

## 발전기 여자 시스템 속응성 개선을 위한 예측제어 전류 기법

이병구, 홍현문, 최재호, 류홍우  
 충북대학교 전기전자공학부, 한국전력기술원

### Predictive current control for fast response of generator excitation system

B. K. Lee, H. M. Hong, J. H. Choi, H. W. Rhew  
 School of Electrical & Electronics Eng. Chungbuk National Univ.  
 Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - Stable power source and fast control response are important for the generator excitation system. To stabilize the control of excitation circuit the PI controller for excitation current has been used. But the response of the system with this conventional control technique is very poor, especially in transient response with a predictive current control, the response of the excitation system can be improved. In this study, it is verified by the PSIM simulation.

**Keyword:** the excitation system, PI(proportional integrated)

## 1. 서 론

동기 발전기용 정지형 여자 시스템은 발전기 단자로부터 여자용 전원을 인가 받아 계자전류를 제어함으로써 발전기 단자전압을 설정 값으로 조정하고, 무효전력 제어 그리고 계통 안정도 향상을 포함한다. 여자 시스템 제어는 크게 전압제어 루프와 전류제어 루프로 구성되며 내부의 여자회로를 안정화시키고 정밀한 여자전류 제어가 가능하도록 하기 위해 전류제어 루프를 사용하며 일반적으로 지금까지 구현된 대부분의 전류제어기는 PI 제어기로 이루어져 있다. 그러나, PI 제어기와 같은 케환제어는 선형제어 이론에 근거함으로써 컨버터와 같은 비선형적이고 단속적인 요소에는 과도 상태 특성이 만족스럽지 못하게 되는 단점이 있다.[1] 예측제어 기법은 최적의 스위칭 시간을 얻기 위해 기준신호로부터 시변수인 실제전류를 계산하여 이 값을 실제값과 비교하여 두 신호가 같아지는 점에서 스위칭 하는 방식으로써 본 논문에는 시스템을 보다 정밀하고 속응성있게 제어하기 예측제어기법을 사

용하였다.

## 2. 본 문

### 2.1 정지형 여자 시스템

여자 시스템은 여자에기에 전원을 공급하는 방식에 따라 직류(DC) 여자방식, 교류(AC) 여자방식, 정지형(ST) 여자방식의 3가지로 분류할 수 있다.[3] 정지형 여자 시스템은 발전기의 계자 전원을 발전기의 출력단에서 변압기를 통하여 계자에 공급하는 것으로 교류 여자시스템에 비하여 구조가 간단하고 설치가 쉽기 때문에 현재의 여자시스템의 주종을 이루고 있다. 그림 1은 정지형 여자시스템의 기본 구성도인데 본 연구에서는 이를 기본 모델로 사용하였다.

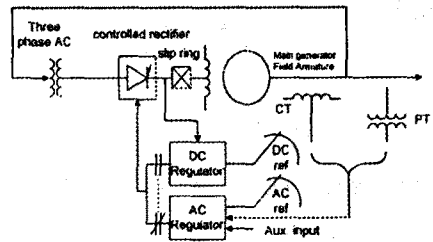


Fig. 1. Potential-source controlled-rectifier excitation system

### 2.2 동기 발전기 모델링

동기발전기의 전기적인 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \psi_d &= -(L_{ad} + L_d) i_d + L_{ad} i_{fd} + L_{ad} i_{1d} \\
 \psi_{fd} &= -L_{ad} i_d + (L_{ad} + L_{fd}) i_{fd} + L_{ad} i_{1d} \\
 \psi_{1d} &= -L_{ad} i_d + L_{ad} i_{fd} + (L_{ad} + L_{1d}) i_{1d} \\
 \psi_q &= -(L_{aq} + L_l) i_q + L_{aq} i_{1q} \\
 \psi_{1q} &= -L_{aq} i_q + (L_{aq} + L_{1q}) i_{1q}
 \end{aligned} \quad (1)$$

동기 발전기 등가회로는 다음과 같다.

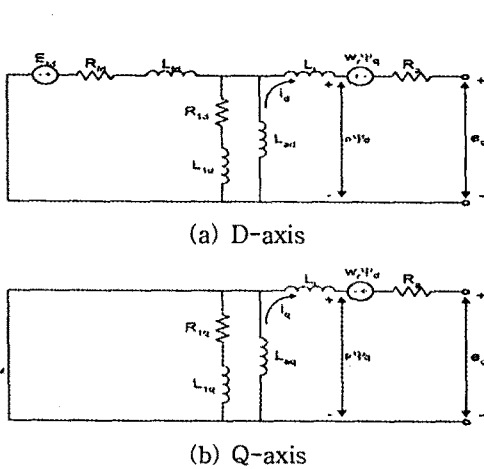


Fig. 2. D-Q axis equivalent circuit

발전기의 전압 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 e_d &= \frac{d}{dt} \psi_d - \frac{d\theta}{dt} \psi_q - R_a i_d \\
 e_{fd} &= \frac{d}{dt} \psi_{fd} + R_{fd} i_{fd} \\
 0 &= \frac{d}{dt} \psi_{fd} + R_{fd} i_{fd} \\
 e_q &= \frac{d}{dt} \psi_q + \frac{d\theta}{dt} \psi_d - R_a i_q \\
 0 &= \frac{d}{dt} \psi_{fq} + R_{fq} i_{fq}
 \end{aligned} \quad (2)$$

### 2.3 예측제어전류기법

빠른 응답성이 요구되는 시스템의 경우에는 내부 제어 루프인 전류 제어기에 의한 고응답성이 이루어 질 수 있다. 예측제어 전류기법은 빠른 응답 특성과 오버슈트가 거의 없다는 장점을 가진다.

모든 소자들이 매 스위칭 주기 동안 일정하다고 놓으면 그림 3를 다음과 같은 미분 방정식으로 표현할 수 있다.

$$\omega L \frac{di_d(x)}{dx} + R i_d(x) = u_d(x) \quad (3)$$

$$(x = \omega t, i_d(x = x_n) = I_o)$$

(단,  $x_n$  = 점호순간,  $I_o$  = 점호순간의 초기치)

식 (3)의 전류의 해는 다음과 같은 두 개의 항으로 표현할 수 있다.

$$i_d(x) = \frac{I_1 \sin(x + \phi)}{I} + \frac{I_2 e^{-\rho x}}{II} \quad (4)$$

I II

(I : 전원에 의한 항 II : 과도항)

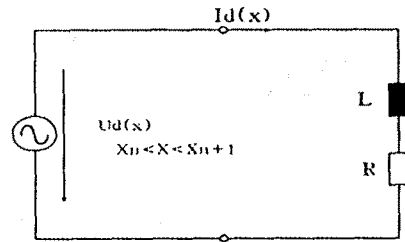


Fig. 3. Equivalent circuit

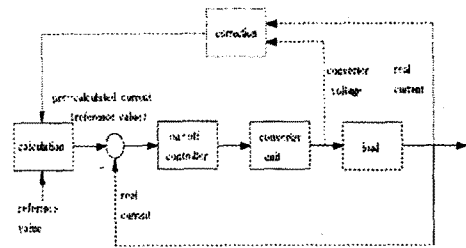


Fig. 4. Block diagram of predictive current controller

예측제어기법에 의해 제안된 컨버터는 그림 4는 컨버터 전류의 예측 계산, 온오프 제어기에 의한 피드백제어, 컨버터, 부하, 파라미터 교정으로 구성된다.

### 3. 모의 실험

그림 5는 동기부하를 갖는 시스템의 구성도이며 동기부하 상수는 표1과 같다.

Table 1. Generator parameter

5[kVA]		
$L_l$	: 0.0027[Ω]	$L_{ad}$ : 0.0342[H] $L_{fd}$ : 0.01[H]
$L_{ld}$	: 0.01[H]	$R_{fd}$ : 0.05668[Ω] $R_{ld}$ : 0.1[Ω]
$L_{aq}$	: 0.0243[H]	$R_{lq}$ : 0.1[Ω] $L_{lq}$ : 0.01[H] a: 35.61

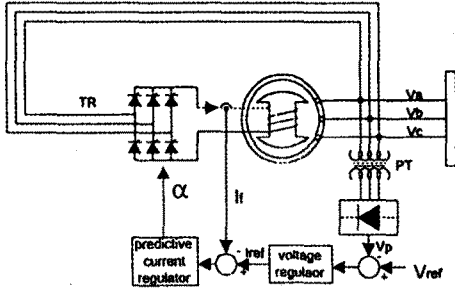


Fig. 5. Configuration of proposed power circuit and control circuit

그림.6에서 R,L 부하에 대한  $I_{dref}=0.4 \leftrightarrow 0.8$  [A]인 경우의 비례적분(PI) 제어기와 예측제어기의 전류 파형이다.

그림.7는 여자전류  $I_{dref}=0.5 \leftrightarrow 0.45$  [A]에 대한 여자기 출력 전류의 응답특성이다.

#### 4. 결 론

본 논문은 정지형 여자기 시스템에서 예측제어 전류기법을 사용하여 그 특성을 고찰하였다. 기존의 전류제어기법들이 비선형적이고 단순적인 요소에는 과도 상태 특성이 만족스럽게 되지 못하게 된다는 단점을 안게 되어 예측제어 기법을 사용하여 최적 스윙칭 타이밍을 얻을 수 있게 하였다.

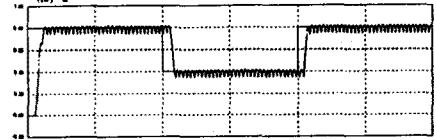
모의 실험을 통해서 속응성의 면에서 기존의 비례적분기(PI) 제어기에 비해서 우수하며 과도상태 특성이 좋음을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] R. Kennel and D. Schröder, "Predictive Control Strategy for Converters," IFAC Control in Power Electronics and Electrical Drives, 1983, pp. 415~422.
- [2] D. Schröder and R. Kennel, "Model Control PROMC-A New Control Strategy with Micro computer for Driv Applications," IEEE-IAS, Annual Meeting Conf. Rec., 1984, pp. 834~839.
- [3] Muhammadh. Rashid, "Power Electronics Circuits, Devices, And Applications," Prentice-Hall International, Inc. 1993

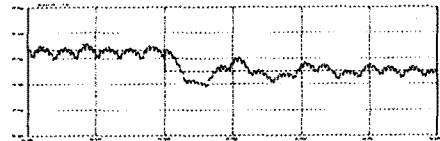


(a)

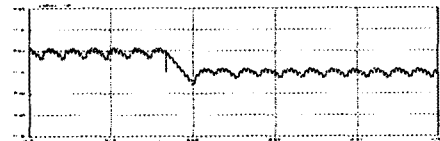


(b)

Fig.6. Converter current ( $I_{dref}=0.4 \leftrightarrow 0.8$  [A]) (a) PI control current (b) predictive control current



(a)



(b)

Fig.7. Excitation current( $I_{dref}=0.5 \leftrightarrow 0.45$  [A]) (a) PI control current (b) predictive control current