

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.03.029

## 操纵台输出曲线修正设计与实现

郭新胜<sup>1</sup>, 党力<sup>2</sup>, 李宝珺<sup>2</sup>, 陈洪彩<sup>3</sup>

(1. 西安应用光学研究所 科研试制生产部, 陕西 西安 710065; 2. 西安应用光学研究所 第12研究室, 陕西 西安 710065; 3. 西安应用光学研究所 第10研究室, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 针对机械式操纵台输出曲线单一、难于满足操控要求的问题, 通过利用存储器函数变换技术, 修正操纵台输出曲线来满足射击操控要求。首先给出了操纵台曲线修正设计方案, 然后给出了实现非线性化的修正电路的电路原理图。该电压修正电路已成功应用于实际射击控制电路中, 并取得了满意的效果。

**关键词:** 操纵台; 输出特性曲线; 曲线修正

**中图分类号:** TP306 **文献标识码:** A

## Design and Implementation of Modifying Manipulator's Output Characteristic Curve

GUO Xin-sheng<sup>1</sup>, DANG Li<sup>2</sup>, LI Bao-jun<sup>2</sup>, CHEN Hong-cai<sup>3</sup>

(1. Scientific Research & Production Department, Xi'an Institution of Applied Optics, Xi'an 710065, China;  
2. No. 12 Research Department, Xi'an Institution of Applied Optics, Xi'an 710065, China;  
3. No. 10 Research Department, Xi'an Institution of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** In order to overcome the flaw of hard control of manipulator with the simple linear output characteristic curve, it takes the method of modifying manipulator's output characteristic curve, which adopts the technique of memory function transformation. First introduces manipulator's output modifying scheme, then give a circuit design schematic of nonlinear correcting circuit. The application result shows that the technical index could be med and the design mission could be completed.

**Keywords:** Manipulator; Output characteristic curve; Curve modification

### 0 引言

在现代和未来作战中, 动态作战必然是主要作战方式。在移动载体中观察、瞄准、打击静止或移动目标, 需对火炮进行快速准确的控制, 使火炮在小速度内移动精确。如果操纵台操控性能不适宜, 会使射手根本无法快速指示目标并精确瞄准, 这大大降低了跟踪瞄准目标的能力, 甚至, 最终导致火控系统动态瞄准难、射击命中率不高。

操纵台是射手瞄准锁定目标的关键部件。它通过转动操纵台内部的电位器, 使其输出与操纵台转角对应的电压, 再通过小功率驱动电路, 将操纵台的输出电压直接送给稳定系统的陀螺力矩器, 陀螺力矩器将驱动陀螺转子做相应的偏转, 而稳定系统随着作相应的转动, 从而达到驱动瞄准线的目的。由于坦克或目标在运动时的角速度均在 5 mil/s 以下, 而我军目前选用的是没有经过任何电路处理的线性曲线操纵台。因此, 射手操控非常困难, 会导致射击命中率不高, 甚至射手无法射击。故提出对操纵台的输出曲线做修正, 以达到要求的操控性能。

### 1 操纵台曲线修正设计方案

输出特性曲线修正可通过建立数学模型, 使用计算机运算数学模型得到所需特性。但如果特性曲线是一个具有复杂函数关系的曲线, 数学模型的不准确性会带来输入—输出精度问题。而此电路的设计的关键就在于: 使一般的存储器具有函数变换功能。同时, 根据操控需要, 利用此功能将操纵台输出的具有线性的电压特性曲线转变为需要的非线性的电压特性曲线。

存储器函数变换技术, 将系统可能得到的输出数据先存入存储单元, 使复杂函数关系运算变成查表操作, 忽略数学模型的不准确性会带来的精度问题。其基本原理: 将存储器的地址 A 作为输入量, 与之相对应存储单元内的数据作为输出量 D, 输入量 A 与输出量 D 存在一一对应关系, 这种关系构形成函数关系。如果向各存储单元写入数据遵循  $D=F(A)$ , 使写入的数据与地址间建立函数关系。使数据与地址之间实现函数关系映射, 使一般的存储器具有函数变换功能, 将线性曲线转换为非线性曲线。

在电路设计中, 为提高电压转换精度, 电路中的 A/D、D/A 选用精度 12 bit 转换芯片。修正电路选用运算放大器 OP27、A/D 芯片 AD1674、外部存

收稿日期: 2009-10-09; 修回日期: 2009-11-04

作者简介: 郭新胜 (1972-), 男, 陕西人, 高级工程师, 在读博士, 从事反射镜稳定技术及稳瞄系统设计研究。

存储器 E<sup>2</sup>PROM2864、D/A 芯片 AD767 来实现。因操纵台的输出电压为±15 V，而 AD1674 的输入量程为±10 V，故电压经一级运放将信号转化为±10 V，以满足量程要求。E<sup>2</sup>PROM2864 为并行输入的外部存储器，修正后的电压值（即需要输出的电压值）的数字量预先存储在此芯片的存储单元中。电路中的 AD767 为并行输入转换芯片，而 E<sup>2</sup>PROM2864 的输出只有 8 bit，故需要 2 块 E<sup>2</sup>PROM2864，分别给 AD767 提供高 4 位和低 8 位输入。修正电路的工作过程：操纵台输出的电压模拟量经过处理，通过 AD1674 转化为数字量，并将此量作为 E<sup>2</sup>PROM2864 的地址信号。同时，在 E<sup>2</sup>PROM2864 中各地址对应

的存储单元里预先存入需要输出的电压值（即修正后的电压值数字量），AD767 再从 E<sup>2</sup>PROM2864 地址信号对应的存储单元读出数据，并转换为模拟量输出，经后续电路处理后作为陀螺转子的加矩信号。操纵台输出电压曲线修正框图，见图 1。

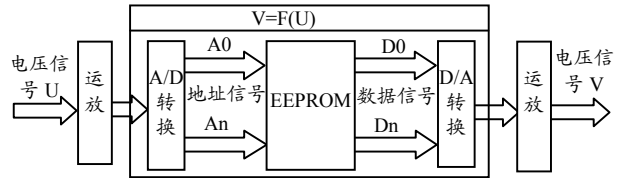


图 1 操纵台输出电压曲线修正框图

操纵台输出电压曲线修正电路原理图，见图 2。

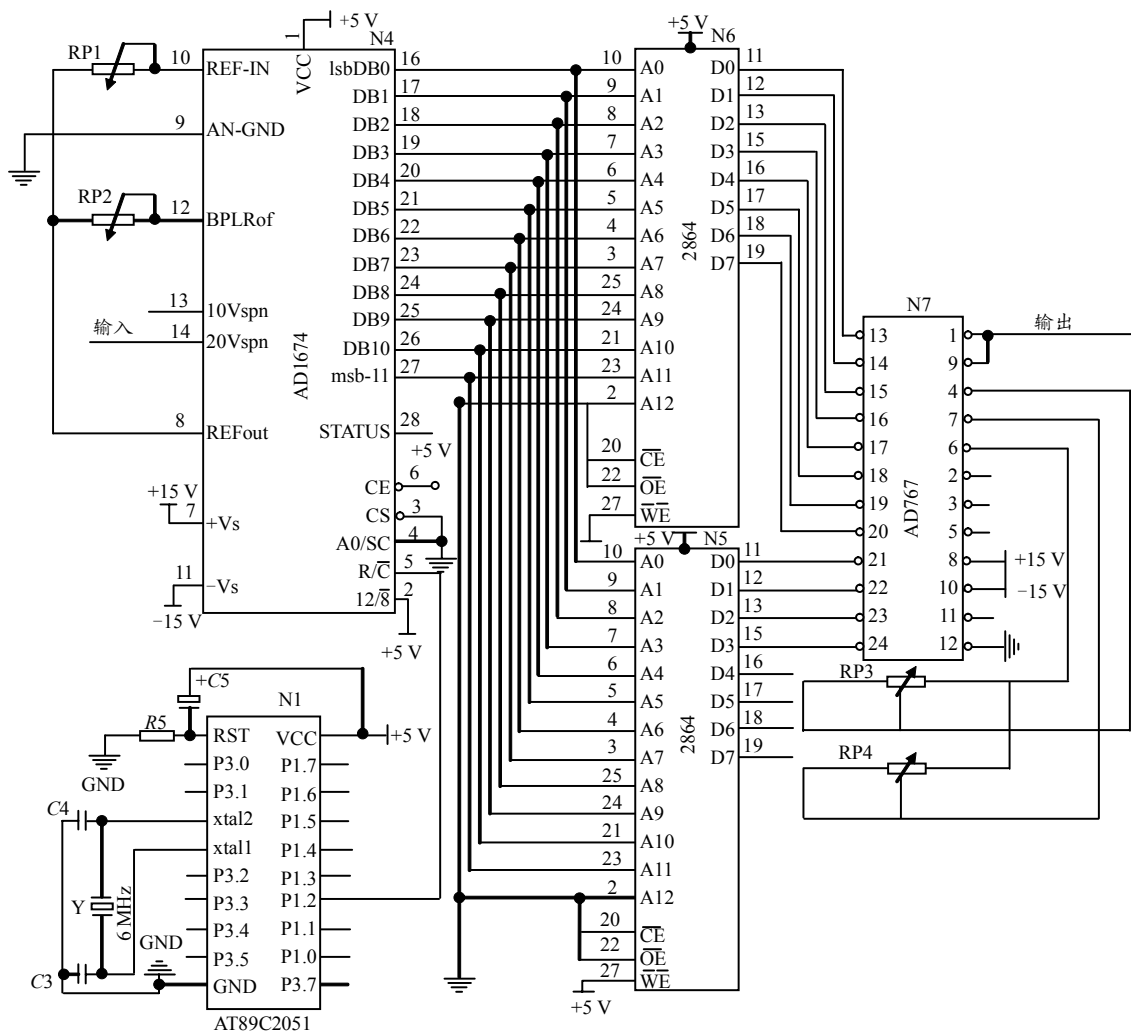


图 2 操纵台输出电压曲线修正电路原理图

### 2 修正曲线的选取

操纵台输出电压是一个连续的电压  $U$ ，它作用于陀螺电机的力矩器，使陀螺正常工作。如果将电压  $U$  直接作用于力矩器，就使得电压  $U$  与驱动力矩器的电压  $V$  构成  $U=V$  的线性关系。在实际应用中，发现当操纵台扳转一个较小角度，驱动陀螺力矩器

的操纵台输出的电压会使火炮瞄线产生较大的移动角速度，不利于射手在坦克静止或运动战斗状态下操控火炮对移动目标进行瞄准，实施精确打击。为改善射手操作舒适度，就需改善这种线性输出特性。

根据操控的需要，对不同的角速度下的曲线提出不同的要求：

$$y = \begin{cases} k_1 x, & -10v < x < 10v, \theta \in [-15, 15] \\ k_2 + e^x, & -14v \leq x \leq -10v, \theta \in [-15, -28] \\ k_3 + e^x, & 14v \leq x \leq 10v, \theta \in [15, 28] \\ -15, & -15v \leq x < -14v, \theta \in (-28, -30) \\ 15, & 14v < x \leq 15v, \theta \in (28, 30) \end{cases}$$

式中:  $x$  是操纵台的输出电压;  $\theta$  是操纵台的扳转角度;  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  是曲线修正的系数;  $y$  是经过修正后的电压。

操纵台实际应用中,  $x$  与  $\theta$  存在正比关系, 因此, 操纵台的扳转角度作为横轴, 修正后的电压作为纵轴。修正前、后的特性曲线, 见图 3。

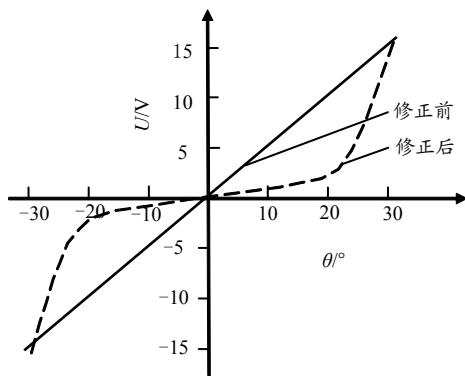


图3 操纵台的输出曲线修正前、后的特性曲线

表1 操纵台输出电压修正前后对比表

| 操纵台扳转角度/ $^{\circ}$ | 修正前输出电压/V | 修正后输出电压/V |
|---------------------|-----------|-----------|
| 1                   | 0.5       | 0.13      |
| 2                   | 1         | 0.19      |
| 8                   | 4         | 0.39      |
| 12                  | 6         | 0.56      |
| 16                  | 8         | 0.74      |
| 20                  | 10        | 1.08      |
| 24                  | 12        | 2.68      |
| 26                  | 13        | 3.10      |
| 28                  | 14        | 3.77      |
| 30                  | 15        | 13.5      |

该方案是按照图 3 虚线所述曲线趋势执行。将操纵台输出的模拟量先经一个运算放大器, 由 A/D 转换器转换, 这时, 将该转换后得到的数字信号作为  $E^2PROM$  的地址信号, 并将作用于力矩器的电压  $U$  经这 3 段曲线的函数关系的反函数  $Dx = \Phi(V)$  ( $\Phi$  代表斜率不同的各段函数的反函数) 变换后得到的数据写入  $E^2PROM$ , 便可从  $E^2PROM$  各存储单元得到修正后的数字信号。例如, 操纵台输出 7.5 V, 经运放和 A/D 变换后为 12 位数据, 再将这 12 位数据作为地址送入  $E^2PROM$  地址线, 并在此地址对应的单元写入 1.2 V (数字量), 那么, 只要操纵台输出电压为 7.5 V, 经过修正电路, 就会自动得到输出电压 1.2 V, 这种修正方法在逐点数据变换基础上完成, 需要设置很多点来转换, 采用 7FF (2047) 寄

存器来保存相应的数据点。并在两点间采用数据平滑处理, 以保证输出始终是连续的, 而不是跳跃的。

实际试验中测得的、操纵台不同扳转角度下的输出电压修正前、后对比, 见表 1 和图 4。

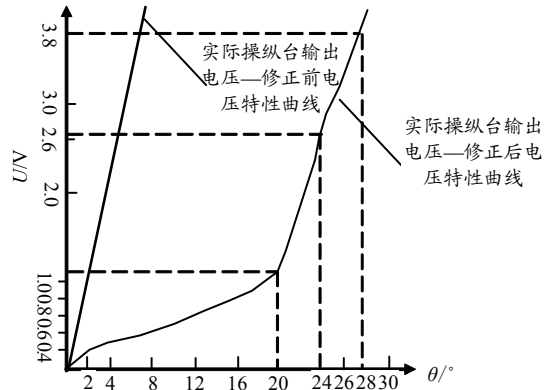


图4 实际操纵台的输出曲线修正前、后的特性曲线

因瞄准线跟踪角速度的大小与操纵台输出电压有直接关系, 为了改善射手操控舒适度, 实现操纵台扳转小角度, 瞄线移动角速度小; 操纵台扳转大角度, 瞄线移动角速度大的操控性能。试验中, 实际测得操纵台扳转角度与瞄准线跟踪角速度的对应关系如图 5, 这仅是局部、低速 (瞄准角速度在 25 mil/s 以下) 状态下的关系图。

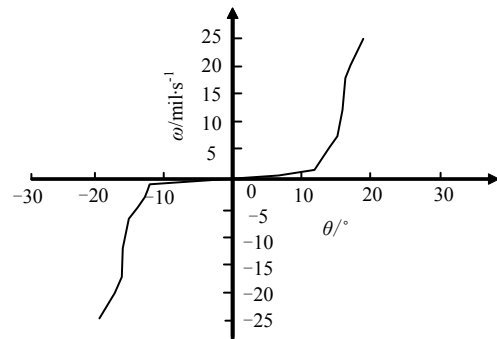


图5 操纵台扳转角度与瞄准线角速度的曲线

### 3 结束语

该设计在实际射击试验中取得了满意的射击效果。操纵台对瞄准镜的控制, 让射手感到易操控、舒适度高。因在数字操控系统设计中引入  $E^2PROM$  存储器, 使设计变得更加灵活, 提高了数字电路操控系统的性价比, 具有一定的经济效益。在设计中, 还可通过 DSP 实现更加复杂的非线性曲线的变换。

### 参考文献:

[1] 赵明富, 包明. 存储器函数变换技术及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.  
 [2] 张震, 张山钟. 存储器在函数发生器中的应用[J]. 郑州大学学报(工学版), 2002, 23(4): 52-54.