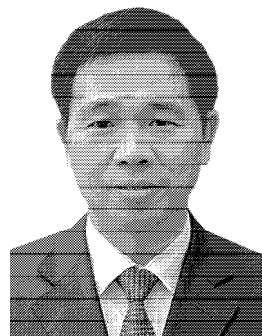


研
究
发
开

机车空调电源的比较与分析

陈泽武

(株洲南车时代电气股份有限公司 售后服务中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 陈泽武(1974-), 男, 工程师, 主要从事机车动车产品的技术支持工作。

摘要:总结了内燃机车、电力机车常用的空调电源的电路结构形式, 简单探讨了空调电源电路的设计要点, 并对电力机车的交直交与直交2种形式的空调电源电路进行了较为详细的对比分析, 指出了各自的优点与不足; 同时, 介绍了机车空调电源变频调速的一般性原理, 比较了定频与变频机车空调电源各自的优缺点。

关键词: 机车; 空调电源; 变频调速; 交直交; 直交; 内燃机车; 电力机车

中图分类号: U264.5+6; TM46 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2013)04-0044-03

Comparison and Analysis of Locomotive Air-conditioner Power Supply

CHEN Ze-wu

(After-sales Service Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001 China)

Abstract: Circuit structures of air-conditioner power supply for diesel locomotive and electric locomotive were summarized, and key points of air-conditioner power supply design were discussed. Two types of air-conditioner power supply circuit i.e. AC/DC/AC and DC/AC convert circuit were compared in detail, advantages and defects of which were pointed out. At the same time, principle of air-conditioner variable frequency speed regulation was introduced, as well as the characteristics of fix-frequency and vari-frequency air-conditioner was compared.

Key words: locomotive; air-conditioner power supply; AC/DC/AC; DC/AC; diesel locomotive; electric locomotive

0 引言

我国地域广阔, 气候条件复杂, 为了改善司乘人员的工作环境, 机车上一般均安装了空调设备, 根据外界条件, 调节司机室内的温度和通风情况。机车空调一般采用50/60 Hz, 380/440 V的三相交流的供电形式, 空调电源是空调设备的供电装置。空调电源包含主电路与控制器两部分, 主电路完成电能的转换, 控制器则实现车内的温度控制以及空调过温、过压、过流、缺相保护等功能。机车空调电源可以具备独立的电路, 也可从机车辅助电源引出电路^[1-2]。机车空调电源根据不同的应用条件式样各异, 且各有特点。

1 典型的机车空调电源主电路结构及分析

内燃机车空调电源电路的输入电源一般由辅助发电机或110 V蓄电池提供; 而电力机车空调电源的输入电源可以分为两类, 一类是取自牵引变压器的辅助绕组的交流电, 另外一类主要是针对交流传动机车, 取自主变流器中间直流环节的直流电。

1.1 内燃机车空调电源

内燃机车空调电源的典型主电路如图1所示^[3-5], 主要由Boost升压电路与三相逆变器两部分组成。主电路采用110 V直流输入, 由内燃机车的辅助发电机提供, 逆变器直流电压一般取600 V左右以适应其三相380 V交流的输出。由于实际电源在77~143 V之间波动, 采用Boost直流升压电路, 以保证在电源电压波动时直流电压仍可以稳定在600 V左右的水平。

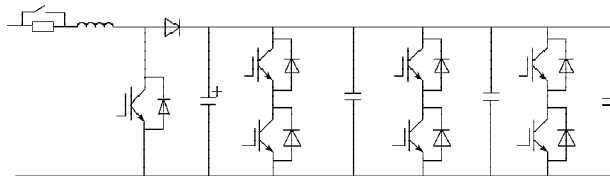


图1 典型的内燃机车空调电源电路

图1中的Boost直流升压电路如图2所示。其工作原理如下: 当开关T1开通时, 二极管D1承受中间储能电容反向电压阻断, 而L1连接电源储存磁能; 当开关T1关断时, L1储存的磁能转化为电能给储能电容充电, 由于电感反电动势的存在, 使得其输出端电压大于输入的电源电压, 从而达到提升直流电压的目的。

当电感 L_1 不发生断流的情况下, Boost 电路输出与输入电压之比为 $1/D_{\text{off}}$, 其中 D_{off} 为开关关断时间的占空比, 控制时调节占空比可使得其输出端电压维持稳定。

在大功率运用场合, 要求电感电流连续, 电感 L_1 的取值:

$$L_1 > \frac{U_o (1 - D_{\text{off}}) D_{\text{off}} T_s}{2I_o}$$

式中: U_o 为直流输出平均电压; I_o 为直流输出平均电流; T_s 为开关管开关周期。

1.2 电力机车空调电源

电力机车的空调电源常常从机车辅助电源中取出电路, 由辅助电源驱动空调机组运行。直流电力机车辅助(空调)电源输入一般取自牵引变压器的辅助绕组, 采取交直交的电路结构; 交流传动电力机车辅助(空调)电源输入既可取自牵引变压器辅助绕组, 采取交直交的电路结构, 也可以取自主变流器中间直流环节, 采取直交的电路结构。

1.2.1 交直交的电路结构

图3给出了一种交直交形式的电力机车空调电源的电路结构, 其本质就是在图1所示的内燃机车空调电源的基础上增加了二极管整流环节。输入220 V单相交流电源通过整流、升压斩波, 获取稳定的600 V左右的直流电源供给逆变器。该空调电源的优点是通用性较强, 可以同时满足电力机车、内燃机车的应用要求, 当它接内燃机车电源(DC 110 V)时, 整流桥 D_z 起防反接作用^[6]。

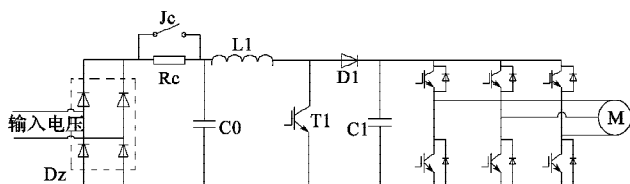


图3 采用不控整流的电力机车空调电源电路

图3中的二极管整流也可以改为相控整流, 从一定程度调节直流电压, 减少升压斩波电路的压力。在一体化设计中, 考虑到电力机车会频繁经过无电区, 在分相段自动切换到110 V蓄电池供电, 同时逆变器降频调速以降低空调输出功率, 减少空调压缩机的启/停次数。

采用不控整流或相控整流的空调电源电路在早期的机车中应用得比较多, 其结构及控制都比较简单, 但是功率因数比较低, 并且对外输出大量电流谐波, 因此, 也有文献提出在直流环节加入功率因数校正电路, 但这提高了电路的复杂度。

图4给出了采用脉冲整流器的辅助(空调)电源电路结构, 通过四象限整流将单相的交流电转化为直流电^[2], 其中变压器漏感同时作为四象限整流器的滤波电感。

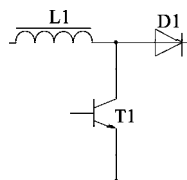


图2 Boost 直流升压电路

该电路的特点是: ①省掉了中间DC/DC环节, 直接获取稳定的600 V左右的直流电压, 并适应较大的电压变化范围, 但同时因单相整流会带来直流电压脉动; ②交流输入侧功率因数约为1, 谐波含量少, 但全控开关器件数目增加, 成本在一定程度上会提高; ③列车通过无电区时空调需停机。

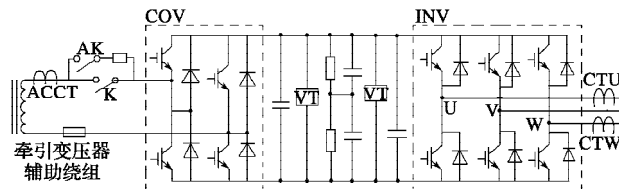


图4 采用脉冲整流的电力机车空调电源电路

1.2.2 直交的电路结构

交直交型电路结构的辅助(空调)电源可以适用于直流、交流传动的机车, 但其缺点也很明显, 比如: ①电路包含整流环节, 一方面电路及控制比较复杂, 另一方面由整流器产生的低次谐波(针对不控或相控整流器)或高次谐波(针对脉冲整流器)直接耦合到牵引变压器中, 造成铁心损耗发热及牵引变压器其他绕组电压波形变差; ②机车通过无电区空调必须停机或降低功率(由蓄电池供电), 不利于空调平稳运行。因此, 在交流传动机车中, 直交电路结构的辅助(空调)电源应用比较广泛。

直交型辅助(空调)电源是从主变流器的中间直流环节取流, 因此它只需要逆变器就可实现从直流电到三相交流电的变换。由于输入电压较高, 为使输出符合空调设备电压等级, 一般需要增加降压设备。有3种实现方式^[2,7]: 第1种是先逆变, 再通过三相降压变压器将较高的交流电压降到所要求的电压等级, 如图5; 第2种是先通过Buck降压电路将直流输入电压降低到合适的值, 再进行逆变, 如图6所示; 第3种是先将高压直流电逆变成高频交流电, 再通过高频变压器、高频整流电路转化成低压直流电, 然后逆变, 如图7。

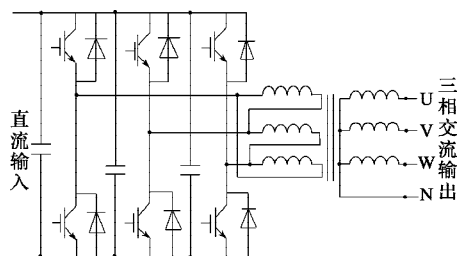


图5 采用变压器降压的电路形式

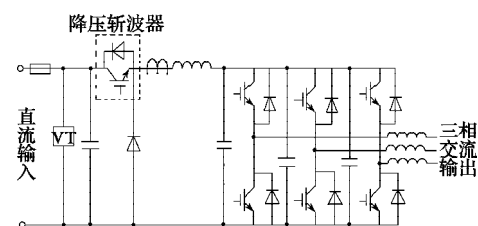


图6 采用直流 Buck 电路降压的电路形式

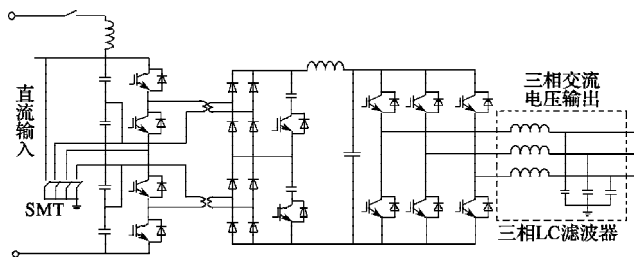


图7 采用直交直降压电路形式

上面3种方式相对而言,方式1的特点是控制较为简单,但开关管均需承担高压,降压变压器起到高低压电气隔离作用,其漏抗还可以配合滤波电容对输出交流电进行滤波,工频变压器占用空间大,成本较高;方式2相对方式1只需要采用一个高压开关管,而且没有变压器,相对成本低,但是存在降压斩波器失效时低压设备的保护问题;方式3电路结构及控制最为复杂,但是既实现了高低压间的电气隔离,又由于采用了高频变压器,其体积很小,有利于节约空间,减少机车的自重。

直交型结构的辅助(空调)电源相对于交直交型结构的辅助(空调)电源具备以下特点:①输入电源取自牵引变流器的直流环节,省去了整流环节,一体化电路更为紧凑;②需使用较高电压等级的开关器件,并且需要降压设备,成本可能会有所上升;③在机车通过无电区时,可利用制动能馈维持持续的供电,空调设备不需停机。

2 机车空调电源的控制分析

目前机车空调有定频与变频的2种供电电源方式。定频空调的压缩机频繁启停对供电设备冲击大,可靠性与可控性均较差,但是由于控制简单,本身容量相对较小,可以由统一的辅助电源提供恒频恒压供电,应用比较广泛。相对而言,变频空调需要独立的电路与控制实现,但是优点也很明显:

①节能。变频空调能实时改变工作模式,克服了普通空调频繁启停的工作方式带来的能量消耗,提高了系统的制冷/制热效率。

②启动冲击小。变频变压启动可以有效控制启动电流,减轻了对电网的冲击,并且采用恒压频比启动增强了启动转矩。通过变频方式可以平滑调节输出功率,维持机组连续运行,减少了压缩机的启停次数,延长了其使用寿命。

③舒适性高。实时调整运行模式,便于实现智能控制,以提高对司机室温度和空气的调节效率,使室内环境更舒适。

机车空调机组经常根据人们的需求以及外部环境温度的变化进行不断的调节,其归根结底是调节机组的输出功率。定频空调通过不断的启停机组实现功率调节,因而其运行是不连续的;而变频空调则是依靠电机的调速实现功率大小的平滑调节,其运行是连续

的,其运行的原理如下^[8]。

空调机组常用的交流异步电机的速度可表示为:

$$n = 60 \frac{f_1}{p} (1-s)$$

式中: f_1 为异步电机供电电源频率; p 为异步电机的极对数; s 为异步电机的转差率。

显然,改变电源频率 f_1 可以方便实现电机的速度调节。只要输出频率可平滑调节的变频电源,就能平滑无级地调节空调异步电机的转速。

而根据异步电机电动势有效值表达式:

$$E = 4.44 f_1 N_1 k_{N1} \Phi_m$$

式中: f_1 为供电电源频率; $N_1 k_{N1}$ 为定子绕组有效匝数; Φ_m 为气隙磁通。

所以当电源频率调节时,按比例同步调节电机电动势 E ,能够维持 Φ_m 不变,以利于铁心材料的充分利用,保证电机最大输出转矩,即调速时使得 $E/f_1 = C$;若忽略定子漏阻抗压降,则只需使得 $U_1/f_1 = C$,其中 U_1 为定子端电源的电压,实现所谓的恒压频比控制,如图8中曲线 a 所示。当定子电源频率低于额定电压 f_{IN} 时,进行恒压频比控制,而当定子电源频率高于额定电压 f_{IN} 时,维持电压幅值为 U_{IN} ,继续提升电源频率。

实际控制中,低频时定子漏阻抗压降不能忽略,作为补偿,此时可适当抬高定子电压,如图8中曲线 b 所示^[5]。

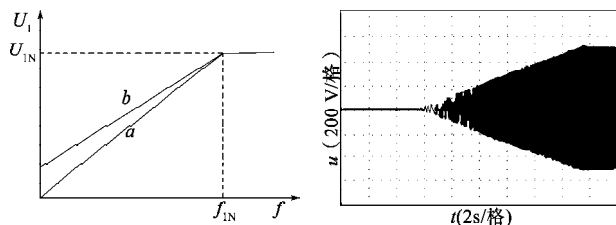


图8 空调电机恒压恒频控制 图9 空调电机启动电压波形

空调电源的逆变器根据电源频率计算出输出电压幅值,再采用正弦脉宽调制(SPWM)的方法,实现对输出电压的幅值与频率的控制。逆变器启动(停机)时,逆变器的运行频率 f_{run} 以不同步长缓慢变化,直到 f_{run} 等于启动结束频率(零频率);启动结束后,将设定的温度值与当前温度检测值进行比较,根据两者的差异选择逆变器的设定频率 f_{set} 。如果 f_{set} 低于额定频率,根据 $U/f_{run} = C$, f_{run} 缓慢逼近 f_{set} ,当 $f_{run} = f_{set}$ 时,达到设定的工作状态。如果 f_{set} 高于额定频率,输出电压保持额定值不变, f_{run} 跟随 f_{set} 变化。采用上述的控制方法,可以实现对空调功率平滑连续调节,最大限度降低冲击^[3]。图9显示了空调电机启动时的电压波形^[9]。

从已有文献来看,定频与变频2种方式的机车空调电源都有较为广泛的应用。变频空调电源性能优异,但往往需要单独电路与控制来实现,似乎与机车的简化与轻量化设计原则不符,但适合于独立成熟的机车空调电源产品;定频的空调电源则 (下转第50页)

