电力系统自动装置

许克明　田怀智　编

重 庆 大 学 出 版 社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 提 要

本书以电力系统最基本、常用的、重要的自动操作装置、自动调节装置作为基本内容，并根据系统的发展，介绍了当前最新的、处于发展中的自动化系统。全书共五章，分别论述了同步发电机的自动并列、同步发电机自动励磁调节系统、电力系统频率及有功功率的自动调节、按频率自动减负荷及其他安全自动控制装置、电力系统调度自动化的监控技术及配电网负荷控制技术。

电力系统自动装置

许克明　田怀智　编

责任编辑　曾令维　韩　洁

*

重庆大学出版社出版发行

新　华　书　店　经　销

重庆建筑大学印刷厂印刷

*

开本：787×1092　1/16　印张：10.5　字数：257千

1996年5月第1版　2000年7月第3次印刷

印数：13 001 - 18 000

ISBN 7-5624-1110-7/TM·46　定价：11.00元

前　言

本教材是根据国家教委颁布的《电力系统自动装置》(专科)教学大纲编写的。它适合作“电力系统及其自动化”专业及相近专业专科的专业教材,并可作为该专业本科的教学参考书。

本书还可供有关工程技术人员参考。

全书共分五章,其中第一章、第二章的第九、十节及第四章第一、二节由新疆工学院田怀智编写,其余部分由贵州工学院许克明编写。

本书由上海交通大学杨冠城教授主审。他对本书内容提了极为宝贵的意见,为此表示衷心感谢。

限于编者水平,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

1995.5

绪　　论

一、电力系统与自动化的关系

由于电力系统的固有特点，即发电、输电及用电的同时性，而又相互影响；且地域广阔，只有借助自动化手段才能保证电力系统安全运行和使电能质量符合指标，进而提高电力系统经济运行水平。

随着当代电力系统的发展，电网的电压更高，距离更远、容量更大，运行方式更趋复杂，对电力系统自动化的要求越来越严、越来越高。因此，促进了电力系统自动化技术的进一步发展。

利用计算机与自动化技术实现的安全稳定控制系统、调度自动化系统，已成为现代电网必须具备的、赖以存在的支柱。而若干基本自动装置则是维持电力系统正常运行的基础。

二、电力系统自动化的范畴与分类

对电力系统的管理，即监测与控制，均能应用自动化技术及其实现的装置来完成。这样的工作，比人工更及时、更快、更精确，更能全面响应，因而更符合电力系统需要。也正因为如此，自动化范围涉及面很广。

在电力系统中使用的自动装置可分成以下几种类型。

1. 自动操作型装置

这是保证电厂与电网安全运行的自动装置。包括正常操作与反事故操作型两大类，后者又称为安全自动控制装置。这类自动装置的工作模式均可用图 0-1 表示。图中的控制信号作用于受控设备。

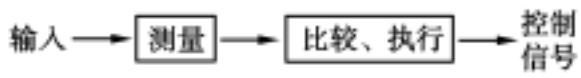


图 0-1　自动操作型装置工作模式

这一类装置包括各种动力机械的自动控制装置、自动并列、强行励磁、自动按频率减负荷、自动解列、自动切机、电力负荷控制等等装置。广义地看，继电保护及自动重合闸等也应属于安全自动控制装置，只因其工作的特殊性、多样性及系统性，继电保护已成为一门独立发展的学科。

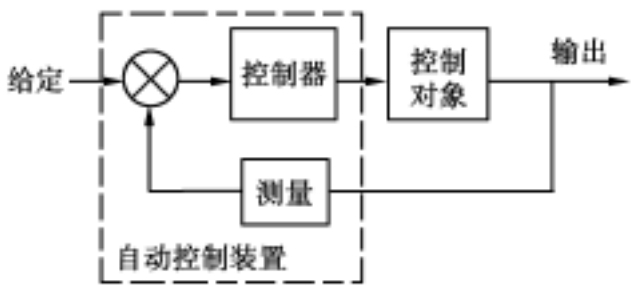


图 0-2　自动调节系统工作过程框图

2. 自动调节(控制) 系统(装置)

这是保证电力系统正常稳定运行，保证电网电能质量符合指标，进而实现电网经济运行的重要自动化技术。其工作方式如图 0-2 所示，装置按闭环控制系统方式进行工作。其中包括极其重要的励磁控制系统、自动调频系统。它们起到保持频率为额定、电压在容许范围的功能；并使有功功率、无功功率分配合理，进而实现电网经济运行。

3. 电力系统监控系统

这是为电力系统调度服务的调度自动化系统。其主要任务是提高电力系统的安全、经济运行水平，迅速处理系统事故，使造成的影响最小。

整个系统借助于计算机数据采集和监控系统(SCADA 系统) 技术与数字通信技术来实现，是现代电力系统必具的调度设施。

三、本课程的内容

1. 教材特点

本教材以电力系统最基本、最常用的自动操作装置、自动调节装置作为基本内容，根据系统的发展，也介绍了当前处于发展中的自动化系统。

电力系统自动化是服务于电力系统的，因此，本课程根据《电力系统》课程的内容，按自动装置所提出的要求来阐述涉及到的电力系统运行知识及基本规律。

电力系统自动化技术总是随着自动控制理论、电子技术及计算机技术的发展而不断更新。作为专业课，在论述到相关知识时，均认为有关课程，即《自动控制理论》、《电子技术基础》、《计算机原理及应用》课程已讲授，故不重复。只当认为相关基础未提及或必须着重说明时，才补充或简要重复，目的只在讲清装置的原理及工作。

由于自动化技术发展特别快，每一种功能的自动装置均可能有若干型式。在讨论某一种自动装置时，只选择具有代表性，并在技术上有一定先进性的装置作为分析对象，而不可能对每一种型式均给予介绍。

2. 教材内容

根据教学大纲基本要求，本书分五章讲授。

第一章为同步发电机的自动并列。这是电力系统运行中一项重要的操作，自动并列装置则是既重要、又常用的自动操作装置。通过对各种并列理论的介绍，可以加深对电力系统并联运行行为的理解。因此，对并列装置工作原理作了较为详细的叙述。考虑到专科教学特点，还对中小厂站常用的组合式同步表作了简介。

第二章为同步发电机自动调节励磁系统。这是电力系统自动调节的一项重要内容，是保持电力系统的电压与无功合理分配的手段。本章对调节系统的静、动态特性，以及对电力系统稳定的影响均作了分析，并介绍了典型调节装置的工作原理。由于至今在许多电厂中仍运行着电磁型励磁调节器，本章对此也作了介绍。

第三章是电力系统频率及有功功率的自动调节。这也是一项典型的电力系统自动调节过程，因为电力系统对频率要求的特殊性，以及有功功率分配的合理性与经济运行相关，因此本章主要讨论频率的静态特性及频率调节的几种基本方法。

第四章是按频率自动减负荷及其他安全自动控制装置。重点讨论了事故情况下频率的动态特性及防止事故扩大的几种自动装置。

第五章为电力系统调度自动化及电力负荷控制技术简介。由于调度自动化涉及范围很广，本章只指明其包含的主要内容，并简要介绍实现调度自动化的主要技术手段——SCADA 系统的基本工作原理。本章还对配电网中的电力负荷控制技术作了扼要介绍。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

本教材中文字符号较多。文字符号主要按国标规定; 国标未具体规定处, 采用工程中仍使用的拼音文字符号。符号下标基本采用英语编写; 当被下标说明的符号为拼音字符时, 下标按被说明文字型式标注。

第一章　同步发电机的自动并列

§1-1　概　　述

一、并列的定义及并列操作的重要性

为了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。根据系统运行情况的需要，有时会将一台或多台同步发电机退出或投入运行，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。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称为并列或同期操作。

实践证明，在发电机并列瞬间，往往伴随有冲击电流和冲击功率。这些冲击，将引起系统电压瞬间下降。如果并列操作不当，冲击电流过大，还可能引起机组大轴发生机械损伤，或者引起机组绕组电气损伤。发电机并列是一项经常性操作，在系统发生事故出现功率缺额时，也往往要求将备用发电机组迅速投入电网。因此，并列操作在电力系统中是频繁而必要的。为了避免并列操作不当而影响电力系统的安全运行，发电机的同期并列，应满足下列两个基本要求：

(1) 发电机投入瞬间冲击电流应尽可能小，其最大值不应超过允许值；

(2) 发电机组并入系统后，应尽可能快的进入同步运行状态。

二、并列的方式

并列的方式可分为两种，它们是准同期并列和自同期并列(特殊条件下，还有非同期并列方式)。

1. 准同期并列

准同期是待并机组并列前，转子先加励磁电流，并调整到使发电机电压与系统电压相等；同时调整发电机转速使发电机频率与系统频率相等。当上述两个条件满足时，在相位重合前一定时刻发出合闸脉冲，合上发电机与系统之间的并列断路器，这种并列称为准同期并列。

采用准同期并列的优点是：在正常情况下，并列时产生的冲击电流比较小，对系统和待并发电机均不会产生什么危害，因而在电力系统中得到广泛采用。

准同期并列的缺点是：因同期时需调整待并发电机的电压和频率，使之与系统电压、频率接近。这就要花费一定时间，使并列时间加长，不利于系统发生事故出现功率缺额时及时投入备用容量。

2. 自同期并列

自同期是待并发电机并列时，转子先不加励磁，调整待并发电机的转速，当转速接近同步转速时（正常情况下频差允许为（2～3）%，事故情况下可达 10%），首先合上机端断路器，接着立刻合上励磁开关，给转子加励磁电流，在发电机电势逐渐增长的过程中由系统将发电机拉入同步运行。

自同期最大的优点是投入迅速，操作简单。当系统发生事故要求备用机组迅速投入时，采用这种并列方式比较有效。它的缺点是：并列过程出现较大的冲击电流，对发电机不利。此外，自同期初期，待并发电机不加励磁，它将从系统吸收无功功率，从而导致系统电压突然降低，影响供电质量。因此，对自同期的应用规定了较严格的限制条件。

应用自同期并列方式将发电机投入系统时，因为发电机不加励磁，这相当于系统经过很小的发电机纵轴次暂态电抗 X_d'' 而短路，所以合闸时的冲击电流较大，这会引起系统电压的短时下降。自同期合闸时最大冲击电流的周期分量 $I_{i\cdot cy}$ 可由下式求得：

$$I_{i\cdot cy} = \frac{U}{(X_d'' + X)} \tag{1-1}$$

式中 X_d''——发电机纵轴次暂态电抗；

X——系统电抗；

U——系统电压。

发电机母线电压 U_t 为：

$$U_t = \frac{UX_d''}{(X_d'' + X)} \tag{1-2}$$

可以看出，自同期合闸时的最大冲击电流必然小于发电机出口三相短路时的电流，一般来说发电机是应该经受得起这一冲击电流的。但由于这种并列操作是经常进行的，为了避免由于多次使用自同期产生的积累效应而造成绝缘缺陷，所以应对自同期使用作一定的限制。我国规程中规定：对于一切水轮发电机、同步调相机，以及发电机—变压器组方式连接的汽轮发电机及小容量的汽轮发电机组，只要其绝缘及端部固定情况良好，端部接头无不良现象，均可采用自同期并列方式。但对于容量为 3 000kW 以上与母线直接连接的汽轮发电机，需要通过下列验算才能确定是否能采用自同期并列方式。

这时，要求自同期合闸冲击电流产生的电动力不超过发电机出口三相短路时所产生电动力的一半，以保证安全。按照这一要求，由于电动力与电流平方成正比，所以可用下式表示：

$$\left(\frac{I_{i\cdot cy}}{I''}\right)^2 \leq \frac{1}{2} \tag{1-3}$$

或

$$I_{i\cdot cy} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} I'' \tag{1-4}$$

式中 I''——发电机出口三相短路电流的周期分量，它可由下式计算：

$$I'' = \frac{E}{X_d''} = \frac{1.05}{X_d''} \tag{1-5}$$

式中 E——发电机电势。

将上式代入式（1-4），可得：

$$I_{i\cdot cy} \leq \frac{0.74}{X_d''} \tag{1-6}$$

按照式(1-1)所求出的冲击电流 $I_{i\cdot cy}$ 若能满足式(1-6),便可允许进行自同期并列。

本章只对准同期作介绍,不再讨论自同期。

§1-2 准同期并列原理

一、准同期并列的条件

采用准同期并列的条件为:

1. 待并发电机和系统相序相同;
2. 待并发电机和系统的频率相等;
3. 待并发电机电压和并列点的系统侧电压相等;
4. 待并发电机电压和并列点的系统侧电压相位角相等。

下面分析为什么并列时必须满足上述4个条件。

如图1-1(a)所示,G为待并发电机,其直轴次暂态电抗为 X_d'',系统用等值发电机 G_s 表示,X_L 为它们之间的联系电抗。设发电机的空载电势等于端电压 U_g,系统侧电压为 U,并列点断路器为 DL。图1-1(b)为其等值电路。

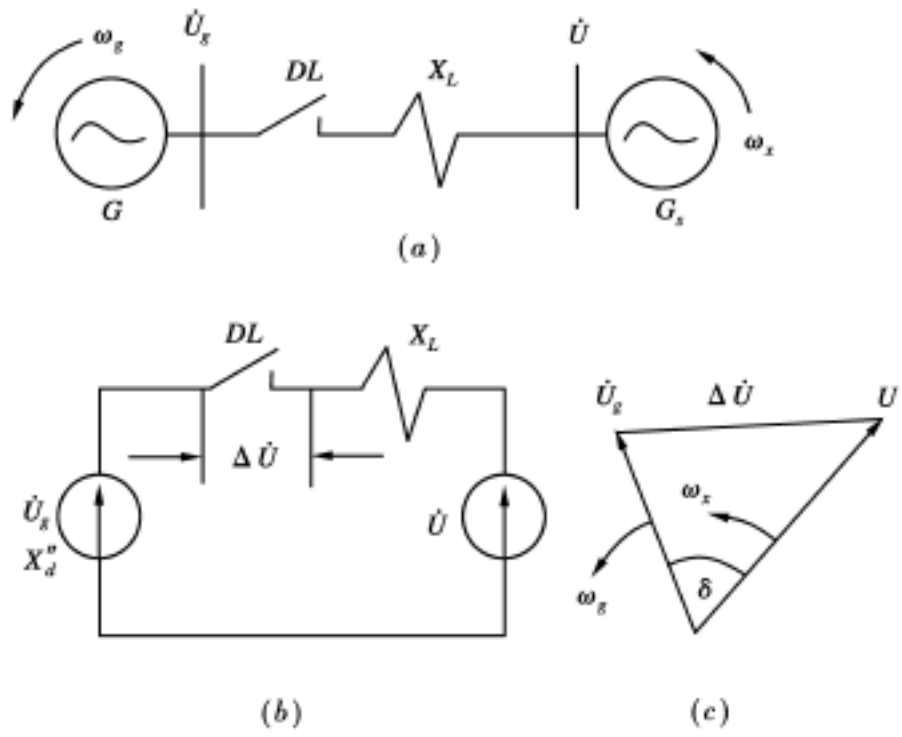


图1-1 发电机并列示意图

若发电机的角频率为 ω_g,系统电压的角频率为 ω_x。当发电机电压与系统电压存在相角差 δ 时,电压矢量图如图1-1(c)所示。

显然,在 DL 两端存在电压差 ΔU,由电压三角形不难看出:

$$\Delta U = \sqrt{U_g^2 + U^2 - 2U_g U\cos\omega_s t} \qquad (1\text{-}7)$$

式中 $\omega_s = \omega_g - \omega_x$,为滑差角频率。

当 $\delta = \omega_s t$, $U_g = U$ 时,

$$\Delta U = 2U\sin\frac{\delta}{2} \qquad (1\text{-}8)$$

实际进行并列操作时，可能有以下偏差及其影响。

1．存在电压幅值差

若并列时，发电机角频率 ω_g 等于系统角频率 ω_x；发电机电压与系统电压相位相等，即相角差 $\delta=0$；电压幅值不等，即 $U_g \neq U$。

这时有矢量图如图 1-2 所示。

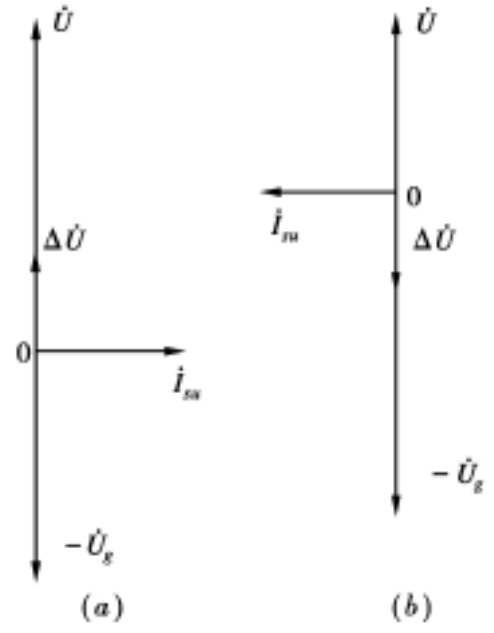


图 1-2　电压不等时的矢量图

由矢量图可看出，断路器 DL 闭合瞬间，在电压差 $\Delta\dot{U}$ 的作用下，会产生冲击电流 $\dot{I}_{su}$，此电流为：

$$\dot{I}_{su} = \frac{\dot{U} - \dot{U}_g}{X_L + X_d''} = \frac{\Delta\dot{U}}{X_L + X_d''}$$

由于发电机与系统之间的阻抗是感性的，所以当 $U_g < U$ 时，$\dot{I}_{su}$ 滞后于 $\Delta\dot{U}$ 90°，如图 1-2(a) 所示。该电流对待并发电机来说是呈容性的，即起助磁作用，对系统中已运行的发电机而言是感性的。当 $U_g > U$ 时，则矢量图如图 1-2(b) 所示。此时冲击电流 $\dot{I}_{su}$ 对待并发电机起去磁作用，能促使发电机电压下降趋于系统电压。

通过上述分析可看出当 $U_g \neq U$ 时，会产生冲击电流 $\dot{I}_{su}$，该电流属于无功电流，$\dot{I}_{su}$ 过大，将会引起发电机定子绕组发热以及由之产生的电动力使绕组端部受到损坏。因此，必须限制冲击电流 $\dot{I}_{su}$。

2．存在相角差

若并列时，电压幅值相等，$U_g = U$；频率相等，$f_g = f_x$；但相位差 $\delta \neq 0$。此时相量关系如图 1-3 所示。

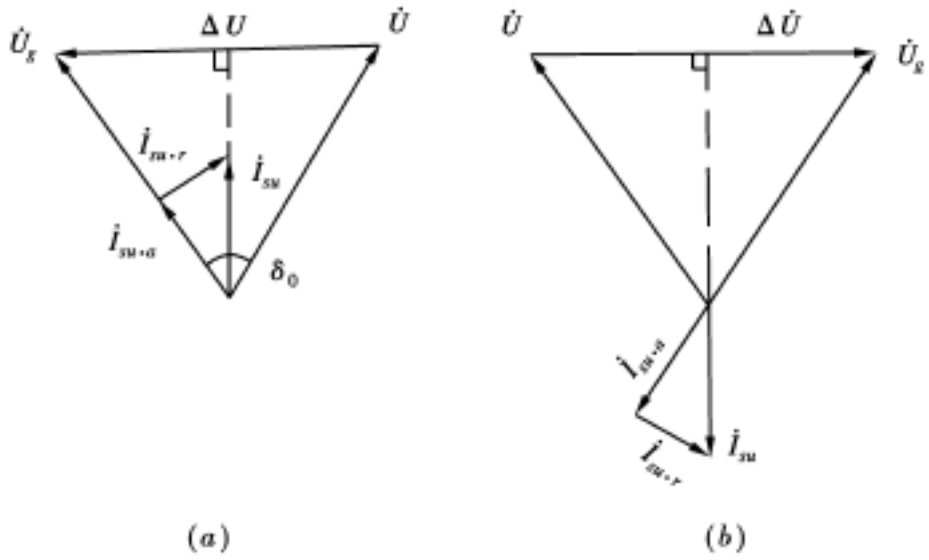


图 1-3　相位不等时的矢量图

若发电机电压相位超前系统电压 δ，则矢量图如图 1-3(a) 所示。冲击电流 $\dot{I}_{su}$ 的有功分量 $\dot{I}_{su\cdot a}$ 和发电机电压 $\dot{U}_g$ 同向，发电机送出有功功率。

若发电机电压相位滞后系统电压 δ，则矢量图如图 1-3(b) 所示，冲击电流 $\dot{I}_{su}$ 的有功分量

$\dot{I}_{su\cdot a}$和发电机电压 $\dot{U}_g$ 反向，发电机吸收有功功率。

并列时，发电机送出有功功率，意味着给发电机突然加上制动转矩。发电机吸收有功功率，意味着发电机突然得到加速转矩。这些突加的转矩，不管是制动的还是加速的，都将使机组大轴受到突然应力，使发电机产生抖动或机械损伤。

此外从矢量图还可看出，当 $\delta_0 \neq 0$ 时还会产生冲击电流的无功分量 $\dot{I}_{su\cdot r}$。

3. 存在频率差

若并列时电压幅值相等，$U_g = U$，但频率不等，$f_g \neq f_x$ 或 $\omega_g \neq \omega_x$。仍参看图 1-1(c)，即使某一瞬间 $\delta_0 = 0$，由于频率不等，发电机电压矢量 $\dot{U}_g$ 将相对系统电压矢量 $\dot{U}$ 以 $\omega_s = \omega_g - \omega_x$ 的相对角速度旋转。相角差 $\delta = \omega_s t$ 随着时间增长作周期性变化。在断路器 DL 动静触头两侧出现的电压差 $\Delta\dot{U}$ 也随着 δ的变化成为一个脉动电压 $\dot{U}_s$(即 $\Delta\dot{U} = \dot{U}_s$)。若在 $\dot{U}_s \neq 0$ 时合上断路器，则将有一冲击电流 $\dot{I}_s$ 作用于发电机。该电流将使刚投入系统的发电机带上过多的正有功或负有功功率，使发电机轴产生振动。当 δ较小时，认为 $\dot{I}_s$ 只为有功性质，当 δ较大时，认为 $\dot{I}_s$ 还含有无功性质电流分量。

如果在 $f_g > f$(即 $\omega_g > \omega_x$) 时并列，发电机电压向量 $\dot{U}_g$ 超前于系统电压 $\dot{U}$。此时发电机向系统送出有功功率，发电机转子受到制动力矩作用而使 ω_g 减小。若减小到 $\omega_g < \omega_x$，则 ω_s 为负。$\dot{U}$ 超前于 $\dot{U}_g$ 时，发电机向系统吸取有功功率，转子又受到加速力矩作用。转子经过几次摆动后，发电机才真正与系统同步。

如果并列时仍有 $\omega_g > \omega_x$，但 ω_s 较大。在发电机受制动力矩时，若只使 ω_s 减小而不变号，则 $\delta = \omega_s t$ 可以继续加大；在 $180° < \delta < 360°$ 时，发电机输出功率变负，即从系统吸收有功功率，机组更加加速，从而使发电机失步。

从上述分析可看出，同期并列时若不满足同期的 3 个条件，就会产生程度不同的危害。因此同期并列必须满足同期的 3 个条件。

一般将 $\omega_g = \omega_x$，$U_g = U$，$\delta_0 = 0$ 这 3 个条件称为并列的理想条件。满足理想条件，就可保证并列时冲击电流为零。事实上，并列时完全满足上述条件是困难的。实践证明，若

$$\text{电压差} \quad \Delta U\% = \frac{U_g - U}{U} \times 100\% \leq \pm(5 \sim 10)\%$$

$$\text{频率差} \quad S = \frac{\omega_g - \omega_x}{\omega_x} \times 100\% \leq (0.2 \sim 0.5)\%$$

$$\text{相角差} \quad \delta = \varphi_g - \varphi = \omega_g t - \omega_x t = \omega_s t = \pm 10°$$

(式中的 φ_g、φ分别为待并机和系统电压的相位) 则并列时造成的不良影响是允许的。上述 3 个条件称为并列的实际条件。

必须注意：在进行同期并列时，应首先检查相序，只有在相序相同的情况下，才能进行并列。这对新安装的发电机和发电机检修后尤其须特别注意，否则将永远不能同期或发生严重事故。

下面以手动准同期来说明并列过程：同期并列时，调整待并发电机的电压和频率使之与系统电压和频率基本相等，在相位差到达零之前某一时间，发出合闸信号，从而完成并列。电压及频率的调整以及发合闸命令均由运行人员来完成。

为了顺利完成手动准同期操作，一般电厂内装有同步仪表，用来检测 ΔU、ω_s 和 δ_0 在我国

需要全本请访问 www.ertongbook.com

常见的同步表有多种型式，其中 MZ—10 型组合式同步表近年使用得比较广泛。关于它的结构及原理见本章附录。

二、脉动电压的分析

若能找到一个包含同步三条件信息的电量，则可以此作为实现准同期条件的依据。而从并列点的断路器 DL 两侧取得的脉动电压 U_s 即满足这一条件。U_s 又称整步电压，这实际就是式(1-7)的 ΔU。对 U_s 讨论如下。

设图 1-1(a) 中待并发电机电压的瞬时值为：

$$u_g = U_{gm}\sin\omega_g t$$

系统侧电压的瞬时值为：

$$u = U_m\sin\omega_x t$$

式中 U_{gm}、U_m 分别为 u_g、u 的幅值。

我们将 $u_s = u_g - u = U_g\sin\omega_g t - U_m\sin\omega_x t$ 称为脉动电压。若 $U_{gm} = U_m$，则：

$$u_s = U_m\sin\omega_g t - U_m\sin\omega_x t =$$

$$2U_m\sin\frac{\omega_g - \omega_x}{2}t\cos\frac{\omega_g + \omega_x}{2}t \qquad (1\text{-}9)$$

以 $\omega_s = \omega_g - \omega_x$ 代入式(1-9)中得：

$$u_s = 2U_m\sin\frac{\omega_s}{2}t\cos\frac{\omega_g + \omega_x}{2}t \qquad (1\text{-}10)$$

式中 ω_s 为滑差角频率。

将 u_s 随时间变化的波形画出，如图 1-4 所示。

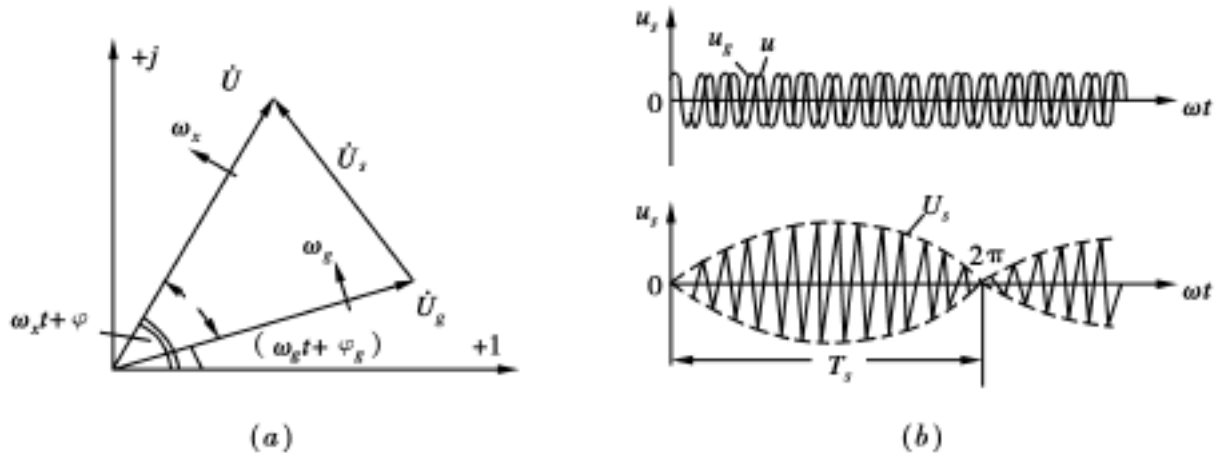


图 1-4　脉动电压

(a) 矢量图　(b) 波形图

因为并列时已将待并机频率调整得与系统频率接近，因此，上式中 ω_s 很小，对应式(1-10)中的正弦项随时间变化很缓慢，它是频率为 $\frac{\omega_g + \omega_x}{2}$ 的波形振幅的包络线，即脉动电压 u_s 的幅值，用 U_s 表示：

$$U_s = 2U_m\sin\frac{\omega_s}{2}t = 2U_m\sin\frac{\delta}{2} \qquad (1\text{-}11)$$

式中　$\delta = \omega_s t = \omega_g t - \omega_x t = \varphi_g - \varphi$ 表示发电机与系统电压的相角差，又称为脉动电压的相角。

式(1-10)中的余弦项说明了 u_s 变化的频率，其频率为 $\frac{\omega_g + \omega_x}{2}$，因 ω_g 接近 ω_x，因此脉动电压瞬时值变化的频率与待并发电机或系统频率很接近。

由式(1-11)可以看出，脉动电压 u_s 的幅值包络线 U_s 含有准同期并列三条件的信息：电压差、频率差、相位差。为此，将 u_s 整流、滤波后得到 U_s。图1-5给出了两个不同频率差($\omega_{s1} > \omega_{s2}$)时的 U_s 波形图。以后，所指脉动电压实为 u_s 的包络线 U_s。下面进一步对 U_s 分析。

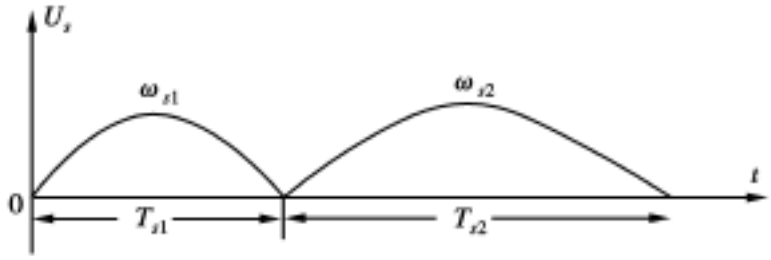


图1-5　$U_s = U$ 时 U_s 的波形

1. 电压差条件

脉动电压 U_s 的幅值能反映电压差 ΔU。从式(1-11)可看出，当 $U_{gm} = U_m$ 时，在 $\delta = 0$(或 2π)时，$U_s = 0$(即 $\Delta U = 0$)；从式(1-7)可看出，当 $U_{gm} \neq U_m$ 时，在 $\delta = 0$(或 2π)时，U_s 尽管不为0，但值最小。因此容易看出，U_s 的最小值即为两个电压的差值。在 $\delta = 0$ 时检测 U_s 的大小，若它的值足够小，说明压差条件满足，反之，电压差不满足要求。

2. 频率差条件

因脉动电压 U_s 的滑差角频率 $\omega_s = \omega_g - \omega_x$ 就是频率差，因此通过对 ω_s 的检测，就能判别频率差条件是否满足。

脉动电压变化的周期 T_s 为：$T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{2\pi}{\omega_s}$，由于 T_s 与 ω_s 成反比，因此通过检测 T_s 的大小，就能说明频率差条件是否满足。

3. 相位条件

因 $\delta = \omega_s t = (\omega_g - \omega_x)t = \omega_g t - \omega_x t = \varphi_g - \varphi$ 它本身就反应了发电机电压相位 φ_g 与系统电压相位 φ 的相位差。因此若并列断路器主触头能于两电压相位差角 $\delta = 0$ 的时刻闭合，则说明满足相位条件。

考虑到合闸接触器动作直到断路器机构完成合闸，需要一定的时间，因此，并列合闸脉冲应该在两电压相位差角 $\delta = 0$ 之前发出。若在 $\delta = 0$ 之前某一恒定角度 $\delta_{ah \cdot c}$ 发出合闸信号，则该同期装置称为恒定越前相角型同期装置，$\delta_{ah \cdot c}$ 称为恒定越前相角。若在 $\delta = 0$ 之前某一恒定时间 $t_{ah \cdot c}$ 发出合闸信号，则该同期装置称为恒定越前时间型同期装置，$t_{ah \cdot c}$ 称为恒定越前时间。一般恒定越前时间 $t_{ah \cdot c}$ 选择得使之等于断路器合闸需要的时间(包括合闸接触器动作时间与操作机构动作时间)，这样，从理论上讲，就可做到同期并列时冲击电流最小。正因为这样，恒定越前时间型同期装置目前得到了广泛使用。

由于恒定越前相角 $\delta_{ah \cdot c}$ 相对应的越前时间 $t_{ah} = \delta_{ah \cdot c} / \omega_s$，与 ω_s 有关，当 ω_s 较小时，t_{ah} 较大。反之，则 t_{ah} 较小。由于断路器合闸时间基本恒定，因此这种同期装置从原理上讲就不能保证并列时相位差为零，相应也就不能使冲击电流为零。为此，这类同期装置较少采用。但是这类装置结构较简单，故在中小型发电机还有使用。使用时，为了使冲击电流不超过允许值，滑差角频率 ω_s 的允许值必须限制在给定的范围内。

由于恒定越前时间型准同期装置在原理上具有明显优点，在电力系统中得到了广泛的使

用。下面着重对这类装置进行介绍。

三、恒定越前时间型准同期装置

恒定越前时间型准同期装置一般分为两种。

1. 半自动准同期

在准同期并列时，待并机组电压及频率的调整均由运行人员手动来完成，而检查频差和送出合闸脉冲由同期装置自动进行，这类同期装置称为半自动准同期装置。

2. 全自动准同期

在准同期并列时，待并机组频率及电压的调整以及合闸脉冲的发出均由装置自动来完成的这类同期装置称为全自动准同期装置。

全自动准同期与手动、半自动准同期相比有以下突出的优点：

(1) 由于准同期条件能被装置自动监视、限制在允许偏差范围之内，这就最大限度地杜绝了发生误并列的可能性。

(2) 由于并列操作由装置自动来完成，并列操作无需要求操作人员具有十分丰富的经验，一般运行人员比较容易掌握。

(3) 可大大加快并列的过程，这样，在系统发生事故时，能很快投入备用机组。

四、准同期并列参数的计算

采用自动或半自动准同期装置进行并列，在理想情况下，装置的恒定越前时间恰好等于断路器的合闸时间。因此，断路器主触头闭合时相位差 $\delta=0$，此时冲击电流很小。实际上由于同期装置的越前时间存在一定的偏差，断路器的合闸时间也不是完全不变，会有偏差。因此合闸时一般相位差 $\delta\neq0$，产生一定的冲击电流。当滑差比较大时，这些动作时间的偏差所引起的合闸相角差 δ也就比较大，如不加限制，在合闸时仍会造成很大的冲击电流。为了在准同期并列时，保证冲击电流不超过允许值，应以允许的冲击电流值为依据，计算出允许的合闸误差角及允许的滑差角频率等。

1. 确定允许合闸误差角 $\delta_{q\cdot e}$

以最严重情况下，产生允许的最大冲击电流 $i''_{s\cdot m}$ 来计算：认为发电机电压与系统电压的幅值近似相等，并取为 E''_q，则合闸瞬间冲击电流的瞬时值 $i''_{s\cdot m}$ 为：

$$i''_{s\cdot m}=\frac{\sqrt{2}\times 1.8\times 2E''_q}{X''_q+X_L}\sin\frac{\delta}{2} \tag{1-12}$$

式中 E''_q——发电机和系统等值发电机交轴次暂态电势；

X''_q——发电机交轴次暂态电抗；

X_L——发电机和系统之间的联系电抗(折算到发电机容量)；

δ——合闸时的相角差；

1.8——用来计算电流非周期分量的冲击系数；

$\sqrt{2}$——电流幅值的系数。

准同期并列时的允许冲击电流可根据发电机的实际情况取为额定电流的一到两倍，即允

许的冲击电流幅值 $i_{s\cdot m}''$ 取为:

$$i_{s\cdot m}'' = \sqrt{2}(1 \sim 2) I_n \qquad (1\text{-}13)$$

式中 I_n——发电机的额定电流。

给定允许的冲击电流幅值后,就可按式(1-12)求得允许的合闸误差角 $\delta_{q\cdot e}$

$$\delta_{q\cdot e} = 2\arcsin^{-1} \frac{i_{s\cdot m}''(X_q'' + X_L)}{\sqrt{2} \times 1.8 \times 2E_q''} (\text{rad}) \qquad (1\text{-}14)$$

当角度 $\delta_{q\cdot e}$ 很小时,可以近似地认为角度的正弦值就等于该角的弧度值,于是上式可写成:

$$\delta_{q\cdot e} = \frac{i_{s\cdot m}(X_q'' + X_L)}{\sqrt{2} \times 1.8E_q''} \quad (\text{rad}) \qquad (1\text{-}15)$$

2. 确定允许滑差角频率 $\omega_{s\cdot a}$

采用恒定越前时间型同期装置进行并列时,同期装置的越前时间应与断路器的合闸时间相等。由于断路器和同期装置的动作时间都有一定偏差,设断路器合闸总的动作时间偏差为 $\pm\Delta t_{DL}$(约为断路器合闸动作时间的 15% ~20%),同期装置动作时间偏差为 $\pm\Delta t_{ps}$(约为其动作时间的 10%),则可能造成的最大时间偏差

$$\Delta t = \Delta t_{DL} + \Delta t_{ps} \qquad (1\text{-}16)$$

当滑差角频率为 ω_s 时,由时间偏差造成的误差角为:

$$\delta = \omega_s \Delta t = \omega_s(\Delta t_{DL} + \Delta t_{ps}) \qquad (1\text{-}17)$$

在合闸期间滑差角频率的变化很小,因此可认为合闸过程中 ω_s 为常数。

最大误差角不能超过允许的合闸误差 $\delta_{q\cdot e}$,以 $\delta = \delta_{q\cdot e}$ 代入式(1-17),即可得滑差角频率的最大允许值:

$$\omega_{sm} = \frac{\delta_{q\cdot e}}{\Delta t_{DL} + \Delta t_{ps}} \qquad (1\text{-}18)$$

只要滑差角频率不超过 ω_{sm},那么由时间偏差所造成的合闸误差角就不会超过允许值,因而冲击电流也就不会超过允许值。

〔例〕 有一台发电机采用自动准同期方式与系统并列,原始数据如下:

$X_q''=0.125$; $X_L=0.25$

$E_q''=1.05$ (此处按 1.05 计算是考虑并列时电压有可能超过额定电压 5%);

断路器合闸时间为 0.5s,它的最大可能误差为 ±20%;

自动并列装置最大误差时间为 ±0.05s;

允许冲击电流幅值取为 $i_{s\cdot m}'' = \sqrt{2}I_n$。

试确定最大允许合闸误差角 $\delta_{q\cdot e}$、允许滑差角频率 ω_{sm} 和相应的脉动电压周期。

〔解〕 (1) 确定允许误差角 $\delta_{q\cdot e}$

将有关已知值代入式(1-15)得:

$$\delta_{q\cdot e} = \frac{\sqrt{2} \times (0.125 + 0.25)}{\sqrt{2} \times 1.8 \times 1.05} = 0.199 (\text{rad}) = 11.4°$$

(2) 确定允许滑差角频率 ω_{sm}

断路器合闸动作时间偏差为:

$$\Delta t_{DL} = 0.5 \times 20\% = 0.1\ (s)$$

自动同期装置动作时间偏差为:

$$\Delta t_{ps} = 0.05\ (s)$$

将上面的数据代入式(1-18),则得允许滑差角频率:

$$\omega_m = \frac{0.199}{0.1 + 0.05} = 1.33\ (rad/s)$$

因滑差频率 $f_s = \frac{\omega_s}{2\pi}$,故允许滑差频率 f_{sa} 为:

$$f_{sm} = \frac{\omega_m}{2\pi} = \frac{1.33}{2\pi} = 0.21\ (Hz)$$

脉动电压周期 T_s 为:

$$T_s = \frac{2\pi}{\omega_m} = \frac{2\pi}{1.33} = 4.7\ (s)$$

为了保证在合闸后发电机能与系统保持同步,在准同期计算中,按理还应包括稳定性校验,即从投入发电机后其转子能保持同步的观点来确定最大允许滑差角频率 ω'_{sm}。但从校验结果看,在通常情况下,按冲击电流条件所得的滑差角频率 ω_{sm} 值小于按稳定条件求得的滑差角频率 ω'_{sm}。因此,一般不再进行该项校验计算。如果待并发电机组与系统联系较弱,可能会出现 $\omega'_{sm} < \omega_{sm}$,则应进行稳定性校验,以确定其允许滑差角频率值。

下面对恒定越前时间准同期进行讨论,恒定越前相角准同期不再讨论。

§1-3 恒定越前时间型自动准同期装置

系统中目前使用的国产自动准同期装置主要为利用模拟电路实现的 ZZQ 型序列装置。同时,数字式准同期并列装置已在一些电厂开始使用。本节以 ZZQ—3A 为例对自动准同期装置工作原理、构成作全面介绍;其他类型装置与 3A 相异处也给予说明。

一、ZZQ—3A 型自动准同期装置的功能

该装置可自动完成下述功能:

1. 能自动检查频率差和电压差,鉴别它们是否满足同期条件。

2. 当待并发电机与系统频率差大于允许滑差时,能自动调整发电机的频率,使之接近系统频率。

3. 当频率差和电压差满足同期条件时,在两电压矢量重合($\delta=0$)之前某一给定时间发出合闸脉冲,实现恒定越前时间自动并列。

由于一般大、中型发电机装备有比较完善的自动调压装置,所以 ZZQ—3A 未设自动调整发电机电压的部分。而 ZZQ—5 型同期装置则增设了电压调整部分。

二、ZZQ—3A 型自动准同期装置的组成

依照 ZZQ—3A 型同期装置所完成的功能，它由两大部分组成。其中完成上述 3 个功能之中第一、三功能的部分称为合闸部分；完成第二个功能的部分称为频率差调整部分。以下就各部分的组成及其作用进行介绍。

1. 合闸部分

合闸部分由下述诸环节构成：

(1) 线性整步电压环节：其作用在于产生能够检查同期条件的脉动电压。

(2) 恒定越前时间环节：其作用在于在脉动电压的每个周期内产生一个与频差大小无关的恒定的越前时间信号。

在越前时间信号产生的同时，发出合闸信号。并列点断路器是否应该合闸，还要检测当时的频率差、电压差是否已满足允许条件。若二者均在允许范围内，则应允许断路器合闸，否则就应对合闸信号进行闭锁，阻止合闸。为自动完成这一任务，显然合闸部分应设下述两个部分。

(3) 频差闭锁环节：其作用在于用来检查频差是否小于允许频差。当频差大于允许频差时闭锁出口合闸回路，不发合闸脉冲；反之，在频差小于允许频差，且压差也小于允许压差的情况下，允许越前时间信号通过，发合闸脉冲。

(4) 压差闭锁环节：是用来检查待并发电机与系统电压的幅值差是否超过允许值。若超过，则闭锁出口合闸回路，不发合闸脉冲；反之，当频差也同时满足时，允许越前时间信号通过，发合闸脉冲。

合闸部分的组成以及各部分作用的逻辑关系可以用图 1-6 所示方框图说明。图中 U_g、U 分别表示并列断路器两侧引入装置的待并发电机电压和系统电压。

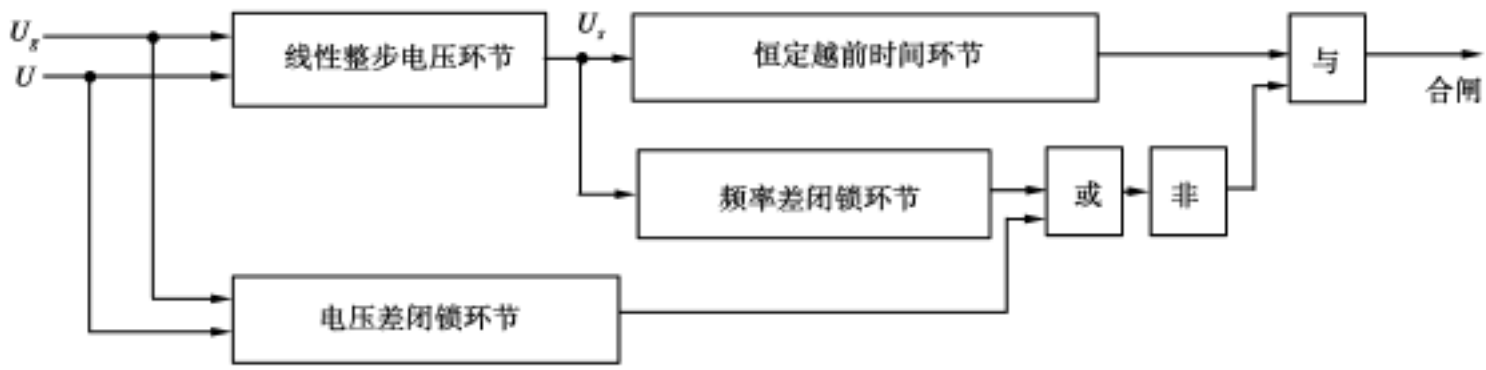


图 1-6　ZZQ—3A 出口合闸回路逻辑方框图

由图 1-6 可见：并列断路器两侧引来的发电机电压 U_g 和系统电压 U，经线性整步电压环节产生脉动电压 U_s。U_s 加在恒定越前时间环节，在 U_s 每一周期内产生一个恒定越前时间信号；频率差闭锁环节则鉴别当时 U_s 的角频率 ω 是否在允许范围内；电压差闭锁环节鉴别当时的电压差是否在允许范围内。频率差闭锁环节与电压差闭锁环节的输出信号构成“或非”关系。即只要两环节中任一个发出闭锁信号，则不允许发合闸脉冲。恒定越前时间环节与频率差、电压差闭锁环节的输出信号由“与”门控制，当频率差闭锁环节和电压差闭锁环节都不发闭锁信号时，恒定越前时间信号将通过“与”门，发出合闸脉冲。

2. 频率差调节部分

它由下面 3 个环节构成。

需要全本请访问 www.ertongbook.com