

# 임피던스 측정을 통한 DC 직렬 아크고장 검출기술

김완, 박화평  
 금오공과대학교 전자공학부 제어및로봇학과  
 hppark@kumoh.ac.kr

## DC Series Arc Fault Detection Technology through Input Impedance Measuring

Wan Kim<sup>1</sup>, Hwa-Pyeong Park<sup>1</sup>  
 Department of Electronics, Kumoh National Institute of Technology<sup>1</sup>

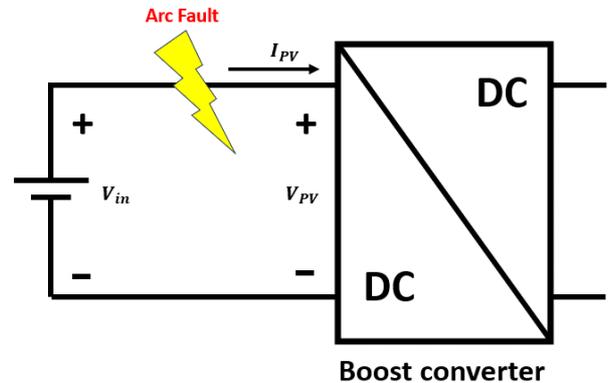
### 요약

본 연구에서는 아크고장을 임피던스의 변화와 연관지어 검출하고자 한다. 아크고장에서 급격히 임피던스가 변화하게 되는데 이때 변화하는 임피던스를 측정하여 정상상태 대비 비정상적인 변화라면 아크 고장 검출로 판단한다. 따라서 기존의 방법보다 효율적으로 아크고장 검출을 가능하고자 한다.

### 1. 서론

신재생에너지, 특히 태양광(PV) 에너지 사용이 증가함에 따라, 태양광 시스템의 안전성이 중요한 이슈로 부각되고 있다. 태양광 (PV) 시스템은 DC 전원을 사용하는데, 느슨한 커넥터, 손상된 케이블 등으로 인한 아크 고장이 발생할 수 있다 [1]. 병렬 아크 고장은 전류의 급격한 변화로 인해 쉽게 탐지할 수 있지만 [2], [3], 직렬 아크 고장은 전류 변화가 미미하여 감지하기 어렵다. 이에 따라 태양광(PV)에너지의 사용에 큰 문제로 떠오르고 있다. 기존에는 arc fault detection devices(AFDD)를 이용하여 아크 고장을 탐지하였으나, 본 논문에서는 더 효율적인 방식으로 아크 고장 탐지를 제시하고자 한다.

아크 고장 발생 시, 고장 지점에 임피던스가 생기는 원리를 활용하여, 이를 실시간으로 측정하고 비정상적인 임피던스 변화를 아크 고장으로 판단할수있다. 이를 통해 본 논문에서는 제안하는 아크 고장 검출 방법에 대한 동작 원리와 PSIM을 통한 성능을 검증하고자 한다.



[그림 1] 아크 고장 검출을 위한 Boost Converter

[그림 1]은 아크 고장 발생시에 임피던스를 측정하기 위한 본 논문의 기본 모델이다. 입력전압이 있고 Duty 통해 PWM으로 Boost converter를 구동시킨다. 아크 고장이 발생하면 임피던스가 발생하게 되고, 이때 [그림 1]에서 컨버터 입력전류 ( $I_{pv}$ )와 컨버터 입력전압( $V_{pv}$ )를 검출하여 임피던스를 측정한다.

### 2. 임피던스 측정과정

#### 2.1 임피던스 측정

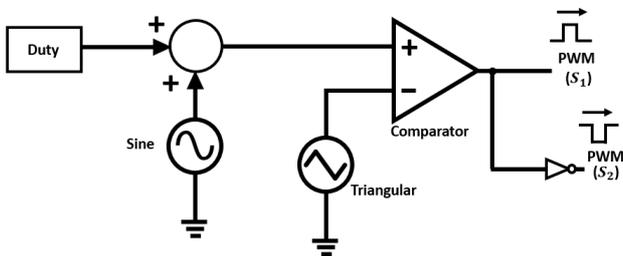
임피던스를 측정하는 과정은 다음의 4가지 과정을 거친다. 1) duty에 리플 값을 추가한다. 2) 리플 값을

통해 생긴 입력전류와 입력전압을  $\alpha-\beta$ 변환을 통해 AC 파형만 얻는다. 3) d-q 변환을 한다. 4) 얻은 d-q 값으로 계산을 통해 임피던스 값을 계산한다. [4]

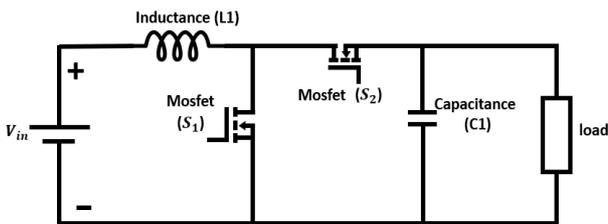
Duty에 AC 리플을 주입하고 컨버터를 구동시키면 컨버터의 앞단의 임피던스가 있을 때, 컨버터의 입력전류와 입력전압이 AC를 포함한 값이 나오게 된다. 이때  $\alpha-\beta$ 변환을 통해 AC값만 확인할수있게 한다.  $\alpha-\beta$ 변환 band pass filter와 all pass filter를 통해 각각  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 구할 수 있다. 이후 d-q 변환을 통해  $\alpha-\beta$ 변환의 d와 q값을 구하면 식 (1)을 통해 임피던스값을 구할 수 있게 된다.

$$|ZT| = \frac{\sqrt{V_q^2 + V_d^2}}{\sqrt{I_q^2 + I_d^2}} \quad (1)$$

### 2.2 PSIM 시물레이션



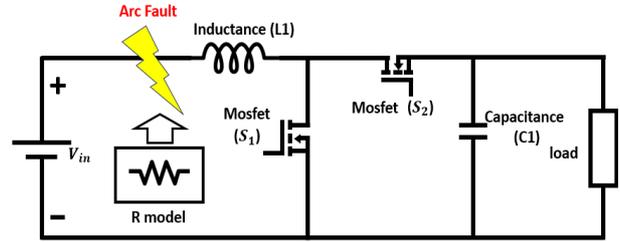
(a)



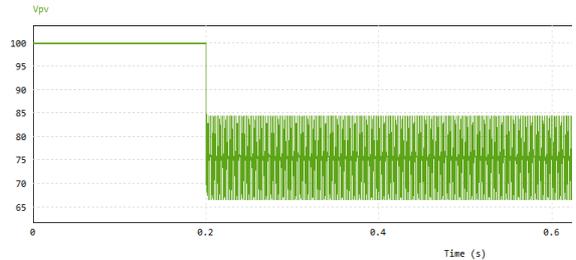
(b)

[그림 2] (a) Duty에 sine파를 포함한 PWM 생성 (b) Boost converter

위의 4가지 과정을 검증하기 위해 PSIM을 이용하여 검증하였다. [그림 2] (a)는 Boost converter의 Mosfet을 동작시키기 위한 PWM을 만드는 과정이다. duty에 대해 삼각파와 비교하고 나온 PWM으로 컨버터의 Mosfet을 동작시킨다. 이번 논문에서는 이 Duty에 sine파를 주입시켜서 리플을 생성하도록 하였다. sine 파는 주파수는 500hz이고, duty 크기의 10%를 sine파의 크기로 주입시켰다. 이를 통해 생성한 PWM인 S1과 S2가 [그림 2] (b)의 각각의 Mosfet을 켜서 Boost converter를 동작시킨다.



(a)



(b)

[그림 3] (a) 아크 고장 발생, (b) 컨버터 입력 전압(Vpv)

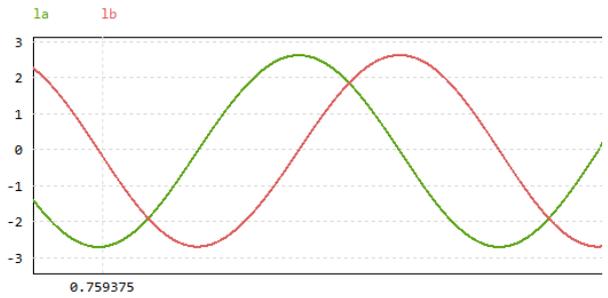
[그림 3] (a)은 아크 고장 장치 발생 상황으로, R model을 통해 0.2초 후에 3Ω을 발생하게 만들었다. [그림 3] (b)는 컨버터의 입력전압(Vpv)이다. 파형을 보면 알수있듯이 0.2초 후에 아크 고장이 발생하여 컨버터 입력전압(Vpv)이 감소함을 알 수 있다. 아크 고장 발생시에 컨버터의 입력전류(Ipv)와 입력전압(Vpv)을 센싱하고 이를 band pass filter와 all pass filter를 통해  $\alpha-\beta$ 변환을 시킨다. [그림 4] (a),(b)는 각각 입력전압과 입력전류에 대해  $\alpha-\beta$ 변환을 시킨 파형이다.  $\alpha-\beta$ 변환으로 인해 AC 성분만 남아있게 됨을 알 수 있다. 또한 [그림 4] (c),(d)는 각각 입력전압과 입력전류의  $\alpha-\beta$ 변환을 통해 d-q변환을 시킨 파형이다. 이러한 변환 후에 최종값으로  $V_d = 8.04$ ,  $V_q = 0$ ,  $I_d = -2.68$ ,  $I_q = -5$ 가 나옴을 알 수 있다. 이를 통해  $|ZT|$ 를 구하면  $|ZT| = 3$ 으로 아크 고장 모델과 일치함을 알 수 있다.

### 3. 결론

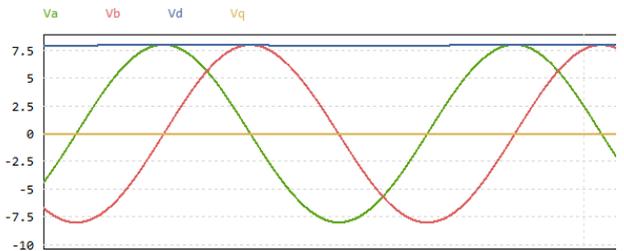
아크 고장 발생시에 생기는 임피던스를 본 논문에서는 duty에 AC리플을 더하고 생기는 입력전류와 입력전압의 AC 파형 분석을 통해 구한다. 이러한 방식을 이용하여 효율적으로 실시간 임피던스의 수치 만으로 아크 고장 검출이 가능하게 된다.



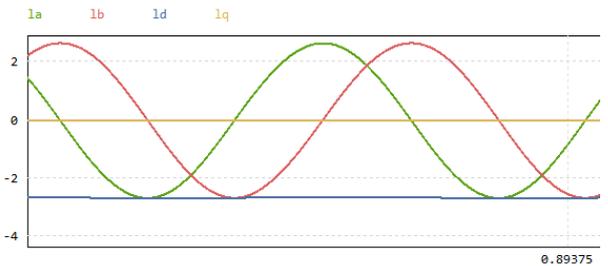
(a)



(b)



(c)



(d)

[그림 4] (a) 입력전압  $\alpha$ - $\beta$ 변환, (b) 입력전류  $\alpha$ - $\beta$ 변환, (c) 입력전압 d-q변환, (d) 입력전류 d-q변환

참고문헌

[1] H. -P. Park, M. Kim and S. Chae, "Smart DC Optimizer for DC Series Arc Fault Detection and Extinguishing," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 37, no. 9, pp. 10117-10121, Sept. 2022

[2] M. Naidu, T. J. Schoepf, and S. Gopalakrishnan, "Arc fault detection scheme for 42-V automotive DC networks using current shunt," IEEE Trans. Power

[3] C. He, L. Mu, and Y. Wang, "The detection of parallel arc fault in photovoltaic systems based on a mixed criterion," IEEE J. Photovolt., vol. 7, no. 6, pp. 1717 - 1724, Nov. 2017.

[4] Y. -D. Lee, S. -Y. Park and S. -B. Han, "Online Embedded Impedance Measurement Using High-Power Battery Charger," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 51, no. 1, pp. 498-508, Jan.-Feb. 2015