

## 자기동조 제어알고리즘을 이용한 정지형 여자제어 시스템에 관한 연구

윤기갑°, 임익현°, 김 찬기°, 김 경철\*, 류 흥우°, 김 흥필\*\*  
전력 연구원°, 홍익 대학교\*, 경일 대학교\*\*

### A study on the static excitation system using Self-Tuning Adaptive Control Algorithm

G.G.Yoon°, I.H.Lim°, C.K.Kim°, K.C.Kim\*, H.W.Rhew°, H.P.Kim\*\*

**Abstract** - A new improved excitation control system for power plant synchronous generators has been developed by KEPRI (Korea Electric Power Research Institute). The reliability of the excitation system is increased by designing a dual channel automatic voltage regulator(AVR). Also the performance of the excitation system is improved by Self-Tuning adaptive Controller. A software package is developed for the excitation control system, and a field test is conducted to verify the system performance.

#### 1. 서 론

반도체 소자 중 다이리스터(Thyristor)의 개발 활용과 함께 정지형 정류기의 역할이 급격히 변화하였다. 다이리스터 정류기는 발전기 계자에 공급하는 여자전력을 직접 제어할 수 있는 소자로서 다이오드와 같이 전류를 한 방향으로만 공급함과 아울러 다이오드와는 달리 공급 전류의 크기를 도통 시점 즉 점호각을 조절함으로써 제어할 수 있다. 여자전력의 크기는 다이리스터의 점호각을 제어함으로써 조정됨에 따라 동기 발전기에 다이오드 전파 정류기를 사용하여 여자전력을 공급하기 위한 교류 발전기인 주 교류 여자기(main AC exciter)가 불필요하게 되었다. 정지형 여자방식에는 다음과 같은 2가지방법이 있다.

- 복권 여자방식
- Thyristor 직접여자방식

또한 여자가가 가져야하는 조건은 다음과 같다.

- 1) 부하단 전압을 일정하게 유지시키는 일.
- 2) 경제적인 송전을 하는 일.
- 3) 안정도가 충분히 확보되게 하는 일.

4) 송전의 신뢰성을 충분히 갖추는 일

#### 2. 본 론

##### 2.1 정지형 여자 시스템

그림 1은 Thyristor 여자방식을 나타내고 있는 것으로 본 방식은 Thyristor 출력으로 직접 발전기의 계자를 제어하기 때문에 계자전원은 통상 발전기의 출력에서 여자용 변압기를 통해 공급받고 있다. 이러한 Thyristor 여자방식은 Thyristor의 점호각을 제어해서 계자전압을 조정하기 때문에 직류 여자방식 혹은 교류여자기 방식과 같이 여자의 계자권선에 의한 시간지연이 없기 때문에 여자시스템 전체의 응답특성이 지극히 빠르다는 장점을 가지고 있다.

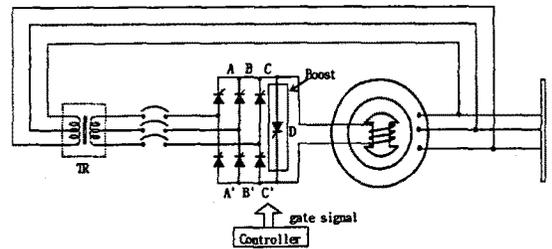


그림 1. 정지형 여자방식  
Fig. 1. Static Exciter type..

이러한 방식은 계통안정화 항상문제, 발전기 축 길이의 단축문제 그리고 보수문제에 있어서 다른 여자기 방식에 비해 우수함으로 최근에 설치되는 발전기에서 주로 채용되고 있다.

##### 2.2 자기동조 PI 제어기의 설계

단일 입출력 시스템을 고려하면

$$A(q^{-1})y(t) = q^{-k-1}B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})\xi(t) \quad (1)$$

여기서,  $y(t)$ :출력,  $u(t)$ :입력,  $\xi(t)$ :noise,  
 $q$ :단위시간 지연연산자

$$A(q^{-1})=1+a_1q^{-1}+\dots+a_nq^{-n} \quad (2)$$

$$B(q^{-1})=b_0+b_1q^{-1}+\dots+b_mq^{-n}, b_0 \neq 0 \quad (3)$$

$$C(q^{-1})=1+c_1q^{-1}+\dots+c_nq^{-n} \quad (4)$$

$C(q^{-1})$ 의 모든 근은 단위원 내부에 있고,  $n \geq m + k + 1$  이라고 가정한다.

이 논문에서는

$$\begin{aligned} \phi(t+k+1) &= P(q^{-1})y(t+k+1)+Q(q^{-1})u(t) \\ &\quad -R(q^{-1})y_r(t) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서,  $y_r$  :  $y$ 의 기준값,  $P, Q, R^{-1}$ 의 다항식  
 $P(q^{-1})$  :  $q^{-1}$ 의 유리함수

$$P(q^{-1}) = \frac{P_N(q^{-1})}{P_D(q^{-1})} \quad (6)$$

$\phi^*(t+k+1)$ 는  $(k+1)$  스텝에서의  $\phi(t)$ 의 예측 모델이라 하면,  $\phi^*(t+k+1)$ 를 0으로 하여 얻어지는 제어입력  $u(t)$ 는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$u(t) = \frac{Ry_r(t) - Fy(t)}{EB + CQ} \quad (7)$$

$$C(q^{-1})P(q^{-1}) = A(q^{-1})E(q^{-1}) + q^{-k-1}F(q^{-1}) \quad (8)$$

$P_D(q^{-1})$ 는 1로 놓을 수 있고,  $C=1$ ,  $G=EB$ 라고 하면

$$u(t) = \frac{Ry_r(t) - \hat{F}y(t)}{\hat{B} + Q} \quad (9)$$

여기서,  $G$ ,  $F$ 는 샘플링 순간  $t$ 에서의  $G(=EB)$ 와  $F$ 의 추정된 값이다.

시간  $t$ 에서  $Qu(t)$ 와  $Ry_r(t)$ 는 알고 있고,  $\phi(t+k+1)$ 의 예측의 문제는  $\phi y(t+k+1) = Py(t+k+1)$ 의 예측으로 줄일 수 있다.

따라서,

$$\phi y(t+k+1) = \hat{F}y(t) + \hat{G}u(t) + \varepsilon(t+k+1) \quad (10)$$

여기서,  $\varepsilon(t+k+1)$ 는 잡음  $\{\xi(t)\}$ 의 이동평균이다.

$$\hat{F} = \hat{f}_0 + \hat{f}_1q^{-1} + \dots + \hat{f}_nq^{-n} \quad (11)$$

$$\hat{G} = \hat{g}_0 + \hat{g}_1q^{-1} + \dots + \hat{g}_{m+k+1}q^{-m-k-1} \quad (12)$$

여기서,  $\hat{F}(q^{-1})$ 와  $\hat{G}(q^{-1})$ 의 추정치는 반복 최소자승법을 사용하여 얻을 수 있다.

(9)식의 자기동조 제어기는 원하는 PI 자기동조 제어기로 하기 위하여 단순화 할 수 있다. 다항식  $F$ 의 차수는 1로 선정되며 다항식  $R$ 은 다음식으로 선정된다.

$$R = \sum_{i=0}^1 \hat{f}_i = \hat{f}_0 + \hat{f}_1 \quad (13)$$

다항식  $Q$ 는

$$\hat{G} + Q = \frac{1 - q^{-1}}{\nu} \quad (14)$$

(9)식으로부터

$$\begin{aligned} \Delta u(t) &= u(t) - u(t-1) \\ &= \nu(\hat{f}_0 + \hat{f}_1)y_r(t) - \nu\hat{f}_0y(t) \\ &\quad - \nu\hat{f}_1y(t-1) \end{aligned} \quad (15)$$

일반적인 디지털 PI제어기는 단위시간 지연연산자의 함수로 표현할 수 있으므로

$$u(t) = K_P(e(t) - e(t-1)) + T_P K_I e(t) \quad (16)$$

여기서,  $T_S$ :샘플링 주기,  $K_P K_I$ :비례적분 이득,

$e(t) = y_r(t) - y(t)$  : 오차

역자제어 문제에서 고려하는  $y_r$ 의 값은 일정값이므로

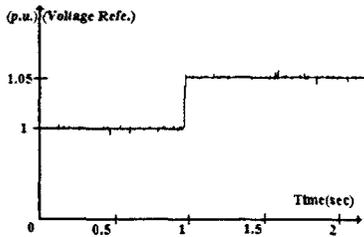
$$\begin{aligned} \Delta u(t) &= T_S K_I y_r(t) - (K_P + T_S K_I)y(t) \\ &\quad + K_P y(t-1) \end{aligned} \quad (17)$$

따라서, 자기동조 PI 제어기의  $K_P$ ,  $K_I$  이득은 다음과 같다.

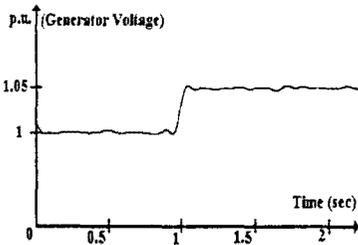
$$K_P = -\nu \hat{f}_1 \quad (18)$$

$$K_I = \frac{\nu(\hat{f}_0 + \hat{f}_1)}{T_S} \quad (19)$$

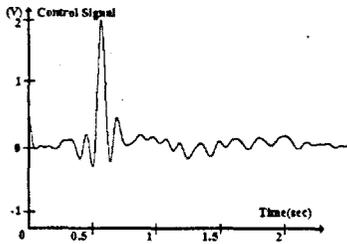
### 3. 실험



(a)



(b)



(c)

그림 2. 적응제어를 이용한 여자시스템의 응답 파형

그림 2는 여자 시스템의 지령값을 5% 스텝-업 시험을 한 경우의 시험파형으로 a)파형은 시스템의 기준신호이며 b)파형은 시스템의 응답 파형 그리고 c)파형은 시스템의 입력 파형을 나타내고 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 여자제어시스템에 적응제어알고리즘을 적용하였다. 여자에 적응제어기를 적용한다는 것은 현재의 시스템 기술로는 큰 의미가 없을 수 있으나 고속 프

로세서를 이용한 여자 시스템이나 보다 다기능화된 여자 시스템에서는 큰 효과를 발휘하리라 본다.

### [참 고 문 헌]

- (1) Jackson, J. Y., "Interpretation and Use of Generator Reactive Capability Diagrams". IEEE Transaction on Industry and General Applications, Vol. CIGRE:7, No6. Nov/Dec. 1971
- (2) Schaefer, R. C., "Voltage Regulator Influence on Generator System Stability". Presented at Waterpower Conference in Denver, Colorado August 1991.
- (3) Everly, T. W., Schaefer, R. C., "Voltage Versus Var/Power Factor Regulation on Hydro Generators", Presented at Waterpower Conference in Portland, Oregon August 1987.
- (4) IEEE Power Generation Committee, "IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control systems". IEEE Std. 421A - 1978
- (5) Schaefer, R. C., "Voltage Regulator Influence on Generator System Stability". Presented at Waterpower Conference in Denver, Colorado August 1991.
- (6) P.M. Anderson and A.A. Fouad, Power System Control and Stability, The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1977.