

基于细菌觅食算法的多线圈电-机械转换器 双模控制技术研究

徐 征^{1,2} 张 弓^{1,2} 王卫军² 侯至丞² 顾 星² 梁济民²

¹(深圳先进技术研究院 深圳 518055)

²(广州中国科学院先进技术研究所 广州 511458)

摘 要 针对提升电-机械转换器快速响应特性的技术需求,提出了新型三线圈结构电-机械转换器。通过建立的电-机械转换器数学模型,提出采用细菌觅食算法来寻找时间最优解,并基于此方法设计了砰-砰与比例-积分双模控制器。分析与仿真结果表明,相对于传统单线圈电-机械转换器,采用双模控制器的三线圈电-机械转换器,其响应时间从 8.5 ms 缩短至 2.5 ms,震荡和超调不超过 5%,可知该技术能够实现响应特性,前景良好。

关键词 电-机械转换器; 多线圈; 细菌觅食算法; 时间最优控制; 砰-砰控制

中图分类号 TM 359.4 TM 331 **文献标志码** A

The Dual-Mode Control Technology Study of a Multi-Coil Electro-Mechanical Converter Based on Bacterial Foraging Algorithm

XU Zheng^{1,2} ZHANG Gong^{1,2} WANG Weijun² HOU Zhicheng² GU Xing² LIANG Jimin²

¹(Shenzhen Institute of Advanced Technology, Shenzhen 518055, China)

²(Guangzhou Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 511458, China)

Abstract In order to improve the response performance of electro-mechanical converter (EMC), a novel EMC device with triple coils was investigated in this paper. Mathematical model of the proposed EMC was firstly established. By applying the Bacterial Foraging Algorithm, an optimal solution for the model can be obtained. A dual-mode controller with Bang-Bang & proportional-integral was designed based on the proposed method. Analytical and simulated results showed that, response time of the triple coil EMC driven by dual-mode controller can be reduced from 8.5 ms to 2.5 ms. In comparison with conventional single coil EMC, the ringing and overshoot can be controlled within 5%.

Keywords electro-mechanical converter; multi-coil; Bacterial Foraging Algorithm; time optimal control; Bang-Bang control

收稿日期: 2016-06-17 修回日期: 2016-09-13

基金项目: 国家自然科学基金(51307170); 深圳市基础研究(JCYJ20140901003939032); 广州市科学研究(201607010041)

作者简介: 徐征, 硕士, 研究助理, 研究方向为机电控制技术; 张弓(通讯作者), 副研究员, 研究方向为机电液混合驱动技术, E-mail: gong.zhang@giat.ac.cn; 王卫军, 高级工程师, 研究方向为工业机器人学; 侯至丞, 助理研究员, 研究方向为先进控制技术; 顾星, 研究助理, 研究方向为机电一体化; 梁济民, 研究助理, 研究方向为精密设计与分析。

1 引言

电-机械转换器 (Electro-Mechanical Converter, EMC) 是电液比例控制元件的关键部件, 它可将外界输入的电气信号连续成比例地转换成机械量(力或位移)^[1,2]。目前, 动圈式电-机转换器以其小滞环和高线性而受到广泛的关注^[3]。田中裕久^[4]指出其可以产生同尺寸电磁阀 2.5 倍左右的电磁力。在各种应用场合中, 阶跃输入最为常见, 传统比例-积分-微分 (Proportion Integration Differentiation, PID) 控制器限于响应速度、超调量等矛盾, 很难将其高性能充分发挥出来^[5,6]。Ananthanarayanan^[7]在考虑绕组电感的条件下建立了三阶微分方程模型, 分析后提出时间最优的开关策略, 指出合适的系统惯量可使系统达到最佳的响应时间; Khandaker 等^[8]在大误差和小误差阶段分别运用大小两种电压的脉冲宽度调制 (Pulse Width Modulation, PWM) 电源对电-机械转换器进行控制, 实现了高速下的软着陆。国内也有学者研究了模型算法预测控制在位置控制中的应用, 结果表明该方法具有响应快、无超调、适用性好等优点^[9]。

但上述研究对最优时间解的控制方法分析仍有所不足: 有的把电机数学模型限定在了过阻尼状态, 未分析欠阻尼模型; 有的为了简化问题认为电气时间常数远小于机械时间常数, 但这在本文的电-机械转换器中是不成立的。

为提高电-机械转换器阶跃响应速度, 改进其绕组, 设计了一种新型的三线圈结构绕组, 并建立了数学模型。设计了基于细菌觅食算法寻优的 Bang-Bang 与比例-积分 (Proportional-Integral, PI) 双模控制器, 使得系统变量快速向目标接近的同时不失鲁棒性。

2 结构与原理

本文所指的电-机械转换器, 主要由永磁

铁、线圈、绕线筒、铁芯、端盖、导向销和输出轴等组成, 其结构简图如图 1 所示。右端盖内壁圆周上固连有若干片瓦形永磁体。铁芯位于环形分布的永磁体中心, 与端盖的一端用螺钉固连。绕线筒上缠绕有载流线圈, 并与输出轴相连, 通过导向杆浮动于永磁体与铁芯之间的间隙内。电信号加载到线圈后线圈连同绕线筒在永磁体提供的磁场中受安培力作用, 带动输出轴输出力和直线运动。

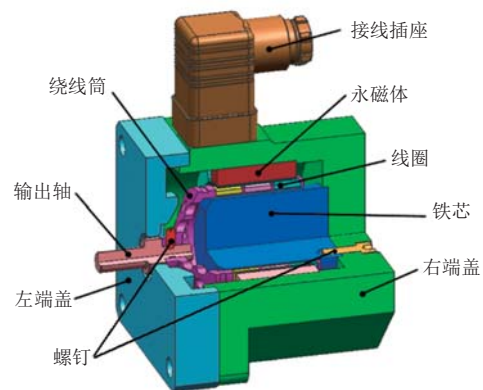


图 1 电-机械转换器结构简图

Fig. 1 Schematic of the proposed EMC

控制原理如图 2, 输入信号经控制放大器处理后加载到线圈产生控制电流, 载流线圈连同绕线筒受控制电流的安培力作用产生位移。输出

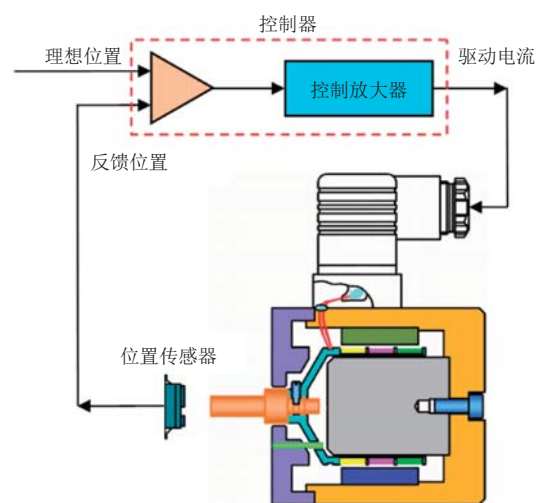


图 2 电-机械转换器控制原理

Fig. 2 Control principle of EMC

位移由位置传感器检测后输入控制器作为反馈信号,以保证动圈组件保持在所需要的正确位置。可以看出,闭环控制方式可实现高控制精度。

图3(a)和图3(b)分别是单线圈和三线圈结构的电-机转换器绕线筒,它们的几何尺寸相同,但三线圈结构在绕线处分为三个独立的线槽,减小了总阻抗,在同样电源电压下电流更大。同时,三个线圈是彼此独立而电气隔离的,可以根据需要通入不同电流达到独立控制的目的。

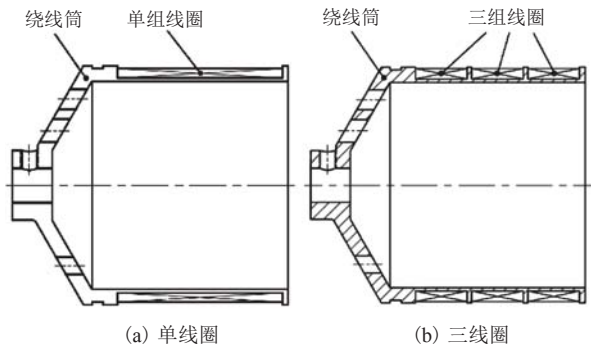


图3 电-机械转换器两种绕线筒

Fig. 3 Two different bobbins of EMC

3 数学建模

对于上述的电-机械转换器,其推力可由安培力公式算出^[10]:

$$F = IB\pi DN \quad (1)$$

其中, I 为线圈电流; B 为气隙磁感应强度; D 为线圈平均直径; N 为匝数。显然,对于一个给定尺寸和材料的机械组件,乘积 $B\pi DN$ 是固定的,可定义为力常数 K_e 。

考虑到本身特性和外负载的共同作用,建立微分方程组。单线圈电机电气方程为:

$$U = RI + L\dot{I} + K_e \dot{x} \quad (2)$$

机械方程为:

$$F = K_e I = M\ddot{x} + B_c \dot{x} + K_c x \quad (3)$$

其中, U 为电源电压; R 为线圈电阻; L 为线圈电感; K_e 为力常数; M 为系统质量; B_c 为粘滞

阻尼系数; K_c 为弹性阻尼系数; x 为位移。

三线圈电机电气方程为:

$$U_n = (R/3)I_n + (L/3)\dot{I}_n + (K_e/3)\dot{x} \quad (4)$$

机械方程为:

$$F = (K_e/3)(I_1 + I_2 + I_3) = M\ddot{x} + B_c \dot{x} + K_c x \quad (5)$$

其中, $n=1, 2, 3$; U_1 、 U_2 和 U_3 分别为三个线圈输入电压; I_1 、 I_2 和 I_3 分别为三个线圈的电流。

据罗良维等^[11]的研究,三线圈绕组中每个线圈的电阻、电感和力常数均为原单线圈绕组的 $1/3$,当三线圈并联使用时电机工作在最大功率,此时方程(4)、(5)可简化为:

$$U = U_{1,2,3} = (R/3)I + (L/3)\dot{I} + (K_e/3)\dot{x} \quad (6)$$

$$F = K_e I = M\ddot{x} + B_c \dot{x} + K_c x \quad (7)$$

由于三线圈并联使用,它们的工作状态是一样的,式中 $I = I_1 = I_2 = I_3$ 。

对比式(2)、(3)和(6)、(7)可以看到,三线圈并联使用的情况下可等效为一个线圈阻抗为原来三分之一而力常数不变的单线圈电机,达到了减小绕组总阻抗的目的。设 $x_1 = x$ (位移)、 $x_2 = \dot{x}$ (速度)、 $x_3 = \ddot{x}$ (加速度),联立(6)、(7)消去 I ,则有系统状态方程:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + BU \quad (8)$$

其中:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{K_e R}{K_e L m} & -\frac{K_e^2 + K_c L + K_c R}{L m} & -\frac{B_c L + B_c R}{L m} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ K_e \end{bmatrix}$$

4 双模控制器的设计

观察系统状态方程式(8),这是一个符合单输入系统可控标准型的状态方程,即系统是完全可以控的。由 Pontryagin 最大化原则及相关数学知识可知,对于这样完全可以控的线性时不变系统,时间最优的解必存在且唯一,控制方式为输入电压在最大值和最小值之间反复取值,且切换次数不超过 2 次(比系统阶数少 1),即为 Bang-Bang 控制^[12,13]。

由于实际中存在的参数误差和数学模型不完善等因素, Bang-Bang 控制在到达目标点邻域内往往伴有高频震颤从而造成系统的不稳定。因而, Bang-Bang 控制需结合其他算法以提高系统的稳定性和鲁棒性^[14,15]。

针对上述情况,提出一种双模控制器,即在起始阶段采用 Bang-Bang 控制使系统变量以最快速度向目标点收敛;当位置变量进入终端状态某邻域时,系统切换为 PI 控制,同时关闭电机的两侧线圈(三线圈同时工作系统增益太大,容易震荡),对中心线圈使用 PI 闭环控制修正剩余小误差,以避免高频震颤维持较好的鲁棒性。系统框图如图 4 所示,给定位移信号送入 Bang-Bang 控制器和 PI 控制器,PI 控制器通过开关控制,当 Bang-Bang 控制完成后,PI 控制信号才能通过开关送入 H 桥驱动器。

4.1 改进的细菌觅食算法求解时间最优

根据上述分析,本系统存在且仅有唯一的最短时间解,然而切换函数中的切换时间的显示表达式很难求得^[16],提出采用细菌觅食算法(Bacterial Foraging Algorithm, BFA)对各输入持续时间进行寻优。BFA 是由 Passino^[17]于 2002 年提出的一种仿生随机搜索算法,该算法具有群体智能算法并行搜索、易跳出局部极小值等优点。

设欲优化指标,即三个输入持续时间(两次切换即为三个输入状态)依次为 t_1 、 t_2 、 t_3 ,输入电压为 U 或 $-U$ (对应 H 桥的正反向导通状态),即 U 输入持续 t_1 , $-U$ 输入持续 t_2 , U 输入持续 t_3 ,或正负电压 U 反之。

一般的细菌觅食算法由单个细菌到整个种群的活动可依次分为:

(1)前进和转向(合称趋向性操作):设 $P_i(i, j, k)$ 为第 i 个细菌、第 j 次趋向性操作、第 k 次复制操作,第 l 次迁移操作后的位置,则有 $P_i(i+1, j, k) = P_i(i, j, k) + C(i) V(j)$ 。其中, $C(i)$ 为向前移动或者转向移动的步长向量; $V(j)$ 为随机产生的方向向量。

(2)复制操作:当细菌完成设定次数的趋向性操作后,细菌将复制。设细菌种群大小为 N , $F_i(j, k, l)$ 为个体 i 的适应度值,适应度较好的前 $N/2$ 个个体进行复制,适应度较差的 $N/2$ 个个体

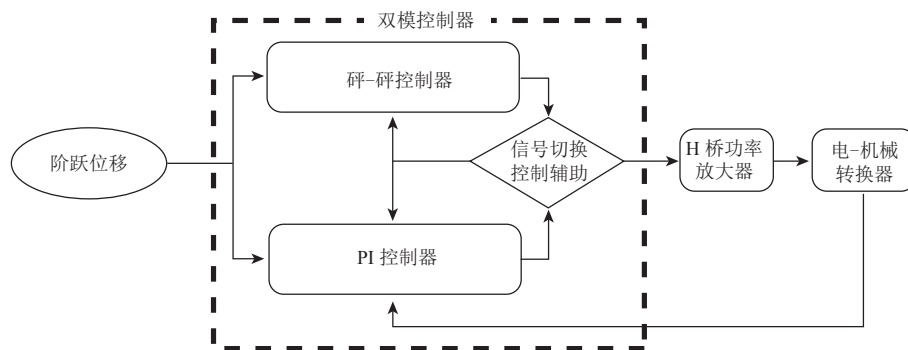


图 4 电-机械转换器双模控制系统框图

Fig. 4 A dual-mode control flow chart of EMC

被淘汰删除, 这样保证每次复制操作完成后, 细菌种群大小不变。

(3) 迁移操作: 引入这个过程可提高算法的全局搜索能力, 避免陷入局部极值。迁移操作是按照一定的概率 P 而发生的, 当某个细菌被选中时, 该细菌将被随机分配到解空间中去^[18]。

在上述的一般方法中步长是固定的, 这就产生了搜索速度和精度的矛盾。根据以往经验, t_1 、 t_2 、 t_3 三个搜索维度之间大小可相差几十倍, 固定步长很难满足速度和精度的共同要求。据此, 本文在每次复制操作后缩短步长为原来的 0.6 倍。

另外, 本问题为时间问题, 而时间只有缩短或增长两种可能, 故对向适应度变差方向移动的细菌, 则使其向相反方向移动, 直至适应度再次变差或达到指定趋向次数, 这样避免过早放弃搜索导致算法早熟。趋向性操作的流程图如图 5 所示。

本问题属于带有约束条件的时间最优问题, 惩罚函数法以其简单和容易实现成为目前最流行的一种处理约束的方法^[19,20]。前面已经提到, 控制过程的终点应使位移达到给定值的同时速度和加速度为零。本文采用惩罚函数法处理位移、速度和加速度这三个约束量, 即:

$$LiveFun = \sum_{n=1}^3 t_n + \sigma_1(x_1 - x_0) + \sigma_2 x_2 + \sigma_3 x_3 \quad (9)$$

其中, $t_1 + t_2 + t_3$ 为欲优化的指标, 即指标函数; x_0 为给定位移; σ_i ($i=1, 2, 3$) 为惩罚因子。

当 $\sigma_i \rightarrow \infty$ ($i=1, 2, 3$) 时, 指标函数收敛到最优指标函数值^[21]。 σ_i 的取值是需要一定经验和尝试的: 因为如果太小, 则约束能力较差, 根本达不到“惩罚”的目的; 如果太大, 则约束能力太强, 数值解往往收敛于约束量的最小值而不是指标函数的最小值^[19,21]。根据实际情况来看, 位移 x_1 是主要约束指标, 速度 x_2 重要性次之, 加速度 x_3 最次。据此, 本文设定 $\sigma_1=10$ 、 $\sigma_2=0.1$ 、 $\sigma_3=1 \times 10^{-5}$ 。

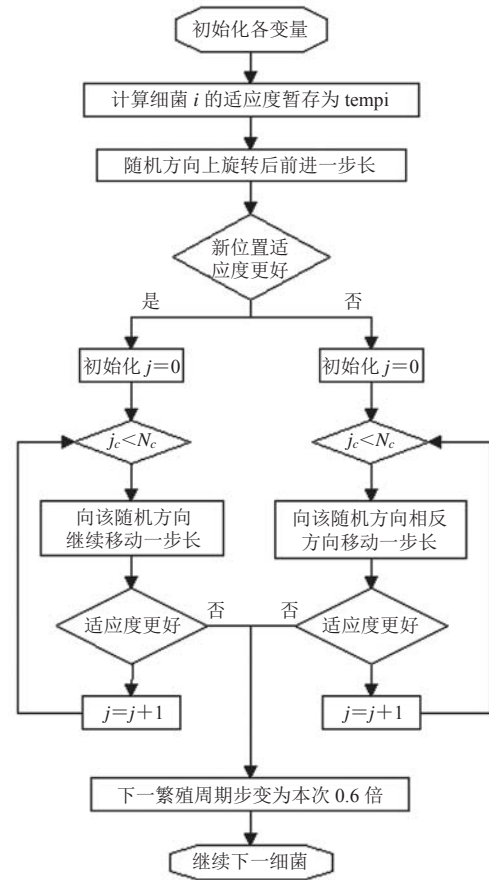


图 5 改进的趋向操作流程

Fig. 5 Flowchart of improved chemotaxis process

4.2 比例-积分闭环控制设计

比例-积分 (PI) 控制器按传统方法进行即可, 设置了位移和电流双闭环。电流环采用滞环比较器对线圈电流进行控制, 位移环采用 PI 控制器。由于本文设计的 PI 控制器只负责纠正小误差, 参数可以设置得激进一些, 尤其是积分 I 参数可以很大, 本文中设为: $P=3 \times 10^4$, $I=2 \times 10^6$ 。

5 仿真结果

根据上述数学模型和算法描述, 在 Matlab 软件中实现了上述算法并进行了仿真。

计算条件为: 电源电压 $U=12$ V; 初始状态

$x_1=0$, $x_2=0$, $x_3=0$; 目标状态 $x_1=1$ mm, $x_2=0$, $x_3=0$; 其余参数条件见表 1。计算结果为 $t_1=1.640$ ms、 $t_2=0.341$ ms、 $t_3=0.123$ ms, 即 H 桥先正向导通 1.640 ms, 再反向导通 0.341 ms, 最后再正向导通 0.123 ms, 总耗时 2.108 ms。Matlab/Simulink 模拟结果如图 6 所示, 可以看到, 经过上述输入, 最终位移转移到给定值 1 mm, 速度和加速度均为 0, 达到控制目标。

表 1 电-机械转换器参数表

Table 1 Parameters of EMC

参数项目	单线圈	三线圈 (每个线圈)
质量 M	0.2 kg	0.2 kg
电阻 R	3.1 Ω	1.03 Ω
电感 L	0.5 mH	0.167 mH
电源电压 U	12 V	12 V
力常数 K_e	31.25 N·A ⁻¹	31.25 N·A ⁻¹
粘滞阻尼系数 B_c	200	200
弹性阻尼系数 K_c	1 940	1 940

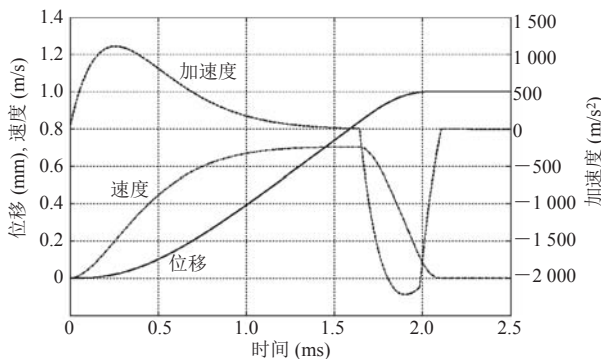


图 6 1 mm 阶跃输入下三线圈转换器响应

Fig. 6 Response of triple coil EMC at step input of 1 mm

为了进一步观察系统特性并说明算法的一般性, 下面给出从 0.2 mm, 0.3 mm, ..., 2.0 mm 不同阶跃输入位移的计算结果, 始、末状态的速度和加速度均为 0。结果如图 7 所示, 最上方迹线为总时间, 下方三条迹线分别为三个输入的持续时间。可以看到, 虽然本系统为较复杂的三阶系统, 但在毫米级小位移的情况下, 其切换时间具有一定的规律。

下面对比分析文中设计的三线圈与传统的单线圈电-机械转换器。输入为 0 时刻的 1 mm 位移阶跃, 为了与实际更加接近, 还加入了 5 N 摩擦力, 其余参数条件见表 1。

仿真结果如图 8 所示。其中, 迹线①为三线圈转换器在双模控制器控制下的位移输出; 迹线②为单线圈转换器在 PI 控制器下的位移输出, 其 PI 参数利用 Matlab 的 PID Tuner 整定, 超调量约为 10%。可见, 三线圈转换器系统在 2.5 ms 内即稳定到 1 mm 位移处, 超调和震荡很小, 而单线圈系统在 8 ms 后才能稳定到 5% 误差且伴随较大超调和震荡。

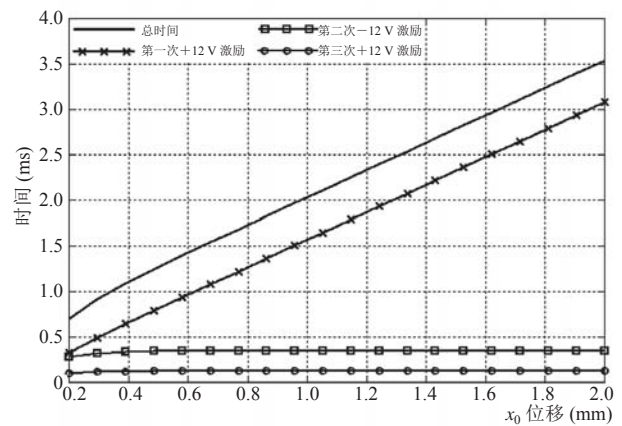


图 7 位移与激励时间

Fig. 7 Curves of displacement to excitation

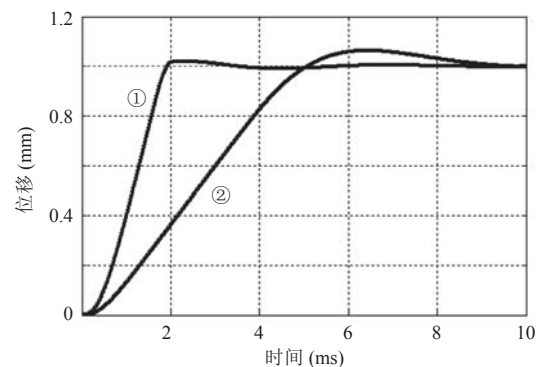


图 8 两种转换器 1 mm 阶跃响应

Fig. 8 Response of two different EMCs at step input of 1 mm

6 讨 论

仿真结果显示, 双模控制器驱动下的三线圈转换器比 PI 控制器下的单线圈转换器对阶跃信号响应速度有很大提高。在硬件上, 三线圈转换器有更大峰值功率和加速度; 在控制上, 本文设计的双模控制器是在数学模型基础上寻求的最短时间解, 在大误差阶段接近理论最短时间, 在实践中出现的未建模小误差阶段, 引入 PI 控制器闭环修正, 故过度时间短, 超调也小, 硬件性能得到了充分发挥。

与类似研究相比, 如 Wu 等^[22]设计的单线圈 EMC 在结构上利用有限元分析进行优化, 电流环为 PI 控制器, 位置环为滑模控制器, 质量负载 106 g, 其余类型负载不明, 24 V 供电下 0.125 mm 阶跃响应时间约 1 ms; 而在本研究中, 相同阶跃响应时间约 0.75 ms, 耗时明显较短, 主要原因可能在于单组线圈的力常数较小, 无法与本文的三组线圈之和相比拟, 即使先进的控制方法也要受物理条件的限制。在汪晓文^[23]的研究中, 低惯量永磁盘式步进电机 25% 行程阶跃响应时间约 2.1 ms, 而在本研究中相同阶跃响应时间约 1.25 ms。这一差距来源于多方面, 一是步进电机本身功率密度小, 二是未采用先进的控制方法, 硬件性能有待充分挖掘。Taktak-Meziou 等^[24]使用非线性模型预测控制使 EMC 驱动下的磁盘读写头 1 μm 阶跃响应稳定时间和超调量由 PID 控制下的 2.07 ms 和 31% 缩短到 0.33 ms 和 4%, 由于工况、行程与本研究差距太大不具备直接可比性, 但仍可见先进的控制方法对 EMC 系统性能有很大提高。

另外还应注意的是, 通常以正弦或阶跃信号作为测试信号是有一定局限性的, 如在汪正军等^[25]的研究中就出现了新型控制器对正弦波信号跟踪效果较好, 但对某一随机信号跟踪效果反而不如传统控制器的情况, 这说明一般随动问题

有待进一步研究。

7 总 结

本文设计了一种新型的三线圈结构电-机械转换器, 建立了数学模型, 分析了时间最优解的存在性和特点, 并利用变步长细菌觅食算法对最优点寻优, 实现算法证明了可行性。设计了 Bang-Bang 与 PI 双模控制器驱动三线圈电-机械转换器。理论分析与仿真结果表明其响应时间为 2.5 ms, 是传统单线圈系统 8.5 ms 的 1/3 以下, 且震荡和超调不超过 5%, 具有良好动态性能。

参 考 文 献

- [1] 张弓, 于兰英, 柯坚. 高频动圈式电-机械转换器 [J]. 电机与控制学报, 2007, 11(3): 298-302.
- [2] Zhang G, Liang JM, Jiang CM, et al. Computational fluid dynamics analysis of the air damping for an electromechanical converter [C] // Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing, 2015: 907-914.
- [3] Zhao S, Tan KK. Adaptive feedforward compensation of force ripples in linear motors [J]. Control Engineering Practice, 2005, 13(9): 1081-1092.
- [4] 田中裕久. 比例電磁ソレノイドのあゆみ [J]. フルイドパワーシステム: 日本油空圧学会誌: Journal of the Japan Hydraulics & Pneumatics Society, 2000, 31(3): 200-207.
- [5] 张立佳, 王大彧, 郭宏. 直线音圈电机的神经网络 PID 控制 [J]. 电气传动, 2010, 40(6): 46-49.
- [6] 王大彧, 郭宏, 刘治, 等. 直驱阀用音圈电机的模糊非线性 PID 控制 [J]. 电工技术学报, 2011, 26(3): 52-56.
- [7] Ananthanarayanan K. Third-order theory and bang-bang control of voice coil actuators [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1982, 18(3): 888-892.
- [8] Khandaker MF, Hong H, Rodrigues L. Modeling and controller design for a voice coil actuated engine valve [C] // Proceedings of the 2005 IEEE

- Conference on Control Applications, 2005: 1234-1239.
- [9] 张黎. 基于音圈式直线电机的位置伺服控制系统研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [10] 张大卫, 冯晓梅. 音圈电机的技术原理 [J]. 中北大学学报(自然科学版), 2006, 27(3): 224-228.
- [11] 罗良维, 张弓, 梁济民, 等. 基于线圈分割技术的电-机械转换器特性研究 [J]. 集成技术, 2015, 4(6): 85-91.
- [12] 程鹏, 王艳东. 现代控制理论基础 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010: 32-33.
- [13] 吴受章. 最优控制理论与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [14] Newman WS, Souccar K. Robust, near time-optimal control of nonlinear second-order systems: theory and experiments [J]. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 1991, 113(3): 363-370.
- [15] 赵治龙, 祁晓野. 弹载电液舵机的 Bang-Bang+PID 双模控制研究 [J]. 自动化博览, 2010, 27(10): 72-75.
- [16] 张德贺, 吴守正, 胡庆超. 液压伺服系统的微机砰-砰控制 [J]. 机床与液压, 1989(2): 2-6.
- [17] Passino KM. Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control [J]. IEEE Control Systems, 2002, 22(3): 52-67.
- [18] 杨大炼, 李学军, 蒋玲莉. 一种细菌觅食算法的改进及其应用 [J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(13): 31-34.
- [19] 胡一波. 求解约束优化问题的几种智能算法 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
- [20] 刘云连. 求解约束优化问题的智能算法研究 [D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2014.
- [21] 王晓亮, 单雪雄. 基于 Bang-Bang 原理的时间最优控制问题求解 [J]. 计算机仿真, 2006, 23(4): 163-166.
- [22] Wu S, Jiao ZX, Yan L, et al. Development of a direct-drive servo valve with high-frequency voice coil motor and advanced digital controller [J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2014, 19(3): 932-942.
- [23] 汪晓文. 低惯量电-机械转换器的研究 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2012.
- [24] Taktak-Meziou M, Chemori A, Ghemori A, et al. Track following control using nonlinear model predictive control in hard disk drives [C] // 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2013: 4401-4406.
- [25] 汪正军, 王军政, 赵江波. 大惯量随动系统双卡尔曼滤波预测制动控制 [J]. 电机与控制学报, 2011, 15(8): 75-80.