

분산 전원용 전력 변환기기의 고장 검출 및 신뢰성 기법

강 현 수

(에이디티 연구소 수석연구원)

1. 서론

분산 전원(Distributed Generation, DG)은 기존의 집중화된 발전 시스템(Integrated Generation System)과 달리 수용가에 인접해 있고 설비와 계통의 접속점(Point of Common Coupling, PCC)을 통해 전력 계통에 연결되어 있는 전원 설비를 의미한다. 이에 따라 넓은 의미로는 분산 전력 공급원(Distributed Resources, DR)이라 하며 대용량 송전 계통(Bulky Power Transmission System)에 직접 연결되어 있지 않은 전력 공급원을 의미하고 발전 설비와 에너지 저장 설비를 모두 포함한다. 세계적인 경제 침체에도 불구하고 산업, 사회 활동의 증가로 인해 인류의 에너지 및 전력의 수요량은 직전 세대에 비해 급격히 증가하고 있다. 그에 따른 반작용으로 지구 온난화로 인한 환경 비용 증가의 부담과 제한된 매장량을 가진 화석 연료 고갈은 인류의 지속적인 성장뿐 아니라 인류 자체의 생존에 커다란 위협 요인이 된다. 이러한 에너지 현실에 대한 대안으로 분산 전원의 발전 원으로써 신재생 에너지를 비롯한 에너지원의 다변화 및 관련 기술의 연구개발이 점점 중요시되며 가속화 되고 있다. 더구나 에너지원의 다수를 수입에 의존하며 석유 의존도가 60% 이상을 차지하는 우리의 경우에는 이러한 여러 에너지원 다변화 및 분산 발전 시스템의 설비확대와 효율 향상이 반드시 필요하다. 신재생 에너지를 사용하는 분산 전원의 장점으로는 신재생 에너지원

을 사용함에 따라 이산화탄소 방출이 감소되고 에너지의 합리적인 사용이 가능하며 에너지원을 다양화 할 수 있다. 또한 발전 설비 설치의 장소 선정이 용이하고 단기 건설 시간 및 저렴한 자본 비용으로 건설이 가능하며 부하 근접 장소에 발전원이 위치하므로 송전 비용이 감소되는 장점을 가진다.

따라서 이러한 분산 전원 시스템에서는 기본적인 성능뿐 아니라 고효율, 고 신뢰성, 장수명 및 안전성이 매우 강하게 요구된다. 특히 태양광, 연료 전지등을 이용한 전력 변환 사업에 있어서 신재생 에너지원의 안정성 못지않게 전력 변환기(PCS)의 안정성 및 신뢰성은 매우 중요한 요인이 된다. 만약 에너지원 자체의 신뢰성이 확보 되었다더라도 전력 변환기의 신뢰성이 뒷받침되지 않는다면 에너지원에서 생산된 전력을 실제 수용가에 전달하지 못할 뿐 아니라 전체 시스템의 효율 및 안정성을 저해하는 역할을 한다. 따라서 이러한 분산 전원 시스템에서의 전력 변환기의 신뢰성의 확보는 전체 발전 시스템의 신뢰성 및 안정성의 확보와 직결되는 중요한 문제인 것이다.

분산 전원용 전력 변환기에서 효율, 신뢰성, 수명 및 안전성에 영향을 미치는 데는 다양한 요소가 있다. 일반적으로 전력용 반도체 소자를 이용한 전력 변환기는 산업기기, 가전기기 및 통신기기 전원 장치등 전원을 필요로 하는 모든 기기에 널리 이용되어 왔으며, 다양한 제어방법과 소자들의 발명으로 기술적으로 많은 진보가 이루어졌다. 현재까지 전력 변환기

자체적으로 고효율화, 소프트 스위칭, 고역률화, 고밀도화, 소형화, 원가 절감, 신뢰성 향상 등과 같은 성능 및 기능 향상을 위해 많은 연구를 진행하여 급속한 기술 발전을 이룩하였다. 하지만 전력 변환기에서 고장을 검출, 진단하는 방법과 전력 변환기의 성능을 평가하고 전력 변환기의 신뢰성을 확보할 수 있도록 하는 신뢰성 시험은 기존의 전력 변환기의 제어 기술 발전과는 달리 전력 변환기 자체의 안정성 및 신뢰성을 확보하는 중요한 부분이다. 또한 분산 전원 시스템에서도 전체 발전 시스템의 신뢰성과 안정성을 위해서 전력 변환기의 안정성 및 신뢰성을 확보하도록 고장 검출, 진단 기법 및 신뢰성 시험 결과를 분석하고 그에 따라 신뢰성을 확보할 수 있도록 대책을 수립해야 한다. 그러므로 전력 변환기에 대한 정확한 상태 감시와 진단 방법이 점차 요구되고 있다. 이에 따라 관련기술의 단순한 성능 구현에서 최근에는 상태를 정확히 진단하고 신뢰성을 향상시키는 쪽으로 연구의 필요성이 점점증하고 있다.

2. 전력 변환기의 고장 원인 및 영향

전력 변환기의 고장의 종류에는 과전압, 과전류, 온도 상승, 결상, 접지, 이상 제어 발생 등이 있다. 이러한 고장을 감지하여 전력 변환기의 긴급한 상황에서 직접적인 사고를 방지하기 위하여 보호 회로를 설치하여 장치의 이상 동작 시에 사전에 전원공급을 차단함으로써 큰 문제를 발생하지 않도록 한다. 반도체 소자, 인덕터, 커패시터, 구동회로 및 제어회로의 열화 또는 노후화 진단은 전원 장치의 상태를 진단함으로써 전원 장치의 사고를 미리 방지할 수 있고, 교체 및 유지/보수 시기를 결정할 수 있으므로 전원의 안정적인 동작을 확보할 수 있다. 지금까지의 전력변환장치의 진단 기술방법의 특징은 부품별, off-line, 현장실측 데이터 중심, 온도 소음 검출 등의 2차 징후 중심 방법이었다. 각 부품의 열화를 진단하는 방법으로는 가장 쉽게 개별 부품 각각에 대하여 전압 및 전류, 온도의 상태를 측정함으로써 부품의 열화를 진단할 수 있으나, 이는 각각의 부품마다 많은 센서를 필요로 하여 시스템을 복잡하게 하며 시스템의 가격을 상승시키는 요인이 된다. 따라서 고장의 진단 및 감지 시에는 현장실측 데이터 중심으로 단순히 전압과 전류의 절대적인 크기만 기준으로 삼고 있으며 2차적인 징후인 전력 변환기의 소음이나 온도에 의한 진단 기준의 판단 근거로 삼고 있다.

전력 변환기의 고장 진단에 있어서의 최근의 연구 개발 동향으로는 개별적인 부품 진단이 아닌 시스템적인 측면의 진단, on-line 방식의 진단으로 변한다. 또한, 예측된 물리량의 단순 크기만이 아니라, 신호처리기법 등을 이용한 변화의 추이와 과정을 고찰하는 방식으로 진단 방법 등이 변화되고 있다. 하지만 전력 변환기와 같이 수많은 부품과 다른 동작 특

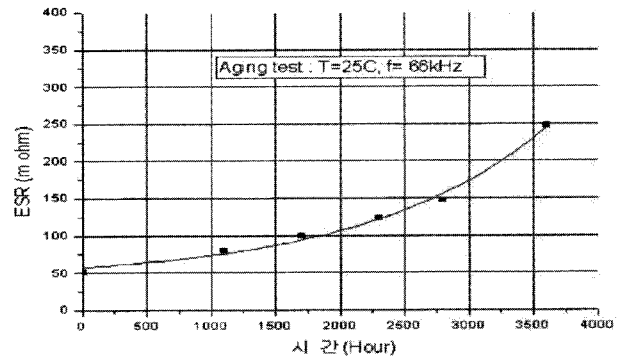


그림 1 열화가속도에 의한 전해콘덴서 등가직렬저항 변화

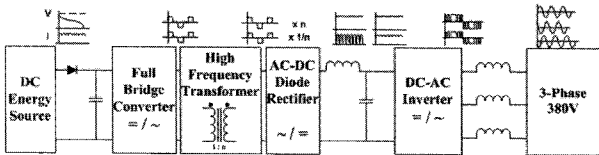
성을 가지는 복잡한 시스템에 대한 이러한 상태를 해석하는 것이 매우 어려운 일이다. 따라서 입력 전류의 신호 처리나 동작 주파수의 스펙트럼 해석 등을 통해 전력 변환기와 부하 기기의 이상을 추정하고자 하는 방법 및 Wavelet 진단과 같이 일부 기법은 실제 구현하기 위해 상당히 복잡한 연산이 필요하며 이를 개선하기 위해 벡터좌표계를 이용한 전력 변환기의 인버터 진단이 제안되기도 한다. 또한 일부에서는 커패시터와 같이 수명에서 취약한 부품에 대한 진단 방법을 소개하였으며 이를 이용하여 전력 변환기에 사용되는 전해 커패시터의 경우 사용 수명 예측이 가능하다. 그림 1은 열화 가속에 의한 전해 콘덴서의 등가 직렬 저항 성분의 변화를 나타낸다. 그림 1에서 25°C에서 스위칭 주파수 66kHz의 조건으로 운전하는 전해 콘덴서의 경우 시간에 따른 ESR 변화량으로 초기 조건에 비하여 4000시간 사용 후 약500%정도의 변화가 있음을 알 수 있다.

현재까지 소개된 이러한 방법들은 장치의 이상이 발생한 뒤의 상황을 판단하는 데에 주안점을 두었으며 전력변환 장치의 소자의 노후나 열화에 의한 이상 징후를 고려한 시스템에 대한 연구는 아직 진행 중이다. 이에 따라, 현재의 전력 변환기에서는 유지 보수를 위하여 임의의 수명 연한을 설정하고 일정하게 교체해 줌으로써 사고 가능성을 낮추고 있다. 이러한 방법을 사용하는 이유로는 전력 변환기가 수많은 부품들로 구성된 복잡한 계의 시스템이므로 특정한 신호로 전체의 상태 판정이 매우 어렵기 때문이다. 하지만 이러한 일정한 주기로 교체하는 방법은 정확한 동작 상태를 파악하고 교체하는 것에 비해 상당한 경제적 손실임과 동시에 미처 대비하지 못한 고장 발생 시 전체 발전 시스템의 안정도에 나쁜 영향을 준다.

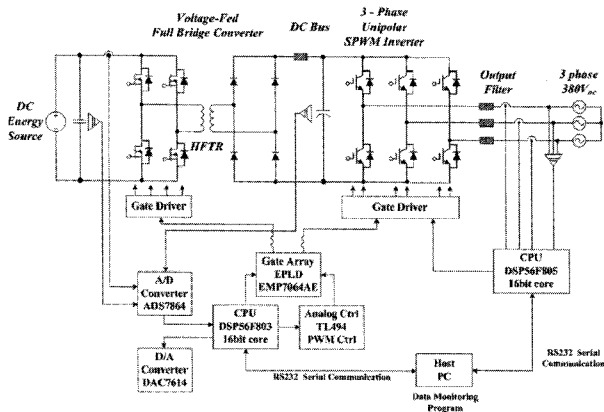
3. 신재생 에너지를 사용한 전력 변환기의 고장 발생 메커니즘

신재생 에너지원의 분산 전원용 전력 변환기 구성은 보통

낮은 입력의 DC 입력 전압을 계통에 연계하기에 적합한 크기로 키우는 DC/DC 컨버터 부분과 이러한 DC전압을 계통에 연계하기 적합한 형태의 크기와 주파수를 가지는 AC 전압으로 변경 시켜주는 DC/AC 인버터 부분으로 나뉜다. 그림 2의 (a)는 이러한 분산 전원용 발전 시스템에서 전력 변환기와 신재생 에너지원을 연결한 전체 시스템 블록도와 각각의 블록에서의 전기적인 전압, 전류 파형을 나타낸다. 그림 2의 (b)에서는 기존에 사용되는 일반적인 신재생 에너지원을 이용한



(a) 신재생 에너지원을 가지는 분산 전원용 발전 시스템 블록도



(b) 전력 변환기 구성도 예

그림 2 분산 전원용 전력 변환기 Block Diagram

분산 전원용 전력 변환기 시스템의 전기적 구성도와 제어블록의 예를 나타낸다.

일반적인 분산 전원용 전력 변환기에서 고장은 크게 전압, 전류 및 발열에 의한 고장으로 나누어진다. 컨버터 및 인버터의 전류에 의한 고장은 보통 전력 변환기의 입력 및 출력단에 장착된 전류 센서를 통해 감지된다. 입력 및 출력단에 장착된 전류 센서를 통하여 DC/DC 컨버터 및 DC/AC 인버터의 스위치 소자에서 단락 고장이 발생한 경우에는 과전류로 인하여 고장을 감지하게 된다. 만약 이러한 과전류를 감지하지 못하게 되는 경우에는 최악의 경우 입/출력단에 설치된 Fuse의 소손에 의해 입/출력단의 컨버터 및 인버터의 고장을 감지한다. 전류에 의한 고장에 따른 추가적인 보호를 위해 DC Link단에 션트 저항을 추가 하여 상 단락과 같은 고장을 검출하여 입출력 게이트 신호를 차단하기도 한다.

분산 전원용 전력 변환기 컨버터 및 인버터에서 전압에 의한 고장은 전력 변환기에서 전압을 센싱하여 감지한다. 입력이 특정 전압 이하로 일정 시간 이상(수백msec이상) 내려가 있는 경우 신재생 에너지원의 셀 보호를 위해 전체 시스템을 강제 차단시킨다. 전력 변환기에서의 입력 전압 기준은 신재생 에너지원의 셀의 특성 전압에 따라 결정되며 연료 전지 및 태양광의 경우 셀의 항복 전압과 최대 출력 가능 전압(OCV, 1.229V per cell)은 개별 사용 설명서에 명기된다. 따라서 컨버터의 입력 전압범위는 이러한 신재생 에너지원의 특성 전압에 맞게 설계된다. 만약 입력 전압의 범위가 신재생 에너지원의 단위 셀이 정상 동작하는 범위를 벗어나게 되면 전체 분산 전원 발전 시스템에서 신재생 에너지원의 보호를 위해 전력 변환기의 강제 차단을 수행한다.

전력 변환기의 인버터에서 전압에 의한 고장 검출은 DC Link 전압의 레벨을 보고 결정한다. DC Link 저전압 고장은 주로 컨버터의 스위치 고장으로 인하여 입력 전압이 DC

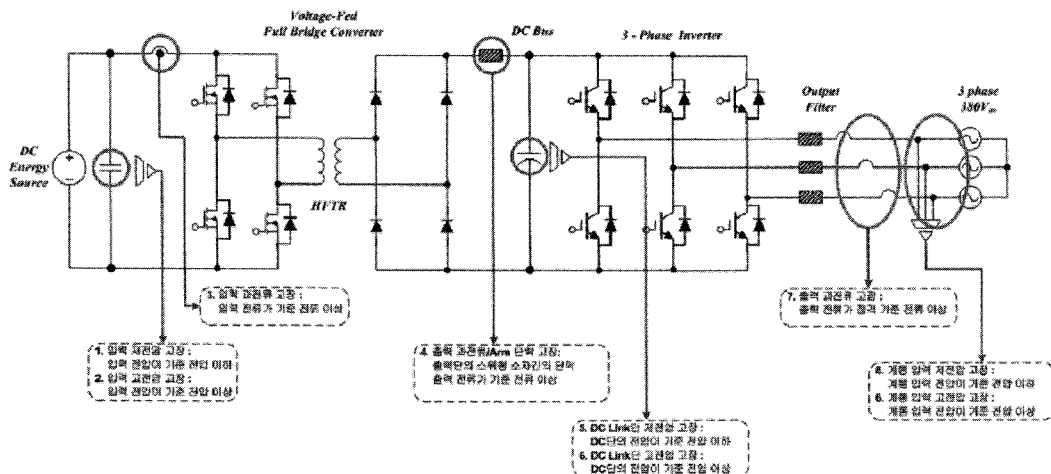


그림 3 신재생 에너지원을 이용한 분산 전원용 전력 변환기 고장 발생의 종류와 원인

Link단으로 전달이 되지 않아 발생한다. 만약 인버터의 출력단의 스위치의 동작이 부적절하게 된다면, 즉 3상 시스템의 경우 3개 이상의 스위치가 동작하지 않거나 단상의 경우 하나 이상의 스위치의 동작이 부적절하게 된다면, 계통에서 흐르는 전류가 DC Link의 커패시터를 충전시키는 방향으로 흐르게 된다. 결과적으로 이러한 경우 DC Link단의 전압이 높아지며 과전압 고장이 발생한다. 따라서 고장이 발생하면 전력 변환기는 인버터 단의 게이트 신호를 차단하여 인버터의 스위치단과 DC단의 커패시터를 보호한다. 또한 만약 3상 시스템의 경우 한 레그(leg)에서 두 개의 스위치가 모두 개방 회로 고장이 발생한다면 이 경우는 3상 시스템이 아닌 단상 계통 연계형 전력 변환기와 동일하게 운전하는 상황이 된다. 이러한 경우 3상 전력 변환기의 출력 전류는 3상 a,b,c의 한 상의 전류가 항상 0으로 출력 된다. 따라서 이러한 경우에는 한상 전류가 항상 0이 되는 상황을 검출한다면 임의의 한 레그(leg)의 개방 회로 고장의 여부를 판단할 수 있다. 그림 3에서는 이상에서 설명한 다양한 종류의 고장과 고장 발생 위치에 따라 검출하는 방법을 그림으로 나타냈다.

이상에서 설명한 전압과 전류에 의한 고장 이외에 전력 변환기에서의 고장은 방열판의 과열에 의한 과열 고장이 있다. 과열에 의한 고장은 기준치보다 높아진 주위 온도 혹은 방열팬의 고장 등으로 인해 컨버터 및 인버터의 스위치 소자(MosFET 및 IGBT)에서 발생하는 발열이 전력 변환기의 방열판 온도를 일정 온도 이상 올라가도록 하여 발생한다. 이러한 경우 전력 변환기는 자체적으로 컨버터 및 인버터의 스위치를 차단하여 열로 인한 스위치의 소손을 막는다. 일반적인 전력 변환기에서 사용하는 세라믹 소자 정선의 최대 온도는 150도 이하로 규정되기 때문에 방열판의 온도는 소자의 케이스 표면 온도 T_c 와 접촉 저항을 고려하여 세라믹 스위치 소자의 정선 온도 T_j 가 135도를 넘지 않도록 설정한다. 이상과 같이 전력 변환기의 컨버터 및 인버터의 하드웨어와 관련된 고장은 모두 컨버터와 인버터가 동작 중에 발생 가능한 상황을 가정하고 이러한 상황이 발생한다면 동작 중에 전력 변환기를 보호 하고자 하는 데 있다.

하지만 전력 변환기의 3상 인버터에서 6개의 스위치 중 하나에 개방 회로 고장이 발생한 경우는 전력변환기 자체적으로 고장을 판단하고 출력을 차단하기에는 어려움이 있다. 이러한 개방 회로 고장의 경우에는 이전에 설명한 다른 종류의 고장과는 달리 전력 변환기 내부의 전류의 값과 전압의 값이 모두 정상 상태의 일정 범위 안에서 동작하도록 나타난다. 즉, 내부의 전압은 모두 일정하고 단지 출력 전류의 실효치만이 전류 지령치와 약간의 오차를 가지고 동작하도록 된다. 따라서 이러한 경우가 발생하면 전력 변환기는 예복된 전류 출력을 가지게 되며 스위치의 개방 회로 고장 상태를 인지하지 못하고 전력 변환기는 스스로 정상상태인 것으로 운전하

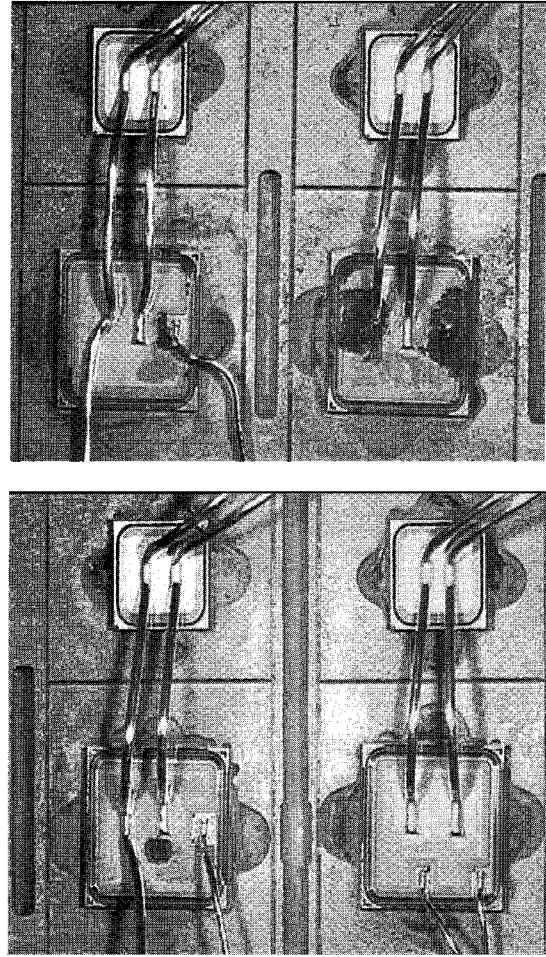


그림 4 단락 회로 고장 소자의 내부 검안 검사 결과

게 된다. 이러한 상태에서는 전력 변환기의 출력 전류는 계통 전원에 영향을 미치고 전체적으로 계통에 공급되는 전류의 TDD가 5% 미만이어야 한다는 IEEE-1547의 규정을 지키지 못하게 된다. 그러므로 소규모의 발전용 분산 전원 시스템에서는 이와 같은 상황이 발생한다면 즉시 발전을 멈추고 고장의 원인을 파악하여야 한다. 따라서 기존의 전력 변환 시스템에서는 이러한 고장을 감지하기 위하여 발전용 인버터에서 기존의 전동기 제어용 인버터에 적용하는 몇 가지 알고리즘을 적용하여 고장을 감지하고 문제를 해결하려고 시도하여 오고 있다.

4. 전력용 반도체 소자의 개방 회로 고장 발생

일반적으로 전력용 반도체 소자의 경우 과전류에 의한 소자의 파손은 과전류에 의해 정선의 온도가 상승되고 이러한 정선 온도의 상승이 일정 온도($T_j = 150$ 도)를 넘으면 열에 의

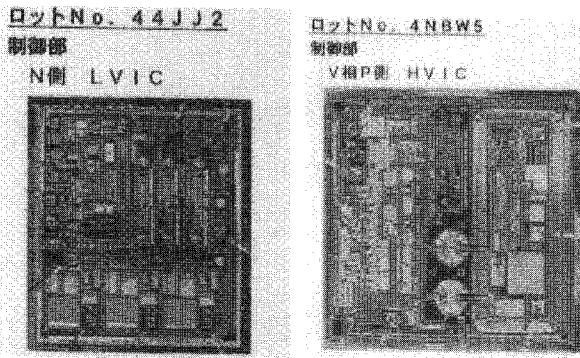


그림 5 (a) EOS에 의한 IPM 개방 회로 고장(LVIC fail)
(b) EOS에 의한 IPM 개방 회로 고장(HVIC fail)

해 반도체 내부의 소자가 소손되기 시작하면서 발생된다. 이러한 경우 소손이 진행되면서 소자는 파괴되어 개방 회로 고장(Open Circuit Fault) 혹은 단락 회로 고장(Short Circuit Fault) 발생된다. 추가적으로 EOS(or ESD)와 같은 외부적인 원인에 의해 반도체 소자에 일정하지 않은 외부 전압이 가해지는 현상에 의해 반도체 소자는 개방 회로 고장을 발생 원인이 된다.

최근 기술에 발달에 따라 기존의 전력용 반도체의 온도 및 전류 정격은 상당히 증가되었으며 Tj(정선 온도)와 Tc(케이스 온도)의 등가 저항은 Base Plate의 재질 및 제작 공정에 따라 상당히 개선되었다. 또한 반도체 소자들의 lead선과 die의 배치 구조 등은 도통 손실을 줄이기 위해 좀 더 출력 편에 가깝게 설계되고 있다. 하지만 이에 비해 EOS에 대한 대책은 아직도 전력용 반도체 사용자의 작업장의 환경, 작업 라인 배치 및 작업자의 숙련도에 따라 좌우된다. 게다가 일반적으로 반도체 공장에서는 제품이 출고 될 때까지는 EOS가 관리하지만 제품의 수송, 통관 및 보관 등에서는 상대적으로 EOS의 관리 요소들이 제거되어 있다. 따라서 실제 전력용 반도체에서 충분히 주의를 기울여 취급하지 않는다면 입력 및 출력 상중에 하나 또는 그 이상이 EOS에 의해 파괴되는 현상이 나타나는 것은 그리 드문 일이 아니다. EOS에 의한 반도체 소자의 파괴는 주로 소자에 개방 회로 고장을 발생 시키며 이는 전력 변환기의 경우 출력 상의 전류 혹은 특정상의 한쪽 방향 전류가 나타나지 않는 현상으로 나타난다.

전력 변환기의 개방 회로 고장 발생 시에는 게이트 신호는 실제로 파워 반도체 소자에 전달되지만 반도체 소자의 개방 회로 고장으로 인해 실제의 게이트 동작을 수행하지 않게 된다. 이러한 경우 계통 연계된 출력에서 보면 개방 회로 고장이 발생한 파워 반도체의 숫자만큼 한 상 혹은 그 이상의 상에서 출력 전류의 왜곡이 발생한다. 3상 전력 변환기의 경우

는 만약 인버터 한상의 스위치가 개방 회로 고장을 발생한다면 나머지 두상의 arm이 정상 동작을 하게 되며 계통에 흐르는 전류의 모양은 해당하는 상의 위치에 따라 반주기의 전류가 없는 모양으로 흐른다. 다음의 그림 4는 ESD에 의해 소손된 파워 반도체 소자의 내부 사진이다.

그림 4에서는 불량 발생된 반도체 소자를 몰드를 제거한 후 반도체 검사를 수행한 결과 IGBT단에서 Emitter metal burnt 불량이 발생된 것을 보여준다. 이러한 불량 현상으로 보면 Emitter metal burnt 불량이 EOS(Electrical Over Stress)에 의하여 단락 회로 고장이 발생된 것으로 추정된다. 다음 그림 5는 EOS로 인해 파워 반도체 소자에서 개방 회로 고장이 발생된 경우이다. 이 경우는 IPM의 게이트 드라이브 회로가 EOS로 인해 소손되면서 개방 회로 고장이 발생 하였다.

5. 전력 변환기의 고장 진단 기법

전력 변환기 진단 기술은 전력용 반도체 스위치의 이상이나 제어기 또는 필터 커패시터 그리고 출력단 기기 이상에 대해 여러 가지 변수 중에서 일부를 추출하여 신호 해석하고 이상 결과를 나타낸다. 이것은 전력 변환기의 상태 감시보다는 사고 발생 및 고장 진단을 알려주는 기능에 국한한다. 일부 주파수 영역이나 신호 처리 프로세서에 의한 진단 알고리즘은 역시 복잡한 연산 과정과 알고리즘에 의해 구현된다. 따라서 경우에 따라서는 탁월하지 않은 결과를 나타내기도 하므로 이를 개선하기 위해 간단한 출력정보를 이용한 벡터 진단이나 신호 진단 기법이 제안되고 있다. 하지만 이러한 방법을 사용하여도 전력 변환기 전체 시스템 중 인버터의 동작 진단에만 국한되는 단점이 존재한다.

5.1 Wavelet 신호 처리 진단 및 주파수 해석 진단 기법

Wavelet 신호 처리 진단기법은 기존의 푸리에 변환 및 창 함수를 이용한 푸리에 변환의 단점을 보완하는 시간 스케일 변환으로 신호 해석을 하는 방법으로 특정한 사고에 의한 정후의 포착이 비교적 정교한 장점이 있다. 측정 변수인 전력 변환기의 인버터 일차측 출력 전류 파형의 변화는 부하 변동이나 사고에 의한 급격한 증가나 감소로 나타나게 된다. DWT(Discrete wavelet transform)는 Silding data window방식으로 그 변화를 감지할 수 있다. 매 단계 마다 window내의 데이터는 연산되고 DWT 계수를 찾아낸다. Wavelet 계수가 주어진 대역을 벗어나는 경우 인버터 전류의 파형에서 변화가 일어났다고 판단하고 사고 상황과 부하 변화를 검출해 낼 수 있다. 주파수 영역에서 진단하는 방법은 여러 가지가 제시되었으며 대표적인 것이 주파수 영역에서 FFT 분석을 통한 이상 주파수를 찾아내는 방법이다.

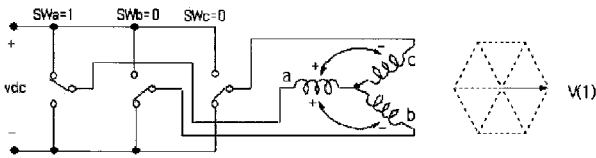


그림 6 인버터 스위칭 벡터 개요도

5.2 Park vector 및 순시 전력에 의한 3상 인버터 진단 기법

전력 변환기에서 출력단의 3상 인버터 스위칭 벡터 궤적은 그림 6에서 예시한 바와 같이 6개의 벡터 성분과 2개의 영상 벡터로 총 8개가 존재하며 정상 동작일 경우 벡터 궤적을 따라 회전하는 형태를 취한다. 따라서 전력 변환기의 인버터 출력에 이상이 발생할 경우 궤적의 대칭비가 달라지며 이를 해석하여 정상적인 동작 유무와 이상 지점의 추적이 가능하다. 따라서 전력 변환기의 인버터에 이상이 발생할 경우에 출력단에서 순시 전력의 비대칭성이 발생하므로 d-q 벡터 궤적에서 역시 이상이 발생하며 이를 이용하여 이상 판정을 할 수 있다. 이 방법은 많은 연산과 해석 과정이 필요한 단점이 있다.

5.3 그 외의 전력 변환기 고장 진단 방법 개요

전력 변환기는 회로 방식과 응용 분야 그리고 제어 방식 등에 따라 세분화할 수 있으며 크게 회로방식으로 분류해볼 때, AC/DC 정류기, DC/AC 인버터, DC/DC 직류변환기로 나뉘볼 수 있다. 세 가지 방식 모두에서 공통적으로 전원 장치의 구성 요소를 전력 회로부와 제어 및 구동 회로부로 나눌 수가 있다. 일반적으로 이러한 전력 변환기의 구성 요소에서 스위치와 커패시터의 분석을 통해서 전력 변환기의 전력 회로 상태를 추정할 수 있다고 볼 수 있다. 전력용 반도체의 특성을 분석하는 데에는 대표적인 세 가지가 있으며 누설 전류, 턴 온 전압, 게이트 동작 전압이다. 따라서 이 세 가지를 실시간으로 알 수 있다면 스위치의 온라인 감시가 가능해진다. 또한 커패시터 역시 노화 및 열화가 되어 감에 따라 ESR 증가, 커패시터 감소, 누설 전류 증가 현상이 나타난다. 그러므로 이 대표 인자를 감시하여 소자 이상을 알 수 있다. 전해 커패시터의 커패시턴스는 노화와 열화에 의해 점차 전해 성분이 감소하여 커패시턴스가 감소하게 되며 ESR 값은 증가하게 된다. 이 중 커패시턴스는 약 10%~25%가량 변화한다.

제어 회로부에서는 제어기 부품의 이상이나 구동 회로의 이상에 의한 스위치가 오동작하는 경우 제어나 구동부의 오동작은 반드시 출력단에서 전압이나 전류의 비대칭 파형을 만들어 내게 되며 이를 감지하여 동작 이상을 알 수 있다. 일반적인 연구에서 전력 변환기에서의 이상을 알 수 있는 대표 인자를 추출할 수 있는 방법들을 고안하며 스위치와 커패시터

의 하드웨어 이상을 감지하기 위해 입, 출력단의 전압과 전류를 분압하여 신호를 얻고 보조회로를 통한 맥동전압 측정으로 변환장치의 필터 커패시터 ESR 변화량을 얻는다. 제어부와 구동부의 동작 이상 역시 입, 출력단에서 분압하여 얻은 신호로 이상을 판독한다.

6. 전력 변환기의 신뢰성 향상 기술의 발전 동향

전력 변환기의 시스템 수명을 측정하기 위한 수명 평가 기법은 수명을 평가하기 위한 신뢰성 시험에서 신뢰성 시험 시간을 단축시키고 신뢰성을 확인을 용이하게 하는 방향으로 계속 발전하고 있다. 이에 따라 전력 변환기의 성능 및 신뢰성 시험조건 중 정상 사용 조건에서 시험하던 것을 높은 스트레스 조건에서 시험하여 고장을 빨리 발생시키는 가속 수명 시험으로 대체하면서 시험 시간을 단축하고 신뢰성의 확인을 용이하게 한다. 가속 수명 시험은 전기적 기계적 부하나 온도, 습도, 전압, 가스, 진동, 분진, 일사량 등의 사용 조건에 따른 Stress를 강화하여 고장 시간을 단축시키는 수명 시험의 한 종류이다. 따라서 전력 변환기에서 제품의 특성이 일정한 경향을 가지고 열화 되는 경우 열화 패턴을 모델링하여 고장에 이르지 않은 상태에서 고장 시간을 예측할 수 있게 함으로써 전체 시험 시간을 단축하고 전력 변환기의 수명을 예상할 수 있다. 이상에서의 가속 수명 시험에서의 고장 유형은 설치 현장의 고장 유형과 유사하게 나타난다.

또한 일반적으로 전력 변환기의 초기 신뢰성을 향상시키기 위하여 초기 결함을 제거하는 방법으로는 고온에 일정 기간 방치하는 번인(Burn In) 시험 위주로 진행되어 왔다. 전기 전자 제품의 환경시험을 통하여 온도 사이클과 랜덤 진동이 초기 결함을 제거하는데 효과적이라는 것이 알려지면서 전력 변환기에서도 온도 사이클 스트레스와 랜덤 진동을 활용한 ESS(Environmental Stress Screening)가 적극적으로 활용되고 있으며 최근에는 ESS를 변형한 HASS가 주목을 받고 있다.

7. 맺음말

분산 전원 발전 시스템을 구성함에 있어 전력 변환기의 안정성과 신뢰성은 전체 발전 시스템의 안정성과 신뢰성을 좌우한다. 전력 변환기의 고장 검출을 위해서 여러 가지 방법들이 시도되고 있으며 동시에 이러한 방법을 통하여 전력 변환기의 고장이 직접적인 사고로 이어지지 않도록 보호 회로를 설계하고 진단 기능을 추가한다. 또한 전력 변환기의 열화 및 노후화 진단 기법의 연구 결과들은 전력 변환기의 유지 보수에 기여할 뿐 아니라 발전 설비가 전원으로서의 안정적인 동작을 하는데 기여한다. 분산 전원용 전력 변환기의 제작 및

이에 대한 신뢰성의 검사 기법 또한 다양한 방법을 통하여 이루어지고 있으며 전력 변환기 제작사들은 이러한 신뢰성 기법들을 통해 전력 변환기의 수명을 예측하고 초기 고장 및 현장에서 고장이 발생하는 확률을 감소시킴으로써 결과적으로 전력 변환기의 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있다. 이러한 방법으로 확보된 전력 변환기의 안정성과 신뢰성은 IEEE-1547 기준에 기술된 몇 가지 신뢰성 시험 및 설비 시험 기준들을 통해 검증된다. 따라서 이러한 시험 결과 분석과 이에 대한 보완 설계로 말미암아 전력 변환기의 안정성과 신뢰성이 보다 높게 유지된다. ■

참 고 문 헌

- [1] A. J. M. Cardoso, "Converter fault diagnosis in variable speed dc drives, by Park's Vector," ISIE'97, pp. 497-500, 1997.
- [2] A. Landi and L. Sani, "Modulating function testing the performance of switchmode converter," IEEE SDEMPED'01 Rec., pp. 195-200, 2001.
- [3] C. Guy and etc., "Cegely's diagnostic tools for electrical drives," IEEE SDEMPED'01 Rec., pp. 85-89, 2001.
- [4] IEEE Std. 1547TM-2003 : IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems
- [5] 분산형 전원 배전계통 연계 기술기준, 2005. 4. 20, 한국전력공사
- [6] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirschen, G. Strbac, "Embedded generation," The Institution of Electrical Engineers.
- [7] 이병국, "연료 전지 분산 전원용 전력 전자 시스템의 개발 현황 및 전망," 전력전자학회지 제8권 6호, pp. 40-45, 2003.12.
- [8] 송중환, "분산 발전 계통에서의 전력품질 규정," 전력전자학회지 제10권 6호, pp. 33-37, 2005. 12.
- [9] 안중보, 김응상, "분산형전원과계통연계기술," Journal of the Electric World, pp. 12-20.
- [10] A. Lahyani and etc., "Failure prediction of electrolytic capacitors of a switch mode power supply," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 13, No. 6, Nov. 1998.

〈 필 자 소 개 〉



강현수(康鉉受)

1971년 9월 23일생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 8월 성균관대 전자 전기 컴퓨터공학과 졸업(공학). 1996년 3월~1999년 11월 LG산전 중앙연구소 주임연구원. 1999년 12월~현재 (주)에이디티 수석연구원. 2009년 9월~현재 성균관대 정보통신공학부 겸임교수.