

一种采用微机求取自控系统 ITAE值的方法

沈宪章

(计算机与自动化系)

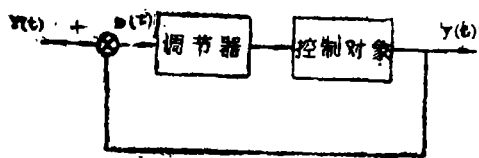
提 要: 自动控制系统中经常采用ITAE准则, 但应用分析法求取 ITAE 值是困难的【1】。本文提出了一种采用微型机求取自动控制系统ITAE值的方法, 较好地解决了这一难题。

关键词: 微型机; 自控系统; ITAE值

1 前 言

在现代的工农业生产、国防和科学技术领域, 自动控制技术得到了极为广泛的应用。人们针对不同的控制对象设计了各种各样的控制装置, 进而组成了不同类型的自动控制系统。

图1为一个典型的闭环自动控制系统。它由控制对象、调节器和比较器等组成, 它是



一个单位负反馈系统。系统的输入信号为 $r(t)$, 输出信号为 $y(t)$, 误差信号为 $e(t) = r(t) - y(t)$ 。

假设处于静止状态的自动控制系统

在单位阶跃函数 (参见图2(a)) 作用

下的输出响应 $y(t)$ 的波形如图2(b)所示, 则该自控系统性能的优劣可用一组品质指标来表征。例如可以采用上升时间 t_r 、峰值时间 t_p 、调节时间 t_s 、超调量 σ_p 和稳态误差 e_{ss} 作为一组品质指标 (参见图3)。在设计自控系统时, 这些指标应该同时加以考虑。但从控制理论可知, 上述指标相互之间往往是矛盾的。所以在设计选择自控系统 (具体来说是调节器) 的结构和参数时, 不得不对几种品质指标折衷考虑。也就是说, 当给定了这些品质指标后, 在设计满足这些品质指标的系统时, 无论是用图解法或用计算机模拟, 本质上都是一种试探法, 得不到最优的结果。鉴于这种情况, 许多学者提出了用解析方法综合最佳时间响应的性能指标。

图1 单位反馈控制系统方块图

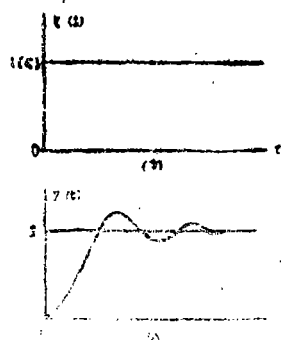


图 2

(a) 单位阶跃函数

(b) 输出响应曲线

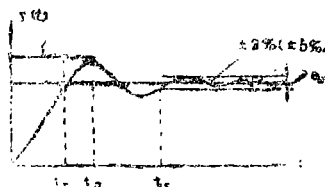


图 3 控制系统的性能指标

2 综合性能指标

在综合最佳时间响应的性能指标中,一般都考虑了误差和发生误差过程所需的时间这两个重要的因素。综合性能指标是一个具体的数值,它是自控系统中某个可控变数(一般是调节器中的某个可变参数)的函数。因此,可以通过调整自控系统的可变参数,使综合性能指标达到极值(通常为极小值)来实现自控系统的最优控制。综合性能指标应该具有能够区分最优和非最优的选择性、灵敏度、使用方便性和可靠性等基本特点。

在实际应用中使用的综合性能指标,有

误差平方的积分
$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt$$

误差绝对值的积分
$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt$$

时间乘绝对值误差的积分
$$ITAE = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt$$

时间乘误差平方的积分
$$ITSE = \int_0^{\infty} t e^2(t) dt$$

这里需要指出的是,为了使上述各种综合性能指标的积分值为有限值,要求系统在某种典型输入信号(例如单位阶跃信号)作用下的稳态误差为0。另外,上述综合性能指标的积分上限取 ∞ 是不实际的。因此可以用一个数 T 来代替 ∞ ,只要 T 选得足够大以至 $t > T$ 时的误差 $e(t)$ 小到可以忽略不计。通常取 $T \approx nt_s$ (n 为正整数)。

2.1 对于ISE准则,综合性能指标

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt = \int_0^{\infty} [r(t) - y(t)]^2 dt$$

减至最小的系统为最优系统。ISE为最小，则意味着要求减小上升时间 t_r （限制大的初始误差的影响），减小超调量 σ_p 和减小调节时间 t_s （限制持续时间很长的小误差的影响）（参见图4）。于是该准则兼顾了 t_r 、 σ_p 和 t_s 三种品质指标。但是，用这种准则设计的系统在大的初始误差时有迅速减小误差的倾向，因此系统的瞬态响应进行得十分迅速，并且是振荡的。于是系统的相对稳定性较差。另外该准则的选择性也不好（参见图5）

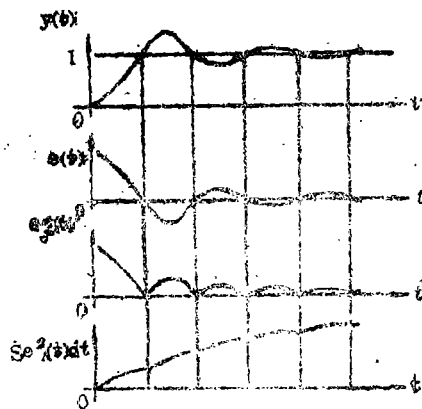


图4 ISE的计算

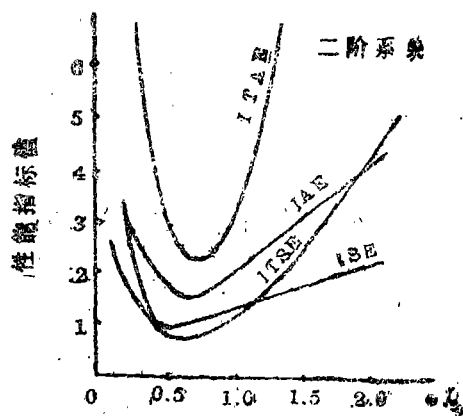


图5 综合性能指标

2.2 对于ITSE准则，综合性能指标

$$ITSE = \int_0^{\infty} t e^2(t) dt = \int_0^{\infty} t [r(t) - y(t)]^2 dt$$

减至最小的系统为最优系统。与ISE准则相比较，ITSE准则在被积函数中加了时间 t 这个“权”。在单位阶跃响应的初始阶段，由于被积函数中的“权” t 很小，大的初始误差在整个积分中所占的比重将下降，而在阶跃响应的后期，被积函数中“权” t 越来越大，这时的误差在整个积分中所占的比重将大大增加。所以ITSE准则将着重反映瞬态响应的后期误差。ITSE准则比ISE准则有较好的选择性（参见图5）。

2.3 IAE准则，综合性能指标为

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt = \int_0^{\infty} |r(t) - y(t)| dt$$

该准则对于过分欠阻尼和过阻尼系统，不能做到最优。对于其它系统，由该准则获得的最优系统具有适当的阻尼和较好的瞬态响应。但IAE准则的选择性也不太好（参见图5），并且不易用分析法求值。

2.4 ITAE准则，综合性能指标为

$$ITAE = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt = \int_0^{\infty} t |r(t) - y(t)| dt$$

使该积分值减至极小的系统为最优系统。与ITSE准则相似，它在被积函数中增加了时间 t 这个“权”。因此，它对单位阶跃响应中大的初始误差考虑较少，而着重权衡瞬态响应后期出现的误差。根据ITAE准则设计出的系统超调量 σ_p 小并且振荡有足够的阻尼。该准则还具有良好的选择性（参见图5）。

综上所述，各种准则都有各自的特点。但相比之下，ITAE准则具有较多的优点。因此，工程上经常采用ITAE准则。然而，有关文献指出：尽管ITAE很容易用实验方法测定，但用分析法求值却是很困难的^{[1]、[2]}。为此，我们提出了一种采用微机求取ITAE值的方法，较好地解决了这一难题。

3 采用微型机求取ITAE值

采用微机求取ITAE值的系统框图如图6所示。

3.1 系统的工作原理

给处于静止状态的自控系统施加单位阶跃函数的输入信号： $r(t) = 1(t)$ ，则自控系统产生相应的输出响应 $y(t)$ 。该响应经过传感器变换为标准电信号后通过A/D转换送入微型机。微型机将送入的信号依次列表存放在RAM中。之后，微机又将RAM中存放的数据按时间顺序一一取出，分别减 $1(t)$ ，取绝对值，乘A/D接口的采样周期 $T_s = \Delta t$ 。其结果再乘以各数据所对应的“权”——时间 t 。然后再逐项累加之，求得 $\sum t \cdot |y(t) - 1(t)| \cdot \Delta t = \sum t \cdot |e(t)| \cdot \Delta t$ 。显然最后所得结果即为ITAE

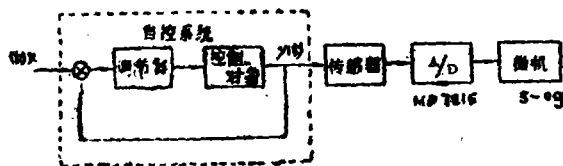
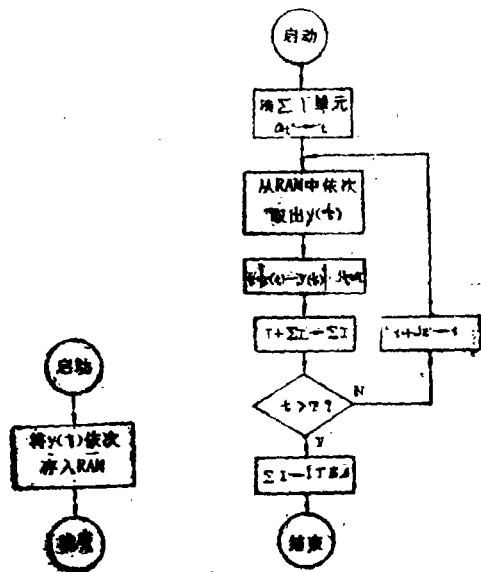


图6 采用微机求取ITAE值的系统简框图

的近似值。一般情况下A/D的采样周期 T_s 要比自控系统输出 $y(t)$ 的振荡周期小好几个数量级，ITAE值与 $\sum t \cdot |e(t)| \cdot \Delta t$ 之间的误差是很小的，可以近似认为 $ITAE = \sum t \cdot |e(t)| \cdot \Delta t$ 。

系统的软件框图见图7。



存 $y(t)$ 程序

计算ITEA程序
程序框图

图7

3.2 采用微机求取ITAE值的系统具有以下特点:

3.2.1 使用该系统可以很方便地求取ITAE的值,同时还可以通过调整图6中的调节器内可变参数,找到ITAE的极小值,从而实现最优控制。

3.2.2 该系统也可以通过键盘将自控系统的单位阶跃响应曲线 $y(t)$ 的采样值输入微机,然后再进行求取ITAE值的运算。

3.2.3 当自控系统的控制对象与调节器的数学模型已知时,该系统还可以通过微机仿真求解出自控系统的单位阶跃响应 $y(t)$,进而计算出ITAE值。

3.2.4 该系统的软件略作修改,即可用于求取ISE、IAE、ITSE的值。

总之,采用微机的求取自控系统ITAE值的方法的提出,对于改善自控系统的性能指标,进而实现最优控制有一定的实用意义。

参 考 文 献

- (1) 绪方胜彦著,卢伯英译,《现代控制工程》,科学出版社,1976年。
- (2) 李友善主编,《自动控制原理》,国防工业出版社,1980年。
- (3) 周恩永等编,《反馈与控制》,国防工业出版社,1986年。

A Method to Calculate the Value of Itae For Automatic Control Systems Using Microcomputer

Shen Xianzhang

(Computer and automation department)

Abstract: In automatic control systems the ITAE criterion is often applied, but it is difficult to calculate the value of ITAE by analytical method [1]. This paper introduced a method based on microcomputer, that obtains the value of ITAE for a automatic control system and gets a better solution for this difficult problem.

keywords: microcomputer, automatic control systems, the value of ITAE