1999년도 대한전기학회 정기총회 및 추계학술대회 논문집 1999. 11. 20

자동동기검출회로 성능진단에 관한연구

박호철*,천영식*,장기준*,정찬수**
한전기공(주)*,숭실대 전기공학과**

A Study of In-depth Diagnosis Method for Automatic Synchronizing Circuits

Ho-Cheul Park*,Yung-Sik Chun*,Ki-Jun Jang*,Chan-Soo Chung**
Korea Plant Service & Engineering Co. LTD.*, Dept. of Electrical Eng. Soong Sil Univ.**

Abstract - Generator has synchronized with power Network after build-up output voltage. In order to prevent a current surge when synchronizing, the conditions such as identical no-load voltages identical no-load frequencies and identical phase positions must be met between generator voltage and network voltage. Hydro-Pump generators or Gas-turbine generators, Co-generation Generators that serve peak load of network are synchronized many times. So, Automatic Synchronizing Circuits are very *important service. This report apply Diagnosis* methods the Automatic Synchronizing Circuits (Device) by developing simulator.

1. 서 론

동기발전기가 정상운전되어 전압이 확립되면 전력계통에 동기병입된다. 발전기의 동기병입은 계통동요나 발전기에 가해지는 기계적,전기적 충격의 최소화를 위해 발전기 전압과 계통전압간의 크기 및 주파수,위상등이 일치상태이어야 한다. 따라서 동기검출회로는 터-빈 조속기의 속도제어회로 및 발전기의 자동전압제어회로(AVR)와 연계되어 발전기 출력전압의 크기 및 주파수, 위상을 허용치 이내로 일치시킨후 차단기를 투입하도록 한다. 주로 첨두부하를 담당하는 양수발전기나 가스터-빈 발전기 및 열병합발전기등은 계통병입(병해)과정이 빈번하여 자동운전에 의해 계통병입이 이루어지고 있어서 동기검출회로의 중요성이 매우높다.

동기검출회로는 시운전시의 초기설정시나 경년에 따른 설정치의 재조정시는 특성분석에 의한 회로정수 재조정 과정이 필요하므로 본 논문에서는 전용시험장치를 제작하여 동기검출회로의 성능진단시험을 수행하는 방안을 제시한다.

2. 본 론

2.1 동기검출 개요

자동동기검출회로의 동작은 기본적으로 독립된 두 개의 전원에 대해 주파수 일치여부와 전압일치여부를 비교하며, 수동병입을 위한 투입회로로 구성된다. 계통병입시 충격전류(Surge Current)를 억제하기 위해서는 동일한 무부하 전압과 무부하 주파수 및 위상의 일치가 필요하다.

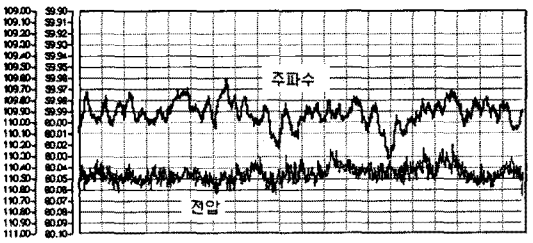
자동동기검출장치는 차단기의 투입시간을 고려하여 정확한 위치에서 차단기 투입신호를 발생시키기 위해서 발전기전압과 계통전압으로부터 연속적으로 위상각도차를 측정하여 슬립(Slip)특성을 감시한다. 그러므로 자동동기검출회로에서 출력되는 차단기 투입신호발생 위상각을 α라 하고, 슬립을 s[%], 차단기 동작시간을 t_1[s], 정격주파수를 f_n[Hz]이라 하면,

$$\alpha = 3.6\ f_n\ t_1\ s$$

로 계산[1]한다.

2.1.1 주파수의 일치

자동동기검출회로는 주파수편차신호에 대해 보통은 터-빈의 회전수조절회로에 "증가", "감소" 신호를 주어 주파수를 조절하는데, 이 킥커펄스(Kicker Pulse)신호는 연속으로 주어지는 펄스 신호로서 슬립주기가 맞춰지도록 펄스폭을 조정한다. 주파수편차 Δf는 차단기 투입완료시점을 기준으로 ±0.1~1[Hz]범위[2]로 설정된다.
보통 상용전압의 주파수 특성을 실측하면 ±0.05[Hz] 범위에서 변화하는데 이것은 제어목표치가 변화함을 의미한다. <그림1>은 주파수 변화를 실측한 결과이다.



<그림1> 상용전원의 전압/주파수 특성

2.1.2 전압의 일치

동기검출회로는 기준전압에 대해 전압차의 감도범위 ΔU이내가 될 때까지 연속적으로 발전기 전압을 높이거나 낮추는 펄스신호를 전압제어회로에 인가한다. 보통은 빠른 접근을 위해 전압차에 비례하여 펄스폭이 결정되므로 때에 따라서는 직류의 연속신호일 수도 있다. ΔU의 값이 너무 적게 조정되면 계통전압의 변화치에 민감하게 작동되어 동기검출이 되지 않을 수도 있다. 그러므로 대부분의 경우 ±2~3[%]범위[2][3]에서 조정한다. 또 저전압 상태에서 동작되는 것을 피하기 위해 기본적으로 저전압검출회로가 있다.

2.1.3 위상차의 검출

인가되는전압 U_1과 U_2사이의 위상차 $\Delta\alpha$를 측정하게 되는데, 위상차는 다음에서 계산되는 값 $\Delta\alpha_{max}$보다 적어야 하는 조건으로, 이 값을 제어회로에서 최대치로 설정[1]한다.

$$\Delta U = U1 - U2$$

$$\Delta\alpha_{max} > \mathrm{Arctan}(\Delta U / U_1)$$

두 전원간의 위상차는 주파수편차가 있을 때 시간경과에 따라 +180[deg] ~ -180[deg]사이를 변화하는 특성이 있다. 또, +180[deg]와 -180[deg]는 "진상"과 "지상"의 일치점이므로 원칙적으로 같은 값이다.

2.1.4 동기검출 동작

동기검출회로는 장치가 기동되면 우선 다음의 조건을 검출한다.

$$\Delta U \quad < \quad U_{preset}$$
$$\Delta f \quad < \quad f_{preset}$$
$$U_1 \quad < \quad U_{1\ min}$$
$$U_2 \quad < \quad U_{2\ min}$$
차단기 동작시간 $_{preset}$

위의 조건이 충족되는 논리정보(Logic Signal)이면 차단기 투입신호가 발생되지만, 그렇지 않은 경우는 전압제어와 주파수제어신호가 각 제어회로에 주어지며 신호검출을 반복한다.

2.2 시험장치의 구성

자동동기 검출장치의 성능 진단을 위해서는 전압 및 주파수, 위상차 검출회로에 대해 부분적 또는 전체적으로 투입전진각도 및 시간, 동기촉진제어기능, 위상합성기능, 전속(揃速)신호확인, 조속기 제어 신호형태, 투입각 적정성, 불감대 특성, 전압보정회로 특성등[4] 다양한 시험이 이루어지기 때문에 정밀한 가변주파수, 가변전압 발생 전원장치가 필요하다.

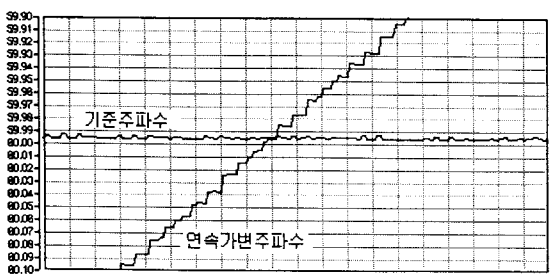
2.2.1 시뮬레이터

성능시험을 위한 시뮬레이터는 전압과 주파수가 가변이고 반복성이 높아야하므로 〈표1〉과 같은 정밀도로 시뮬레이터를 제작하였다. 정현파발생 알고리즘은 테이블 Lockup방식에 의해 미리지정된 개수의 데이터를 저장하여 이를 읽고 출력하는 형태로 하여 TMS320C31 DSP 칩과 AD569의 DAC로 구현[5]하였다.

<표1>시뮬레이터의 정밀도

출력전압	범위	0~175 VAC
	정확도	0.1 %
	정밀도	0.1 V Step
	왜곡율	1 % max THD
주 파 수	범위	55~65 Hz
	정확도	0.1 % of Rated Change
	정밀도	0.01 Hz Step
위 상	범위	-90~90 deg
	정확도	0.05 deg
	정밀도	0.01 deg Step

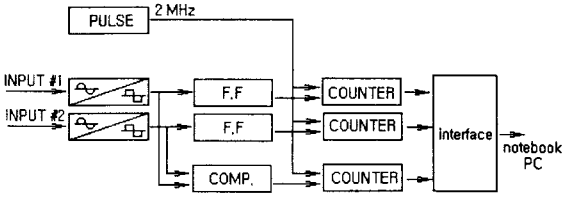
Lookup Table의 데이터는 총 1800개를 ROM에 저장하고 RAM에서 Interpolation방식을 적절히 수행하도록 적용하여 정밀도를 향상하였다. 〈그림2〉는 시뮬레이터의 두 개의 전원에 대한 주파수출력특성을 측정한 것이다.



〈그림2〉 시뮬레이터 출력 특성

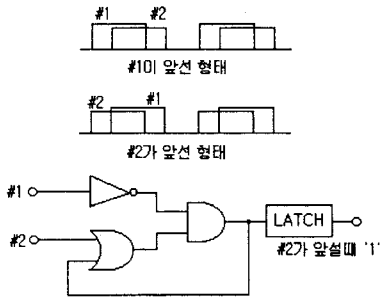
2.2.1 전압/주파수/위상차 계측장치

동기검출장치의 종합성능은 독립된 두 개의 전원에 대해 동기 전후의 전압, 주파수, 위상차를 정확히 측정하고 이를 분석함으로서 가능하다. 주파수 및 위상차는 짧은 시간적 변화를 연속적으로 측정하도록 하기 위해서 펄스카운터 방식을 적용하였다. 〈그림3〉은 주파수 및 위상차를 정밀측정하는 하드웨어의 블록도이다.



〈그림3〉 주파수/위상차 계측장치 블록도

카운터용 펄스로 2[MHz]를 사용하여 0.5[μS]단위로 측정이 가능하다. 따라서 주파수는 0.001[Hz], 위상차는 0.01[deg]까지 각 사이클마다 측정된다.
전압측정은 절연 및 레벨조절을 위해 소형정밀 변압기를 이용하여 ±5[V]로 변환후, ADC로 디지털화 하여 인터페이스회로에 전송한다.
위상측정시 두 개의 입력에 대해 "앞섬"과 "뒤짐"을 구별하기 위해 별도의 회로를 채택하였으며 회로는 〈그림4〉와 같다.



〈그림4〉 위상 선별기능도

선별회로를 렛치하여 인터페이스회로에 연결한다. 인터페이스회로는 노트북컴퓨터에 연결되어 소프트웨어에 의해 측정데이터를 분석한다.

2.3 현장시험 결과

시뮬레이터와 계측장치를 활용하여 T사 열병합발전기의 동기검출장치에 대해 계통병입시점에서 전압 및 주파수, 위상차를 현장측정하여 정밀도를 분석 하였다.

2.3.1 동기검출장치 정밀도분석

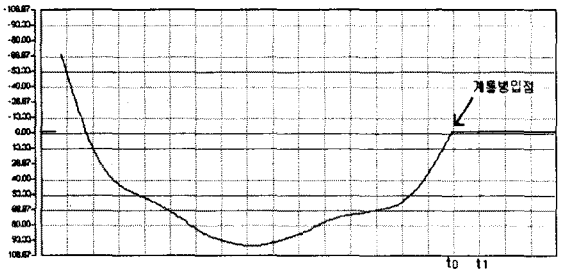
시뮬레이터로 전압 및 주파수, 위상차를 각각 변화시키며 동기검출장치의 정밀도를 시험한 결과는 〈표2〉와 같다.

<표2> 자동동기검출회로의 정밀도

구 분	상승시	하강시	기준치
전 압 [V]	107.9	112.5	110.0
	-2.1	2.5	3.0
주파수[Hz]	59.83	60.20	60.01
	-0.18	0.19	0.2
위상차[deg]	-3.10	2.96	0.0
	-3.10	2.96	3.0

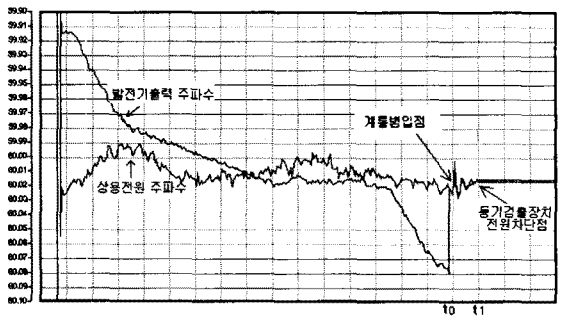
2.3.2 NETWORK에 동기시 동작상태 분석

실제 계통병입시 주파수 및 위상차를 측정하였으며 위상차는 두 전압간의 주파수 차에 의해 -180 ~ 180 [deg]의 범위를 변화할 수 있는데 실제 측정한 결과는 <그림5>와 같다. t_0는 차단기가 동기투입된 시점이고 t_1은 동기검출회로가 동작완료 후에 전원이 차단되어 동작이 종료된 시점이다.



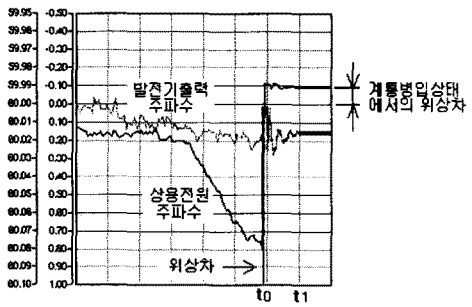
<그림 5> 계통병입시 위상차 측정결과

이때 동일한 신호를 측정한 주파수 변화치는 <그림6>과 같으며, 계통병입시 상용전원주파수 약 60.00 [Hz]에서 발전기 전압주파수는 약 60.09 [Hz]으로 +0.09 [Hz]차에서 차단기가 투입 되었음을 분석할 수 있다. 특히 주파수 편차가 줄어든 시점을 지나서 차단기가 투입된 형태로 검출되고 있어서 차단기 투입동작시간을 고려하는 슬립감시에 의한 동작기능 회로를 재조정할 필요성이 제기되는 상태이다.



<그림 6>주파수 측정결과

<그림7>은 동기투입 시점에서 <그림5>의 확대스케일과 <그림6>을 동시에 나타낸 것으로 위상차는 계통병입 후에도 0.01[deg]정도가 발생되고 있는데 이것은 발전기측 PT와 전력계통측 PT사이의 정밀도에 의한 위상차로 분석된다.



<그림 7>동기투입시 주파수 및 위상차

3. 결 론

본 논문에서는 발전기를 전력계통에 자동병입하기 위해 동작하는 자동동기검출회로에 대한 정밀도를 검정하기 위해 전용 시뮬레이터 및 계측장치를 제작하여 현장 실측에 의한 분석방법을 제시하였다. 특히, 시뮬레이터는 안정된 주파수와 전압 및 위상차를 미세한 단계로 가변하여 동기검출장치의 정밀도를 진단가능하고, 또, 주파수측정과 위상차 측정방법은 측정응답이 빠르고 정밀한 측정이 가능하여 기존의 계측방법보다 우수함을 확인하였다. 발전기에 가해지는 기계적, 전기적 충격과 계통동요가 최소화되기 위해서는 성능이 정밀하게 진단된 결과분석자료를 근거로 동기검출회로가 튜닝 되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] ABB, "Instructions for Installation and Operation Manual(SYNCHROTACT 3)",1984.10.

[2] SIMENS, "Electronic Paralleling Device Manual (7VE2) 1986.

[3] TOSHIBA, "Automatic Synchronizing Device Test Record(LOTTE Jamsil Co-generation Power Station)", 1987. 11. 12.

[4] TOSHIBA, "自動同期投入裝置テスト方", 1995. 7. 7.

[5] 정태진외, "자동동기장치 성능평가를 위한 3상 정밀파형발생기 개발", 추계학술대회논문집, pp.478-480, 1998.11.28.

[6] 한전기공(주),"LOTTE#2 AVR설비 정밀점검보고서", 1997.

[7] 한전기공(주),"대구지역난방공사 AVR/UPS 정밀점검보고서", 1999.

[8] 한전기공(주),"김포제일제당 전력전자설비 정밀점검보고서", 1999.