石油管线电伴热系统恒流源设计

电伴热系统是维持生产温度最有效、最先进的方法。在使用过程中，往往会由于电伴热带的剪裁和拼接而引起工作电流的变化，从而引起电能浪费、电伴热带烧毁的后果。基于此，以石油管线电伴热系统为研究对象，通过对其工作环境的分析，提出了一种通过调节电压而维持电流恒定的恒流电源设计方案。设计的基于三相斩控式交流调压电路的恒流电源，其控制简单、成本低，能够实现电压的连续可调，并且工作在电流闭环模式，使输出电流稳定而不受干扰。仿真和实验表明，该方案有效地保护了电伴热带，保证系统的正常工作，可以显著提高企业的经济效益。

潘　攀／神华黄骅港务有限责任公司

潘　攀／高级工程师

关键词／Keywords

电伴热带·
恒流电源·
交流调压·
三相斩控式调压电路·

电伴热产品可广泛用于石油管道、纸浆生产、消防系统、发输电站、液体储藏和水管水泵等领域，起着伴热、保温、防凝和防冻的重要作用，是维持工艺温度最有效、最先进的方法[1]。市面上购买的电伴热带往往长度固定，而在使用过程中，根据环境的需要对电伴热带进行合适的裁剪或拼接是很有必要的。但因其工作电流恒定，当电伴热带长度变化时等价于负载电阻变化，而在原电压下电流大小会随之变化，可能会导致达不到伴热效果，或者损坏甚至烧毁电伴热带。

针对以上存在的问题，本文以石油管线电伴热系统为研究对象，通过对其工作环境的分析，设计了一套三相斩控式交流调压电路[2-3]。该系统包括主电路和控制电路两大部分。其中主电路为交流调压电路，可以随负载的变化动态地调节输出电压，从而使电流保持不变；控制电路包括IGBT驱动电路、电流检测电路、按键输入电路和显示电路等几部分，可以实现电流的闭环控制，使输出电流更加稳定[4]。仿真和实验表明，该方案输出电流稳定可调，有效地保护了电伴热带，经济效益显著。

整体方案设计

石油管线电伴热系统所使用的是三相恒功率并联电伴热带[5]，内部发热丝采用并联连接方式，采用三相三角形供电，在通电后输出功率始终恒定不变。电伴热带工作电压为AC 380 V，频率为50 Hz，最大负载电流为20 A。在对电伴热带剪裁使用时，电阻丝长度变短，电路负载减小，此时若电伴热带仍工作在同样电压下，会使流过电伴热带的电流增大，从而损坏甚至烧毁电伴热带。

为解决这一问题，本文设计出一种通过调节电压而使输出电流恒定的可调电源系统，整体设计框架如图1所示。该系统包括主电路和控制电路两大部分。其中主电路为交流调压电路；控制电路包括IGBT驱动电路、电流检测电路、按键输入电路和显示电路几部分。

首先，通过按键设定负载所需的工作电流值，单片机接到指令后根据内部存储的负载电阻估计值，初步计算判定所需电压的大小，从而发出相应占空比的PWM信号，经过IGBT驱动电路，将信号传递给交流调压电路，调节负载上所加电压的大小。同时，使用电流互感器实时检测负载上电流的大小，经过A－D转换后传递给单片机，单片机将实际检测到的电流值与按键设定的电流值进行比较，来判断应该增加还是减小电压

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

值，从而发出新的电压值所对应占空比的PWM信号，再次经驱动电路将信号传递给交流调压电路，调节负载电压的大小。系统运行期间，电流互感器不断地采集电流信号，形成电流闭环控制，使输出的电流更加稳定、准确。

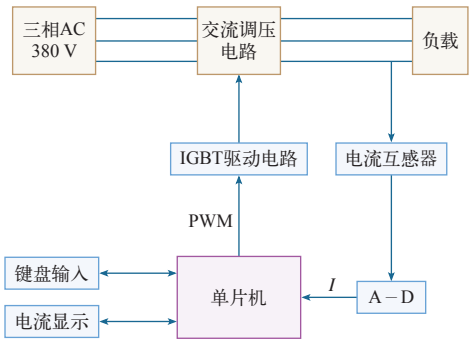

图1　系统整体框架图

主电路设计

主电路要将输入的三相AC 380 V，转化为100～380 V可调交流电，故主电路采用三相交流调压电路。交流调压主要有：通断控制方式、相位控制方式和斩波控制方式。基于全控器件的斩控式交流调压方式，利用高频PWM脉冲，通过改变功率器件的开关周期来调节输出电压的大小，其输出电压连续可调，不含低次谐波[6]。

如图2所示，全控器件V_1、V_2和V_3构成主控制电路，V_4、V_5和V_6构成续流回路。工作过程中，V_1、V_2和V_3周期性地将三相负载与三相交流电接通与断开，通过改变三个开关的输出频率，可以调整输出电压的大小；在V_1、V_2和V_3关断期间，负载电流通过V_4、V_5和V_6进行续流。为了防止因短路而使开关管烧毁，V_1与V_4、V_2与V_5、V_3与V_6开关时序互补，不允许同时导通，在其驱动信号

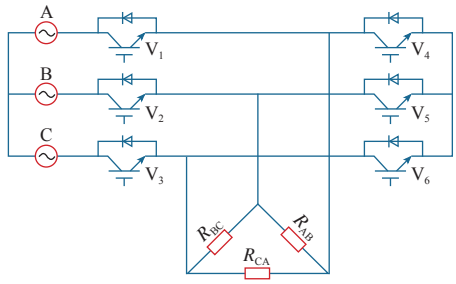

图2　三相斩控式交流调压电路

之间设有死区时间。

以单相电路为例，设电源输入电压为

$$u = U_m \sin 2\pi ft \tag{1}$$

则理想情况下输出电压为

$$u_0 = E(t)U_m \sin 2\pi ft$$
$$= DU_m \sin 2\pi ft + \frac{U_m}{\pi}\sum_{N=1}^{\infty}[\sin 2N\pi D \cdot \tag{2}$$
$$\cos 2N\pi f_s t + (1-\cos 2N\pi D)\sin 2N\pi f_s t]$$

式中，$E(t)$为开关控制函数；D为PWM波占空比；f_s为开关频率。

经LC滤波后则有

$$u_0 = DU_m \sin 2\pi ft = Du \tag{3}$$

此次设计以IGBT作为主电路的开关器件。本课题电伴热带负载额定电压为380 V，最大工作电流为20 A。这样，交流调压电路中开关器件所承受的正反向峰值电压即导通时承受的峰值电流分别为

$$U_{IRM} = 1.414 \times 380\ \text{V} = 537.32\ \text{V}$$
$$I_{IRM} = 20\ \text{A} \tag{4}$$

根据实际经验，在选择开关器件的时候一般按2～2.5倍留有裕量，这里按2倍计算其额定值

$$U = 2U_{IRM} = 2 \times 537.32\ \text{V} = 1\,074.64\ \text{V} \tag{5}$$
$$I = 2 \times I_{IRM} = 40\ \text{A} \tag{6}$$

根据以上计算，选取开关器件型号为FGA50N120ANTD，其最大工作电压为1 200 V，开启电压为15 V，最大的工作电流为50 A，开关控制频率为8～40 kHz。

控制电路设计

控制电路要输出PWM波对IGBT进行有效控制，并且具有电流检测、按键操作和数码管显示功能。其中，单片机控制PWM波的输出，PWM波控制IGBT驱动回路使其控制IGBT的有效开通与关断，电流检测电路能够对负载电流进行实时监测并通过数码管显示出来，检测回来的电流与按键输入的电流大小进行比较，控制PWM的占空比，从而有效地调节输出电压，维持电流恒定，整个控制电路构成电流闭环控制。

本次设计采用STC89C52单片机作为核心控制器，其具有简单、廉价、功能丰富和扩展性能

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

好等优点，可以满足控制需要。在斩控式调压阶段，需要利用高频PWM脉冲来周期性地开通或关断IGBT，从而实现调节电压的目的。因此需要利用单片机内部定时器，输出两路互补的PWM波，并经驱动电路控制IGBT开通和关断。驱动电路采用日本富士公司生产的EXB841芯片。在使用过程中，针对其存在的尖峰电压易损坏、负偏压不足，以及虚假过电流、保护盲区等问题，对IGBT驱动电路做出了如图3所示的改进。为了构成闭环控制，需不断检测负载中电流，选用立式穿芯小型精密交流电流互感器TA1420－04进行电流检测，并以8位串行A－D转换器芯片TLC549进行模数转换，反馈给单片机。其他辅助部分还有诸如矩阵键盘输入，用于设定初始电流值；数码管显示，用于实时显示当前电流大小等。

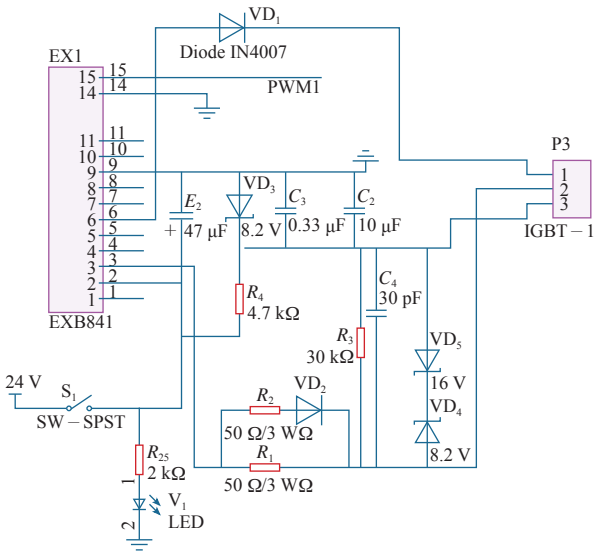

图3　IGBT驱动电路

整体控制流程如图4所示。软件上主要负责电流的闭环控制以及PWM波的生成。首先进行芯片的初始化，以及初始电流值输入等工作；之后经TLC549不断获取实际电流值，通过PI控制调整PWM波占空比，数码管实时显示当前电流值；同时定时器不断计数，经中断生成PWM信号，程序依次循环执行。

系统仿真与实验

主电路利用Matlab软件进行了仿真模拟，在不

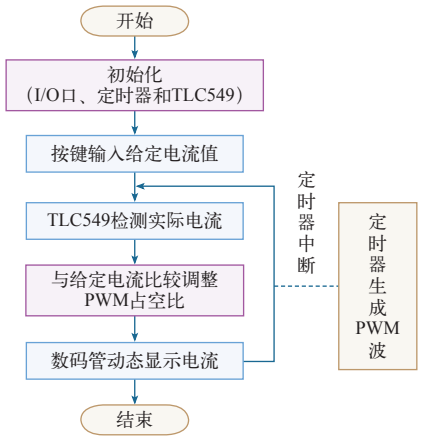

图4　程序流程图

同PWM脉冲占空比下，得出了相应输出端的电压和电流波形。

当输入为三相AC 380 V，频率50 Hz，负载电阻为50 Ω，PWM波频率为1 kHz，占空比为50%时，主回路负载电流波形图如图5所示。其中，横坐标为仿真时间，纵坐标为瞬时电流值，从上到下3个波形分别对应3段负载电阻。由图5可知，电流被斩断成高频脉冲，脉冲频率为1 kHz，幅值维持原时刻下电流的瞬时值，占空比为50%，电流有效值发生改变，符合PWM控制效果。

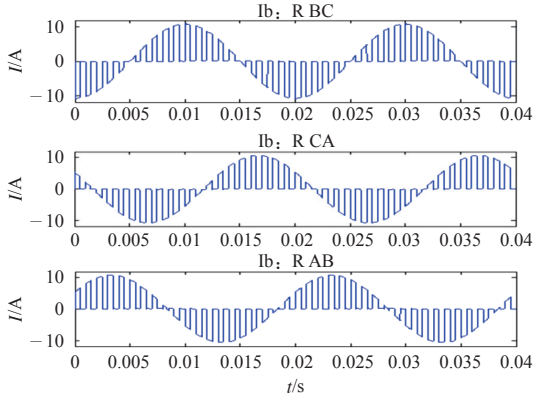

图5　负载电流波形图

由此可知，通过调节PWM波的占空比，可以实现电压的连续可调，从而起到维持负载电流恒定的效果。

完成仿真研究后，进行了控制电路样机制作，进行了实验调试。

利用定时器使单片机P10、P11口输出电压幅值为5 V，频率为1 kHz，占空比为50%的两路互

(下转第118页)

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表2 设备电压控制参数

输入电流/mA	波动范围(%)	控制时间/s	输入电流/mA	超调范围(%)	控制时间/s
2.5	13	1.6	8.5	33	2
3.1	15	1.8	3.1	44	2.2
6.6	20	1.8	7.7	66	1.7
7.3	32	3.1	2.3	45	1
7	44	3.9	15	60	1.7

结束语

本文提出了一种基于多层去噪神经网络的电压调节方法，并应用到智能电气的节能设计中，首先通过设计去噪模型，消除电压控制中的过控制和模糊控制等弊端。通过设定误差产生，保证控制准确度，设计多层神经网络模型，对电压进行智能控制，进而实现对电压强度的准确控制，达到节能的目的。实验结果说明，这种方法可以对智能建筑中的控制准确度进行有效的改进，并且在节能方面也起到了很好的效果。

参考文献

[1] 杨伟清，王化祥．智能电气阀门定位器的参数自整定 [J]．电子测量技术，2008，1 (31)：39-42．

[2] Shinskey F G．Process control systems- application，design and tuning [M]．北京：清华大学出版社，2004．

[3] 解怀仁．智能型电气阀门定位器 [J]．化工自动化及仪表，1995，22 (2)：51-55．

[4] Harsha S P．Nonlinear dynamic analysis of a high-speed rotor supported by rolling element bearings [J]．Journal of Sound and Vibration，2006 (290)：65-100．

[5] 李东明，孙宝元，张化岚，等．气动执行器技术现状与展望 [J]．化工自动化及仪表，2003，30 (2)：73-75．

(收稿日期：2014－12－09) EA

(上接第102页)

补PWM波，对应的IGBT驱动电路输出的PWM波形如图6所示。其中，横坐标为时间，纵坐标为电压幅值，上下两段波形分别对应两路PWM脉冲信号。由图6可知，方波频率为1 kHz，占空比为50%，正偏压约为15 V，负偏压约为－7.5 V，能够有效地驱动IGBT。

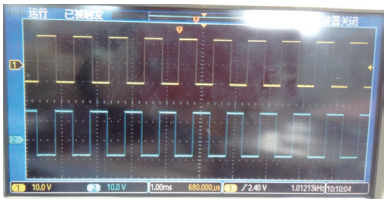

图6 PWM脉冲信号

由此可知，通过单片机定时器，可以实现任意频率和占空比的PWM信号输出，并且该信号可以触发IGBT驱动电路，使其发出频率和占空比相同但电压幅值不同的PWM信号，驱动电路输出的PWM波其正负偏压可以满足对IGBT驱动的要求。

结束语

本论文以石油管线电伴热系统为背景，针对电伴热带工作过程中电流不恒定，导致电伴热带烧毁的问题，设计了一套输出电压可调的恒流源方案，仿真结果和实验测试都表明该方案具有控制简单、成本低等优势，能够切实地解决企业的实际问题，具有很好的发展前景。

参考文献

[1] 高峰．恒功率电伴热带在生产中的应用 [J]．电工技术，2012，8 (3)：55-57．

[2] 翟晓烨．三相交流调压电路的仿真与研究 [J]．科技资讯，2009 (33)：243-245．

[3] 尚明伟，孙佃升．斩控式三相交流异步电动机节能控制技术的研究 [J]．电气应用，2012 (4)：26-28．

[4] 荣军，张敏，李一鸣，等．基于单片机的恒流源技术研究 [J]．电子器件，2011，34 (1)：63-65．

[5] 黄守道，张铁军，陈颖，等．一种三相PWM整流器控制方法研究 [J]．电气应用，2005 (3)：106-109．

[6] 张伟．电伴热在长距离PX输送管线中的应用 [J]．石油化工设计，2010 (1)：52-53．

(收稿日期：2014－12－15) EA

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net