

大型开沟铺管机自动控制系统的研制*

王丽丽¹, 胡小安¹, 伟利国¹, 刘 刚², 张小超¹

(1. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083;

2. 中国农业大学 现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为了解决1KPZ-250型开沟铺管机自动控制系统中的关键问题,在分析其工作原理和基本结构的基础上,将液压驱动技术、电液调控技术、传感器技术、GPS技术、人机环境工程模块化技术等应用到机器中,提出了车体姿态、自动行走和开沟深度的自动控制方法,并总体设计了开沟铺管机的车体自动调平控制系统、自动导航控制系统和激光高程控制系统。研究表明,该系统的动态品质较好,当车体倾斜时能自动将其调节到水平位置;机器能够按照预定的路径实现自动导航,偏差误差控制在 ± 10 cm以内;开沟铺管的高程误差可控制在 ± 20 mm以内,能够满足控制系统的要求。

关键词: 开沟铺管机; 自动调平; 自动导航; 高程控制

中图分类号: S222; TH39; TP274 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2012)12-1448-05

Development of automatic control system on large-sized trencher and pipe-layer

WANG Li-li¹, HU Xiao-an¹, WEI Li-guo¹, LIU Gang², ZHANG Xiao-chao¹

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Modern Precision Agricultural System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to solve the key problems of 1KPZ-250 trencher and pipe-layer, hydraulic drive technology, electro-hydraulic control technology, sensor technology, GPS technology, human-machine environment engineering modularization technology were applied to the machine on the basis of analyzing its working principle and basic structure. Thus automatic control method in automatic level, automatic walking and ditching depth was put forward, besides, the automatic leveling control system, automatic navigation control system and laser height automatic control system were overall designed. The results indicate that, the dynamic quality of the system is good, it can automatically be adjusted to the horizontal position when the body is tilted; the machine can realize automatic navigation according to a predetermined path, and the yaw error can be controlled within 10 cm; ditching pipe laying elevation error can be controlled within 20 mm, it can meet the requirement of control system.

Key words: trencher and pipe-layer; automatic level control; automatic navigation; height control

0 引言

目前,我国约有8 800万亩盐碱地需要治理和改造,如果依靠人工开沟铺管,不仅效率低、劳动强度大、作业成本高,而且工程质量也难以保证。暗管铺设、滤水排碱是暗管改碱工程中的一项重要内容^[1-6]。

国外的开沟铺管装备生产效率高、施工质量好,但设备价格昂贵、技术支持困难;我国现有的自走式开沟铺管机存在马力小、工作速度低、自动化程度不高等缺陷,因此,迫切需要开发研制出适合我国国情、拥有自主知识产权的大马力、高速作业、自动控制的暗管改碱成套装备。

收稿日期: 2012-09-26

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2009BAC55B01)

作者简介: 王丽丽(1986-),女,湖北随州人,主要从事农业机械自动测量与控制方面的研究。E-mail: lily979608886@163.com

本研究详细介绍1KPZ-250型开沟铺管机各部分控制系统的设计方案,并通过实验验证其可行性。

1 总体介绍

1KPZ-250型开沟铺管机为履带自走式,整机全液压驱动、电脑控制,极易操作和掌握,而且驾驶室采用人机工程理论设计,宽敞舒适,可视度高。该机主要由动力系统、电气系统、挖掘系统、液压系统、行走驱动系统、驾驶室等组成^[7],1KPZ-250开沟铺管机整机图如图1所示。

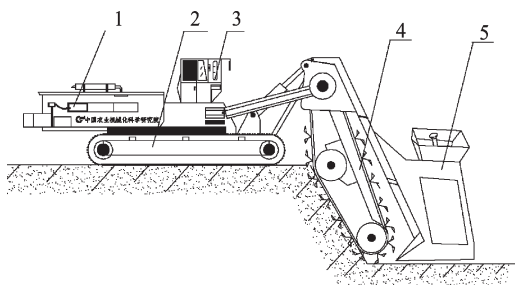


图1 1KPZ-250开沟铺管机整机图

1—液压系统;2—行走驱动系统;3—电气控制系统;4—挖掘系统;5—管箱

为了保证作业质量,本研究需要对1KPZ-250型开沟铺管机的车体姿态、自动行走和开沟深度进行控制,即车体自动调平控制系统、自动导航控制系统和激光高程控制系统。下面分别对这3个控制系统进行介绍。

2 车体自动调平控制系统

施工时,为了保证开沟面与水平面相互垂直,需要对车体的横向姿态进行自动调平。在结构设计上,车体铰接于行走大梁中轴线的前、后铰接点,并在车体一侧安装一个液压油缸以形成三点支撑。在自动调平控制系统中,执行元件是液压油缸,受控对象是开沟铺管机的车体,测量装置是倾角传感器。如果农田地块不平,就会使车体的平衡受到破坏,引起车体的左右倾斜,而固定在车体平衡梁上的倾角传感器感知这种变化产生误差信号后,通过单片机控制器发出指令,对误差信号作出相应地处理,再给油缸发出控制信号,以调节车体姿态,从而达到预期要求。

控制系统的原理图如图2所示。调平控制器根据倾角传感器采集到的角度信息做出决策,若车体倾斜,则给开关电磁阀一个高电平信号,电磁阀接通,通过油泵的进出油对车体倾斜油缸进行控制,从而最终实现车体平衡梁的调平控制,再通过倾角传感器不断地采集,实现系统的负反馈控制。

2.1 控制系统硬件设计

控制系统硬件设计框图如图3所示。整个控制系

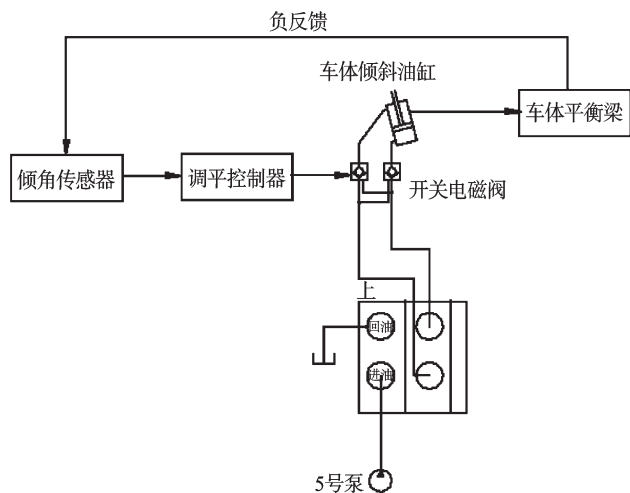


图2 自动调平系统原理图

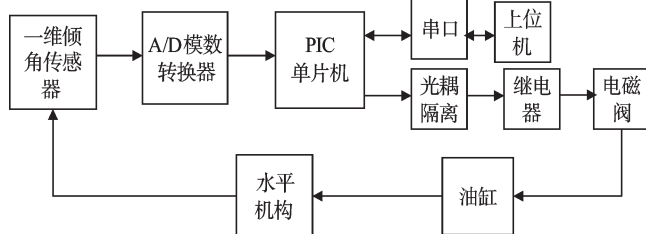


图3 控制系统硬件设计框图

统由SCA60C:N1000060倾角传感器、AD7706转换器、PIC单片机、上位机、电磁阀、油缸等几部分组成。

在本研究中,单片机选用的是美国Microchip公司生产的高性能处理芯片PIC18F2580。该芯片采用低功耗的纳瓦技术,片内具有16 KB Flash,有多个时钟源可供选择,内部集成了10位A/D转换器、CAN总线模块、主同步串行MSSP模块、增强的可寻址USART等模块^[8]。

在该系统中,由于只需要测量一个方向的倾角,即横滚角,则选用单轴倾角传感器就能满足要求,本研究选用了一款低价、低功耗的单轴角度传感器SCA60C-N1000060,由芬兰VTI公司生产。SCA60C实际上是一个加速度计,内部由传感芯片和信号调理ASIC组成,通过测量地球引力在测量方向上的分量,再将其转换为倾斜角度,在倾角测量方面有较广泛的应用。测量时需要与测量平台保持平衡,由于在传感器内部增加了阻尼,它对振动不敏感,能承受高达20 kg的机械冲击力,它的测量范围是 $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$,单极+5 V供电,模拟电压0.5 V~4.5 V输出,倾角和输出电压之间存在的关系是 $\alpha = \arcsin(0.5V_{out} - 0.25V_{dd})$,在小角度范围内,可以认为是线性变化的。工作温度范围宽,由于传感器输出的是模拟电压,本研究需要用A/D芯片来完成采样。

AD7706是AD公司新推出的16位 $\Sigma-\Delta$ 型A/D转换器,带有增益可编程放大器,可以通过软件编程直接测量传感器输出的各种微小信号,具有分辨率高、动态范围广、自校准等特点,AD7706具有3个准差分

输入通道,采用5 V工作电压,功耗低,使用方便,只需接晶体振荡器、精密基准源和少量去耦电容即可连续进行A/D转换^[9-10]。

通信时本研究将AD7706的引脚分别与PIC18F2580的RC0-RC5连接,能保证可靠的复位和读取最新的转换结果,PIC通过访问AD7706的片内通讯寄存器、设置寄存器、时钟寄存器、数据寄存器等来决定执行读/写等操作。

控制系统控制的是开沟铺管机上的开关电磁阀,当传感器检测到的信号不在“死区”范围内时,单片机需要给电磁阀一个高电平信号,将电磁阀打开,驱动油缸动作,直到实现控制系统的要求为止。为了对负载进行隔离,设计时本研究采用了TLP521隔离元件, R_{11} 和 R_{13} 是输入限流电阻,将光耦中的发光二极管电流限制在10 mA~20 mA,输入端靠光信号耦合,在电气上做到了完全隔离,同时,发光二极管的正向阻抗值较低,而外界干扰源的内阻一般较高,根据分压原理,干扰源能馈送到输入端的干扰噪声很小,不会产生地线干扰或其他干扰,增强了电路的抗干扰能力。

2.2 现场试验

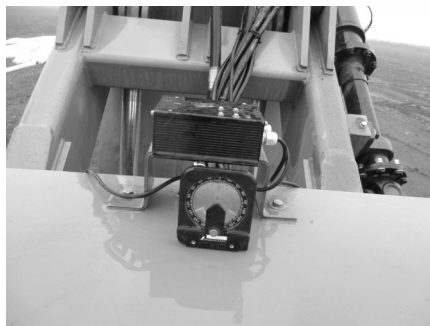
试验在山东省东营市广饶县丁庄镇广北农场二分场进行,控制器安装图如图4(a)所示。本研究将控制器安装在车体的平衡梁上,机器行驶速度为1.02 km/h,大约行驶200 m。当系统上电后,记录车体在行驶过程中的实时电压值,并将各个时刻的电压值通过串口调试助手显示出来。死区设置为[32 477,33 059],相当于输出电压为[2.48,2.52],设定采样间隔为5 ms,机器在行驶过程的角度变化曲线如图4(b)所示。

由图4可知,当车体倾斜角度超过 $\pm 1^\circ$ 时,对应的电磁阀有控制信号输出,控制系统最终可以将倾斜角度控制在 $\pm 2^\circ$ 范围内,能够达到实际应用的要求。

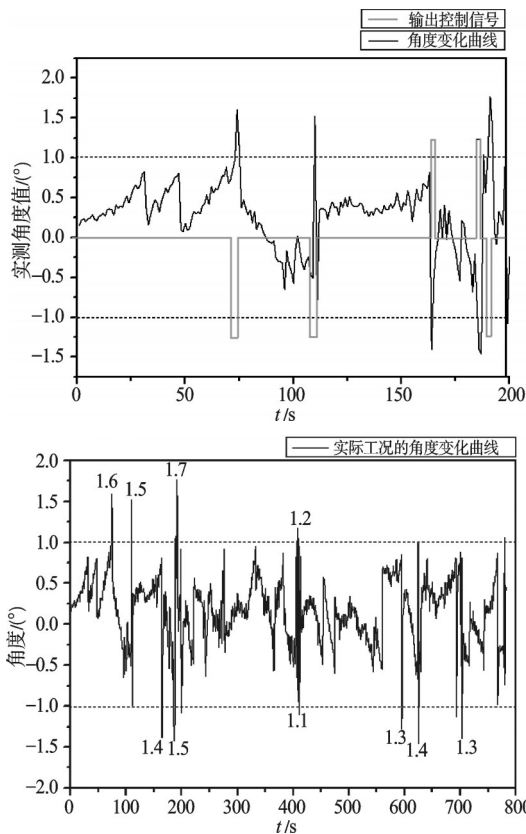
3 自动导航控制系统

3.1 控制系统硬件设计

为了实现无人驾驶和减轻驾驶员的劳动强度,本研究需要对开沟铺管机进行自动导航控制,其原理图如图5所示。车载控制器事先设定好导航直线AB路径,利用GPS进行直线导航和地头的转弯控制,当GPS直线行走时,需要给比例阀一个电流控制信号,通过比例阀驱动行走马达,马达上自带有测速传感器,通过保证左右履带轮的速度相等,以实现直线行走和路径跟踪。当机器运行到地头需要转弯时,利用PID控制器对左右履带轮的速度进行控制,通过事先给定的转弯半径来控制二者的速度差,以实现左转或者右转,再将速度信号反馈到车载控制器中,整个控制过



(a) 控制器安装图



(b) 实验结果图

图4 田间试验结果

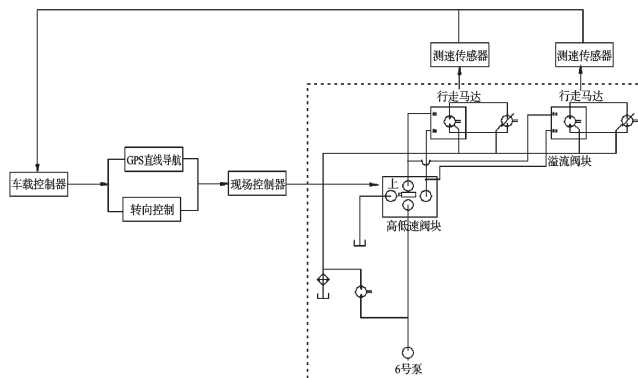


图5 自动导航控制系统原理图

程是闭环控制,实现了开沟铺管机的自动导航。

1KPZ-250型开沟铺管机的GPS自动导航控制系统融合了计算机技术、传感器技术、GPS技术和数据通讯技术等。该控制系统由GPS接收机、车载控制器、

现场行走控制器、车速传感器等组成。其示意图如图6所示,由GPS获取车辆的位置信息,车载控制器给出按设定路径行走的控制策略,现场控制器根据当前车辆的位置信息,计算出实际运行轨迹与规划路径之间的偏差,给出控制策略,以控制左右轮行进液压执行机构,实现行进速度与转向自动调节,达到跟踪给定航线的目标。

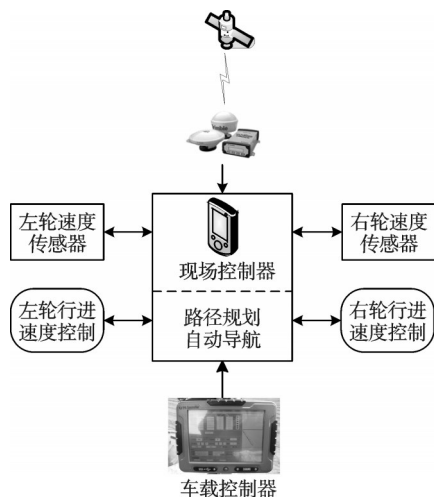


图6 GPS导航系统的组成示意图

开沟铺管机自动导航控制中主要是转向控制,由于积分环节在消除系统稳态误差的同时会带来稳定性降低等问题,对转向控制有不利影响,设计中转向控制器采用PD控制方式,保证了系统平稳、准确、快速的响应。机器正常作业时的行进速度变化范围不大,只有当运行到地头转弯时,行进速度才会减小,作业终止时,速度不断减小直到零,因此,根据速度变化建立的自适应PD控制器可以提高系统的鲁棒性,实现航向跟踪控制。其控制系统原理框图如图7所示。

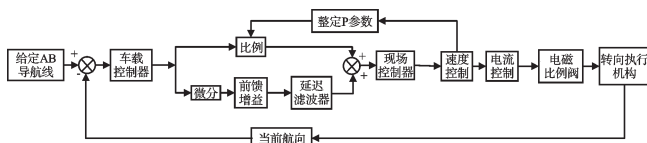


图7 控制系统原理框图

3.2 现场试验

该试验在山东省东营市广饶县丁庄镇广北农场二分场进行,如图8所示。本研究将Trimble5700基站



图8 导航试验场地

放在试验地中,Trimble5700流动站天线和接收机固定在车体上,开沟铺管机在油门固定的情况下(油门手动固定在一个位置),机器匀速行驶,行驶速度控制在0.7 km/h~2 km/h。

在田间试验时,车载控制器设定导航路径AB直线,其A、B点的经纬度事先通过GPS获取,如图9所示,分别为A(118.592 749 3, 37.302 543 4)、B(118.592 793 3, 37.301 736 3),C点为开沟铺管机初始位置,CD线为开沟铺管机行走轨迹。由图9可以看出GPS自动导航控制系统能够准确控制机器按照规划路径行驶,即使开沟铺管机的初始位置与规划路径存在较大距离,控制系统也可以控制开沟铺管机快速上线,进行自动导航。开沟铺管机上线后从E点开始测量的偏航距离如图10所示,由图10可以看出机器稳定行驶时的最大偏航距离为9.9 cm,证明GPS差分定位导航精度能够满足开沟铺管机的作业要求。

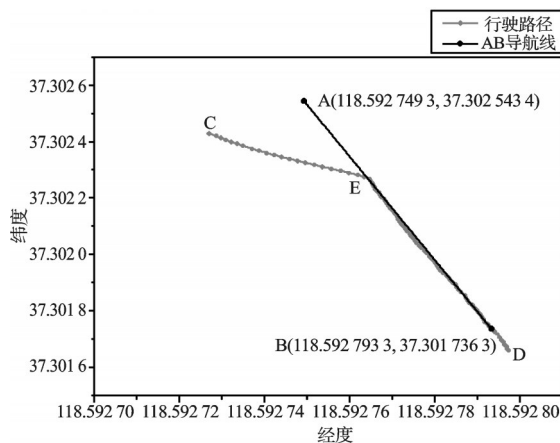


图9 机器行驶过程中的经纬度曲线图

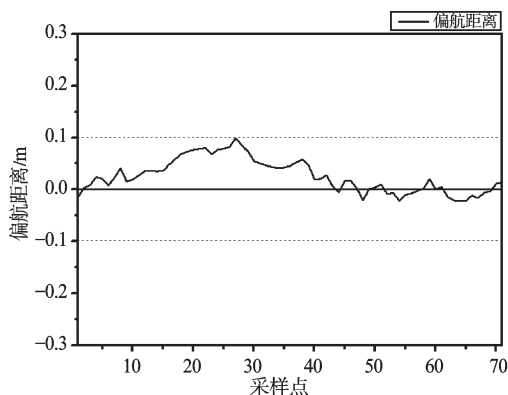


图10 机器行驶过程中的偏航距离

4 激光高程控制系统

4.1 控制系统硬件设计

为了保证开沟铺管机能够按照预定的斜面坡度作业,本研究需要对开沟深度进行自动控制。激光高程控制系统即是根据安装于挖掘系统开沟臂上激光接收器输出的偏差信号,发送相应的控制信号对开沟

臂的升降实施反馈控制,以满足工程施工所设定的开沟斜面坡度要求。

该控制系统采用的是中国农业大学研发的激光高程控制系统,它是激光系统、电控技术和液压系统的结合体。其基本控制过程如下:激光接收器接收来自激光发射器发出的激光信号,通过信号的接收、处理和转换,最后传送给控制器,控制器可根据来自激光接收器的信号,判断激光接收器相对激光发射器所设定基准参考面的偏差位置,在控制器面板上实时显示相对高低,并发送相应的控制信号给液压控制系统,使之反馈控制开沟铺管机开沟臂升降,直至激光接收器中心位于激光发射器所设定基准参考面内时,即控制开沟铺管机开沟臂保持稳定。

激光系统主要由激光发射器、激光接收器、激光控制器、电源4部分组成。激光发射器选用的是天宝 Trimble LL400 长距离激光发射器,该发射器单键操作、易于使用、有效工作直径 800 m。该激光接收器为自制,主要部分包括滤光部分、光电转换、信号处理等部分。其主要作用是从太阳光和激光的混合光信号中提取激光信号,以实现高程位置偏差的反馈。激光控制器的主要功能是根据激光接收器传递的位置调整信息,自动控制液压系统不断地上、下调节行进中的开沟臂,以完成开沟铺管的操作。硬件电路以 AT89S51 单片机为中央控制器,并扩展了外围电路,主要包括电源模块电路、看门狗监控电路、手动/自动模式逻辑判断电路、电磁阀驱动电路及位置偏差指示灯驱动电路等。控制器通常安装在驾驶室内,直接向驾驶员显示当前位置调节状态,一般设置有手动和自动模式,正常工作状态时采用的是自动模式,必要时,驾驶员可以采取手动模式对高程位置进行干预。

控制系统原理框图如图 11 所示。控制器共有 7 组信号输入,分别是超高、太高、偏高、适中、低、太低、超低。根据位置偏差信号的不同,给出不同脉宽的电压信号,信号周期为 130 ms,控制器对电磁阀共有两路输出,对应偏差位置的高和低两种情况,由于开沟臂的升降速度与土壤的类型、负载力的大小、机器的行驶速度、控制系统的滞后性等多种因素有关,目前

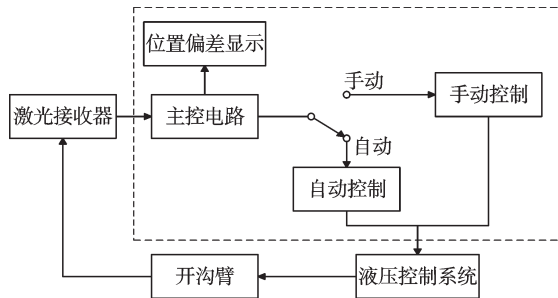


图 11 高程控制器原理框图

尚无法确定这些因素对开沟臂升降速度的定量影响,难以建立精确的数学模型,因此,本研究采用依赖于系统行为参数的控制器,以达到实时控制的要求。

4.2 现场试验

试验在山东省东营市广饶县丁庄镇广北农场二分场进行,高程控制试验现场如图 12 所示。



图 12 高程控制试验现场

本研究将激光发射器 Trimble LL400 放在试验地中,设定好斜面坡度为 0.05%,并将激光接收器固定在开沟臂的桅杆上,控制器安装在驾驶室内,开沟铺管机在油门固定的情况下(油门手动固定在一个位置),机器以匀速行驶。试验时行驶速度控制在 1.02 km/h,开沟宽度 400 mm,起点预设沟深为 1 260 mm,每米 1 个测点。测量时在开沟面上拉一根水平线,以测量水平线与沟底的距离,其中水平线与地表间的距离为 550 mm,本研究选定机器行走 10 m 以后开始测量,测量段为 30 m,总共可测得 30 个数据。

试验结果如图 13 所示。实测沟底与理想沟底之差最大为 18.5 mm,表明开沟铺管的高程误差在 ± 20 mm 以内,能够满足控制系统的要求,证明了激光高程控制系统的可行性。

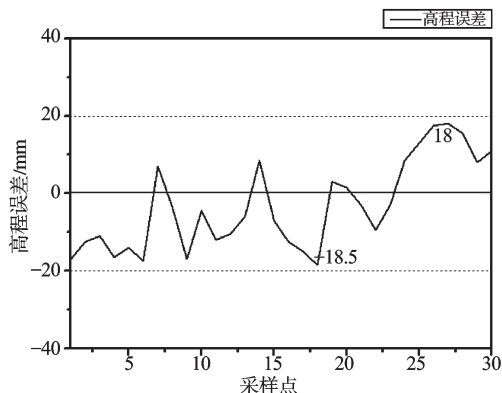


图 13 高程误差曲线

5 结束语

(1) 本研究设计了基于反馈控制的车体自动调平控制系统,当车体倾斜角度超过 $\pm 1^\circ$ 时,自动调平系

(下转第 1460 页)

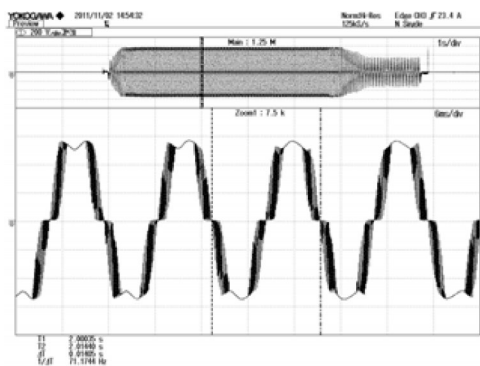


图8 滑差补偿系数为150%时,驱动器输出电压波形

从以上实验结果可以得出,在电动变桨系统驱动器的传统V/F控制中加入滑差补偿控制后,在相同负载的情况下,可以提高驱动器输出电压频率从而提高紧急情况下变桨电机的转速,保证紧急收桨速度。

4 结束语

在风电场出现电网掉电、电机编码器出现故障以及在桨叶负载变大时,风力发电机组不能达到紧急收桨的速度要求,本研究在电动变桨系统变桨电机驱动器的传统V/F控制模式中加入滑差补偿控制,适当提高输出电压的频率,以此来提高交流异步电机的输出速度,从而在相对较低的机端电压和较大的桨叶负载力矩下,也可以保证电变桨系统按照主控系统设定的紧急收桨速度执行紧急收桨。

由基于电变桨系统全功能实验平台的实验结果

可知,在风力发电机组电动变桨系统中应用滑差补偿控制,能够有效地改善大负载时桨叶的紧急收桨速度。

参考文献(References):

- [1] 李发海,王 岩. 电机与拖动基础[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2002.
- [2] ECHAVARRIA R, HORTA S, OLIVER M. A Three Phase Motor Drive using IGBT's and Constant V/F Speed Control with Slip Regulation[C]//CIEP 95. San Luis Potosi, MEXICO: [s.n.], 1995: 16-19.
- [3] SARHAN H, ISSA R, ALIA M, et al. Slip Compensation in efficiency-optimized three-phase induction motor drive systems[J]. *Intelligent Control and Automation*, 2011(2): 95-99.
- [4] 马立华. 变频器的转差频率补偿控制[J]. 上海轻工业高等专科学校学报, 1996, 17(4): 41-45.
- [5] 罗彦丰. 交流变频调速的滑差频率矢量变频控制系统[J]. 河北电力技术, 1992(4): 27-32.
- [6] 任永强,余天明. 变速箱试验台加载工作时转矩扰动补偿研究[J]. 机电工程技术, 2011, 40(1): 69-71.
- [7] 孟彦京,许德玉,高承雍. 转矩补偿和滑差补偿的区别与应用[J]. 电气传动, 2002(4): 17-19.
- [8] SARHAN H, ISSA R. Modeling, simulation and test of inverter-induction motor drive system with improved performance[J]. *Journal of Engineering Sciences, Assiut University*, 2005, 33(5): 1873-1890.
- [9] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社, 1992.

[编辑:李 辉]

(上接第1452页)

统开始工作,开关电磁阀通过控制车体倾斜油缸,从而最终使车体恢复到水平位置,基本满足开沟铺管机的控制要求。

(2) 本研究开发了1KPZ-250型开沟铺管机的GPS自动导航控制系统,该系统能够准确控制开沟铺管机按照规划路径行驶,偏航误差控制在 ± 10 cm以内,机器稳定行驶时的最大偏航距离为9.9 cm,有效地证明了GPS差分定位导航精度能够满足开沟铺管机的作业要求。

(3) 另外,本研究还开发研制了激光高程控制系统,试验结果表明,开沟铺管的高程误差在 ± 20 mm以内,能够满足控制系统的要求,证明了激光高程控制系统的可行性。

参考文献(References):

- [1] 北京丹路生物工程有限公司. “丹路”生物肥在盐碱地上的改良效果[C]. 第十届全国土壤微生物学术讨论会暨第三届全国微生物肥料生产技术研究会, 2006.

- [2] 王化祥. 1KP-250型开沟铺管机[J]. 粮油加工与食品机械, 1982(9): 30-34.
- [3] 李广波,李学森,迟道才. 国内外暗管排水的发展现状与动态[J]. 农业与技术, 2003, 23(3): 65-70.
- [4] 江创华,阎 堃. 自动调平系统在履带式全液压挖沟机中的应用[J]. 工程机械, 2005, 36(10): 29-31.
- [5] 万声淦,沙金焯,董 峰,等. 宁夏银北灌区暗管排水关键技术的引进[J]. 水利水电技术, 2002, 33(7): 57-59.
- [6] 李恩辉. 暗管改碱技术要点及应用前景分析[J]. 中国科技信息, 2011(10): 142.
- [7] 王丽丽. 大型开沟铺管机自动控制系统关键技术研究[D]. 北京:中国农业机械和科学研究院, 2012.
- [8] 李中华,张雨浓,陈卓怡,等. PIC技术宝典[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2008.
- [9] 朱延钊. AD7705/AD7706的原理与应用[J]. 国外电子元器件, 2002(6): 59-61.
- [10] 仇国庆. AD7705/AD7706在仪器仪表中的应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2001(6): 43-45.

[编辑:张 翔]