

汽轮发电机次同步自励磁过电流保护

张琦雪,牛洪海,柏传军,熊良根,王凯

(南京南瑞继保电气有限公司,江苏 南京 211102)

摘要:托克托电厂安装静态阻塞滤波器(SBF)抑制次同步振荡,由于参数配合不当,曾出现异步自激振荡,为此装设次同步自励磁过电流保护。由对定子绕组次同步电枢电流产生的转子涡流损耗的分析可知:涡流损耗与次同步电枢电流的正序、负序分量的有效值的平方成正比,与转差频率的1.5次方成正比。将次同步电流折算成等效的工频负序电流,实现定时限、反时限的次同步过电流保护,设计了判别次同步电流幅值逐渐增长的发散保护。此外,傅氏滤波算法计算三相工频电流的负序分量时,如果定子绕组有次同步电流分量流过,则会因为算法的原因计算出一个虚假的工频负序分量。最后分析了保护方案的局限性。

关键词:自励磁;实心转子;汽轮发电机;次同步振荡;静态阻塞滤波器;负序过电流保护

中图分类号: TM 311

文献标识码: B

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.02.030

0 引言

同步发电机经过电容补偿的线路或空载长距离线路输电,当参数配合不当时,可能发生自励磁,产生脉振转矩,引起机械谐振、大轴扭振,使机组发热、振动加剧,损伤设备。

20世纪70年代,美国Mohave电厂发生次同步扭振导致大轴损坏,为解决次同步振荡(SSO)问题,对输电线路电容串补的运行方式进行了调整,同时装设了轴系扭振保护(TSR)。为应对可能出现的相似问题,Navajo电厂除了配置TSR之外,还装设了静态阻塞滤波器(SBF)。文献[1-5]对以上内容进行了广泛的研究。

内蒙古大唐托克托电厂(以下简称托电电厂)装机容量为 8×600 MW,经托源四回线输送至浑源变电站,再经源安双回线、源霸双回线向京津唐电网送电。在浑源变电站的线路上安装了8套固定电容串补。经过分析,托电电厂存在次同步谐振风险,为此装设了SBF,并为机组安装了TSR。文献[6-10]对串补输送方案、轴系扭振参数测试、SBF中心频率偏移的影响、TSR保护应用、SBF引起自励磁等进行了分析和讨论。

2008年4月,在测试SBF投入的过程中,托电电厂发电机组出现了明显的异步自激,且电流呈发散趋势,但并没有引起大轴扭振,TSR保护没有动作。为抑制异步自激,经过设计调整,在SBF的电感支路上串联小电阻,同时装设了次同步自励磁过电流保护。2010年11月,调整后的SBF正式投运,现场测试表明异步自激得到抑制。

托电电厂安装异步自激保护设备,如何设计保护逻辑并确定保护定值,尚无可以直接借鉴的资料。本文试分析定子绕组次同步电流在汽轮发电机实心

转子上产生的损耗,并从损耗引起发热的角度讨论次同步自励磁过电流保护。

1 SBF参数不当引起SSO

1.1 SBF电路

SBF安装在主变高压侧中性点处,电路如图1所示。

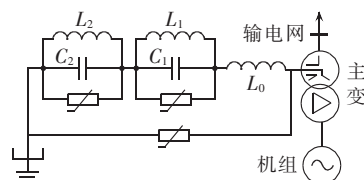


图1 2号发电机组 SBF 电路

Fig.1 SBF circuit of unit 2

2号发电机主要参数为: $S_n=670$ MV·A, $\cos \varphi_n=0.9$, $U_n=22$ kV; $X_d=1.8$ p.u., $X_q=1.8$ p.u., $X'_d=0.22$ p.u., $X'_q=0.38$ p.u., $X''_d=0.19$ p.u., $X''_q=0.19$ p.u., $X_\sigma=0.11$ p.u.。2号发电机 SBF 原设计参数为: $X_{L0}=24.053$ Ω (品质因数 $Q=100$); $X_{L1}=3.365$ Ω (品质因数 $Q=150$), $X_{C1}=2.040$ Ω ; $X_{L2}=55.85$ Ω (品质因数 $Q=150$), $X_{C2}=14.435$ Ω ; 模态1频率为38.93 Hz; 模态2频率为25.42 Hz。2号发电机3个模态的轴系固有频率为13.05 Hz、24.94 Hz、29.48 Hz。主变参数为: $U_{1n}/U_{2n}=500$ kV/22 kV, $S_n=750$ MV·A, $U_k=13.5\%$ 。托源四回线、源安双回线、源霸双回线的固定串补补偿度分别为:45%、40%、35%。

1.2 RTDS仿真实例

以第1.1节中的数据构建一个包含发电机、主变、SBF、输电线路等电路模型的RTDS仿真系统,在给定的参数下,发电机组并没有出现异步自激振荡。但如果改变机组的暂态或次暂态电抗参数,则可能出现异步自激,如图2所示的发电机机端三相电流(TA二次值,TA变比为25 kA/5 A)。

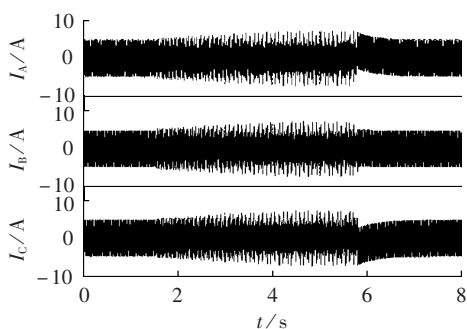


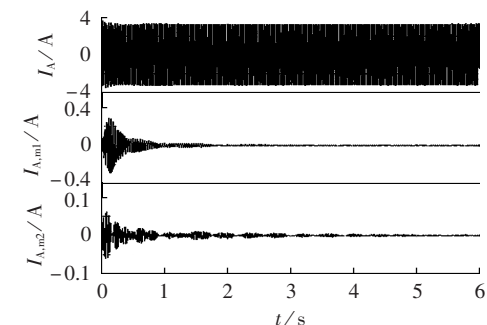
图 2 SBF 投入后产生异步自激时的机端三相电流

Fig.2 Three-phase currents of generator terminal when SBF generates asynchronous self-excitation

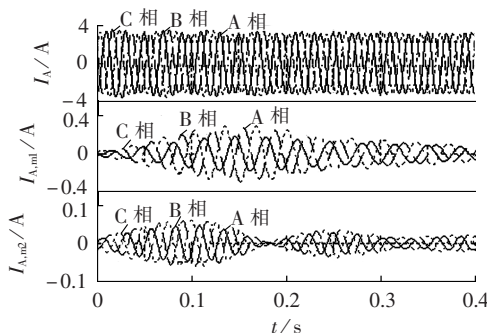
上述仿真在发电机并网额定运行时进行。发电机并网额定运行 1.5 s 时投入 SBF,产生明显的异步自激,且有发散趋势;5.8 s 时 SBF 退出运行。频谱分析发现,异步自激时存在 27 Hz、39 Hz 附近的频率分量。

1.3 现场测量到的 SSO

为抑制异步自激,经过设计调整,在 SBF 的电感支路上串联小电阻。2010 年 11 月,现场进行了 SBF 投入退出、各条线路上串补的投入退出、发电机空载、带负荷运行等多种运行工况的试验,测试表明,异步自激得到明显阻尼。图 3 是投入源安 1 线串补时引起的一次扰动,由 PCS-987S 异步自激保护装置记录下的波形(TA 二次值),其中,下标 m1 表示模式 1,下标 m2 表示模式 2。



(a) A 相电流及其次同步模式电流



(b) 三相电流及次同步模式电流

图 3 PCS-987S 保护装置实测的 2 号发电机电流

Fig.3 Current waveforms of unit 2 measured by PCS-987S protection

上述实测中,电流中分解出的次同步模式电流,模式 1 的频率为 30.77 Hz,模式 2 的频率为 39.22 Hz,2 个模式的电流最大幅值都不是很大,且分别在 0.2 s、0.1 s 左右之后开始衰减。

2 次同步电枢电流感应的实心转子涡流损耗

2.1 次同步电枢电流产生的旋转磁场

单独观察各个次同步电枢电流产生的磁场,设电枢绕组中流过模式 1(频率为 f_{m1})的三相稳态次同步电流,则其正序、负序电流产生旋转磁场,与转子有相对运动,在转子上分别形成转差频率 $f_{\Delta m1,1}=f_n-f_{m1}$ 和 $f_{\Delta m1,2}=f_n+f_{m1}$ 的涡流。由于大型发电机中性点均采用高阻抗接地方式,且主变低压侧为 Δ 接线,零序电流很小,不必考虑零序分量的影响。

大型汽轮发电机定子绕组多采用短距分布槽绕组,参考文献[11]中对电枢绕组磁势的分析,模式 1 的正序、负序电流产生的空间基波磁势 $F_{m1,1}$ 和 $F_{m1,2}$ 如式(1)所示:

$$\begin{cases} F_{m1,1}(\alpha, t) = 1.35 \frac{k_{\phi 1} W_1 I_{m1,1}}{p} \cos(\alpha - 2\pi f_{m1} t) \\ F_{m1,2}(\alpha, t) = 1.35 \frac{k_{\phi 1} W_1 I_{m1,2}}{p} \cos(\alpha + 2\pi f_{m1} t) \end{cases} \quad (1)$$

其中, $k_{\phi 1}$ 为基波磁势的绕组系数; W_1 为每相绕组串联匝数; p 为极对数; α 为气隙圆周方向的空间距离(电角度); $I_{m1,1}$ 和 $I_{m1,2}$ 分别为模式 1 正序、负序电流的有效值。

为简化分析,将实际的发电机看成一个理想的发电机,忽略齿槽的影响,定子、转子内壁光滑;忽略磁场空间谐波,认为电枢绕组流过单一频率的电流时,在空间只产生基波磁场;不考虑漏磁,磁场路径只经过主磁路中的定子轭、定子齿、气隙、转子齿、转子轭;不考虑饱和,铁芯内的导磁率是常数。此外,认为汽轮发电机(隐极机)的气隙是均匀的, d 轴与 q 轴方向上主磁路的磁阻相同。

由上面的假设可得,空间基波磁势 $F_{m1,1}$ 和 $F_{m1,2}$ 在气隙中产生的基波磁密 $B_{m1,1}$ 和 $B_{m1,2}$ 为:

$$\begin{cases} B_{m1,1}(\alpha, t) = \mu_0 H_{m1,1} = \frac{\mu_0}{\delta_{eq}} F_{m1,1}(\alpha, t) \\ B_{m1,2}(\alpha, t) = \mu_0 H_{m1,2} = \frac{\mu_0}{\delta_{eq}} F_{m1,2}(\alpha, t) \end{cases} \quad (2)$$

其中, μ_0 为空气磁导率, δ_{eq} 为等效气隙, $H_{m1,1}$ 和 $H_{m1,2}$ 分别为模式 1 的正、负序电流产生的旋转磁场强度。主磁路中,经过铁芯部分的等效磁路长度为 l_{Fe} ,铁芯的相对磁导率为 μ_r ,则:

$$\delta_{eq} = \frac{l_{Fe}}{\mu_r} + \delta_0 \quad (3)$$

按上述假设, δ_{eq} 为常数, δ_0 为主磁路中的气隙长度。由式(1)—(3)可知,基波磁密的幅值与对应的电流

有效值成正比关系:

$$\begin{cases} B_{m,ml,1} = \frac{\mu_0}{\delta_{eq}} \cdot \frac{1.35k_{d1}W_1}{p} I_{m1,1} \\ B_{m,ml,2} = \frac{\mu_0}{\delta_{eq}} \cdot \frac{1.35k_{d1}W_1}{p} I_{m1,2} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $B_{m,ml,1}$ 和 $B_{m,ml,2}$ 分别为 $B_{m1,1}$ 和 $B_{m1,2}$ 的幅值。

2.2 次同步磁场感应的实心转子涡流损耗

大型汽轮发电机转子为实心转子。在实心转子上观察到次同步模态 1 电流正序分量(负序分量与之类似)产生的基波磁密 $B_{m1,1}$ 与转子有相对运动,在实心转子上产生涡流损耗,可参照文献[12]关于齿谐波磁场在光滑磁极表面上引起的涡流损耗的分析。忽略涡流对 $B_{m1,1}$ 的削弱作用,并考虑转子轴向长度很长,只计及轴向电流。转子表面在圆周方向上展成平面,求解出转子铁芯上 2 维(径向和切向)电磁场的近似解,求出轴向涡流,进而得到单位面积上的损耗,类比文献[12]的式(5-33),有:

$$P_{m1,1} = \frac{\tau^2}{\sqrt{\pi\mu_r\mu_0\rho}} B_{m,ml,1}^2 f_{\Delta m1,1}^{1.5} \quad (5)$$

其中, τ 为极距; ρ 为铁芯电阻率。

整个转子表面的涡流损耗为:

$$P_{Fe,ml,1} = (2p\tau l_e) P_{m1,1} = \frac{2p\tau^3 l_e}{\sqrt{\pi\mu_r\mu_0\rho}} B_{m,ml,1}^2 f_{\Delta m1,1}^{1.5} \quad (6)$$

其中, l_e 为转子轴向等效计算长度。

可见,对于某一频率的涡流,其损耗与频率的 1.5 次方成正比,与磁场幅值的平方成正比(结合前文分析,与对应的电流序分量的有效值的平方成正比),这是下文第 3 节折算等效工频负序电流的依据。

得到式(5)有一个前提条件: $\frac{\omega\mu_r\mu_0}{2\rho} \gg \frac{\pi^2}{2\tau^2}$, 即

转差频率 $f \gg \frac{2p^2\rho}{\pi\mu_r\mu_0 D_r^2}$, 其中, ω 为转差角频率, D_r 为转子外径。

托电电厂的发电机,转子外径 $D_r = 1.214$ m, 取钢的磁导率和电阻率^[14]: $\mu_r = 2000$, $\mu_0 = 0.4\pi \times 10^{-6}$ H/m, $\rho = 0.1 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$, 代入上述前提条件得:

$$f \gg \frac{2p^2\rho}{\pi\mu_r\mu_0 D_r^2} = \frac{2 \times 0.1 \times 10^{-6}}{\pi \times 2000 \times 0.4\pi \times 10^{-6} \times 1.214^2} = 1.719 \times 10^{-5} (\text{Hz})$$

对于 10~45 Hz 的次同步频率,在转子上转差频率范围是 5~95 Hz,上述前提条件是满足的。

如果是有限长实心转子,考虑端部影响和切向电流,参考文献[13]的式(1-149),涡流损耗为:

$$P_{Fe} = \frac{2\sqrt{2}\omega^3 p l_e^3 \tau B_s^2}{\pi^4 \sqrt{\mu_r\mu_0\rho}} \left(\frac{p_A}{\beta_L^2} + p_D \right) \quad (7)$$

其中, p_A 、 p_D 、 β_L 为与结构尺寸相关的常数, B_s 为转子表面磁密的幅值。因为假设条件不同,式(6)和式(7)只是常数系数不完全一致,可以佐证前文的结论:对

于某一频率的涡流,其损耗与频率的 1.5 次方成正比,与磁场幅值的平方成正比。

3 次同步过电流的定时限、反时限保护

3.1 保护实现方案

发电机不对称运行时,有负序电流流过定子绕组,将在转子上产生 2 倍频的感应电流,导致转子过热。为防止损伤转子,大型汽轮发电机均装设负序电流过负荷保护。由于次同步电枢电流同样会在转子上产生一定转差频率的涡流,可以将次同步电枢电流的正序、负序分量等效折算成工频负序电流,借用原工频负序电流过负荷保护,实现次同步过电流的定时限、反时限保护,保护判据形式不变、定值不变。

定时限判据: $I_{eq} > I_{set} = \frac{K_{rel} I_{2\infty}}{K_r}$, $t > t_{set}$ 。反时限判据: $t =$

$\frac{A I_n^2}{I_{eq}^2 - I_{2\infty}^2}$ 。其中, K_{rel} 为可靠系数, K_r 为返回系数; t_{set} 为定时限保护延时; A 为发电机承受负序电流能力的常数; I_{eq} 为由保护装置测量到的各模态次同步电流折算的等效工频负序电流, $I_{2\infty}$ 为发电机长期允许流过的负序电流值, I_{set} 为定时限电流定值, I_n 为发电机额定电流值,这些电流值均为 TA 二次值。

具体实现步骤为:三相电流经过多组带通滤波得到各个次同步模态电流;测量各模态频率 f_{mi} (设有 2 个模态, $i=1,2$);计算各模态电流的正序和负序有效值 $I_{mi,1}$ 、 $I_{mi,2}$;按式(8)计算对应的等效工频负序分量 $I_{eq,mi,1}$ 和 $I_{eq,mi,2}$;按式(9)计算出总的等效值 I_{eq} ;将上述量代入保护判据即可。

$$\begin{cases} I_{eq,mi,1} = I_{mi,1} \sqrt{\left(\frac{f_n - f_{mi}}{2f_n} \right)^{1.5}} \\ I_{eq,mi,2} = I_{mi,2} \sqrt{\left(\frac{f_n + f_{mi}}{2f_n} \right)^{1.5}} \end{cases} \quad (8)$$

$$I_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (I_{eq,mi,1}^2 + I_{eq,mi,2}^2)} \quad (9)$$

其中 f_n 为实测的工频信号的频率。

3.2 对负序过流保护的影响

发电机组装设保护时,一般不需要考虑同时产生次同步过电流和工频负序过电流的情况,然而这 2 种异常工况都将在转子上产生涡流损耗,只是涡流的频率及损耗的大小会有差异。

通常采用全周傅氏滤波算法计算三相电流的工频负序分量。如果定子绕组有次同步分量流过,则会因为算法的原因计算出一个虚假的工频负序分量。设三相流过次同步电流:

$$\begin{cases} i_A(t) = \sqrt{2} I_A \cos(2\pi f_{ml} t + \theta_A) \\ i_B(t) = \sqrt{2} I_B \cos(2\pi f_{ml} t + \theta_B) \\ i_C(t) = \sqrt{2} I_C \cos(2\pi f_{ml} t + \theta_C) \end{cases} \quad (10)$$

其中, θ_A 、 θ_B 、 θ_C 为三相次同步电流的初相位。

以工频 f_n 对应的数据窗 ($T_n = 1/f_n$) 截取上述信

号进行全周傅氏计算,再求出负序分量(推导过程略),用矢量表示,得:

$$3\mathbf{i}_2 = (\mathbf{i}_{A1} + a^2\mathbf{i}_{B1} + a\mathbf{i}_{C1}) + (\mathbf{i}_{A2} + a^2\mathbf{i}_{B2} + a\mathbf{i}_{C2}) = \\ \sqrt{2} C_1 (I_A e^{j\theta_A} + a^2 I_B e^{j\theta_B} + a I_C e^{j\theta_C}) e^{j(2\pi f_\Delta t + \theta')} + \\ \sqrt{2} C_2 (I_A e^{-j\theta_A} + a^2 I_B e^{-j\theta_B} + a I_C e^{-j\theta_C}) e^{-j(2\pi f_\Sigma t + \theta')} \quad (11)$$

$$C_1 = \frac{\sin(\pi f_\Delta / f_n)}{\pi f_\Delta / f_n}, \quad C_2 = \frac{\sin(\pi f_\Sigma / f_n)}{\pi f_\Sigma / f_n}$$

$$f_\Delta = f_{m1} - f_n, \quad f_\Sigma = f_{m1} + f_n$$

$$\theta' = -\pi f_\Delta / f_n$$

$$a = e^{j2\pi/3}$$

可见,计算出的虚假工频负序分量与次同步电流的幅值、相位以及频率相关。计算后三相电流信号的矢量会以2个频率(差频 f_Δ 与合成频率 f_Σ)相混叠的形式,一个正转,一个反转,如图4所示。

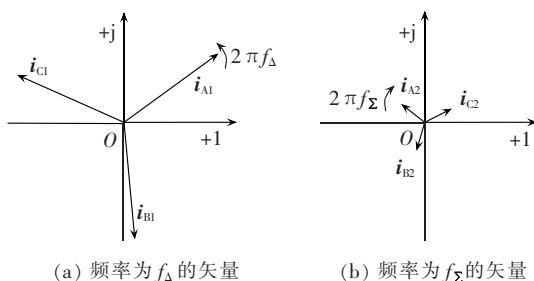


图4 三相次同步电流的矢量图

Fig.4 Vector diagram of three-phase SSO currents

假设式(10)的三相电流对称,则计算的虚假工频负序分量有效值为:

$$3I_2 = |3\mathbf{i}_2| / \sqrt{2} = C_2 \cdot 3I_A \quad (12)$$

为消除次同步电流对原有工频负序电流保护的影响,可在求解工频负序电流之前增加一级窄带带通滤波器,滤除次同步电流。

4 次同步过电流的发散保护

次同步电流的定时限、反时限保护只是针对较为稳定的异步自激现象,实际有可能出现次同步电流逐渐增大的情况,为此应设计发散保护。其基本的方法是:观测次同步电流幅值序列的变化特征,幅值增加,则计时器/计数器累加,否则递减,累计到一定延时定值后,保护动作(前提是定时限或反时限保护已启动)。电力系统发生扰动(短路、断路、重合闸、甩负荷等)时,会使发电机电流检测信号中出现次同步频段的量,但其衰减很快,一般在0.2~0.5s内可衰减完毕。发散保护计时定值需躲过该衰减时间。

5 次同步过电流保护方案的局限性

前文分析的次同步电枢电流在实心转子上产生涡流损耗的定量关系时作了大量的假设。对于开槽的转子,可以将齿侧和槽底部分的作用归结为齿顶

长度的一定增加^[13],从而等效成光滑转子,关系不变,只是常系数发生变化。然而,实际的汽轮发电机转子结构很复杂,通风孔、月牙槽对磁场及涡流的路径产生影响;铝材料或磁性材料的槽楔与转子端部护环构成阻尼回路,阻尼回路会有涡流,对磁场的影响更复杂;此外,转子涡流还会对磁场产生削弱作用。磁场饱和将使磁路中的等效气隙增加,削弱磁场。因此,要准确地定量计算次同步电枢电流在转子上产生的损耗,需要采用电磁场有限元的计算方法。必要时,应对式(8)进行系数修正。

另外,次同步过电流保护不能准确反应振动和大轴扭振,因此,仍需装设振动保护、TSR等。

6 结语

托电电厂安装 SBF 抑制 SSO,装设异步自激保护设备防止参数配合不当出现异步自激振荡。

本文简化分析了定子绕组次同步电流在汽轮发电机实心转子上产生涡流损耗的定量关系,将次同步电流折算成等效的工频负序电流,实现定时限、反时限的次同步过电流保护,设计了发散保护。该方法尚有一定的局限性。此外,分析指出:傅氏滤波算法计算三相电流的工频负序分量时,如果定子绕组有次同步分量流过,则会因为算法的原因计算出一个虚假的工频负序分量。

参考文献:

- [1] ANDERSON P M. Power system protection[M]. New York, USA: Wiley-IEEE Press, 1998:955-999.
- [2] SUN S C, SALOWE S, TAYLOR E R, et al. A subsynchronous oscillation relay-type SSO[J]. IEEE Transactions on PAS, 1981, 100(7):3580-3589.
- [3] FARMER R G, SCHWALB A L. Navajo project report on subsynchronous resonance analysis and solutions[J]. IEEE Transactions on PAS, 1977, 96(4):1226-1232.
- [4] BOWLER C E J, BAKER D H, MINCER N A, et al. Operation and test of the Navajo SSR protective equipment[J]. IEEE Transactions on PAS, 1978, 97(4):1030-1035.
- [5] BOWLER C E J, DEMCKO J A, MANKOFF L, et al. The Navajo SMF type subsynchronous resonance relay[J]. IEEE Transactions on PAS, 1978, 97(5):1489-1495.
- [6] 徐政, 张帆. 托克托电厂串补送出方案次同步谐振问题的计算和分析[J]. 中国电力, 2006, 39(11):21-26.
XU Zheng, ZHANG Fan. SSR analysis of series compensation transmission scheme for Tuoketuo Power Plant[J]. Electric Power, 2006, 39(11):21-26.
- [7] 吴涛, 苏为民, 鲍喜, 等. 托克托电厂发电机组轴系扭振参数测试[J]. 华北电力技术, 2007(11):22-25.
WU Tao, SU Weimin, BAO Xi, et al. Generator rotor shaft torsion parameter identification test in Tuoketuo Power Plant[J]. North China Electric Power, 2007(11):22-25.
- [8] 刘平, 马凯, 刘辉, 等. 托克托电厂阻塞滤波器模态中心频率偏移

- 对抑制次同步谐振的影响[J]. 中国电力,2010,43(1):25-29.
- LIU Ping,MA Kai,LIU Hui,et al. Impacts of center frequency offset of Tuoketuo Power Plant blocking filters on SSR mitigation[J]. Electric Power,2010,43(1):25-29.
- [9] 于海洋,江志文. TSR 保护在托电的应用[J]. 中国电力,2009(增刊1):86-88.
- YU Haiyang,JIANG Zhiwen. Application of TSR in Tuoketuo Power Generation Co.,Ltd.[J]. Electric Power,2009(Supplement 1): 86-88.
- [10] CEN Haifeng,WANG Xitian. Analysis of self-excitation in turbinegenerators induced by static blocking filter[C]//Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) 2010,Asia-Pacific. Chengdu,China;IEEE PES,2010:1-5.
- [11] 李发海,陈汤铭,郑逢时,等. 电机学[M]. 2版. 北京:科学出版社,1991:257-286.
- [12] 陈世坤. 电机设计[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,1990:76-96.
- [13] 冯尔健. 铁磁体实心转子异步电机理论与计算[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [14] 刘世宇,谢小荣,张东辉. 多模式次同步谐振的产生机理与抑制方法[J]. 清华大学学报:自然科学版,2008,48(4):457-460.
- LIU Shiyu,XIE Xiaorong,ZHANG Donghui. Mechanism and mitigation of multi-mode sub-synchronous resonance[J]. Journal of Tsinghua University:Science and Technology,2008,48(4): 457-460.
- [15] LEE Eunung,OOI B T. Subsynchronous resonance phenomena considering skin effects in solid iron rotor turbo-generators[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion,1988,3(1):140-148.
- [16] 任树东. 可控串补对次同步谐振的抑制作用初步探讨[J]. 国际电力,2005,9(1):56-59.
- REN Shudong. A preliminary discussion on damping subsynchronous resonance by TCSC[J]. International Electric Power for China,2005,9(1):56-59.

作者简介:

张琦雪(1974-),男,江苏沭阳人,高级工程师,博士,从事电厂继电保护及自动化装置方面的研发工作(E-mail:zhangqx@nari-relays.com);

牛洪海(1980-),男,辽宁鞍山人,工程师,硕士,从事电厂继电保护及自动化装置方面的研发工作;

柏传军(1981-),男,江苏淮安人,助理工程师,从事直流控制保护、RTDS 仿真等方面的研发工作。

Subsynchronous self-excitation overcurrent protection for turbine generator

ZHANG Qixue,NIU Honghai,BAI Chuanjun,XIONG Lianggen,WANG Kai

(Nanjing NARI-Relays Electric Co.,Ltd.,Nanjing 211102,China)

Abstract: A static blocking filter is installed in Tuoketuo Power Plant for mitigating the SSO (SubSynchronous Oscillation) and the improper parameter setting causes asynchronous self-excitation oscillation,for which a subsynchronous self-excitation overcurrent protection is equipped. The rotor eddy loss caused by the subsynchronous stator armature current is analyzed,which shows that,the rotor eddy loss is proportional to the square of the RMS value of its positive and negative sequence components and to the 1.5 power of the slip frequency. The definite-time and inverse-time SSO overcurrent protection is implemented by converting the SSO current into the equivalent negative sequence current at power frequency. A divergent SSO current protection is designed,which detects the increase of SSO current amplitude. If there is SSO current in armature winding,a fake value will be obtained when the Fourier filter is applied to calculate the negative sequence current at power frequency. The limitation of this protection scheme is analyzed.

Key words: self-excitation; solid iron rotor; turbine generator; subsynchronous oscillation; static blocking filter; negative sequence overcurrent protection