

# MỘT SỐ BIỆN PHÁP KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG BẢO HÒA TÍCH PHẦN CHO CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN PID THỰC TRONG CÔNG NGHIỆP

Nguyễn Văn Chí

Trường Đại học Kỹ thuật công nghiệp – Đại học Thái Nguyên

## TÓM TẮT

Trong công nghiệp, hiện tượng bảo hòa tích phân trong các bộ điều khiển PID làm cho hệ kín có độ quá điều chỉnh lớn, thời gian điều chỉnh tăng lên và có thể gây ra mất ổn định. Bài báo giới thiệu về hiện tượng bảo hòa tích phân trong các bộ điều khiển PID thực trong công nghiệp và các ảnh hưởng của hiện tượng này. Dựa trên cơ sở đó bài báo đưa ra các biện pháp khắc phục, trình bày kết quả so sánh và nhận xét chất lượng các biện pháp nhờ sử dụng công cụ mô phỏng Matlab/Simulink.

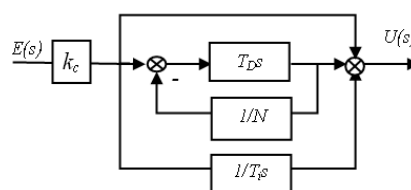
**Từ khóa:** Bảo hòa tích phân, PID, chống bảo hòa tích phân.

## MỞ ĐẦU

### Giới thiệu về hiện tượng bảo hòa tích phân trong các bộ điều khiển PID thực

Trong lĩnh vực điều khiển tự động bộ điều khiển PID được dùng rất phổ biến và hiệu quả trong các hệ thống điều khiển công nghiệp vì tính đơn giản, tin cậy và dễ dàng cài đặt trên các thiết bị phần cứng. Hiện nay các thuật toán điều khiển PID được rất nhiều hãng chế tạo bộ điều khiển đã cài. Tuy nhiên để thực thi được trên các thiết bị phần cứng thì thành phần vi phân đòi hỏi phải được xấp xỉ theo một số cách khác nhau bởi vì thành phần vi phân  $T_D S$  là một khâu không có tính nhân quả. Mặt khác khâu vi phân đáp ứng quá nhanh với thay đổi tín hiệu sai lệch nên cũng rất nhạy cảm với nhiễu đo. Để khắc phục hai vấn đề này ta có thể xấp xỉ khâu vi phân như sau

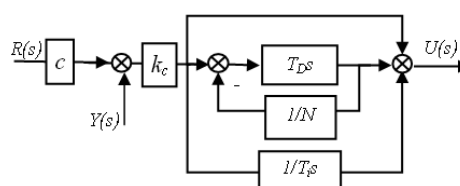
$$u_d(s) = k_c \frac{T_D S}{1 + \frac{T_D S}{N}} (r(s) - y(s)) \quad (1)$$



Hình 1. Bộ điều khiển PID với thành phần vi phân theo cấu trúc (1)

Khi đó  $N$  trở thành một tham số bộ điều khiển thường được chọn trong khoảng 3-30. Giá trị  $N$  càng lớn thì khâu xấp xỉ càng giống khâu vi phân thực, nhưng ảnh hưởng của nhiễu đo cũng sẽ tăng theo. Khâu vi phân đáp ứng nhanh với thay đổi giá trị đặt cho nên trong thực tế giá trị đặt thay đổi nhanh làm cho thành phần vi phân quá lớn, gây thay đổi đột ngột trong tín hiệu điều khiển. Để tránh điều này ta có thể đưa thêm một trọng số  $c$  cho giá trị đặt:

$$u_d(s) = k_c \frac{T_D S}{1 + \frac{T_D S}{N}} (cr(s) - y(s)) \quad (2)$$



\* Nguyễn Văn Chí, Tel: 0912450170,  
Email: [ngchi@tnu.edu.vn](mailto:ngchi@tnu.edu.vn)

**Hình 2.** Bộ điều khiển PID với thành phần vi phân theo cấu trúc (2)

Trong trường hợp đặc biệt  $c = 0$ , thành phần vi phân chỉ có tác dụng với thay đổi giá trị đầu ra  $y$  có nghĩa là chỉ có vai trò trong việc loại bỏ nhiễu quá trình chứ không có vai trò trong đáp ứng với giá trị đặt. Đối với các hệ thống điều khiển quá trình thì giá trị đặt ít thay đổi, nên yêu cầu loại bỏ nhiễu được đặt lên hàng đầu do vậy trong công nghiệp thường chỉ dùng bộ điều khiển PI là cũng đáp ứng được yêu cầu điều khiển.

Bão hoà tích phân (*reset windup*, *integrator windup*) là hiện tượng đầu ra của bộ điều khiển vẫn tiếp tục tăng quá mức giới hạn do sự tích lũy của thành phần tích phân vẫn tiếp tục được duy trì khi sai lệch điều khiển đã trở về không [1]. Hiện tượng này chỉ xảy ra khi bộ điều khiển có chứa thành phần tích phân và tín hiệu bị hạn chế như những hệ thống có cơ cấu chấp hành hai vị trí như kiểu role, van đóng mở và trong trường hợp bộ điều khiển có thành phần tích phân bị giới hạn tín hiệu. Mặt khác ta biết rằng thành phần tích phân giúp cho đầu ra của hệ kín nhanh chóng đạt tới giá trị đặt tuy nhiên tín hiệu đặt quá lớn hoặc thay đổi quá nhanh khi đó làm cho thiết bị chấp hành không đáp ứng kịp thì tính chất tuyến tính của luật điều khiển không còn được đảm bảo.

Để minh họa cho hiện tượng bão hòa tích phân ta xét ví dụ đối tượng có hàm truyền:

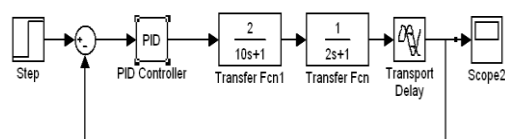
$$W(s) = \frac{2}{(s+10)(s+2)} e^{-s} \quad (3)$$

Bộ điều khiển được thiết kế như sau:

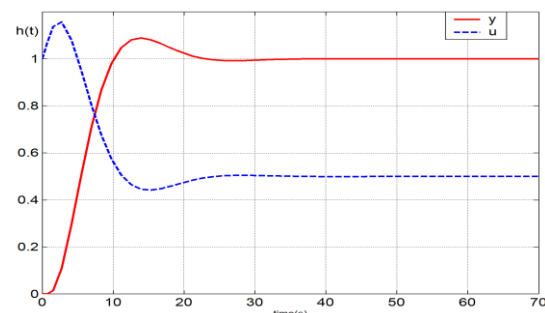
$$G(s) = 1 + \frac{1}{10}S \quad (4)$$

Khâu hạn chế có mô hình:

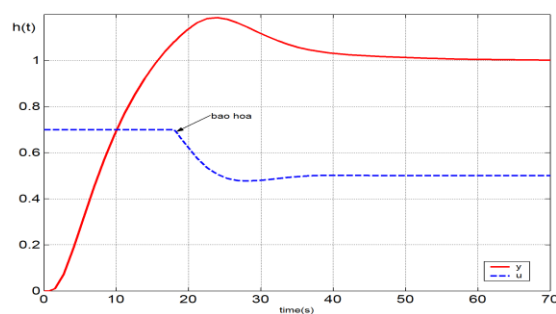
$$Y = \begin{cases} \text{asgn}(u) & \text{khi } |u| > b \\ \frac{a}{b}(u) & \text{khi } |u| < b \end{cases} \quad (5)$$



**Hình 3.** Ví dụ hệ kín với bộ bộ điều khiển PID có tín hiệu điều khiển bị hạn chế



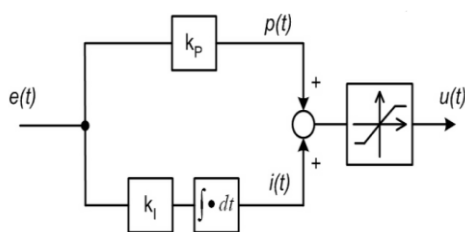
**Hình 4.** Đáp ứng đầu ra  $y$  của hệ kín và tín hiệu điều khiển  $u$  của bộ điều khiển không bị hạn chế



**Hình 5.** Đáp ứng đầu ra  $y$  của hệ kín và tín hiệu điều khiển  $u$  của bộ điều khiển bị hạn chế

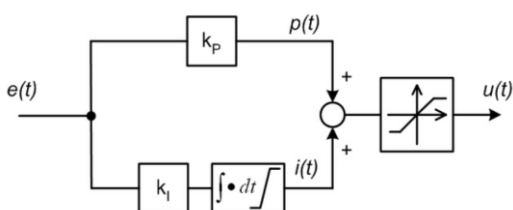
Đặc tính quá độ tiêu biểu của một hệ kín cho trường hợp không bị hạn chế tín hiệu điều khiển (hình 4). Khi giá trị đặt tăng lên, trước hết bộ điều khiển PI sẽ làm sai lệch điều khiển  $e(t)$  giảm dần và tiến tới 0. Tại thời điểm sai lệch điều khiển triệt tiêu, thành phần P bằng 0 nhưng thành phần I vẫn tiếp tục được duy trì. Tác động tích phân làm cho sai lệch điều khiển đổi dấu và gây nên hiện tượng quá điều chỉnh. Bình thường khi các tham số của bộ điều khiển được chỉnh định tốt thì dao động này nhanh chóng tắt dần và hệ thống nhanh chóng đi tới trạng thái xác lập. Tuy nhiên nếu tín hiệu điều khiển bị hạn chế trên (về giá trị hoặc tốc độ thay đổi) thì hệ thống sẽ đáp ứng chậm hơn với thay đổi

giá trị đặt. Đến khi sai lệch điều khiển triệt tiêu thì thành phần  $I$  trở nên rất lớn và tiếp tục tăng bởi tín hiệu điều khiển vẫn bị giới hạn. Do vậy thời gian quá điều chỉnh và độ quá điều chỉnh đều tăng lên (hình 5). Nếu tín hiệu điều khiển cũng bị giới hạn dưới nữa thì hiện tượng này có thể lặp lại làm cho hệ dao động nhiều hơn và thậm chí có thể làm cho hệ kín mất ổn định. Đầu ra của bộ điều khiển càng bị giới hạn nhiều hoặc thời gian tích phân càng nhỏ thì chất lượng của hệ kín càng giảm so với trường hợp lý tưởng.



**Hình 6. Cơ cấu chấp hành của bộ điều khiển bị hạn chế**

Hiện tượng bão hoà tích phân làm cho hệ kín có độ quá điều chỉnh lớn. Nếu tín hiệu điều khiển bị hạn chế trên và hạn chế dưới nhiều sẽ làm thời gian quá điều chỉnh tăng lên và có thể gây ra hiện tượng mất ổn định của hệ thống đặc biệt là khi cơ cấu chấp hành có tín hiệu hạn chế nhiều. Do đó vấn đề nghiên cứu những biện pháp chống lại ảnh hưởng của hiện tượng này cần được quan tâm và là mục đích của bài báo này.



**Hình 7. Bộ điều khiển có thành phần tích phân và cơ cấu chấp hành bị hạn chế**

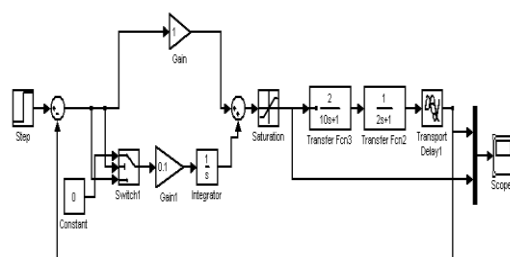
## Các biện pháp chống bão hòa tích phân

Các biện pháp chống bão hòa tích phân (anti-windup) gồm các giải pháp như thay đổi hệ số khuếch đại của bộ điều khiển và các giải pháp thay đổi cấu trúc của bộ

điều khiển PID. Trong bài báo này chúng tôi trình bày 4 biện pháp chống hiện tượng bão hòa tích phân trong đó 1 biện pháp sử dụng giải pháp thay đổi hệ số khuếch đại và 3 biện pháp sử dụng giải pháp thay đổi cấu trúc bộ điều khiển PID.

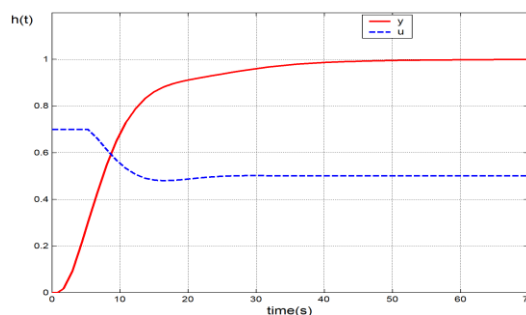
### Biện pháp 1

Khi sai lệch điều khiển bằng 0 tiến hành tách bỏ thành phần tích phân trong bộ điều khiển hoặc tốt hơn hết là xóa bỏ hằng trạng thái của thành phần tích phân. Xét ví dụ trên:



**Hình 8.** Cấu trúc bộ điều khiển PID khi dùng  
biên pháp chống bão hòa tích phân 1

Ưu điểm là loại bỏ hoàn toàn hiện tượng bão hoà tích phân, tác động chính xác, không tồn tại sai lệch tĩnh và không có độ quá điều chỉnh. Nhược điểm là khó thực hiện và tác động chậm.

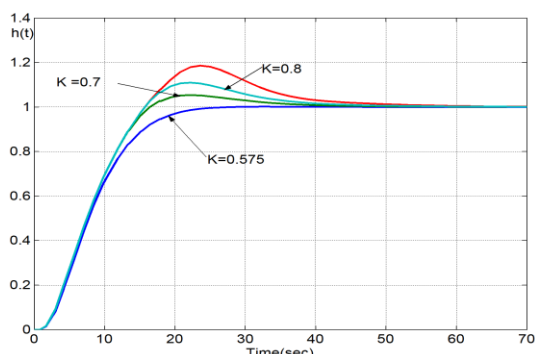


**Hình 9.** Đáp ứng của hệ kín y và tín hiệu điều khiển u của bộ điều khiển PID với biên pháp chống bão hòa tích phân 1

### Biên pháp 2

Giảm hệ số khuếch đại  $K$  để đầu ra bộ điều khiển nằm trong giới hạn cho phép [4] có nghĩa là thay đổi  $K$  sao cho tín hiệu

điều khiển nhỏ hơn giá trị giới hạn và qua đó tránh hiện tượng bão hoà tích phân.

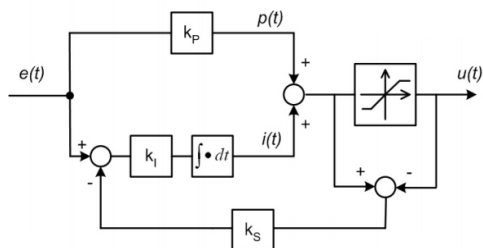


**Hình 10.** Đáp ứng của hệ kín khi thay đổi hệ số khuếch đại của bộ điều khiển- biện pháp chống bão hoà tích phân 2

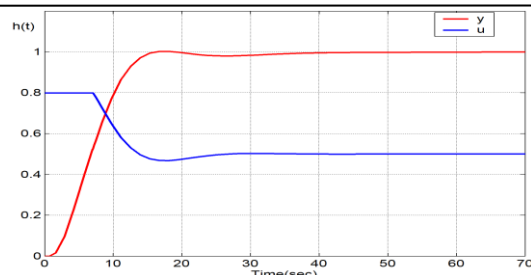
Ưu điểm: Dễ thực hiện, đơn giản không tồn tại sai lệch tĩnh. Nhược điểm là nếu giảm hệ số khuếch đại K thì hệ thống tác động chậm hơn và do đó thời gian quá độ bị kéo dài hơn

#### Biện pháp 3

Theo dõi giá trị thực của tín hiệu điều khiển bị giới hạn phản hồi về bộ điều khiển để thực hiện thuật toán bù nhằm giảm thành phần tích phân [5]. Mục đích nhằm thay đổi giá trị  $T_i$  trong bộ điều khiển PID sao cho tác động điều khiển nhanh chậm theo yêu cầu để hạn chế hoặc chống bão hoà tích phân. Giá trị đầu ra của bộ điều khiển trước và sau khâu hạn chế được tính toán so sánh phản hồi về thành phần tích phân để thực hiện thuật toán bù chống bão hoà tích phân.



**Hình 11.** Cấu trúc bộ điều khiển PID khi dùng biện pháp chống bão hoà tích phân 3

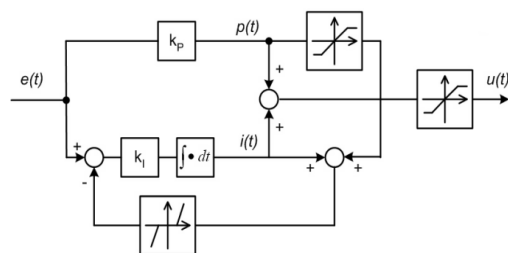


**Hình 12.** Đáp ứng của hệ kín y và tín hiệu điều khiển u của bộ điều khiển PID với biện pháp chống bão hoà tích phân 3

Ưu điểm: triệt tiêu được sai lệch tĩnh, có khả năng tác động nhanh. Hệ số  $K_S$  được chọn theo kinh nghiệm hoặc qua mô phỏng. Nhược điểm là thời gian quá độ tăng, khó loại bỏ hoàn toàn hiện tượng bão hoà tích phân và chỉ có thể làm giảm thời gian xảy ra bão hoà vì nếu cố gắng triệt tiêu hiện tượng này thì sẽ làm cho thời gian quá độ tăng lên.

#### Biện pháp 4

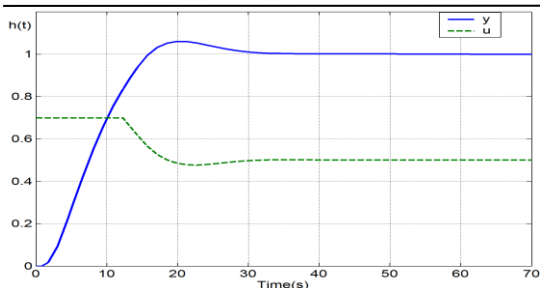
Đặt một khâu giới hạn tại đầu ra của bộ điều khiển để mô phỏng đặc tính phi tuyến của thiết bị chấp hành và sử dụng thuật toán bù giống như trong biện pháp 3. Cũng như trên ta có sơ đồ bộ điều khiển như sau:



**Hình 13.** Cấu trúc bộ điều khiển PID khi dùng biện pháp chống bão hoà tích phân 4

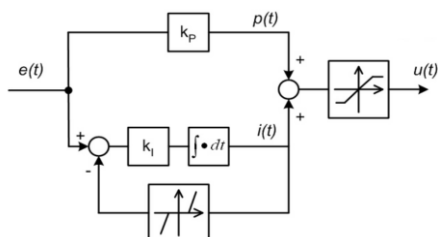
Khâu phi tuyến ở đây là khâu có vùng

$$\text{không nhạy: } y = \begin{cases} K(x - x_a) & \text{khi: } x > x_a \\ K(x + x_a) & \text{khi: } x < -x_a \\ 0 & \text{khi: } |x| \leq x_a \end{cases}$$



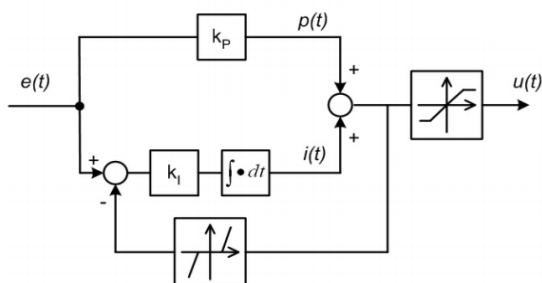
**Hình 14.** Đáp ứng của hệ kín y và tín hiệu điều khiển u của bộ điều khiển PID với biện pháp chống bão hòa tích phân 4

Cũng có thể sử dụng khâu phi tuyến có vùng không nhạy như trên phản hồi từ đầu ra thành phần tích phân. Vùng không nhạy được tính toán sao cho nằm trong vùng không bão hòa của khâu hạn chế. Với mục đích là khi xảy ra bão hòa tích phân khâu này sẽ làm giảm  $K_I$  nhằm tránh bão hòa tích phân [5].



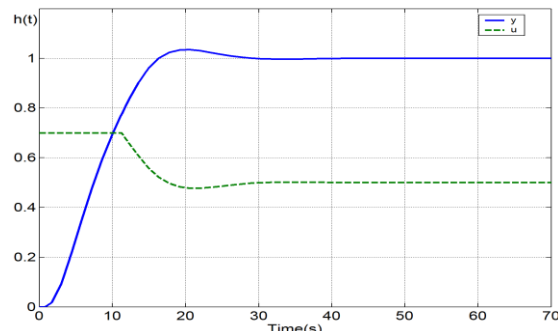
**Hình 15.** Cấu trúc bộ điều khiển PID với biện pháp chống bão hòa tích phân 4 sử dụng khâu phi tuyến có vùng không nhạy phản hồi từ đầu ra khâu tích phân

Ngoài ra cũng có thể sử dụng khâu phi tuyến sử dụng phản hồi từ đầu ra bộ điều khiển về thành phần tích phân như hình 14



**Hình 16.** Cấu trúc bộ điều khiển PID với biện pháp chống bão hòa tích phân 4 sử dụng khâu phi tuyến có vùng không nhạy phản hồi từ đầu ra bộ điều khiển

Biện pháp chống bão hòa tích phân 4 mang lại cho đáp ứng của hệ kín có độ quá điều chỉnh giảm và triệt tiêu được sai lệch tĩnh, có khả năng giảm và triệt tiêu được sai lệch tĩnh, có khả năng tác động nhanh, hệ số tắt dần giảm, độ dư trữ ổn định tăng.



**Hình 17.** Đáp ứng của hệ kín y và tín hiệu điều khiển u của bộ điều khiển PID với biện pháp chống bão hòa tích phân 4 sử dụng khâu phi tuyến có vùng không nhạy phản hồi từ đầu ra bộ điều khiển

## KẾT LUẬN

Bài báo đã giới thiệu về hiện tượng bão hòa tích phân và các ảnh hưởng của hiện tượng này đến đáp ứng của hệ kín, qua đó bài báo đưa ra các biện pháp chống hiện tượng bão hòa tích phân cho các bộ điều khiển PID công nghiệp. Các biện pháp chống bão hòa tích phân dựa trên hai giải pháp đó là thay đổi hệ số khuếch đại và thay đổi cấu trúc của bộ điều khiển PID. Bài báo đã trình bày 1 biện pháp dựa trên giải pháp thay đổi hệ số khuếch đại (biện pháp 2) và 3 biện pháp dựa trên giải pháp thay đổi cấu trúc (biện pháp 1,3,4). Qua các biện pháp đưa ra và các ví dụ minh họa và mô phỏng cụ thể với những nhận xét về ưu nhược điểm của từng phương pháp ta thấy biện 3 và 4 là biện pháp chống bão hòa tích phân hiệu quả và tối ưu nhất có khả năng chống bão hòa đạt hiệu quả cao nhất, biện pháp 1 là biện pháp chống bão hòa tích phân chính xác nhất nhưng khó thực hiện. Với những nhận xét và gợi ý trên thiết nghĩ cũng là điều hữu ích cho các kỹ sư điều khiển tự động, tự động hóa lựa chọn giải pháp điều khiển PID

cho các hệ thống của mình nhằm tăng được chất lượng của hệ thống và cũng tránh được ảnh hưởng không mong muốn của hiện tượng bão hòa tích phân khi trong hệ thống có các phần tử hoặc cơ cấu chấp hành bị hạn chế tín hiệu.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hoàng Minh Sơn (2007), *Hệ thống điều khiển quá trình*, Nxb Khoa học và Kỹ thuật
- [2]. Nguyễn Doãn Phước (2007), *Lý thuyết điều khiển tuyến tính*, Nxb Khoa học và Kỹ thuật .
- [3]. Nguyễn Thương Ngô (2007), *Lý thuyết điều khiển thông thường và hiện đại*, Nxb Khoa học và Kỹ thuật.
- [4]. Karl Johan Åström and Tore Hägglund. Advanced PID Control. ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Research Triangle Park, NC 27709, 2005.
- [5]. Scottedward Hodel and C. E. Hall. Variable-structure pid control to prevent integrator windup. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 48(2):442—451, April 2001.

## SUMMARY

**ANTI-WINDUP METHODS FOR INDUSTRIAL PID CONTROLLERS****Nguyen Van Chi<sup>1</sup>***University of Technology, Thai Nguyen University*

In industry, the integrator windup of the PID controllers to overshoot of a closed system is too large, the time adjustment increased and may cause instability. The article introduces the integrator windup of the PID controllers in industry and the impact of this phenomenon. Based on that we propose some anti-windup methods to overcome, the results presented compare and comment quality measures using the simulation tool Matlab/ Simulink

**Key words:** *The integrator windup, anti windup, PID controllers.*

---

<sup>1</sup> Nguyen Van Chi, Tel: 0912450170, Email: [ngchi@tnut.edu.vn](mailto:ngchi@tnut.edu.vn)