

基于 Pro/E 的电流变变速器的运动仿真

邱志荣

(福建工程学院 机电及自动化工程系, 福建 福州 350108)

摘要:运用 Pro/E 软件的机构运动仿真功能模拟电流变变速器的运行状态及其随时间变化的过程,得到被仿真系统的输入、输出参数基本特性和相互关系:在不考虑离合器主动转盘与从动转盘的转速差、忽略系统摩擦阻力的情况下,电流变变速系统的功率传输不考虑效率因素时比较顺畅平稳,转速不受时间影响,输入输出扭矩响应时间稍有滞后,但响应时间相同.系统运转正常,没有结构干涉,传动比(3,1.5,2)符合设计要求,验证了电流变变速器结构设计及设计数据的可行性.

关键词:运动仿真;电流变变速器;运动学分析;动力学分析

中图分类号:TH391.7 **文献标志码:**A

Motion simulation of electrorheological transmission based on the Pro/E

QIU Zhi-rong

(Dept. of Electr. Auto. Eng., Fujian Univ. of Tech., Fuzhou 350108, China)

Abstract: Using the mechanism motion simulation function of Pro/E software, the electrorheological transmission operation state and the process changes over time were simulated. The simulation system's input and output parameters of the basic characteristics and mutual relations were obtained; in the cases of ignoring the rotation speed difference between active wheel and driven wheel of clutch and friction resistance of system, electrorheological transmission system's power transmission was steady without considering the efficiency factors, speed was not affected by time, input and output torque response time lag slightly, but with the same response time. The system operated normally with no structure interference, and transmission ratio (3, 1.5, 2) corresponded to design requirements. The feasibility of electrorheological transmission's structure and design data was validated.

Key words: motion simulation; electrorheological transmission; kinematic analysis; dynamics analysis

0 引言

电流变变速器是在电流变技术(ER)条件下,通过电场控制电流变液(ERF)的黏度,使其敏感地变化和快速地增大,直至停止流动产生固化的效应,即具有明显的抗剪切屈服应力,以此来实现力矩传递的变速机构.电流变效应具有可逆、连续可控、控

制简单、响应迅速和能耗低等特性^[1]. W. J. Weng 等^[2]研究具有巨电流变(GER)效应的电流变液,使流体的电流变效应得到大大提高,屈服强度高达到 250 kPa;文献[3-5]又相继报道研制了高达 300 kPa 的电流变液,这表明电流变技术能在未来机电传动与控制系统中发挥更广泛的作用.基于此,作者拟设计一款电流变变速器,通过 Pro/E 的机构

收稿日期:2011-09-19

作者简介:邱志荣(1974—),男,福建省上杭县人,福建工程学院讲师,主要研究方向为机电一体化.

运动分析模块 Mechanism, 利用 CAD 软件对变速器机构进行运动仿真与分析, 观察机构的整体运动轨迹和各零件之间的相对运动, 以检测机械的干涉情况, 并对设计中可能出现的问题做出预测和改进.

1 电流变变速器的设计

1.1 电流变变速器工作原理

图 1 为应用电流变技术设计的变速器传动示意图, 其中 1 和 2 是电流变离合器, 3 和 4 是超越离合器. 通过电场控制电流变离合器内的 ERF 实现动力传输, 当电流变离合器 1 和 2 分别工作或同时工作时, 与超越离合器的组合可实现 3 个传动比的速度输出及空转.

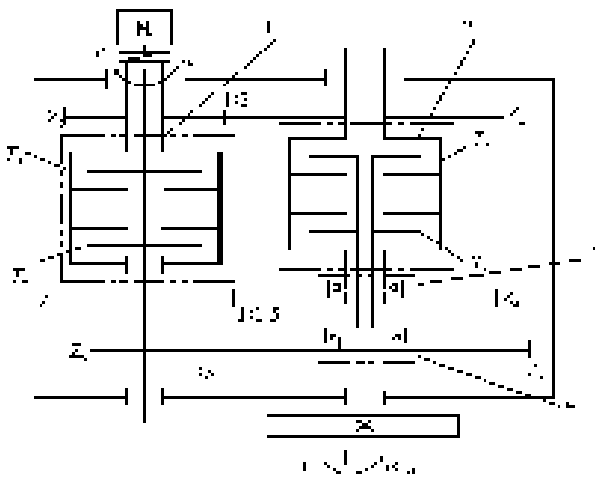


图 1 电流变变速器传动原理图

该变速器的特点是应用了电流变技术, 具有连续可控、响应迅速等特点. 另外, 电流变离合器和超越离合器组合使用, 代替了传统变速器中的拨叉和液压系统等, 可以有效地实现变速.

1.2 电流变变速器设计参数

1) 电机 Y90L—4, 功率 $P_d = 1.5 \text{ kW}$, 同步转速 $1\ 500 \text{ r/min}$, 额定转速 $1\ 400 \text{ r/min}$, 中心高 $H = 90 \text{ mm}$, 外伸轴径 $D = 24 \text{ mm}$, 轴外伸长度 $E = 50 \text{ mm}$, 总长 $L = 335 \text{ mm}$.

2) 根据电流变变速器输出转速 $n_1 = 700 \text{ r/min}$, $n_2 = 933.33 \text{ r/min}$, $n_3 = 466.67 \text{ r/min}$, 中心距 $a = 210 \text{ mm}$, 可计算得到如下数据: 传动比 $i_1 = 2.0$, $i_2 = 1.5$, $i_3 = 3$; 齿数 $Z_1 = 56$, $Z_2 = 112$, $Z_3 = 84$, $Z_4 = 126$, $Z_5 = 35$, $Z_6 = 105$; 模数 $m_1 = 2.5 \text{ mm}$, $m_2 = 2 \text{ mm}$, $m_3 = 3 \text{ mm}$.

根据公式 $T = 9\ 550P/n$, 轴径 $d = c\sqrt[3]{P/n}$, 其中 P 为电动机功率/kW, n 为输出速度/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$),

45#钢 $c = 112$, 得到变速器各轴的运动及动力参数 (见表 1), 电流变液传动效率

$$\mu' = \frac{\text{输出力矩} \times \text{角速度}}{\text{电动机功率} + \text{电场电压} \times \text{电流}}$$

其中, 电场电压取 3 kV , 电流取 5 mA ; 各轴的输入功率以电动机的额定功率 1.5 倍来计算; 总传动效率为 0.85.

表 1 各轴的运动及动力参数

输出速度/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	轴名	转矩 T / ($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$)	转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	传动比 i	电流变 效率 μ'	轴径 d / mm
1 400	电动机	10.232	1 400			
$n_3 = 466.67$	轴 I	10.232	1 400	3	0.990 125	11.2
	轴 II	30.696	466.67			16.529
$n_2 = 933.33$	轴 I	10.232	1 400	1.5	0.990 125	11.2
	轴 II	15.348	933.33			13.119
$n_1 = 700$	轴 I	10.232	1 400	2	0.990 129	11.2
	轴 II	20.464	700			14.494

2 机构的运动仿真和结果分析

2.1 建立机构运动仿真的步骤

在 Pro/E 中, 创建机构运动仿真的步骤如下^[6]. 1) 创建模型装配文件, 定义各个零部件的连接装配关系; 2) 进入“Mechanism”选项, 在机构中添加伺服电动机; 3) 建立机构分析, 保存分析结果, 制作动画仿真; 4) 观测机构中运动件的轨迹曲线和运动包络; 5) 对运动件中的关键物理量进行测量.

由于电流变变速器的零部件比较多, 故在仿真装配过程中实行模块化, 即将整个系统按照零部件间的相对运动情况分成 6 个小的模块, 把相对静止的零部件装在同一装配模块上. 因为系统是旋转运动, 故用“销钉连接”分别对这 6 个装配模块中的轴承进行连接定义, 使各个装配模块之间实现相对转动, 完成变速系统的连接设置 (见图 2).

2.2 电流变变速器的运动学分析

在运动学分析中, 可以分析电流变变速器的运动规律, 检查部件之间是否产生干涉, 同时测量速度、加速度、位置等, 还可以建立零部件运动行为的轨迹曲线和运动包络线^[7]. 其具体步骤和仿真结果如下: 1) 创建电流变变速器的模型进行仿真, 如图 2 所示. 2) 为了确保传动比的准确性, 3 对齿轮副定义时的托架都统一定义为箱体, 然后分别输入 3 对齿轮的节圆直径, 这样在“齿轮副定义”对话框的“属性”选项卡里可以得到正确的传动比. 3) 在主



图2 电流变变速器连接装配

动轴上创建驱动器(伺服电动机 servomotor1),设定伺服电动机的速度模为常数 8 400 °/s,这样与设计使用的电动机的额定转速 1 400 r/min 刚好相等.

4)新建运动分析 gear_motion,设定分析的开始和结束时间等,单击“运行”就可以观察电流变变速器齿轮的运转情况.另外可以将机构的仿真过程输出为影音文件.

5)为了能准确地知道电流变变速器的各个输出参数,就必须对仿真结果进行分析.假设电流变离合器的转盘之间没有转速差,分别创建 measure_v1 (700 r/min = 4 200 °/s), measure_v2 (933.33 r/min = 5 600 °/s) 和 measure_v3 (466.67 r/min = 2 800 °/s),对变速器的3种输入、输出速度进行测量,结果分别见图3—图5.通过结果分析,符合3种传动比下的实际设计要求.

2.3 电流变变速器的动力学分析

在机构动力学分析中,可根据电动机所施加的力及其位置、速度或加速度来定义电动机.除重复组件和运动分析外,还可运行动态、静态和力平衡分析;也可创建测量,以监测连接上的力以及点、顶点或连接轴的速度或加速度.可确定在分析期间是否出现碰撞,并可使用脉冲测量由于碰撞而引起的动量变化.对 $T_{in}\omega_{in} = T_{out}\omega_{out}$ 系统添加初始条件:

1) 零部件定义引力(重力).

2) 定义质量属性.分别设定各个零部件的密度.其中离合器部分的转盘定义为铝的属性 ($2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$),绝缘部件定义为塑料属性 ($0.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$),其他零部件(如齿轮、螺钉、轴、轴承等)的属性定义为钢 ($7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$).

3) 定义力和扭矩.在仿真实验中,对系统的输入力矩和转速 (T_{in}, ω_{in}) 及输出力矩和转速 (T_{out}, ω_{out}) 进行测量,由于力矩的传递与转速差没有关系,所以电流变离合器的传递力矩 $T_1 = T_2, T_3 = T_4$.

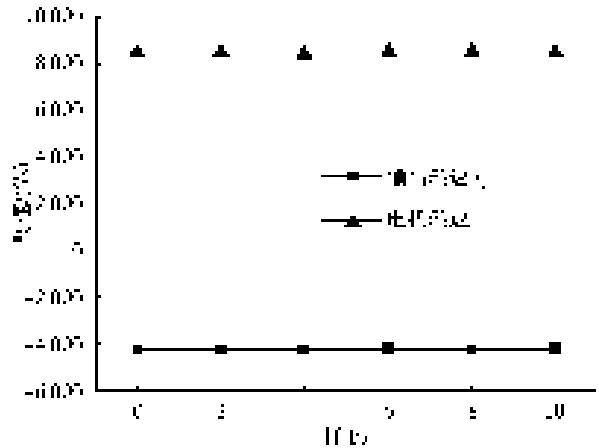


图3 measure_v1 的测量结果

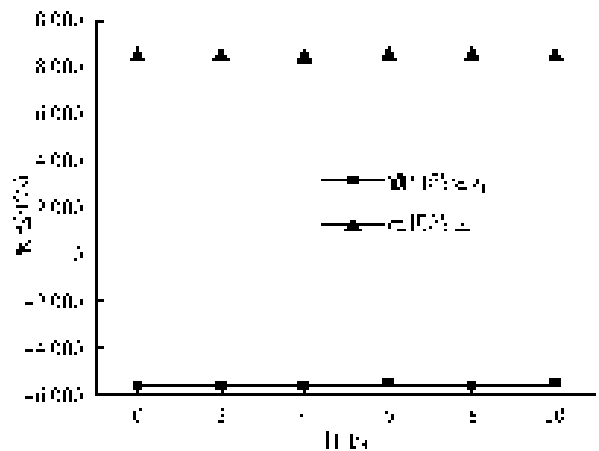


图4 measure_v2 测量结果

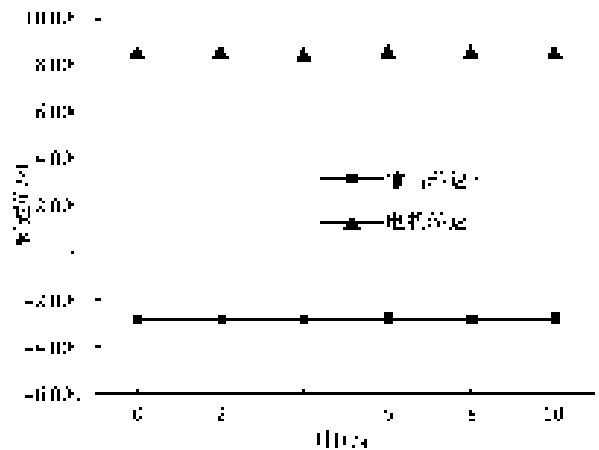


图5 measure_v3 测量结果

在电流变变速器系统中,电流变离合器的作用主要是控制动力的传递与否,所以这里不考虑离合器主动转盘与从动转盘的转速差,也就是主、从转盘实现同步转动,忽略系统的摩擦阻力,这样通过计算 $T_{in}\omega_{in}$ 与 $T_{out}\omega_{out}$ 的结果,就可以知道整个系统的动态参数情况.

在仿真试验中,以执行电动机作为整个变速系统的负载,在传动比 $i=2$ 这一速度传递方式下设定负载扭矩值为 $20\ 464\ \text{N} \cdot \text{mm}$,通过测量伺服电动机的输入扭矩、负载及输入输出转速(见图 6),图中 Measure_motor_T 为伺服电机的输入扭矩/($\text{N} \cdot \text{mm}$),Measure_out_T 为负载扭矩/($\text{N} \cdot \text{mm}$),Measure_motor_v 是伺服电机的输入速度/($^\circ/\text{s}$),Measure_v1 是输出速度/($^\circ/\text{s}$),可以算得 $T_{in}\omega_{in} = T_{out}\omega_{out}$. 同理,在另外 2 种速度输出情况下,也能得到 $T_{in}\omega_{in} = T_{out}\omega_{out}$. 图 7 为扭矩、转速与时间的关系图. 由图 7 可知,转速不受时间影响,输入和输出扭矩都稍有滞后,但响应时间相同.



图 6 动态仿真测量结果

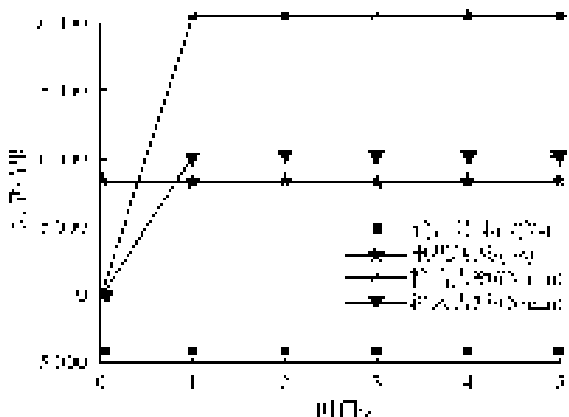


图 7 扭矩、转速与时间的关系图

3 结论

运用 Pro/E 的机构运动仿真功能对变速器机构进行仿真,不但能使机构的造型形象化、可视化,而且也使整个仿真过程更加准确、形象、生动,从而帮助设计人员对运动机构进行优化设计,使其快速、高效地设计出理想运动机构,并可消除传统设计中许多弊端. 本文模仿电流变减速机构的运行状态及其随时间变化的过程,对仿真过程进行观察和统计,在不考虑离合器主动转盘与从动转盘的转速差、忽略系统摩擦阻力的情况下,可得出如下结论:

- 1) 电流变变速系统的功率传输在不考虑效率因素时比较顺畅平稳,转速不受时间影响,输入输出扭矩响应时间稍有滞后,但响应时间相同.
- 2) 减速器系统设计能够正常运转,没有结构干涉. 计算的 3 种传动比(3, 1.5, 2)在运动仿真中得到验证,各齿轮齿数与齿轮副之间的传动比符合设计要求.

参考文献:

[1] 邱志荣. 电流变变速器中盘式离合器传动性能研究 [J]. 重庆科技学院学报, 2011(6): 137.

[2] Weng W J, Huang X X, Sheng P. Particle size scaling of the giant electrorheological effect [J]. Appl Phys Lett, 2004, 85(2): 299.

[3] Lu K Q, Shen R, Wang X Z, et al. The electrorheological fluids with high shear stress [J]. Int J Mod Phys B, 2005, 19(7-9): 1065.

[4] Wang X Z, Shen R, Wen W J, et al. High performance calcium titanate nanoparticles ER fluids [J]. Int J Mod Phys B, 2005, 19(7-9): 1110.

[5] Gong X Q, Wu J B, Huang X X, et al. Influence of liquid phased on nanoparticle-based giant electrorheological fluid [J]. Nanotechnology, 2008, 19(16): 1.

[6] 孙江宏, 黄小龙, 罗坤. Pro/Engineer Wildfire 虚拟设计与装配 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004: 220.

[7] 方建军, 刘仕良. 机械动态仿真与工程分析——Pro/Engineer Wildfire 工程应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 101.