

# 大型发电厂同期系统设计方案

沙 励

(广东省电力设计研究院, 广东 广州 510600)

**摘要:** 随着电力系统电网结构日益复杂和大容量机组增多, 以往发电厂中同期系统的设计理念已无法适应这一变化。简述了同期系统常见模式, 分析了传统同期接线设计中存在的问题及改进。在此基础上, 结合新型同期装置, 提出大型发电厂同期系统设计的新方案及需要与其他方面协调的各类问题。

**关键词:** 同期; 功角; 选线

中图分类号: TM 621.6

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2005)02-0068-05

发电厂的同期系统一直是电气控制系统设计的重要内容之一。两系统间进行准同期的条件很严格, 必须满足相位相同、频率相等和电压相等的要求。目前, 在大型发电厂同期系统设计中涉及自动准同期装置、厂用电快切装置、测控装置、自动重合闸装置等, 如何完善以往同期系统接线的设计、如何与电厂自动化水平很高的分散控制系统 DCS (Distributed Control System) 及厂内网络监控系统 NCS (Network Control System) 相配合、如何更合理的对各与同期相关的自动装置进行分工, 都是需要深入研究的内容。

## 1 同期系统常见模式简述

### 1.1 厂内系统同期点及同期电压的取得方式

目前, 发电厂及变电所普遍采用单相同期的方式, 下面介绍不同情况下单相同期接线同期电压的取得方式。

#### 1.1.1 110 kV 及以上电压的中性点直接接地系统

系统中采用的电压互感器(TV)通常有两种类型的二次绕组, 其中主二次绕组相电压为  $100/\sqrt{3}$  V, 辅助二次绕组的相电压为 100 V。此时, 同期电压应接入辅助二次绕组的一相电压。

#### 1.1.2 中性点不接地或经高电阻接地系统

系统中采用的 TV 通常有两种类型, 一种有 2 个二次绕组, 其中主二次绕组相电压为  $100/\sqrt{3}$  V, 辅助二次绕组的相电压为  $100/3$  V; 另一种只有 1 个二次绕组, 其相电压为  $100/\sqrt{3}$  V。此时, 同期电压应接入主二次绕组的线电压(100 V)。

#### 1.1.3 主变高、低压侧

因主变多为 Y,d11 接线, 为使两侧同期电压的相位和数值相同, 高压侧接入同期系统的二次电压为辅助二次绕组的相电压  $U_{AN}$ (100 V), 低压侧则接 TV 主二次绕组的线电压  $U_{ac}$ (100 V)。

### 1.2 同期系统接线设计<sup>[1]</sup>

传统的同期系统控制回路如图 1 所示。

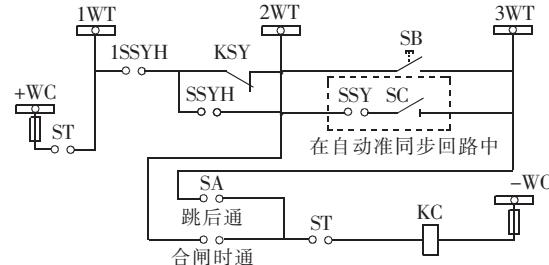


图 1 同期系统控制回路图

Fig.1 The control circuit of synchronization system

由图 1 可见, 无论是自动准同期还是手动准同期, 都必须经过同期闭锁继电器 KSY 的闭锁接点。SB 合闸按钮是在集中同期手动合闸时, 由于 SA 开关按各安装单位装设, 而同期屏单独装设, 可能出现 SA 与同期表不在一处的情况, 这时由同期屏上的集中同期合闸按钮 SB 合闸, 完成并网后, 由运行人员到控制屏将 SA 开关复位。

对厂用电系统断路器的同期, 大容量机组普遍采用两种方式: 一种为接入 1WT 及 2WT 的手动同期方式; 另一种由目前广泛采用的厂用电快切装置中的并联切换功能(对频差、相差的限制)实现同期操作。

### 1.3 大型发电厂升压站 3/2 接线同期设计

大型发电厂的升压站, 普遍采用 500 kV 电压等级 3/2 接线形式。此种接线方式, 全部断路器均为同期点, 同一个断路器合闸, 有时是差频同期, 有时是同频同期, 而每个断路器串供同期使用的 TV 有 4 个, 如图 2 所示。对于同一断路器因运行方式及操作目的不同, 它所使用的 2 个同期 TV 也不同, 这就为同期操作带来麻烦, 为解决这一问题, 目前同期电压的取得方式广泛采用“近区优先”原则确定断路器的同期电压来源。实现方法是通过断路器串中的断路器 QF 及隔离开关 QS 的辅助接点进行某种逻辑组合后完成同期电压切换。

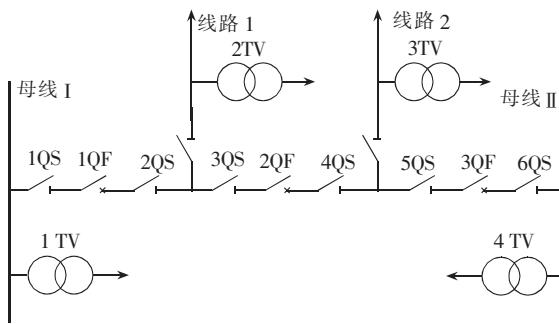


图 2 3/2 接线形式简图

Fig.2 The 3/2 connection

## 2 传统接线存在的问题及改进

### 2.1 对 KSY 闭锁角度的分析

KSY 是同期闭锁继电器, 用以在同期电压间的相角差大于整定值  $\Phi_Z$  时切断合闸回路(见图 1)。不难看出, 这个同期接线是为处在与系统解列的发电机并网而设计的。这个同期过程的特点是并网前断路器两侧存在压差、频差, 同期电压间的相角差不断在  $0^\circ \sim 180^\circ \sim 360^\circ$  间变化, 理想的并网时机是在相角差为  $0^\circ$  时完成。KSY 的引入是为了避免大相角差时并网导致发电机受损, 其定值  $\Phi_Z$  一般在  $20^\circ \sim 30^\circ$ 。

无疑, 这是避免非同期合闸的一个有效方法。但人们常误认为这个角度整定值越小越安全, 而忽视了与之相关的其他因素。设 KSY 的整定闭锁角为  $\delta_T$ , 并列点断路器合闸时间为  $t_K$ , 同期装置的允许频差整定值为  $\Delta f$ , 这样同期装置将在同相点( $\delta=0^\circ$ )到来前的  $\delta_K$  角度时发出合闸脉冲。

$$\delta_K = 2\pi \Delta f t_K$$

可见, 当  $\delta_K < \delta_T$  时可以顺利并网。而当  $\delta_K > \delta_T$  时将人为制造的相角差  $\Delta\delta$  所引起的冲击, 并网瞬间的  $\Delta\delta = \delta_K - \delta_T$  (未计及频差变化率)。因此, KSY 闭锁角  $\delta_T$  的整定值必须和断路器的合闸时间  $t_K$  及允许频差  $\Delta f$  综合考虑, 其中  $t_K$  不可改变, 若不符合  $\delta_K < \delta_T$  这一条件, 只有减少容许频差  $\Delta f$ , 而这又将导致并网过程的拖延。对此, 在使用设计严密的微机准同期装置时可以考虑取消 KSY 的闭锁, 这有利于使发电机的并网过程不至于因允许频差整定值过小产生频差符号交替变换而延缓并网过程。事实上很多调速器都是临近同期速度时产生不稳定的振荡, 甚至造成并网难以进行。理应以较大的允许频差整定值躲开这种工况的出现。当然在进行手动准同期并网时, KSY 的闭锁是必要的。

### 2.2 对各同期点同期性质的分析

如前所述, 图 1 是为处在与系统解列的发电机并网而设计的。而随着电网架构的日益紧凑, 以及发电厂及变电所主接线的复杂化, 传统的同期接线已无法适应这一变化。

对图 3 中接线进行分析, 如在 1QF 处进行并网即属同频并网, 开环点 1QF 两侧的电压  $U_1$  和  $U_2$  均为同一频率, 但在其两侧有电压差和相角差, 此相角

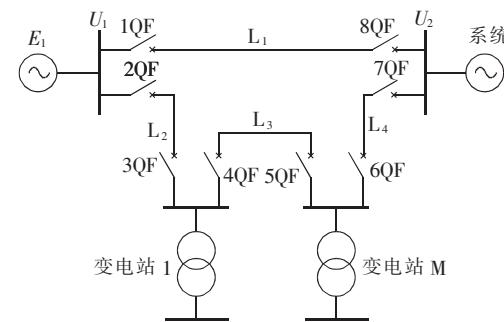


图 3 同频并网(合环)示意图

Fig.3 Parallel-in under same frequency

差为由线路  $L_2, L_3, L_4$  构成的等值线路运行功率角  $\delta$ , 如等值线路传输功率为  $P$ , 电抗为  $X_L$ , 则  $E_1$ (发电厂等值发电机的电势)和  $U_2$  间的功角  $\delta$  为

$$\delta = \arcsin(PX_{d\Sigma}/E_1 U_2)$$

式中  $X_{d\Sigma} = X_d + X_T + X_L$ ,  $X_d, X_T$  分别为发电机同期电抗及变压器电抗。

当合上 1QF 时, 相当于在原等值线路两端并联了线路  $L_1$ , 其直接导致的结果是分流了原运行线路的一部分负荷, 改善了电压质量, 提高了系统的稳定储备, 而其分流的负荷应受以下条件制约:

a. 分得的负荷不能因过大而导致继电保护动作再次断开线路;

b. 分得的负荷不能因超过该线路的稳定极限, 导致线路两侧电源失步而再次断开线路。

当这两个制约条件满足时, 若 KSY 整定角仍为传统的  $30^\circ$ , 则反而会制约合环操作。

以下结合图 4 中的电气主接线分析各运行方式下各断路器面临的不同操作方式。

a. 发电机出口断路器 201QF, 202QF。这两个断路器在任何情况下都属差频并网性质, 理想的同期操作是在压差和频差满足要求的前提下于相角差为  $0^\circ$  时实现同期。

b. 500 kV 3/2 接线断路器 5011QF, 5012QF 和 5022QF, 5023QF。在 201QF, 202QF 已合上的情况下, 5011QF, 5012QF 两者中及 5022QF, 5023QF 两者中先行合闸的与 201QF, 202QF 一样为差频并网性质, 而后来合闸的则将面临合环操作(同频并网), 因发电机将通过 500 kV 出线进入系统, 并通过其他发电厂、变电所与该发电机形成合环。

c. 500 kV 3/2 接线断路器 5013QF, 5021QF。这些断路器在正常运行方式下基本为合环操作, 只有在出线停运后再次充电会面临单侧无压合闸。

d. 110 kV 出线断路器 1101QF。此断路器为合环操作。

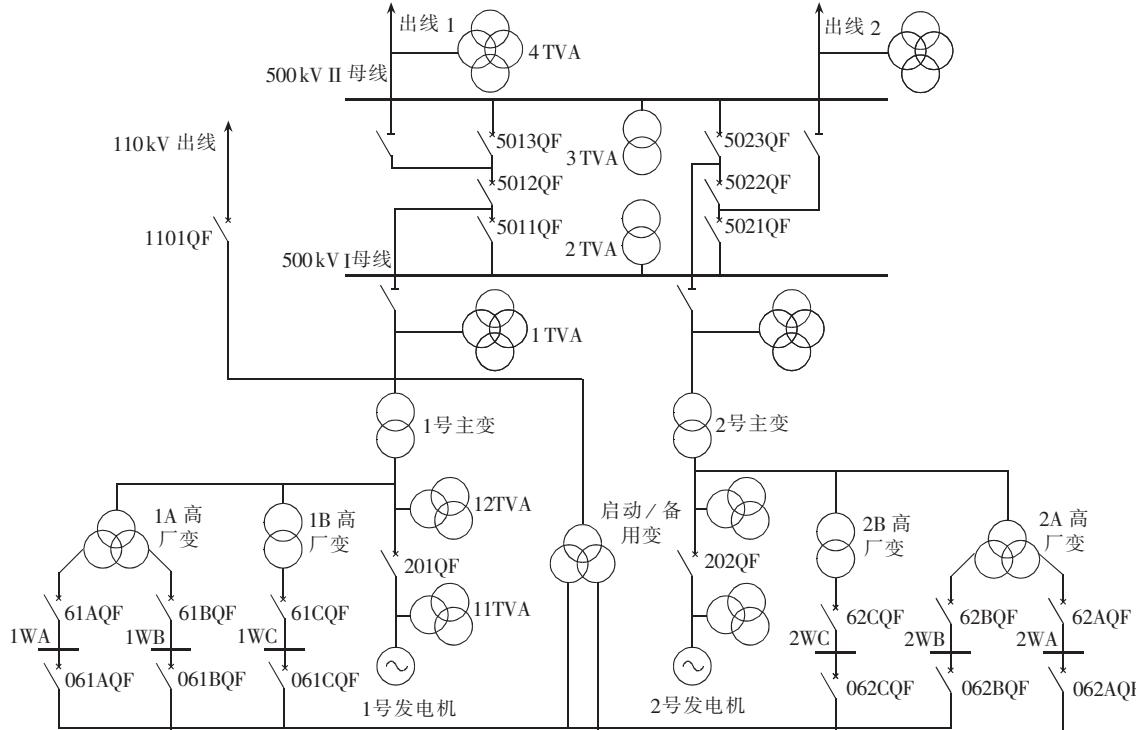
e. 6 kV 断路器 61A~CQF, 061A~CQF, 62A~CQF, 062A~CQF。这些断路器合闸时可能会面临单侧无压合闸、差频并网、合环操作三种情况。如果在 1 号发电机开机时, 一般通过 500 kV 系统倒送厂用电, 500 kV 侧断路器 5011QF(或 5012QF)先合上, 此时按单侧无压合闸方式合上 61A~CQF, 发电机进入开

机过程,发电机冲转完成后通过 201QF 并入系统(按《火力发电厂厂用电设计技术规定》中对高压厂用备用或启动/备用电源描述:“当发电机出口装有断路器或负荷开关时,4 台及以下机组可设置 1 台高压厂用启动/备用变压器,其容量可为 1 台高压厂用工作变压器的 60%~100%”。

在这种特殊情况下,机组的正常启停厂用由高压系统通过主变压器供给,其可靠性极高,厂用备用电源已不需要承担启动电源的功能,只是作为检修厂高变的备用,更主要的作用是保证在事故情况下厂用工作电源失电时机组能安全停机<sup>[2]</sup>。

若发电机出口不装设断路器,则开机过程为:断开 61A~CQF,将 061A~CQF 按单侧无压方式合闸,发电机进入开机过程。发电机冲转完成后通过 5011QF 或 5012QF 并入系统。接着将 61A~CQF 按合环操作方式使厂用母线 1WA,1WB,1WC 由发电机供电,继而断开备用分支断路器 061A~CQF。

分析图 4,该主接线的同期点从 201QF~1101QF 共 21 个,这 21 个同期点中能套用图 1 同期接线的断路器只有 201QF 和 202QF 2 个。其特征是这 2 个断路器合闸前其两侧是完全解列的 2 个电源;其余 19 个断路器在同期时有可能其两侧为完全解列的 2 个电源,但有时则可能是存在着电气联系的同一个系统。在后一种情况下断路器两侧的同期电压因没有频差,因而不存在相对运动。但这并不说明它们之间没有相角差,恰恰相反,它们之间将会出现一个固定的相角差,其值与联接断路器两侧的正在运行联络线的电气参数(电抗)及输送的有功功率有关,该相角即是该联络线的功角  $\delta$ 。



因此,合环操作用一个固定角度定值的同期检查继电器 KSY 闭锁合闸回路的做法已无法适应合环操作的要求。正确的做法应通过潮流计算,得出合环操作后新投入线路分得的负荷电流,进而确定合环操作是否会失败(调度部门通过遥信和遥测设备可获得不同运行方式下的系统结构及潮流分布,加上已知系统中发电机、变压器、线路等设备的电气参数,因此可以计算出各开环点断路器合环操作后将分流的负荷和与之对应的  $\delta$  值)。根据计算结果,将其下达给各开环点断路器的自动装置(或 KSY)作为定值,这样既保证了合环操作的安全,又不至于因定值过小而失去合环机会。为了简便,可取不同运行方式下不同的  $\delta_{max}$  中的最小值。

### 3 大型发电厂同期系统设计方案

#### 3.1 新型同期装置应具备的功能及设计上的完善

图 4 中按传统同期定义的断路器只有 201QF 和 202QF 两个,过去按常规设计它们将配备自动准同期装置,而剩下的十几个断路器由于可能面临同频同期既合环操作的问题而只能用手动同期进行操作,就算现在把 ST, 1SSYH, SSYH, SSY 等开关量纳入 DCS 控制,而最基本的操作还是要由运行人员关注,自动化水平还是很低,根本无法与自动化程度越来越高的 DCS, NCS 相协调。为此,大型发电厂的同期系统设计应该建立在更高的自动化水平上,这对同期装置也提出了更高的要求,设计上也应进行相应变革并注意与其他设备分工配合。

##### a. 应选用具备自动识别各同期点的并网性质

(差频或同频同期)并自动进行相应同期操作功能的同期装置。这样便可以把所有需要进行差频或同频并网的断路器都纳入自动准同期装置的控制范畴。

设计上取消同频并网合闸回路中的 KSY 和手动同期开关,用同期装置实现各同期点切换的完全自动化。

**b.** 同期装置应能自动切换各同频操作同期点的不同的允许功角( $\delta$ 值)并具备对上位控制机的通信接口。各级调度部门担负起向各厂、站下达合环点同期装置允许合环功角定值的任务。在进行合环操作时,若实测 $\delta > \delta_{max}$  或  $\Delta U > \Delta U_{max}$ ,同期装置一方面应闭锁合闸回路,另一方面应将信息通过远动终端单元 RTU(Remote Terminal Unit)上传到调度中心,以便在调度的指挥下,创造 $\delta < \delta_{max}$  或  $\Delta U < \Delta U_{max}$  的条件以进行合环操作。

**c.** 3/2 接线时各同期点同期电压的自动切换<sup>[3]</sup>。笔者认为,“近区电压优先”原则中通过串中的断路器 QF 及隔离开关 QS 的辅助接点进行某种逻辑组合后完成同期电压切换的思路完全可以由目前新出现的自动化程度很高的同期电压切换器完成,如 SID-2SE 型数字式 3/2 接线断路器同期电压切换器,可根据输入的断路器串中各断路器和隔离开关辅助接点的状态,自动选出相应的 2 个 TV 二次电压送给自动或手动同期装置。切换器还能送出 4 个 TV 二次断线信号,及根据当前同期对象发给自动同期装置选择整定参数的开关量信号,按图 2 接线配合切换器使用时的输入/输出回路如图 5 所示。

可见,原“近区优先”的功能由装置被模块化实现后,再配合能自动识别同期点性质的新型同期装置使用,则可以大大提高同期操作的自动化水平,结合 DCS,NCS,断路器的同期操作就完全无需人工介入。

**d.** 同期装置与线路测控装置的分工。随着升压站 NCS 系统的广泛应用,线路微机型测控装置受到了设计人员及运行人员的青睐,线路的同期操作设计中有两种模式:采用测控装置自带的检同期功能,各断路器同期操作由各测控装置完成;采用能自动识别同频、差频并网的线路同期装置完成,装置设计为多条线路共用。对于这两种设计模式,笔者认为,因同期装置的使用概率比全天候工作的保护装

置和测控装置低得多,因此可以考虑把断路器同期操作的功能要求独立出来,即按分布式控制方式设计的测控装置仍可作为 NCS 的重要部件,只是应去除其顺带的检同期功能,各断路器的同期操作考虑由功能完善的自动同期装置完成。目前已在一些发电厂和变电所使用了能自动识别同频并网和差频并网的线路同期装置(如 SID-2CT,SID-2HT 型装置),装置设计为多条线路共用,通过自动同期选线器(如 SID-2X 型装置)在上位机的控制下自动进行同期点的切换,每个同期点具有独立的整定参数组(包括允许功角的定值等)。

**e.** 同期装置与快切装置的分工。目前,在一些电厂的设计过程中,由于快切装置具有带允许频差和相差范围内的正常并联操作功能(先合后断),因此设计人员把厂用电源断路器的正常同期操作也交由快切装置完成。笔者认为,对发电厂存在的大量的同频同期(合环)并网点而言,快切装置的职责是解决事故情况下备用电源的操作问题,即快速、安全地实现备用电源的投切,最大限度地减少对厂用电动机的冲击和危害,快切装置与同期装置不同,是 24 小时全天候工作的,因此没有必要让快切装置去实现厂用电系统的正常倒闸操作,应把保护的功能和正常操作的功能区分开。在设计中合理的分工应该是:同期装置负责正常情况下同期点断路器的合闸操作,快切装置负责事故情况下的厂用电系统断路器的分、合操作。

### 3.2 大型发电厂同期系统设计方案

仍以图 4 的电气主接线为例,图中的 21 个断路器都有差频并网和合环操作的问题,结合新型同期装置,介绍此主接线同期系统设计方案(以深圳智能公司产品为例)。

**a.** 每台发电机配置 1 台发电机线路复用同期装置(如 SID-2CM 型)及 1 台同期选线器(如 SID-2X 型),实现对以下 11 个断路器的控制:发电机出口断路器 201QF(202QF);500 kV 3/2 接线串中的 2 个断路器 5011QF 和 5012QF(5022QF 和 5023QF);6.3 kV 厂用工作/备用分支共 6 个断路器;110 kV 启备变高压侧 1 个断路器 1101QF。

**b.** 500 kV 网控 6 个断路器配置 1 台线路同期装置(如 SID-2CT 型)及 1 台同期选线器(如 SID-2X 型)。

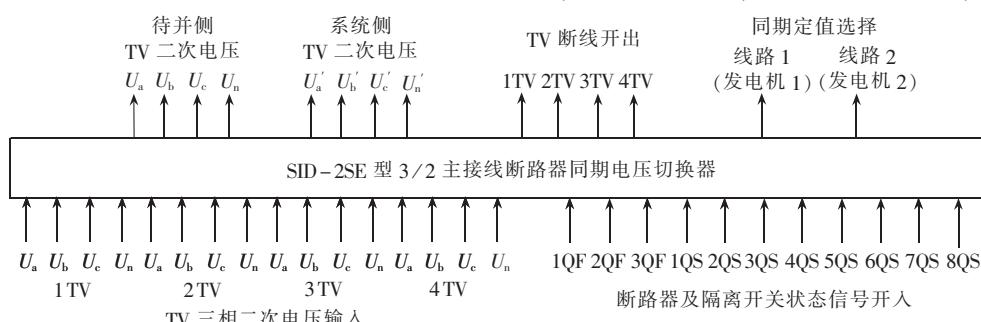


图 5 SID-2SE 型装置输入/输出回路图

Fig.5 The input/output circuits of SID-2SE equipment

c. 由于发变组高压侧设有隔离开关,在该隔离开关合上时,500 kV 2 个断路器由发电机的 SID-2CM 型同期装置实施同期操作。在该隔离开关断开时,则 2 个 500 kV 断路器应由网控的 SID-2CT 型线路同期装置控制,设计中应根据这一需要,按该隔离开关的状态通过继电器进行 2 台同期装置的自动切换。

d. 每台机的 6 kV 厂用电源的事故切换由厂用电切换装置实现(每段配置 1 套,2 台机共 6 套厂用电源切换装置)。

e. 每台机各设同期屏 1 面(含 SID-2CM 同期装置及 SID-2X 选线器各 1 台)。配备相应供急需时的手动同期部件,如手准/自准切换开关,手动调速、调压、合闸按钮、带自动转角并可控同期闭锁角功能的 SID-2SL 数字式同期表等。500 kV 网控室配置 1 面内含 SID-2CT 线路同期装置及 SID-2X 选线器各 1 台的同期屏,也配备有相应供急需时的手动同期部件。

f. 发电机同期点的选线由 DCS 上位机发出,500 kV 线路同期点的选线由 NCS 上位机发出。主变压器高压侧连接的 500 kV 断路器串中的 2 个断路器的选线控制取决于主变高压侧隔离开关的分合状态。在选线器故障时还可通过选线器的面板进行手动选线。

g. 3/2 接线中每串的 3 个断路器配置 1 个“SID-2SE 型 3/2 主接线断路器串同期电压自动切换器”。使每个断路器在同期操作时都能自动获得与当时主接线运行方式相应的同期电压,并能正确选择当时同期操作对象(发变组或线路)的同期参数定值。

可见,按这种方案进行配置后,同期装置及快切装置各尽其长,更重要的是保证了自动操作的安全可靠。在这种模式下,断路器同期操作的流程为(以发电机并网点为例):先通过上位机 RS-485 总线或 DCS(或 NCS)开关量控制选线器进行选线操作→选线器在接到选线指令后立即将相应的同期信号及被控对象(调速、调压及合闸回路)与同期装置联通,同时选线器给同期装置上电→同期装置自检→若自检通过则通过选线器向 DCS 送去“同期装置准备就绪”信号→同期装置等待 DCS 的“启动同期工作”命令→DCS 在数字式电液调节器(DEH)和自动电压

调节器(AVR)等准备好后通过选线器向同期装置发出“启动同期工作”命令→同期装置进入同期检测、控制流程→发出合闸命令完成并网→操作结束后,同期装置将同期操作结束信号返送到选线器,选线器随即切断同期装置电源,自身进入扫查新的选线命令状态。

可见,整个过程由 DCS 与同期装置间的“握手信号”完成,自动化程度很高。

#### 4 结语

综上考虑的设计方案及对同期装置的要求如下:

a. 同期装置按单元机组分别装设,把与机组相关的各断路器(包括发电机出口断路器、高压侧断路器、6 kV 工作及备用断路器)的同期操作纳入同一套同期装置考虑;

b. 线路各断路器的同期操作纳入公用的一套同期装置完成;

c. 同期装置应能自动识别并网点性质并满足差频、同频同期操作的要求;

d. 同期装置与 DCS、NCS 之间实现真正无人工介入的自动化操作。

电力系统不断扩大,单机容量不断增大,如何使同期接线设计更趋合理化,保证系统安全运行仍需进一步研究。希望本文提出的设计方案能对设计人员有所帮助。

#### 参考文献:

- [1] 西北电力设计院. 电力工程电气设计手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [2] 卓乐友, 李树平, 白忠敏, 等. 600 MW 机组电气设计交流资料汇编 [M]. 北京: 电气设计技术编委会, 2000.
- [3] 卓乐友, 叶念国, 翁乐阳, 等. 微机型自动准同步装置的设计与应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.

(责任编辑:李玲)

#### 作者简介:

沙 励(1975-),男,广东阳江人,工程师,主要从事火力发电厂及变电所电气一次及二次方面的设计工作(E-mail: shali@gedi.com.cn)。

## Design of synchronization system for large power plant

SHA Li

(Guangdong Electric Power Design Institute, Guangzhou 510600, China)

**Abstract:** As power net turns more complex and large capacity unit increases, the design concept of power plant synchronization system should adapt to the change. The normal modes of synchronization system are described, the problems existed in traditional wiring design of synchronization system are analyzed and the corresponding improvements are presented. Combined with new synchronization equipment, a new design of synchronization system for large power plant is brought forward and the cooperation with other systems are pointed out.

**Key words:** synchronization; power angle; line selection