

FADIANCHANG LICIXITONG

XIANCHANG SHIYAN

发电厂励磁系统 现场试验

主 编 张俊峰

副主编 盛 超 陈 锐

吴晓宇 朱良合



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

FADIANCHANG LICIXITONG

XIANCHANG SHIYAN

发电厂励磁系统 现场试验

主 编 张俊峰

副主编 盛 超 陈 锐 吴晓宇 朱良合

参 编 张毅超 翁洪杰 孙 闻 罗运松 唐 酿



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

发电机励磁系统是电力系统的重要组成部分,从电源侧来讲,励磁系统给发电机转子提供励磁电流,建立旋转磁场和电磁力矩,维持发电机挂网同步运行,是实现发电厂其他能源(如机械能)转化为电能的核心设备;从电网侧来讲,励磁系统具有“小身材,大作用”的特点,消耗较小的励磁电流能量,借助发电机发挥出巨大的电压调节及功率振荡抑制能力,其在改善电力系统静态稳定、动态稳定、暂态稳定、电压稳定、抑制次同步振荡等中发挥着积极重要作用。

本书总结了多年来现场调试及试验经验,以发电机励磁系统的试验项目为目标,介绍了试验的目的、方法、试验结果的判别标准、注意事项,并提供了部分试验接线图和试验数据波形。全书共有五章,主要包括励磁系统在改善与提高电网稳定性方面发挥的作用、励磁系统的种类、励磁系统的组成、励磁系统的模型与参数、励磁系统的静态试验、发电机空负荷状态下的动态试验、发电机并网状态下的动态试验,以及励磁系统涉网试验和调差优化整定试验等。

本书可供发电厂励磁系统设计、试验、运行、检修等专业技术人员使用,并可供从事励磁系统调试和试验的相关工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂励磁系统现场试验/张俊峰主编. —北京:中国电力出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-5123-9870-2

I. ①发… II. ①张… III. ①发电厂-励磁系统-现场试验 IV. ①TM623.3-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 243115 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 12 月第一版 2016 年 12 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 32 开本 4.875 印张 121 千字

印数 0001—1500 册 定价 20.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



经统计,我国 2013 年装机容量 12.47 亿 kW,到 2050 年将达到 28 亿 kW 左右,中国电力流向呈现“由北向南,由西向东”的格局,电网的复杂性增加,稳定性问题突出,利用发电机励磁系统改善和提高电网的安全稳定性,被认为是最经济、最有效的措施之一。

近年来,随着发电机励磁系统模型与参数辨识试验、电力系统稳定器(PSS)整定投运试验、发电机组进相运行试验的开展,以及对发电企业技术监督力度的加大,发电企业对励磁系统的重视程度大大提高,发电企业中从事发电机励磁系统工作的人员也普遍增多,对励磁系统设计、调试、试验、运行、维护和检修方面的知识需求迫切,为此,我们将多年来从事励磁系统设计、调试、试验等方面的经验加以认真归纳和总结,特编写此书。

发电机励磁系统是电力系统的重要组成部分,其模型和参数的准确性对电力系统安全稳定分析计算的结果有着非常重要影响,同时,励磁系统是源网协调的关键设备之一,在电源侧和电网侧均发挥着重要的作用。从电源侧来讲,励磁系统给发电机转子提供励磁电流,建立旋转磁场和电磁力矩,维持发电机挂网同步运行,是实现发电厂其他能源(如机械能)转化为电能的核心设备;从电网侧来讲,励磁系统具有“小身材,大作用”的特点,消耗较小的励磁电流能量,借助发电机发挥出巨大的电压调节及功率振荡抑制能力,其在改善电力系统静态稳定、动态稳定、暂态稳定、电压稳定、抑制次同步振荡等中发挥着积极重要作用。

本书主要介绍了励磁系统在改善与提高电网稳定性方面发挥的作用、励磁系统的种类、励磁系统的组成、励磁系统的模型与参数、励磁系统的静态试验、发电机空负荷状态下的动态试验、发电机并网状态下的动态试验，以及励磁系统涉网试验等。本书以发电机励磁系统的试验项目为目标，除了标准及技术监督要求的试验内容外，增加了发电机调差系数优化整定试验的内容。该书力求理论与试验相结合，注重实用性，希望能够对我国发电机励磁系统技术的发展与推广贡献一分力量。

在本书的编写过程中，编者在技术交流和资料整理方面获得了国内外专业学者和同行的大力支持，在此表示衷心的感谢。限于编者学识有限、时间仓促，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正，不吝赐教。

编者

2016年8月

前言

第1章	励磁系统简介	1
1.1	励磁系统的作用	1
1.2	励磁系统的种类	10
1.3	励磁系统的组成	18
1.4	励磁系统的模型	23
1.5	励磁系统的试验分类	31
第2章	励磁系统静态试验	36
2.1	励磁系统各部件绝缘检查	36
2.2	操作、保护、限制及信号回路动作试验	38
2.3	自动电压调节器各单元特性检查	41
第3章	发电机空负荷状态下试验	62
3.1	核相试验与相序检查试验	62
3.2	交流励磁机带整流装置时的空负荷试验	63
3.3	副励磁机负荷试验	65
3.4	励磁调节器起励试验	65
3.5	自动方式及手动方式电压调节范围测量试验	66
3.6	灭磁试验及转子过电压保护试验	67
3.7	自动电压调节通道及自动/手动控制方式切换试验	68
3.8	发电机空负荷阶跃试验	69

3.9	冷却风机切换试验	71
3.10	电压互感器 (TV) 二次回路断线试验	71
3.11	V/Hz 限制试验	72
3.12	过励限制试验	73
第 4 章	发电机并网后的励磁试验	75
4.1	励磁系统 PQ 测量校验	75
4.2	通道切换及自动/手动方式切换试验	76
4.3	电压静差率及电压调差率试验	76
4.4	发电机负荷阶跃响应试验	78
4.5	励磁调节器低励限制校核试验	79
4.6	功率柜均流试验	80
4.7	甩无功负荷试验	81
第 5 章	涉网试验	83
5.1	发电机励磁系统参数辨识试验	83
5.2	发电机电力系统稳定器 (PSS) 参数现场整定 试验	103
5.3	发电机进相运行试验	110
5.4	发电机调差系数优化整定试验	123
附录	现场整定作业指导书	145
	参考文献	147

励磁系统简介

励磁系统是什么？励磁系统作为发电机的关键控制系统，其设计目标是给发电机转子提供励磁电流，建立旋转磁场和电磁力矩，维持发电机的同步运行。从广义上讲，励磁系统包括励磁调节器和发电机，如果把并网运行的每一台发电机看作一个独立的电源的话，那么励磁系统就相当于这每一个电源的电池芯。因此，对于交流同步电网来讲，励磁系统在电网中的作用非常关键，励磁系统的任何异常、故障等不稳定问题将直接引发电网的不稳定问题，励磁系统和电网的关系密不可分。

1.1 励磁系统的作用

励磁系统是发电机的关键控制系统，同时也是网源协调的关键设备之一，在电力系统中的作用主要体现在以下几个方面：

- (1) 维持发电机机端电压恒定；
- (2) 调节并联运行发电机间的无功功率分配；
- (3) 提高电力系统的静态稳定性；
- (4) 提高电力系统的暂态稳定性；
- (5) 提高电力系统的动态稳定性；
- (6) 提高电力系统的电压稳定性；
- (7) 抑制电力系统的次同步振荡。

励磁系统在电力系统中的作用概括起来是“小身材，大作用”，其对电网安全稳定的贡献是通过控制发电机来实现的，因此，从广



义上讲，励磁系统包括励磁调节器和发电机。励磁系统在控制发电机，并充分发挥发电机能力的同时也不应超出发电机的合理运行范围，以确保设备的安全与长期稳定运行，所以，励磁系统还包含相应的限制和保护功能。

1.1.1 维持发电机机端电压恒定

在发电机正常运行条件下，励磁系统应维持发电机机端电压（或指定控制点电压）在给定水平，励磁调节器采用恒电压闭环控制方式。通常当发电机负荷变化时，发电机机端电压将随之变化，这时，励磁系统将自动地增加或减少发电机的励磁电流，使机端电压维持在给定值附近，并保证一定的调压精度。在自动励磁调节时，发电机空负荷电压能在额定电压的 $70\% \sim 110\%$ 范围内稳定平滑地调节；在手动励磁调节时，上限不低于发电机额定磁场电流的 110% ，下限不高于发电机空负荷磁场电流的 20% （对应发电机空负荷额定电压的约 20% ）。当机组甩负荷时，通过励磁系统的快速调节作用，应限制机端电压不大于甩负荷前机端电压的 1.15 倍，振荡不超过 3 次。

维持发电机机端电压（或指定控制点电压）在给定水平上是励磁控制系统最基本和最重要的作用。我国相关标准规定：自动电压调节器应保证同步发电机机端电压静差率小于 1% ，对应励磁系统的稳态增益应不小于 200 倍；在发电机空负荷运行情况下，频率每变化 1% ，发电机机端电压的变化应不大于额定值的 $\pm 0.25\%$ ；发电机空负荷运行时，自动励磁调节的调压速度应不大于发电机额定电压的 $1\%/s$ ，不小于发电机额定电压的 $0.3\%/s$ 。

1.1.2 调节并联运行发电机间的无功功率分配

多台发电机在母线上并联运行时，它们输出的有功功率取决于从原动机输入的机械功率，而发电机输出的无功功率则和励磁电流有关，控制并联运行的发电机之间无功功率分配是励磁控制系统的一项重要功能。各并联发电机间承担的无功功率的大小取决于各发

电机的调差特性，即发电机机端电压 U_t 和无功电流 I_Q 的关系。定义调差系数

$$\delta = -\frac{\Delta U_{t*}}{\Delta I_{Q*}} \quad (1-1)$$

式中 ΔU_{t*} ——发电机机端电压变化对额定电压之比， $\Delta U_{t*} = \Delta U_t / U_{tN}$ ；

ΔI_{Q*} ——无功电流变化对额定电流之比， $\Delta I_{Q*} = \Delta I_Q / I_N$ 。

当母线电压发生波动时，发电机无功电流的增量与电压偏差成正比，与调差系数成反比。通常我们希望多台发电机之间的无功电流按照机组容量的大小成比例地进行分配，即大容量机组担负的无功增量应大些，小容量机组担负的无功增量相应小些，这样就使得各机组无功增量的标么值 ΔI_{Q*} 相等。采用自动调节器对调差系数进行调节，就可以达到机组间无功负荷合理分配的目的。

为不失一般性，几台机组并联运行（指机端直接相连，共用升压变压器，为扩大单元接线方式，下同）时，调节任何一台机组的励磁电流，不仅会改变该台机组的无功功率输出，而且会影响并联运行的其他发电机的无功功率，而各台机组的无功功率的具体变化情况则与机组本身的调差特性相关。

多台不具有有差调节特性的机组是不能直接并联运行的，因为它们间的无功分配不稳定。以下分析一台无差调节特性机组与几台有差调节特性机组之间并联运行情况 and 几台有差调节特性机组之间并联运行情况。

(1) 一台无差调节特性机组与一台正调差特性机组并联运行。当一台具有无差调节特性的机组 ($\delta=0$) 和一台具有正调差特性的机组 ($\delta>0$) 直接并联运行在公共母线时，母线电压必须等于无差调节特性机组的机端电压，并保持不变。当无功负荷改变时，正调差特性机组的无功电流维持不变，而无差调节特性机组的无功电流将随之改变。由此可见，一台无差调节特性机组与正调差特性机组



并联运行时，系统的无功增量将全部由无差调节特性机组承担，导致无功功率分配不合理，故这种并联运行方式基本上不采用。

(2) 一台无差调节特性机组与一台负调差特性机组并联运行。如果与无差调节特性机组 ($\delta=0$) 一起直接并联运行在公共母线上的的是负调差特性机组 ($\delta<0$)，这时候尽管两台机组也有确定的公共运行交点，但它是一个不稳定运行点。例如，当偶然因素使负调差特性的机组输出的无功电流增加时，根据调节特性，励磁控制器将调节励磁功率单元增大励磁电流，力图使机端电压升高，从而导致发电机输出无功功率进一步增加。而无差调节特性的机组则力图维持机端电压，使其励磁电流减小，无功电流也将减小。从而形成了一台机组无功输出一直增加，另一台机组无功输出一直减小，最终导致无法稳定运行。同样的道理，一台负调差特性机组与一台正调差特性机组也不能直接并联在公共母线上稳定运行。总之，具有负调差特性的机组不能参与机端直接并联运行。

(3) 两台正调差特性机组并联运行。当两台都具有正调差特性的机组并联运行时，如果出现无功负荷增加，导致母线电压下降，根据调差系数的定义，两台机组分别承担的无功电流变化为

$$\begin{cases} \Delta I_{Q1} = \frac{-\Delta U_*}{\delta_1} \\ \Delta I_{Q2} = \frac{-\Delta U_*}{\delta_2} \end{cases} \quad (1-2)$$

因此，当两台正调差调节特性机组并联运行，当无功负荷扰动时（或母线电压扰动），机组之间的无功分配与其调差系数的大小成反比，调差系数小的机组分配到的无功多，而调差系数大的机组分配到的无功少；如果要求无功负荷的变化量按各机组的容量分配，则每台机组的调差系数必须相等。该结论同样适用于多台机组并联运行的方式。

需要说明的是，目前的大机组普遍采用单元接线方式，即一台

发电机配一台主变压器作为一个发电单元，多个发电单元在主变压器高压侧并联运行，并联点在电厂的升压站母线处汇集，此时，每一个发电单元对应一个总调差，一个发电单元的总调差=发电机调差+主变压器短路电抗。依然可以通过设定励磁系统的调差来改变一个发电单元的总调差，达到合理安排并联机组间无功分配的目的。

1.1.3 提高电力系统的静态稳定性

所谓电力系统的静态稳定性，一般是指电力系统在运行中受到微小扰动后，独立地恢复到它原来的运行状态的能力。电力系统的静态稳定性实质是运行点的稳定性。

对于图 1-1 所示的单机-无穷大母线系统，不考虑凸极效应和定子电阻。发电机送出的有功功率 P 可用以下公式表示

$$P = \frac{E_q U_s}{X_d + X_T + X_L} \sin \delta \quad (1-3)$$

式中 δ —— E_q 与 U_s 间的电角度差，即功率角，简称功角；

X_d ——发电机同步电抗；

X_T ——变压器短路电抗；

X_L ——线路电抗；

E_q ——发电机空负荷电动势（励磁电动势）；

U_s ——无穷大母线电压。

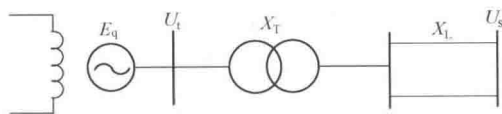


图 1-1 单机-无穷大母线系统

在发电机不进行励磁调节，即 $E_q = E_{q0}$ 不变的条件下，极限功角为 $\delta = 90^\circ$ ，也就是常说的 90° 功角静稳极限。

当有自动电压调节器，功角 δ 增加、 U_t 下降时，励磁调节器将

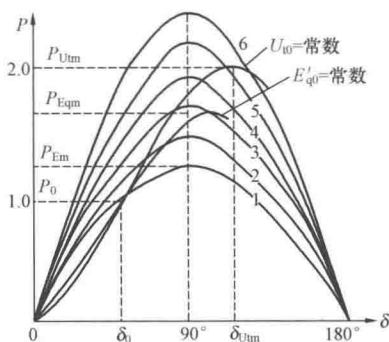


图 1-2 自动励磁调节器对
功率特性的影响

- 1— $E_{q0}=100\%$; 2— $E_q=120\%$;
3— $E_q=140\%$; 4— $E_q=160\%$;
5— $E_q=180\%$; 6— $E_q=200\%$

始增加输送功率时，若调节器能保持 $U_t = U_0 = \text{常数}$ ，则随着 δ 增大，电势 E_q 也增大，发电机的工作点将从 E_q 较小的正弦曲线过渡到 E_q 较大的正弦曲线上。于是可以得到一条保持 $U_t = U_0 = \text{常数}$ 的功率特性曲线。

我们看到，它在 $\delta > 90^\circ$ 的某一范围内，仍然具有上升的性质。这是因为在 $\delta > 90^\circ$ 附近，当 δ 增大时， E_q 的增大量要超过 $\sin\delta$ 的减小量。同时，保持 $U_t = U_0 = \text{常数}$ 的功率极限 P_{Utm} 也比无励磁调节器时的 P_{Em} 大得多，功率极限对应的功角 δ_{Utm} 也将大于 90° 。还应指出，当发电机从给定的初始运行条件减小输送功率时，随着功角的减小，为保持 $U_t = U_0$ 不变，励磁调节器将减小 E_q ，因此发电机的工作点将向 E_q 较小的正弦曲线过渡。

实际上，一般的励磁调节器并不能完全保持 U_t 不变（如串联 PID 控制），因而 U_t 将随着功率 P 及功角 δ 的增大而有所下降，但 E_q 将随着 P 及 δ 的增大而增大。在实际计算中，可以根据调节器的性能，认为它能保持发电机内某一电势（如 E'_q 、 E' 等）为恒定

增大励磁电流，使发电机电势 E_q 增大，指导机端电压恢复到（或接近）整定值 U_{ref} 为止。由式（1-3）可以看出，励磁调节器使 E_q 随功角 δ 的增大而增大，故功率特性与功角 δ 不再是正弦关系了。为了定性分析调节器对功角特性的影响，我们用不同的 E_q 值作出一组正弦功率特性曲线，它们的幅值与 E_q 成正比，如图 1-2 所示。当发电机由某一给定的运行条件（对应 P_0 、 δ_0 、 E_{q0} 、 U_0 等）开

值,并以此作为计算功率特性的条件, $E'_q = E'_{q0} = \text{常数}$ 的功率特性曲线介于 U_t 保持不变和 E_q 不变的功率特性之间,如图 1-2 所示。

综上所述,励磁调节器采用恒电压闭环控制方式运行时,极限功角可以超过 90° ,扩大了系统稳定运行的范围,功率极限值 $P_{\max}$ 也得到了提高,对提高电力系统的静态稳定水平效果明显。

1.1.4 提高电力系统的暂态稳定性

电力系统的暂态稳定性是指系统遭受到大干扰(如短路、断线等)时,能否维持同步运行的能力。电力系统在发生短路故障时,发电机电压下降,发出的有功功率减少,机械功率和有功功率之差——加速功率增加,引起发电机功角增加。如果发电机的功角加速面积大于减速面积则发生失步,称失去暂态稳定。

励磁系统对于提高暂态稳定性而言,表现在强行励磁和快速励磁的作用上。励磁系统及时提供强励,可以增加有功功率的输出,减少加速功率,从而减少发电机功角的增加量。按照等面积原则,如强励后的减速面积大于加速面积,则功角在达到某最大值后减少,不至于发生第一摆失去稳定。强励倍数越大,强励上升的速度越快,发电机功角增加越小,越容易达到新的稳定工作点。

只有励磁电压上升快速并且顶值电压高的励磁系统对改善暂态稳定性才有较显著的作用。由于提高励磁系统的强励倍数受到励磁系统和发电机制造成本的制约,以及发电机转子时间常数很大使励磁电流上升速率受到限制等原因,使得靠励磁控制来提高暂稳极限的幅度不可能像提高静稳极限那么显著,但其提高暂稳极限的效果还是明显的,良好的励磁控制在增加人工阻尼,消除第二摆或多摆失步方面的作用则更为重要。

火电机组一般为隐极机,发电机转子本身就是很好的阻尼绕组,平均异步功率较大,可以短时异步运行,具备达到再同步的条件。而对于水电机组(凸极机)来讲,由于其没有阻尼绕组,一旦异步运行,平均异步功率较小,基本无法满足再同步的条件,因



此，一般不要求水电机组异步运行。为了防止水电机组失磁而引发失步，水电机组均要求配置最小励磁电流限制，这也是一种提高水电机组暂态稳定性的保护措施。

1.1.5 提高电力系统的动态稳定性

动态稳定性是指电力系统在小扰动下保持同步的能力。发电机小扰动下保持同步的能力由发电机的同步力矩和阻尼力矩决定，受电力系统结构和发电机工况影响，与励磁系统有关。

电力系统的动态稳定问题，可以理解为电力系统机电振荡的阻尼问题。当阻尼为正时，动态是稳定的；阻尼为负时，动态是不稳定的；阻尼为零时，是临界状态。零阻尼或很小的正阻尼都是电力系统运行中的不安全因素，应采取措施提高系统的阻尼特性，即动态响应特性。

研究表明，按电压偏差调节的比例式快速励磁系统会造成电力系统机电振荡阻尼变弱（甚至变负）。在一定的运行方式和励磁系统参数下，快速励磁调节系统的电压调节作用，在维持发电机电压恒定的同时，将产生负的阻尼作用，当系统总阻尼为负时，就容易导致低频振荡的发生。

目前解决这一问题的方法是，在励磁调节器上附加一个补偿环节，称为电力系统稳定器（Power System Stabilizer, PSS），PSS可以大大提高发电机组的正阻尼，为电力系统提供抑制低频振荡的正阻尼，提高电力系统的动态稳定性，这也是目前抑制系统低频振荡、提高电力系统动态稳定性最直接、最经济、最有效的措施。

此外，采用现代控制理论的励磁控制器，如线性最优励磁控制器、自适应励磁控制器等励磁系统，也能有效地抑制低频振荡。

1.1.6 提高电力系统的电压稳定性

电压稳定性表征电力系统在给定的初始条件下，受到扰动后维持所有母线的电压的能力。它产生的原因是负荷需求与系统可提供的总量出现了不平衡。电压不稳定的表现主要是电压持续下降（也



可能上升), 故又称电压崩溃。

电网的电压稳定问题主要体现在电网的无功支撑不足, 发电机作为电网的重要无功支撑电源, 如何挖掘其动态无功支撑能力, 对系统电压稳定有着重要意义。目前, 发电机组以单元接线方式(即一台发电机配一台主变压器)为主, 单个发电单元的总调差=发电机调差+主变压器短路电抗, 励磁系统普遍采用恒电压运行方式, 发电机调差可等效为发电机内部电抗, 如果设定其为负调差, 则等效发电机内部电抗为负值, 如此一来发电机与系统的联系电抗将减小, 发电机对系统电压跌落的感知变得更加灵敏, 因此对系统动态无功支撑力度将大大加强。

最新的标准 GB/T 7409 和 DL/T 843 均扩大了励磁系统调差的整定范围, 从原来的 $\pm 10\%$ 修改为 $\pm 15\%$ 。例如, 标准 DL/T 843—2010 的要求为“发电机电压的调差采用无功调差, 无功电流补偿率的整定范围应不小于 $\pm 15\%$, 整定可以是连续的, 也可以在全程内均匀分档, 分档不大于 1% ”。

发电机组开展进相运行试验, 利用发电机的能力, 吸收电网在节假日期间的线路的过剩无功功率, 缓解电网节假日期间系统电压过高的问题, 这也是提高系统电压稳定的有力措施。

1.1.7 抑制电力系统的次同步振荡

美国 Mohave 电厂在 1790 年 12 月和 1971 年 10 月, 由于线路串联电容器先后引发了两次严重的机组轴系振荡并造成发电机大轴损坏, 研究发为“轴系扭转振荡(torsional oscillation)”现象, 也就是电气系统的 LC 谐振激发发电机轴系扭转振荡, 振荡频率低于工频, 被称为次同步谐振(Subsynchronous Resonance, SSR)。

1977 年, 在美国 Square Butte 电厂投入高压直流输电(High Voltage Direct Current Transmission, HVDC)线路时, 汽轮发电机组轴系发生了强烈的扭振, 当把附近的串联电容器切除后, 扭振现象仍然存在, 说明这是由 HVDC 引发的。进一步研究发现

HVDC、SVC、PSS 等快速功率调节装置都有可能激发扭振，这种振荡由于不存在谐振电路，因此不再属于次同步谐振，而被统一称为次同步振荡（Subsynchronous Oscillation, SSO）。

在发电机组的励磁系统上增加附加励磁阻尼控制器（Supplementary Excitation Damping Controller, SEDC）可以很好地抑制机组的次同步振荡，对于抑制由串联电容引发的次同步谐振，及抑制由高压直流输电引起的次同步振荡，在工程上国内外均有成功应用案例。附加励磁阻尼控制器叠加在现有的励磁调节器上，让励磁调节器产生一个与发电机转子振荡信号一致的电压分量，在定子中产生次同步电流，形成电磁阻尼转矩，从而抑制次同步振荡。SEDC 的特点是：体积小，只有一面保护屏那么大，借用励磁调节器的功率单元放大其控制信号，可以与其他电气保护屏或励磁屏一起放置；与发电机保护、线路保护等相互独立，互不影响；投资少。

1.2 励磁系统的种类

同步电机励磁系统的分类方法有多种，主要以下面两种分类方法为主，即按同步电机励磁电压响应速度和同步电机励磁电源的提供方式分类。

按同步电机励磁电压响应速度的不同，同步电机励磁系统可以分为常规励磁系统、快速励磁系统。

常规励磁系统指不带反馈的励磁机励磁系统。它们的等效时间常数通常大于 0.6s ，主要是励磁机的时间常数 T_E 。

快速励磁系统（包括高起始励磁系统），是指励磁系统电压响应时间小于 0.1s 的励磁系统。快速励磁系统主要有自并励静止励磁系统、自复励静止励磁系统和交流励磁机可控整流励磁系统。高起始励磁系统指采用高励磁机励磁电压缩短强励上升时间的交流励