

보조회로에 의한 인버터 상태 감시

백주원, 이병국, 김태진, 최영길, 김광화
한국전기연구원 산업전기연구단

State monitoring of inverter using auxiliary circuit

J. W. Baek, B. K. Lee, T. J. Kim, Y. G. Choi, G. H. Kim
Industrial Electric Research Center, KERI

Abstract - The diagnosis of power converter using auxiliary circuit connected to output terminal is proposed and verified by experimental results in this paper. On contrary to conventional diagnosis method, the proposed monitoring technique is possible to measure the state of power converter and unbalanced output caused by a misfiring of switch and unusual control signal. Conventional method gives a monitoring approaches for only a unusual operation of power converter. In this paper, three signals with auxiliary circuit are obtained and analyzed to see the state of electrolytic capacitor, power semiconductor switches and output voltage balance. 2kVA inverter is made and tested to verify the proposed circuit.

1. 서 론

전력전자기술의 발전과 더불어 각종 산업현장에 정류기, 인버터, DC/DC 컨버터등 많은 전력변환기들이 사용되어 왔다. 전력변환기는 시스템의 전원공급장치로서 고장에 따른 파급효과가 지대하다. 이에 따라 관련기술의 단순한 성능 구현에서 최근에는 상태를 미리 진단하고 신뢰성을 향상시키는 쪽으로 연구의 필요성이 점점 증가하고 있다.

최근까지 컨버터 진단과 관련한 연구는 사고에 대한 컨버터 상태 판정을 하여 왔으며 입력단 전류의 신호처리, 주파수해석등을 통하여 사고상황을 판정하게 하였다.[1-4]

그렇지만 전력변환기가 어떠한 상태에 있는지에 대한 연구는 이뤄지지 않았다. 수많은 부품과 다른 동작 특성을 가지는 복잡한 시스템에 대한 상태를 해석하는 것이 매우 어려운 일이며 이에 따라 이러한 연구가 거의 이뤄지지 않았다.

본 논문에서는 인버터의 대표적인 소자인 정류커패시터와 반도체 스위치의 상태 판정을 위한 방법을 고찰하고 이의 가능성을 검증하고자 한다. 또한 제어기와 구동회로 그리고 스위치 소자의 오동작을 감지하기 위한 보조회로에 대해 제안한다.

컨버터의 고장 유발 요인은 크게 전력회로 소자에 의한 부분과 제어기와 구동회로에 의한 부분으로 나누어 볼 수 있고 각각의 경우에 대해 이상징후를 포착할 수 있는 방법을 찾아야 한다. 전력회로중에서 반도체 스위치의 오동작과 구동회로의 이상 그리고 제어기의 파변조 또는 신호전달 실패는 제어하는 전력신호의 비대칭을 가져오게 되고 이의 신호를 분석하여 이상을 파악할 수 있다. 그리고 전력회로 소자의 이상은 각 소자의 노화에 따라 변화하는 대표적인 요소를 추출하고 이로써 상태 감시를 할 수 있으며 논문에서는 커패시턴스 변화량과 스위치 누설전류량으로 커패시터와 반도체 스위치 이상을 감시하고자 하였다.

2. 전력변환회로 상태감시

2.1 소자이상 감시.

전력변환장치의 이상을 연속적으로 감시하기 위해서는 소자의 오동작은 물론, 상태 변화까지 알 수 있어야 한다. 기존의 문헌들에서는 일부 스위치소자의 오동작에 대한 전력변환장치의 동작이상을 나타내는 데에 주안점을 두었으며 장치의 상태 감시에 대해서는 연구가 거의 이뤄지지 않았다. 또한 대표적인 소자인 직류단의 커패시터와 전력용 반도체 스위치는 개별적인 검사를 통해 이상 유무를 파악할 수 밖에 없었으며 전체가 조합된 스택에서의 이상 검사는 소개된 바가 없다. 본 논문에서는 전력변환장치에서 소자의 이상을 알 수 있도록 보조회로를 구성하고 이를 통해 얻은 신호로서 이상 유무를 감지한다.

2.1.1 커패시터 상태 감시

전해커패시터는 노화와 열화가 이뤄짐에 따라 크게 세 가지 요소가 나타나게 되며 커패시턴스와 ESR 그리고 누설전류변화량이다.[5] 전해커패시터의 커패시턴스는 노화와 열화에 의해 점차 전해성분이 감소하여 커패시턴스가 감소하게 되며 ESR 값은 증가하게 된다. 이 중 커패시턴스는 약 10%가량 변화량을 임계치로 볼 수 있으며 본 논문에서는 커패시턴스변화를 진단 기준으로 삼았다. 커패시턴스 변화를 측정하기 위해 논문에서는 그림 1과 같은 병렬 측정회로를 구성하여 커패시턴스 변화를 감시하도록 하였다.

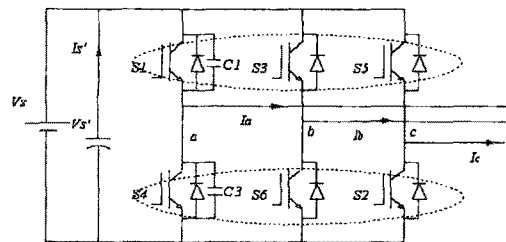


그림 1. 커패시턴스 감시회로

2.1.2 반도체 소자 상태 감시

전력용 반도체의 이상판정은 여러 가지 소자특성 검사를 통해 이뤄진다.[6] 일반적인 반도체 분석 계측기들은 크게 보아서 정, 역전압에 따른 누설전류와 포화전압 그리고 게이트 동작특성을 분석하여 소자의 상태를 계측한다. 이러한 점을 착안하여 전력변환장치에 탑재된 스위치를 개별적인 검사를 하지 않고 전체회로로 결선된 상태에서 누설전류와 포화전압을 분석할 수 있는 방법을 통해 찾고자 하였다.

논문에서는 누설전류 측정을 위한 보조회로를 제안하고 이의 동작을 나타낸다. 보조회로는 커패시터와 출력단 단자와 결선된 저항회로로 구성되며 그림 2에 나타내었다. 이때, 무부하에서 보조회로의 신호값을 측정한다.

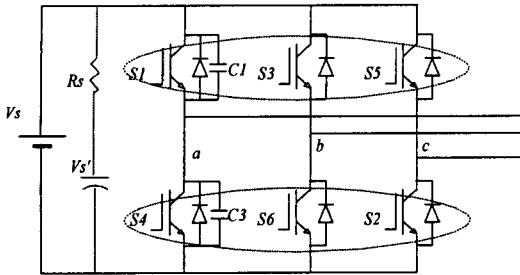


그림 2. 반도체 소자 누설전류측정 보조회로 구성

누설전류의 증가는 소자의 역전압 특성변화를 의미하며 초기치에 비해 100%의 변화가 나타날 때 소자의 이상으로 판단하였으며 이는 IEC47E의 규격을 참고하였다.

2.2 제어기 및 구동회로 감시

전력변환장치에서 제어기의 신호이상이나 과변조와 구동회로의 이상은 스위치의 동작이상을 초래하며 이것은 입력이나 출력전류의 비대칭을 가져온다. 그러므로 전류의 신호해석을 통해 동작이상을 감지할 수 있으며 기존의 문헌에서 여러 가지 방법들이 소개되었다.

대표적인 것으로 wavelet function을 이용한 방법과 park vector를 사용한 제적 분석 그리고 입 출력신호의 주파수 해석 방법등이 있다.

이러한 방법들은 전력변환장치 제어기 자체에 분석 프로그램이 내장되거나 또 다른 전류신호계측을 필요로 한다.

본 논문에서는 입 출력단에 결선한 간단한 저항회로를 통해서 일반적인 컨버터의 동작이상을 알 수 있는 방법을 제안하며 그림 3에 나타내었다.

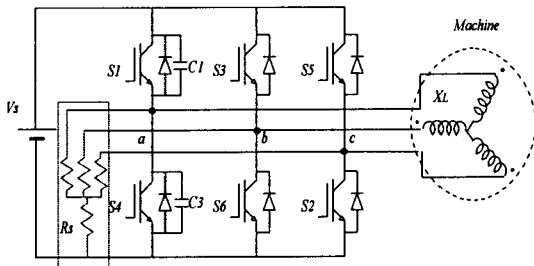


그림 3. 전력변환장치 출력 비대칭 신호 센스회로

보조회로는 3상 출력단자에 연결된 저항회로로 구성된다. 3상의 출력이 대칭을 이루는 경우에는 저항회로에는 일정한 형태의 전압이 나타난다. 반면에 3상의 불균형이 생기면 비례하는 비대칭 전압이 발생하고 이를 이용하여 구동회로와 제어기의 이상을 판단할 수 있다.

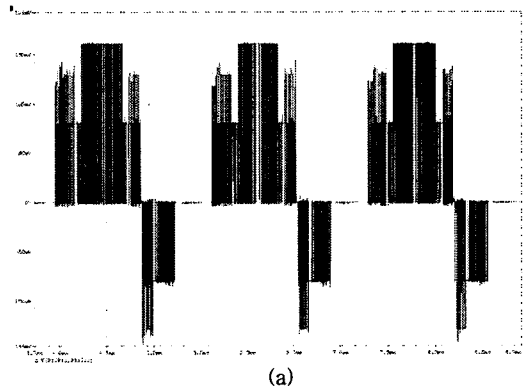
3. 시뮬레이션

보조회로에 의해 3상 출력의 비대칭을 감지하는 회로의 동작을 검증하기 위해 Pspice를 이용하여 회로 시뮬레이션을 하였다. 보조회로의 저항값은 100kΩ과 1kΩ을 직렬로 연결한 뒤에 각 출력단자에 연결하였다. 전체 인버터 회로는 SPWM으로 출력을 제어하게 하였다. 그림 4는 스위치 하나가 동작하지 않거나 오동작하는 경우를

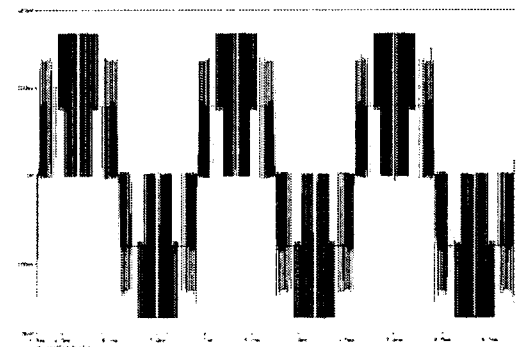
시뮬레이션한 결과 파형이다. 스위치가 제대로 동작하지 않는 경우에는 측정된 신호가 왜형되는 파형으로 나타났다.

표 1. 시뮬레이션 조건

항목	사양
입력전압	단상 220VAC
출력전압	3상
제어방식	SPWM
보조회로 저항	10W, 100kΩ, 1kΩ
부하	6Ω



(a)



(b)

그림 4. 측정회로의 시뮬레이션 과정

(a) 스위치 하나가 동작하지 않을 때

(b) 한 스위치를 과변조한 경우

4. 실험결과

제안한 전력변환장치 감시 진단회로의 동작과 타당성을 검증하기 위해 2kVA 인버터에 보조회로를 결선하고 실험하였다. 인버터의 부하는 저항으로 구성하였으며 구동신호의 하나를 단선하여 이상상황을 연출하였다.

또한 커패시턴스 비에 따라 일정한 비율로 전류비가 얻어짐을 실험을 통해 알 수 있었으며 그림 5에 나타내었다. 즉, 커패시턴스의 변화량을 출력전류 비를 통해 구할 수 있다.

그림 6은 1200V 200A인 전력용 반도체 소자의 누설전류를 측정된 결과이다. 측정 회로에 의해 각 소자마다 일정한 값을 얻을 수 있었으며 변화량이 100%에 도달하는 것을 추종할 수 있었다. 그림 7과 8은 보조회로에 의한 출력의 비대칭 측정파형이다. 그림에서 나타난

바와 같이 정상동작의 경우에는 측정신호가 정현파에 가까운 모양이었으나 스위치 하나가 동작하지 않는 경우에는 오프셋을 갖는 왜형파형이 나타났다. 그림 9에서 측정신호를 FFT 처리한 것을 나타내었으며 정상파형과 비교해 볼 때 다른 주파수대역의 크기가 나타났다.

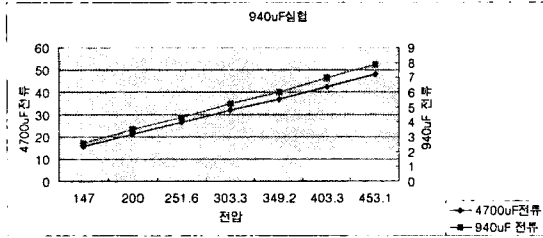


그림 5. 커패시턴스 비에 따른 전류 비

전압 [V]	Is _s 전류 측정	
	20 Mohm	20 Mohm (-)15V
100	3.5~4.5mA	4.6~5.5mA
200	7.7~8.5mA	6.8~7.9mA
300	8.5~9.5mA	9.6~10mA

그림 6. 전력용 반도체 누설전류 측정

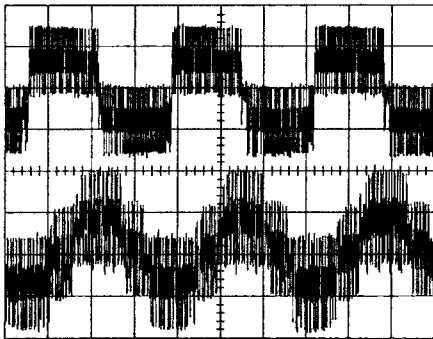


그림 7. 보조회로에 의한 출력 측정신호 (정상동작)
(위 : 측정전압 2V/div. 아래 : 출력전류 10A/div)

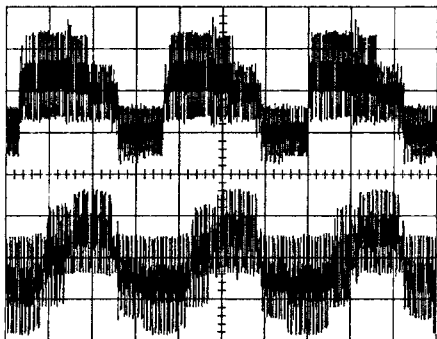


그림 8. 보조회로에 의한 출력 측정신호
(스위치 하나가 동작하지 않는 경우)
(위 : 측정전압 2V/div. 아래 : 출력전류 10A/div)

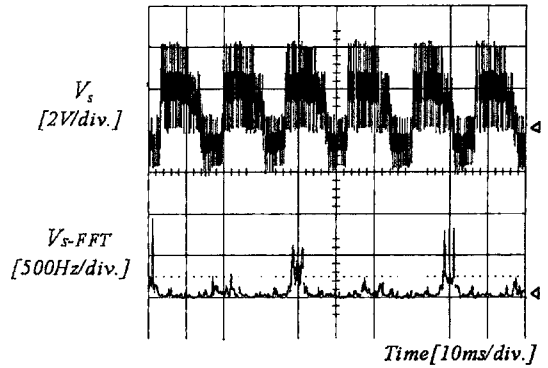


그림 9. 측정신호의 FFT 파형

5. 결론

전력변환장치의 상태 이상을 감지하고 진단하기 위한 보조회로와 신호측정 방법을 제안하고 2kVA 인버터를 이용한 실험을 통해 이의 타당성을 검증하였다. 제안한 방법은 커패시터의 변화량을 측정하는 것과 동작이상을 감지하기 위한 회로 그리고 반도체 소자의 누설전류를 알기 위한 회로를 통해 전력변환장치의 동작과 소자의 이상을 감시하고자 하였다.

전력변환장치는 많은 소자와 제어회로로 이뤄진 복잡한 시스템으로 볼 수 있으며 동작하는 장치의 개별적인 검사가 힘들다. 따라서 제안한 방법은 전체가 조합된 전력변환장치 회로에서 각 소자의 고유한 특성과 출력동작을 추출하고 이를 통해서 진단하고자 하였다.

제안한 회로는 동작이상을 감지하는 비대칭 신호추출, 간단한 신호 해석 가능, 스위치와 전력용 반도체의 상태 감시 그리고 제어기와 구동회로의 이상을 실시간 감시 가능하다.

점차, 산업계 전반에 이용되고 있는 전력변환장치는 유지보수관리의 중요성이 증대하고 있으며 사고에 따른 여파가 지대하다.

그러므로 제안한 방법은 향후 전력변환장치의 진단방안으로 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] M.S. Khanniche and M.R. Mamat Ibrahim, "Fault Detection of 3 Phase Voltage Source Inverter Using Wavelet Transform", IEEE SDEMPED record, pp.207-210, 2001.
- [2] B. Raison, G. Rostaing, J.-p. Rognon, and N. Jerance, "FDI in speed and current controlled induction drives", IEEE SDEMPED record, pp.277-281, 2001.
- [3] Arthur, N.; Penman, J., "Inverter fed induction machine condition monitoring using the bispectrum", Higher Order Statistics, Proceedings of the IEEE Signal Processing Workshop, PP. 67-71, Jul 1997.
- [4] Mamat Ibrahim, M.R. Khanniche, M.S. "Condition monitoring of PWM voltage source inverters" TENCON 2000. Proceedings, Volume 3, PP. 295-299, 2000
- [5] Sankaran, V.A. Rees, F.L. Avant, C.S. "Electrolytic capacitor life testing and prediction", Industry Applications Conference, Thirty-Second IAS Annual Meeting, Volume: 2, PP. 1058-1065, 1997.
- [6] Wuchen Wu, Held, M., Jacob, P., Scacco, P. Birolini, "Investigation on the long term reliability of power IGBT modules", Power Semiconductor Devices and ICs, ISPSD '95. Proceedings of the 7th International Symposium on, PP. 443-448, 1995.