

汽轮发电机转子匝间短路故障下的谐波检测

武玉才, 李永刚, 万书亭, 李和明

(华北电力大学, 河北省 保定市 071003)

Harmonics Detection Under Inter-Turn Short Circuit Fault of Turbo-Generator Rotor Winding

WU Yu-cai, LI Yong-gang, WAN Shu-ting, LI He-ming

(North China Electric Power University, Baoding 071003, Hebei Province, China)

ABSTRACT: By means of analyzing the distribution of magnetic motive force (MMF) of exciting winding of turbo-generator the mathematical model of MMF is established. Through the analysis on distribution variation of exciting MMF caused by inter-turn short circuit of rotor winding, it is proposed to regard the MMF of exciting winding after the short circuit fault as the superposition of the exciting winding MMF before the fault and the MMF produced by reverse exciting current in short-circuited turns, because the former is fully symmetrical, so only the reverse MMF produced by short-circuited turns is to be analyzed. By means of Furrier decomposition the harmonic components in various orders are obtained, and then the induced electromotive force (EMF) in stator winding is obtained when the air gap eccentricity of turbo-generator is taken into consideration. Theoretical deduction proves that the induced EMF in stator winding is independent of the air gap eccentricity of turbo-generator. The three-phase symmetrical currents in stator winding produce a new revolving MMF, then induces harmonics in rotor windings, whose characteristic spectrum differs from that in normal conditions. The theory analysis of this paper is validated by experiments and according to the characteristic spectrum produced by introduced harmonics the inter-turn short circuit fault of rotor winding can be diagnosed.

KEY WORDS: turbo-generator; inter-turn short circuit; magnetic motive force; harmonics detection

摘要:通过分析汽轮发电机励磁绕组的磁动势分布建立了磁动势的数学模型,通过分析转子匝间短路引起的励磁磁动势分布变化情况,提出将短路后的励磁绕组磁势看作短路前的励磁绕组磁势和短路匝通过反向励磁电流产生的磁势的叠

加量,由于前者是完全对称的,可只对短路匝产生的反向磁势进行分析。通过傅里叶分解得到了各次谐波分量,在考虑气隙偏心的情况下得到了定子感应电势,理论推导证明偏心对定子绕组感应电动势并不产生影响。定子三相对称电流合成了新的旋转磁动势,并在定子和转子绕组中形成感应谐波,其特征频谱不同于正常运行情况下的频谱。实验验证了文中理论分析的正确性和有效性。

关键词: 汽轮发电机; 匝间短路; 磁动势; 谐波检测

0 引言

同步发电机转子匝间短路是一种常见的电气故障,它将导致转子振动、甚至发展为转子接地、转子绕组烧损、发电机失磁、发电机部件磁化等,从而危及电机和系统的安全^[1-5]。因此进行发电机转子绕组匝间短路故障的早期预报是十分必要的,同时这类在线检测技术也是今后发展的必然趋势。

文献[6]提出采用探测线圈测量转子齿槽漏磁通的方法诊断转子匝间短路,实践表明发生轻微的转子匝间短路故障时,该方法的灵敏度不够高,只有匝间短路超过 15%时才有足够的精确性,这对于匝间短路故障的初期诊断是很不利的。文献[7-8]分析了匝间短路故障的电磁特性,指出匝间短路引起励磁电流增大,而无功功率却相对减小或不变,还分析了励磁电流的理论计算方法,将励磁电流的理论计算值和实测值之差作为判据,但由于发电机参数易受运行方式和条件的影响,准确计算励磁电流非常困难。文献[9]提出利用定子绕组并联支路环流检测发电机转子匝间短路,但由于实际运行的发电机空间有限,无法在定子绕组分支安装传感器,因此该方法的实际应用价值尚有待研究。文献[10]提出将励磁电流谐波信号作为转子匝间短路故障的

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50677017)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China (NSFC)(50677017)。

特征量,但这种方法在对短路匝磁势进行分析的过程中忽略了短路匝外侧与短路匝磁势相反的磁势,而且在励磁绕组谐波推导中没有深入分析定子旋转磁场对励磁绕组的影响。

本文将分析汽轮发电机转子匝间短路时绕组电流的谐波特征。发电机正常运行时,电枢反应磁场与转子同步旋转,定子和转子绕组不会感应附加谐波电流;发电机匝间短路时,由于电枢绕组附加谐波电流产生的旋转磁场与转子不同步,定转子绕组都将感应附加的谐波电流。本文从短路匝的磁势出发^[9,11],在考虑转子偏心干扰的前提下通过傅里叶变换得到励磁磁动势的谐波分量,并进一步分析该谐波在定子绕组感应的谐波电流以及定子电流在定子和转子绕组上感应的谐波电流的频率特征,提出根据定转子绕组中的特征频谱诊断转子匝间短路故障的方法。

1 转子正常情况下的磁势分布

沿转子圆周分布的磁动势是阶梯形波^[12],每次经过转子槽,磁动势都会发生跳跃,产生的磁动势分布如图1所示,其中 F 为磁动势, q_r 为沿转子圆周展开的机械角度。

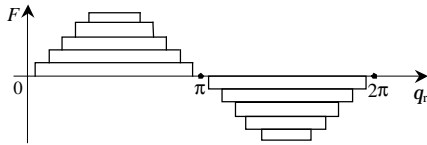


图1 汽轮发电机转子磁动势分布

Fig. 1 Magnetomotive force distribution of turbo generator rotor

假设转子有 $4N$ 个槽,第 k 个槽内有 a_k 匝线圈。将图1的磁动势波形拆分成 N 个槽内每槽磁动势的叠加。对第一槽的磁动势进行傅里叶分解,其表达式为

$$F_1 = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos nq_r + B_n \sin nq_r) \quad (1)$$

式中 q_r 为转子的机械角度,其它傅里叶系数如下:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(x) dx = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx = 0$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos nx dx = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos nx dx =$$

$$\frac{1}{\pi} \left[\int_{\frac{b}{2}}^{\pi - \frac{b}{2}} a_1 I_f \cos nx dx + \int_{\pi + \frac{b}{2}}^{2\pi - \frac{b}{2}} (-a_1 I_f) \cos nx dx \right] = 0$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \sin nx dx = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin nx dx =$$

$$\frac{1}{\pi} \left[\int_{\frac{b}{2}}^{\pi - \frac{b}{2}} a_1 I_f \sin nx dx + \int_{\pi + \frac{b}{2}}^{2\pi - \frac{b}{2}} (-a_1 I_f) \sin nx dx \right] =$$

$$\begin{cases} 0 & (n = 2m, m \text{取整数}) \\ -\frac{4a_1 I_f}{n\pi} \cos \frac{nb}{2} & (n = 2m - 1, m \text{取整数}) \end{cases} \quad (2)$$

式中: b 为转子槽间角; I_f 为励磁绕组的单匝电流值。由式(1)(2)可得

$$F_1 = \sum_{n=1}^{\infty} B_n^1 \sin(2n-1)q_r =$$

$$-\frac{4a_1 I_f}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \cos \frac{(2n-1)b}{2} \sin(2n-1)q_r \quad (3)$$

同理可得第 k 槽的磁动势表达式为

$$F_k = \sum_{n=1}^{\infty} B_n^k \sin(2n-1)q_r = -\frac{4a_k I_f}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)} \cos \{ (2n-1) [b/2 + (k-1)b] \} \sin(2n-1)q_r \quad (4)$$

根据式(1)~(4)得到的转子合成磁动势的表达式为

$$F_{\Sigma} = F_1 + F_2 + \dots + F_k + \dots + F_N =$$

$$-\frac{4a_1 I_f}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)} \cos \frac{(2n-1)b}{2} \sin(2n-1)q_r -$$

$$L - \frac{4a_k I_f}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)} \cos \left\{ (2n-1) \left[\frac{b}{2} + (k-1)b \right] \right\} \cdot$$

$$\sin(2n-1)q_r - L - \frac{4a_N I_f}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)} \cdot$$

$$\cos \left\{ (2n-1) \left[\frac{b}{2} + (N-1)b \right] \right\} \sin(2n-1)q_r =$$

$$-\frac{4I_f}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\sum_{k=1}^N a_k \cos \left[(2n-1) \cdot \frac{(2k-1)b}{2} \right] \right] \cdot$$

$$\frac{\sin(2n-1)q_r}{(2n-1)} \quad (5)$$

令

$$W_n = \sum_{k=1}^N a_k \cos \left[(2n-1) \frac{(2k-1)b}{2} \right] \quad (6)$$

则

$$F_{\Sigma} = -\frac{4I_f}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} W_n \frac{\sin(2n-1)q_r}{(2n-1)} \quad (7)$$

级数中只含有正弦项和奇数项,无常数项,因此该磁势在定子上感应一系列的奇次谐波分量。

2 发生匝间短路后转子的磁势分布

匝间短路后,短路侧该槽励磁绕组的有效匝数减少,其磁动势峰值减少,转子两侧的磁动势

将不再对称, 不对称磁势会在定子绕组产生附加谐波电势。当定子接负载时, 定子绕组中会产生附加的谐波电流^[13]。本文将短路后的励磁绕组磁势看作短路前的励磁绕组磁势和短路匝通过反向励磁电流产生的磁势的叠加量, 由于前者是完全对称的, 只需对短路匝产生的反向磁势进行分析即可。

在此之前, 曾有学者对该磁动势进行分析, 但仅限于考虑转子一个极(N 极)附近距离大齿最近的线槽内一匝短路的情况, 这是转子绕组最轻微的短路情况。考虑到严重的匝间短路会引起励磁电流的增大^[8,10], 上述分析的主要目的是忽略励磁电流的变化。本文侧重于分析各次谐波的比例关系, 提取特征频率, 励磁电流的增大不会对分析造成很大的影响。因此本文认为短路发生的位置和严重程度具有任意性。

短路线匝的磁势分布见图 2。图中: g 表示转子开槽部分所占比例; b 表示槽间角, $b = g\pi/2n$; m 和 Q 表示距大齿第 m 槽有 Q 匝发生匝间短路。

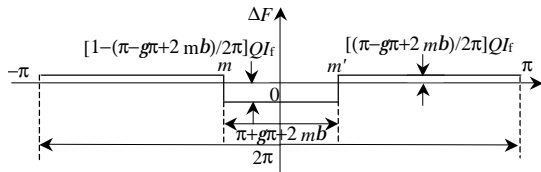


图 2 短路线匝的磁势分布

Fig. 2 Magnetomotive force distribution of fictitious coil

由图 2 可知, 该假定线圈产生的附加磁动势为

$$\Delta F_f = \begin{cases} -(\pi - g\pi + 2mb)NI_f/2\pi, & -\frac{\pi}{2} + \frac{g\pi}{2} - mb \leq q \leq \frac{\pi}{2} - \frac{g\pi}{2} + mb \\ (\pi + 1\pi - 2mb)NI_f/2\pi, & \text{其它} \end{cases} \quad (8)$$

由式(8)可知, 该磁势是一个非周期函数。但如果将其看作是周期为 2π 的函数, 其在 $(-\pi, \pi)$ 范围内的值与原非周期函数完全相等, 将其表示为周期性的信号在此周期内也是准确的, 因此这个短路线匝产生的磁动势函数可表示为

$$\Delta F_f = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos nq_r + B_n \sin nq_r) \quad (9)$$

式中 q_r 为转子的机械角度, 其它傅里叶系数如下:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(x) dx = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx = 0$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos nxdx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nxdx = \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^{-\frac{\pi}{2} + \frac{g\pi}{2} - mb} \frac{\pi + g\pi - 2mb}{2\pi} NI_f \cos nxdx - \int_{\frac{\pi}{2} - \frac{g\pi}{2} + mb}^{\pi} \frac{\pi - g\pi + 2mb}{2\pi} NI_f \cos nxdx + \int_{\frac{\pi}{2} - \frac{g\pi}{2} + mb}^{\frac{\pi}{2} + \frac{g\pi}{2} - mb} \frac{\pi + g\pi - 2mb}{2\pi} NI_f \cos nxdx \right] = \frac{2NI_f}{\pi k} \sin k \left(-\frac{\pi}{2} + \frac{g\pi}{2} - mb \right)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \sin nxdx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nxdx = 0 \quad (10)$$

由式(9)(10)可得

$$\Delta F_f = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos nq_r = \frac{2NI_f}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n \left(-\frac{\pi}{2} + \frac{g\pi}{2} - mb \right)}{n} \cos nq_r \quad (11)$$

3 匝间短路后的谐波

正常运行的发电机都存在不同程度的偏心, 匝间短路发生后, 不平衡磁拉力和弯曲热应力的作用会使这种状况表现的更加明显, 因此对匝间短路进行分析时, 必须考虑气隙偏心的问题^[13]。

同时考虑气隙静偏心、动偏心问题, 以定、转子最小气隙处为原点, 发电机偏心气隙如图 3 所示。图中: g 为平均气隙; d_s 为相对静偏心; d_d 为相对动偏心。

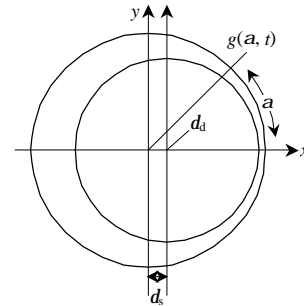


图 3 发电机偏心气隙

Fig. 3 Generator air-gap eccentricity

由于气隙偏心很小, 忽略高阶分量, 气隙磁导的傅里叶级数展开式为

$$L(q_s, t) = L_0 - L_s \cos q_s - L_d \cos(q_s - w_r t) \quad (12)$$

式中: L_0 为气隙磁导的常值分量; L_s 为静偏心引起的磁导分量; L_d 为动偏心引起的磁导分量; w_r 为转子的机械角速度; q_s 为定子参考角度。根据上述分析得到的气隙磁场强度为

$$B_s = \Delta F_r L(q_s, t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos nq_r [L_0 - L_s \cos q_s - L_d \cos(q_s - w_r t)] = L_0 \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos n(q_s - w_r t) - L_s \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos n(q_s - w_r t) \cdot \cos q_s - L_d \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos n(q_s - w_r t) \cos(q_s - w_r t) \quad (13)$$

与定子 A 相绕组交链的磁通为

$$Y_s = \int_s B_s dA = \int_0^{2\pi} N_s B_s l r dq_s = L_0 l r \int_0^{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos n(q_s - w_r t) k_n \sin nq_s dq_s - L_s l r \int_0^{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos n(q_s - w_r t) \cos q_s k_n \sin nq_s dq_s - L_d l r \int_0^{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} k_n A_n \cos n(q_s - w_r t) \cos(q_s - w_r t) \cdot \sin nq_s dq_s = \pi L_0 l r \sum_n k_n A_n \sin n w_r t \quad (14)$$

式中: l 为定子绕组有效长度; r 为定子内径; B_s 为与定子 A 相绕组交链的磁通密度; $N_s = \sum_n k_n \sin nq_s$, 其含义见文献[14]。故

$$E = -\frac{dY_s}{dt} = -\pi L_0 l r w_r \sum_n k_n A_n n \cos n w_r t \quad (15)$$

根据上述分析可知, 气隙偏心不会对短路匝引起的定子电势造成影响。当电机并入电网时, 定子电流为

$$i = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{E_n}{Z_n} = \frac{-2NI_r L_0 l r w_r}{Z} \sum_n \frac{1}{Z_n} \frac{\sin nq_{a1}}{q \sin \frac{na_1}{2}} \sin n \left(\frac{y}{t} \right) \cdot \sin n \left(-\frac{\pi}{2} + \frac{g\pi}{2} - mb \right) \cos n w_r t \quad (16)$$

式中 E_n 为定子 A 相绕组的 n 次谐波电势, 其它参数的含义见文献[12]。

该相定子电流随着转子的旋转产生脉振磁动势, 三相绕组产生的脉振磁动势相互叠加, 就会产生新的旋转磁动势, 并在转子励磁绕组感应相应谐波的电流。

n 次谐波磁动势幅值为($n=1、2、3\cdots$)

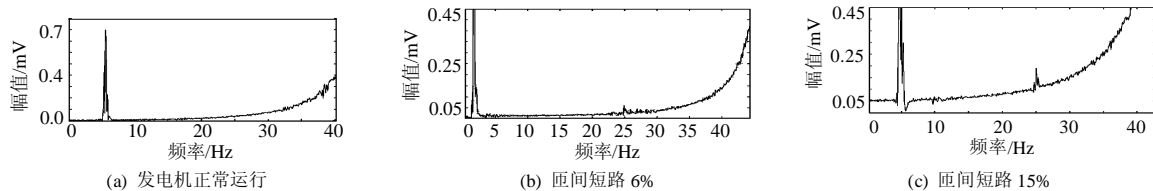


图 4 定子电压频谱
Fig. 4 Frequency spectrums of the stator voltage

$$F_{jmn} = \frac{-2QI_r L_0 l r w_r}{Z_n} \cdot \frac{\sin nq_{a1}}{2} \sin n \left(\frac{y}{t} \right) \sin n \left(-\frac{\pi}{2} + \frac{g\pi}{2} - mb \right) \quad (17)$$

定子绕组和转子绕组的谐波计算结果见表 1。定子附加电流产生的旋转磁动势在定子和转子绕组上分别感应谐波电势, 在定子绕组中产生的谐波大部分属于直流附近的低频分量, 定子电流谐波次数愈高, 产生的感应电动势愈接近于直流量; 与之相对应的, 在转子绕组中感应的谐波都在基波附近, 谐波次数愈高就愈靠近基波。在所有这些特征频率中, 定子绕组的 1/2 次谐波和转子绕组中的 3/2 谐波是由定子 2 次谐波电流产生的, 这在发电机正常运行时是不存在的, 因此可作为匝间短路发生的依据。

表 1 定子绕组和转子绕组的物理量

Tab. 1 Physical values of stator and rotor windings									
物理量	数 值								
定子绕组谐波次数	1	2	3,4	5	6	7	8	9	10
磁动势	w_r	$-\frac{w_r}{2}$	0	$-\frac{w_r}{5}$	$\pm \frac{w_r}{6}$	$\frac{1}{7} w_r$	0	$\pm \frac{1}{9} w_r$	0
旋转角速度	w_r	w_r	w_r	w_r	w_r	w_r	w_r	w_r	w_r
同步转速/rad/s	w_r	w_r	w_r	w_r	w_r	w_r	w_r	w_r	w_r
转子绕组谐波次数/Hz	0	$\frac{3}{2}$	0	$\frac{6}{5}$	$\frac{5}{6}, \frac{7}{6}$	$\frac{6}{7}$	0	$\frac{8}{9}, \frac{10}{9}$	0

4 实验结果与分析

本文选取华北电力大学电机实验室 SDF-9 故障模拟发电机为实验电机, 具体参数如下: 发电机额定容量为 7.5 kVA; 额定电压为 400 V; 额定转速 $n_r = 3000 \text{ r/min}$; 极对数 $P=1$; 转子槽数为 12; 励磁绕组有 3%、6% 和 15% 的抽头, 可以模拟转子匝间短路故障; 气隙为 0.8 mm; 定子铁心可以相对转子铁心水平移动, 通过 2 支刻度表控制移动值以模拟气隙偏心故障。

本文采用与文献[15]相似的实验方法检测电机并网时的定子电流和励磁绕组电流。将实验数据进行傅里叶分析, 得到的正常和不同程度匝间短路情况下的相电压频谱见图 4。由图 4 可知: 转子匝间短

路后, 定子绕组出现 1/2 次谐波, 其幅值随着短路程度的增加而增大; 由定子高次谐波引起的低频电势在不同匝间短路情况下有变化, 但总体上幅值仍较大。

5 结论

(1) 转子匝间短路故障时, 转子磁势分布发生变化, 定子绕组中产生附加的谐波电流会产生旋转磁动势, 并在定转子绕组中形成感应电势。

(2) 转子偏心不会对定子附加谐波电势产生影响。

(3) 在匝间短路后, 定子绕组中出现 1/2 次谐波电流和励磁绕组中的 3/2 次谐波电流, 这可以作为判断是否有转子匝间短路情况发生的依据。

参考文献

- [1] 唐芳轩, 傅煜. 隐极同步发电机转子匝间短路的分布电压诊断法[J]. 高压电器, 2005, 41(1): 73-74.
Tang Fangxuan, Fu Yu. Using voltage distribution method to diagnose the short-circuit existing in the rotor windings of concealed poles synchronization generator[J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(1): 73-74(in Chinese).
- [2] 刘庆河, 蔡维铮, 徐殿国. 汽轮发电机转子绕组匝间短路在线检测方法的研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(9): 234-237.
Liu Qinghe, Cai Weizheng, Xu Dianguo. Detection of Interturn short circuit in turbogenerator rotor windings[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(9): 234-237(in Chinese).
- [3] 李伟清. 汽轮发电机故障检查分析及预防[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [4] Sottile J, Trutt F C, Leedy A W. Condition monitoring of brushless three-phase synchronous generators with stator winding or rotor circuit deterioration[C]. 36th IAS annual meeting, USA, 2001.
- [5] Stoll R, Land H. Analysis and detection of shorted turns in the rotor winding of synchronous machine[C]. Proceedings of 1986 International Conference on Electrical Machines, 33-36.
- [6] Wood J W. Rotor winding short detection[J]. IEE Proceedings, 1986, 133(3): 30-35.
- [7] Li Yonggang, Li Heming, Zhao Hua, et al. A new method on inter turn short circuit fault diagnosis of steam turbine generator rotor windings[C]. 15th International Conference on Electrical Machines, Brugge, Belgium, 2002.
- [8] 李永刚, 李和明, 赵华. 汽轮发电机转子绕组匝间短路故障诊断新判据[J]. 中国电机工程报, 2003, 23(6): 112-116.
Li Yonggang, Li Heming, Zhao Hua. The new criterion on inter turn short-circuit fault diagnose of steam turbine generator rotor windings [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(6): 112-116(in Chinese).
- [9] 李永刚, 李和明, 赵华, 等. 基于定子线圈探测的转子匝间短路故障时别方法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2): 107-112.
Li Yonggang, Li Heming, Zhao Hua, et al. Fault identification method of rotor inter turn short-circuit using stator winding detection [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(2): 107-112(in Chinese).
- [10] 万书亭, 李和明, 李永刚, 等. 同步发电机转子匝间短路故障时励磁电流谐波特性分析[J]. 中国电机工程学报, 2003, 27(22): 64-67.
Wan Shuting, Li Heming, Li Yonggang, et al. Analysis of generator excitation current harmonics on rotor winding inter-turn short circuit fault[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 27(22): 64-67(in Chinese).
- [11] 李和明, 万书亭, 李永刚. 基于定子绕组并联支路环流特性的发电机故障识别方法研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(6): 75-78.
Li Heming, Wan Shuting, Li Yonggang. Generator fault diagnosis based on the circulating current in stator winding parallel branches [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(6): 75-78(in Chinese).
- [12] 叶东. 电机学[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1995.
- [13] 万书亭, 李和明, 李永刚. 气隙偏心对汽轮发电机定转子振动特性的影响[J]. 振动与冲击, 2005, 24(6): 21-23,133-134.
Wan Shuting, Li Heming, Li Yonggang. The influence of air-gap eccentricity on turbine generator stator and rotor vibration characteristic[J]. Journal of Vibration and Shock, 2005, 24(6): 21-23,133-134 (in Chinese).
- [14] Penman J, Jiang H. The detection of stator and rotor winding short circuits in synchronous generators by analyzing excitation current harmonics[C]. Opportunities and Advances in International Electric Power Generation International Conference, 1996.
- [15] 万书亭, 李和明, 许兆凤, 等. 定子绕组匝间短路对发电机定转子径向振动特性的影响[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(4): 157-161.
Wan Shuting, Li Heming, Xu Zhaofeng, et al. Analysis of generator vibration characteristic on stator winding inter-turn short circuit fault[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(4): 157-161(in Chinese).



武玉才

收稿日期: 2007-11-10。

作者简介:

武玉才(1982—), 男, 博士研究生, 从事大型汽轮发电机在线监测与故障诊断技术等方面的研究工作, E-mail: wuziwushi@163.com;

李永刚(1967—), 男, 博士, 教授, 从事大型汽轮发电机在线监测与故障诊断技术方面的研究工作;

万书亭(1970—), 男, 博士, 副教授, 从事大型汽轮发电机在线监测与故障诊断技术方面的研究工作;

李和明(1957—), 男, 博士生导师, 从事交流电机及其系统分析与监控技术方面的研究工作。

(编辑 杜宁)

三峡工程 22 台机组基本处于满负荷发电状态

随着长江进入主汛期, 2008 年 6 月 17 日, 三峡入库流量首次突破 20 000 m³/s, 三峡工程左右两岸 22 台机组基本处于满负荷发电状态, 日发电达到 300 GWh。三峡大坝的表孔完建工程已基本结束, 三峡工程泄洪能力由此得以提升。今年三峡工程枢纽已基本具备全线挡水 175 m 的条件, 枢纽最大泄洪能力为 97 400 m³/s。中国三峡总公司总经理李永安强调, 要把三峡工程安全度汛和迎峰度夏作为当前中心任务, 确保三峡电站和葛洲坝电站汛期安全满发。