

由可行性参考输入的定义可知, 当用可行性参考输入 w^r 代替实际的参考输入 w 时, u 也同样用 u^r 代替, 则有

$$U^r = C(sI - A)^{-1}[BW^r - EY] + DW^r - FY. \quad (3)$$

用式(2)中的 U 减去式(3), 可得

$$C(sI - A)^{-1}G(U^r - U) + (U^r - U) = C(sI - A)^{-1}B(W^r - W) + D(W^r - W). \quad (4)$$

定义 $\Delta U = U^r - U$, $\Delta W = W^r - W$, 则式(4)可变为

$$C(sI - A)^{-1}G\Delta U + \Delta U = C(sI - A)^{-1}B\Delta W + D\Delta W. \quad (5)$$

由式(3), (5)可得可行性参考输入的表达式为

$$W^r = [C(sI - A)^{-1}B + D]^{-1}(U^r + [C(sI - A)^{-1}E + F]Y), \quad (6)$$

$$W^r = W + [C(sI - A)^{-1}B + D]^{-1}[C(sI - A)^{-1}G + I](U^r - U). \quad (7)$$

当控制器退出饱和时, 即 $\Delta U = 0$ 时的瞬间, ΔW 不会立即变为 0. 为了让系统能够真正地跟踪原参考输入信号 W , 真正的退出饱和, 则选取 ΔW 与 ΔU 呈静态关系, 即 $\Delta U = K^* \Delta W$. 其中: K^* 为常数矩阵. 当控制器退出饱和($\Delta U = 0$)时的瞬间, W^r 就会和 W 一致了, 系统的输出信号 y 将跟踪参考输入信号 w . 这也就意味着, 系统实际上根本就感觉不到输入限制是什么时候消失的, 性能可以得到良好的改善. 把 $\Delta U = K^* \Delta W$ 代入式(5)中, 可得到

$$C(sI - A)^{-1}GK^* \Delta W + K^* \Delta W = C(sI - A)^{-1}B\Delta W + D\Delta W \Rightarrow \\ C(sI - A)^{-1}GK^* + K^* = C(sI - A)^{-1}B + D. \quad (8)$$

所以 $K^* = D$, $GK^* = B$, $\Delta U = K^* \Delta W$ 可以写成 $\Delta U = D\Delta W$. 当控制器输入的数量 m 与控制器输出的数量 l 相等时, D 是方阵, 从 $GK^* = B$ 可得出

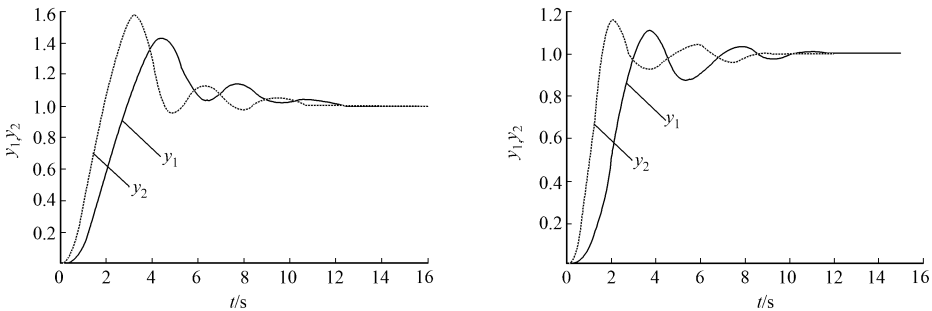
$$G = BD^{-1} \quad (9)$$

2 实例仿真

对实例 $G_{PR} = \begin{bmatrix} \frac{1}{(1+S)(1+2S)} & \frac{0.2}{(1+4S)(1+8S)} \\ \frac{0.2}{(1+2S)(1+8S)} & \frac{1}{(1+S)^2} \end{bmatrix}$ 进行仿真, 改写成 $A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, $C = \begin{bmatrix} 2.604 & 2 \\ -0.520 & 8 \end{bmatrix}$, $D = \begin{bmatrix} 10.001 & 6 \\ -0.125 & 5.008 \end{bmatrix}$. 被控对象的输入限制为 $U_{1,\max} = 2, U_{1,\min} = -2; U_{2,\max} = 2, U_{2,\min} = -2$. 由式(9)计算抗饱和和反馈控制器为

$$G = BD^{-1} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.00125 \\ 0.0025 & 0.2 \end{bmatrix}.$$

输入受限时系统的输出响应, 如图 2 所示. 从图 2 中可以看出, 当系统输入受限而没有任何保护时, 系统超调量增加响应时间变长, 性能变差; 当在条件技术下通过引入“可行参考输入”的概念, 可使系统抗饱和和效果明显改善.



(a) 没有任何保护

(b) 条件技术下

图 2 输入受限时系统的输出响应

Fig. 2 Output response of the system with limited inputs

系统输入受限时的可行参考输入,如图 3 所示. 从图 3 中可以看出,条件技术下的可行性参考输入

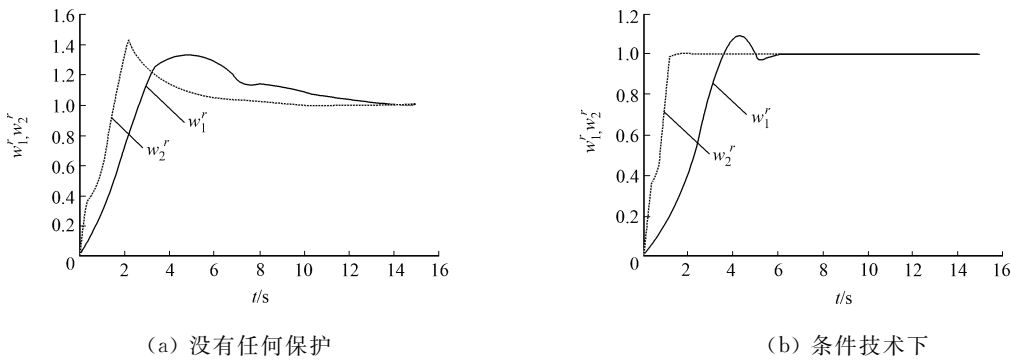


图 3 输入受限时系统的可行参考输入

Fig. 3 Realizable reference inputs of the system with limited inputs

也与实际的阶跃输入信号非常接近,并在很短的时间内就能达到完全一致,整个系统就不会感觉到由于改变参考输入信号而使得输出有了大幅度的波动. 注意到可行性参考输入不能被提前计算得到,只能是在 w 作用得到 u^r 后,反计算得到. 因此,可行性参考输入仅仅是一个理解不同抗饱和方法的工具.

3 结束语

可行性参考输入信号是一个虚拟量,只要借助这个虚拟的概念就可以很方便地设计出抗饱和控制框架中的反馈补偿控制器. 在实际执行过程中只用到反馈补偿控制器,而不需要找到可行性参考输入的确切值去代替实际的参考输入.

参考文献:

[1] 吴风,王景成,方小生,等. 抗饱和控制的一些新进展[J]. 化工自动化及仪表,2007,34(2):1-6.
[2] 牛彬,谢清来,李钟慎. 基于条件技术的 Anti-Windup 设计及其在伺服系统中的应用[J]. 电气自动化,2009,31(5): 4-5,8.
[3] 李海霞,李钟慎. 条件作用技术在 PID 抗饱和和补偿控制器中的应用[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2009,30(4): 380-383.
[4] 杨明,徐殿国,贵献国. 控制系统 Anti-Windup 设计综述[J]. 电机与控制学报,2006,10(6):622-626,631. 38-40.

An Anti-windup Compensator Using Conditioning Technique

LI Zhong-shen, NIU Bin

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: The anti-windup designing method based on the conditioning technique is used in the system in state-space form, in which the concept of realizable reference input in conditioning technique is introduced in the design of anti-windup compensator. The simulation results have shown that the designed controller can make the whole system have an evident effect of anti-windup, the realizable reference input in the conditioning technique is very close to that of real step input signal and reach the same value in a short time, and there is no great fluctuation of the output because of the change of reference input in the whole system.

Keywords: compensation controller; state-space; anti-windup; conditioning technique; realizable reference input

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 郑亚青)