

同步发电机零功特性的节能测试法

李宗助, 杨莉, 朱晋梅, 陈小勤, 柏业金

(西南交通大学峨眉校区, 四川 峨眉 614202)

摘要:提出了同步发电机零功特性的节能测试法, 试验证明此法所测取的零功特性准确且节省电能。

关键词:零功特性; 节能; 发电机

Abstract: An energy-saving method of testing and measuring the zero power-factor characteristics of the synchronous generator is presented. It is proved by experiments that the characteristics obtained by this method can be accurate and can save electric energy.

Key words: zero power-factor characteristics; energy saving; generator

中图分类号: TM341 文献标识码: B 文章编号: 1003-6954(2008)01-0084-03

目前, 测试同步发电机的零功特性的方法多采用电感负载法。此法所用负载电感多采用三相自耦调压器代替, 并非纯电感。故试验中不仅要消耗一定的感性无功功率和消耗相当数量的有功功率, 同时还使测取的零功特性曲线也是近似的 ($\cos \varphi \approx 0.2$), 由此测取的同步电抗也并非准确。

现介绍节能测试方法, 此法既能保证零功特性试验更加准确, 又能把试验中同步发电机发出的感性无功功率反馈到电网, 并使其有功损耗降低到最小。这就是将同步发电机与电网并联后再作零功特性试验的方法(简称节能法)。

1 基本原理

同步发电机供给纯电感性负载时的相量关系如图1所示。

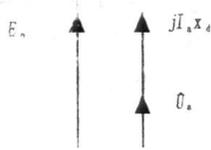


图1 纯电感性负载时的相量图

此时的电枢反应为纯粹的去磁作用, 所以发电机的空载电势 E_0 、端电压 U_a 与同步电抗压降 $I_a x_d$ 在忽略电枢电阻的条件下均在一直线上。由相量图可得 $I_a x_d = E_0 - U_a$, 即 $x_d = \frac{E_0 - U_a}{I_a}$ 。这是理想的零功特性, 此种状况由于负载电感不纯很难实现。

如果将电感负载法改为节能法, 当同步发电机处于过激状态 ($E_0 > U_a$), 则同样能得到如图1所示的相量关系。经适当地调整发电机的激磁电流就能始终保持其负载电流等于额定值且滞后电压 90° 电角度, 从而使实验中电流的有功分量等于零, 这就节省了一定的有功功率。这时同步发电机发出的感性无功功率将反馈到电网。因为试验中处处保证了 $\cos \varphi$ 而不是近似为零, 所以节能法测取的零功特性曲线就更加准确了。

2 试验线路及说明

当同步发电机通过三相调压器与电网并联时, 其试验电路如图2所示。

图2中 ZD 为直流电动机; TF 为同步发电机; BT 为三相自耦调压器。

1) 为了满足试验室小型同步发电机测取零功特性曲线的需要, 可将发电机经三相调压器后再与电网并联。这样, 当改变调压器的滑动头位置时就可以改变发电机的端电压。

2) 试验时, 先将三相调压器的滑动头调到接近电网的额定电压位置(比如指示到 380 V 的位置), 然后再采用旋转灯光法(也可以采用其他方法)与电网并联。

3) 按照零功特性试验的要求, 调整三相调压器的滑动头使发电机的端电压 $U_a = 1.2 U_{aN}$, 并进一步减小 R_3 使发电机过激磁。当发电机的负载电流 $I_a = I_{aN}$ 时记录 U_a 和对应的激磁电流 I_f 。然后逐渐降低发电机的端电压(通过三相调压器来实现), 但同时也要

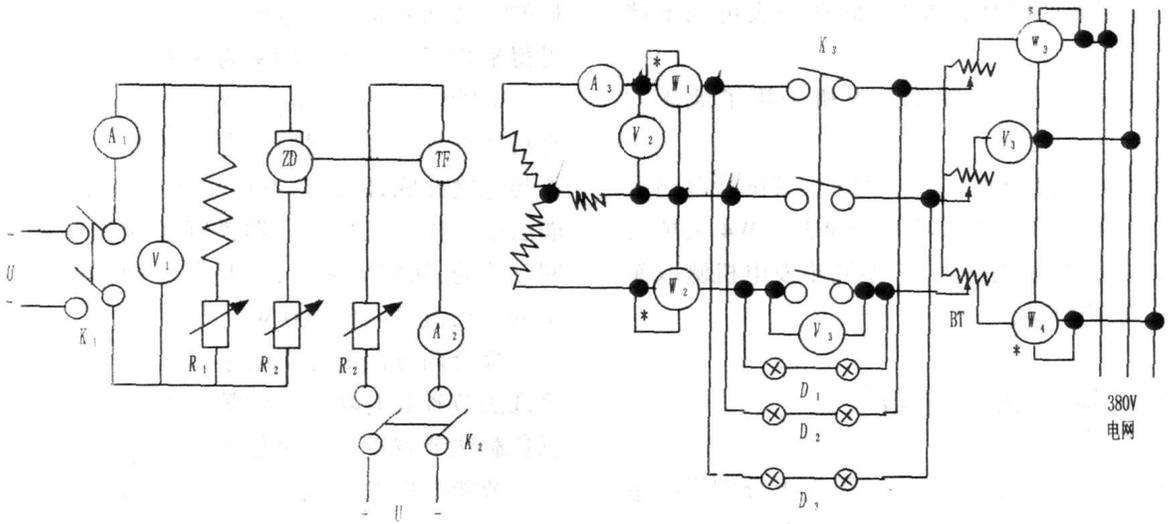


图2 节能法测零功特性的试验线路

表1 并联时所测取数据同电感负载法的比较

项目 测试方法	发电机的端电压 U_a (V) (即电网电压)	发电机的输出线电 流 I_a (A)	发电机的激磁电流 I_f (A)	发电机的三相 输出功率(W)	直流电动机的 输入功率(W)
节能法	390	4.6	3.6	0	560
电感负载法	390	4.6	3.5	400	1 000

表2 与电网并联后所测数据与电感法的比较表

TF 的端电压 U_a (V)	440	400	380	350	300	250	200	150	100	50	27
TF 的线电流 I_a (A)	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
TF 的激磁电流 I_f (A)(电感负载法)	4.75	3.75	3.25	2.65	1.85	1.7	1.45	1.15	1	0.8	0.75
TF 的激磁电流 I_f (A)(节能法)	4.85	3.8	3.35	2.7	2.2	1.85	1.55	1.25	1.1	0.9	0.8
ZD 的输入功率(W)(电感负载法)	1 078	1 002	988	964	907	900	811	788	777	651	560
ZD 的输入功率(W)(节能法)	560	560	550	550	540	530	490	472	461	420	410
TF 的输出功率(W)(电感负载法)	480	410	400	360	340	330	300	288	280	200	120
TF 的输出功率(W)(节能法)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
节能法电网端的输入功率(W)	240	240	230	220	215	200	160	160	160	155	150
节能法电网端的线电流 I_a (A)	2.8	2.7	2.6	2.3	2.2	1.9	1.6	1.2	1	0.8	0.5

注:实测时,电网的线电压为 380 V。

逐渐减小发电机的激磁电流 I_f ,以维持其负载电流 $I_a = I_{aN}$ 。在 $0 \sim 1.2 U_{aN}$ 之间测取 7~8 点,记录每一点的电压值和对应的激磁电流。

4)应当特别注意的是:调整发电机的激磁电流过

低时也会出现发电机的负载电流等于额定值,但这是欠激状态,是另一种情况。

5)功率表 W_1 和 W_2 的接入是为了测取同步发电机的三相输出功率,用以判定特性试验是否属于纯粹

零功。功率表 W_3 和 W_4 的接入是为了测取电网端的输入功率,在现场的具体试验中,此功率表可以不接入。

6)为了实现过激磁,同步发电机采用了他激方式。

当同步发电机与电网直接并联时,其试验电路可将图2中的三相调压器 BT、功率表 W_3 和 W_4 去掉后得到。该试验线路适用于大、中型同步发电机测取额定电压点的零功特性。

3 两种试验方法的比较

为了进行比较,笔者曾在同一机组上分别用电感负载法和节能法进行实测,结果见表1和表2。

3.1 比较表1中的数据可以说明

1)电感负载法比节能法多消耗有功功率。同步发电机送出的有功功率为400 W(供给电感负载的铜耗和铁耗),它约占被试电机容量的13%。显然,被试电机容量越大,数量越多时,电感负载法所消耗的有功功率就越多。

2)节能法从理论上分析不消耗有功功率,这一点从实测结果也得到了证明。从而保证了同步发电机输出电流的有功分量为零。

3)节能法保证了 $\cos \varphi=0$ 且 I_a 滞后 $U_a 90^\circ$ 电角度(由过激磁实现),这就满足了纯电感负载的要求。因此,测取零功特性更为准确。

4)电感负载法把试验中由同步发电机发出的无功功率消耗在电感负载上(对被测电机而言,其无功功率 $Q=3 \times 220 \times 4.6 \times \sin 90^\circ \approx 3 \text{ kvar}$,占发电机容量的100%),这一点也是很大的浪费。

5)节能法却能把发电机送出的感性无功功率(其大小约占被测电机容量的100%)送到电网。当被试电机容量大、数量多时,送到电网的感性无功功率就越多。这对于改善电网的功率因数是较为有利的。

3.2 比较表2中的数据可以说明

1)节能法在整个试验过程中始终保持同步发电机输出的有功功率为零,即 $\cos \varphi=0$ 而不是近似为零,因而所测取的零功特性比电感法更加准确。

2)节能法比电感负载法节省一定的有功功率。对于这一结论可以从两个方面来分析。

首先从同步发电机电源端来分析:电感负载法消耗的有功功率是由发电机供给的,由所测数据经计算可得平均消耗的有功功率为318 W。

节能法实现了 $\cos \varphi=0$ 。因此,由发电机供给的有功功率等于零。然后从电网端来分析:电感负载法不与电网并联,因此它不从电网端输入有功功率。节能法中所连接三相调压器消耗的铜耗和铁耗是由电网供给的,从实测来看,它是从电网端吸收的有功功率的平均值可取作200 W。

综合两方面的分析结果可以认为:节能法比电感负载法节省的有功功率约等于118 W,即节能法比电感负载法节省近1/3的有功功率。

节能法把发电机发出的部分感性无功功率反馈到电网。

采用节能法测试时,三相调压器属于双端电源供电的特殊系统,对于这一系统的深入研究另可专题讨论。为了讨论无功功率的反馈问题,仅从分析试验数据入手来找出系统中的无功功率的分配关系。

若取同步发电机端电压为380 V这一点来分析:这时同步发电机送出的感性无功功率 $Q_{\text{发}}=\sqrt{3} \times 380 \times 4.6 \approx 3 \text{ kvar}$,而电网端总的视在功率 $S_{\text{网}}=\sqrt{3} \times 380 \times 2.6 \approx 1.7 \text{ kVA}$,而电网端输入的有功功率 $P_{\text{网}}=230 \text{ W}=0.23 \text{ kW}$ 。因此,反馈到电网的感性无功功率则等于 $Q_{\text{发}}=\sqrt{S_{\text{网}}^2-P_{\text{网}}^2}=\sqrt{1.7^2-0.23^2}=1.69 \text{ kvar}$ 。由此可得调压器消耗的无功功率 $Q_{\text{调}}=Q_{\text{发}}-Q_{\text{反}}=3-1.69=1.31 \text{ kvar}$ 。

从上面的分析可以说明:同步发电机发出的感性无功功率等于三相调压器消耗的无功功率与反馈到电网的无功功率之和。

4 结束语

仅以同步发电机的零功特性试验为例,分析了节能法的基本原理、具体试验线路及操作要点。通过两种试验方法的比较,说明了节能法比电感负载法更为优越:它不仅使测取的零功特性更加准确,同时还节省了一定的有功功率和向电网反馈的无功功率。这对于改善电网的功率因数是有益的。

当同步发电机直接与电网并联测取零功特性时,节能的优点更为突出。(收稿日期:2007-11-10)