

国际大电网会议论文选译

旋转电机

1972

水利电力部科学技术情报室

出版说明

第24届国际大电网会议是1972年8月在法国巴黎举行的。会议共有论文154篇。为了供有关同志了解当前国际上高压电网方面的技术动向，我们组织选译了其中大部分，将陆续按专业分13个专辑出版。参加这一专辑编译工作的，有水利电力部“五·七”干校和上海电机厂的同志。

13个专辑即：旋转电机，变压器，开关设备，交直流换流站，绝缘材料，高压绝缘电缆，架空线，变电所，输电系统，系统规划和运行，过电压和绝缘配合，继电保护、自动和运动装置，通讯、干扰。在出版工作中，我们还得到了河北电力学院和北京电力局中心试验所的协助。

译文中有错误或不当之处，请批评指正。

1972年国际大电网会议论文翻译小组

1973年5月

前 言

1972年国际大电网会议第11专业小组(旋转电机)讨论了七篇论文,另有一份会议讨论纪要。现译出供参考。

这七篇论文按其性质大致可分为三类:

第一类有四篇论文(11-01、11-02、11-05、11-07)主要讨论大型同步电机的异常运行问题;

第二类有两篇论文(11-04、11-06)讨论原子能发电厂用的大型四极汽轮发电机的设计和制造问题;

第三类有一篇论文(11-03)讨论同步调相机的设计和制造问题。

大型同步发电机的异常运行方式,如低频率、低电压、过电压、过电流、失去励磁和失去同步等等,使电力系统受到不同程度的扰动,必须迅速克服,以保持系统的稳定运行。因此,在异常运行情况下发电机的保护问题是非常重要的。(11-02)和(11-05)两篇论文对大型汽轮发电机异常运行的保护问题,根据试验结果进行了分析研究,并提出一些技术措施。论文(11-07)对水轮发电机的异常运行特别是欠励磁运行问题进行了探讨。论文(11-01)着重研究抽水蓄能电厂可逆机组的异步起动问题。

根据会议讨论情况,多数人认为在下列两种情况下:(1)当吸收无功功率或发电机失去励磁时;(2)为了尽快消除故障而继续保持和电力系统并列运行时;短时间采取有控制的异步运行是可行的。但这样运行的主要问题是系统电压降低和电压大幅度波动。因此,英国、法国、波兰、罗马尼亚和美国都没有采用有控制的异步运行。

在系统负荷较轻时,用大型发电机降低有功功率异步运行的方法来吸收无功功率,多数人认为在一定的条件下是一种简单而经济的方法。英国的试验表明,不是特别为异步运行设计的大型汽轮发电机能在有功功率降低到铭牌容量的40%左右异步运行而不致损坏。但是,为了防止定子端部区域发生超温现象,英国的试验提出异步运行的时间限制是2分钟,苏联的试验提出6~8.5分钟。因此,是否能用这种运行方式来长时间的吸收无功功率,还没有取得一致意见。

关于大型四极汽轮发电机的设计和制造,会议着重讨论了三个问题:

第一个问题是转子的构造问题。美国和欧洲的绝大部分制造厂采用整体锻件,目前最大的锻件达280吨,可以满足制造50赫、250万瓩四极发电机转子的要求。瑞士BBC厂则一直采用组合锻件的转子。论文(11-06)叙述了60赫、120万瓩的发电机,转子毛重约为200吨,但最重的组合件只有65吨。有人认为将来可以考虑向组合锻件转子发展。

第二个问题是转子的冷却技术问题。在1970年会议时,不同的制造厂建议采用两种可供选择的冷却技术,氢冷或水冷。论文(11-04)和(11-06)所讨论的发电机,都采用转子水内冷。但他们认为发电机的其它部件,如定子铁芯、转子体表面、外壳以及围绕定子端部线卷采用气体冷却(氢或氮)效果较好。另外,西德的一台机组,除定子和转子采用水内冷外,还把其它载流部分如:磁场引线、定子线卷的相间接头、套管、部分发电机引

线以及发电机断路器等，都采用水内冷。

第三个问题是采用新型励磁系统。当前的趋势有两种：其一是具有静止整流桥的励磁系统，由硅半导体或可控硅组成；另一种是采用交流励磁机的无刷励磁系统，使用旋转整流器，取消了滑环和电刷。多数人认为这两种励磁系统都有发展前途。

关于调相机的发展问题，目前苏联每年制造的调相机总容量约为发电功率的10%，今后还可能增加。瑞典也制造了一定数量的调相机，最大容量为34.5万千乏。在会议讨论中，多数人认为，有长距离输电系统的国家，应重视发展大型调相机。对于没有长距离输电线路的网状电力系统，控制无功功率的办法是在负荷附近装置静电电容器补偿大部分无功功率，而由发电机供给或吸收无功功率的可控制部分。

目 录

前言

大型同步电机的异常运行

大型汽轮发电机异常运行时的保护措施 (11-05)	(1)
汽轮发电机的异步运行 (11-02)	(11)
大型低速水轮发电机的异常运行 (11-07)	(26)
抽水蓄能电厂电机的异步起动—水箱转子的研制 (11-01)	(35)

大型四极汽轮发电机的设计和制造

大型四极汽轮发电机的设计和性能 (11-04)	(43)
大型四极汽轮发电机的新设计 (11-06)	(58)

同步调相机的设计和制造

同步调相机及其励磁和调整系统 (11-03)	(67)
--------------------------------	--------

附录

第11专业小组 (旋转电机) 讨论纪要 (11-00) 附件	(73)
--	--------

大型汽轮发电机异常运行时的保护措施

(11-05)*

提 要

过电压或低频率,或者过电压和低频率同时发生时对电力系统设备的影响是电力系统设计和运行中要考虑的重要因素。例如:发电机可因此发生静子过电流、转子过电流、频率下降、负荷不平衡等情况,包括稳态和暂态两种状态。要求设备能经受所有这些可能出现的异常运行条件,在设计上是可能的,但一般是不现实的。本文讨论了危害发电机及励磁设备的电力系统运行条件,提出了消除或减少设备损坏并保证安全运行的保护措施。

电压、频率、电压连同频率和电流在容许范围内的变化都会影响发电厂内所有的电磁设备。本文仅涉及发电机、单元升压变压器和励磁系统。

1. 引 言

发电机可能经受各种(异常)情况,使绝缘、线卷或铁芯经受各种考验,但本文着重于考虑严重系统扰动的影响。随着这样一个扰动:

- 发电机电流将升高;
- 转子电压和电流将升高;
- 发电机电压通常将降低,但也可能升高;
- 频率可能降低;

不谈所涉及的量的大小,关键问题是:在这些异常条件下,一台发电机可以运行多久;极限是什么;它们将在哪些条件下发生?运行的允许时间可以从几秒钟直到几分钟。通常的限制是发电机静子或转子线卷发热,但是也应当考虑其它方面。

在工业标准中,把所有各种长时间和短时间的电压、电流和频率等的变化值都包括进去是不现实的。制造厂已经准备有运行导则,并且规定了设备的某些限额[1、2、3、4]。

对于任何系统扰动,必须不仅注意发电机本身,还要从发电机看到两个方面:输入侧—汽轮机,和输出侧—变压器;并且还要注意到发电机的控制设备—励磁系统。

* 作者 J.BERDY, M.L.CRENSHAW 和 M.TEMOSHOK(美国)。

2. 低 频 率 运 行

2-1 发 电 机

按照传统冷却方式和静子导线用液体冷却的发电机，如果千伏安出力随转速按比例减少，如图 1 所示，能在低到额定转速的95%（对于60赫的机组频率降到57赫）的条件下运行若干小时。至于汽轮机，不包括在本文范围之内，它或许有更严格的限制。

在额定转速的95%以下运行（直到90%或更低一些）时，应把发电机电流和电压两者降低。对于传统冷却和液体冷却导线的静子，转速在95%以下，这种降低应当和运行转速成比例，就是千伏安减少的比率和转速的平方成比例，例如对于 93% 的转速，千伏安是 91%。

2-2 励磁系统

因为所有的励磁系统或是同轴驱动、或是从发电机端子或厂用母线得到动力，低频率运行将降低励磁的可能顶值电压，并且如果自动交流电压调整器没有投入运行，能使出力比正常频率时的数值降低。有多种多样的基本类型的励磁机设计可以应用于电力工业的发电机，例如：自励式或他励式的直流整流子励磁机（虽然从60年代中期以来已经很少采用，但目前大部分运行中的发电机是用整流子式励磁系统来励磁）；自励或者他励的配有静止或旋转二极管的交流励磁机；配有静止可控整流器的交流励磁机；配有硅二极管或可控硅的电流和电压互感器系统等。其中每一种励磁系统都受低频率的不同程度的影响。采用交流电压调整器型式将影响出力，直流电压调整器型式（或手动控制）也同样影响出力。

因为发电机在强行励磁条件下只允许运行一个短时间，通常采用的改善措施是将发电机的自动电压调整器退出运行，而采用某种励磁控制或直流电压调整器（通常这种调整器的另一功能是“手动”控制）来供给励磁。但是过去这种励磁控制通常不是为大幅度的频率或转速变化而设计的。图 2 示出了 50 年代或 60 年代早期的典型的励磁系统的性能。

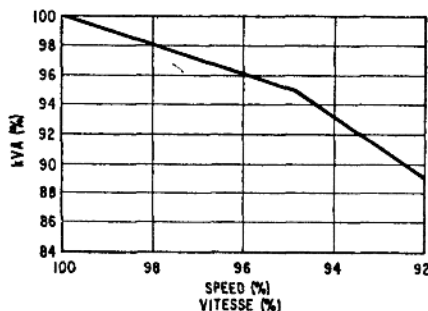


图 1 在频率下降时发电机千伏安出力
纵座标—千伏安%；横座标—转速%

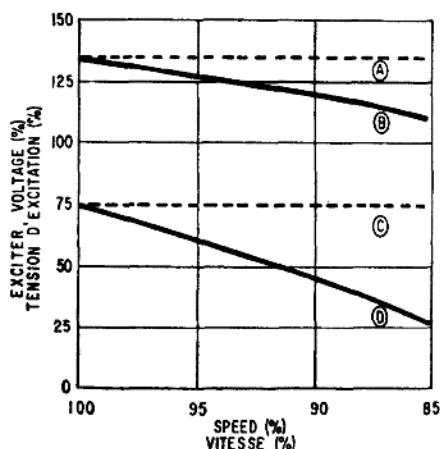


图 2 当系统频率降低时的励磁系统电压
配有自动调整器：

A—现代半导体交流调整器；

B—配有旋转放大器的整流子励磁机；

配有手动控制：

C—现代半导体直流调整器；

D—由电阻进行调节的整流子励磁机。

纵座标—励磁机电压%；横座标—转速%

频率或转速的变化对于励磁机的影响可能是双重的，因为励磁机和电压调整器两者都可能受到影响。当频率降低时，励磁装置顶值电压和正常运行的励磁电压两者的降低情况见图2。当交流电压调整器运行时，励磁顶值电压在频率降低时可能有很大的下降（曲线B）。当直流电压调整器运行时，励磁电压可能从初始值有剧烈下降（曲线D）。当励磁电压下降时，维持系统电压的发电机无功出力下降，将危及系统的同步运行。

2-3 新的交流和直流电压调整器

最近的励磁系统已经把电压调整器和用半导体部件控制的可控硅放大器结合起来。对新的直流电压调整器的一个要求是在低频率的大幅度范围内供给相对稳定的直流电压。同样地，交流电压调整器的半导体部件和回路受频率的影响不大。励磁顶值电压（见曲线A）接近于交流电压调整器的调整曲线，而曲线C是配有最新直流电压调整器的同轴交流励磁机和静止硅二极管系统的试验结果。

为了得到最简单的调整器系统，希望调整器的投入和解除的操作最少，调整器在所有负荷和所有频率下都能连续使用。图3规定一个理想的电压曲线，它是发电机转速的函数。当发电机起动或停止时，发电机端电压将以转速（频率）的函数变化直到额定转速的95%。从转速的95%到110%（或更高）时电压将保持恒定。这种特性适合于甩负荷情况下的需要，发电机甩负荷时导致转速（升高）通常低于110%；也适合于系统低频率运行时的需要，这时希望发电机电压保持恒定直到约为额定转速（频率）的95%。一个伏/赫调整器加上普通的电压调整器组合起来以提供这种希望得到的（按频率控制的）特性，它并且能从95%转速到110%转速保持恒定电压。

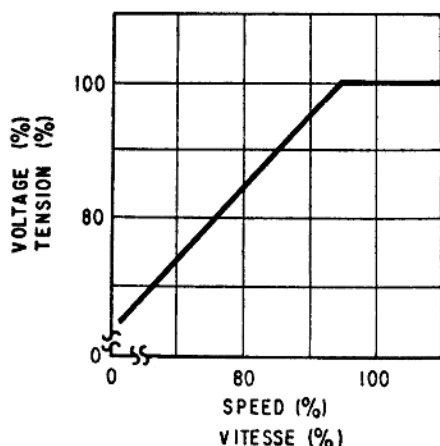


图3 按频率控制的交流电压调整器

纵座标—电压%；横座标—转速%

2-4 在系统电压降低情况下的发电机运行

虽然这一节讨论系统频率降低时发电机和系统的运行，但可能存在另一事故情况，即系统频率是正常的但系统电压却严重降低。图4表示在假定的电压降低情况下，发电机电流、电压、转子电流和发电机有功功率的关系。

如果自动电压调整器仍保持发电机电压在100%额定值，同时汽轮机出力为额定值，那么，励磁电流将达到一个强励值，约为额定值的130%，而发电机电流约为额定值的120%。在这种情况下，一种作法是通过汽轮机输出调节系统的反馈作用把功率输出降低到一个较低值。另一个可选择的作法是改变电压调整器的调整点以降低励磁电流。通常的保护措施是在一个时间延迟后自动减少励磁到额定值，或者从交流自动调整器控制切换到直流调整器控制。减少励磁不可能减少高的发电机电流，而由于发电机无功功率减少，将更加压低系统电压水平。最适当的作法是同时减少汽轮机出力和发电机励磁。完成这个动作所需的控制系统是复杂的，因为除了励磁之外，汽轮机和锅炉运行两者都受到影响，并且和正常运行的高度可靠性这个目的是不一致的。

2-5 系统在低频率运行时的减负荷

在过去四年里,关于发电厂和电力系统低频率运行的性能有了相当多的研究报告。工业方面一般的意见是:当系统频率降到正常以下时应平衡负荷和发电能力。图5表示系统过负荷开始的两种情形(发电能力与负荷相差25%和50%)。根据正确的计划有选择地减少负荷,电力系统的频率通常可以希望不低于额定转速的97%,或者在极端的情况下不低于额定转速的95%。在上述例子中安排的减负荷程序是先减两个10%负荷,再减两个15%负荷,时间间隔是0.4秒。假定一个系统的惯性常数H是4.0秒,可望频率在1~2秒钟之间向正常回升,并约在10秒钟之内恢复正常。

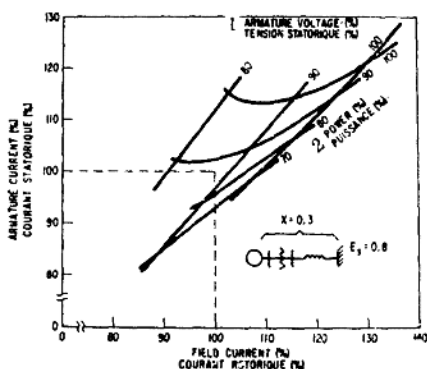


图4 系统电压被迫降低时的发电机运行
纵座标—发电机电压%;横座标—励磁电流%;
1—发电机电压%;2—功率%

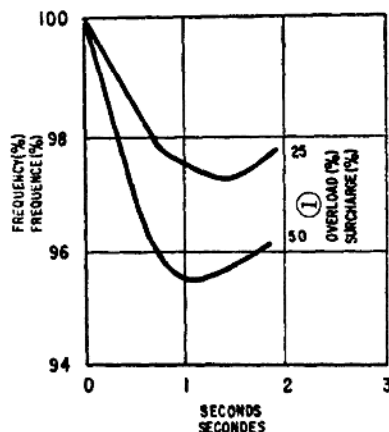


图5 系统频率与过负荷的函数
关系并伴随着切断负荷
纵座标—频率%;横座标—时间,秒;1—过负荷%

3. 严重的发电机-系统扰动

3-1 发电机过电流运行

当系统发生扰动时,发电机增加出力的允许时间受发电机转子和定子发热的限制。美国工业标准,ANSI-50.13-1965,确认这可能发生的额外发热,并为这种运行方式规定了允许的持续时间。图6示出了这些关系。

一种保护措施是给发电机转子规定一个最大的励磁极限。这个保护回路包括一个反时限电压继电器来判别高的发电机转子电压。对于发电机在励磁顶值电压下运行的多数情况,定子也可以得到保护。

3-2 发电机过电压运行

过去的发电机饱和特性曲线不要求超过120%额定电压的部分。图7表示一个典型特性曲线。图中示出发电机端电压作为转子电流的函数的三条基本曲线:单独的发电机、带有变压器的发电机以及在电力系统中满负荷的发电机。

在饱和范围内,变压器的激磁电流有巨大的增加。把140%的电压施加于变压器,激磁电流可接近100%额定负荷电流。因为当电压增加时这个激磁电流成为发电机的负荷,对发电机端电压的再升高产生一个自动的限制作用。系统负荷更进一步限制发电机端电压不能达到更高的数值。

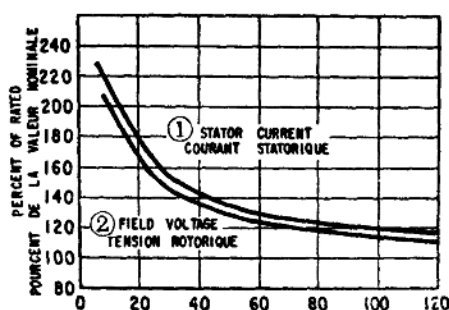


图 6 发电机短时间耐热能力

纵座标—额定值的%；横座标—时间，秒；

1—静子电流；2—转子电压

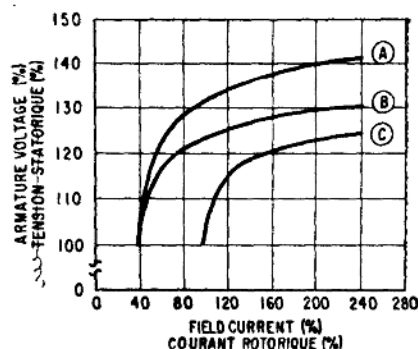


图 7 在各种情况下的发电机电端电压

纵座标—静子电压%；横座标—转子电流%；

A—无负荷；B—连接升压变压器；

C—带着变压器和负荷

一个严重的系统扰动，结果可能使发电机和系统解列并只带着部分负荷，或不带负荷，并且可能得不到自动电压调整器的帮助。系统扰动开始时发电机可在降低电压下运行，但是以后，完全发展成为在高电压和过励磁（伏/赫）情况下旋转的备用发电机。超过规定极限的过励磁能在电磁部分产生过热损害。已经规定了发电厂的保护设备和运行措施以避免设备过励磁。

3-3 过励磁

工业标准相当完整地包括了允许过电压的稳态（长时间）运行，所以发电厂的主要部分已经设计得能满足通常在额定电压的5%到10%范围内的连续电压变化。考虑得更多的是短时间过励磁问题。所谓过励磁就是电磁设备内的磁通过量的状态。磁通的一个简便的计量方法是标么值励磁：它的定义是电压标么值被频率标么值除（伏/赫）。

当励磁系统在顶值电压时，发电机产生的磁通可能高达额定值的140%。在正常频率时，能够产生严重的过电压和过励磁。当频率降低到正常值以下，甚至发电机电端电压是正常的情况，也能存在过励磁；例如，如果一个电压调整器在70%的转速时保持额定电压。应采用例如励磁系统伏/赫调整器和伏/赫限制器等保护回路的动作来控制和保护发电机的过励磁。另外，采用例如最大励磁限制和发电机磁场电流限制等保护回路的动作以限制顶值电压的强励水平，并且在预定的时间间隔以后采取校正动作。伏/赫继电器（如表1所示）单独的或者同其它装置和计时器配合使用，也能作为后备保护。

过电压可导致变压器等设备的绝缘发生电击穿，而过励磁则可使绝缘因过热而老化。过量磁通使铁芯饱和并在铁芯和相邻的导体体内产生高涡流损失。在极端的情形下，这些损耗产生的热量不能立即散发，从而使与这些产生损耗的部件接触的绝缘材料造成永久性损坏。

对于电力变压器允许的短时间过励磁，曾经出版过如图8所示的一般导则。这个导则的基础是限制任何受热部分的最高温度在一个不受损坏的水平。

3-4 发电机的电流或电压紧急减少

减少发电机静子故障电流可借助励磁系统或采用发电机转子和励磁机磁场线圈的灭磁开关来完成。图9示出一个发电机相间故障的情形。这是一种典型的故障情形，因为它关联

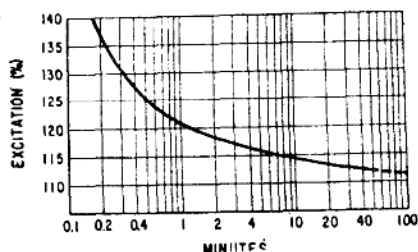


图 8 电力变压器允许短时间过激磁的一般导则

纵座标—激磁%；横座标—时间，分

到发电机转子内感应出的电流，而这种电流是不平衡电枢电流以及电枢故障电流引起的。工业标准规定了 $I_{\Delta t}$ 的限制值，希望迅速减少故障电流。图中示出的四种减少故障电流的情形是：带有反向能力的可控硅励磁系统；不带反向能力的可控硅系统；发电机灭磁开关；励磁机灭磁开关。

利用可控硅励磁系统和反向回路可使故障电流减少最快。励磁系统由一个稳定电源供电，例如一个同轴驱动的交流励磁机。反向回路能在故障发生后的几个周波之内对发电机磁场施加一个负的顶值电压。当发电机的容量增加时， $I_{\Delta t}$ 的耐受指数就下降。最严重的不平衡故障是发电机相间短路，它是由差动保护来判别的，并且故障电流可以用图 9 中的方法之一予以减少。

另一个发电机运行紧急故障是甩负荷，以及发电机电压的控制。图 9 中的每一种方法都能够用来减少发电机过电压的程度。反向可控硅系统是最有效的，特别是如果发电机还向一条长距离输电线路供给充电电流的时候。在多数甩负荷情形下，交流发电机电压调整器将不允许发电机电压超过允许值。如果发电机在甩负荷之前是被一台直流电压调整器控制着，必须使用图 9 中的一种方法以防止危险的过电压，或者防止由于高的伏/赫比造成过热。

3-5 发电机失去励磁和失去同步

从 40 年代起对发电机失去励磁的运行特性就已经研究过并提出过报告[5]。此后随着发电机的发展，使这种研究工作不得不继续进行。发电机容量从 40 年代的小于 10 万千瓦安增加到 70 年代早期的大于 100 万千瓦伏安，由于原子能电力的发展制造了更多的四极发电机；发电机特性有所改变，例如短路比，在 40 年代通常为 0.85，而到 70 年代则为 0.50；励磁系统从整流子励磁机改为二极管或可控硅式。关于励磁系统的发展需加以说明。整流子励磁机在发电机异步运行时，整个滑差周波都允许发电机转子电流流通。对于带有二极管或可控硅式的交流励磁机，则感应的发电机转子电流，在滑差周波的半个周波内，不能在励磁机里流通。而在发电机转子两端能产生高的感应电压。

图 10 示出了一台发电机失励磁运行而励磁机仍然接在发电机转子上时，转子电压的一个典型波形。使用现代的半导体整流器会产生跨接于发电机转子电压的不规则图形。励磁系统（整流器）和发电机转子线卷两者都面临这些电压的危险。曾用非线性电阻跨接发电

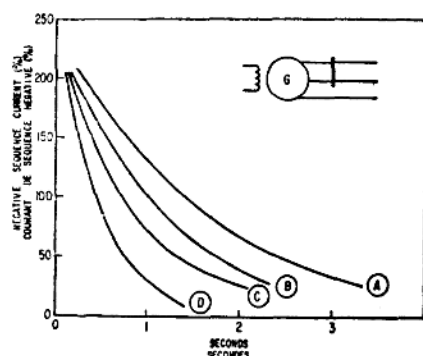


图 9 发电机负序故障电流的减少

由于 A—励磁机（二极管式）灭磁开关；B—主发电机灭磁开关；C—不反向的可控硅励磁机；D—反向的可控硅励磁机

纵座标—负序电流%；横座标—时间，秒

机转子以减少电压的数值。但是，如表 1 中说明的，在失去励磁时，如果查明其结果造成失去同步，则建议应当跳闸。

提供具有所需特性的继电器的问题是复杂的，不仅由于发电机的设计和励磁系统类型的变化，而且也由于要适应系统的需要。美国在 60 年代后期的几次严重的系统扰动说明，需要研究频率低于正常时发电机和继电器的特性关系。为了保证保护继电器具有所需的特性，曾经作了持续的研究工作，验证了发电机具有如图 11 所示的阻抗特性。

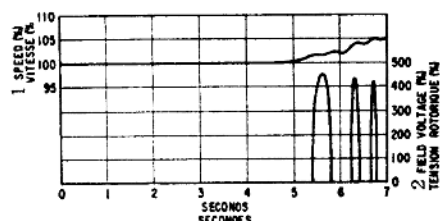


图 10 在失去励磁后发电机转子电压和转速的变化

纵座标左—转速%；右—磁場电压%；
横座标—时间，秒

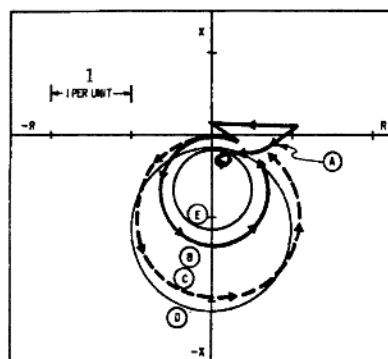


图 11 在失去励磁和失去同步后发电机阻抗特性

A—失去励磁；B—失去同步，直流控制；C—失去同步，交流控制；D、E—失去励磁继电器特性；1—1 个标么值

一种常用的失去励磁继电器是个阻抗继电器。曲线 D 和 E 表示这样一个继电器的两个整定值。这些特性的每一个都将能侦察出发电机失去励磁。曲线 A 说明从满负荷开始的典型失磁情况。美国公用企业正在考虑和使用的措施是：

- 1) 选择一种特性，D 或 E，报警和跳闸；
- 2) 选择两种特性，D 和 E，一个用于延时，一个用于跳闸；
- 3) 立刻跳闸或在一个时间延迟之后跳闸。

这种继电器对于失去同步的情形也将有所反应，例如 B 和 C，它们是严重故障情况的结果。这种失去同步的保护是需要的。

上面列举的措施适用于发电机和系统强联系的情况。对于离系统更远的发电机（弱联系）失去同步，用这种继电器可能侦察不到，因为这个阻抗轨迹可能落在继电器特性 D 的外边。对于这种失去同步的情形，根据阻抗轨迹的型式，必须有其它继电器或者成组的继电器来执行保护作用。

4. 保 护

发电机和励磁系统的保护可分成两个主要类型：用装置来保护，例如继电器以及有关的附件；用回路（它可能是复杂的）和完整的调整器，或者是由一些装置和部件组成的回路来保护。

用继电器和用回路保护的目标能够很好地区分开，使这两种系统可以编列分类图表。图 12 示出发电机和励磁系统的一套配合好的继电保护装置；图 13 示出一套配合好的回路保

护。这两套装置彼此相辅，形成一个协调的保护系统的整体。

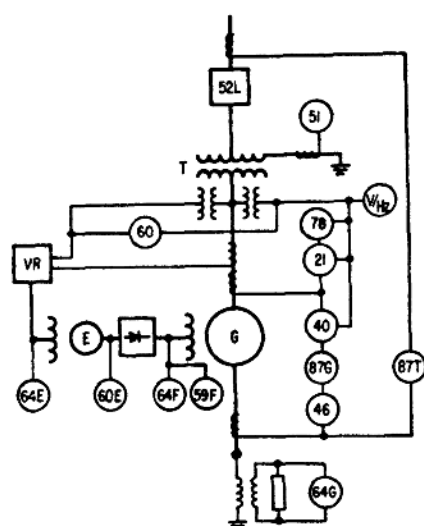


图 12 继电保护-发电机和励磁系统

(设备名称见表 1)

G—发电机；T—升压变压器；E—交流励磁机；
VR—电压调整器；52L—主发电机断路器。

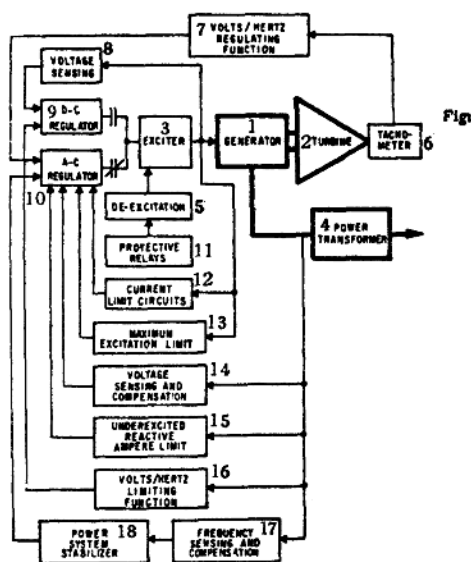


图 13 发电机励磁系统的控制和保护回路

1—发电机；2—汽轮机；3—励磁机；4—电力变压器；
5—灭磁；6—转速表；7—伏/赫调节作用；
8—电压感受元件；9—直流调整器；10—交流调整器；
11—保护继电器；12—电流限制回路；13—最大励磁限制；
14—电压感受元件和补偿；15—欠励磁无功功率限制；
16—伏/赫限制作用；17—频率感受元件和补偿；
18—电力系统稳定装置。

4-1 继电保护

根据多数发电机和励磁系统的继电保护实践经验，一般都使用相对少量的继电器。这些继电器按ANSI C-37.2-1962的说明列在表 1 中。表 1 中说明的动作是一个制造厂推荐的。每个企业有它自己的实践经验，其它发电机、励磁系统和继电器制造厂可能有不同的推荐。

这个励磁系统用少量的保护继电器：励磁机磁场接地和励磁机交流电压不平衡继电器是独立应用的；伏/赫和过电压继电器起双重作用；当作独立的继电器或者保护回路的一部分。这个保护回路的目的是在表 1 中列出的继电器动作之前较早地动作。

4-2 保护回路

保护回路，是励磁系统的组成部分，起到调整器、限制器和保护的作用。保护回路和保护继电器的正确配合将使发电机和励磁系统可能得到最大允许的暂态（短时间）运行，并且也对稳态和事故状态下运行提供正确的保护。

保护回路通常是凭借限制（或调整）一个变数使它不超过（或达到）预先规定的数值来完成保护作用的。根据这个作用性的定义，广义的说，所有正确地加在励磁机上的回路都是保护性的。图13中示出的这些回路包括：

回 路	关键作用
发电机交流电压调整器.....	调整.....发电机端电压。
发电机直流电压调整器.....	调整.....发电机转子电压。
欠励磁无功电流限制.....	保护.....发电机端部铁发热；静态稳定。
最大励磁限制.....	保护.....发电机转子，转子发热。
发电机转子电流限制.....	保护.....整流器发热；交流励磁机电枢过电压。
励磁机磁场电流限制.....	保护.....控制放大器发热；交流励磁机磁场发热。
伏/赫调整器和伏/赫限制作用.....	保护.....所有磁通-频率敏感部件的过励磁。
灭磁控制.....	发电机区段内故障时迅速减少发电机磁通。
电力系统稳定装置.....	发电机和电力系统振荡时提供正阻尼

表 1

设备编号	作 用	汽 轮 机 主汽门跳闸	主断路器跳闸	去掉励磁	运行警报
	发 电 机				
21	系统单相故障后备保护		×		×
40	发电机失去励磁*		×	×	×
46	发电机负序电流		×	×	×
51	系统接地故障后备保护		×		×
78	失去同步		×	×	×
59F	发电机转子过电压	×	×	×	×
60	发电机电压感受监视装置				×
64F	发电机转子接地	×	×	×	×
64G	发电机转子接地	×	×	×	×
87G	发电机转子电流差动保护	×	×	×	×
87T	变压器电流差动保护	×	×	×	×
V/HZ	伏/赫过励磁保护**			×	×
	励 磁 系 统				
60E	交流励磁机不平衡电压	×	×	×	×
64E	励磁机磁场接地				×

* 励磁在某种情形下失去同步

** 只有在主发电机开关开路时才动作

5. 结 论

1. 保护继电器和励磁系统保护回路正确配合能对发电机、励磁系统和其它部分例如主变压器提供较可靠的保护，并能维持电力系统的安全运行。

2. 在发电机所有运行时间内，如果可能的话，自动电压调整器也应投入运行。为了从励磁系统得到较可靠的保护，应加进必要的附属设备。

3. 保护回路，包括继电保护，为了自动地正确动作应当预先整定好。警报器应当主要地用于通知运行人员已经采取了校正动作。

4. 当系统低频率运行时，通过切负荷和改进了特性的励磁系统联合作用能使设备和系统稳定遭受的损害最小。

参 考 资 料

- [1] JONES N. H., TEMOSHOK M., WINCHESTER R. L. - Design of Conductor-Cooled Steam Turbine-Generators and Application to Modern Power Systems (IEEE Transactions, February 1965, Vol. PAS-84, No2, pages 131-146)
- [2] ALEXANDER G. W., MCNUTT W. H., TEMOSHOK M., WALKLEY W. W. - Generating Station Protection and Operating Practices to Avoid Equipment Overexcitation, (American Power Conference, Chicago, 111., April 27, 1967).
- [3] BOBO P. O., SKOOG LUND J. W., WAGNER C. L. - Performance of Excitation Systems under Abnormal Conditions, (IEEE Transactions, February 1968, Vol. PAS-87, No 2, pages 547-553).
- [4] AKERS H. T., DICKENSON J. D., SKOOG LUND J. W. - Operation and Protection of Large Steam Turbine Generators under Abnormal Conditions, (IEEE Transactions, April 1968, Vol. PAS-87, No 4, pages 1180-1188).
- [5] MASON C. R. - A New Loss-of-Excitation Relay for Synchronous Generators, (AIEE Transactions, 1949, Vol. 68, pages 1240-5).

汽轮发电机的异步运行

(11-02)*

提 要

对于同步电机，异步运行是通常最不希望的一种运行状态。这种运行状态下，随发出的有功功率数量的不同，能影响输电系统，使电压下降并产生波动，由于损耗增加引起的高温可能使发电厂遭受损害。

论文评述了在一台58.8万千伏安汽轮发电机上进行的一系列异步运行试验，该机的定子和转子上装有特殊测温装置。论文中提供这些试验的若干结果并讨论了负荷限制问题。为了预示异步运行性能，曾研究出一个计算程序；讨论了它所包含的理论依据，并把它的预计结果和这台58.8万千伏安发电机以及一台3.75万千伏安发电机上的试验结果进行比较。然后讨论了为吸收无功功率采用异步运行的经验，并且提出限制异步运行出力的一些因素。

此后，又讨论了在试验过程中发生的涉及磁极滑动**和恢复同步的问题，并附有在磁极滑动过程中转子线卷里感应的电流和电压的记录。结论中叙述了英国采用的防止磁极滑动的方法。

1. 引 言

汽轮发电机的异步运行可以很方便地分为：

- a、磁极滑动或瞬间失去同步；
- b、偶然的或有意安排的失去励磁。

磁极滑动一般是由于大量地减少励磁运行以致低于保持同步所需要的励磁所引起的。其原因或由于励磁系统的故障；或由于人工减少励磁时的疏忽；或由于输电系统的故障，以致暂时失去负荷引起转子加速，而励磁又太低不能保持同步。异步运行包括偶然的或有意安排的全部失去励磁。

有关试验情况下的异步运行以及在系统轻负荷时用不励磁的发电机吸收无功功率方面，英国进行了一些研究。最近的试验是在一台58.8万千伏安发电机上进行的，该机装有温度监视装置和一个转子遥测系统。论文评论了这些试验，介绍了一些结论并且也试图和各种理论研究的结果联系起来。

* 作者T.H.MASON, W.FAIRNEY, J.J.ARNOLD和M.J.THELWELL, 英国中央发电局(英国)。

** 即瞬间失去同步——译注。

本文讨论了异步运行的一些限制因素并联系保护方案决定负荷限额。

定义

1. 标么值负荷 对于万瓩、万千伏安和万千乏, 以发电机的额定万千伏安作为 1.0 标么值。

2. 负万千乏 欠励磁的发电机吸收无功功率叫做产生负万千乏。

2. 异 步 运 行

在英国中央发电局输电系统中, 当发电机发生失去励磁和异步运行时, 正常的办法是把它解列。

但是有些情形, 当励磁系统的故障延长下去并且在低负荷时需要产生大量的负万千乏, 就可能需要异步运行。同时, 如果不可能把发电机立即解列, 那就必须知道安全异步运行能够持续多长时间。所有以上情况, 都要知道限制这种运行方式的电机和系统的参数, 为此, 对连接在系统上的几台机组进行了几项试验。也曾做了异步运行的理论分析并且和几种转子线卷接线方式的测量结果进行比较。

2-1 一台58.8万千伏安汽轮发电机的异步运行试验

在一台58.8万千伏安发电机上(见表2中发电机A)进行了异步运行试验, 该机在转子表面和定子端部装有测量温度的专用仪器。这台发电机是正常设计的, 不具有任何有助于异步运行的特殊性能。转子是整体结构装有无磁性楔条, 并在楔条下边装有铜阻尼条, 这些阻尼条仅用端部线卷的护环连接。

2-1-1 试验步骤 这台机组的厂用设备连接到电厂的厂用配电盘上。在打开灭磁开关前发电机负荷降到一个低值, 然后转子线卷跨接到一个放电电阻上灭磁。发电机的出力逐级增加直到极限条件。

2-1-2 试验测量 在转子上装有48个测温点并连接到一个无线电遥测系统以便在发电机运行时能检测转子温度。温度敏感元件是铂电阻丝式, 夹在一片 $12 \times 12 \times 0.14$ 毫米厚的平薄片里, 然后粘在转子表面上并用金属条点焊。引线从敏感元件引进转子轴内接到装在一个轴套上的遥测装置。图1是这个轴套和转子端部的照片。

图2表示遥测系统的方框图。从连接温度敏感元件的桥型回路来的电压, 经过放大后, 去调制副载波振荡器的输出频率。共有16台无线电频率的载波发射机, 频率范围为15~33兆赫, 每个发射机有3个已调制的副载波。一个固定的接收天线把收到的信号送进接收机, 解调器和数据记录系统把转子温度纪录在印刷和穿孔纸带上。48个频道的任何一号频道都能以每秒钟5个频道的速度进行扫描。旋转装置的电源是经过一个以50千赫工作的电感耦合系统传送到轴套上去。虽然有些频道在使用中失去作用, 但运行1000小时以后仍有65%的温度频道满意地工作着。

测量定子主铁芯和端部以及冷却气体温度的若干热电偶是在制造过程中装在发电机里的。这些热电偶中有几个的轴向和径向位置见图3, 这些热电偶的输出经一个与转子测温装置分开的数据处理装置巡回扫描记录下来。

和异步运行有关的发电机的电气参数经过测量并在某些场合下记录在多线紫外线检流计记录仪上。这些参数包括发电机的有功和无功功率、定子电压和电流、转子线卷的电压