

# 오토튜닝 기법을 이용한 여자기 전류제어기법 제안

오봉록, 강성현\*, 김광현\*, 최준호\*, 박성준\*  
한국수자원공사, 전남대학교\*

## A Proposal for Exciter current control with auto-tuning technique

Bong Rok Oh, Seong Hyun Kang\*, Gwang Heon Kim\*, Joon Ho Choi\*, Sung Jun Park\*  
Korea Water Resources Corporation, Chonnam National University\*

### ABSTRACT

산업용 발전기의 경우 시판되고 있는 발전기의 용량이 다양하다. 각 용량에 따라 내부 임피던스가 틀려, 하나의 제어기로 각기 다른 용량을 제어할 하는데 어려움이 있었다. 본 논문에서는 여자기의 내부 임피던스를 자동으로 계산하여 하나의 제어기로 각기 다양한 용량을 가진 발전기의 여자기의 전류를 제어하는 방법을 제안한다.

### 1. 서 론

동기발전기의 경우 출력전압의 크기를 제어하기 위해서는 여자기에 여자전류를 제어하여야 한다. 이때, 여자코일의 내부 시정수( $\tau$ )는 발전기의 용량에 따라 상이하다.<sup>[1]</sup> 따라서 플랜트의 내부 임피던스를 측정 할 수 있으면, 측정된 값을 이용하여 플랜트의 시정수를 계산할 수 있으며 이를 오버슈트 값 및 정착시간을 조절 할 수 있는 제어기의 적정 이득 값을 자동적으로 설계 할 수 있다.

본 논문에서는 동기발전기용 여자기의 내부 시정수를 자동으로 추정하고, 이를 이용하여 제한조건 하에서 여자기 제어용 Buck Converter를 여자기 제어기의 전류 제어기를 자동으로 설계하는 것을 목표로 하였다. 또한, PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통하여 제안된 전류제어기의 타당성을 검증하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 내부 임피던스 측정 방법 제안

동기발전기용 여자기의 경우 그림 1과 같이 R, L로 등가회로인 1차 시스템으로 정리 할 수 있다.

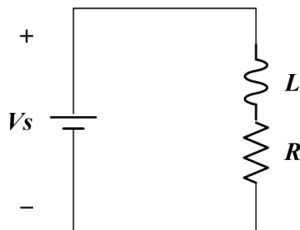


그림 1 동기발전기용 여자기의 R-L 등가회로  
Fig. 1 The basic circuit of R - L load

그림 1의 회로에서 인덕터 전류해를 구하기 위한 KVL방정식은 아래와 같다

$$V_s = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) \quad (1)$$

이 식을 1차 미분 방정식의 해의 형태로 변환하면 아래와 같다.

$$i(t) = \frac{V_s}{R}(1 - e^{-t/\tau}) + i(0)e^{-t/\tau} \quad (2)$$

$$\text{단, } \tau = \frac{L}{R}$$

식 (2) 에서 시정수를 구하기 위해서는 입력전압, 저항에 대한 정보가 필요하게 된다. 만일 시스템의 특성을 파악하기 위해서는 상태전이 조건에서 구하는 것이 간단 할 수 있다. 즉 R L직렬회로에서 초기전류  $i(0)$ 가 흐른다고 가정하면 전류해는 아래와 같이 간단히 주어진다.

$$i(t) = i(0)e^{-t/\tau} \quad (3)$$

따라서 Buck converter를 이용하여 일정 전류를 인가 한 후에 입력 전류를 차단 후 시간에 따라 변하는 전류량을 계산함으로써 간단히 시정수( $\tau$ )를 구할 수 있다.

R값의 경우 전류제어가 안정화된 시점 즉 전류변동이 없는 시점에서 옴의 법칙을 이용하여 구할 수 있다. 따라서 안정상태의 전압 및 전류 값을 이용하여 R을 구한 후 계산된 시정수를 이용하여 L값을 구할 수 있다.

#### 2.1.1 제안된 시정수 측정 시뮬레이션

초기 기동 후 0.2초가 지나면 안정화 되었다고 판단하고 측정되고 있는 전압 및 전류값을 이용하여 R값이 측정된다. 이후 5번의 추정을 통하여 시정수를 구하게 되며, 최종적으로 시정수와 R값을 이용하여 L값이 측정된다.

이 시뮬레이션에서 R,L값은 실제 50kW급 유도발전기 여자기의 실제 임피던스 값을 이용하였으며,  $R = 0.88\Omega$ ,  $L = 250\text{mH}$ 이다.

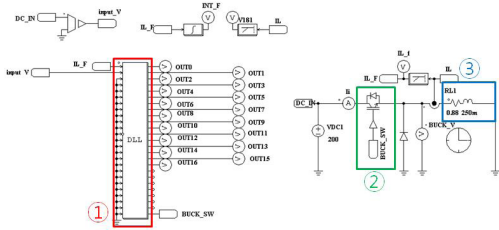
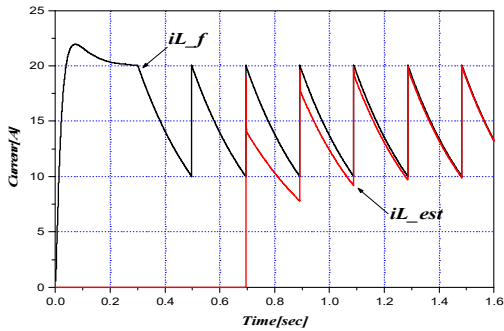
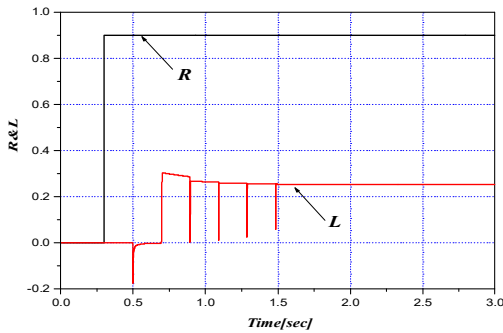


그림 2 시정수 측정을 위한 시뮬레이션 회로도  
Fig. 2 Simulation circuit for the measure of time constant

그림 2에서 ①번은 DLL로 실제 실험에서 MCU와 같은 역할을 하는 부분으로 전압, 전류값 Sensing 및 Buck converter 스위치 소자에 PWM발생을 담당한다. ②는 Buck converter의 스위치 부분으로 이 부분에 입력되는 PWM의 Duty를 이용하여 여자기에 들어가는 전류를 제어하게 된다. ③은 실제 여자기의 임피던스 부분으로 실제 측정할 부하가 된다.



(a)



(b)

그림 3 오토튜닝 추정 특성  
(a) 전류 추정특성 (b) R-L 추정특성  
Fig. 3 Characteristics of auto-tuning estimation  
(a) Characteristics of the current estimation  
(b) Characteristics of R-L load estimation

그림 3은 시뮬레이션 결과 파형으로 (a)는 시정수 값을 측정하는 과정을 보여준다.  $IL\_Filter$ 는 DLL에 저장된 전류값을 나타낸 것으로 0.2초가 지나면 안정화 되었다고 판단하고 0.3초부터 방전을 시작하여 일정한 기울기를 가진 곡선이 7번 반복되는 것을 볼 수 있다.  $IL\_Estimation$ 은 실제 시정수를 측정하는 것을 나타낸 것이다. 총 5번에 걸쳐 측정을 시작하며, PI제어를 통하여 추정오차를 줄여 나간다. 마지막 구간에서는  $IL\_Filter$ 와 동일한 파형을 그리는 것을 볼 수 있다.

그림 3 (b)는 실제 계산된 R,L값을 보여준다. 초기에 안정화

되었다고 판단되는 순간 R값이 먼저 측정되며, 시정수가 측정된 이후에 L값이 측정되는 것을 볼 수 있다. 이때 R의 경우 측정 오차는  $0.02\Omega$ 이므로 약2.3%이며, L의 경우에는 3mH이므로 1.2%오차를 갖는 것을 볼 수 있다.

### 2.1.2 오토튜닝을 이용한 여자기 전류 시뮬레이션

그림 4는 그림 2의 회로도를 이용하여 여자기의 임피던스를 측정 후 전류제어를 하는 시뮬레이션 결과 파형이다.

전류지령치는 50A이며 최대 오버슈트는 50.28A가 출력되는 것을 확인 할 수 있다.

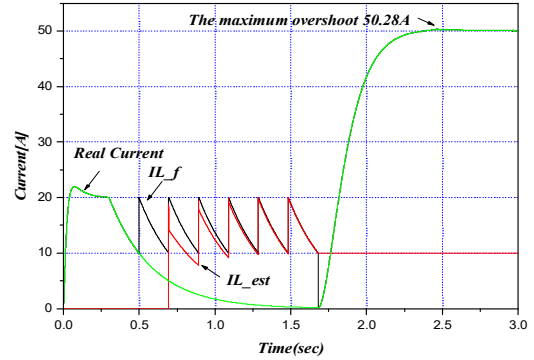


그림 4 전류 제어가 추가된 시뮬레이션 결과 파형  
Fig. 4 The simulation results for the addition of current control

## 3. 결론

본 논문에서는 동기발전기의 출력전압과 직접적인 관련이 있는 여자기의 제어방법에 대하여 제안하였다. 단순히 동기발전기의 여자기 제어뿐만 아닌 L부하가 있는 시스템에 탄력적으로 적용 할 수 있기 때문에, 다른 산업부하의 전류제어기에 활용에도 적용되어 질 것으로 보여진다.

지역혁신인력양성사업
본 논문은 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

## 참고 문헌

[1] Chan Ki Kim, Sang Yul Han and Jin Boo Choo, "Study on the Operating Characteristics of Double Fed Induction Generator Connected AC network", KIPE, Vol. 11, No. 3, pp. 247-257, 2006, April.  
[2] Hansen Jr et al., "Combination exciter/permanent magnet generator for brushless generator system", US patent 4223263, Sep. 1980