

# 퍼지제어기를 적용한 고속철도 급전 계통의 전압 변동 보상기법

김 중규, 양 현석, 이 동명  
홍익대학교 전자전기공학부

## Voltage fluctuation compensation method for power supply system of high-speed rail using Fuzzy controller

Jong Kyu Kim, Hyun Suk Yang, and Dong Myung Lee

School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University, Seoul, Korea

### ABSTRACT

본 연구는 STATCOM을 이용하여 고속철도 급전 계통의 전압 변화를 보상하는 기법에 관한 것이다. 기존의 PI 제어기를 이용한 제어기법을 대신하여 본 연구에서는 퍼지제어기(FLC) 적용을 제안하며, 퍼지제어기와 PI제어기의 제어결과를 비교한다. 퍼지제어기를 통해 내부 파라미터 변동이나 외부의 환경 변화 등 계통의 변화시에 정상상태 편차, 정상상태 도달 시간 등을 최소화 시킬 수 있음을 보인다.

### 1. 서 론

본 연구에서는 무효전력 보상기인 STATCOM을 이용한 고속철도 급전 계통의 전압 변동 보상 기법을 제안한다. 전압 보상을 위한 무효전력 보상기는 PI제어기를 사용하지 않고 시스템 정수의 변동에 따른 영향을 최소화하기 위하여 퍼지제어기를 적용한다. 본 연구에서는 퍼지제어기의 제어법칙과 PI제어기와의 제어 성능을 비교한다. 비교 내용은 내부 파라미터 변동이나 외부의 환경 변화 시, 정상상태 편차, 정상상태 도달 시간 등이며 퍼지제어기를 통한 제어가 PI제어기에 의한 것보다 파라미터 변동 시 보다 원활히 무효전력이 제어가 됨을 보인다. [1]

### 2. STATCOM을 통한 전압 제어

#### 2.1 PI제어기

DC링크단 전압과 그리드 전압을 제어하기 위해서는 각각 유효전력과 무효전력을 제어하여야 한다. 이를 위해 PI 제어기를 이용한 지령치 발생 방식은 그림 1과 같다. 식(1)은 단상 급전시스템의 전압 방정식이며, 식(2), (3)은 PI제어기 적용시의 급전시스템의 s 도메인에서의 수식이다.

$$V_s = R_g i_g + L_g \frac{di_g}{dt} + V_g \quad (1)$$

$$V_s = (i_g^* - i_g) \left( K_p + \frac{K_i}{s} \right) \quad (2)$$

$$(R_g + sL_g)i_g = \left( K_p + \frac{K_i}{s} \right) i_g^* - \left( k_p + \frac{k_i}{s} \right) i_g \quad (3)$$

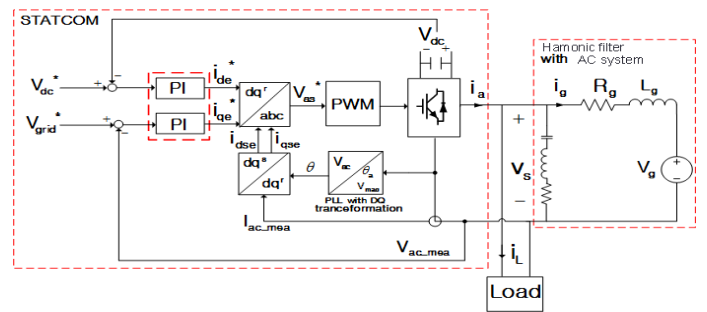


Fig.1 Grid voltage fluctuation compensation scheme with single phase STATCOM system

식(3)의 PI제어기의 계인은 식(4)와 식(5)를 이용하여 설정한다. 실제의 계통 전류  $i_g$ 와 제어목표 전류  $i_g^*$ 의 비 즉  $\frac{i_g}{i_g^*}$ 를 이

용하여  $\frac{\omega_c}{s + \omega_c}$ 의 형태로 정리하면 식(4)와 (5)의 형태로 나올 수 있다[2].

$$k_i = R_g \omega_c \quad (4)$$

$$k_p = L_g \omega_c \quad (5)$$

선로인덕턴스  $L_g$ 와 선로저항  $R_g$ 를 정확히 알고 있을 때는 식(4)와 식(5)의 값을 이용한 계인 값으로 PI제어기를 설정하면 되나, 선로 정수의 변동이 발생하는 경우에는 식(4)와 식(5)의 값을 이용한 기존의 PI제어기로는 계통 전압제어상의 어려움이 발생할 수 있다.

#### 2.2 제안하는 퍼지제어기를 이용한 전압 제어

그림 2와 같은 퍼지제어기를 통해서 계통 전압 제어시에 부하의 변화, 즉  $L_g$ 나  $R_g$  값이 불분명 하여도 퍼지제어기를 이용해 제어가 가능하다.

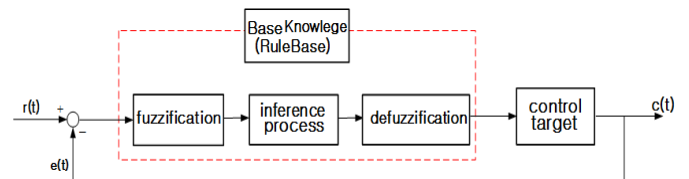


Fig. 2 The block diagram of Fuzzy-controller

Table 1 Fuzzy Rule base for voltage control

Rule Base		$\widetilde{E}_d$				
		NL	NM	Z	PM	PL
$\widetilde{E}_d$	NL	NL	NL	NM	NM	Z
	NM	NL	NL	NM	Z	PL
	Z	NL	NM	Z	PM	PL
	PM	NM	Z	PM	PL	PL
	PL	Z	PM	PM	PM	PL

표 1의 퍼지규칙을 이용하여 전압오차의 소속함수 범위를 기준 전압에 대한 150~150[V]로 설정하였으며 전압오차의 순간 변화 값은 0.004~0.004[V]로 설정하였다. 앞선 과정으로 얻어진 결과 값은 실제 제어값에 들어가기 위해 아래 과정을 통해 크리스프한 값으로 변환하였다[3].

$R_{li}$  : IF “ $\widetilde{E}_d$ ” is “ $A_i$ ” and “ $\widetilde{E}_d$ ” is “ $B_i$ ” THEN “ $\Delta i_{de}^*$ ” is “ $N_i$ ”.

단,  $A_i, B_i, N_i$  : 퍼지 세그먼트(fuzzy segment)에 의하여,

Rule 1 : IF “ $\widetilde{E}_d$ ” is “NL” and “ $\widetilde{E}_d$ ” is “NL” THEN “ $\Delta i_{de}^*$ ” is “NL” ...

Rule 25 : IF “ $\widetilde{E}_d$ ” is “PL” and “ $\widetilde{E}_d$ ” is “PL” THEN “ $\Delta i_{de}^*$ ” is “PL”의 Rule이 구성되며, 비퍼지화 방법으로는 식(6)의 MOM(Mean of maxima)법을 사용하였다.

$$n = \sum_{j=0}^l \frac{\omega_j}{l} \quad (6)$$

### 2.3 Grid 전압 제어 성능 비교

선로정수의 정확한 예측이 어려운 경우의 그리드 출력 전압을 그림 3과 같다. 전압의 최대값이 350[V]를 초과함을 알 수 있다. 그림 4의 경우는 정확한 선로 정수를 이용한 PI제어기의 그리드 출력 전압 값으로 전압의 최대치가 300[V]에 근접한 제어성능을 확인 할 수 있으며 그림 5의 경우는 퍼지제어기를 이용한 그리드 전압출력 값으로 선로정수의 불확실성에도 우수한 제어 성능을 보인다.

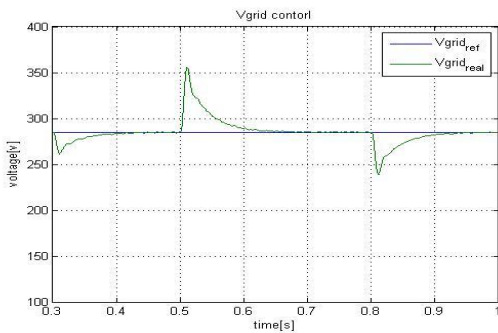


Fig. 3 Grid voltage waveform controlled by PI controller having  $K_p$ , and  $K_I$  gain obtained from Eqs. (4) and (5) with incorrect  $L_g$  and  $R_g$

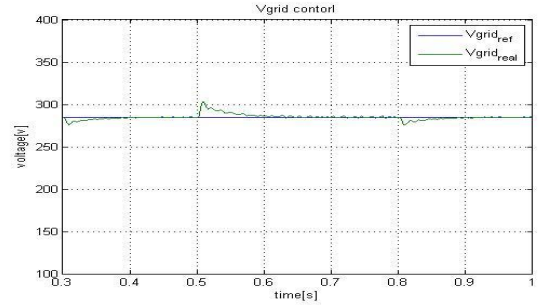


Fig. 4 Grid-voltage waveform controlled by PI controller having  $K_p$  and  $K_I$  gain obtained from Eqs. (4) and (5) with exact  $L_g$  and  $R_g$

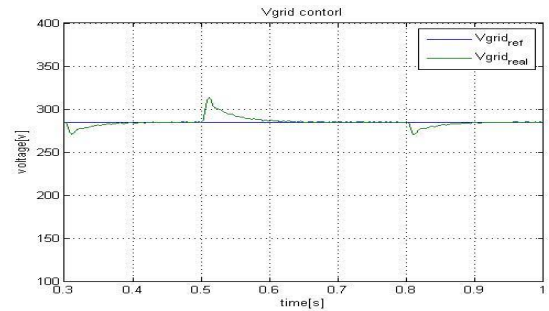


Fig. 5 Voltage waveform using the proposed fuzzy controller

### 3. 결론

본 논문에서는 급전 시스템의 전압 변동을 보상하기 위하여 단상 STATCOM을 적용하였다. STATCOM의 DC링크단 전압과 그리드의 전압은 각각 유효전력과 무효전력의 제어를 통해서 이루어진다. 이 중 PI제어기의 게인 설정에는 그리드 전압 보상기의 경우 그리드 선로 정수의 영향을 받는다. 따라서 본 논문에서는 그리드 선로정수의 변동 등의 영향을 최소화하기 위하여 퍼지제어기를 적용하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여 무효전력 보상기의 경우 변동 가능한 선로정수가 시스템 제어에 영향을 미치는 경우 PI제어기보다 퍼지제어기가 더 나은 제어성능을 보임을 보였다.

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2010 0008884)

### 참고 문헌

- [1] N.G. Hingorani and L. Gyugyi, “Understanding FACTS: concepts and technology of flexible Ac transmission System,” *IEEE Press*, 2000.
- [2] A. Yazdani and R. Iravani, “Voltage-sourced converters in power systems,” *Wiley*, pp. 313-333, 2010.
- [3] B. Yang, J. Wu, X. Lu, and X. He, “An improved DSP-based control strategy with predictive current control and fuzzy voltage control for grid-connected voltage source inverters,” *IECON*, pp. 2296-2300, 2008.