

平成 17 年度 プロセス制御工学試験問題 (07/27)

[問題] 図 1 に示す攪拌槽型混合プロセスの制御系を設計する．この混合プロセスでは，成分 X の濃度が異なる 2 種類の原料を混合し，指定された成分 X 濃度の製品を，指定された量だけ生産しなければならない．原料 1 および 2 の成分 X 濃度は C_1, C_2 [kg/m³]，流量は F_1, F_2 [m³/s] であり，混合器からの流出液（製品）の成分 X 濃度は C_3 ，流量は F_3 である．なお， $C_1 < C_2$ であり， C_3 の設定値は常に C_1 以上 C_2 以下である．この混合器の断面積は一定で A [m²]，液レベルは L [m] であり，内部は完全混合状態を仮定する．液密度は濃度や温度によらず常に一定で ρ [kg/m³] とする．また，この混合プロセスにおいて測定されている変数は F_1, F_2, F_3, C_3, L の計 5 変数である．このとき，以下の問いに答えよ．

1. 全成分の物質収支式を導出せよ．
2. 成分 X の物質収支式を導出せよ．
3. このプロセスの状態方程式および状態変数を求めよ．
4. 制御しなければならない変数（変数名と記号）を 3 つ挙げよ．

ここまでで，制御系設計のための準備は整った．続いて，具体的な制御系設計に進む．このプロセスの操作変数は 2 つの原料と 1 つの製品の流量を調節するためのバルブ開度であり，流量 F_1, F_2, F_3 に対応するバルブ開度を V_1, V_2, V_3 とする．以下の問いに答えよ．

5. この混合プロセスには，制御変数が 3 つ，操作変数が 3 つある．これらすべての変数を同時に考慮して，3 つの操作変数で 3 つの制御変数を制御する複雑な制御系を設計することもできる．このような制御手法を何と呼ぶか．その名称を答えよ．
6. 上記制御系を採用する代わりに，3 つの SISO 制御系を設計することもできる．このような制御手法を何と呼ぶか．その名称を答えよ．

今回は 3 つの SISO 制御系を構築する．以下の問いに答えよ．

7. 制御変数と操作変数との適切な組み合わせを選択せよ．さらに，その組み合わせが明確にわかるように，解答用紙に混合プロセスの図を描き，3 つの制御系を図示せよ．なお，図を描く際には計装記号を用いること．流量コントローラは FC，液レベルコントローラは LC，濃度コントローラは QC で表す（賢明な学生諸君には直感的に明らかなことだが，適切な組み合わせは一通りではない．複数の可能性があるが，組み合わせが適切である限り，どの解答も正解とする．）
8. 液レベルを制御するために，伝達関数が次式で与えられるコントローラを用いる．この制御の名称，および定数 K_P, T_I の名称を答えよ．

$$C(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad (1)$$

9. この制御を用いるとき，制御応答の立上り時間を短くするためには，何をどのように調整すればよいか．具体的に答えよ．

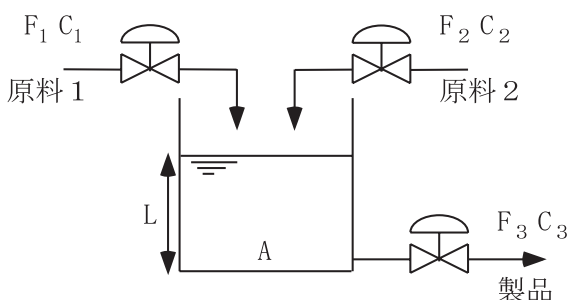


図 1 攪拌槽型混合プロセス

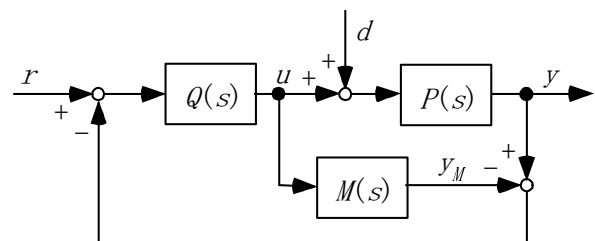


図 2 内部モデル制御

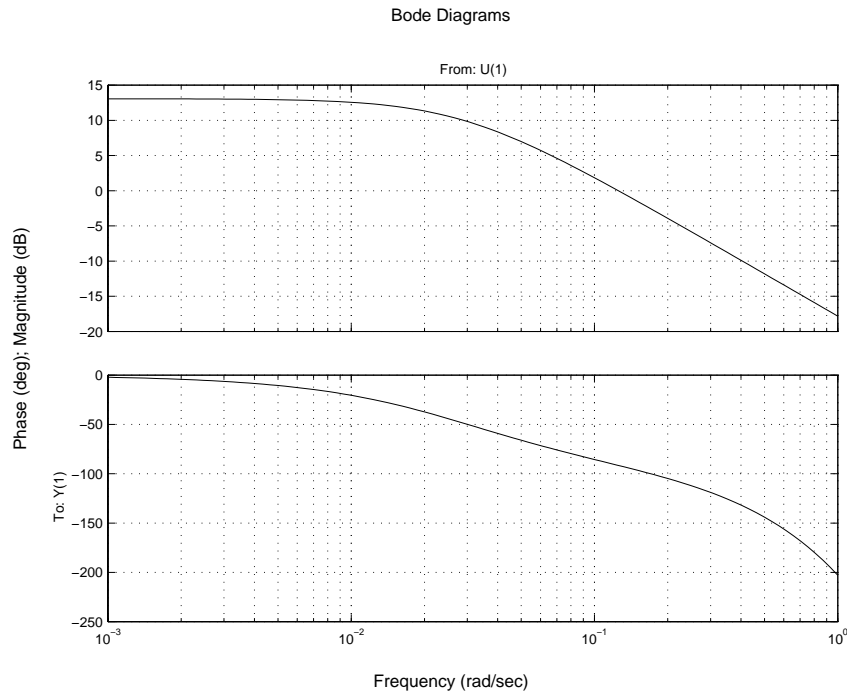


図 3 ボード線図

10. 運転データより，バルブ開度から液レベルへの伝達関数は一次遅れ要素で十分に近似できることが確認されている．上記の液レベル制御を採用する場合，ステップ状の設定値変更に対して，定常状態で偏差が残らないことを証明せよ．

ここまでは，液レベル制御について検討してきた．続いて，濃度制御系の設計に進む．まず，操作変数であるバルブ開度から制御変数である製品濃度への伝達関数を求めるために，ステップ応答実験を行った．その結果，その伝達関数 $M(s)$ は次式のように表されることがわかった．

$$M(s) = \frac{5}{20s^2 + 12s + 1} \quad (2)$$

この結果をふまえて，制御方式として内部モデル制御（IMC）を用いることとした．内部モデル制御系のブロック線図を図 2 に示す．ここで， $P(s)$, $M(s)$, $Q(s)$ はそれぞれプロセス，モデル，IMC コントローラの伝達関数である．また， u , y , r , d はそれぞれ操作量，制御量，設定値，外乱を， y_M はモデルの出力を表す．以下の問いに答えよ．

11. バルブ開度をステップ状に変更するとき，濃度の応答は振動的か非振動的か，その理由と共に答えよ．
12. 設定値 r から制御量 y への閉ループ伝達関数 $H_{yr}(s)$ を求めよ．
13. 次式の IMC コントローラを用いるとき，内部モデル制御と PID 制御が等価となることを示せ．

$$Q(s) = \frac{1}{\lambda s + 1} M^{-1}(s) \quad (3)$$

14. ある IMC フィルタ時定数 λ を用いたとき，開ループ伝達関数のボード線図を描くと，図 3 のようになった．この制御系のゲイン余裕と位相余裕を求めよ．
15. IMC フィルタ時定数 λ のみを調整して，ゲイン余裕を 10dB としたい． λ を何倍にすれば良いか，答えよ．
16. PID 制御を実施したところ，設定値をステップ状に変化させたときに，流量が大きく変化して系が乱れる現象が観察された．この現象を回避するために，PID 制御の代わりにどのような制御を利用すれば良いか．制御の名称と制御系のブロック線図を示せ．

以上