

Adaptive-Linear-Neuron 구조의 ANN을 이용한 3상 PWM 컨버터의 개방고장 진단

김원재, 김상훈

강원대학교 BIT 의료전기전자융합공학

Open Fault Diagnosis Using ANN of Adaptive-Linear-Neuron Structure for Three-Phase PWM Converter

Won-Jae Kim, Sang-Hoon Kim

BIT Electrical & Medical Convergent Eng. Kangwon National Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 ADALINE (Adaptive-Linear-Neuron) 구조의 ANN(Artificial Neural Network)을 이용한 3상 PWM 컨버터의 개방고장 진단 방법에 대해 제안한다. 3상 PWM 컨버터에서 스위치의 개방고장이 발생한 경우 보호회로에 의해 시스템이 중단되지 않으며, 개방고장으로 인한 상전류의 고조파와 직류 성분에 의해 주변 기기에 고장에 의한 파급효과가 나타날 수 있다. 이에 본 논문에서는 ADALINE을 이용하여 각 상의 THD(Total Harmonics Distortion)와 직류 성분 얻고 대소비교를 통해 개방고장이 발생한 스위치를 진단하는 방법에 대해 제안한다.

1. 서 론

3상 PWM 컨버터는 전력 반도체 소자의 스위칭을 통해 입력 전력을 단위 역률 운전이 가능하여 직류 전원 제어를 위해 그 사용이 증가하고 있다.^[1] 하지만 전력 변환 장치의 구성품 중 전력 소자가 32%로 고장 확률이 가장 높으며, 게이트 드라이버도 15%로 스위칭 동작과 관련된 고장이 매우 큰 비중을 차지하고 있다.^[2] 스위치의 단락고장의 경우 과전류로 인해 전력 소자가 소손되거나 차단기, 퓨즈 같은 보호 회로에 의해 전원이 차단되어 시스템이 중단된다. 하지만 개방고장의 경우에는 단락고장과 달리 고장이 발생하여도 시스템이 중단되지 않으며, 개방고장으로 인한 상전류의 고조파와 직류 성분에 의해 주변 기기에 고장에 의한 파급효과가 나타날 수 있다. 따라서 개방고장 발생 시 적절한 대응을 위해서는 개방고장을 진단하는 방법이 필요하다. 이에 본 논문에서는 ADALINE을 이용하여 각 상의 THD와 직류 성분 얻고, 대소비교를 통해 개방고장이 발생한 스위치를 진단하는 방법에 대해 제안한다. 제안된 방법은 푸리에 급수 식을 이용한 방법과 달리 한 주기 내에서 고조파 성분과 직류 성분을 얻을 수 있으므로 고정자 전류 한 주기 내에서 개방고장 진단이 가능하다.

2. ADALINE을 이용한 개방고장 진단

2.1 3상 PWM 컨버터의 개방고장

그림 1은 3상 PWM 컨버터 시스템을 나타낸다. PWM 컨버터는 일반적으로 직류단 전압을 효율적으로 제어하기 위해 계통 전원의 역률이 1이 되도록 각 스위치를 도통한다. 그러나 그림 1에 보이듯이 스위치에 개방고장이 발생한 경우 스위치를

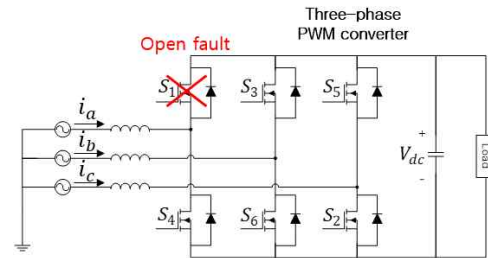


그림 1 3상 PWM 컨버터 시스템

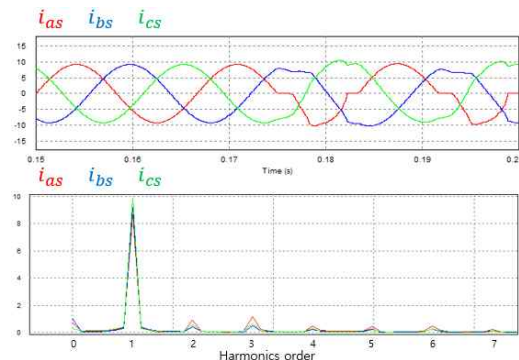


그림 2 S₁ 스위치 개방고장 시 3상 고정자의 전류와 고조파

통한 전류의 흐름이 제한되어 전류 왜곡이 발생하게 된다. 그림 2는 S₁ 스위치의 개방고장으로 인한 3상 고정자의 전류와 고조파를 나타낸다. S₁ 스위치의 개방고장으로 인해 a상 전류의 흐름이 제한되어 2상 도통이 발생함을 알 수 있다. 또한, S₁ 스위치의 개방고장 시 a상의 고조파가 다른 두 상에 비해 크게 증가하며 각 상전류에 직류 성분이 서로 다른 크기로 존재함을 알 수 있다. 이에 본 논문에서는 ADALINE을 이용하여 각 상의 THD와 DC 성분 얻고, 대소비교를 통해 개방고장이 발생한 스위치를 진단하는 방법에 대해 제안한다.

2.2 제안된 ADALINE을 이용한 개방고장 진단

ADALINE은 출력은 입력의 선형 결합으로 표현되며 주어진 입력으로부터 시스템의 출력을 추정함으로써 선형 시스템을 모델링하거나 신호의 선형 분리를 위해 주로 사용된다. ADALINE의 구조가 그림 3에 나타나 있다.

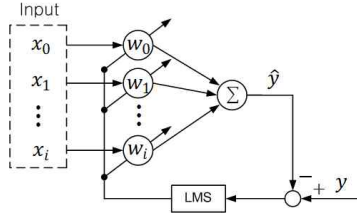


그림 3 ADALINE의 구조

W_i 는 각 입력에 대한 가중치를 나타내며 실제값과 추정값의 오차가 영이 되도록 LMS(Least Mean Square)를 이용하여 W_i 를 선정하게 된다. 그림 3의 ADALINE의 출력을 수식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$\hat{y} = W_0x_0 + W_1x_1 + \dots + W_ix_i \quad (1)$$

식(1)로부터 ADALINE의 출력은 입력과 입력에 대한 가중치 W_i 로 표현됨을 알 수 있다. 따라서, 입력을 상전류를 구성하는 직류 성분과 기본파 그리고 고조파 성분의 기저성분으로 하는 경우 각 성분의 크기를 가중치로써 얻을 수 있다. a상 전류에 대해 직류 성분과 기본파 그리고 고조파 성분의 기저성분을 입력으로 하는 ADALINE의 출력은 다음 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \hat{i}_{as} = & W_{a0} + W_{as1}\sin(\omega t) + W_{ac1}\cos(\omega t) \\ & + W_{as2}\sin(2\omega t) + W_{ac2}\cos(2\omega t) + \\ & \dots + W_{asn}\sin(n\omega t) + W_{acn}\cos(n\omega t) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, n 은 고조파의 차수를 나타낸다. 식(2)로부터 LMS를 통해 얻어진 가중치는 직류 성분과 기본파 그리고 각 고조파 성분의 크기가 됨을 알 수 있다.

표 1은 개방고장 발생 시 모의실험으로부터 얻어진 각 상전류의 THD와 직류 성분의 크기를 비교한 표이다. 제안된 기법은 식(3)에 주어지는 THD와 직류 성분의 크기를 이용하여 표 1에 따라 각 상전류의 THD와 직류 성분의 크기를 비교하여 개방고장이 발생한 스위치를 진단한다.

$$\begin{aligned} THD_i = & \frac{\sqrt{\sum_{N=2}^n (W_{isN}^2 + W_{icN}^2)}}{\sqrt{W_{is1}^2 + W_{ic1}^2}} \\ DC_i = & W_{i0} \quad (i = a, b, c) \end{aligned} \quad (3)$$

3. 모의실험

제안된 방법의 효용성을 검증하기 위해 5kW 220V 3상 PWM 컨버터로 모의실험을 진행하였다. 직류단 전압은 400V로 제어하였으며 스위칭 주파수는 10kHz이다. ADALINE의 입력은 3차 고조파까지 고려하였다. 그림 4는 50% 부하에서 S_1 스위치의 개방고장이 발생한 경우와 S_1 , S_6 스위치의 개방고장이 발생한 경우에 대해 제안된 방법의 모의실험 결과를 나타낸다. 그림 4(a)는 S_1 스위치의 개방고장 상황으로 개방고장으로 인해 각 상의 THD의 크기는 $b, c < a$, 직류 성분의 크기는 $b < c < a$ 로 나타나며 표 1에 따라 S_1 스위치의 개방고장으로 진단하게 된다. 그림 4(b)는 S_1 과 S_6 스위치 개방고장의 상황으로 개방고장으로 인해 각 상의 THD의 크기는 $c < b < a$,

표 1 각 스위치의 개방고장에 따른 THD와 직류 성분 비교표

고장 스위치	THD	직류 성분
S_1	$b, c < a$	$b < c < a$
S_2	$b, c < a$	$a < c < b$
S_3	$a, c < b$	$c < a < b$
S_4	$a, c < b$	$b < a < c$
S_5	$a, b < c$	$a < b < c$
S_6	$a, b < c$	$c < b < a$
S_1, S_2	$c < a < b$	$c < b < a$
S_1, S_3	$c < b < a$	$b < a < c$
S_1, S_5	$b < c < a$	$b < a < c$
S_1, S_6	$b < a < c$	$b < c < a$
S_2, S_3	$c < b < a$	$c < a < b$
S_2, S_4	$c < a < b$	$a < b < c$
S_2, S_5	$b < a < c$	$a < c < b$
S_2, S_6	$b < c < a$	$c < a < b$
S_3, S_4	$a < b < c$	$a < c < b$
S_3, S_5	$a < c < b$	$c < b < a$
S_3, S_6	$a < c < b$	$a < b < c$
S_4, S_5	$a < b < c$	$b < c < a$
S_4, S_6	$a < c < b$	$a < b < c$
S_5, S_6	$a < b < c$	$b < c < a$
S_1, S_2	$(b \approx c) < a$	$a, b, c \approx 0$
S_3, S_4	$(a \approx c) < b$	$a, b, c \approx 0$
S_5, S_6	$(a \approx b) < c$	$a, b, c \approx 0$

직류 성분의 크기는 $b < a < c$ 로 나타나며 표 1에 따라 S_1 과 S_6 스위치의 개방고장을 진단하게 된다. ADALINE을 이용한 방법으로 개방고장 발생 시 입력 계통 전원의 한 주기 내에서 THD와 직류 성분의 크기를 얻을 수 있으므로 입력 계통 전원의 한 주기 내에서 고장 진단이 가능하다.

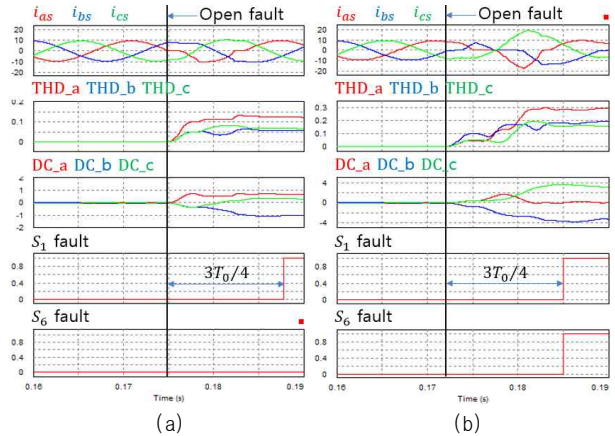


그림 4 제안된 방법의 모의실험 결과

4. 결론

본 논문에서는 ADALINE 구조의 ANN을 이용한 3상 PWM 컨버터의 개방고장 진단 방법에 대해 제안하였다. 개방고장 시 상전류에 THD와 직류 성분이 증가함을 확인하였으며 ADALINE을 이용하여 각 상의 THD와 직류 성분 얻고 대소 비교를 통해 개방고장이 발생한 스위치를 진단하였다. 제안된 방법으로 입력 계통 전원의 한 주기 내에서 개방고장 진단이 가능하다.

참고 문헌

- [1] Sang-Hoon Kim, Electric Motor Control DC, AC, and BLDC Motors, Elsevier Inc. ch.7, 2017.
- [2] Peter de Place Rimmen, "Reliability in Power Electronics," presented at PEDG 2012 'Reliability in Renewable Energy System', Aalborg, Denmark, Jun. 2012.