

平成 13 年度 プロセス制御工学試験問題

[問題 1]

図 1 に示す連続蒸留塔がある。この蒸留塔では、低沸成分 A と高沸成分 B の混合液を第 15 段に供給し、塔頂から成分 A を、塔底から成分 B を製品として抜き出している。留出液中の成分 A モル分率および缶出液中の成分 B モル分率は共に 98% 以上でなければならない。製品組成は 1 時間毎にガスクロを用いて測定されているが、測定頻度が低いため、この測定値を利用したフィードバック制御では十分に製品組成を制御できない。そこで、留出液中成分 A モル分率 x_D の代わりに塔内第 9 段温度 T_9 を還流量 L を操作変数として制御し、缶出液中成分 B モル分率 x_B の代わりに塔内第 22 段温度 T_{22} を熱媒流量 Q を操作変数として制御する。また、還流槽とリボイラーの液レベルは、それぞれ留出液流量 D と缶出液流量 B で制御する。なお、図 1 において、TC は温度コントローラを、LC は液レベルコントローラを表す。以下の問いに答えよ。

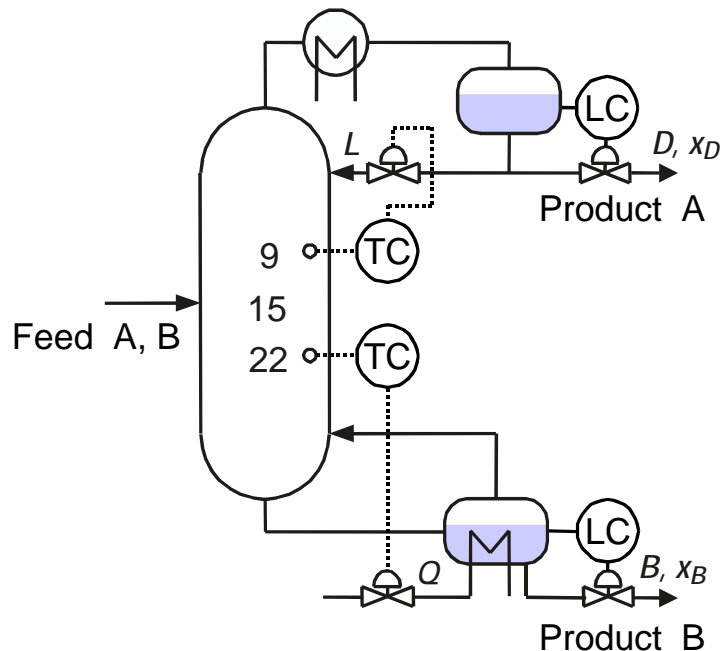


図 1 2 成分連続蒸留塔

問 1 還流槽液レベルの制御系について、以下の問いに答えよ。

- (1) 還流槽への流入流量を W [m^3/min]、還流量を L [m^3/min]、留出流量を D [m^3/min] とする。また、還流槽の断面積は A [m^2] で一定であり、液レベルを H [m] とする。液体の密度は濃度や温度に関係なく一定であるとして、物質収支式を導出せよ。
- (2) ある変数 X の基準とする定常状態での値を X_0 とし、変数 X の定常値 X_0 からのずれを X で表す。この表記法を用いて、先に求めた物質収支式を、各変数の定常値からのずれで表現せよ。
- (3) 物質収支式をラプラス変換して、留出流量 D から液レベル L への伝達関数を求めよ。
- (4) 比例制御を用いて留出流量による液レベルの制御を行うとき、ステップ状の設定値変更や外乱に対して定常偏差は残るか。理由と共に答えよ。

問 2 塔内第 22 段温度 T_{22} の制御系を設計する。以下の問いに答えよ。

- (1) ステップ応答実験を行った結果から、熱媒流量 Q から T_{22} への伝達関数は、一次遅れ要素とむだ時間要素で表現できることが判明した。計算結果によると、無次元化された定常ゲインは 12、時定数 15 min、むだ時間 1 min であった。PI 制御を行う場合のブロック線図を示せ。なお、比例ゲインを K_C [-]、積分時間を T_I [min]、 T_{22} の設置値を r として、各ブロックとその入出力に適切な伝達関数あるいは変数名を記すこと。
- (2) $K_C=0.1$, $T_I=16$ と設定した場合の一巡伝達関数のボード線図を図 2 に示す。この場合のゲイン余裕を求めよ。さらに、この制御系が安定か否かを答えよ。
- (3) 一般的に、ゲイン余裕は 3~10dB に設定することが望ましいとされる。そこで、比例ゲイン K_C のみを変化させて、ゲイン余裕が 10dB になるようにしたい。調節後の K_C の値を求めよ。

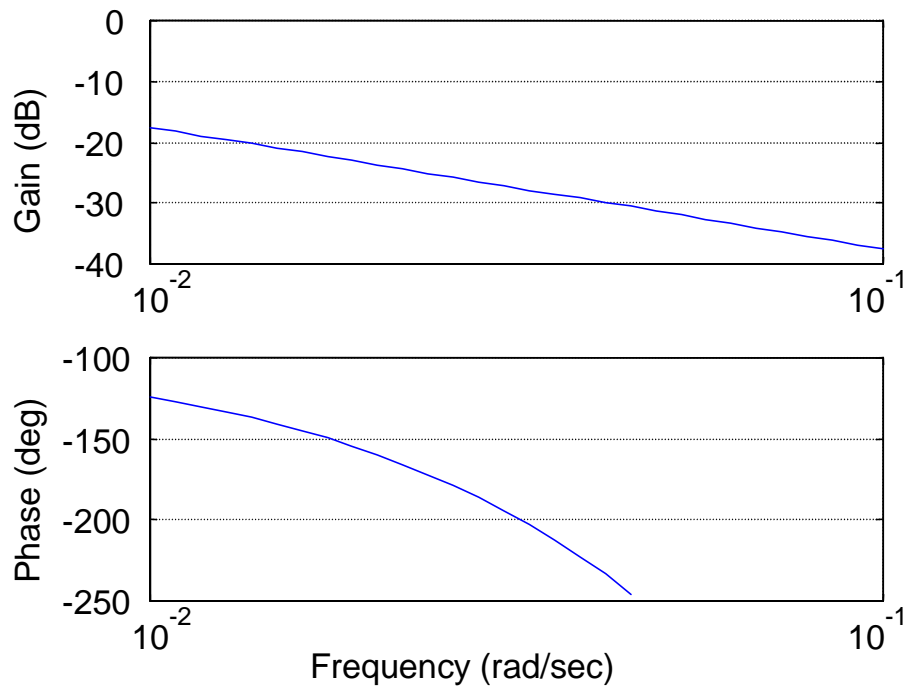


図 2 一巡伝達関数のボード線図

問 3 塔内第 22 段温度 T_{22} の制御系について、より詳細に検討する。希望する熱媒流量 Q を実現するために利用可能な、実際の操作変数はバルブ開度である。以下の問いに答えよ。

- (1) 熱媒流量制御系のブロック線図を図 3 に示す。ここで、 C_2 はコントローラ、 P_2 はバルブの伝達要素を表し、 U はバルブ開度である。このとき、設定値 Q_{set} から熱媒流量 Q への閉ループ伝達関数を求めよ。
- (2) Q_{set} を定常値 ($Q_{set}=Q=0$) から ΔQ だけステップ状に変化させた場合の Q の応答を図示せよ。さらに、定常偏差 (オフセット) を求めよ。なお、各伝達関数は次式で与えられる。 K および T はいずれも定数である。

$$C_2 = K_{C2}, \quad P_2 = \frac{K_{P2}}{T_{P2}s+1}$$

- (3) 先に設計した T_{22} の制御系では、操作変数を熱媒流量 Q とした。しかし、現実には、 Q の制御系が存在し、 T_{22} の制御系全体のブロック線図は図 4 のようになる。このブロック線図に基づいて、設定値 r から T_{22} への閉ループ伝達関数を求めよ。
- (4) 外側ループのコントローラ C_1 に PI 制御を、内側ループのコントローラ C_2 に P 制御を用いる

とする。設定値 r をステップ状に変化させた場合、 T_{22} に定常偏差（オフセット）は残るか否か答えよ。なお、理由も明確に記すこと。

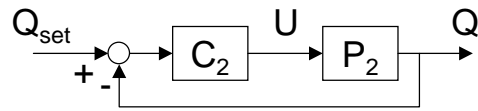


図3 熱媒流量制御系のブロック線図

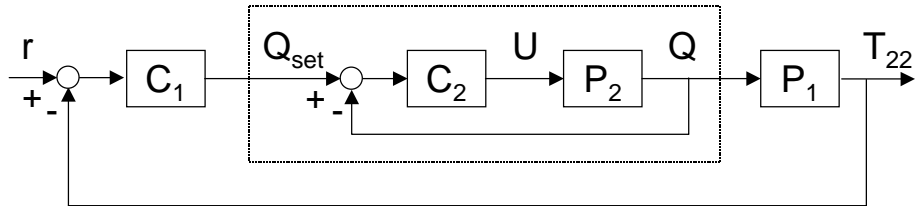


図4 カスケード制御系のブロック線図

[問題 2]

- 問1 PID 制御について、比例ゲイン (> 0) を大きくした場合に、行き過ぎ量、立ち上がり時間、および整定時間がどのように変化するかを定性的に説明せよ。
- 問2 スミス補償型 PID 制御系のブロック線図を図示せよ。
- 問3 微分先行型 PID 制御が通常の PID 制御よりも優れている点について説明せよ。
- 問4 プロセスの伝達関数モデルが一次遅れ系である場合、IMC コントローラが PI コントローラに等価であることを示せ。