

계통연계 형 NPC인버터 시스템의 개방성 고장진단

장대민, 최의민, 이교범
아주대학교

Detection Method of an Open Circuit Fault in a Grid Connected NPC Inverter System

Dae Min Jang, Ui Min Choi, and Kyo Beum Lee
Ajou University

ABSTRACT

본 논문은 계통연계 형 3 레벨 NPC(Neutral Point Clamped)인버터의 고장진단 방법을 제안한다. 제안하는 고장진단 방법은 스위칭 소자의 개방고장 진단뿐만 아니라 고장 난 스위칭 소자의 위치 또한 판별 할 수 있다. 스위칭 소자의 고장 진단은 콘코디아 변환(Concordia transformation)에 의한 전류패턴의 반지름 변화로 판단 할 수 있다. 고장 난 스위칭 소자의 위치는 기존의 콘코디아 변환(Concordia transformation)에 의한 전류패턴을 분석하는 방법에 간단한 스위칭 동작을 추가함으로써 구분 할 수 있다. 제안하는 기법은 추가적인 센서가 필요하지 않고 전류신호에 기반을 두고 있으므로 시스템의 복잡한 모델링이 필요하지 않은 장점이 있다. 본 논문은 10kW 급 태양광 계통연계 시스템을 모의한 시뮬레이션을 바탕으로 제안한 기법의 타당성을 검증한다.

1. 서론

최근 화석연료와 원자력에너지의 환경 문제 및 천연자원의 고갈로 인해 신재생 에너지의 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 계통연계를 위한 전력변환시스템의 관심 또한 증가하고 있으며 특히 멀티레벨 인버터에 많은 연구가 이루어지고 있다. 이 중에서 NPC인버터로 불리는 3 레벨 diode clamped 인버터가 가장 널리 사용되고 있다.

지금까지는 NPC 인버터 시스템의 PWM방법이나 DC link 불평형 제어 또는 고조파 제거방법 등에 관한 연구가 활발하게 이루어졌지만 점차 전력변환 시스템의 신뢰성에 대한 관심이 증가하면서 고장진단이나 허용제어 등의 연구가 활발히 이루어지고 있다. NPC 인버터는 2 레벨 인버터에 비해 많은 스위칭 소자로 구성되어 있어 스위칭 소자에 고장이 발생할 가능성이 높으므로 NPC 인버터의 고장진단에 관련된 많은 연구들이 수행되고 있다. Rebeiro는 중요점의 전압특성을 이용한 스위칭 소자의 개방고장 진단방법^[1]을 제안하였으나 추가적인 센서가 필요하며 Jung은 스위칭 정보를 이용한 극전압 모델링을 통해 고장을 진단하는 방법^[2]을 제안하였지만 추정에 어려움이 있어 제한된 영역에서만 적용가능하다. 특히 기존의 방법들은 모터 드라이브나 R L부하 상황에서의 고장을 진단하였다.

본 논문은 기존의 전류패턴을 이용한 방법에 간단한 스위칭 동작을 추가함으로써 계통연계 시 3 레벨 NPC 시스템에서의 개방성 고장을 진단하고 고장 스위치를 판별한다.

2. NPC 인버터의 개방성 고장진단

2.1 NPC 인버터 시스템

계통연계 형 3 레벨 NPC 인버터 시스템은 그림 1과 같다. 3 레벨 NPC인버터의 스위칭 상태는 각각 P, O, N 3가지 상태가 있다. 개방성 스위치 고장이 발생하면 고장이 발생한 스위치에 따라 스위칭 상태의 가능 여부가 결정되는데 이는 표 1과 같다.

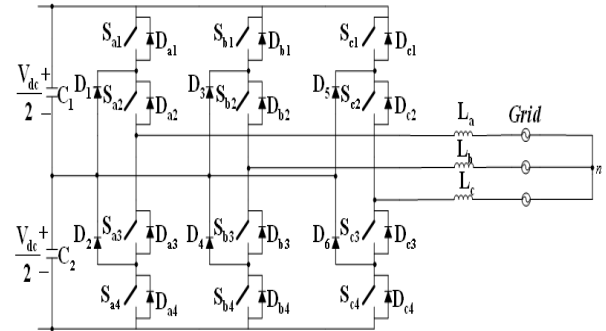


그림 1 계통연계 형 NPC 인버터 시스템
Fig. 1 NPC inverter for grid connected system

표 1 개방성 스위치 고장 발생에 따른 스위칭 상태
Table 1 Switching State in Faulty Mode

고장난 스위치	가능한 상태	불가능한 상태
Sx1	O, N	P
Sx2	N	P, O
Sx3	P	O, N
Sx4	O, P	N

2.2 전류패턴을 이용한 고장진단 방법^[3]

센서를 통해 얻은 3상전류(i_a, i_b, i_c)는 콘코디아 변환(Concordia transformation)을 통해서 고정좌표계 (i_d^s, i_q^s)로 표현된다.

$$i_d^s = \frac{2}{3}i_a - \frac{1}{3}(i_b + i_c) \quad (1)$$

$$i_q^s = \frac{1}{\sqrt{3}}(i_b - i_c)$$

정상운전 상태에서 전류패턴은 원모양을 가지고 있고 고장이 발생하면 고장 난 스위치에 따라 그림 2와 같은 전

류패턴 갖는다. 하지만 계통연계 상황에서는 계통전압의 영향으로 위쪽 2개의 스위치와 아래쪽 2개의 스위치 고장에 따른 전류벡터 모양이 같게 되어 이 방법으로는 고장 난 스위치를 정확히 판별할 수 없다.

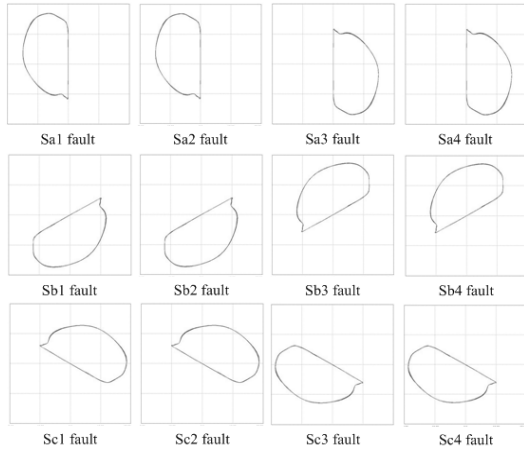


그림 2 고장 상황에서의 전류 패턴
Fig. 2 Current patterns in faulty condition

2.3 제안하는 개방성 고장진단 방법

고장 발생 시 위쪽 스위치들(S_{x1}, S_{x2}) 혹은 아래쪽 스위치들(S_{x3}, S_{x4})에서 가장 큰 차이점은 O 스위칭 상태의 가능 여부이다. 하지만 계통연계 상황에서는 계통전압의 영향으로 O 스위칭 상태 가능여부에 따른 차이가 전류패턴에 나타나지 않는다. 따라서 다음과 같은 스위칭 동작을 추가함으로써 O스위칭 상태의 가능여부에 따른 상전류의 차이로 고장 난 스위치를 판별 할 수 있다.

- 1) 위 쪽 2개의 스위치 중에서 고장이 발생하였을 경우 계통의 전압이 음(-)일 때 짧은 시간동안 O 스위칭 상태를 인가한다. 이때 전류가 흐른다면 S_{x1} 스위치가 고장 난 것이고 전류가 흐르지 않으면 S_{x2} 스위치가 고장 난 것이다.
- 2) 아래 쪽 2개의 스위치 중에서 고장이 발생하였을 경우 계통의 전압이 양(+)일 때 짧은 시간동안 O 스위칭 상태를 인가한다. 이때 전류가 흐른다면 S_{x4} 스위치가 고장 난 것이고 전류가 흐르지 않는다면 S_{x3} 스위치가 고장 난 것이다.

O스위칭 인가시간이 너무 길면 정격전류를 넘을 수 있으므로 주의한다.

제안하는 계통연계 상황에서의 NPC인버터의 개방성 고장진단 절차는 다음과 같다.

- ① 전류패턴 반지름의 변화로 고장발생 여부 판단.
- ② 고장이 발생하였을 경우 전류패턴의 각도를 측정하여 고장이 발생한 스위치의 레그와 스위치의 고장이 위쪽 혹은 아래쪽 스위치들 중에 발생 했는지를 판별.
- ③ 위에서 설명한 스위치 동작을 추가하여 고장 난 스위치의 위치를 판별.

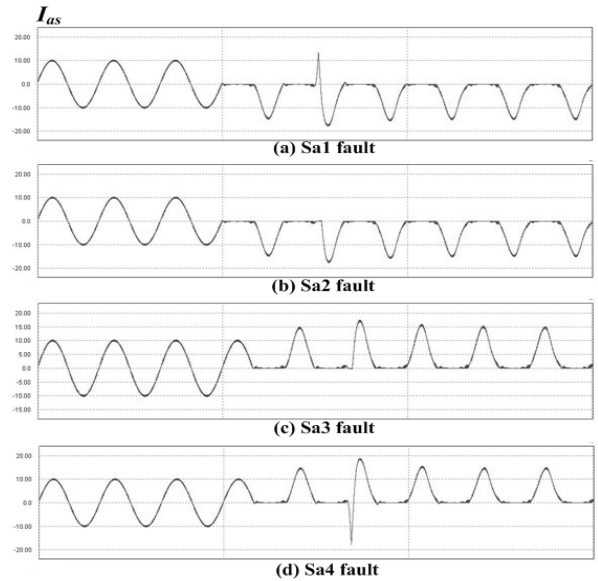


그림 3 제안한 고장진단 방법을 이용한 고장진단 결과파형
Fig. 3 The results of fault diagnosis when the open switch fault occurs

그림 3은 제안된 고장진단 방법을 이용하였을 때의 a상 결과 전류 파형을 나타낸다.

3. 결 론

본 논문은 계통연계 상황에서의 3 레벨 NPC 인버터의 개방성 스위치 고장진단 방법이 제안되었다. 이 방법은 스위치 고장 진단뿐만 아니라 고장 난 스위치의 위치 또한 정확히 판별할 수 있다. 본 방법은 추가적인 센서가 필요하지 않아 비용절감 효과와 기존의 방법에 간단한 스위칭 동작을 추가함으로써 복잡한 계산이 필요하지 않은 장점이 있다. 결과는 10kW급 계통연계 시스템을 모의한 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

이 논문은 2011년도 정부(지식경제부)의 재원으로 한국 에너지 기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20091020300380 12 2 200).

참 고 문 헌

- [1] R.L. de Araujo Ribeiro, C.B. Jacobina, E.R.C. da Silva, and A.M.N. Lima, "Fault Detection of Open Switch Damage in Voltage Fed PWM Motor Drive System", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 18, No. 2, pp. 587-593, 2003, Mar.
- [2] S. M. Jung, J. S. Park, H. S. Kim, H. W. Kim, and M. J. Youn, "Simple Switch Open Fault Detection Method of Voltage Source Inverter", in Conf. Rec. ECCE09, pp. 3175-3181, 2009, Sep.
- [3] Y. J. Ko and K. B. Lee., "Fault Diagnosis of a Voltage Fed PWM Inverter for a Three parallel Power Conversion System in a Wind Turbine", Journal of Power Electronics, Vol. 10, No.6, pp. 686-693, 2010, Nov.