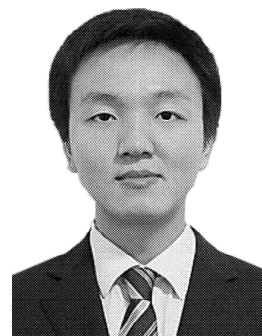


研
究
开
发轨道牵引用主变流器充放电电阻的
参数计算与选型方法

邹档兵, 翁星方, 荣智林, 黄 南

(株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 邹档兵 (1986-), 男, 现从事 IGBT 主变流器的研发工作。

摘 要: 分析了轨道牵引用主变流器预充电过程的工作原理, 详细阐述了主变流器中充放电电阻的电气参数计算与选型方法, 并应用仿真软件对充放电电阻的充电和放电工况进行了模拟仿真, 实现充放电电阻的合理化设计。最后通过已有项目的试验考核, 表明该设计方法合理可行。

关键词: 主变流器; 充放电电阻; 技术参数; 仿真

中图分类号: U264.3⁺7

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2012)03-0020-03

Design and Selection Type Methode for Charging and Discharging Resistors in Traction Converter

ZOU Dang-bing, WENG Xing-fang, RONG Zhi-lin, HUANG Nan

(Technology Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Precharging process of the traction converter was analyzed, and the electric parameters and design methods of charging and discharging resistors were also described in detail. Charge and discharge process were simulated for achieving the rational design of charging and discharging resistors. Experimental result of existing project validated the design method with reasonability and feasibility.

Key words: traction converter; charging and discharging resistors; technic parameter; simulation

0 引言

随着电力电子技术的发展, 交流传动已在世界范围内兴起, 其优良的牵引特性及调速性能已普遍被人们所接受, 应用于牵引的交流传动系统已在欧、美、日等发达国家广泛应用。同时, 交流传动也是我国铁道牵引动力发展的一个重要方向, 而主变流器作为整个列车的心脏, 决定了列车的启动、制动和最高运行速度等性能, 因此要求其具有很高的可靠性。主变流器的充放电电阻作为一种功能型部件, 其技术参数的设计直接影响到主变流器的可靠性。

本文主要对列车主变流器预充电过程进行分析, 对充放电电阻的电气技术参数计算进行深入探讨, 并使用 Matlab/Simulink 软件对其进行了仿真分析。

1 工作原理

主变流器由于内部有电力电容器(中间直流环节支撑电容和二次滤波电容)的存在, 而电容在交流电路

中相当于短路状态, 会造成变流器在通电的初始阶段有比较大的充电电流, 因此, 为了避免在充电初期时的大电流对器件造成损伤或破坏, 在主变流器的上电起始阶段接入预充电电阻限制充电电流的幅值。

同时由于电力电容器是一个很大的储能器件, 因此为了保护人和器件的安全, 在电力电容器的两端并联有固定放电电阻, 其作用是当变流器内部快速放电电路出现故障时, 可以将电力电容器上的电压放至安全电压以下。

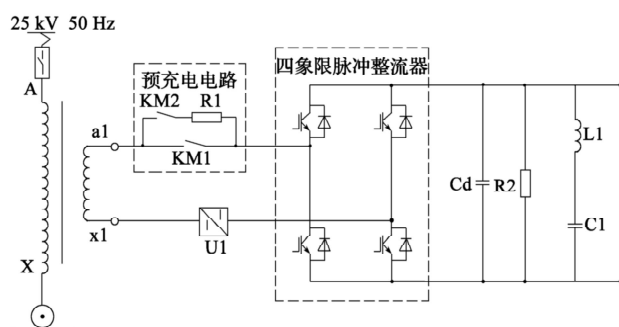


图1 主变流器预充电电路原理图

主变流器预充电电路原理图如图1所示, 其中, $R1$

收稿日期: 2011-07-28; 收修改稿日期: 2012-01-09

为预充电电阻、 R_2 为固定放电电阻、 C_d 为中间直流电路支撑电容、 $KM1$ 为短接接触器、 $KM2$ 为充电接触器、 $L1$ 为二次谐振电感、 $C1$ 为二次谐振电容。

充电接触器和短接接触器有严格的时序控制, 以保证充电电路和变流器中间直流环节的安全性, 并且在故障发生时能够按照时序正确断开接触器。主变流器的控制逻辑中, 在确认短接接触器接通后, 才断开充电接触器, 使得预充电电阻脱离主电路。

2 设计准则

在主变流器中, 充放电电阻主要是指预充电电阻和固定放电电阻, 由于其功率大(额定功率在 100 W 以上), 在主变流器中一般选用线绕电阻。被漆线绕电阻器由于其体积小、安装结构简单, 而成本相对其他线绕电阻器较低, 因此主变流器上应用很广泛。根据以往主变流器设计经验, 预充电电阻和固定放电电阻的技术参数一般设计准则如下。

2.1 预充电电阻技术参数设计准则

一般规定, 预充电电阻必须在规定的时间内将中间直流环节电容上的电压充到正常工作电压的 80% 以上, 则电阻 R_1 应该满足式(1)。

$$U_d \left(1 - e^{-\frac{t}{R_1 \cdot C}} \right) \geq 80\% U_d \quad (1)$$

通过式(1)可进一步计算得出预充电电阻 R_1 为

$$R_1 \leq \frac{t}{C \cdot \ln 5} \quad (2)$$

预充电电阻在充电时间内消耗能量 Q 为

$$Q = \int_0^t I \cdot (U_{N\max} - u_c) dt = \int_0^t C \cdot \frac{du_c}{dt} \cdot (U_{N\max} - u_c) dt = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{N\max}^2 \quad (3)$$

通过式(3)可进一步计算得出平均功率 P 为

$$P = \frac{Q}{T} \quad (4)$$

预充电电阻的冲击功率 $\hat{P}$ 为

$$\hat{P} = \frac{U_d^2}{R_1} \quad (5)$$

式中: U_d ——中间直流环节电压, V; $U_{N\max}$ ——输入电压的最大值, V; C ——中间直流环节总电容, F; u_c ——中间直流环节电容上的瞬时电压, V; t ——充电时间, 指预充电电阻在一个充电周期内的工作时间, s; T ——充电周期, 设主变流器从开始充电到下一次开始充电的时间为一个充电周期, s。

选用预充电电阻时, 预充电电阻的关键参数应满足以下要求:

电阻 $\leq R_1$

平均功率 $\geq P$

冲击功率 $\geq \hat{P}$

上述计算预充电电阻的方法是在忽略固定放电电阻和二次谐振电抗器影响的情况下进行计算的。实际在主变流器正常工作时, 由于中间直流环节电容器两端并联有固定放电电阻, 因此电容器在充电的同时也在放电, 但一般在主变流器中固定放电电阻是预充电电阻的几十倍, 预充电过程中, 电容器的放电过程可以忽略不计, 因此在预充电电阻工程设计的时候可以忽略固定放电电阻的影响。

二次谐振电抗器的存在, 会影响到二次谐振电容器的充电时间, 但由于二次谐振电抗器上的充电电流比较小, 因此在预充电电阻工程设计的时候可以忽略二次谐振电抗器的影响。

2.2 固定放电电阻技术参数设计准则

固定放电电阻的作用是在主电路断开或者快速放电电路出现故障的情况下, 主电路中支撑电容上的电压能够通过固定放电电阻释放电能而降低到人体安全电压 36 V 以下, 以保障工作人员的人身安全。

固定放电的时间相对于快速放电时间来说比较长, 一般技术规定, 固定放电电阻必须在规定时间内将中间直流环节电容上的电压降到人体安全电压以下, 即固定放电电阻阻值 R_2 须满足式(6):

$$U_{dp} \cdot e^{-\frac{t}{R_2 \cdot C}} \leq U_{safe} = 36 \text{ V} \quad (6)$$

通过式(6)可进一步计算得出固定放电电阻 R_2 为

$$R_2 \leq \frac{t}{C \cdot \ln \frac{U_{dp}}{U_{safe}}} \quad (7)$$

固定放电电阻在放电时间内消耗能量 Q 为

$$Q = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{dp}^2 \quad (8)$$

通过式(8)可进一步计算得出平均功率 P 为

$$P = \frac{Q}{t} \quad (9)$$

固定放电电阻的冲击功率 $\hat{P}$ 为:

$$\hat{P} = \frac{U_{dp}^2}{R_2} \quad (10)$$

式中: t ——放电时间, s; U_{dp} ——支撑电容上最大直流峰值电压, V; U_{safe} ——人体安全电压, V。

因此, 在选用固定放电电阻时, 应综合考虑, 选择关键参数满足以下要求的电阻:

电阻 $\leq R_2$

平均功率 $\geq P$

冲击功率 $\geq \hat{P}$

上述计算固定放电电阻的方法是在忽略二次谐振电抗器影响的情况下进行计算的。二次谐振电抗器的存在, 会影响到中间直流环节电容器的放电时间, 但由于二次谐振电抗器上的放电电流比较小, 因此在固定放电电阻工程设计的时候可以忽略二次谐振电抗器

的影响。

2.3 充放电电阻核算

在选定好充放电电阻后,最后按照经验公式进行充放电电阻的核算如下(电路中最高脉冲电压的持续时间应小于5 ms)

$$r \geq \frac{u^2}{1000p} \quad (11)$$

式中: r ——选定电阻器的电阻值 Ω ; u ——电路可能的最高脉冲电压, V; p ——选定电阻器的功率, W。

在某些情况下(如城市轨道交通车辆用主变流器),会出现频繁充放电的情况,此时应选用具有良好散热功能的充放电电阻,如带铝散热板的线绕电阻器。

3 仿真分析

综上所述,预充电电阻技术参数的设计是在忽略固定放电电阻和二次谐振电抗器影响的情况下进行计算的,同时,固定放电电阻的设计是在忽略二次谐振电抗器影响的情况下进行计算的。因此,针对这些情况利用 Matlab/Simulink 软件建立仿真模型,不仅可以方便进行参数的修改,还可以观察电路的工作变化情况,为电路的分析和设计带来方便,同时也可以校验所设计的充放电电阻是否符合主变流器主电路的要求。

以某型主变流器为例,其主电路如图2所示,中间直流环节支撑电容 C_d 电容值取 10 mF,二次谐振电容 C_1 电容值取 5 mF,二次谐振电抗器 L_1 电感值取 0.507 mH,额定输入电压为 2 121 V(50 Hz),中间直流环节电压为 3 500 V(最大直流峰值电压为 4 000 V),充电时间设为 10 s(充电周期设为大于 1 min),固定放电时间设为 20 min。

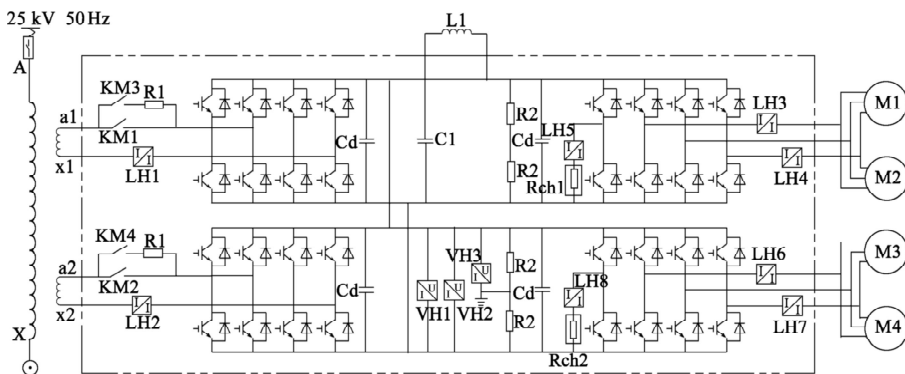


图2 主变流器主电路图

根据上一节的充放电电阻的设计方法进行计算,每重预充电电阻选用标称阻值为 100 Ω ,额定功率为 850 W,脉冲能量为 45 kJ 的被漆线绕电阻。每个固定放电电阻选用标称阻值为 15 k Ω (共 4 个),额定功率为 850 W 的被漆线绕电阻。

依据图2中主变流器主电路,使用 Matlab/Simulink 软件建立起仿真模型,并对其进行仿真,中间直流环节电压波形及充电电流波形分别如图3、图4所示。

图3是中间直流电压在充电阶段的仿真波形。从图中可以看出,在第10 s时(此时将闭合短接接触器,充电过程结束),中间直流电压大于 2 800 V,满足设计要求。图4是充电电流在充电阶段的仿真波形,从图中可以看出,预充电电阻的最大冲击电流小于 30 A,满足设计要求。图5是预充电电阻在充电阶段能量损耗的仿真波形,从图5可以看出,一个充电周期内,预充电电阻的能量损耗小于 25 kJ,满足设计要求。图6是固定放电电阻的放电过程仿真波形,从图6看出,中间直流电压需要 1 050 s(17.5 min)才能因放电降至 36 V 以下,满足设计要求。

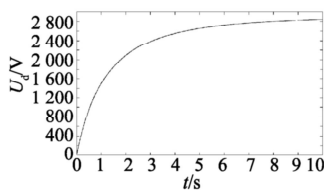


图3 中间直流电压仿真波形

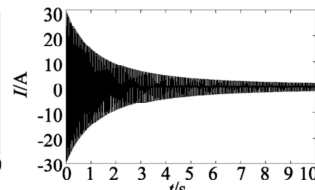


图4 充电电流仿真波形

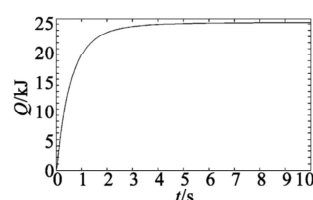


图5 充电过程消耗能量仿真波形

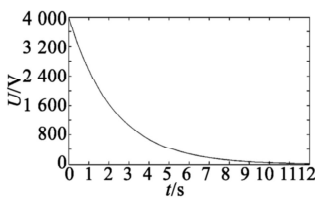


图6 放电过程仿真波形

4 结语

主变流器充放电电阻的可靠性关系到变流器的正常运行,因此正确设计并选用合适的充放电电阻显得非常重要。本文总结以往主变流器设计经验,提出了一种主变流器充放电电阻的选型设计方法,并通过 Matlab/Simulink 软件对其进行仿真分析,不仅可以验证

所设计的充放电电阻是否符合主变流器的要求,而且可以检验充放电电阻在性能参数设计、冗余设计等方面的合理性。

本文所阐述的主变流器充放电电阻技术参数设计方法已经在大功率交流传动电力机车主变流器、高速动车组主变流器等项目中得到充分的验证。从试验反馈的情况来看,依据此设计方法所选用的充放电电阻运行稳定,性能良好。

参考文献:

- [1] 徐奇武. 谈并联电容器内放电电阻设计[J]. 电力电容器, 2006(10).
- [2] 陈广泰. 机车主变流器预充电电阻的参数设计与仿真[J]. 内燃机车, 2009(12).
- [3] 王彬, 裴冰, 马连凤. 大功率主变流器用预充电电阻的仿真计算分析[J]. 铁道技术监督, 2010(6).