

发电机功角的计算及应用

王彬业¹, 蒋桂香¹, 王颖¹, 国际平², 臧卫平²

(1. 阿城继电器股份有限公司, 黑龙江 阿城 150302; 2. 哈尔滨科力电力有限公司, 150036)

摘要: 阐述了发电机功率角(以下简称功角)重要性,详细介绍了功角计算方法,为微机发电机-变压器故障录波装置实现对功角的监测提供了依据,并简要介绍了发电机-安全运行极限图及其作用。

关键词: 功角; 整步功率; 内功率因数角; 直轴同步电抗; 交轴同步电抗

中图分类号: TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)05-0028-02

1 概述

随着我国电力工业的迅猛发展,系统的容量不断增加,作为电力系统中最主要元件之一的发电机的安全稳定运行对系统的作用和影响就显得尤为重要。而功角不但是发电机稳定的一个重要标志量,也是大中型发电机进相不可缺少的参考量,而且也是反映发电机内部能量转换的一个重要参数。它的改变要引起有功功率的变化,也要引起无功功率的改变。功角的引入,将给发电机在异常、故障及其失稳情况下的事后分析,提供非常重要的参考依据。基于此,功角是当前微机发电机-变压器故障录波装置不可缺少的监测量,也是绘制同步发电机运行极限图的重要量,因此探讨功角的计算方法非常必要。本文给出了功角的计算公式,而且这些公式在实际运用中易于编制程序。

2 计算方法

2.1 隐极发电机功角计算方法

根据电机学原理,在忽略电枢绕组电阻情况下,隐极发电机有功功率和无功功率表达式为

$$P = \frac{E_q U}{X_d} \sin \delta \tag{1}$$

$$Q = \frac{E_q U}{X_d} \cos \delta + \frac{U^2}{X_d} \tag{2}$$

式中 P ——有功功率;

Q ——无功功率;

E_q ——激磁电动势;

U ——机端相电压;

δ ——功角;

X_d ——直轴同步电抗。

式(1)和式(2)均是标么值表示。由式(1)和式

(2)整理可得

$$\delta = \text{tg}^{-1} \frac{P}{\frac{U^2}{X_d} + Q} \tag{3}$$

由于 P 、 Q 、 U 可以实时测出,对于某一隐极发电机同步电抗 X_d 为常数,因此由式(3)便可以求出隐极发电机的功角。

2.2 汽轮机功角的综合测量方法

因为大多数火电厂所用汽轮机发电机均是隐极发电机,因此有必要对汽轮机发电机的功角做进一步讨论。我们利用汽轮机的转速信号对发电机的功角进行测量。这样做,第一:发电机每次启停机不需要新板正功角的初相;第二:不需要现场重新设置输出信号与发电机同频率的探头装置。

一般情况下,转子的测速信号为转子每旋转一周产生 60 个脉冲。输入装置后进行处理,变成脉冲量进入 60 分频电路,输出 X_0 轴线上的脉冲信号。以此脉冲信号引起 CPU 中断的定时器 T_1 的时间 $T_{1(N)}$ 为基准,同时测出机端电压 U_{AB} 在转子 X_0 轴线上翻转时引起 CPU 中断的定时器 T_1 时间的 $T_{2(N)}$,就可以得出机端电压 U_{AB} 在转子 X_0 轴线间的夹角 $\delta_{(N)}$ 。

$$\delta_{(N)} = \frac{T_{1(N)} - T_{2(N)}}{T} \times 360^\circ \tag{4}$$

式(4)中 T 为以定时器 T_1 为计时基准的机端电压 U_{AB} 的周期。由于以定时器 T_1 为计时基准,式(4)的值有时会大于 360° ,有时会小于 0° ,因此在实际应用中要对式(4)加以修正。得出夹角 $\delta_{(N)}$ 的值,由此可得发电机当前的功角 $\delta_{(N)}$ 。

$$\delta_{(N)} = \delta_{(N)} - \delta_0 \tag{5}$$

式(5)中, δ_0 为功角测量的初始角。另外在发电机并网前,励磁机已使机端电压升到额定值或接近额定值,此时的功角等于零,即:

$$\delta_{(N)} = \delta_{(N)} - \delta_0 = 0 \tag{6}$$

由式(6)可得

$$0 = \quad (N) \quad (7)$$

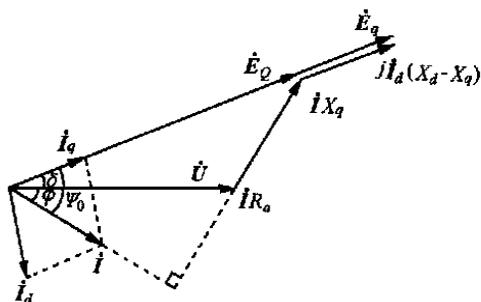


图1 凸极发电机功角的确定

由于发电机并网前机端电压 U_{AB} 在转子 X_0 轴线间的夹角 δ_0 是固定不变的,由式(7)可知初始角 δ_0 也是个不变的常数。在式(4)中初始角 δ_0 为常数,随着发电机的并网投入,夹角 δ_0 随之增大,功角 δ 也随之增加,因此由式(4)就能正确计算出实际功角 δ 。我们将式(3)计算得数与实测的功角综合在一起形成了对汽轮发电机功角测量的独特技术。

2.2 凸极发电机功角计算方法

在图1中, E_Q 为虚拟电动势; δ_0 为内功率因数角; ϕ 为功率因数角; X_d 为直轴同步电抗; X_q 为交轴同步电抗; R_a 为电枢绕组的电阻。将端电压 U 沿着端电流 I 的方向分成 $U \cos \phi$ 和 $U \sin \phi$ 两个分量,从图中不难推出 δ_0 内功率因数角的计算公式。

$$\delta_0 = \text{tg}^{-1} \frac{U \sin \phi + I X_q}{U \cos \phi + I R_a} \text{tg}^{-1} \frac{U \sin \phi + I X_q}{U \cos \phi} \quad (8)$$

在式(8)中,由于电枢绕组的电阻 R_a 比较小,常略去不计。而 U 和 I 可实时测出,对于某一凸极电机 X_d 为常数,因此只要求出 δ_0 角,便可以求出 δ 。在实际应用中,由于 P 和 S 容易计算,因此可用式(9)计算 δ 角值。

$$\delta = \cos^{-1} \frac{P}{S} = \cos^{-1} \frac{P}{\sqrt{3} UI} \quad (9)$$

在式(9)中 U 为线电压, I 为相电流,或者 U 为相电压, I 为线电流。从图1可以看出

$$\delta = \delta_0 \quad (10)$$

一般大中型水轮机均是凸极发电机,因此式(8)、(9)和式(10)便是常常用来计算凸极发电机和水轮机功角的公式。

3 应用

在微机式发—变机组故障录

波装置的监测画面中,如果有一张发电机安全运行极限图,对发电厂的工程技术人员是很有用的。从画面中不但可以找出发电机运行范围,还可以清晰看出发电机的各种运行方式。图2是某火电发电厂的安全运行极限图,由于画面中涉及同步发电机的两个重要参数—整步功率 P_r 和静过载能力 K_p ,以下对它们进行简要介绍。

3.1 整步功率

整步功率 P_r 是同步发电机维持静稳定的判据。它的表达式为

$$P_r = -P = \frac{E_q U}{X_d} \cos \delta \quad (11)$$

由式(11)可看出, P_r 、 δ 呈余弦关系, $P_r > 0$ 表明有整步能力,能稳定运行。 δ 角愈小, P_r 的数值愈大,发电机的稳定性愈好。 $P_r = 0$ 对应于 $\delta = 90^\circ$ 时达到静稳定功率极限 P_{em} 。

3.2 静过载能力

静过载能力 K_p 是反映同步发电机带额定有功负荷时静态稳定储备的能力,它是极限功率 P_{em} 与额定功率 P_{en} 之比。它的表达式为

$$K_p = \frac{P_{em}}{P_{en}} = \frac{E_q U}{X_d} \frac{1}{\sin \delta} \frac{1}{\sin \delta} = \frac{1}{\sin^2 \delta} \quad (12)$$

在图2画面中, K_p 用实测功角 δ 来计算,用以反映同步发电机实际过载能力。

3.3 画面分析

图2中,圆弧 AC 为转子发热极限,它是以 M 为圆心,以最大励磁电流 $i_{F,n}$ 为半径所画出的曲线;圆弧 AD 为定子发热极限,它是以 O 为圆心,以最大安全定子电流 I_n 为半径所决定的曲线;水平线 DB

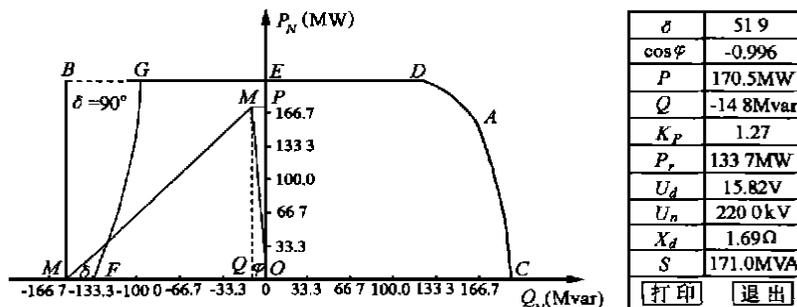


图2 发电机安全运行极限图

(下转第57页)

表1 抽取装置的使用方法

方法						
目的	抽取线路相间电压			抽取线路相电压		
装置接入线路相电压	U_A	U_B	U_C	U_A	U_B	U_C
I_1 超前 U_2 相位角	0°	0°	0°	30°	30°	30°
选用输出电压	$+U_2$	$+U_2$	$+U_2$	$-U_2$	$-U_2$	$-U_2$
得到的抽取电压	U_{CB}	U_{AC}	U_{BA}	U_B	U_C	U_A
调试要点	接入适当调节电容,使 Z_T 为电阻性			增大调节电容,使 Z_T 为容性,阻抗角为 30°		

将装置等值阻抗的阻抗角调整为超前 30° 。

Analog testing method of output voltage phase of ZY-4B voltage tapping device

YANG Xi-yuan

(Anshan Relay Factory, Anshan 114041, China)

(上接第29页) 按发电机额定功率 P_n 的1.05倍整定;垂直线 MB 为理论上静态稳定运行边界,在该边界, $\delta = 90^\circ$;曲线 FG 为实际静态稳定极限; P 为实测有功; Q 为实测无功; ϕ 为实测功角;线段 OM 为实测视在功率 S ;线段 OM 等于 U/X_d ; M 为发电机实际运行点。

从图中可以看出, $OEDACO$ 围成的闭合区域为发电机迟相运行范围, $OEGFO$ 围成的闭合区域为发电机进相运行范围, $CADEGFOC$ 围成的闭合区域为隐极发电机安全运行面积。发电机运行点落在 $OEGFO$ 围成的闭合区域内,可知发电机在做进相运行。 M 可以根据不同实测值,自由移动,即点 M 为动点。从画面的右侧的表格中还可以看出功角、功率因数、有功、无功等参数的时测值,增强了画面的功能,提高了观赏性。另外在表格中还可以增加一些其他的量,如定子电流、转子电流等。

因此在微机式发-变机组故障录波装置的监测画面中,有了这张运行极限图,会给发电厂的广大运行人员带来极大的方便,同时增加了装置的新颖性。

Calculation and application of generator power angle

WANG Bin-ye¹, JIANG Gui-xiang¹, WANG Ying¹, GUO Ji-ping², ZANG Wei-ping²

(1. Acheng Relay Corporation, Acheng 150302, China; 2. Harbin Calli Electric Power Corporation, Harbin 150036, China)

Abstract: The importance of generator power angle is elaborated and power angle's calculation method is presented in detail. The basis is provided that the micro-processor based generator-transformer fault recorder units to supervise power angle, and generator safety running limit chart and its function are presented briefly.

Keywords: power angle; rigidity factor; internal power factor angle; direct-axis synchronous reactance; quadrature-axis synchronous reactance

利用这种方法,可以取得线路的各种相电压信号。如图3b所示,增大调节电容量,将 Z_T 调整为电容性,并且使阻抗角为超前 30° 。这时流过装置的一次电流 I_1 超前装置的输出电压 U_2 30° 。因此,当装置接入线路相电压 U_A ,装置的输出电压 U_{2A} 与线路相电压 U_B 反相位。只要采用反极性输出电压,即可取得线路的 U_B 相电压。同理可得抽取 U_C 、 U_A 的方法,如表1。

收稿日期: 1999-11-22; 改回日期: 1999-12-28

作者简介: 杨喜元(1934-),男,副总工程师,主要研究方向为电力系统继电保护。

4 结论

以上功角的计算测量方法及发电机安全运行极限图已在我公司的微机发电机-变压器故障录波装置中获得了应用,并在实际运行中获得满意结果,得到了用户的好评。

参考文献:

- [1] 汤蕴等. 电机学. 1998, 7.
- [2] 黄纯华. 大型同步发电机运行. 水利电力出版社, 1992, 6.
- [3] 周德贵. 同步发电机运行技术与实践. 水利电力出版社, 1996, 5.

收稿日期: 1999-08-27

作者简介: 王彬业(1967-),男,工程师,主要从事电力系统继电保护与自动化的研究; 蒋桂香(1966-),女,工程师,主要从事电力系统继电保护及自动化方面的研究; 国际平(1963-),男,高级工程师,主要从事发电机及自动化方面的研究。