

电力机车主变压器绕组短路保护的策略研究

杨 佳

朔黄铁路车辆分公司 河北 沧州 062350

摘要: 电力机车主变压器作为电气系统的核心部件,起着连接接触网高压网络和变流系统中压网络的纽带功能。主变压器一般包括一个高压绕组和多个牵引绕组、辅助绕组和电抗器等部件,高压绕组直接与接触网相连,牵引绕组直接与变流器连接,绕组数量多、外部电路结构复杂^[1]。变压器原边绕组或牵引绕组短路故障都会给变压器和机车带来巨大危害,对此在机车设计中需要细致分析和预判,设计合理的保护策略。

关键词: 电力机车; 主变压器; 绕组短路; 保护策略

1 主变压器相关高压电路

主变压器相关主电路结构如图1所示,主要包括受电弓(API)、主断路器(QF-M)、接地开关(QS-GHV)、避雷器(PF-M)、高压电压互感器(TV1)、高压电流互感器(TA1)、过流继电器(FA1)和原边电流传感器(SC0)^[2]。主变压器主要包括了1个原边绕组和4个牵引绕组(电抗器等未表示出),每个牵引绕组输出端连接有1个牵引回路电流传感器(SC1—SC4)。主变压器绕组短路故障的检测装置主要有高压电流互感器和电流传感器。高压电流互感器检测过电流后,直接引起过流继电器动作,从硬件回路断开主断路器实施保护;牵引控制单元检测原边电流传感器和牵引绕组电流传感器数据,从软件上判断牵引绕组短路故障。

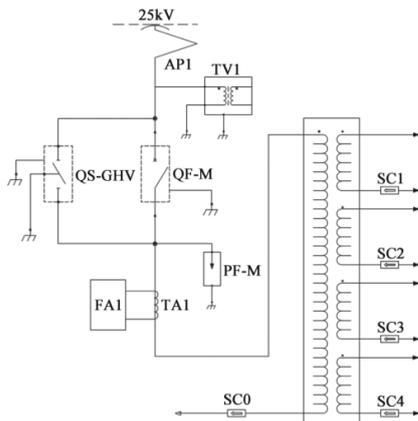


图1 变压器相关主电路结构

2 保护策略分析

2.1 原边短路电流保护

主变压器原边发生接地短路会产生大电流,此时电

个人简介: 杨佳, 1987年3月, 汉, 男, 陕西渭南, 朔黄铁路车辆分公司, 员工, 助理工程师, 本科, 062350, hedda1987@dingtalk.com, DK-1/-2机车制动机

流回路只有电源内阻抗和接触网线路阻抗,短路电流 i_{1s} 计算如下:

$$i_{1s} = \frac{U_1}{Z_{1s}} \quad (1)$$

$$Z_{1s} = j\omega L_s + j\omega L_1 d + R_1 d \quad (2)$$

式中: U_1 为接触网额定网压; Z_{1s} 为短路回路阻抗; ω 为网压频率; L_s 为地面供电电源电感; L_1 为单位接触网长度电感值; R_1 为单位接触网长度电阻值; d 为接触网长度。机车正常运行时,原边电路中可能出现的最大冲击电流主要是闭合主断路器时变压器的励磁涌流,在网压过零时刻闭合主断路器,变压器剩余磁通与初始磁通变化方向一致,可能产生最大的励磁涌流^[3]。

励磁涌流最大值 i_{0max} 计算如下:

$$i_{0max} = \frac{\sqrt{2}K_2 U_{1max}}{X_s} (1 - \cos\theta) \times n \quad (3)$$

式中: K_2 为修正系数,一般取1.2; U_{1max} 为最高网压; X_s 为考虑铁心磁通饱和时漏电抗值; θ 为考虑铁心磁通饱和的间断角; n 为牵引绕组数量。变压器原边在牵引绕组短路情况下会出现短路冲击电流,变压器牵引绕组短路等效电路如图2所示,短路峰值电流 i_{2m} 计算如下:

$$i_{2m} = \sqrt{2} \frac{I_2}{k} (1 + e^{-\frac{R}{X}\pi}) \quad (4)$$

式中: R 为短路回路总电阻; X 为短路回路总电抗; I_2 为牵引绕组额定电流; k 为变压器短路阻抗。

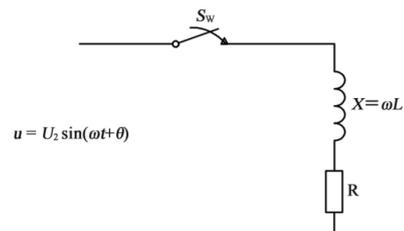


图2 牵引绕组短路等效电路

折算到原边侧短路峰值电流 i_{21m} :

$$i_{21m} = i_{2m} \times \frac{U_2}{U_1} \quad (5)$$

式中: U_2 为牵引绕组额定电压。

变压器满载运行时一个牵引绕组短路出现故障, 原边正常运行电流叠加短路产生的大电流, 原边绕组可能出现的最大瞬时峰值电流为 i_{1max} :

$$i_{1max} = i_{21m} + \sqrt{2} \times I_2 \times \frac{U_2}{U_1} \times (n-1) + \sqrt{2} \times I_c \quad (6)$$

式中: I_c 为牵引绕组之外的其他绕组原边负荷电流。

原边绕组短路电流一般很大, 设定原边短路保护电流应该避开变压器励磁涌流和单个次边绕组短路最大电流, 满足 $\max(i_{1max}, i_{0max}) < i_{sl} < i_{is}$ 。当原边电流互感器检测值 $> i_{sl}$, 过电流继电器FA1动作, 通过硬件控制直接断开主断路器进行保护, 此时判断变压器原边短路故障^[4]。

2.2 启动稳态保护

当机车闭合主断路器时, 变压器牵引绕组短路, 此时变压器负载尚未投入, 原边电流 I_{p0} (忽略变压器空载时原边电流, 一般随网压不同, 在0.3~2A以内)为:

$$I_{p0} = I_2 \times \frac{U_2}{U_1} \times \frac{1}{k} \quad (7)$$

根据原边电流 I_{p0} 设定启动稳态保护电流 I_{s2} , 在主断路器闭合一定时间后变压器励磁涌流基本完成开始检测(主励磁涌流一般不超出1.5s), 当原边电流传感器检测 $> I_{s2}$ 并维持1s, 判断牵引绕组短路故障。

2.3 带载运行工况保护

对于牵引回路电流传感器(SC1—SC4), 变压器带载运行时牵引绕组短路, 当短路故障点位于传感器右侧, 电流传感器检测值瞬时增加到短路电流; 当短路故障点位于传感器左侧, 电流传感器检测值变为0^[5]。

变压器带载运行时牵引绕组短路, 原边正常运行电流叠加短路电流, 牵引绕组在额定电流时发生短路故障电流增量最小为 I_{Δ} 计算如下:

$$I_{\Delta} = \left(\frac{I_2}{k} - I_2 \right) \times \frac{U_2}{U_1} \quad (8)$$

根据原边绕组最小叠加短路电流设定带载短路保护电流 I_{s3} , 当原边电流传感器检测电流偏差达到保护值, 同时牵引回路电流传感器检测值突然增加到短路电流或变为0, 判断牵引绕组短路故障。主变压器绕组在额定电流满功率运行时, 散热系统处于高温的热稳定状态, 此时发生牵引绕组短路故障可能出现绕组局部过热、高温报警等问题。针对变压器满功率运行, 依据式(6)计算的原边绕组最大瞬时峰值电流设定满载瞬态保护电流 i_{s4} , 当原边电流传感器检测电流超出瞬态保护电流 i_{s4} , 判断次边绕组出现短路故障。

结束语

电力机车牵引变压器在运行中可能出现原边绕组或牵引绕组短路故障, 原边绕组短路直接对机车高压回路造成巨大危害, 牵引绕组短路也会大大增加线路电流和系统发热功率, 给机车系统安全可靠运行带来风险^[6]。本文从变压器原边绕组和牵引绕组短路故障发生的瞬态保护和稳态保护多个方面进行分析, 制定保护策略, 并通过某车型具体数据进行实例分析验证保护措施行之有效, 给电力机车主变压器相关的电气保护设计提供参考。

参考文献

- [1]樊运新, 张彦林, 颜罡. 电力机车网侧电流保护系统的设计[J]. 电力机车与城轨车辆, 2008, (2): 15-17.
- [2]姜晓峰, 何正友, 胡海涛, 等. 高速铁路过相电磁暂态过程分析[J]. 铁道学报, 2013, (12): 30-36.
- [3]赵元哲, 李群湛, 周福林, 等. 电力机车变压器励磁涌流及其影响分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2018, (3): 25-34.
- [4]逯莉霞. 电力机车主变压器监控系统的分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2020 (09): 60-61+108.
- [5]何晓峰. HXD3型电力机车主变压器常见故障研究[J]. 技术与市场, 2018 (05): 82-83.
- [6]王小刚, 龙玉琴. HXD3B型电力机车主变压器冷却系统故障处理及改进措施[J]. 产业与科技论坛, 2018 (09): 42-43.