전자시스템을 보호하기 위해 사용하는 SPD는 설치 방법에 따라 1-포트 SPD와 2-포트 SPD로 구분된다. 1-포트 SPD는 전력계통에 연결되는 전력설비 인입단에 병렬구조로 연결되며, 2-포트 SPD는 병렬로

연결된 하나 이상의 SPD 사이에 감결합 요소(noise cut transformer, NCT)가 직렬로 연결된 구조를 가지고 있다. 1-포트 SPD는 전력설비 인입단에 병렬로 연결하기 때문에 접속되는 연결선의 길이에 따른 영향으로 뇌 서지가 전력선을 통해 유입하여, 제한전압이 높아지는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 1-포트 SPD의 연결선 길이에 대한 문제를 해결할 수 있는 2-포트 SPD 설계 및 구현을 통하여, 뇌 서지로부터 ESS의 제어전원장치를 보호하기 위한 방안을 제시하였으며, “KS C IEC 61643-11”에 기반한 조합과 및 임펄스파 시험에 의하여, 서지내성 목표 값인 1.5kV 이하로 제한전압이 유지됨을 알 수 있었고, 본 논문에서 제안한 설계방안의 유용성을 확인하였다.

2. ESS의 뇌서지 보호특성 분석

ESS의 각종 전기전자시스템의 고장을 줄이기 위한 대책으로는 구조물의 경우, 접지 및 본딩 대책을 수립하고, 자기차폐 및 SPD를 이용한 보호협조를 통해 보호할 수 있다. 그림 1은 LEMP로부터 전기설비(시스템)를 보호하기 위한 예시를 나타낸 것으로, ① ~ ⑥은 전기설비 시스템을 포함한 구조물을 나타내며, S1 ~ S4는 LEMP의 유입 경로를 표현한 것이다.

즉, LPZ에 따른 경계구간에 대한 정의를 통해, 각 경계구간별 보호인입구에 SPD를 적용하여 적절한 보호협조가 이루어지도록 구성하여야 하며, 각 항목에 대한 정의는 표 1과 같다.

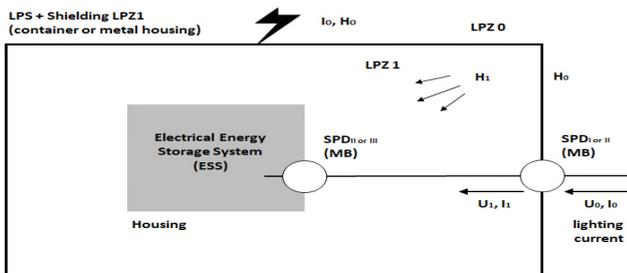


[그림 1] LEMP에 따른 전기전자 시스템의 보호

<표 1> LPZ 요소의 정의

항목	내용	항목	내용
S1	구조물 너적 보호범위	①	구조물
S2	구조물 근처 너적 보호범위	②	가공지선
S3	구조물에 접속된 인입설비 너적 보호범위	③	인하도체
S4	구조물에 접속된 인입설비 근처 너적 보호범위	④	접지도체
r	회전구체반지름	⑤	내부 구조물
ds	매우 강한 자계에 대한 안전거리	⑥	인입 서비스

또한, ESS를 구성하는 PCS와 배터리는 금속재질의 외부함을 사용하여 밀폐한다. 특히 배터리는 금속 외함으로 밀폐된 모듈과 이러한 모듈을 장착하는 금속 외함으로 이중 밀폐되며, PCS와 BESS는 컨테이너 외함을 이용한 시스템 전체를 금속 외함으로 밀폐하게 된다. 따라서, 그림 2와 같이 공간 차폐물과 협조된 SPD를 이용한 LEMP 보호시스템과 같은 방식으로 LEMP로부터 ESS를 보호할 수 있다.

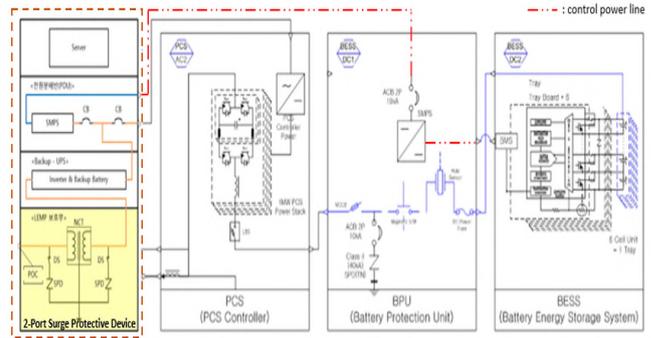


[그림 2] LEMP 보호시스템을 이용한 ESS 보호 설계

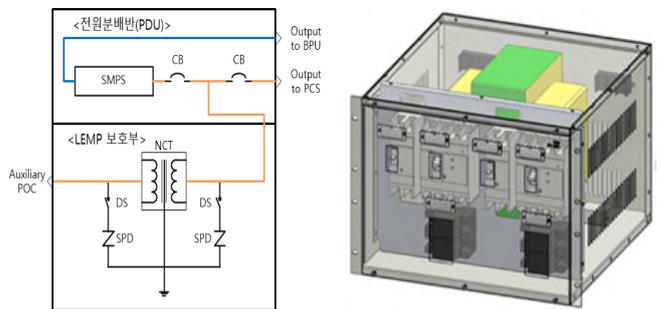
3. ESS 2-포트 서지보호장치의 최적설계

2장에서 분석을 바탕으로, ESS 제어전원용 SPD를 구현하면 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 3은 2-포트 SPD와 PCS(Power control system), BPU(Battery protection unit), 배터리로 구성되어 있으며, PMS(Power management system) 및 배터리의 BMS(Battery management system)와 PCS의 제어전원이 2-포트 SPD에 연결되는 구조이다. 따라서, ESS의 제어전원공급장치에 적절한 용량의 2-포트 SPD를 설계하면, 안정적인 전원을 공급하

여 신뢰성 있는 운용이 가능하다.



(a) ESS 제어전원공급장치의 2-포트 SPD 설계



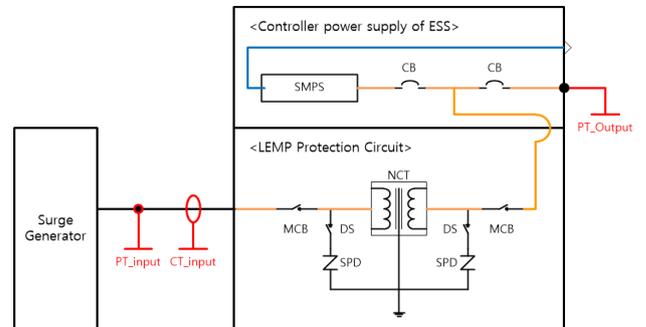
(b) 2-포트 SPD의 회로도 및 구성도

[그림 3] ESS 제어전원공급장치의 2-포트 SPD

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험 조건

본 논문에서 설계한 ESS 제어전원공급장치의 2-포트 SPD에 대한 뇌 보호 특성을 확인하기 위해, KS C IEC 61643-11의 '8.3.3 제한전압측정', '8.3.3.1 8/20μs 임펄스 전류로 잔류전압 측정' 시험 항목을 참조하여 그림 4와 같이 시험장치를 구성한다. 즉, 입력단 및 출력단에 High Voltage Probe를 이용하여 전압을 측정하고, 입력단에서는 Rogowski Coil을 사용하여 전류를 측정한다.



[그림 4] 2-포트 SPD용 시험장치 구성

4.2 2-포트 서지보호장치의 검증

저압 배전계통에 연결되는 전기설비의 임펄스 전압 절연내

력의 기준은 IEC 60364-4-44에 따라 표 2와 같이 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 표 2에 근거하여, ESS용 제어전원공급 장치의 서지내성 목표 값을 230/400, 277/480V 구간에서 특별 보호장비에 해당하는 1.5kV 이하로 선정하고, 제한전압 특성 시험을 통해 검증한다.

<표 2> 내전압 기준 (IEC 60364-4-44)

nominal voltage of installation[V]		required rated impulse withstand voltage of equipment[kV]			
3-phase systems	single phase systems with middle point	equipment at the origin of installation	equipment of distribution and final circuits	appliances and current using equipment	specially protected equipment
230/400	-	6	4	2.5	1.5
400/690	-	8	6	4	2.5
1000	-	12	8	6	4

4.3 III등급 조합과 시험에 의한 제한전압 특성분석

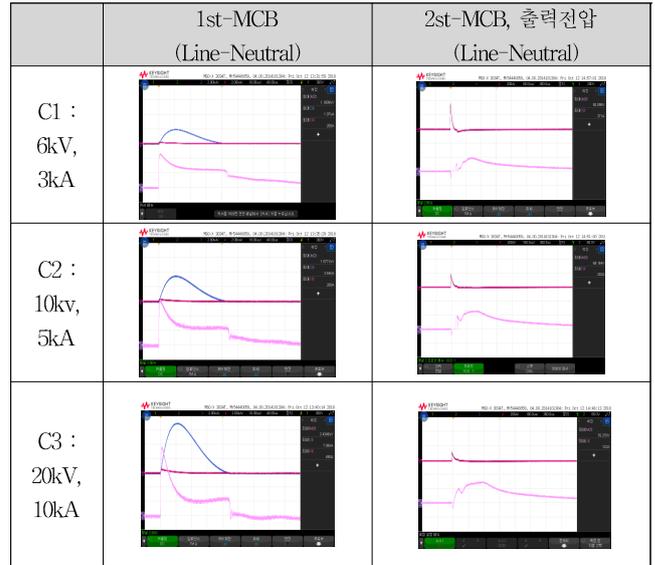
ESS 제어전원용 2-포트 SPD에 대한 III등급 제한전압 특성 시험은 IEC 61643-11 시험에 부합하는 조합과 시험장치를 이용하였으며, 시험조건은 표 3과 같다. 여기서, IEC 61643-11 과 ANSI/IEEE C62.41의 카테고리 A(Indoor), B(Outdoor로부터 10m 이내), C(Outdoor)에 대해 각각 C1(6kV,3kA), C2(10kV,5kA), C3(20kV,10kA)로 구분하여 시험한다.

<표 3> Class III 조합과의 시험조건

items	contents	
standard code	IEC 61643-11	
test item	8.3.3 residual voltage measurement	
	8.3.3.3 residual voltage measurement with combination wave	
test condition	injection wave form : 20kV(1.2/50μs) s 10kA(8/20μs) positive wave : 1time	C1 : 6kV, 3kA
		C2 : 10kV, 5kA
		C3 : 20kV, 10kA
measurement point	in front of 1st-MCB	
	in front of 2nd-MCB, output	

상기 시험조건에 따라 제한전압특성을 분석한 결과, 제한전압의 파형과 결과를 모아보면 표 4, 표 15과 같고, 즉, III등급 조합과를 인가하는 경우, C1, C2, C3의 모든 시험 조건에서 서지내성 목표 값인 1.5kV 이하로 제한전압이 유지됨을 알 수 있다.

<표 4> 조합과 제한전압 특성 그래프



<표 5> 조합과 제한전압 특성 전압

	1st-MCB (선-중성점)	2st-MCB, 출력전압 (선-중성점)
C1 : 6kV, 3kA	1.169kV	501V
C2 : 10kv, 5kA	1.577kV	682V
C3 : 20kV, 10kA	2.434kV	762V

4.4 II등급 임펄스와 시험에 의한 제한전압 특성분석

ESS 제어전원용 2-포트 SPD에 대한 II등급 제한전압특성 시험은 IEC 61643-11 시험에 부합하는 임펄스와 발생장치를 이용하며, 시험조건은 표 6과 같다. 여기서, 정극성 및 부극성의 파형을 (+)극과 중성선, (+)극과 접지, 중성선과 접지 사이에 40kA 임펄스파를 인가하여, 각각의 제한전압을 측정한다.

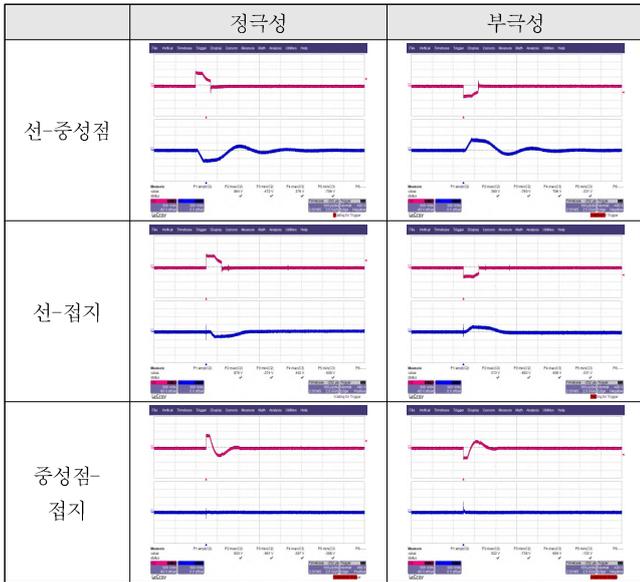
<표 6> Class II 임펄스파의 시험조건

items	contents
standard code	IEC 61643-11
test item	8.3.3 residual voltage measurement
	8.3.3.2 residual voltage measurement with impulse wave
test condition	injection wave form : 40kA(8/20μs)
	positive wave : 1time
	negative wave : 1time
measurement point	in front of 1st-MCB
	in front of 2st-MCB output

상기 시험조건에 따라 제한전압특성을 분석한 결과, 제한전압의 파형과 결과를 모아보면 표 7, 표 8과 같고, 즉, II등급 임펄스파를 인가하는 경우, (+)극과 중성선, (+)극과 접지, 중

성선과 접지 사이의 모든 시험 조건에서 서지내성 목표 값인 1.5kV 이하로 제한전압이 유지됨을 알 수 있다.

<표 7> 40kA 임펄스와 제한전압 특성 그래프



<표 8> 40kA 임펄스와 제한전압 특성 전압

	정극성		부극성	
	입력측	출력측	입력측	출력측
선-중성점	964V	376V	760V	331V
선-접지	876V	442V	693V	331V
중성점-접지	920V	287V	738V	133V

5. 결 론

본 논문에서는 뇌 보호 영역(LPZ) 해석을 통해, ESS가 설치되는 위치와 외부환경에 대한 노출 빈도를 분석하여 적절한 보호협조 체계를 구성하고, LEMP로부터 시스템을 보호하기 위한 LEMP 보호시스템을 설계하였으며, ESS용 보조전원의 POC의 구성에 따라, 제어전원용 SPD의 보호협조 방안을 도출하였으며, 2-포트 SPD를 이용하여, ESS의 각종 제어장치의 전원공급부를 안정화 시킬 수 있는 ESS 제어전원용 2-포트 SPD의 최적설계 방안을 제시하고 구현하였다.

이에 따라, ESS의 제어전원용 2-포트 SPD에 대하여, III등급 조합파를 인가한 경우, C1, C2, C3의 모든 시험 조건에서 서지내성 목표 값인 1.5kV 이하로 제한전압이 유지됨을 알 수 있었으며, II등급 임펄스파를 인가한 경우에도, 정극성 및 부극성의 모든 시험 조건에서 2-포트 SPD 내부에 직렬로 구성된 감결합 요소인 NCT에 의해 서지내성 목표 값인 1.5kV 이하로 제한전압이 유지됨을 알 수 있었다.

상기와 같이, III등급 조합파와 II등급 임펄스파 시험에 의하

여 서지내성 목표 값 이하로 제한전압이 유지되어, 본 연구에서 제안한 ESS 제어전원용 2-포트 SPD가 유효함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 제원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제 번호: 20172410104800)

참고문헌

- [1] H.T Kim, S.S Jhang, "Key Technologies for Stabilization Power System for Successful Achievement of 3020 Renewable Energy Policy", TKIEE, Vol.67, No.2, pp. 149~157, 2018
- [2] J.S Kim, S.J Lee, Y.S Oh, G.J Cho, B.S Sim, M.S Kim, S.P Moon, C.H Kim, "Development of ESS Control Algorithm for Smoothing the Output of Renewable Energy using Pearson's correlation Coefficient", JIEIE, Vol.30, No.9, pp.33~39, 2016
- [3] Ahmed S.A.Awad, Tarek H.MEL-Fouly, Magdy M.A.Salama, "Optimal ESS Allocation for Benefit Maximization in Distribution Networks", IEEE Transactions on Smart Grid, 2015
- [4] K.Nakada, "Energy Absorption of Surge Arresters on Power Distribution Lines due to Direct Lightning Strokes - Effects of an Overhead Ground Wire and Installation Position of Surge Arresters" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No., October 1997.
- [5] W. Bassi "Evaluation of Currents and Charge in Surge Protective Device in Low-Voltage Distribution Networks due to Direct Lightning Strikes" Conference Publication No.482, CIRED 2001, 18-21 June 2001.
- [6] Keith W.Eilers, Mark Wingate, Eric Pham, "Application and Safety issues for Transient Voltage Surge Suppressors" IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 36, No.6, Nov/Dec 2000.
- [7] T.H Jeong, Y.S Kim, G.B Park, S.I Lee, "Optimal Design Method of 1-Port Surge Protective Device Based on Zinc Oxide Varistor", KAIS, Vol.19, No.4, pp.93~102, 2018