

同步发电机准同期并列实验研究

Synchronous Generator Quasi-Synchronism Arrangement in Parallel Experiment Research

加玛力汗·库马什/JIAMALIHAN Kumashi,俞瑞亮/YU Rui-liang

新疆大学电气工程学院,乌鲁木齐 830008

School of Electric Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830008, China

[摘要] 为提高供电的可靠性和电能质量,电力系统中的发电机通常都采用并联运行。根据系统运行的需要,同步发电机经常要投入或退出电网,有时会将一台或多台退出或投入运行。在某些情况下,甚至需要将已被解列为两部分的电力系统重新恢复并列运行。借华中科技大学自动化技术研究所研制的 WDT-III 型电力系统综合自动化实验台为开发平台,对同步发电机准同期并列进行了实验研究。

[关键词] 电力系统及其自动化,同步发电机,准同期并列,实验

[中图分类号] TM31

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2005)12-0055-04

Abstract: In order to improve the reliability and electrical energy quality of providing electricity, the generator of power system is usually operated in parallel connection. According to the system operation circumstances, synchronous generators are usually put into or withdrawn from transmission-line system of electric power. One or more synchronous generators are sometimes withdrawn or put into operation. In some cases, it is even necessary to restore arrangement in parallel operation from two parts of power system. With the aid of Type WDT-III power system comprehensive automation experiment platform developed by Mid-China Science and Technology University, the experiment research for synchronous generator quasi-synchronism is conducted in this thesis.

Key Words: power system automation, microcomputer quasi-synchronism controller, quasi-synchronism arrangement in parallel, experiment

CLC Number: TM31

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2005)12-0055-04

1 前言

同步发电机投入电力系统并列运行的操作,或者,电力系统解列的两部分进行并列运行的操作,被称为并列或同期操作^[1]。随着负荷的波动,电力系统中发电机运行的台数也经常要变化。因此,同步发电机的并列操作是电厂的一项重要操作,另外,当系统发生事故时,也常要求将备用发电机组迅速投入电网运行。可见,在电力系统运行中并列操作是较为频繁的^[2]。电力系统的容量在不断增大,同步发电机的单机容量也越来越大,大型机组不恰当的并列操作将导致严重后果。因此,对同步发电机的并列操作进行研究,提高并列操作的准确度和可靠性,对于系统的可靠运行

具有很大的现实意义^[3-4]。

并列的方式可分为两种,准同期并列和自同期并列,在本文实验中用到的并列方式都为准同期并列方式,所以这里不再涉及自同期并列。为使同步发电机与系统或系统与系统间按准同步要求自动并列,必须满足以下 3 个条件。① 发电机电压与系统电压彼此的幅值差小于允许值(本实验台设有压差闭锁环节)。② 发电机电压与系统电压彼此的滑差频率小于允许值(本实验台能实现发电机频率对系统频率实现自动跟踪)。③ 在并列开关主闸合闸的完成瞬间,发电机电压和系统电压相位差小于允许值(本实验台具有相位差闭锁环节)。^[5]

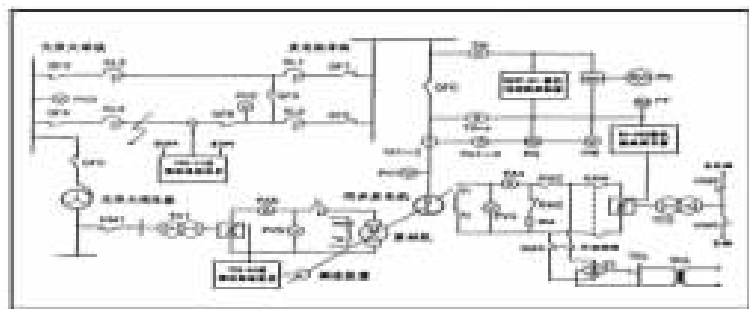


图 1 试验台一次系统原理接线图

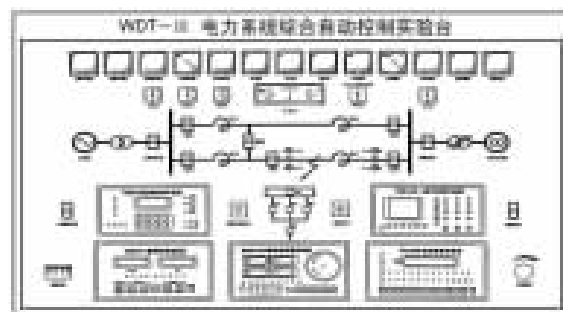


图 2 电力系统综合试验台面板图

收稿日期: 2005-10-24

作者简介: 加玛力汗·库马什,女,新疆乌鲁木齐市胜利路 14 号新疆大学(北校区)电气工程学院,副教授,主要从事电力系统及其自动化方向的教学与研究;E-mail: JO1M@tom.com

2 WDT-III 电力系统综合试验台简介^[6]

综合自动化实验教学系统由发电机组、实验操作台、无穷大系统等 3 部分组成。

1) 发电机组。它是由同在一个轴上的同步发电机 ($S_N=2.5$ kVA, $U_N=400$ V, $n_N=1\ 500$ r.p.m.)、模拟原动机用的直流发电机 ($P_N=2.2$ kW, $U_N=220$ V) 以及测速装置和功率角指示器组成。

2) 实验操作台。它是由输电线路单元、微机线路保护单元、负荷调节和同期单元、仪表测量和短路故障模拟单元等组成。其中负荷调节和同期单元是由“TGS-04 型微机调速装置”、“WL-04B 微机励磁调节器”、“HGWT-03 微机准同期控制器”等微机型的自动装置和其相对应的手动装置组成。

3) 无穷大系统。它是由 15 kVA 的自耦调压器组成。通过调整自耦调压器的电压可以改变无穷大母线的电压。

3 HGWT-03 微机准同期控制器

3.1 HGWT-03 微机准同期控制装置的特点

HGWT-03 微机准同期控制装置是全自动多功能微机准同期控制装置,它按恒定越前时间原理工作,主要特点如下:① 可选择全自动准同期方式;② 可选择半自动准同期方式;③ 可测定断路器的开关时间;④ 可测定合闸误差角;⑤ 可改变频差允许值、电压差允许值,观察不同整定值时的合闸效果;⑥ 按定频调宽原理实现均频均压控制,自由整定均频均压脉冲宽度系数,自由整定均频均压脉冲周期,观察不同整定值时的均压均频效果;⑦ 专门设置有关信号的测孔,可以用电压测其幅值,或用示波器观察其波形,测孔信号有发电机电压 U_G 波形、系统电压 U_s 波形、脉冲电压 U_c 波形、宽度随相角差变化的“变宽脉冲”波形以及由“变宽脉冲”滤波所得的“三角波整步电压” U_{s1} 的波形,可观察合闸脉冲相对于三角波的位置,测定越前时间和越前角度;⑧ 可自由整定越前时间,整定时间范围为 0.02 s~0.98 s;⑨ 输出合闸出口电平信号,供试验记录波形之用。

3.2 微机准同期控制器的工作原理

自动准同期控制器的基本构成如图 3 所示。

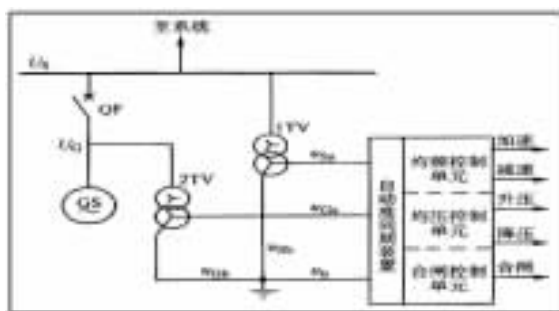


图 3 自动准同期控制器的基本构成

由图可见,自动准同期控制器有 3 个基本单元组成:① 合闸控制单元;② 均频控制单元;③ 均压控制单元。

控制器的主要输入信号有:① 断路器系统侧 a、b 相电压 U_{sa} 和 U_{sb} ;② 断路器发电机侧 a、b 相电压 U_{Ga} 和 U_{Gb} , 通常将 U_{sb} 和 U_{Gb} 短接后接大地。

控制器的主要输出信号有:① 合闸;② 加速和减速;③ 升压和降压。

合闸控制单元的作用是:检测准同期条件(电压差,频率差和相位差),当相位差和频差条件均满足时,选择合适时机(相位差等于越前相角)发出合闸命令;当电压差和/或频差条件不满足时,闭锁合闸。合闸控制逻辑框图如图 4 所示。

均压控制单元的作用是:当频率差条件不满足时,根据频率

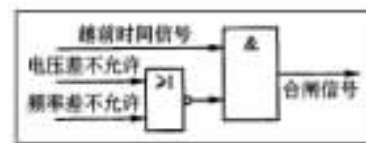


图 4 合闸控制逻辑图

差的方向,相应发出加速或减速命令给原动机调速器,调整调速器的速度给定值,使发电机频率(转速)向系统频率靠近,进而满足频率差条件。调速命令一般以脉冲形式输出,调速脉冲的宽度和/或调速脉冲的频率,根据频率差的大小按一定控制准则计算得出。

均压控制单元的作用与均频控制单元相类似,即用在电压差条件不满足时尽快创造满足条件的电压条件。均压(升压和降压)脉冲被送往自动励磁调节器,用以调整励磁调节器的机端电压给定值。

频率差条件和电压差条件的创造,是准同期控制器、原动机调速器和自动励磁调节器 3 个自动装置协同完成的^[7]。微机自动准同期控制器的硬件框图如图 5 所示。

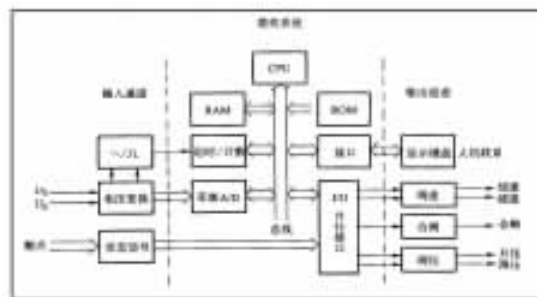


图 5 微机准同期控制器的硬件框图

微机自动准同期控制器由微机系统、输入通道和输出通道 3 部分组成。微机系统的硬件因 CPU 而异,典型结构框图如图 5 中间部分,主要由 CPU、存储器、定时/计数器、A/D、I/O 接口等环节组成,它是准同期控制器的核心。输入通道的任务是为微机提供准同期条件的各种信息,主要有电压(发电机电压和系统电压)变送器和频率(发电机频率和系统频率)传感器,微机借助它们,可以检测到发电机电压和频率、系统电压和频率以及断路器两侧电压相量的相位差。输出通道的任务是输出均频、均压脉冲和合闸脉冲,实现均频均压和合闸并列的目的。

4 基于 WDT-III 型电力系统综合自动化实验台的准同期实验的分析

在准同期试验中有下列几项实验^[8]:① 手动准同期实验;② 半自动准同期实验;③ 全自动准同期实验;④ 准同期条件的整定。在这几个实验中,手动准同期实验又分为按准同期并列条件合闸和偏离准同期并列条件合闸。偏离准同期并列条件合闸只限于在实验室中进行,在电厂机组中是不能使用的。实验①~③都是观察现象的,而且操作比较简单,由于篇幅的原因,不再赘述。需要注意的一点是,本文所采用的实验方式在电厂中是不能采用的。

实验④的要求较为繁杂,此实验要求修改各类参数,例如越前时间 t_{yq} 、频率差允许值 Δf 、电压差允许值 ΔU ;应观察分析当有 1 个条件变化时,系统所产生的冲击电流有多大,它的变化规律是什么。为了确定最佳整定参数,对实验进行了有益的扩充。

4.1 系列实验 1 及实验分析

整定频差允许值 $\Delta f=0.3$ Hz,压差允许值 $\Delta U=3$ V,超前时间

$t_{yq}=0.2\text{ s}$,通过改变实际开关动作时间,即整定“同期开关时间”的时间继电器,重复进行全自动同期实验,观察在不同开关时间 t_{yq} 下并列过程有何差异,并记录三相冲击电流中最大一相的电流值 I_m ,填入下表(以下几组数据中,“同期开关时间”继电器手动整定为0,只有设备固有时间的,固有时间经实验测得是 0.04 s)。

表 1 整定频差允许值 $\Delta f=0.3\text{ Hz}$
压差允许值 $\Delta U=3\text{ V}$,冲击电流 I_m 的值

整定同期开关时间(s)	0.1	0.2	0.3	0.4
冲击电流 I_m (A)	0.060	0.104	0.160	0.201
同上	0.055	0.095	0.156	0.197
同上	0.050	0.107	0.144	0.195
同上	0.054	0.102	0.150	0.187
同上	0.050	0.102	0.163	0.201
同上	0.057	0.108	0.156	0.190

表 2 整定频差允许值 $\Delta f=0.3\text{ Hz}$
压差允许值 $\Delta U=1\text{ V}$,冲击电流 I_m 的值

整定同期开关时间(s)	0.1	0.2	0.3	0.4
冲击电流 I_m (A)	0.045	0.092	0.130	0.170
同上	0.040	0.085	0.137	0.166

表 3 整定频差允许值 $\Delta f=0.3\text{ Hz}$
压差允许值 $\Delta U=5\text{ V}$,冲击电流 I_m 的值

整定同期开关时间(s)	0.1	0.2	0.3	0.4
冲击电流 I_m (A)	0.072	0.120	0.177	0.220
同上	0.080	0.122	0.184	0.221

表 4 整定频差允许值 $\Delta f=0.1\text{ Hz}$
压差允许值 $\Delta U=3\text{ V}$,冲击电流 I_m 的值

整定同期开关时间(s)	0.1	0.2	0.3	0.4
冲击电流 I_m (A)	0.041	0.090	0.136	0.180
同上	0.039	0.087	0.131	0.175

表 5 整定频差允许值 $\Delta f=0.4\text{ Hz}$
压差允许值为 $\Delta U=3\text{ V}$,冲击电流 I_m 的值

整定同期开关时间(s)	0.1	0.2	0.3	0.4
冲击电流 I_m (A)	0.065	0.113	0.184	0.225
同上	0.071	0.120	0.191	0.238

实验扩展:整定频差允许值 $\Delta f=0.3\text{ Hz}$,压差允许值 $\Delta U=3\text{ V}$,越前时间 $t_{yq}=0.2\text{ s}$,通过改变实际开关动作时间,即整定“同期开关时间”的时间继电器,重复进行全自动同期实验,观察在不同开关时间 t_{yq} 下并列过程有何差异,并记录三相冲击电流中最大一相的电流值 I_m ,估算开关操作回路固有时间的大致范围,填入表6。

表 6 实测开关时间和冲击电流的值

整定同期开关时间(s)	0.1	0.2	0.3	0.4
实测开关时间(s)	0.12	0.24	0.34	0.44
冲击电流 I_m (A)	0.109	0.143	0.170	0.238

4.2 系列实验 2 及实验分析

改变频差允许值 Δf ,重复进行全自动同期实验,观察在不同频差允许值下并列过程有何差异,并记录三相冲击电流中最大一相的电流值 I_m ,填入表7~11中。

表 7 整定压差允许值 $\Delta U=3\text{ V}$
整定同期开关时间 $t_{yq}=0.2\text{ s}$,冲击电流 I_m 的值

频差允许值 Δf (Hz)	0.4	0.3	0.2	0.1
冲击电流 I_m (A)	0.186	0.119	0.082	0.062
同上	0.170	0.128	0.081	0.054
同上	0.172	0.122	0.089	0.050
同上	0.184	0.122	0.085	0.063
同上	0.184	0.127	0.091	0.061
同上	0.177	0.128	0.094	0.059

表 8 整定压差允许值 $\Delta U=3\text{ V}$
整定同期开关时间 $t_{yq}=0.1\text{ s}$,冲击电流 I_m 的值

频差允许值 Δf (Hz)	0.4	0.3	0.2	0.1
冲击电流 I_m (A)	0.160	0.110	0.075	0.042
同上	0.154	0.106	0.071	0.039

表 9 整定压差允许值 $\Delta U=3\text{ V}$
整定同期开关时间 $t_{yq}=0.3\text{ s}$,冲击电流 I_m 的值

频差允许值 Δf (Hz)	0.4	0.3	0.2	0.1
冲击电流 I_m (A)	0.207	0.149	0.112	0.078
同上	0.210	0.153	0.119	0.084

表 10 整定压差允许值 $\Delta U=1\text{ V}$
整定同期开关时间 $t_{yq}=0.2\text{ s}$,冲击电流 I_m 的值

频差允许值 Δf (Hz)	0.4	0.3	0.2	0.1
冲击电流 I_m (A)	0.156	0.111	0.079	0.050
同上	0.161	0.118	0.071	0.044

表 11 整定压差允许值 $\Delta U=5\text{ V}$
整定同期开关时间 $t_{yq}=0.2\text{ s}$,冲击电流 I_m 的值

频差允许值 Δf (Hz)	0.4	0.3	0.2	0.1
冲击电流 I_m (A)	0.210	0.157	0.117	0.083
冲击电流 I_m (A)	0.203	0.161	0.114	0.072

4.3 系列实验 3 及实验分析

改变压差允许值 ΔU ,重复进行全自动同期实验,观察在不同压差允许值下并列过程有何差异,并记录三相冲击电流中最大一相的电流值 I_m ,填入表12~16中。

表 12 整定频差允许值 $\Delta f=0.3\text{ Hz}$
整定同期开关时间 $t_{yq}=0.2\text{ s}$,冲击电流 I_m 的值

压差允许值 ΔU (V)	5	4	3	2
冲击电流 I_m (A)	0.177	0.142	0.112	0.066
同上	0.174	0.150	0.102	0.071
同上	0.170	0.143	0.106	0.071
同上	0.168	0.147	0.115	0.065
同上	0.172	0.146	0.107	0.062
同上	0.180	0.150	0.106	0.067

表 13 整定频差允许值 $\Delta f=0.3\text{ Hz}$
整定同期开关时间 $t_{yq}=0.1\text{ s}$,冲击电流 I_m 的值

压差允许值 ΔU (V)	5	4	3	2
冲击电流 I_m (A)	0.152	0.112	0.085	0.046
同上	0.149	0.119	0.081	0.051

表 14 整定频差允许值 $\Delta f=0.3\text{ Hz}$
整定同期开关时间 $t_{yq}=0.3\text{ s}$,冲击电流 I_m 的值

压差允许值 ΔU (V)	5	4	3	2
冲击电流 I_m (A)	0.212	0.180	0.112	0.084
同上	0.219	0.173	0.125	0.080

表 15 整定频差允许值 $\Delta f=0.1\text{ Hz}$
整定同期开关时间 $t_{yq}=0.2\text{ s}$,冲击电流 I_m 的值

压差允许值 ΔU (V)	5	4	3	2
冲击电流 I_m (A)	0.154	0.118	0.079	0.040
同上	0.149	0.122	0.073	0.044

表 16 整定频差允许值 $\Delta f=0.4\text{ Hz}$
整定同期开关时间 $t_{yq}=0.2\text{ s}$,冲击电流 I_m 的值

压差允许值 ΔU (V)	5	4	3	2
冲击电流 I_m (A)	0.205	0.170	0.115	0.075
同上	0.214	0.177	0.107	0.084

复杂性科学在环境科学与工程中的应用

Application of Complexity Science in Environmental Science and Engineering

李慧博/LI Hui-bo¹, 柴立和/CHAI Li-he¹, 石兰兰/Shi Lan-lan²

1. 天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072

2. 中国市政工程华北设计研究院, 天津 300074

1. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2. North China Municipal Engineering Design and Research Institute, Tianjin 300074, China

[摘要] 复杂性科学作为一门当前国际学术界新兴的学科,其研究问题的方法对其它学科有深刻的启发和广泛的渗透力,已越来越受到包括环境科学与工程在内的各学科科技工作者的重视。在对复杂性科学进行了简单的分析后,主要介绍了复杂性科学方法在环境科学与工程研究中的部分应用,并展示了这一新兴学科学术和应用意义,希望对环境科学与工程领域的研究起到指导作用。

[关键词] 复杂性科学,环境科学,环境工程

[中图分类号] X1, N1

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2005)12-0058-04

Abstract: As a rising subject in the present international academia, complexity science creates widespread illumination and infiltration to many subjects, and attracts lots of attention from almost all fields, including environmental science and engineering. This paper analyzed complexity science briefly, and then introduced its application in environmental science and engineering in part. It was hoped that this paper

收稿日期: 2005-06-27

基金项目: 国家自然科学基金(50406018)、教育部留学回国人员科研启动基金(413042)

作者简介: 李慧博,女,天津市南开区卫津路92号天津大学环境科学与工程学院,硕士生,研究方向为复杂性科学、市政环境给水分析、环境污水处理等;E-mail: fancy2889@yahoo.com.cn

柴立和(通讯作者),男,天津大学环境科学与工程学院,副教授,主要研究方向为环境科学与工程、环境化学和复杂系统理论等;E-mail: lhchai@tju.edu.cn

5 结论

从准同期实验的整定各项实验分析,我们可以得到以下几个结论。

1) 横向比较而言,当频差允许值、电压差允许值不变的情况下,整定同期开关的时间由0.1 s至0.4 s,其冲击电流的大小变化趋势为由小到大。当我们改变频差允许值、电压差允许值,使其在原来的 $\Delta f=0.3$ Hz、 $\Delta U=3$ V的基础上上下变化,整定同期开关的时间由0.1 s至0.4 s时,其冲击电流的变化趋势亦然。纵向比较时,当 Δf 、 ΔU 变小时,冲击电流的值也会变小,反之则会变大。

2) 横向比较而言,当电压差允许值、整定同期开关时间不变的情况下,频差允许值由0.4 Hz至0.1 Hz,其冲击电流的大小变化趋势为由大到小。当我们改变整定同期开关时间、电压差允许值,使其在原来的 $\Delta U=3$ V、 $t_{yq}=0.2$ s的基础上上下变化,频差允许值由0.4 Hz至0.1 Hz时,其冲击电流的变化趋势亦然。纵向比较时,当 Δf 、 ΔU 变小时,冲击电流的值也会变小,反之则会变大。

3) 横向比较而言,当频差允许值、整定同期开关时间不变的情况下,电压差允许值由5 V至2 V,其冲击电流的大小变化趋势为由大到小。当我们改变频差允许值、整定同期开关时间,使其在原来的 $\Delta f=0.3$ Hz、 $t_{yq}=0.2$ s的基础上上下变化,频差允许值由5 V至2 V时,其冲击电流的变化趋势亦然。纵向比较时,即当 Δf 、 t_{yq} 变小时,冲击电流的值也会变小,反之则会变大。

通过以上实验横纵结果的比较,可以看出频差整定值、压差整定值、越前时间整定值越小时,冲击电流越小。但越前时间一定

要考虑断路器主触头动作时间。一般电厂的断路器动作时间在0.2 s~0.6 s之间,而本试验台断路器动作时间为0.04 s,我们可以通过同期开关时间,人为改变断路器的动作时间,从而观察动作时间对冲击电流变化的影响。

总之,本实验台是一个自动化程度很高的多功能试验台。通过本文实验内容的叙述可以为实际发电厂同期并列提供整定参考值,另外,对以上实验再进行扩充,可以进一步研究同步发电机同期并列。

参考文献(References)

- [1] 许克明,田怀智主编. 电力系统自动装置[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996.
- [2] 杨传箭. 电力系统运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [3] 马维新主编. 电力系统电压[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [4] 蔡汾主编. 电力系统频率[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [5] 许正亚主编. 电力系统自动装置[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [6] 杨德先,路继明. 电力系统综合实验原理与指导[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] 杨冠城. 电力系统自动装置原理(第三版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [8] 武汉华工大电力自动技术研究所. WDT-Ⅲ电力系统综合自动化试验台使用说明书.
- [9] 武汉华工大电力自动技术研究所. WDT-Ⅲ电力系统综合自动化试验台实验指导书.

(责任编辑 胡春华)