



Studio del controllo di temperatura attraverso celle di Peltier

Francesco Sorrentino¹

Abstract

Attraverso l'analisi comparativa di controllori P, PI e PID, tramite l'utilizzo di specifici parametri quali l'IAE (*Integral of Absolute Error*), il settling time ed il rise time, si è valutata la strategia di controllo più efficace per la regolazione della temperatura di una soluzione idroalcolica, utilizzando una cella di Peltier come elemento raffreddante. Per la progettazione dei vari controllori, si è dapprima ricavata la funzione di trasferimento del processo in due specifiche condizioni di scambio termico, ben descritta da un modello di tipo FOPDT (First Order Plus Dead-Time), dalla quale si sono poi ricavati i parametri caratteristici dei controllori sviluppati, inizialmente tramite il metodo di Cohen e Coon e, successivamente, dalla minimizzazione dell'IAE mediante simulazione numerica del sistema closed-loop in esame. I parametri ottenuti sono stati utilizzati per l'implementazione ed il confronto delle risposte ad anello chiuso ottenute da due forme discrete dell'equazione di controllo: la *Position Form* e la *Velocity Form*.

¹ Relatori: Prof. Diego Caccavo, Prof. Gaetano Lamberti, Ing. Benito Califano

La non perfetta congruenza tra modello matematico e dati sperimentali messa in risalto dalla Figura 19, dalla Figura 20 e dalla Tabella 4, osservando che i parametri dei controllori ottenuti dalla minimizzazione dell'IAE non hanno in realtà minimizzato tale indicatore, è attribuibile a un fitting non ottimale della curva di reazione del processo, nonché alla natura empirica del modello (FOPDT) che, in qualità di tale, è in grado di descrivere i dati sperimentali solo nelle medesime condizioni operative in cui sono stati ottenuti, differenti da quelle in cui sono state svolte le prove di closed-loop (la temperatura dell'aria è cambiata) [15].

5. Conclusioni

Attraverso l'analisi comparativa di controllori P, PI e PID, tramite l'utilizzo di specifici parametri quali l'IAE (*Integral of Absolute Error*), il settling time ed il rise time, si è valutata la strategia di controllo più efficace per la regolazione della temperatura di una soluzione idroalcolica, utilizzando una cella di Peltier come elemento raffreddante. Per la progettazione dei vari controllori, si è dapprima ricavata la funzione di trasferimento del processo in due specifiche condizioni di scambio termico, ben descritta da un modello di tipo FOPDT (First Order Plus Dead-Time), dalla quale si sono poi ricavati i parametri caratteristici dei controllori sviluppati, inizialmente tramite il metodo di Cohen e Coon e, successivamente, dalla minimizzazione dell'IAE mediante simulazione numerica del sistema closed-loop in esame. I parametri ottenuti sono stati utilizzati per l'implementazione ed il confronto delle risposte ad anello chiuso ottenute da due forme discrete dell'equazione di controllo: la *Position Form* e la *Velocity Form*.

Le analisi hanno dimostrato che la sostituzione dell'aria con acqua attorno al serbatoio ha portato a un significativo miglioramento delle prestazioni del sistema. In particolare, le configurazioni con controllore PI in *Velocity Form* e controllore PID in *Position Form*, hanno mostrato i migliori valori per tutti gli indicatori considerati. Per il controllore PI in *Velocity Form* i valori degli indicatori stimati sono: 1114 per l'IAE, 265 s per il rise time e 934 s per il settling time, quelli per il controllore PID in *Position Form* sono invece: 1268 per l'IAE, 241 s per il rise time e 925 s per il settling time. In conclusione, si comprende che per migliorare l'azione di controllo è necessario velocizzare ulteriormente il processo poiché i parametri del controllore sono già ottimizzati. Al fine di ciò si potrebbe rimuovere il serbatoio in vetro e di conseguenza una resistenza al trasporto di calore, oppure mettere in agitazione le soluzioni interne ed esterne al serbatoio, massimizzando in questo modo i coefficienti di scambio termico.

Bibliografia

1. Caccavo, D. and G. Lamberti, *Method and apparatus for measuring the alcoholic content of aqueous solutions by means of gas sensors*, Patent EP4256324. 2023.
2. Stephanopoulos, G., *Chemical process control*. Vol. 2. 1984: Prentice hall Englewood Cliffs, NJ.
3. Gökçek, M. and F. Şahin, *Experimental performance investigation of minichannel water cooled-thermoelectric refrigerator*. Case Studies in Thermal Engineering, 2017. **10**: p. 54-62.
4. Prasanna, J.A., et al., *Design and Construction of a Compressorless Peltier Refrigerator with On/Off Control for Precise Temperature Regulation*. International Journal of Low-Carbon Technologies, 2016. **11**(4).
5. Rowe, D.M., *CRC handbook of thermoelectrics*. 2018: CRC press.
6. Awasthi, M. and K. Mali, *Design and development of thermoelectric refrigerator*. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 2012. **1**(3): p. 5418-5421.
7. Remeli, M.F., et al. *Experimental study of a mini cooler by using Peltier thermoelectric cell*. in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. IOP Publishing.
8. Rambang, K., et al., *Design of Cooling and Heating Tool Using Thermoelectric Peltier Based on Arduino Uno*. ELKHA: Jurnal Teknik Elektro, 2021. **13**(1): p. 41-47.
9. Guráš, R. and M. Mahdal. *Use of Peltier modules for liquid cooling*. in *2021 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC)*. 2021. IEEE.
10. Mannella, G.A., V. La Carrubba, and V. Brucato, *Peltier cells as temperature control elements: Experimental characterization and modeling*. Applied thermal engineering, 2014. **63**(1): p. 234-245.
11. Nise, N.S., *Control systems engineering*. 2020: John Wiley & Sons.
12. Bequette, B.W., *Process control: modeling, design, and simulation*. 2003: Prentice Hall Professional.
13. Romagnoli, J.A. and A. Palazoglu, *Introduction to process control*. 2005: CRC press.
14. Boyce, W.E., R.C. DiPrima, and D.B. Meade, *Elementary differential equations and boundary value problems*. 2021: John Wiley & Sons.
15. Seborg, D.E., et al., *Process dynamics and control*. 2016: John Wiley & Sons.
16. Åström, K.J., *Control system design lecture notes for me 155a*. Department of Mechanical and Environmental Engineering University of California Santa Barbara, 2002. **333**.