

A Simulation of transient phenomena on Synchronized operation

尹 炳 道
李 元 教*
小 田 莊 一
荒 隆 裕

中央大學校 電氣工學科
柳韓工業專門大學 電氣科
日本 職業訓練大學校 電氣科
上 同

1. 머리말

同期機를 系統에 병행 운전하러면, 同期機와 系統의 電壓 周波數, 位相이 一致되어야 한다. 그래서 同期投入을 手動으로 行하자면 兩者의 전압과 주파수를 거의 일치시킨 다음 同期檢定器를 사용하여 兩者의 전압의 위상이 일치되는 점에서 閉路되도록 차단기를 투입한다. 이때에 兩者간의 電壓差가 5% 정도 까지는 실제 운전상 별 지장이 없다. 주파수의 차는 위상이 일치된 시점에 투입하면 별 문제가 없겠으나 그 차가 너무 크면 系統의 機器에 충격을 주거나, 위상이 일치되는 점을 찾기가 어려우므로, 되도록이면 같게 해야 한다. 그리고 위상이 一致되지 않은 상태에서 투입한다는 것은 過電流와 機器에 주는 영향이 크므로 가장 위험하다.

또한 大容量機에서는 同期化操作을 수동으로 하면 오조작을 시킬 염려가 있으므로, 병행 운전 조건이 만족되는 순간에 자동적으로 차단기를 투입하는 自動投入裝置를 사용하는데, 차단기는 投入回路의 접점이 닫힌 후 접촉자가 폐로될 때 까지는 보통 0.3~0.7초 정도의 死時間 t를 요하므로, 位相이 一致된 時點에 접촉자가 폐로되도록 하기 위해서는 위상이 일치되는 순간 보다 t초 만큼 앞서서 투입 조작을 개시하여야 한다.

따라서 同期機를 系統에 同期投入하는 경우에 兩者間的 電壓差, 周波數差, 位相差에 대한 許容限界를 안다는 것은 매우 중요한 일이다.

이번에 대형 전자계산기의 大規模物理系의 연속·시뮬레이션·프로그램을 이용하여, 터빈 발전기와 수차발전기에 관한 위 세 가지 狀態量을 바꾸어 가면서 과도현상의 시뮬레이션 계산을 하여서, 거의 그들의 許容限界를 알게 되었으므로 이에 보고한다.

2. 시스템의 구성

시스템은 一機無限母線으로 하고 그 중간에 線路 리액턴스 X가 포함되어 있는 것으로 한다. 그리고, 편의상 그림 1에서 단자 A를 발전기의 단자로 하고 線路 리액턴스 X는 발전기에 포함되는 것으로 한다.

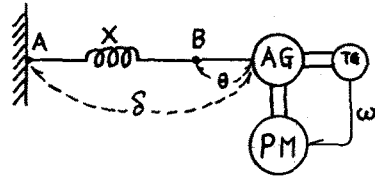


그림 1. 시스템의 구성

여기에서 사용하는 기호와 부호는 IEC Pub 34-10의 발전기를 기준으로 한 경우를 적용하였으며, d, q 軸에 대한 전압방정식과 자속쇄회에 관한 식은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} U_d &= -p\psi_d - \psi_q pT - r_a i_d \\ U_q &= \psi_d pT - p\psi_q - r_a i_q \\ U_f &= p\psi_f + r_a i_f \\ 0 &= p\psi_{kd} + r_{kd} i_{kd} \\ 0 &= p\psi_{kq} + r_{kq} i_{kq} \end{aligned} \right\} \quad (2.1 \ a \sim e)$$

[단위는 p, u]

$$\left. \begin{aligned} \psi_d &= (X+x_d) i_d + X_{af} i_f + X_{kd} i_{kd} \\ \psi_q &= (X+x_q) i_q + X_{ak} i_{kq} \\ \psi_f &= X_{fd} i_d + X_{af} i_f + X_{fk} i_{kd} \\ \psi_{kd} &= X_{kd} i_d + X_{fd} i_f + X_{khd} i_{hd} \\ \psi_{kq} &= X_{kq} i_q + X_{hkq} i_{hq} \end{aligned} \right\} \quad (2.2 \ a \sim e)$$

[단위는 p, u]

그런데 IEC의 추천에 따르면 制動卷線은 對稱的으로 배치되는 導棒對에 대하여 각각 回路를 구성하는 것으로 되어 있으나 위 식에서는 直軸과 橫軸에 대하여 각각 極間隔

만큼의 폭을 가지는 等價의 하나의 回路로 취급하고 있다. 그래서 x_{khd} x_{kkg} 는 그 等價의 直軸 橫軸의 自己리액턴스, i_{kd} i_{kg} 는 制動卷線의 直軸과 橫軸의 電流이다.

또한 物理的인 면에서 근사적으로

$$x_{afd} = x_{ahd} = x_{fhd} = x_{ad}, \quad x_{ahg} = x_{ag}$$

라 한다.

無限母線의 電壓 U 와 발전기의 내부유도전압 E_g 와의 位相差를 δ 라 하면 그림 2에서

$$\left. \begin{aligned} U_d &= -U \sin \delta \\ U_q &= U \cos \delta \end{aligned} \right\} \quad (2.3 \ a, b)$$

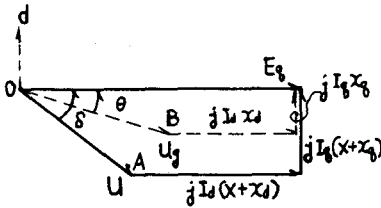


그림 2. 간이 벡터도

원동기 PM은 그림 3과 같이 全負荷와 無負荷사이에서 $(\omega_0 - \omega_N) / \omega_N$ 라는 速度變動率을 가지며, 한편 그림 1과 같이 速度 w 가 피드백되어 그 제어기구가 한 단 늦어진다 고 하면 그 특성을 다음 식으로 표현할 수 있다.

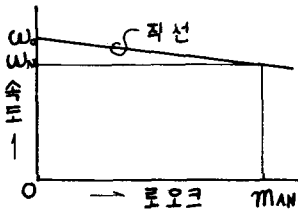


그림 3. 원동기 특성

$$m_A = \frac{m_{AN}}{\omega_N - \omega_0} \cdot \frac{\omega - \omega_0}{1 + TP} \quad [p, u] \quad (2.4)$$

여기에서

m_{AN} : 발전기의 定格出力과 定格速度에 대응하는 원동기의 토크 $[p, u]$

m_A : 回轉速度 w 에 대응하는 원동기의 토크 $[p, u]$

ω_N : 정격 회전속도 $[p, u]$

ω_0 : 무부하 회전속도 $[p, u]$

T : 속도 조정기의 時定數 $[sec]$

回轉子系의 운동방정식은

$$\left. \begin{aligned} p\tau &= \omega & [p, u] \\ \tau p\omega &= m_A + m_E & [p, u] \end{aligned} \right\} \quad (2.5 \ a, b)$$

가 성립한다. 그런데 m_E 는 발전기의 토크이며, 발전기가 운전되는 경우에는 軸에 制動作用을 하므로 負의 값이다.

$$m_E = -\psi_d i_q + \psi_q i_d \quad [PU] \quad (2.6)$$

$$\tau = 4\pi f \cdot H \quad (2.7)$$

여기에서

H : 單位慣性定數 $[sec]$

3. 계산 결과와 그의 評價

계산 프로그램은 일본의 職業訓練大學校에 설치되어 있는 UNIVAC 1100/60B의 連續系 시뮬레이션 言語 CSSL-1100을 사용하여서 작성하였다.

(1) 과도토크와 과도전류

$E_g = U = 1.0$, 발전기의 회전속도를 계통의 그것과 같게 1.0으로 하고 투입시의 兩者의 位相差를 파라미터로 하여 계산한 결과를 얻었다.

결과를 비교하면, 수차발전기의 전류와 토크가 다 같이 터빈발전기의 2배 정도의 값을 가진다.

(2) 界磁異常電壓의 발생 영역

계산상으로 界磁電流가 負로 되는 과도상태가 발생되면 主界磁整格器의 전류는 저지되므로, 界磁에는 아주 높은 異常電壓이 유도된다.

位相差를 파라미터로 하고 E_g/U 의 값을 바꾸면서 界磁電流가 負로 되는 限度를 프론하였는데, 투입 후 20~500 $[sec]$ 이고, 그 값은 투입시의 位相差에 따라서 다르다.