

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.02.006

动态载荷模拟可控加载与测试装置设计*

鲁文其^{1,3}, 周延锁², 刘 虎¹

- (1. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018;
2. 浙江省机械工业情报研究所, 浙江 杭州 310009;
3. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 针对目前国内普遍采用的加载装置只具备手动控制功能的问题, 阐述了大功率设备驱动系统的动态载荷负载特性, 提出了一套模拟可控加载与测试装置的整体设计方案。设计了基于磁粉离合器和永磁同步电机的机械加载装置、上位机控制界面、基于 Freescale 56F8346 DSP 的控制核心、基于电力电子技术的电机驱动装置、基于 MAX1415 的高精度电流采样、基于直流/直流转换电路的励磁电源以及基于霍尔传感器的励磁电源输出电流检测。最后开发了系统硬件和软件, 并进行了实验测试。研究表明, 所开发的装置实现了动态载荷的模拟加载及测控。该成果为大功率设备驱动系统的研究提供了一个软、硬件测试与性能分析的重要平台。

关键词: 大功率设备; 动态载荷; 可控加载; 直流-直流转换

中图分类号: TH86; TH69 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2015)02-185-05

Design of the dynamic load simulating controllable loading and testing's device

LU Wen-qi^{1,3}, ZHOU Yan-suo², LIU Hu¹

- (1. Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China
2. Zhejiang Information Institute of Machinery Industry, Hangzhou 310009, China;
3. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the problem that the loading device only has manual control function, the dynamic load characteristic of the high power device's driving system was expounded. A set of designing methods about simulating controllable loading and testing's device was put forward. The mechanical loading device base on magnetic powder clutch and permanent magnet synchronous motor, the upper computer control interface, the control core based on Freescale 56F8346 DSP, the motor driving unit based on power electronics, the high precision current sampling based on MAX1415, a excitation current source base on DC/DC switching circuit and the current detection for excitation current source output based on hall current sensor were designed. At last, the hardware and software of this device was developed. The experiment was worked out and the results show that the dynamic load's analog loading and measurement and control of this exploited device is realized. It offers a important platform for the test of hardware and software and the performance analysis for high power device's driving system.

Key words: high power device; dynamic load; controllable loading; DC/DC conversion

收稿日期: 2014-11-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51307151); 浙江省自然科学基金资助项目(LY13E070005); 浙江省博士后科研择优资助项目(BSH1402065)

作者简介: 鲁文其(1982-), 男, 浙江余姚人, 博士, 讲师, 主要从事电机驱动方面的研究. E-mail: luwenqi@zstu.edu.cn

0 引言

近年来,随着制造业对装备适应性、生产效率、成本、加工精度等的要求越来越高,永磁同步电机已逐步取代部分传统异步电机或液压系统,在装备行业中得到了广泛应用^[1-4]。

但一些大功率装备加工对象的负载具有特殊性,如曲柄机械式伺服压力机,其驱动电机在一个工作行程内,大部分时间内空载运行,但在较短时间内出力却要达到4倍额定转矩或者更高,如文献[1-3]设计的永磁交流伺服系统其过载系数就是4倍的额定转矩,而传统通用的永磁交流伺服系统一般按照3倍过载进行设计,功率大点的还要降低到2倍过载,为此,一般的永磁同步电机通用伺服系统已不能满足该类大功率装备重载驱动的永磁交流伺服系统软、硬件技术成为了关键。但在研发这种大功率驱动技术的初始阶段,如果直接进行样机实物的设计、制作和调试,往往会浪费很多物力财力,甚至是带来危险,为此研究人员往往会先设计一个小功率平台,在这个平台上先对满足要求的驱动系统及策略进行性能的模拟测试和分析^[5-10],等成熟了再移植到大功率系统上去,这时候往往需要一个模拟的加载和测试转置,如文献[11]就设计了一种新型的用于抽油机性能检测的电液伺服被动模拟加载装置,它可以将真实的运动和载荷加载在抽油机的悬点上。

考虑到某些大功率设备的工况还会要求电机变速驱动,这样设计的模拟加载装置必须具备可控性,负载施加和速度变化是需要协调的,但目前国内普遍采用的加载装置只具备手动控制功能。为此,本研究基于“不增加过多成本、并尽量利用现有实验设备,同时保证系统运行可靠性高、维修简便”的使用要求,设计一个模拟可控的加载和测试装置。

1 装置整体方案设计

该模拟可控加载和测试装置利用永磁同步电机作为驱动元件,磁粉离合器作为模拟载荷加载装置,通过控制磁粉离合器励磁电源实现动态载荷的模拟加载,电机驱动装置和磁粉离合器的励磁电源采用同一个DSP进行控制,这样通过软件编写就可以实现电机驱动速度和加载的统一协调而便于算法的验证测试。

该装置的设计内容主要包括机械系统和测控系统两大部分,机械系统完成载荷的加载,主要由永磁同步电机和基于磁粉离合器的机械加载装置两个部

分组成;测控系统完成载荷的加载控制以及机械系统的参数测量工作,主要由上位机控制界面、基于Freescale 56F8346 DSP的控制核心、基于电力电子技术的电机驱动装置、基于MAX1415的高精度电流采样、基于直流/直流转换电路的励磁电源以及基于霍尔传感器的励磁电源输出电流检测反馈组成。

其整体设计原理框图如图1所示。

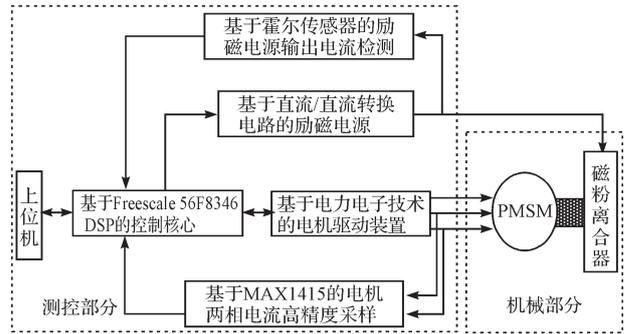


图1 模拟可控加载和测试装置设计原理框图

1.1 机械部分设计

为提高平台的利用率,以便于同时研究抑制负载变化和惯量变化的先进算法,本研究设计了既可以施加惯量变化又可以施加负载变化的机械系统,其原理框图如图2所示。它由联轴器、磁粉离合器、惯量盘和碟式制动器组成。作施加负载变化测试时,一开始磁粉离合器先不加入励磁电流,伺服电机通过联轴器拖动磁粉离合器的前级旋转;当需要改变负载时,磁粉离合器加入励磁电流,磁分离器后级与前级就通过磁粉吸合在一起同步旋转,达到加载的目的,施加负载值的大小可以通过调节励磁电源的大小实现。施加负载测试的整个过程中须使碟式制动器处于制动状态。作施加惯量测试时,须使碟式制动器处于非制动状态,其他操作类似。

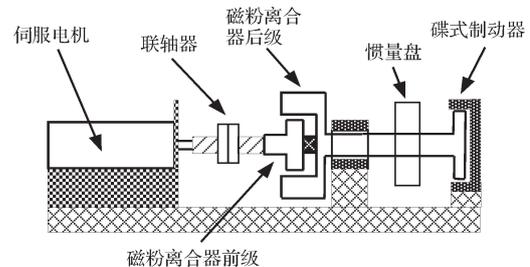


图2 机械系统设计原理框图

1.2 测控部分设计

1.2.1 基于Freescale 56F8346 DSP的控制核心

整个装置的控制核心是Freescale 56F8346 DSP。该DSP具备片上SPI、SCI、ADC、PWM、正交编码器接口,利用SPI口与MAX1415通信实现电机两相电流的高精度采样;利用正交编码器接口读取电机的转

子位置信息;利用PWM1-7实现电机驱动器的控制运行;利用SCI口与PC的232口通信实现上位机控制界面的设计;利用PWM8实现磁粉离合器励磁电源的控制输出;利用ADC口实现磁粉离合器励磁电源输出电流的检测。

其原理框图如图3所示。

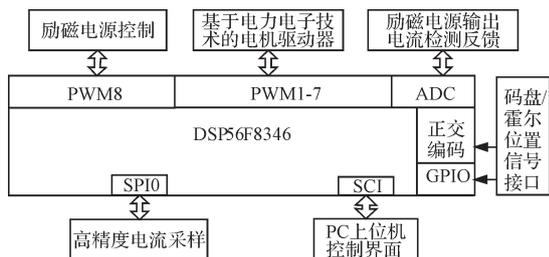


图3 基于Freescale 56F8346 DSP的控制核心

1.2.2 基于电力电子技术的电机驱动器

该驱动部分实现电机的驱动运行,其原理框图如图4所示。驱动系统主要由单相整流桥、三相逆变器、上电限流电阻保护、PWM信号的隔离驱动电路、故障保护及系统辅助电源等组成。

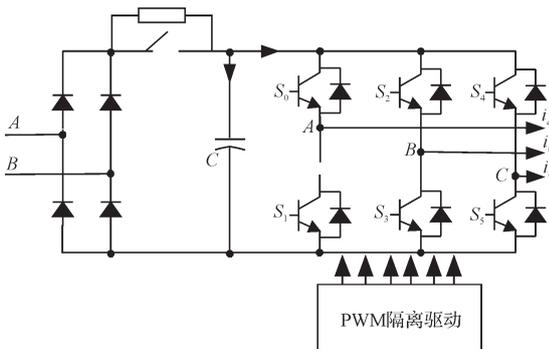


图4 电机驱动系统原理框图

1.2.3 基于PC的上位机控制界面

上位机控制界面采用Freescale公司提供的编程软件自带的FreeMaster上位机软件进行修改实现,它

与DSP之间采用RS232接口进行通信,该控制界面可以用于实时访问或修改DSP中任意存储地址的内容或控制算法中全局变量的值,并且显示相关测试变量的参数或波形。

1.2.4 基于MAX1415的电机两相电流高精度采样

为了获得高精度的电机的两相电流值便于一些算法观测器的测试,本研究采用高精度的16位A/D采样芯片对两相电流进行采集,利用DSP自带的SPI口与MAX1415进行通信。电流信号经过电流采样和调理电路转化成对应的模拟电压;模拟电压输入到A/D转换器MAX1415进行转换,得到相应的16位数据;DSP作为主机根据时序对MAX1415进行控制和16位数据的读取。

1.2.5 基于直流-直流转换电路的励磁电源

为达到可控加载,本研究专门设计了基于直流-直流(DC-DC)转换电路的励磁电源,通过控制功率管的开通时刻就可控制加载的时间。该电源的原理框图如图5所示。

输入采用单相交流电源(由隔离变压器降压生成17V),交流电源经整流后生成输入直流电压,输入直流电压经过DC-DC转换后生成最后的励磁输出电压。其中,DC-DC转换电路的PWM控制信号由DSP的PWM8口产生,该信号经过光耦隔离后控制驱动芯片IR2125,达到功率管导通与关断的目的。调节PWM口输出的占空比,就可以调节DC-DC电路输出电压和电流的值。

1.2.6 基于霍尔传感器的励磁电源输出电流检测

考虑到磁粉离合器施加负载与励磁电源大小有个对应关系,本研究为了获得实际施加负载的大小与给定值作比较,对励磁电源输出电流进行检测,其原理图如图6所示。笔者采用电流霍尔CSM050AP检测输出电流,经电压调理电路后将采样电压调理到0~3.3V,输入给DSP的A/D采样口。

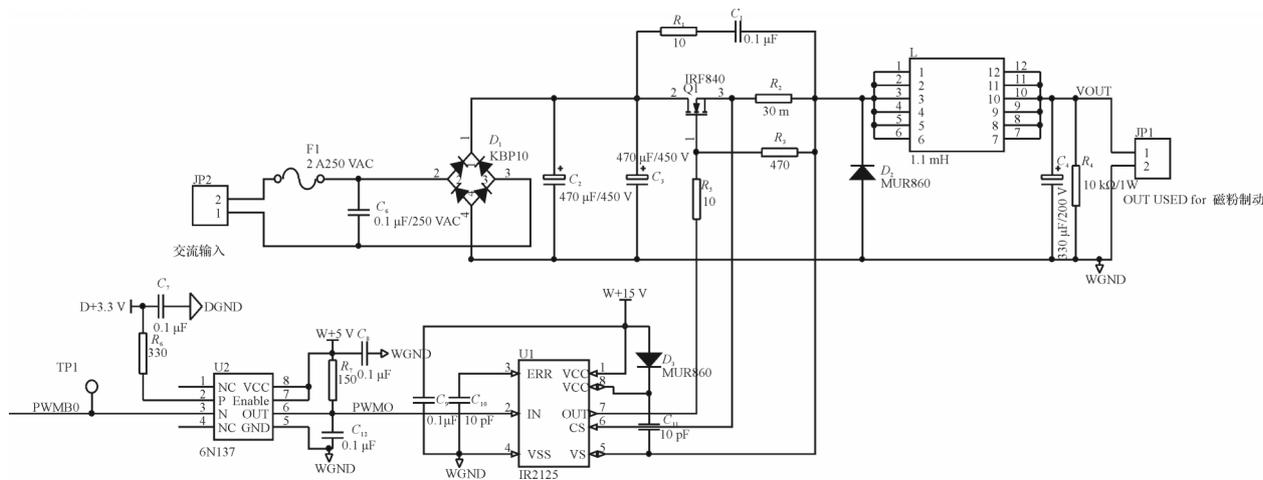


图5 基于直流-直流转换电路的励磁电源原理图

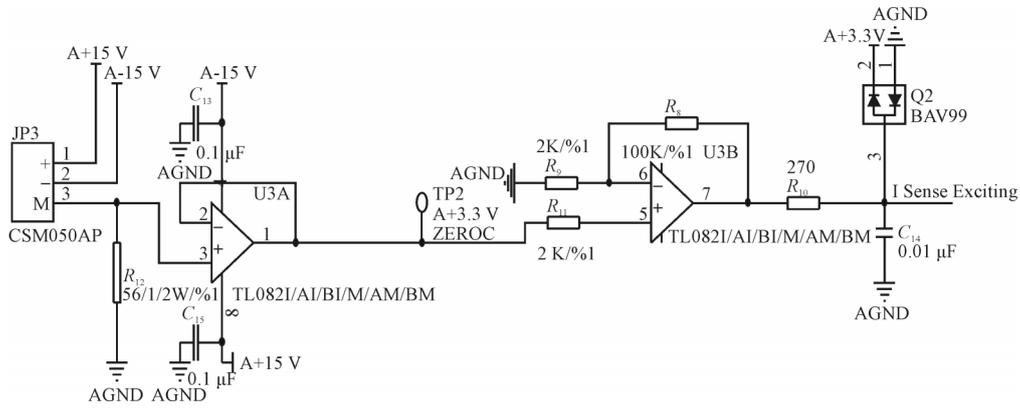


图6 励磁电源电流检测原理图

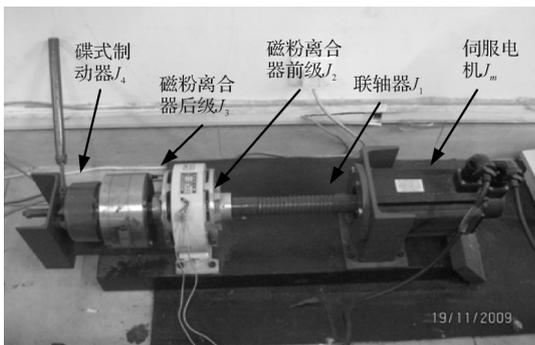
2 软件设计与实验测试

2.1 软件设计

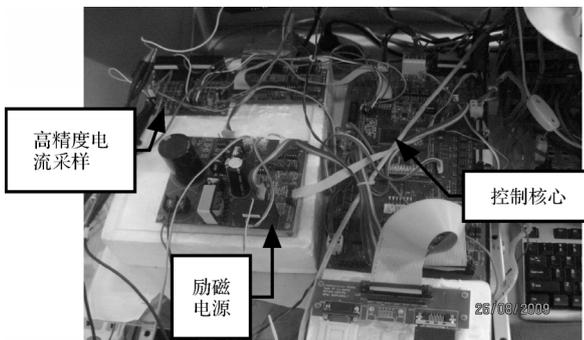
根据测控系统的要求,该系统要完成动态载荷的加载控制以及对参数的分析和整理,实现对实验测试结果的分析、绘图及报表处理。DSP控制程序采用C语言编写。该程序分为主程序和中断服务程序两部分:主程序进行软件、硬件的初始化;中断服务程序完成电机驱动控制、励磁电源占空比信号、电流信息采集、位置信息采集和负载换算等的运算。

2.2 实物装置

本研究最终开发了一套可控加载和测试装置,其实物装置如图7所示。



(a) 机械系统



(b) 测控系统

图7 动态载荷模拟可控加载与测试装置实物照片

下面对其进行实验分析。

2.3 负载曲线拟合

由前面分析可知,通过控制PWM输出口的占空比即可控制磁粉离合器的变载,为获得合适的变载曲线就得先获得占空比和负载之间的关系曲线。为此,本研究在实验之前首先对磁粉离合器励磁电源进行试验,记录相关参数,用Matlab软件采用拟合的方法获得PWM输出占空比与磁粉离合器励磁电源电流的关系曲线,该曲线如图8所示。

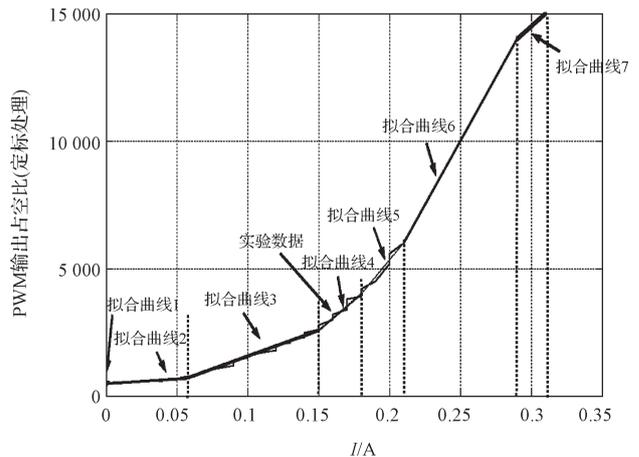


图8 输出占空比(PWM)与磁粉离合器励磁电流的关系曲线

由图8可知,PWM输出占空比与励磁电流是非线性关系,必须采用多段曲线拟合实现:

- 第一段: $D=0$;
- 第二段: $D=3\ 571.4I+492.86$;
- 第三段: $D=20\ 130I-454.12$;
- 第四段: $D=47\ 500I-4\ 559.62$;
- 第五段: $D=66\ 987I-8\ 067.2$;
- 第六段: $D=100\ 000I-15\ 000$;
- 第七段: $D=50\ 000I-500$ 。

而实际负载的大小通过测量实际的励磁电流进行观测。查资料知,磁粉离合器励磁电压与励磁电流的关系曲线近似线性,且磁粉离合器励磁回路阻值可

近似为 20.4Ω , 因此, 采集 DC-DC 输出端电压除以励磁阻抗, 再乘以负载力矩与激磁电流的比例系数就近似等于磁粉离合器的实际施加负载。

2.4 实时动态负载测试

为验证装置的有效性, 本研究分别模拟施加 $1 \text{ N}\cdot\text{m}\sim 12 \text{ N}\cdot\text{m}$ 之间缓慢变化和 $4 \text{ N}\cdot\text{m}\sim 10 \text{ N}\cdot\text{m}$ 之间突加变化的负载进行测试, 本研究采集得到的实验波形如图 9 所示。

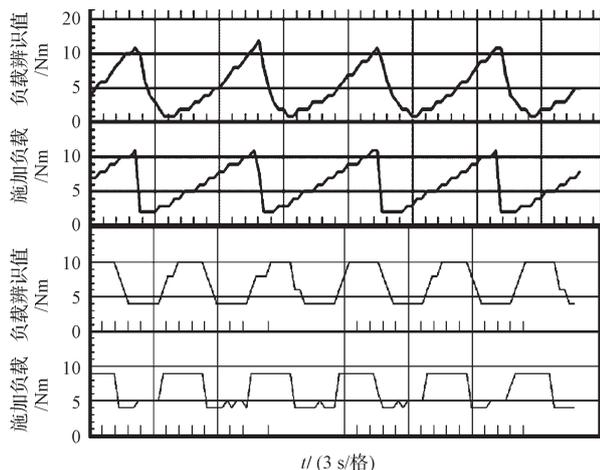


图9 电机恒速运行、负载实时变化时系统采集的实验波形

由波形可知, 施加 $1 \text{ N}\cdot\text{m}\sim 12 \text{ N}\cdot\text{m}$ 之间缓慢变化负载时, 设计装置采集得到的实际负载曲线也在 $1 \text{ N}\cdot\text{m}\sim 12 \text{ N}\cdot\text{m}$ 之间变化, 通过算法辨识的负载力矩也是在 $1 \text{ N}\cdot\text{m}\sim 12 \text{ N}\cdot\text{m}$ 之间变化; 模拟施加 $4 \text{ N}\cdot\text{m}\sim 10 \text{ N}\cdot\text{m}$ 之间突加变化的负载进行加(卸)载测试时, 实际的负载曲线和辨识的负载力矩都在 $4 \text{ N}\cdot\text{m}\sim 10 \text{ N}\cdot\text{m}$ 之间变化。

因此, 通过实验测试结果可知, 笔者所设计的可模拟动态加载和测试装置可对施加负载进行控制, 且运行中的参数可通过上位机界面显示, 可作为研究人员一个重要的研发平台。

3 结束语

(1) 本研究阐述了动态载荷的设计背景, 提出了模拟可控加载与测试装置的整体设计方案。

(2) 本研究设计了基于永磁同步电机和磁粉离合器的机械加载装置、上位机控制界面、基于 Freescale 56F8346 DSP 的控制核心、基于电力电子技术的电机驱动装置、基于 MAX1415 的高精度电流采样、基于直流/直流转换电路的励磁电源以及基于霍尔传感器的励磁电源输出电流检测, 并进行了可控加载的实验测试。

(3) 测试结果显示, 本研究所设计的装置是有效的, 这给大功率设备驱动系统的研究提供了一个测试与分析的重要平台。

参考文献 (References):

- [1] 鲁文其, 胡育文, 梁骄雁, 等. 永磁同步电机重载驱动的伺服压力机动力系统电容储能参数分析[J]. 电工技术学报, 2010, 10(25): 59-65.
- [2] 鲁文其, 胡育文, 梁骄雁. 伺服压力机用永磁交流伺服系统驱动特性分析[J]. 电工技术学报, 2011, 26(4): 26-61.
- [3] 鲁文其, 胡育文, 黄文新. 基于交流电机重载驱动的复合型伺服压力机研究[J]. 电机与控制应用, 2008, 35(9): 11-14.
- [4] 鲁文其, 胡旭东, 史伟民, 等. 基于扰动补偿算法的拉床主溜板双伺服同步驱动控制策略[J]. 机械工程学报, 2013, 49(21): 31-37.
- [5] 叶晓, 金振华, 刘彪, 等. 并联混合动力台架测试系统设计与应用[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(8): 1802-1806.
- [6] 江洁, 王英雷, 王昊予. 大量程高精度三维姿态角测量系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(6): 1247-1252.
- [7] 行鸿彦, 黄敏松. 基于 LabVIEW 虚拟仪器的心电信号采集系统的设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2008, 22(5): 110-114.
- [8] 陈小平, 李云飞, 颜友钧, 等. 基于虚拟仪器技术的变频器测试系统的研制[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(5): 128-131.
- [9] 蔡厚振, 郝棚, 孙鑫晖, 等. 基于虚拟仪器的机械密封试验装置构建[J]. 流体机械, 2014, 42(4): 47-51.
- [10] 段其昌, 吴正东, 钟安勇. 基于网络摩托车发动机台架实验测控系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(S1): 242-245.
- [11] 邹信用. 动态载荷模拟加载系统的设计与实现[D]. 西安: 西安理工大学机械与精密仪器工程学院, 2006.

[编辑: 李辉]

本文引用格式:

鲁文其, 周延锁, 刘虎. 动态载荷模拟可控加载与测试装置设计[J]. 机电工程, 2015, 32(2): 185-189.

LU Wen-qi, ZHOU Yan-suo, LIU Hu. Design of the dynamic load simulating controllable loading and testing's device[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(2): 185-189.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>