

[励磁电源]

电动振动台可调励磁电源设计

文 / 北京强度环境研究所 北京市振动测试设备工程技术研究中心
张红彩 张奎华 夏树杰 张巧寿

本文介绍了一种电动振动台可调励磁电源的工作原理和系统构成，并给出了三相桥式全控整流电路和晶闸管触发电路的详细设计过程，以及其他电路的设计方法。实际试验效果良好，实现励磁电压全程连续可调。

电动振动台利用电磁学原理产生振动，可以对产品和试件进行力学环境试验和可靠性试验，广泛应用于国防军工、航空航天、船舶、铁路、汽车和电子等行业中。电动振动台系统主要由振动台体、功率放大器、励磁电源和控制仪组成，其主要部件之一的励磁电源是用来给振动台静圈绕组供电从而产生恒定磁场的设备。励磁电源的工作原理是从电网获得三相交流电，然后经过三相整流、滤波得到直流电，送入振动台静圈。传统的振动台励磁电源采用三相桥式不可控整流电路结构，整流元件采用电力二极管，利用二极管自然换相将三相交流电整流成电压固定的直流电，由于其电路结构简单，输出直流电压谐波较小，得到了广泛的应用。但是传统励磁电源的整流电压不可控，无法实现励磁功率的调节，在小量级试验或者暂停试验时，励磁电源始终满功率工作，消耗大量能量。此外，由于振动台静圈是一个感性绕组，在励磁电源关闭瞬间存在较大的反电动势，经常造成电源损坏，而现有励磁电源因为缺乏相应的保护电路导致故障率高、可靠性差。针对上述问题，本文设计了一种基于晶闸管和CA6100触发板的电动振动台可调励磁电源，采用三相桥式全控整流电路结构，实现励磁电压全程连续可调，设备工作安全可靠，取得了不错的效果。

系统构成

本文设计的电动振动台可调励磁电源，主要由

励磁切换装置、整流变压器、全控整流电路、滤波电路、触发控制电路、吸收电路和保护电路组成。原理框图如图1所示，三相交流电首先经过励磁切换装置选择相应的档位，然后经过整流变压器变压进入全控整流电路，全控整流电路设计有相应的触发控制电路、吸收电路和保护电路，整流后的脉动直流电经过滤波电路滤除交流纹波，得到稳定的直流电送入振动台静圈。

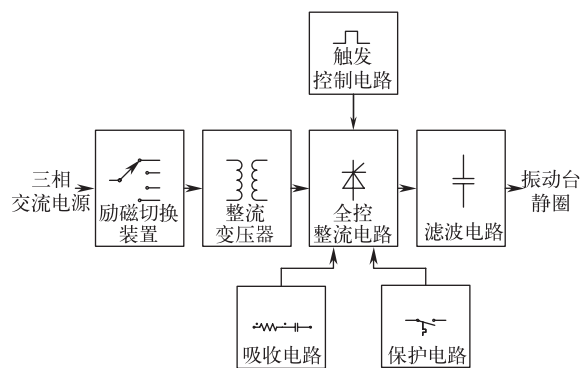


图2 可调励磁电源原理框图

三相桥式全控整流电路设计

下面以60 kW可调励磁电源为例，介绍全控整流电路的设计方法。60 kW可调励磁电源为30 t电动振动台静圈提供直流电源，最大输出电压150 V，最大输出电流400 A，要求输出直流电压脉动小，且连续可调。主电路采用三相桥式全控整流电路

结构,如图2所示。整流变压器采用星形-三角形接法,可使3的倍数的高次谐波作用被抑制而不会窜入交流电网引起电压畸变。整流元件采用晶闸管,通过对晶闸管实行有效的门极触发,可得到不同的整流控制角,从而实现整流电压0~150 V连续可调。

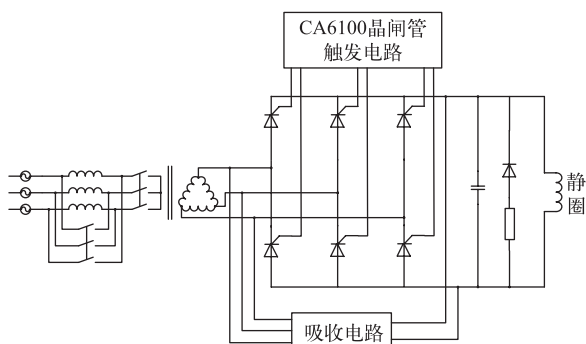


图2 可调励磁电源电路结构图

具体的选型设计参数计算如下:

整流变压器二次侧相电压 U_2 表达式为

$$U_2 = 1.1 \times \frac{U_d}{2.34} = 1.1 \times \frac{150}{2.34} = 70.5 \text{ V}$$

式中, U_d 为负载最大直流平均电压。实际应用中,考虑到线路压降损耗以及留出一定的功率裕量, U_2 一般取额定值的1.1倍。

晶闸管额定电压 U_T 表达式为

$$U_T = (2 \sim 3) U_m = (2 \sim 3) \times \sqrt{6} U_2 = 345.4 \sim 518.1 \text{ V}$$

式中, U_m 为晶闸管在电路中实际承受的峰值电压,对于三相桥式全控整流电路 $U_m = \sqrt{6} U_2$ 。实际应用中,考虑到操作过电压等因素以及留出一定的安全裕量, U_T 一般取额定值的2~3倍。

晶闸管额定电流 I_T

$$I_T = (1.5 \sim 2) k_{fb} I_d$$

式中, I_d 为负载最大直流平均电流; k_{fb} 为晶闸管通态平均电流计算系数,对于三相桥式全控整流电路而言,电阻负载时 $k_{fb}=0.368$,电感负载时 $k_{fb}=0.367$ 。实际应用中,考虑到元件过热等因素以及留出一定的安全裕量, I_T 一般取额定值的1.5~2倍。由于电动振动台静圈属于电感负载,因此本系统取 $k_{fb}=0.367$,代入上式,计算可得

$$I_T = (1.5 \sim 2) \times 0.367 \times 400 \text{ A} = 220.2 \sim 293.6 \text{ A}$$

综上所述,本系统选取晶闸管的额定电压为400 V,额定电流为250 A。

晶闸管触发电路设计

传统的三相晶闸管触发电路普遍采用模拟电路来实现,元器件参数影响大,抗干扰能力差,可靠性差,容易造成触发信号甚至造成晶闸管损坏。本文选用CA6100晶闸管触发板,它是以40芯CMOS大规模集成电路为核心,利用锁相环技术(PLL)和多芯片合成技术(MCM),根据压控振荡器(VCO)锁定的三相同步信号间的逻辑关系设计出的一种晶闸管触发系统。0~5 V的直流输入电压信号,可以控制输出脉冲的移相范围从5°~175°连续线性可调。CA6100触发板集缺相保护、软起动等功能为一体,功能密集程度较高,不必再另外设计检测控制电路,能够保证有效的传输控制信号,极大地提高了励磁电源系统的可靠性。

图3为可调励磁电源触发电路连接图。220 V交流电源从J4输入,可调励磁的增益旋钮连接至J3的1、3、4端,用来调节输出励磁电压大小。增益旋钮的自带开关以及可调励磁电源的过温保护开关连接至J3的1、2端,实现整流电路软停功能,此外本文还设计了快停功能以应对励磁电源在工作中出现突发紧急情况。J1、J2输出触发脉冲直接连接至三相桥式整流电路的6路晶闸管的门级。实际应用中发现可调励磁触发电路输出的三相触发脉冲具有高度的对称性、均衡性以及良好的控制线性度,调压方便,性能可靠。

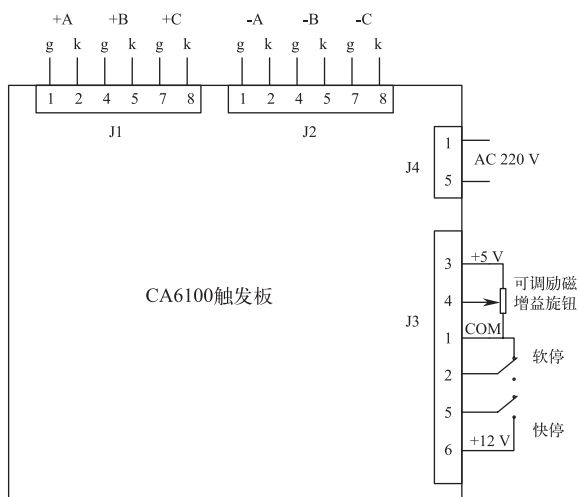


图3 可调励磁电源触发电路连接图

其他电路设计

励磁切换装置的作用是用来选择整流变压器档

位,可以分为2~3个档位,也可以分更多档位,采用交流接触器组来控制连接不同的整流变压器抽头,或者改变整流变压器绕组的连接方式,最终改变整流变压器的输出电压。励磁切换装置采用这样的设计后,就可以根据需求选择相应的档位,每一档都可以输出该档位额定电压的70%~100%,极大地降低因晶闸管整流带来的谐波电流,也极大减轻了滤波电路的压力,在低电压输出时能够长时间正常工作,实现全程连续可调功能。励磁切换装置采取的是改变整流变压器绕组的连接方式,变压器前级安装有两个交流接触器,根据用户的档位选择分别吸合,从而使得整流变压器一次绕组在星形和三角形两种连接方式中切换,通过这种切换可获得100%和70%两个档位的整流变压器电压比。

在整流主电路中,为了抑制晶闸管的电压上升率 dv/dt ,本文还设计了晶闸管吸收电路,如图4所示,主要由阻容吸收网络组成,并联在晶闸管两端,避免晶闸管误导通,保护整流元件。同时为了抑制雷击等原因产生的短时间、高峰值和大能量的过电压损坏晶闸管,吸收电路中设计有压敏电阻保护。吸收电路需要尽量靠近晶闸管,以减少线路寄生电感。

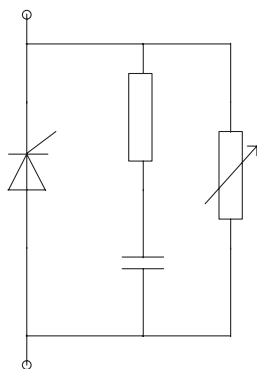


图4 晶闸管吸收电路图

为了解决现有励磁电源故障率高的问题,本文专门设计了保护电路,包含两个温度开关和一个反电动势吸收装置。温度开关安装在整流电路散热器上,尽量选择温度最高的地方,保护晶闸管开关管不至于过热烧毁。反电动势吸收装置由一个二极管和一个电阻串联组成,反向并联在电源输出端,当振动台静圈产生反电动势时,电流通过二极管和电阻释放,对电源装置起到保护作用,提高了系统的安全性和可靠性。

实际试验效果

图5为30 t电动振动台可调励磁电源装置实物照片,三个晶闸管半桥模块安装在一整块散热器上,左上蓝色电路板即为CA6100触发板,紧邻晶闸管门级端减小线路寄生电感,双路触发信号采用双绞线提高信号传输的抗干扰能力,左下晶闸管吸收电路尽量靠近晶闸管模块提高吸收效果。实际试验发现励磁电源工作稳定可靠,励磁电压调节平滑且连续,输出直流电压纹波小,取得了不错的效果。EA



图5 30 t电动振动台可调励磁电源装置

(收稿日期: 2021-03-10)

