

신경회로망을 이용한 3 레벨 PWM 전력 인버터의 전류 제어

"구세완***, 최주엽*, 최의*, 목형수***, 서병설**
*한국과학기술연구원 정보전자부, **한양대 전자통신공학과, ***서울산업대 제어계측공학과

Current Control of 3-Level PWM Power Inverter Using Neural Networks

"S.W.Gu***, J.Y.Choi*, I.Choi*, H.S.Mok***, B.S.Suh**

*Div. of Elec. & Info. Tech., KIST, **Dept. of Elec. Comm., Hanyang Univ., ***Seoul National Polytech.

Abstract

The objective of this paper is to present the design of a Neural Network (NN) based optimal pulse-width modulation (PWM) techniques for a three-level power inverter. Considering the importance of safety, power factor and harmonics of power inverters, two-level type and three-level type of power inverters using NNs are precisely investigated and compared in computer simulation.

1. 서론

위상 제어 인버터(phase-controlled inverter)에 의해 PWM (Pulse-width modulation) 인버터의 장점이 최근에 고속철도와 같은 대용량 전력 시스템에 의해 인지되어 왔다. PWM 전력 인버터의 장점은 보다 높은 역률(Power factor)과 낮은 고조파(Harmonics) 함유률을 갖는 데 있다. 몇몇 전류 제어방법 중에서 히스테리시스(Hysteresis) 전류제어 방법은 가장 단순하고 가장 널리 사용되는 방법 중에 한 가지이다. 그러나, 고정 대역 2-레벨 히스테리시스 전류제어 방법은 두 가지 단점이 있는데, 스위칭 주파수가 다양하게 변함으로 인한 인버터의 비규칙적인 동작과 리플 전류가 상대적으로 크다는 것이다. 이로 인해 부하전류에 잡음이 되는 고조파 성분들을 포함하게 된다.

본 논문에서는 2-레벨 히스테리시스 전류제어 방법을 보완한 3-레벨 히스테리시스 전류제어기의 입, 출력 스위칭 패턴을 신경회로망을 이용하여 구현하였다. 최근에 신경회로망과 퍼지 이론을 전력 시스템에 응용한 연구들이 있으며 [1]-[3], 이러한 이론의 한가지 응용분야는 전력변환 장치에서의 PWM 신호처리(Signal processing)이다. 신경회로망의 이점은 복잡분산처리에 의한 빠른 처리 속도, 과실허용(fault tolerance), 외부 환경 변화에 덜 민감한 강인성(Robustness), 학습능력(Learning ability) 등이다. 특히 신경망이 비선형적인 입, 출력 시스템에서 더욱 잘 동작하는 특성을 고려한다면 좋은 방법론이다. 3-레벨 PWM 인버터 구조는 4 개의 스위칭 소자와 2-레벨에 비해 2 개 더 많은 4 개의 다이오드(Diode)로 구성되며[4], 입력측 최대 전압값과 최소 전압값 사이의 중간 값으로 제로-전압(zero-voltage)을 하나 더 설정하여 대역사이의 급격한 변화를 완화시켜 스위칭 손실을 줄일 수 있고, 고

조파 함유률을 감소시키며, 2-레벨 보다 적은 내압을 갖는 전력용 소자를 사용할 수 있다. 3-레벨 PWM 인버터의 경우 영전압을 포함하여 3 가지 전압 레벨이 존재하게 되며, 이를 학습시키기 위해 3 상인 경우, 각각 3 가지 출력값에 대해 27 가지 패턴을 설정한다.

본 논문은 신경망의 27 개의 학습패턴의 타당함을 보이며, 제안하는 3-레벨 PWM 인버터의 신경회로망 제어방법이 2-레벨 신경회로망이나 2-레벨과 3-레벨 고정대역 히스테리시스 방법에 비해 전버터의 입력측 역률(Power factor)을 개선시키며, 고조파성분을 감소시킨다는 것을 모의 실험을 통해 입증한다.

2. 2-레벨과 3-레벨 PWM 인버터

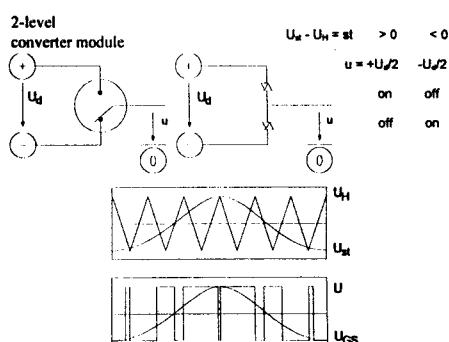


그림 1. 2-레벨 인버터 모듈

그림 1 은 정현파 대역 전류 제어 방법을 이용한 2-레벨 전력 인버터를 보여주고 있고, 그림 2 는 3-레벨 전력 인버터를 나타내고 있다 [5]. 2-레벨의 경우 U_H 와 U_L 두 신호가 만나는 점에서 그의 출력값의 극성을 바꾼다. 정현파 신호 U_H 가 기본파 U_{as} 와 삼각파의 주파수를 결정한다. 3-레벨의 경우는 네 개의 스위칭 소자와 네 개의 다이오드로 구성되며, 2-레벨과 비교하여 영전압(zero-voltage)에서 작동할 수 있는 경우의 수가 하나 더 있고, 이를 위해 정현파 대역 히스테리시스 방법의 경우 두 개의 반송파가 필요하게 된다.

3-레벨은 2-레벨과 매우 유사하게 동작하며, 2-레벨 인버터에 비해 스위칭 손실이 적고, 작은 내압의 소자를 사용할 수 있으며, 낮은 고조파 전류를 갖는 이점이 있다.

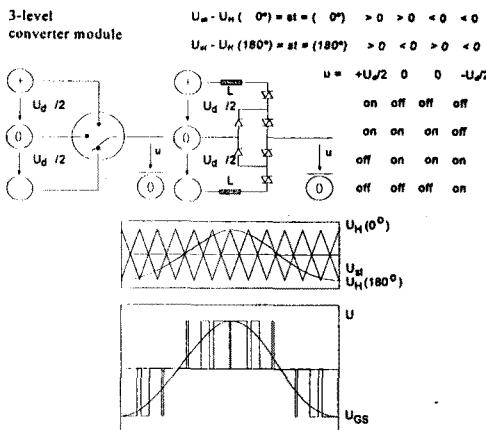


그림 2. 3-레벨 인버터 모듈

3. 신경망 전류제어를 이용한 3 레벨 PWM 인버터

신경회로망을 이용한 2-레벨 PWM 전력 컨버터에 대한 연구는 이미 발표된 바 있다 [1]. 3 상진류인 경우, 신경회로망의 가중치(weights)들을 학습시키는 데 있어서, 전류비교기의 특성을 입출력 특성으로 갖는 정해진 8 개의 학습 패턴에 대해 오프-라인(off-line)으로 학습시킨 다음, 온라인(on-line)으로 동작시킨다. 이 방법은 스위칭 손실을 줄일 수 있었으며, 전류 오차도 줄일 수 있음을 보였다 [1]. 3 상진류 3-레벨의 경우 신경망 비교기를 이용한 전압원 전력 인버터가 그림 3에 보여진다. 신경망 입력 신호는 기준 전류치와 실제 전류치와의 오차이며, 출력신호는 -1, 0, 1의 이진신호이다. 신경망 제어기는 아날로그 입력을 PWM 인버터의 이진 스위칭 패턴으로 매핑(mapping)하는 비선형적인 특성을 갖는다. 1과 1은 각각 입력전압치의 양(positive)의 절반값(half value), 음(negative)의 절반값이 되며, 0은 영전압이 된다.

따라서, 본 논문에서는 3 상진류 2-레벨 PWM에서 8 개의 학습 패턴에 근거하여 3 상진류 3-레벨의 경우 표 1과 그림 4 과 같은 27 개의 학습 패턴을 제안하였다.

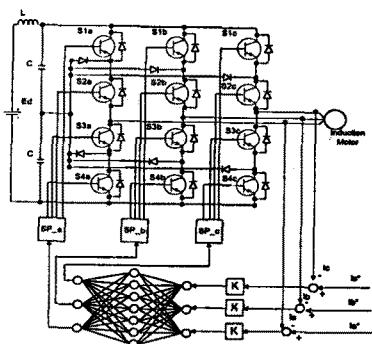


그림 3. 신경회로망을 이용한 전류제어

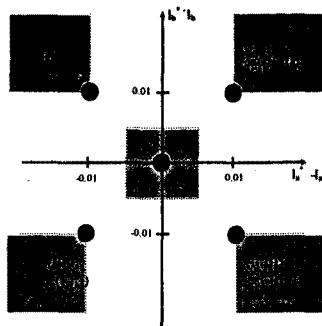


그림 4. 3-레벨 인버터의 신경망 학습 패턴

	INPUT SIGNAL			DESIRED PATTERN		
1	0.01	0.01	0.01	-1.0	-1.0	-1.0
2	-0.01	0.01	0.01	1.0	-1.0	-1.0
3	0.01	-0.01	0.01	-1.0	1.0	-1.0
4	0.01	0.01	-0.01	-1.0	-1.0	1.0
5	0.01	-0.01	-0.01	-1.0	1.0	1.0
6	-0.01	0.01	-0.01	1.0	-1.0	1.0
7	-0.01	-0.01	0.01	1.0	1.0	-1.0
8	-0.01	-0.01	-0.01	1.0	1.0	1.0
9	0.01	0.01	0	-1.0	-1.0	0
10	-0.01	0.01	0	1.0	-1.0	0
11	0.01	-0.01	0	-1.0	1.0	0
12	-0.01	-0.01	0	1.0	1.0	0
13	0.01	0	0.01	-1.0	0	-1.0
14	-0.01	0	0.01	1.0	0	-1.0
15	0.01	0	-0.01	-1.0	0	1.0
16	-0.01	0	-0.01	1.0	0	1.0
17	0	0.01	0.01	0	-1.0	-1.0
18	0	-0.01	0.01	0	1.0	-1.0
19	0	0.01	-0.01	0	-1.0	1.0
20	0	-0.01	-0.01	0	1.0	1.0
21	0.01	0	0	-1.0	0	0
22	-0.01	0	0	1.0	0	0
23	0	0.01	0	0	-1.0	0
24	0	-0.01	0	0	1.0	0
25	0	0	0.01	0	0	-1.0
26	0	0	-0.01	0	0	1.0
27	0	0	0	0	0	0

표 1. 3-레벨 PWM 의 27 개 신경망 학습패턴

4. 모의실험 결과

2-레벨, 3-레벨 각각의 경우에 대해서 고정대역 히스테리시스와 신경회로망 제어기를 비교하여 실험하였다. 신경회로망의 구조는 3-5-3 구조와 3-7-3 구조를 각각 사용하였으며, 역전파학습(error back propagation) 알고리듬(algorithm)을 적용하였다.

모의실험 결과 표 2에서 보여듯이 3-레벨 신경회로망 방법이 가장 우수함을 알 수 있다. 2-레벨의 경우 Total harmonic distortion (THD) 과 전류 오차의 Root mean square (RMS) 는 비슷하지만, 전류오차의 분산값은 신경망이 더 좋은 성능을 나타낸다. 3-레벨의 경우 고정대역 히스테리시스 PWM 보다 신경망이 모든 면에서 더욱 좋은 성능을 갖는다는 것을 알 수 있다.

다음은 모의 실험에서 사용한 파라미터의 값들이다.

Input inductance	$L = 0.005 \text{ H}$
Input resistance	$R = 0.001 \Omega$
Reference current peak-to-peak	$I_{pp} = 100 \text{ A}$
Input D.C voltage	$V_{dc} = 300 \text{ V}$
Approximate Switching Frequency	= 1KHz

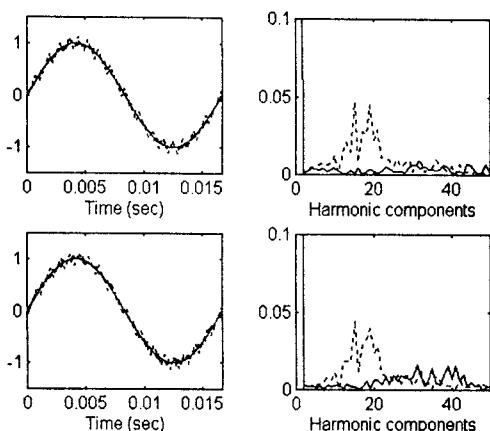
	THD (%)	RMS	VAR
2 - level	9.7286	3.4730	3.0668
3 - level	3.1274	1.1794	0.4115

(a) 신경회로망

	THD (%)	RMS	VAR
2 - level	9.7168	3.4615	11.9940
3 - level	4.8404	1.7338	3.0085

(b) 히스테리시스

표 2. PWM 인버터 제어 방법에 따른 비교값

그림 5. 인버터 출력 전류와 고조파 성분
신경회로망 제어기(위), 히스테리시스 제어기(아래)
(-) 2-레벨, (-.) 3-레벨, (-)기준(reference) 전류

5. 결론

본 논문에서는 3상 PWM 인버터를 3레벨로 구현함으로서 얻어지는 이점과 신경회로망으로 이들을 구현하였을 때의 이점들에 대해서 고찰하였고, 모의실험을 통해 입증하였다. 신경회로망의 경우, 과실 관용, 모델 불확실성(uncertainty), 파라미터 변화(parameter variation) 등에 대한 대처능력이 우수함은 많은 연구에서 알려진 사실이며, 더욱이 본 논문에서 히스테리시스 제어기보다 성능이 우수함을 모의실험을 통해 입증하였다. 특히 3-레벨 신경회로망 제어기를 이용한 PWM 인버터가 가장 우수한 성능을 보였다.

앞으로의 연구는 3-레벨의 경우 중간에 또 하나의 대역을 설정할 때 그 대역폭 설정에서 조작적이고, 죄적이 되는 방법을 연구하여야 한다. 또한, 부하변동에 따른 인버터 동작에 대해서도 연구되어야 하고, 이에 대한 실제 부하에 대한 실험이 뒤따라야겠다.

참고 문헌

- [1] F. Harashima et al., "Application of Neural Networks to Power Converter Control", *IEEE Industrial Applications Society Annual Meeting*, pp. 1086-1091, 1989.
- [2] B.R. Lin et al., "Power Electronics Converter Control Based on Neural Network and Fuzzy Logic Methods", *PESC*, pp. 900-905, 1993.
- [3] S.H. Hosseini et al., "Neural Network Implementation of a three Phase Regulated PWM AC to DC Converter with Input Unbalance Correction", *ICPE*, pp. 647-652, 1995.
- [4] T. Maruyama et al., "A New Asynchronous PWM Method for a Three-Level Inverter", *PESC*, pp. 366-371, 1991.
- [5] H. Stemmler, "Power Electronics in Electric Traction Applications", *IECON*, pp. 707-713, 1993.