

运用检修

SS4B型电力机车辅助供电系统的升级改造

张立伟¹, 卢震宇¹, 张全柱², 邓永红²

(1. 北京交通大学 电气工程学院, 北京 100044;

2. 华北科技学院 信息与控制技术研究所, 北京 101601)

摘 要: 以SS4B型电力机车辅助供电系统的升级改造为背景, 重点分析研究其前级整流环节, 对目前广泛应用于辅助变流器的PWM整流电路和相控整流电路2种电路拓扑进行比较分析, 并根据实际情况最终采用相控整流电路作为辅助变流器前级整流方案。

关键词: 辅助变流器; PWM整流; 相控整流; SS4B型电力机车; 升级改造

中图分类号: U269.6; U260.5+4 **文献标识码:** B

文章编号: 1000-128X(2014)04-0096-04

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2014.04.026

1 概况

SS4B型电力机车利用劈相机作为辅助电路供电系统, 因为存在输出电压不平衡、不稳定等缺点, 所以利用辅助变流器取代劈相机为辅助电路供电是很有必要的。本文主要针对辅助变流器前级整流方案进行比较分析, 以神华集团委托北京交通大学开发“SS4型电力机车辅助变流系统研制”为课题背景, 参照有关文献^[1-12]对SS4型电力机车辅助供电系统进行改造。

2 辅助供电系统介绍

2.1 以劈相机为核心的辅助供电系统

SS4B型电力机车原有辅助供电系统是依靠劈相机对辅助机组进行供电。劈相机可以看作是单相电动机与三相发电机的结合, 它接受牵引变压器辅助绕组的单相交流, 将其劈成三相交流为辅助机组供电。

劈相机内部结构原理图如图1所示, 劈相机本身只输出三相电压中的一相, 另外2相由变压器辅助绕组直接提供, 也可以将变压器辅助绕组提供的单相电压理解为三相电压中A、B相之间的线电压。首先, 从图1可以看出, 劈相机定子绕组W1、W2既充当电动绕组又同时充当发电绕组, 即使在劈相机定子侧按照不对称方式嵌入定子绕组, 随着电力机车工况的变化也必将导致劈相机输出电压不平衡。其次, 以劈相机为核心的辅助供电系统的三相电压输出中的2相直接由牵引变压器的辅助绕组提供。由于受电弓接受的电网电压是

不稳定的, 波动范围为-24%~+20%(19~30 kV), 因此牵引变压器绕组的输出也随之波动, 从而使得劈相机的输出电压也不稳定。

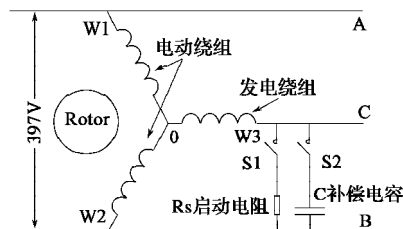


图1 劈相机内部结构原理图

2.2 以静止式变流器为核心的辅助供电系统

静止式变流器使用的是“交直交”电力变换, 将牵引变压器辅助绕组的输出进行电力变换后为辅助系统供电。相比采用劈相机的供电方案, 辅助变流器引入现代电力电子功率变换方法, 自动化程度高、输出稳定可控。辅助变流器主要由前级整流器和后级逆变器组成, 如图2所示。

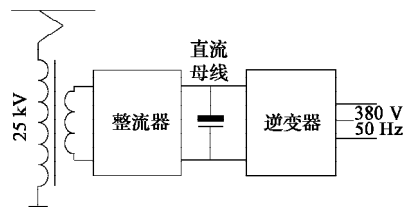


图2 辅助变流器结构框图

辅助变流器的主要作用是将牵引变压器辅助绕组输出的交流电进行整流、逆变后供给辅助系统, 使得整个辅助供电系统稳定可控, 而且在负载端根据辅助机组电机的不同类型进行负载分配和管理, 控制它们以软启动的方式投入工作, 避免了负载突投给辅助供电系统带来的电流冲击。

逆变器方案比较固定, 所带辅助机组均为三相380 V、50 Hz供电。使用电压型逆变器, 理论上的逆变系数最大可达到0.78, 但实际工程中考虑损耗及效率, 逆变系数按照0.7计算。按照输出三相线电压有效值380 V, 逆变系数为0.7, 确定直流母线电压为540 V。确定直流母线电压为540 V的依据有以下几点: ①受电压型逆变拓扑的逆变系数限制, 母线电压不可过低, 否则不足以实现所需的逆变输出; ②若母线电压较高, 则会对母线电容及逆变器中IGBT耐压有更高的要求, 这样会增加母线电容和逆变器的成本, 而且母线电容的体积也会增大; ③对辅助供电系统升级改造的原则是辅助变流器体积不应大于原有劈相机供电系统的体积, 因此后级逆变器的输出端加装滤波器的滤波效果是有限的。若母线电压较高, 逆变器经过滤波后的交流输出

存在较高的 $\frac{du}{dt}$, 这样的供电电压就会对辅助机组有很大损害甚至很有可能烧毁辅助机组。

整流器的任务就是将辅助绕组的交流输出, 依靠

电力电子器件进行整流输出稳定的540 V直流电压。目前主流的整流方案有2种:一种是利用晶闸管作为开关器件的相控整流方案,另一种是依靠IGBT作为开关器件的PWM整流方案。总的来说这2种方案在实际应用中各有利弊,下面将对这2种方案进行对比分析。

3 相控整流方案

3.1 相控整流电路基本原理

相控整流方案使用单相桥式半控整流电路拓扑结构,如图3所示。整个整流电路中包含2个晶闸管(SCR)VK1、VK2和2个二极管VD1、VD2,L为平波电抗器,Cd为直流侧支撑电容。通过控制晶闸管的导通角 α ,实现对输出直流电压的控制。电路原理较为简单,这里不做过多介绍。

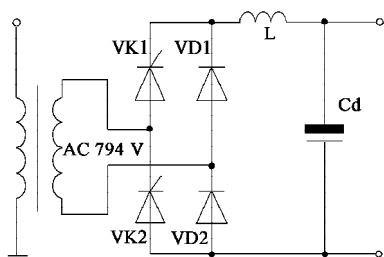


图3 相控整流方案原理图

实际应用中,给予VK1、VK2合适的触发脉冲即可实现对整个相控系统主电路的控制。触发脉冲具有以下2个特点:①触发脉冲的频率与系统输入电压频率相同;②触发脉冲的0相位参考点为输入电压的过零点。目前使用较多的是利用集成触发芯片KJ009进行脉冲发送。

在理想情况下,系统整流电压平均值为:

$$U_o = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} U_{in} \sin(\omega t) d(\omega t) = 0.9 U_{in} \frac{1 + \cos \alpha}{2} \quad (1)$$

由式(1)可知,系统的输出电压是随着控制角 α 呈非线性变化,控制角 α 的变化范围为 $0 \sim \pi$ 。若想输出540 V直流电,输入电压有效值不得低于600 V。考虑网压有时发生波动的情况,在网压的最低时刻,辅助绕组的输出不得低于600 V,即辅助绕组的额定输出不得低于 $600/(74\%)=790$ V。

3.2 相控整流方案控制策略

为了使输出电压稳定可控,引入双闭环控制,其控制框图如图4所示。其中电压环的作用是稳定输出电压,而电流环的作用是控制系统电流不超过电流保护阈值。电压给定信号 U_{ref} 与系统实际输出电压 U_o 的差值 ΔU 经过PI调节器后形成移相角参考信号 α ,经过电流内环形成移相角 α' ,同时锁相(PLL)电路对输入电压的频率和相位进行采样跟随输出同步信号,与移相角 α' 一起送入PWM生成器,输出驱动脉冲。使得系统输出电压能够围绕着设定值在一定范围内波动。

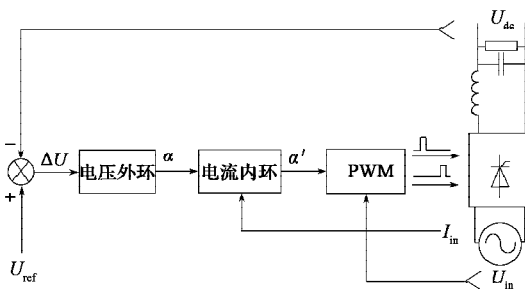


图4 相控整流方案控制策略

3.3 单相相控整流电路的仿真

根据前文的理论分析及实际需求,设计了SS_{4B}型辅助变流器的相控整流电路,采用目前应用于晶闸管控制的主流器件KJ009搭建了模型,并利用Matlab软件Simulink模块对其进行仿真分析,相控整流输入与输出电压波形如图5所示。

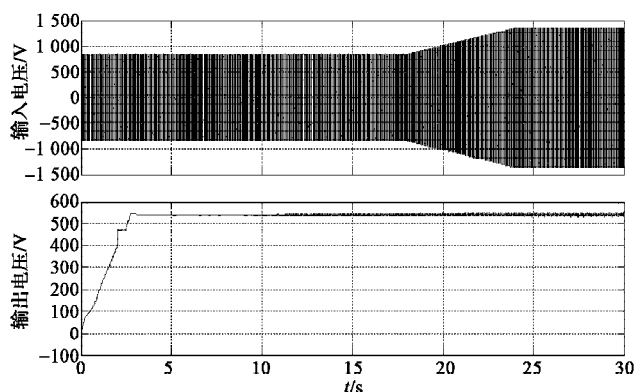


图5 相控整流输入与输出电压波形

系统在4 s时刻直流电压稳定后加载,负载的投入同样采用软启动的方式,在5 s时刻开始软启动加载,至13 s加载完成,所加负载为30 A。考虑网压在19~30 kV范围内波动,模型使用可编程电源。在0~18 s时段,电源电压为604 V,对应电网电压为19 kV;在18 s时刻开始电网电压幅值以正斜率0.1倍进行增加,至24 s,24 s时刻对应的电网电压为30 kV;24 s至30 s网压保持不变。从图5可以看出,在预充电电阻短接时刻,直流电压发生波动,但并不会对系统构成电压冲击。整流系统输出能够在加载和网压波动的情况下相对稳定,纹波电压小于10 V。

4 PWM整流方案

4.1 PWM整流电路基本原理

近几年发展起来的PWM整流电路在技术上拥有较高的先进性,具有网侧功率因数高、输入电流谐波小、能量可双向传输、动态响应速度快等优点。采用IGBT作为开关器件,相比于晶闸管,IGBT开关频率高、损耗小、功率集成度高。

PWM整流电路与相控整流电路主要功能是相同的,都可在网压波动的条件下实现稳定的直流输出,确保辅助逆变器的正常工作。相比由SCR构成的相控