

高等学校教材

电力系统综合实验

天津大学 李树鸿 主编

水利电力出版社

TM733

高等学校教材

电力系统综合实验

天津大学 李树鸿 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书提供电力系统综合性实验示例12个。书中阐明了实验的理论依据、实验方法和实验中可研究的问题等。

本书可作为“电力系统及其自动化”专业和“发电厂及电力系统”专业的教材，也可作为电力系统工作人员的参考书。

高等学校教材

电力系统综合实验

天津大学 李树鸿 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 5.125印张 113千字

1988年6月第一版 1988年6月北京第一次印刷

印数00001—10100册 定价: 0.95元

ISBN 7-120-00304-6/TM·69

前 言

电力系统综合实验是根据1982年电力系统及其自动化专业武汉会议确定的教学大纲编写的。其目的是在学生基本上学完专业课的基础上，对某些问题进行综合的试验探讨，以提高学生试验研究、分析处理数据和提出科学报告的能力。

学生们在做电力系统综合实验时，应根据实验室的设备条件，在教师的指导下确定实验内容、要求、实验方法、接线和仪表配置等，向指导教师提出实验方案，经同意后进行实验。学生们要尽量多次地、独立地进行试验，实验完毕应提出较完整的实验报告。

编写的电力系统综合实验，包括12个实验题目，这仅是提供可以进行实验的课题。每个题目的内容多少不一，有些编写得比较详细，有些比较简略，这便于因材施教和进行选择。有些题目内容较多，可以选作其中一部分，例如实验十二中着重研究输电线路故障分析。另外，在实验课中也可将若干部分实验内容组合成一个课题，深入研究，例如：

(1) 电机参数测定——同步发电机静态安全运行极限，组合成比较全面的安全域测定方法。

(2) 可控硅励磁调节器整机性能调试——电力系统静态稳定性研究组合在一起，着重研究励磁调节器对提高系统静态稳定性的影响。

为了便于利用动态模拟实验室进行实验，最后简略地介绍了动态模拟装置。但本书所提出的实验内容，也完全可以不在动态模拟实验室进行。

本书由天津大学李树鸿主编，西安交通大学尹更生主审，天津大学李广铃参加编写实验五至实验十部分。动态模拟实验室张凤岐、刘长胜、刘广礼等共同参加实验内容的讨论和排试工作，他们为实验的开出和编写工作付出了辛勤的劳动。编者在此一并表示衷心的感谢。

编写电力系统综合实验教材尚属初次尝试，由于编者水平有限，错误和不足之处在所难免，敬希读者指正。

编者

1987年5月

目 录

前 言

实验一	同步发电机直轴参数的离线测定	1
实验二	同步发电机参数的在线测定	6
实验三	同步发电机频率特性的实验测定法	14
实验四	同步发电机静态安全运行极限的测定	19
实验五	电力系统静态稳定性研究	24
实验六	电力系统暂态稳定性研究	28
实验七	可控硅励磁调节器试验(一)——可控硅励磁调节器元件参数的 测试	33
实验八	可控硅励磁调节器试验(二)——可控硅励磁调节器整机性能 调试	38
实验九	输电线路距离保护装置试验(一)——晶体管距离保护装置的元件 定值调试	43
实验十	输电线路距离保护装置试验(二)——距离保护装置的整组 试验	49
实验十一	数字式序分量过滤器的研究	53
实验十二	输电线路故障分析的研究	59
附录	电力系统动态模拟简介	64

实验一 同步发电机直轴参数的离线测定

一、实验目的

- (1) 加深理解和运用已学过的同步发电机的电磁暂态理论。
- (2) 学习并掌握同步发电机 d 轴稳态、暂态参数的测试方法。

二、原理与说明

(1) 同步发电机无载突然三相短路实验，是测定电机 d 轴暂态电抗 x'_d 、次暂态电抗 x''_d 、定子绕组短路时励磁绕组时间常数 T'_d 、定子绕组短路时阻尼绕组时间常数 T''_d 、定子绕组时间常数 T_d 和同步电抗 x_d 的较好的方法。在一般的情况下，只需测定电机的不饱和值，此时空载电压在额定值以下。例如，在额定电压的25%以下进行三相突然短路试验。如需得到参数的饱和值，可在额定电压的1.05倍下进行突然短路试验。

实验用原理接线，如图 1-1 所示。由暂态过程分析可知，无载运行的同步发电机突然三相短路时，定子 A 相电流 $i_A(t)$ 可近似地表达为

$$i_A(t) = \left[\frac{U}{x_d} + \left(\frac{U}{x'_d} - \frac{U}{x_d} \right) e^{-t/T'_d} + \left(\frac{U}{x''_d} - \frac{U}{x'_d} \right) e^{-t/T''_d} \right] \times \sqrt{2} \cos(\omega t + \theta_0) + \frac{\sqrt{2}U}{x''_d} \cos \theta_0 e^{-t/T_d}$$

式中 U ——短路前电机无载电压有效值；

θ_0 ——短路合闸初相角。

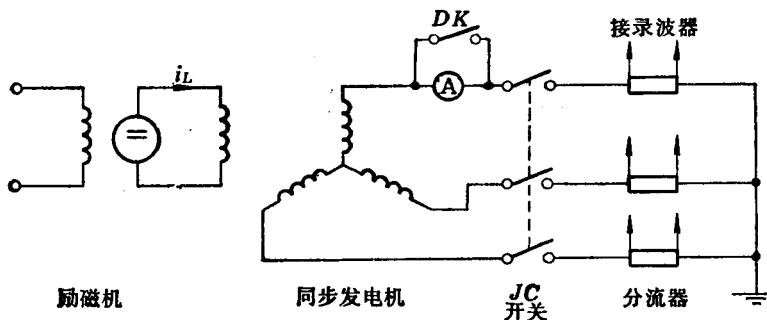


图 1-1 同步发电机突然三相短路实验接线图

下面说明对短路电流进行分解以求取电机参数的方法。

首先，将所录得的短路电流波形各峰值绘制在等分坐标纸上，各峰值平滑地连接起来就是短路电流波形的上下两条包络线，如图 1-2(a) 中的曲线 1 和 2。

电流的非周期分量和周期分量可按下列方法分开。取任一瞬间上下包络线的纵坐标值，两者代数差的一半就是该瞬间的非周期分量，两者代数差的一半就是该瞬间周期分量的平均值。

突然短路电流的暂态分量 $\Delta i_d'(t)$ 和次暂态分量 $\Delta i_d''(t)$ 之和，可以从短路电流周期分量中减去稳态短路电流求得。把 $\Delta i_d'(t) + \Delta i_d''(t)$ 绘在半对数坐标纸上，此曲线大部分是一直线，如图1-2(b)所示。将直线延伸到与纵坐标轴相交，交点即为短路电流暂态分量的起始值 $\Delta i_d'(0)$ 。暂态分量衰减到起始值的0.368倍所经历的时间，即时间常数 T_d' 值；从起始值衰减到0.606倍所经历的时间，即为 $0.5T_d'$ 值。

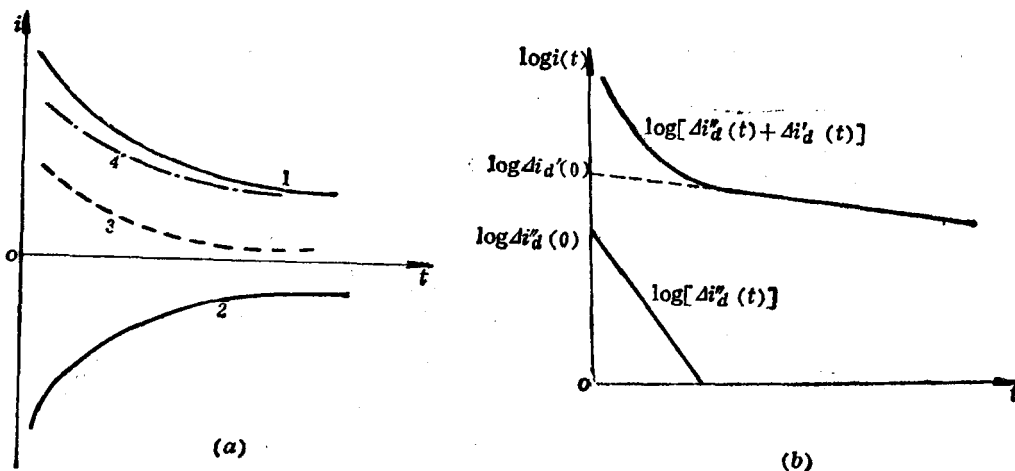


图 1-2 突然短路电流波形分析图

(a) 短路电流波形图；(b) 对数坐标电流波形图

1、2—电流峰值包络线；3—直流分量；4—电流周期分量

短路电流次暂态分量 $\Delta i_d''(t)$ 等于半对数坐标纸上表示的 $\Delta i_d'(t) + \Delta i_d''(t)$ 曲线与相应的 $\Delta i_d'(t)$ 直线之差。将次暂态分量电流绘在半对数坐标纸上，如图1-2(b)所示。曲线与纵坐标轴的交点，即为次暂态电流的起始值 $\Delta i_d''(0)$ ；衰减至起始值电流的0.368倍所经历的时间，即次暂态时间常数 T_d'' 值。

利用求得的暂态和次暂态电流起始值增量，即可求得同步发电机的电抗值为

$$x_d' = \frac{U}{I_{d\infty} + \Delta i_d'(0)}$$

$$x_d'' = \frac{U}{I_{d\infty} + \Delta i_d'(0) + \Delta i_d''(0)}$$

式中 U ——短路前同步发电机无载运行时的相电压有效值；

$I_{d\infty}$ ——稳态短路电流有效值；

$\Delta i_d'(0)$ ——暂态电流增量起始有效值；

$\Delta i_d''(0)$ ——次暂态电流增量起始有效值。

对非周期分量的类似处理，可求得 T_d' 值。

突然三相短路法是测定同步发电机直轴参数的重要方法，然而这种测取电机参数的方法由于会出现较大的短路电流冲击，对电机有一定损伤。大型电机短路电流数值大，电机材料又利用得比较充分，应用突然短路测试电机参数，特别是在额定空载电压下突然三相短路测取电机参数，对电机的损伤就更大一些，因而一些运行单位不愿意进行这种试验。

(2) 定子绕组开路的励磁绕组时间常数 T_{d0} 和阻尼绕组时间常数 T_{1d0} ，可以通过灭磁试验来测定。为测得这些参数，须进行两次发电机灭磁试验。一是，发电机励磁绕组经灭磁电阻短接的灭磁试验；另一是，发电机励磁绕组直接被短接的灭磁试验。

图1-3示出测定定子绕组开路时，转子回路时间常数的试验接线图。转子励磁回路由直流电源供电， R_1 用以模拟灭磁电阻， R 用以限制直流电源的电流和调节励磁电流。

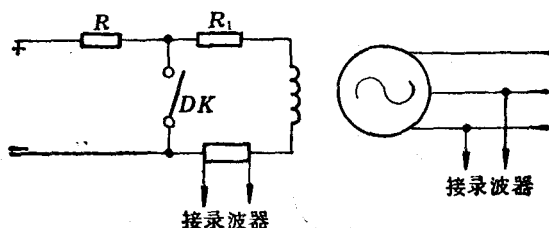


图 1-3 测定转子回路时间常数的试验接线图

试验时，将发电机拖动到同步转速，定子绕组开路，调节励磁电流，使发电机端电压为额定值。突然合上开关 DK ，将发电机励磁绕组短接，录取发电机定子电压或励磁电流衰减波形图。

试验需进行两次。一次是励磁绕组直接短路试验，这时应把电阻 R_1 调节到零；另一次是经灭磁电阻短路试验，这时应把电阻 R_1 调节到等于灭磁电阻值。

由于发电机转子有剩磁，即使励磁电流等于零，定子电压也不等于零，由录波器测得的电压波形图证明了这一点。电压衰减时间常数可按如下方法求得。在等分坐标上绘制电压衰减曲线，从该曲线上的值减去剩磁电压值，绘制在半对数坐标纸上，开始几周快速衰减部分略去不计，取曲线的形状是一直线，则电压自起始值衰减到起始值的0.368倍所需的时间，即转子回路电流衰减的时间常数。

如果试验时测录的是转子励磁电流衰减曲线，也可用类似的方法，求取转子回路的时间常数。

当 $R_1 = 0$ 时，测得转子回路时间常数为 T'_{d0R0} ，则

$$T'_{d0R0} \approx T_{d0} + T_{1d0}$$

当 $R_1 \neq 0$ 时，测得转子回路时间常数为 T'_{d0R1} ，则

$$T'_{d0R1} \approx \frac{R_L}{R_L + R_1} \times T_{d0} + T_{1d0}$$

式中 R_L ——励磁绕组电阻值。

由上两式可求得

$$T_{1d0} = T'_{d0R0} - (T'_{d0R0} - T'_{d0R1}) \times \frac{R_L + R_1}{R_1}$$

$$T_{d0} = (T'_{d0R0} - T'_{d0R1}) \times \frac{R_L + R_1}{R_1}$$

为了测取定子绕组短路时，励磁绕组和阻尼绕组的时间常数，可以用类似的方法。这时定子绕组三相短路，录取定子电流或励磁电流波形图，经波形分析可求得相应的时间常数。

三、实验项目与方法

1. 同步发电机突然三相短路试验

(1)按图1-1接线。实验用同步发电机的励磁机必须是他励接线，如果励磁机采用自并激接线，在突然三相短路时可能会使励磁机改变极性。发电机定子绕组经开关 JC 进行三相短路，三相电流经无感分流器引到光线示波器进行录波。电流表是用以量测定子短路电流稳态值的。为了保护电流表，并联有开关 DK ，突然短路前应将开关 DK 合上。

三相突然短路用开关 JC 应选用适当容量的开关。为了得到正确的实验结果，短路用开关三相触头闭合须保证严格同期。

为了确保人身及仪器安全，应将分流器接在短路开关与中性点之间，中性点必须可靠地接地。

(2)电机在同步转速运行，调节励磁电流使电机定子无载电压为一适当值，例如是额定电压的25%。记录无载电压值。

(3)调整录波系统，以便能正确录取电流波形图。

(4)合上电流表保护开关 DK 。

(5)快速合上开关 JC ，同时录取电流波形。

(6)待电流稳定后，拉开 DK ，读取定子电流稳态值。

2. 励磁绕组和阻尼绕组时间常数的测定

(1)实验接线，如图1-3所示。发电机同步转速运行。

(2)调节 R_1 使之等于灭磁电阻值。

(3)调节发电机的励磁电流，使发电机电压为额定值。

(4)合上开关 DK ，模拟发电机自动灭磁过程，同时测录定子电压和转子励磁电流的衰减曲线。

调节电阻 R_1 等于零，重复上列实验。

四、预习要求

(1)掌握同步发电机 d 轴参数 x_d 、 x'_d 、 x''_d 、 T'_d 、 T''_d 和 T_e 等的物理意义。

(2)弄清同步电机的次暂态、暂态和稳态过程。怎样把突然三相短路电流分解为次暂态、暂态和稳态分量，并求取电机 d 轴参数。

(3)了解怎样通过自动灭磁试验，求取转子回路的时间常数。

(4)了解光线示波器的原理和使用方法。

五、实验报告

(1)由突然短路试验，确定电机 d 轴参数。

(2)确定转子励磁回路和阻尼回路的时间常数值。

(3)分析实验结果，讨论可能出现的误差。

六、思考题

1. 无载电机突然三相短路实验中，如果短路开关三相不同期，将会对实验结果有什么影响？

2. 无载电机突然三相短路实验中，如果采用并激式励磁机，为什么会出现改变极性的

现象，试解释之。

3. 为什么由无载电机突然三相短路实验求得的参数是 d 轴参数？能否用这种方法求取 q 轴参数？应如何去求取 q 轴参数？

4. 在图1-3中，利用短路开关 DK 模拟自动灭磁开关。试讨论应如何接线，才能使短接回路的电阻最小？

5. 实验用的模拟自动灭磁回路和灭磁过程，与实际电机的灭磁回路和灭磁过程有何差别？

参 考 文 献

1. 中华人民共和国第一机械工业部电工专业标准，三相同步电机试验方法，1962年。
2. 王跃臣，同步电机基本参数理论及其测试方法，科学出版社 1965年。
3. 何秀伟，电机测试技术，机械工业出版社，1985年。

实验二 同步发电机参数的在线测定

一、实验目的

- (1) 加深理解和运用已学过的同步电机电磁暂态过程理论。
- (2) 学习用在线抛载试验方法, 测定同步发电机的 d 轴和 q 轴参数。
- (3) 学习在线测定同步发电机的同步电抗值。

二、原理与说明

1. 在线抛载试验测定同步电机参数

用电压恢复法测定电机参数已有很多讨论, 即同步电机以额定转速运行, 定子三相短路, 调整转子励磁电流, 使发电机定子电流在额定值以下。突然断开定子侧出口短路开关, 测录定子电压恢复过程, 经处理后求取直轴电机参数。电压恢复前, 发电机定子绕组内通过纯无功电流; 电压恢复过程测录的是电机直轴的暂态过程, 故求得的是直轴参数。因为电压恢复前电机是三相短路, 故必须把电机停下来进行短路接线。本试验方法是电机在线运行, 调整电机分别带纯有功负荷或纯无功负荷, 然后突然与电力系统解列, 测录电机抛去纯有功负荷或纯无功负荷的暂态过程, 可以分别求得电机的 q 轴和 d 轴参数。本试验方法无需改变电机接线。以下分别讨论 d 轴和 q 轴参数的测定方法。

(1) d 轴参数的测定——切断带纯无功负荷的同步发电机, 测定 d 轴参数。同步电机带纯无功功率, 定子电流是纯 d 轴分量, 抛载时可以测录电机 d 轴的暂态过程, 求得 d 轴电机参数。试验接线如图2-1所示。同步发电机与系统并列后, 手动调节励磁电流, 使电机在过激或欠激下运行, 但有功负荷为零(可以用功率表监视), 在这种情况下可以确信电机的综合旋转磁场与直轴重合。突然切断发电机出口开关与系统解列, 测录定子电压和励磁电流变化曲线。

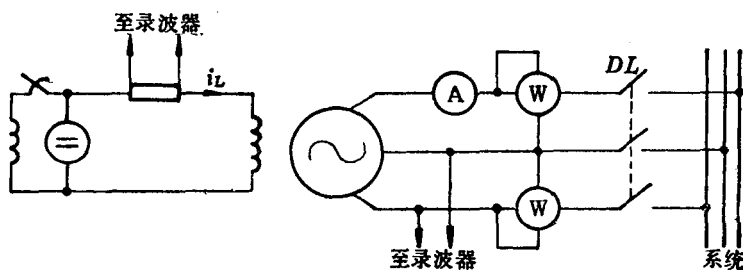


图 2-1 在线抛载试验测定电机参数接线图

在欠激励磁下, 有功负荷为零的同步发电机的电压向量, 如图 2-2 所示。图中表示出 d 轴电势、电压、电流和电抗的关系, 即

$$E_q = U_q - I_d x_d = U - I_d x_d$$

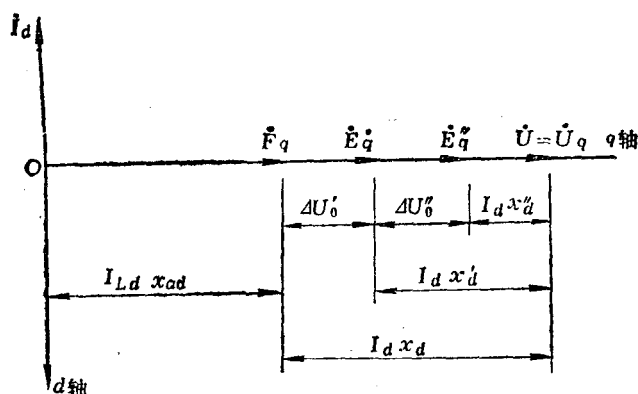


图 2-2 欠励磁磁下有功负荷为零的同步发电机的向量图

$$E'_q = U - I_d x'_d$$

$$E''_q = U - I_d x''_d$$

- 式中 E_q ——发电机的 q 轴电势；
 U_q ——发电机端电压的 q 轴分量；
 I_d ——发电机定子电流的 d 轴分量；
 I_{Ld} ——转子励磁电流；
 x_d ——发电机的 d 轴同步电抗；
 U ——发电机的端电压；
 E'_q ——发电机的 q 轴暂态电势；
 x'_d ——发电机的 d 轴暂态电抗；
 E''_q ——发电机的 q 轴次暂态电势；
 x''_d ——发电机的 d 轴次暂态电抗。

测录得抛载后定子电压（幅值）与时间的变化曲线，如图2-3所示。转子励磁电流变

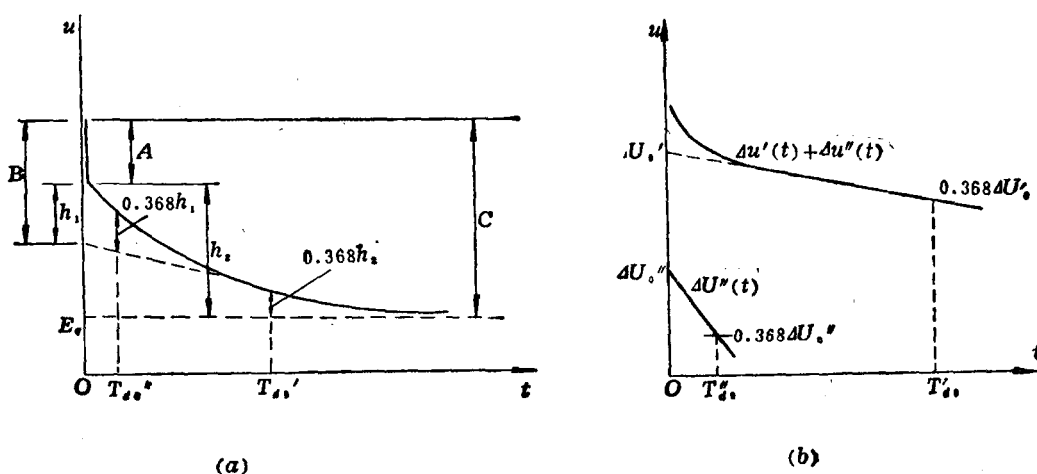


图 2-3 切断进相纯无功负荷后发电机的电压变化曲线
 (a) 定子电压幅值变化曲线；(b) 定子电压各分量变化曲线(对数坐标)

化曲线, 如图2-4所示。

由定子电压变化曲线可求得

$$x_d = \frac{U - E_q}{I_d} = \frac{C}{I_d}$$

$$x'_d = \frac{U - E_q - \Delta U'_0}{I_d} = \frac{B}{I_d}$$

$$x''_d = \frac{U - E_q - \Delta U'_0 - \Delta U''_0}{I_d} = \frac{A}{I_d}$$

式中 I_d ——发电机与系统解列前的定子电流有效值;

$\Delta U'_0$ —— $t=0$ s时的暂态电压增量;

$\Delta U''_0$ —— $t=0$ s时的次暂态电压增量。

A、B和C的值可从图2-3电压变化曲线中求得。

时间常数 T'_d 和 T''_d 可从定子电压变化曲线图2-3中, 或从励磁电流变化曲线图2-4中求得。

同步发电机在欠激下抛载试验求得的 d 轴参数, 相当于不饱和值。若发电机切断前运行在过激状态, 可求得饱和的参数, 但应注意防止切断负荷后电机出现不允许的过电压值。

(2) q 轴参数的测定——切断带纯有功负荷同步发电机, 测定 q 轴参数。同步发电机带纯有功功率, 定子电流是纯 q 轴分量, 抛载时可以测录 q 轴的暂态过程, 可以求得 q 轴参数。试验接线见图2-1。

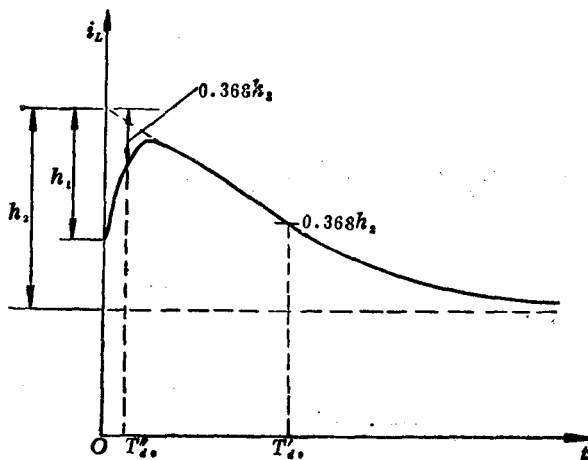


图 2-4 切断进相纯无功负荷后发电机励磁电流变化曲线

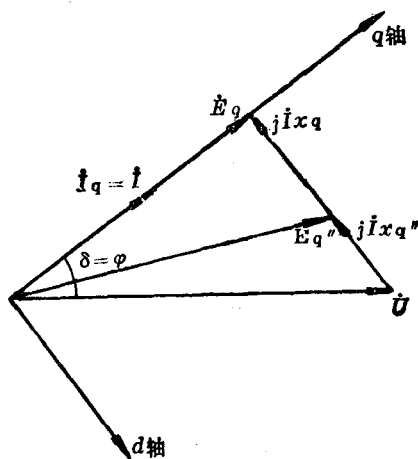


图 2-5 带纯有功负荷的同步发电机电压向量图

同步发电机带纯有功负荷时的电压向量, 如图2-5所示。定子电流 $\vec{I}$ 超前机端电压 $\vec{U}$ 的角度 φ , 在数值上正好等于发电机的功角 δ , 定子电流 $\vec{I}$ 与电势 $\vec{E}_q$ 同相, 即 $\vec{I}_d = 0$ 。此时, 电压关系为

$$\vec{E}_q = \vec{U} + j\vec{I}x_q$$

$$\dot{E}_q'' = \dot{U} + j\dot{I}x_q''$$

同步发电机运行在 $\dot{I}$ 与 $\dot{E}_q$ 重合的状态，可以用下述方法进行调节。即用动态相位计（测量功角的专用仪器）测定电机功角 δ ，调节电机使其与电机功率因数角 φ 相等（可根据定子有功 P 和无功 Q 的输出求 φ 值），正如图2-5所示，电机应运行在进相状态。也可以在电机有功负荷和转子励磁电流一定时，调节电机端电压，当定子电流达最小值时，即所需的状态。此时，电机的有功输出为

$$P = \sqrt{3} E_q I_q$$

当有功 P 和励磁电流一定时， I_q 是不变的，显然若 $I_d = 0$ ，则定子电流

$$I = \sqrt{I_q^2 + I_d^2} = I_q$$

达到最小值。

切断纯有功负荷的定子电压波形，如图2-6所示。根据向量图2-5和电压波形图2-6，可得

$$\begin{aligned} x_q &= \frac{\sqrt{U^2 - E_q^2}}{I} = \frac{\sqrt{A^2 - C^2}}{I} \\ x_q'' &= \frac{\sqrt{U^2 - E_q^2} - \sqrt{E_q''^2 - E_q^2}}{I} \\ &= \frac{\sqrt{A^2 - C^2} - \sqrt{B^2 - C^2}}{I} \end{aligned}$$

q 轴时间常数 T_{q0}'' 也可由图2-6(b)求得。

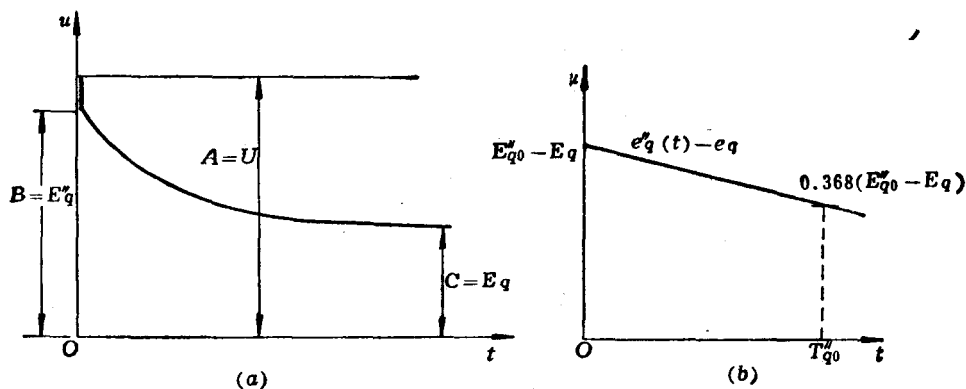


图 2-6 断开纯有功负荷同步发电机的电压波形图
(a) 定子电压幅值变化曲线；(b) $E_q''(t) - E_q$ 分量变化曲线

2. 在线静态测定发电机的同步电抗值

为了计及发电机饱和的影响，同步发电机的参数可以在不同运行方式下进行测定。本试验是在线静态测定电机同步电抗 x_d 和 x_q 值，可以研究不同运行方式下， x_d 和 x_q 的变化。

同步发电机稳态运行时的向量，如图2-7所示。在线测定同步电机的功角 δ 、定子三相有功功率 P 、无功功率 Q 和机端线电压 U 后，可以计算出对应于该运行方式的、计及饱和作用的同步电抗 x_d 和 x_q 值。

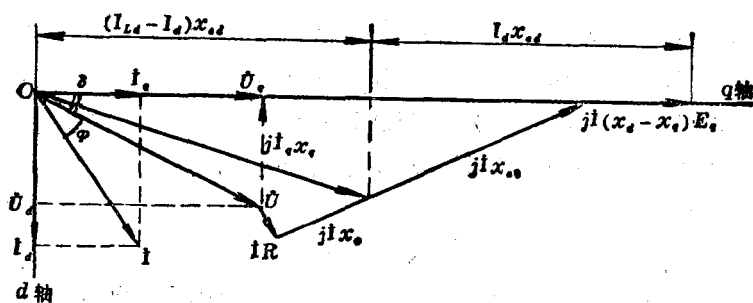


图 2-7 同步发电机稳态向量图

同步发电机稳态运行的方程为

$$U_q = I_{Ld} x_{ad} - I_d x_d - I_q R$$

$$U_d = -I_q x_q - I_d R$$

式中 I_{Ld} ——换算到定子侧的转子励磁绕组电流；

R ——定子绕组电阻；

U_q ——机端相电压的 q 轴分量；

U_d ——机端相电压的 d 轴分量。

解上式可得

$$x_{ad} = \frac{U_q + I_d x_d + I_q R}{I_{Ld} - I_d}$$

$$x_d = x_l + \frac{U_q + I_d x_d + I_q R}{I_{Ld} - I_d}$$

$$x_q = -\frac{U_d + I_d R}{I_q}$$

式中 x_l ——定子绕组的漏抗。

其中

$$U_d = U \sin \delta = \frac{U_l}{\sqrt{3}} \sin \delta$$

$$U_q = \frac{U_l}{\sqrt{3}} \cos \delta$$

$$I_d = I \sin(\delta + \varphi)$$

$$= I \cos \varphi \sin \delta + I \sin \varphi \cos \delta$$

$$= \frac{P}{\sqrt{3} U_l} \sin \delta + \frac{Q}{\sqrt{3} U_l} \cos \delta$$

$$I_q = \frac{P}{\sqrt{3} U_l} \cos \delta + \frac{Q}{\sqrt{3} U_l} \sin \delta$$

式中 U_l ——机端线电压值。

三、实验项目与方法

1. 在线抛载实验测定同步发电机的 d 轴参数

其主要操作如下:

- (1) 发电机与系统并列, 实验接线如图2-1所示。
- (2) 调节电机使有功功率输出为零。
- (3) 调节励磁电流, 使电机在欠激或过激状态下运行, 记录定子电流、电压值。如果在过激状态下运行, 应注意防止电机解列后出现不允许的过电压值。
- (4) 突然切断发电机出口开关, 电机与系统解列, 用示波器测录定子电压和转子励磁电流变化曲线。
- (5) 根据实验数据求电机 d 轴参数。

2. 在线抛载实验测定发电机的 q 轴参数

其主要操作如下:

- (1) 实验接线如图2-1所示, 发电机与系统并列运行。
- (2) 调节发电机带纯有功功率, 即 $\vec{E}_q$ 与 $\vec{I}$ 同相, 记录定子电流、电压和有功输出。
- (3) 突然切断发电机出口开关, 电机与系统解列, 用示波器测录定子电压和转子励磁电流变化曲线。
- (4) 根据实验数据求电机 q 轴参数。

3. 在线静态测定发电机的同步电抗值

其主要操作如下:

- (1) 确定定子绕组的电阻 R 及漏电抗 x_l , 可以离线实测或采用电机设计值。
- (2) 确定转子励磁电流换算到定子侧值的变换系数, 或由指导教师给定。
- (3) 实验电机与系统并列, 根据需要调节不同的运行方式, 测定电机的 δ 、 P 、 Q 和 U 值。记录如表2-1所示。

表 2-1

$\delta (^{\circ})$							
$P (W)$							
$Q (var)$							
$U (V)$							

为研究不同运行方式对 x_d 和 x_q 的影响, 可调节在如下状态下进行试验。

- (1) 发电机端电压不变, 改变电机有功、无功输出, 研究下列关系:

$$x_d = f_d(Q)$$

$$x_d = f_d(P)$$

$$x_q = f_q(Q)$$

$$x_q = f_q(P)$$

式中 Q 、 P ——同步发电机输出的无功、有功功率。

(2) 发电机输出功率保持在某一定值, 电机端电压变化, 研究下列关系,

$$x_d = f_d(U)$$

$$x_q = f_q(U)$$

式中 U ——发电机的端电压。

(3) 以上两种状态的组合, 例如研究下列关系,

$$x_d = f_d(U, Q)$$

$$x_q = f_q(U, Q)$$

四、预习要求

(1) 熟悉用抛载实验测定同步发电机参数的基本原理。为什么抛纯有功负荷只能测得 q 轴参数? 为什么抛纯无功负荷只能测得 d 轴参数?

(2) 怎样用抛载实验的数据求取 d 、 q 轴参数?

(3) 怎样调节电机使之带纯有功负荷?

(4) 熟识在线测定同步电抗的基本原理。

五、实验报告

(1) 根据抛载实验数据, 求出同步电机的 d 轴和 q 轴参数。

(2) 计算不同运行方式下电机的同步电抗 x_d 和 x_q 值, 求出下列关系,

$$x_d = f_d(Q)$$

$$x_d = f_d(P)$$

$$x_q = f_q(Q)$$

$$x_q = f_q(P)$$

$$x_d = f_d(U)$$

$$x_q = f_q(U)$$

$$x_d = f_d(U, Q)$$

$$x_q = f_q(U, Q)$$

(3) 分析运行方式对电机参数的影响。

六、思考题

1. 突然切断带纯有功负荷的发电机, 电机的转速是会偏离同步转速的。试分析用突然切断纯有功负荷, 测取发电机 q 轴参数的试验方法, 是否会由于速度偏离同步转速, 而使实验结果产生很大的误差?

2. 试分析影响电机同步电抗 x_d 、 x_q 值变化的主要因素。

3. 发电机出口开关如果三相断开不同期, 对实验结果将会有何影响?

4. 不测定 δ 角, 还能采用什么方法确定电机带纯有功负荷, 即 $\dot{E}_q$ 与 $\dot{I}$ 同相?

5. 发电机带纯有功负荷时, 即 $\dot{E}_q$ 与 $\dot{I}$ 同相时从发电机定子侧测得的无功功率 Q 是否为零, 为什么?