

단락발전기 파라미터 추정에 대한 고찰

김선호, 김선구, 노창일, 김원만, 이동준
한국전기연구원

Study on the parameter estimation of short-circuit generator

Sun-Ho, Kim, Sun-Koo, Kim, Chang-Il, Roh, Won-Man, Kim, Dong-Jun, Lee
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - Among many tests to verify the characteristics of power system apparatus, the short circuit test is performed to verify the performance characteristics of the apparatus under the short-circuited power system. The verification of the short-circuit performance is inevitable for the reliability of power system and the safety of the operator around. The short circuit performance test requires the suitable power source and Korea Electrotechnology Research Institute has 4000 MVA, 500 MVA short circuit generators for the short circuit performance test. This paper will study on the parameters of short-circuit generator and the estimation of them.

1. 서 론

전력기들의 성능검증을 위해 실시되는 여러 가지 시험 중 그 기기가 설치될 전력시스템 내에서의 단락상태시 성능을 검증하는 단락시험이 있다. 전력기들의 단락상태에서의 성능검증은 전력시스템의 안정도 및 그 기기들 주위 운전자들의 안전을 위해서는 필수불가결한 것이다. 이러한 전력시스템에 사용되는 전력기들의 단락특성시험을 시험하기 위해서는 그에 상응하는 용량을 갖는 전원설비를 필요로 하며 현재 우리나라에는 단락특성 시험용 전원설비로서 한국전기연구원이 보유하고 있는 4000 MVA 단락발전기 1기와 500 MVA 단락발전기 1기가 있다. 특히 500 MVA 단락발전기는 배전급 이하의 전력기들에 대한 단락시험에 주로 사용되고 있다. 본 논문에서는 단락발전기의 파라미터 및 그 추정에 대한 고찰을 하고자한다.

2. 본 론

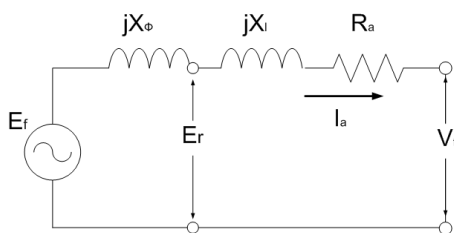
2.1 동기기의 특성 파라미터

2.1.1 동기기의 정상상태 파라미터

정상상태에서의 동기기는 간단한 해석을 위해 포화 및 Saliency에 대한 영향을 고려하지 않는 경우 여자기 자속으로 나타나는 계자권선의 영향과 발전기 출력전압으로 나타나는 전기자권선의 영향을 고려하는 것으로 모델링 되어질 수 있다. 이 때 전기자 권선은 유효저항 R_a 와 총누설 리액턴스 X_l 로 나타낼 수 있다. 여기서 X_l 은 전기자 슬롯 및 코일중단부의 영향 및 실제 전기자의 mmf wave 내의 누설자속등의 영향을 포함한다. 기기 내부 공극자속 ϕ_r 은 계자측 mmf 및 전기자측 mmf의 합으로 고려되어 질 수 있으며 전기자 권선측에서 본 이들 자속 영향은 계자 자속으로 인한 전압 E_f 및 전기자측 영향으로 인한 전압 E_{ar} 로 표현 될 수 있다. 따라서 공극전압 E_r 은 E_f 및 E_{ar} 의 페이저합으로 표현된다. 그리고 E_{ar} 은 유도성 리액턴스 X_ϕ 의 영향인 것으로 고려될 수 있으므로 다음 식(1)과 같이 정상상태 동기기를 표현가능하다.

$$E_r = E_f + E_{ar} = E_f - jI_a X_\phi \quad (1)$$

식(1)를 등가회로로 나타내면 <그림 1>과 같다.



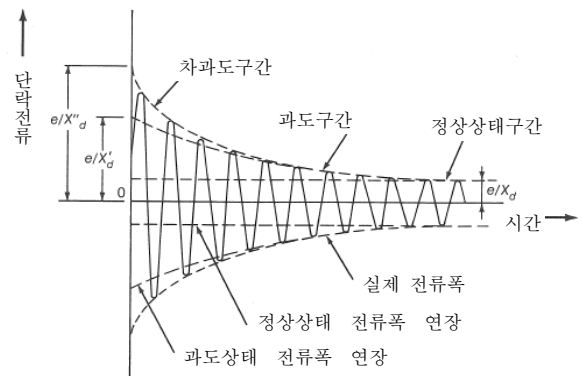
<그림 1> 동기기 정상상태 등가회로

2.1.2 동기기의 과도상태 파라미터

동기기의 리액턴스 및 시정수는 단락전류를 예측하는데 많은 도움을 주는 파라미터이다. 역으로 단락파형은 리액턴스 및 시정수를 찾는 데 활용될 수 있다. 발전기 출력측이 삼상 단락이 된 경우에 계자권선에 의한 계자자속 중 전기자측 쇄교자속은 삼상단락이 발생한 순간 전기자 내부에 갇히게 되며 그 때의 크기는 각 상별로 식(2)과 같은 비를 갖게 된다.

$$\begin{aligned} \lambda_a &\propto \cos(\alpha) & (2) \\ \lambda_b &\propto \cos(\alpha - 2\pi/3) \\ \lambda_c &\propto \cos(\alpha + 2\pi/3) \end{aligned}$$

이 때 α 는 단락이 일어나는 순간 a 상축과 d 축간의 각이다. 이 갇힌 전기자측 쇄교자속은 직류전류를 만들게 되며 이 직류전류는 전기자의 시정수 T_a 에 따라 감소하게 된다. 또한 계자측의 dc 전류에 의한 자속은 삼상의 전기자 전류를 계속 발생시킨다. 이 전류들은 고장전에 대한 선 동기 속도로 회전하고, 계자에 대해선 계자자속의 d축과 동축을 이루며 정지한 상태에 있는 mmf를 만든다. <그림 2>는 동기발전기의 대칭을 이루고 있는 단락전기자전류를 확대한 그림이다. 그림에서처럼 차과도구간은 처음 수 주기 안에 사라지고, 그 감쇄 또한 급격하다. 이에 비해 과도구간은 다소 긴 시간 동안 유지되고, 그 감쇄 역시 조금 더 완만한 양상을 보인다. 그림에 나타난 e는 비포화상태 기기의 개방전압 또는 포화상태 기기의 공극 전압이다.



<그림 2> 동기기의 삼상 단락시 전기자 전류 성분

그림에 나타난 e는 비포화상태 기기의 개방전압 또는 포화상태 기기의 공극 전압이다.

2.2 기기의 파라미터 추정방법

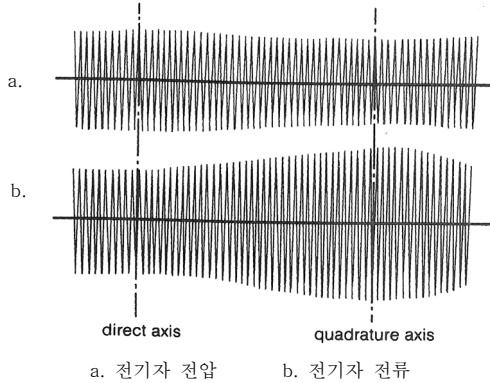
2.2.1 Xd

Blondel의 two reactance theory에 따르면 전기자의 전류 I_a 는 아래와 같은 식(3)으로 표현되어 질 수 있다.

$$I_a = \frac{V_t}{X_d} e^{j\pi/2} + \frac{E_f}{X_d} e^{j(\delta - \pi/2)} \quad (3)$$

위 식을 바탕으로 X_d 값은 slip test로 측정가능하다. 즉, 기기가 여자되지 않은 상태에서 전기자 터미널에 평형상태의 전압을 인가한다. 회전자

는 동기속도에서 약간 벗어나는 속도로 회전시킨다. 그러면, <그림 3>에서처럼 전기자전류는 기기의 slip 주파수에 의해 변조되고 quadrature 축이 mmf 파와 동축에 있는 경우에 그 전기자 전류크기가 최대값을 갖고, direct 축이 mmf파와 동축에 있는 경우 그 전기자 전류크기가 최소값을 갖게 된다. 또 이 때 전기자의 전압 역시 slip 주파수에 맞춰 변조되고 전기자 전류가 최소일 때 최대값을, 전기자전류가 최대일 때 최소값을 갖게 된다. 여기서 Xd 값은 최대 전압의 최소전류에 대한 비로서 계산된다. 참고로 Xd 측정은 동기기의 개방회로특성곡선 및 단락회로특성곡선에 이해서도 구하여 질 수 있다.

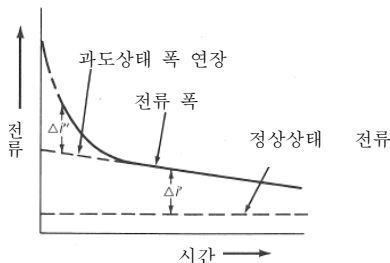


<그림 3> Slip test

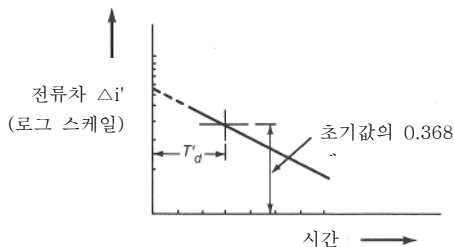
2.2.2 Xd', Xd''

Xd' 및 Xd''은 각각 <그림 2> 과도구간 전류폭 연장선의 X축 값 및 차과도구간 전류폭 연장선으로부터 계산 되어질 수 있다. 물론 시스템의 제작시에 설정된 제조자 제시 값이 있으나, 이미 설치된 시스템의 파라미터는 시간의 경과로 인해 다소간의 변동이 발생가능하므로 실제 설비에 대한 측정 및 그 측정된 오실로그래프의 정확한 분석을 통해 현재 설비의 값을 추정해 내는 것이 설비 운영 및 유지보수 측면에서 필요하다고 하겠다. 따라서 정확한 측정시스템 및 데이터 연장선의 유추에 필요한 적절한 알고리즘 개발이 필요하다.

2.2.3 Td', Td''

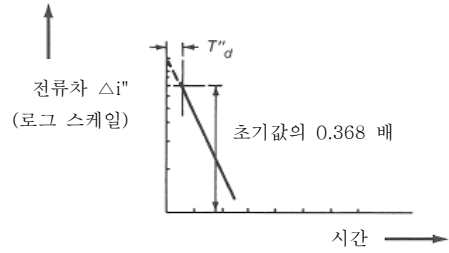


<그림 4> 대형단락전류의 폭



<그림 5> Δi'

<그림 4>는 대형단락전류의 폭을 나타낸다. 이에 나타난 전류차 Δi'는 <그림 5>에서 과도상태전류폭과 정상상태 전류폭의 차를 시간에 대한 함수로 표시되었다. Δi''은 차과도상태폭과 과도상태폭의 차를 나타내며 이 값의 시간에 대한 함수가 그림 <6>과 같다. 그림에서와 같이 시정수 Td'과 Td''은 그들의 초기 값에 0.368배에 해당하는 값을 읽음으로써 구해 질 수 있다.



<그림 6> Δi''

2.3 KERI의 500 MVA 발전기

KERI의 500MVA 발전기는 배전급 및 저압 개폐기 부하개폐시험, 배전급 및 저압 개폐기 차단시험, 변압기 단락강도시험, 변압기 및 개폐기 특성시험, 그리고 기타 여러 전력기기들의 단시간전류시험에 활용되고 있다. 이 발전기의 전기적 특성을 살펴보면 표 1과 같다.

<표 1> KERI의 500 MVA 발전기 전기적 특성

항목	특성값
정격 출력	3Φ 500/600 MVA in 3 cycle
단락 출력 (60 Hz)	<ul style="list-style-type: none"> • 945 MVA at 1/2 cycle • 770 MVA at 1 cycle • 600 MVA at 3 cycle
정격 주파수	50/60 Hz
극수, 회전수	2 극, 3000/3600 rpm
출력전압 (Y/Δ)	12.5 kV / 7.2 kV
여자 시스템	Static Excitation System, 3Φ 1,000VAC/240VDC 790ADC
임피던스 (500 MVAbase)	Xd = 850 % Xd' = 100 % Xd'' = 70 %

전력기기들의 단락상태에서의 성능검증을 위해 사용되는 단락발전기는 단락시험이 진행되는 시간 동안은 단락발전기로의 기계적 입력은 차단된 상태에서 자체의 관성을 이용하여 발전을 유지한다. 단시간의 단락시험기간 즉, 짧게는 수 msec 에서 길게는 수 sec 간 지속되는 발전시간이 짧은 특성 때문에 발전기의 정상상태의 특성은 물론 특히 과도상태의 특성이 단락시험과 관련하여 중요한 고려 사항이 된다. 또한 단락시험시 단락발전기의 출력은 자체 임피던스 Xd, Xd', Xd'' 및 여자시스템에 의해 주로 결정된다고 할 수 있다.



<그림 7> 500 MVA 발전기

3. 결 론

본 논문에서는 단락발전기의 정상상태 파라미터, 과도상태 파라미터 및 그 추정에 대한 고찰을 하였다. 발전기 특성을 분석할 수 있는 톨개발의 필요성이 나타났으며, 또한 이 톨개발을 통해 향후 발전기를 활용한 단락시험의 정확도를 한층 높이고, 발전기의 특성변화 예측을 통한 설비보수 및 개선 작업에 활용이 절실한 것으로 여겨진다.

[참고 문헌]

[1] Mulukutla S. Sarma, "Electric machines", 1985
 [2] Instruction Manual for Short-circuit generator, Hitachi, 1999