

模糊控制中的非线性问题

李永华 徐枋同 徐华中

(武汉工学院, 430070)(武汉水利电力学院, 430072)(武汉工学院)

摘要 本文提出在自控系统中应用模糊控制器时,应考虑其非线性特性对闭环系统动态响应的影响. 文章在快速富里哀变换(FFT)的基础上,应用描述函数法进行了此类问题的研究,指出了系统出现持续振荡(极限环)的可能性;并提出了在小偏差时转用 PI 控制的区域划分原则. 经理论分析和工程实践的结果表明,这种研究方法是符合客观事实的.

关键词: 模糊控制 非线性 描述函数

1 问题的提出

在设计模糊控制器时,通常要做精确量的模糊化、模糊控制规则的选择以及输出信息的模糊判决这三方面的工作,因此使得最后制定的模糊控制表包含一定程度的非线性. 1976 年 W. J. M. 基克特和 E. H. 马达尼提出用多值继电器来模拟模糊控制器. 也正是反映了这一事实.

在自动控制系统中,作为语言控制器的模糊控制表既然属于一种非线性环节,那么它对闭环系统的响应、动态品质等究竟会产生什么影响,是否可能出现自振荡等等,本文将结合在温度控制系统中采用模糊控制器的实例,就上述问题进行讨论.

2 研究的方法

一般工业被控对象均具有低通特性,因此,我们在研究系统的稳定性和极限环的问题时,可应用经典的描述函数法. 设闭环系统如图 1 所示,其中模糊控制器(控制表)即为非线性环节,其描述函数为 $N(E, E_c)$,被控对象的传递函数为 $G(s)$.

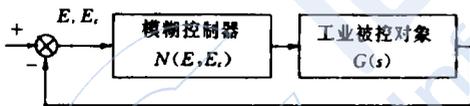


图 1 模糊控制系统

描述函数所以用 $N(E, E_c)$ 表示,是因为一般模糊控制表是用被控量的偏差 E 和偏差变化率 E_c 来编制的,即根据二维输入量 E, E_c 进行查表,得出一维输出量(控制量或控制增量). 所以它是一个多变量函数,即不仅与偏差的幅值有关,而且还与偏差的变化频率有关. 下面列出我们在某温度控制系统中所用的模糊控制表. 表 1 的制订系按一般常规方法(从略). 后面的讨论均以此表作为基础.

为了求取描述函数 $N(E, E_c)$,可输入具有不同幅值和频率的谐波 $E(t)$ 及对应的 $E_c(t)$,查模糊控制表,得到控制量的输出波形如图 2 所示. 再用离散富里哀变换(DFT)进行谐波分析. 这里我们采用快速富里哀变换(FFT)并取出输出控制量的基波, $y = Y \sin(\omega t + \varphi)$, 即得描述函数

$$N(E, E_c) = \frac{Y}{E} \angle \varphi \quad (1)$$

表 1 模糊控制表

Δu / E_c	-55	-42	-28	-17	-8	-6	-4	0	+3	+5	+11	+16	+27	+41	+54				
-128									-352	-256	-192	-128	-64	-24	-2	+9			
-96								-352	-256	-192	-128	-64	-24	-2	+9	+16			
-48			-416					-352	-256	-192	-128	-64	-24	-2	+9	+16	+48		
-27								-352	-256	-192	-128	-64	-24	-2	+9	+16	+48	+80	
-16								-352	-256	-192	-128	-64	-24	-2	+9	+16	+48	+80	+128
-8	-352	-352	-256	-256	-192	-128	-64	-24	-24	-2	+9	+16	+48	+80	+80	+128	+128		
-3	-352	-352	-256	-192	-128	-24	-24	-24	+9	+16	+48	+128	+128	+128	+128	+128			
0	-256	-256	-192	-128	-128	-64	-24	-24	+16	+48	+48	+128	+128	+128	+192	+192			
+3	-256	-192	-192	-128	-128	-24	-24	+16	+48	+80	+128	+128	+128	+128	+192	+192			
+8	-192	-128	-128	-64	-24	-24	+9	+16	+48	+80	+128	+128	+128	+192					
+16	-128	-64	-24	-2	+9	+16	+48	+80	+128	+192									
+21	-2	+9	+9	+16	+48	+80	+128	+192											
+48	-2	+9	+16	+48	+80	+128	+192												
+80	+9	+48	+48	+80	+128	+192													
+112	+9	+48	+48	+80	+128	+192													

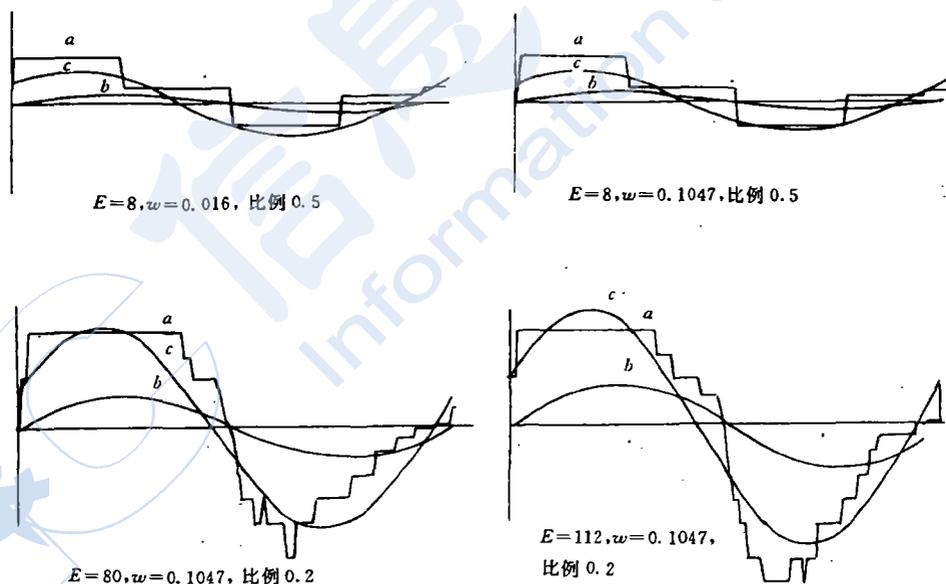


图 2 控制量波形及其基波分量

曲线 a —查模糊控制表输出波形; 曲线 b —输入信号; 曲线 c —FFT 基波分量波形

按理 $N(E, E_c)$ 应是一组曲线(以频率为参变量), 但由于表中 E_c 的分档关系, 对应于本文的模糊控制表, 当频率 $f \leq 1/30\text{Hz}$ 时, $N(E, E_c)$ 已与频率无关, 即蜕化为一个单变量函数. 而应用此表的实际温度控制系统, 其温度变化频率属于这个范围, 因此, 下面的讨论即以 $N(E, E_c)$ 为单变量函数来进行.

从图 2 可知,基波分量超前于输入信号,即它是具有正的实部和虚部.显然,这种性质是由模糊控制器具有 PD(比例微分)调节规律的特性所决定的.根据(1)式求得描述函数 $N(E, E_c)$ 后,即可求出描述函数的负倒频率特性曲线 $-1/N(E, E_c)$.由上面的分析可知, $-1/N(E, E_c)$ 曲线将位于第二象限.

3 极限环

一般工业被控对象的传递函数有 0 型或 1 型系统的形式,并且往往还带有纯滞后特性,因此其幅相特性曲线会进入第二象限而与 $-1/N(E, E_c)$ 曲线相交.相交的交点可能不止一个,应根据具体情况分析,如能找出稳定的交点,此即为极限环,此时闭环系统将在对应于该交点的幅值和频率下作等幅振荡.如果开环幅相特性曲线包围 $-1/N(E, E_c)$ 曲线或交点是非稳定的,则表明系统如按模糊控制表进行控制,将不可能稳定工作.

4 实例分析

某加热炉炉温控制系统如图 3 所示,图中模糊控制器的控制表见表 1,模糊控制器的输出是控制量的增量值,被控对象是广义对象.

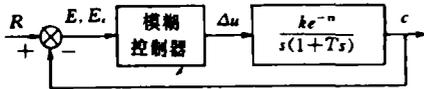


图 3 炉温控制系统框图

图 3 中温度给定值 R 和实际温度值 C 均用对应的码值表示.根据实测资料,对象的惯性时间常数 $T \approx 60\text{min}$,纯滞后时间常数 $\tau \approx 6\text{s}$,增益系数 $k = 5.78$ 码值/阀开度.

正如前面所指出的,按表 1 的 E_c 分档,在 $f \leq 1/30\text{Hz}$ 时, $N(E, E_c)$ 为与频率无关的单变量函数.根据 FFT 计算结果,作出的 $-1/N(E, E_c)$ 曲线如图 4 所示,与对象的开环幅相特性曲线相交于 a, b 两点.显然 a 点和 b 点是稳定的交点,系统的输出(温度)可能以该交点对应的幅值和频率出现持续振荡,即极限环.至于具体稳定于 a 点还是 b 点,应视系统工作的初始条件而定.

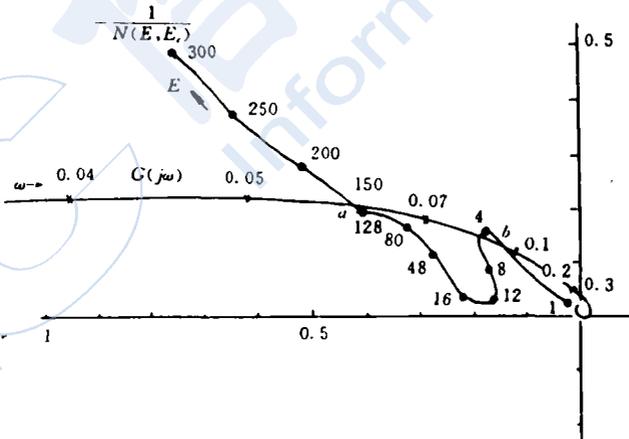


图 4 系统 $G(j\omega)$ 和 $-1/N(E, E_c)$ 曲线

在运行过程中,对该系统进行了实测,其温度记录曲线如录波图 5(a)和图 5(b)所示.由图可见,在大偏差情况下温度持续振荡的幅值为 $\pm 45^\circ\text{C}$,周期为 3.3min 图 5(a),小偏差情况下振荡幅值为 $\pm 30^\circ\text{C}$,周期为 3min 图 5(b).这些实测记录说明图 4 的分析是符合客观现象的,

交点 a 反映了图 5(a) 波形的情况, 交点 b 反映了图 5(b) 波形的情况, 由于影响对象参数实测值的因素很多, 现场条件也较恶劣, 不可能做到实测参数很准确, 但分析计算的结果已可很好地说明这一客观现象。

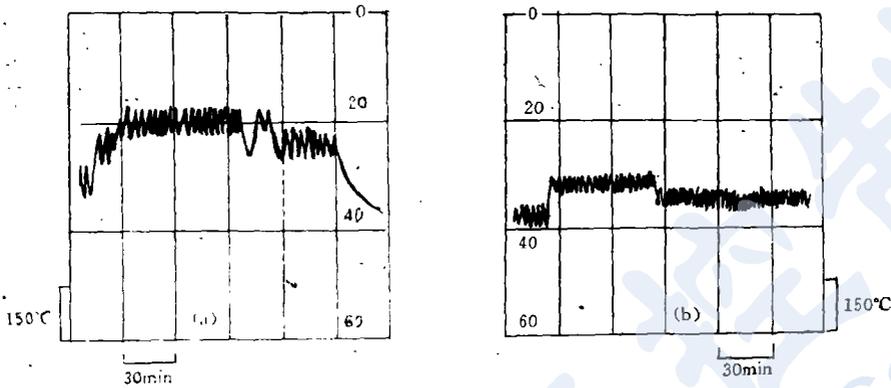


图 5 温度录波图

为了消除小偏差时的持续振荡, 本系统在小偏差时改用 PI 控制. 从分析计算得到的结论是, 在稍大于图 4 中文点 b 所对应的 E 值区转为 PI 控制, 就可避免小幅值的持续振荡, 而使温度响应曲线趋于非常平坦, 实测波形图 6 可说明这一结论的正确性, 它是在调整了 PI 控制区的范围后所得的一段较理想的温度曲线。

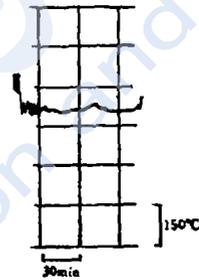


图 6 温度录波图

5 结论

(1) 自控系统中采用模糊控制器时, 应该考虑其非线性特性对系统响应所产生的影响; (2) 本文提出可用描述函数法来分析模糊控制系统的非线性特性和持续振荡等问题. 经与实测结果比较, 表明此方法是可行的; (3) 模糊控制器的描述函数负倒频特性, 与模糊控制表的制定原则有直接关系, 因此应考虑非线性这一因素来改进控制表的编制; (4) 根据本文中的实例说明, 稳定的交点(极限环)可能不止一个. 合理选定 PI 控制区可避免小幅值持续振荡的发生, 至于大幅值持续振荡如何避免的问题尚待进一步探讨。

参 考 文 献

- 1 王学慧, 田成方. 微机模糊控制理论及其应用. 北京, 电子工业出版社, 1987
- 2 李友善. 自动控制原理. 北京, 国防工业出版社, 1981