

신경 회로망을 이용한 강압형 DC-DC 초퍼의 출력 전압 제어에 관한 연구

배 상준* · 이 달해 · 김 동희
 영남대학교 전기공학과

A Study on the Output Voltage Control for Step-down Type DC-DC Chopper Using Neural Networks

Sang-June Bae* · Dal-Hee Lee · Dong-Hee Kim
 Dept. of Electrical Eng. Yeungnam Univ.

<Abstract> A novel Neural networks controller for Buck type DC-DC converter is presented and compared with the operation of sliding mode coupled several controll strategies for the converter. The connection weights of neural networks are trained by error back propagation algorithm.

The behavior of the controll system that arises from the use of those methods is analyzed from the viewpoint of dynamic and steady state errors and simulation results are presented.

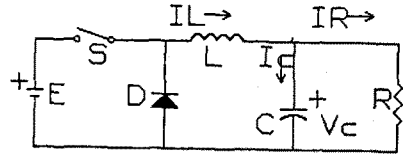
1. 서 론

많은 연구자에 의해 여러 가지 형태의 DC-DC 컨버터가 제안되었고, 이를 제어하는 방법도 다각도로 검토되어 왔다 [1]. 최근에 와서는 신경 회로망 제어기에 대한 관심이 커지고, 비선형 계통의 동정이나, 그의 역을 평가하거나, Plant 의 제어 등과 같은 분야에 많이 응용되고 있지만 [2] ~ [4], 전력변환 장치에 이를 적용한 경우는 찾아보기 어려운 실정이다.

신경 회로망은 기본적으로 특별한 구조를 갖는 Neuron 이라고 하는 비선형 처리 요소들의 상호 접속으로 구성되어 있어서 본질적으로 비선형이고, 학습에 의해 그들의 접속 Weight 를 수정할 수 있는 유연성을 가지므로, 비선형 스위칭 동작에 의해 입출력 관계가 결정되는 전력변환 장치의 제어기로 적용할 수 있다.

본 연구에서는 신경 회로망을 적용한 Buck type DC-DC 컨버터에 대한 제어 방법을 제시하고, Sliding mode 로 제어되는 기존의 제어 방법과 함께 그의 기동 특성과 Dynamic 특성 및 오차 특성을 비교 고찰한다.

2. Buck type 컨버터의 제어 방법



[그림 1] Buck type 컨버터

[그림 1] 은 Buck type 컨버터의 기본회로 Model 이다. 회로의 해석을 간략화하고 회로의 특성 평가에 일반성을 주기 위해 다음과 같은 기준량을 정하면 회로의 변수는 차원이 없는 값으로 나타낼 수 있고 무차원화된 값을 첨자 * 로 나타낸다.

기준 전압 : $E_n = E$, 기준 시간 : $T_n = \sqrt{LC}$,
 기준 임피던스 : $Z_n = \sqrt{L/C}$, 기준 전류 : $I_n = E_n/Z_n$,
 이 회로의 동작은 식 (1) 의 상태 방정식으로 설명된다.

$$\dot{X}^* = A^* \cdot X^* + (B \cdot U)^* \quad (1)$$

여기서 $X^* = [IL^* \quad Vc^*]^T$ 이고, A^* 와 $(B \cdot U)^*$ 는 다음과 같이 된다.

1) 스위치 S 가 ON 인 경우

$$A^* = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -1/R^* \end{bmatrix} \quad (B \cdot U)^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

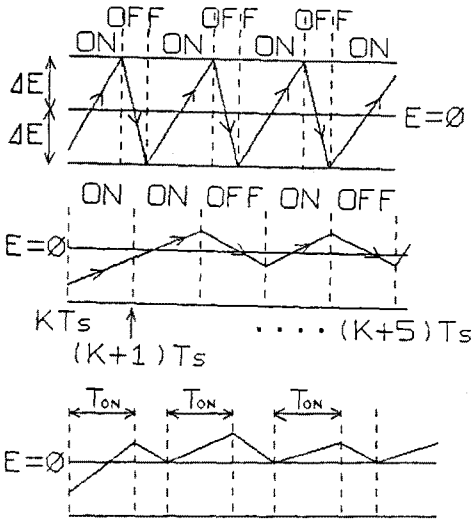
2) 스위치 S 가 OFF 인 경우

$$A^* = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -1/R^* \end{bmatrix} \quad (B \cdot U)^* = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

위의 상태 방정식의 상태변수 오차의 선형 조합으로 나타내지는 스위칭 표면은 식 (2) 으로 나타낼 수 있다 [1].

$$c = \frac{d(Vc^* - Vref^*)}{dt^*} + (Vc^* - Vref^*) \quad (2)$$

여기서 $Vref^*$ 는 일정한 값이고 $\frac{dVc^*}{dt^*} = IL^* - \frac{1}{R^*} \cdot Vc^*$ 이므로 식 (2) 를 다시 정리하면,



[그림 2] Buck type 컨버터의 제어 방법

$$\epsilon = (I_L^* - \frac{1}{R^*} \cdot V_c^*) + (V_c^* - V_{ref}^*) \quad (3)$$

제어 동작은 다음과 같이 정의 된다.

$\epsilon < 0$ 이면 스위치 S 는 ON

$\epsilon > 0$ 이면 스위치 S 는 OFF

이 컨버터의 출력 전압을 Sliding mode 로 제어하는 방법은 Plant parameter 의 변화에 강인한 특성을 가지지만, 스위칭 주파수가 제한되므로 실제 계통이 추종할 수 없다. 따라서 이상적인 경우와 비슷하게 동작시키는 많은 방법이 제안 되었는데, 그 중에서 Hysteresis 방법과, 일정한 Sampling 주파수 방법, 일정한 ON-Time 방법이 양호한 특성을 나타낸다 [1]. 이들의 동작을 간단히 요약하여 [표 1] 과 [그림 2] 에 나타내었다.

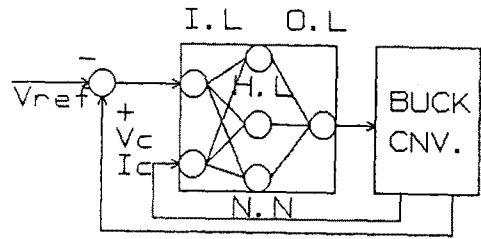
[표 1] Buck type 컨버터의 제어 방법

Control method	Control action	Switch state
Hysteresis method	$\epsilon < -\Delta\epsilon$	ON
	$\epsilon > \Delta\epsilon$	OFF
Constant sampling frequency method	$\epsilon(K \cdot Ts^*) < 0$	ON
	$\epsilon(K \cdot Ts^*) > 0$	OFF
Constant ON-Time method	$\epsilon < 0$	ON
	$\epsilon > 0$ and $t^* > T_{on}^*$	OFF

Remark
 $\Delta\epsilon$: Error between switching surface and actual switching
 K : Integral
 Ts^* : Sampling time interval
 T_{on}^* : Constant time interval

3. 신경 회로망을 적용한 Buck type 컨버터의 제어

[그림 3] 은 식 (1) 의 상태 방정식으로 설명되는 계통의 출력전압 V_c 를 다층 Feedforward 신경 회로망 (FNN) 으로 제어하는 컨버터의 계통도를 나타낸다.



[그림 3] 신경 회로망으로 제어되는 Buck type 컨버터 계통도

FNN 은 입력층, 출력층과 적어도 하나 이상의 Hidden 층으로 구성되고, 각 Neuron 사이의 접속 Weight 는 신경 회로망을 훈련 시키는 Back propagation algorithm(BPA) 으로 알려진 일반화된 Delta rule 을 사용해서 출력 오차가 줄어드는 방향으로 수정된다. 입력과 요구되는 출력 사이에 차이가 없으면 학습은 발생되지 않고 차이가 있으면 Weight 는 다음 식으로 나타내지는 총 평균 자승 오차 E_t 를 최소화 하는 방향으로 변화된다.

$$E_t = \frac{1}{2p} \sum_{pk} (T_{pk} - O_{pk})^2 \quad (4)$$

여기서 T_{pk} 와 O_{pk} 는 각각 P 번째 입력 Pattern 에 대한 출력층의 k 번째 목표값과 실제 출력값이다. 이 오차가 미리 정의해둔 값보다 적어질 때까지 Weight 는 훈련된다.

본 연구에서 사용하는 신경 회로망 제어기의 입력은 출력 Capacitor 의 전압과 전류로서 다음과 같다.

$$In1 = (I_L^* - \frac{1}{R^*} \cdot V_c^*), \quad In2 = (V_c^* - V_{ref}^*)$$

이 입력을 사용해서 BPA 에 의해 Neuron 사이의 Weight 를 새롭게 하는 학습 규칙은 다음과 같다.

$V_c^* - V_{ref}^* < -\Delta\epsilon$ 이면 스위치 S 는 ON

$V_c^* - V_{ref}^* > \Delta\epsilon$ and $I_c^* > \Delta\epsilon$ 이면 스위치 S 는 OFF

$V_c^* - V_{ref}^* > \Delta\epsilon$ and $I_c^* < -\Delta\epsilon$ 이면 스위치 S 는 ON

여기서 $\Delta\epsilon$ 은 오차값을 나타낸다.

4. Simulation 결과

입력층과 출력층의 Neuron 의 수는 제어 입력과 출력의 수에 따라 결정되지만, Hidden 층의 Neuron 의 수를 결정하는 확립된 이론이 없어서, 여러가지 경우에 대해 시험해 본 결과 최적인 Neuron 의 수는 3 개 이었다. [표 2] 는 4 쌍의 학습 Pattern 을 나타낸 것으로서 1, 0 은 스위치의 ON-OFF 상태를 나타낸다. 입력 신호의 ± 0.01 은 Hysteresis 폭이 0.02 인 경우와 비슷하다.

이 학습 Pattern 에 의해서 학습이 끝난 신경 회로망의 Weight 는 출력 전압의 제어 과정 중에는 학습되지 않고 고정된다. 신경 회로망과 비교를 하기 위해 Simulation 한

[표 2] 신경 회로망의 학습 신호

	Input signal		Desired output
1	0.01	0.01	1
2	0.01	- 0.01	1
3	- 0.01	0.01	0
4	- 0.01	- 0.01	1

Sliding mode 제어 방법에 사용된 값들은 다음과 같다.

Hysteresis 방법 : $\Delta \epsilon = 0.01$

일정한 Sampling 주파수 방법 : $T_s^* = 0.05$

일정한 ON-Time 방법 : $T_{on}^* = 0.05$

기존 방법에 의한 것과 학습이 끝난 신경 회로망에 의한

Buck type 컨버터를 Simulation 한 결과인 기동 특성을 [그림 4]에 나타내었다. 신경 회로망 방법의 경우에 상승 시간 (T_r^*)은 2.19로서 Overshoot가 없이 빠른 속도로 정상 상태에 도달하고, 정상 상태 오차 ($V_c^* - V_{ref}^*$)가 0.0014로서 거의 무시할 수 있을 정도로 매우 적다는 것을 알 수 있다.

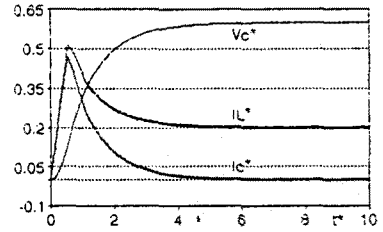
[그림 5]은 Buck type 컨버터의 Dynamic 특성을 나타낸 것이다. 신경 회로망 방법에서 부하가 2 배로 증가한 경우와 부하가 2 배로 감소한 경우의 최대오차는 각각 0.0126 (2%)와 0.00746 (1.2%)로서, 출력 전압은 부하 변화에 관계없이 거의 일정하다고 간주될 수 있다. 그리고 기준 전압을 2 배로 감소한 경우와 2 배로 증가 시킨 경우에 출력 전압의 추종시간 (1%의 오차)은 각각 5.69와 4.24로서 기준 전압의 변화에 대해 빠른 응답을 나타낸다.

5. 결론

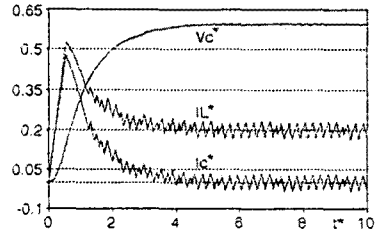
본 연구에서는 Buck type 컨버터의 출력 전압을 제어하는 새로운 신경 회로망 제어기를 제안하였다. Sliding mode algorithm으로 신경 회로망을 학습시키는 방법을 나타내었고, 기존의 제어 방법에 의한 기동 특성 및 Dynamic 특성을 Simulation 한 것과 비교해 본 결과 제안된 방법이 정상 상태 오차 및 Dynamic 특성에 있어서 더 좋은 특성을 나타내었다. 따라서 향후 신경 회로망 소자에 의한 실시간 처리가 가능해지면, 전력 변환장치에 유용하게 적용될 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

[1] B.J.Cardoso Fo, A.F.Moreira, B.R.Nenezes, P. C. Cortizo, "ANALYSIS OF SWITCHING FREQUENCY REDUCTION METHOD APPLIED TO SLIDING MODE CONTROLLED DC-DC CONVERTERS", APEC'92 Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition, pp.403-410.

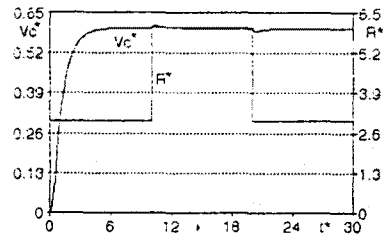


(a) The neural networks method

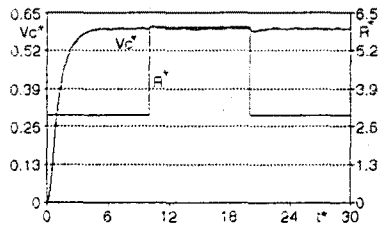


(c) The constant sampling frequency method

[그림 4] Buck 컨버터의 기동 특성



(a) Neural networks method



(c) The constant sampling frequency method

[그림 5] Buck 컨버터의 Dynamic 특성

[2] Jyh-Shing R. Jang, "Self-Learning Fuzzy Controllers Based on Temporal Back Propagation", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol.3, pp.714~723, 1992.

[3] Shin-ichi Horikawa, Takeshi Furuhashi, and Yoshiki Uchikawa, "On Fuzzi Modeling Using Fuzzy Neural Networks with the Back-Propagation Algorithm", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol.3, pp.801~806, 1992.

[4] E. Bernard, "Optimization for training Neural Networks", IEEE Trans. on Neural Networks, Vol.3, pp.232~240, 1992.