

BÀI THÍ NGHIỆM 3

ỨNG DỤNG MATLAB THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO CÁC HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG

I. MỤC ĐÍCH :

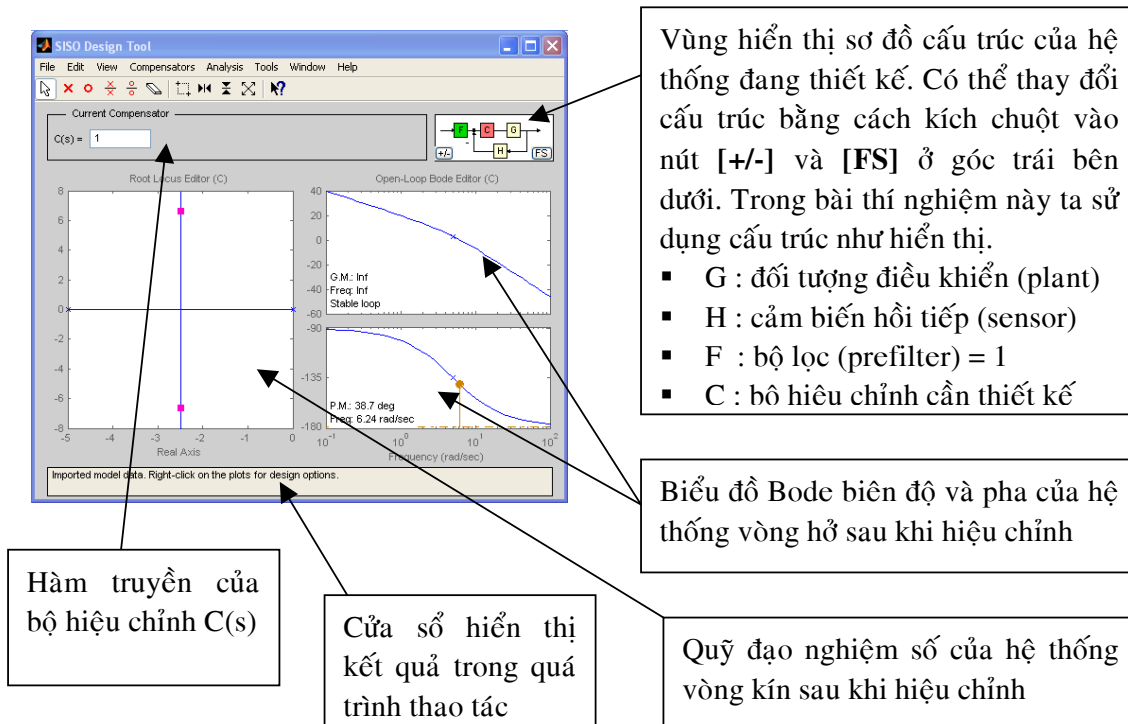
Trong bài thí nghiệm này sinh viên sẽ tìm hiểu cách thiết kế một bộ hiệu chỉnh sớm trễ pha theo phương pháp dùng QĐNS theo yêu cầu chất lượng cho trước. Matlab hỗ trợ một công cụ rất mạnh dùng để thiết kế hệ thống điều khiển tuyến tính một đầu vào một đầu ra đó là công cụ **Sisotool**. Dựa vào công cụ này, sinh viên sẽ thiết kế được bộ hiệu chỉnh sớm trễ pha và nhiều bộ hiệu chỉnh khác một cách dễ dàng nhờ giao diện dễ hiểu, dễ sử dụng và hỗ trợ nhiều chức năng mạnh có trong **Sisotool**.

II. CHUẨN BỊ :

Để thực hiện các yêu cầu trong bài thí nghiệm này, sinh viên cần phải chuẩn bị kỹ và hiểu rõ trình tự các thao tác tiến hành thiết kế một bộ điều khiển trong **Sisotool**.

Sinh viên cần tham khảo phần phụ lục ở chương 6 (trang 225) trong sách **Lý thuyết điều khiển tự động** để làm quen và hiểu rõ trình tự các bước thiết kế một bộ điều khiển trong **Sisotool**. Chú ý, sinh viên phải đọc kỹ phần này để nắm rõ trình tự thiết kế vì trong bài thí nghiệm này không nhắc lại các trình tự đó. Nếu sinh viên không hiểu kỹ thì sẽ không thực hiện được các yêu cầu trong bài thí nghiệm này.

Để kích hoạt công cụ **sisotool**, từ cửa sổ **Command Window** gõ lệnh **sisotool**. Tiến hành thao tác từ **Bước 1** đến **Bước 3** như trong phụ lục ở chương 6 (trang 225), cửa sổ **SISO Design Tool** xuất hiện như sau:



III. THÍ NGHIỆM:

Nguyên tắc thiết kế hệ thống dùng phương pháp QĐNS là dựa vào phương trình đặc tính của hệ thống sau khi hiệu chỉnh :

$$1 + G_c(s)G(s) = 0$$
$$\Leftrightarrow \begin{cases} |G_c(s)G(s)| = 1 \\ \angle G_c(s)G(s) = -180^\circ (*) \end{cases}$$

Ta cần tính toán các thông số của bộ hiệu chỉnh $G_c(s)$ sao cho đáp ứng ngõ ra của hệ thống đạt được các chất lượng về đáp ứng quá độ và sai số xác lập nhưng phải thỏa mãn điều kiện biên độ và điều kiện pha ở (*). Chú ý, trong công cụ **sisotool** thì hàm truyền bộ hiệu chỉnh $C(s)$ chính là $G_c(s)$ ở (*).

III.1. Thiết kế bộ hiệu chỉnh sớm pha:

▪ Mục đích:

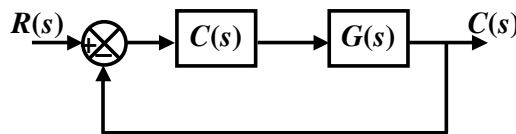
Trong phần này sinh viên sẽ thiết kế bộ hiệu chỉnh sớm pha để hệ thống đạt được các tiêu chuẩn về đáp ứng quá độ như độ vọt lố và thời gian xác lập. Hàm truyền sớm pha có dạng:

$$C(s) = K_c \frac{1 + \alpha Ts}{1 + Ts}, \quad (\alpha > 1)$$

Từ các yêu cầu về đáp ứng quá độ ta tìm được vị trí của cặp cực quyết định trên QĐNS. Sau đó, ta tính các thông số của bộ hiệu chỉnh $C(s)$ để sao cho QĐNS của hệ thống sau khi hiệu chỉnh đi qua cặp cực quyết định này.

▪ Thí nghiệm:

Cho hệ thống như hình vẽ :



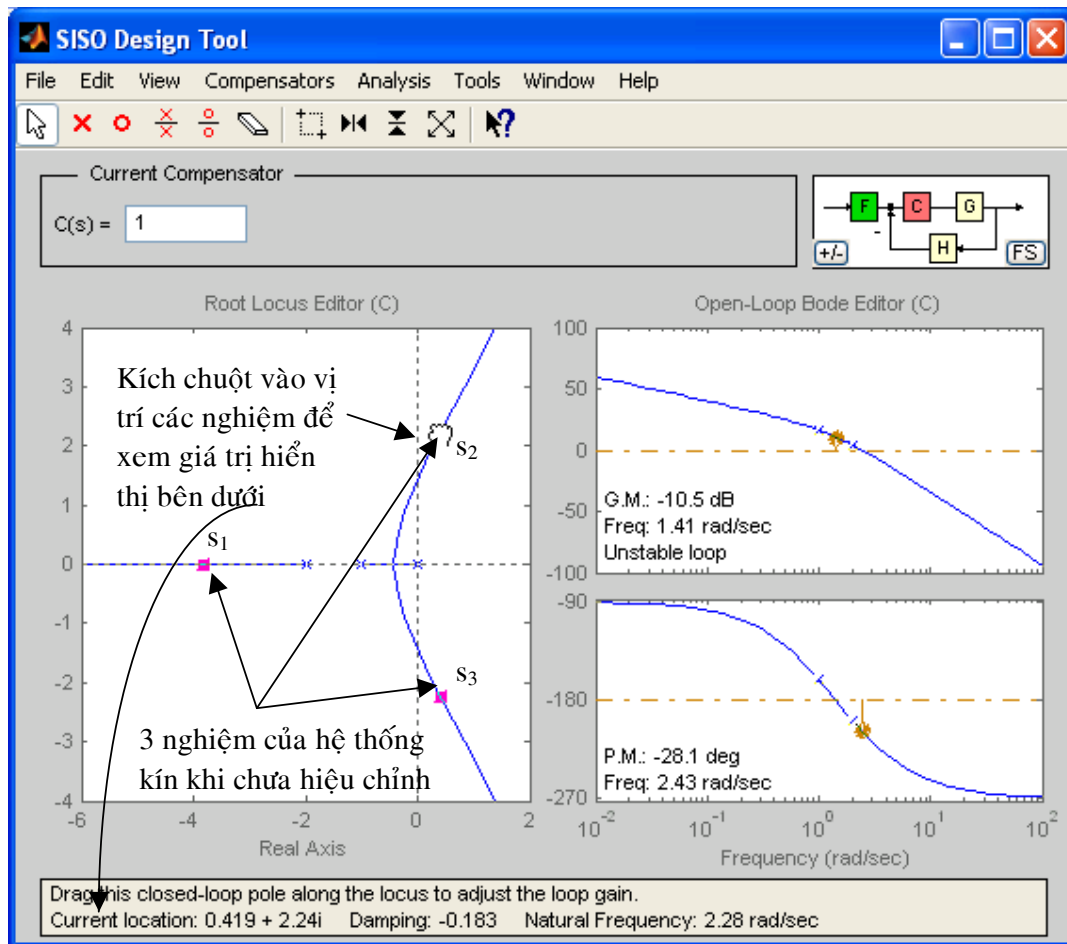
$$G(s) = \frac{20}{s(s+1)(s+2)}$$

- Dùng công cụ **sisotool** nhập vào hàm truyền hệ thống. Dựa vào QĐNS của hệ thống khảo sát hệ thống có ổn định không. Giải thích. Vẽ đáp ứng quá độ của hệ thống với đầu vào hàm nấc để minh họa hệ thống có ổn định hay không. Lưu hình vẽ này để so sánh với đáp ứng của hệ thống sau khi hiệu chỉnh.
- Thiết kế bộ hiệu chỉnh sớm pha để hệ thống có độ vọt lố POT nhỏ hơn 20% và thời gian xác lập nhỏ hơn 8s. Trình bày rõ quá trình thiết kế này.
- Vẽ đáp ứng quá độ của hệ thống sau khi hiệu chỉnh để chứng minh hệ thống đạt được các yêu cầu ở câu **b**. Lưu hình vẽ này để viết báo cáo.

▪ Hướng dẫn:

Nhập hàm truyền và khởi động **sisotool** để import G và H vào **sisotool** như hướng dẫn (từ Bước 1 đến Bước 3) ở phần phụ lục chương 6 (trang 225) trong sách **Lý thuyết điều khiển tự động** với chú ý: $G = \text{tf}(20, \text{conv}([1 \ 1 \ 0], [1 \ 2]))$ và $H = \text{tf}(1, 1)$.

Cửa sổ **Sisotool** hiện ra như sau:

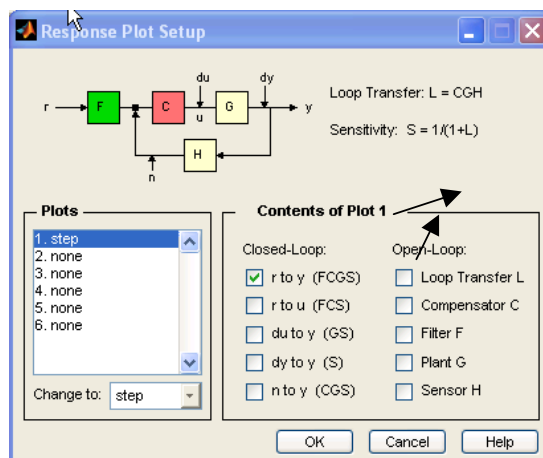


Quan sát QĐNS ta thấy phương trình đặc tính vòng kín có 3 nghiệm (dấu ■ màu đỏ):

$$s_1 = -3.84, \quad s_2 = 0.419 + j2.24, \quad s_3 = 0.419 - j2.24$$

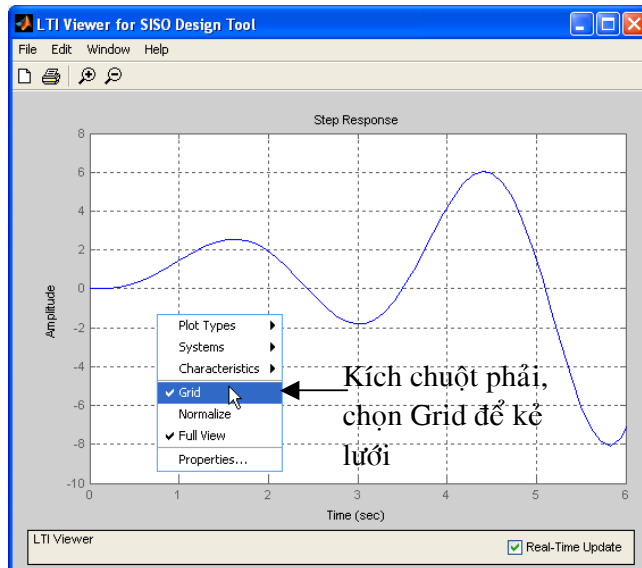
Nhận thấy hệ thống có 2 nghiệm s_2 và s_3 nằm bên phải mặt phẳng phức nên hệ thống không ổn định. Ta cũng có thể quan sát trên Biểu đồ Bode và nhận thấy $GM = -10.5\text{dB} < 0$ và $PM = -28.1^\circ < 0$ nên kết luận hệ thống không ổn định. Tuy nhiên, ở phần thí nghiệm này ta dùng phương pháp QĐNS nên sẽ không dựa vào Biểu đồ Bode để đánh giá mà chỉ dựa vào QĐNS.

Để xem đáp ứng quá độ của hệ thống với đầu vào hàm nấc, vào menu [Analysis]→[Other Loop Responses]. Cửa sổ **Response Plot Setup** hiện ra. Tiến hành cài đặt các tín hiệu cần vẽ đáp ứng. Ở đây ta chọn như hình bên dưới:



- **r to y** : vẽ đáp ứng của ngõ ra $y(t)$ theo tín hiệu đầu vào $r(t)$. Đây chính là đáp ứng quá độ cần vẽ.
- **r to u** : vẽ đáp ứng của tín hiệu điều khiển $u(t)$
- ...

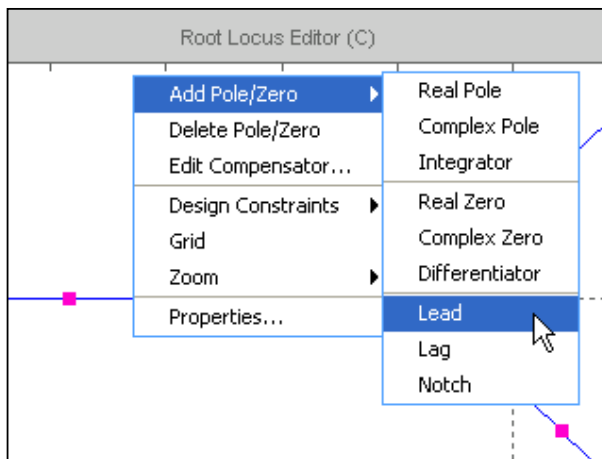
Sau khi chọn xong nhấn nút [OK] thì ta có được đáp ứng quá độ :



Vì cửa sổ **LTI Viewer** này không hỗ trợ việc lưu hình vẽ nên phải chuyển sang cửa sổ **Figure** bằng cách vào menu [File]→[Print to Figure]. Cửa sổ **Figure** hiện ra và sau đó tiến hành lưu hình vẽ như ở **Bài thí nghiệm 1**.

Bây giờ tiến hành thiết kế bộ hiệu chỉnh để hệ thống có $POT < 20\%$ và $t_{xl} < 8s$. Ta quay trở lại với cửa sổ **Sisotool**. Vì trong phần này ta không sử dụng Biểu đồ Bode và để mở rộng vùng QĐNS nên ta xóa vùng Biểu đồ Bode đi bằng cách vào menu [View] bỏ dấu chọn mục [Open-Loop Bode].

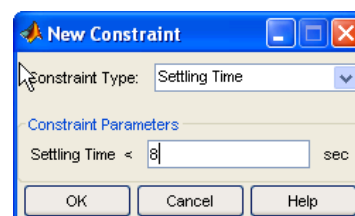
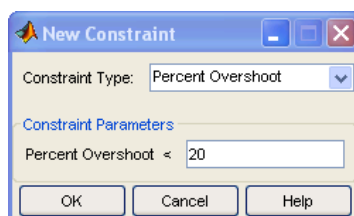
Kích chuột phải vào vùng QĐNS, menu kiểu pop-up xuất hiện:



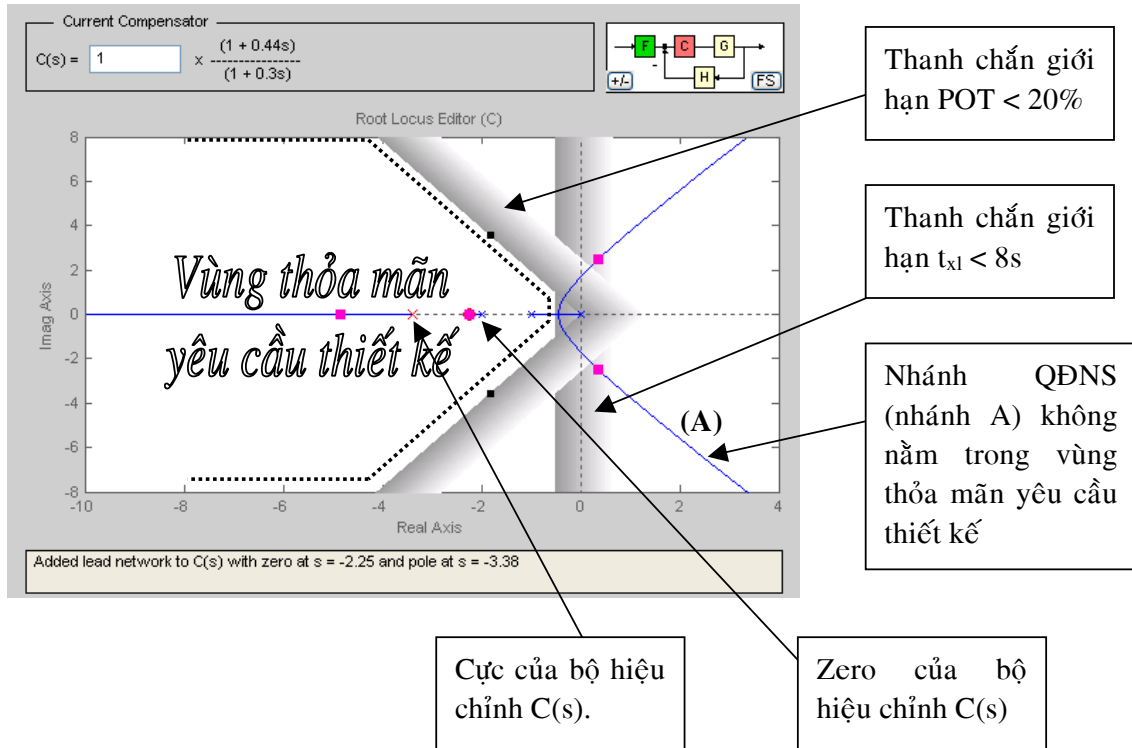
- Lead : bộ hiệu chỉnh sớm pha
- Lag : bộ hiệu chỉnh trễ pha
- Notch : bộ hiệu chỉnh sớm trễ pha.
- Delete Pole/Zero : xóa các cực và zero của bộ hiệu chỉnh
- Edit Compensator... : thay đổi các thông số của bộ hiệu chỉnh.
- Design Constraints : giới hạn vùng thỏa mãn các tiêu chuẩn chất lượng

Chọn [Add Pole/Zero]→[Lead] để thêm khâu hiệu chỉnh sớm pha vào hệ thống. Nhấp chuột vào một vị trí bất kỳ trên trục thực của QĐNS để xác định vị trí của cực và zero của bộ hiệu chỉnh, **sisotool** sẽ gán tự động *vị trí của zero nằm gần gốc tọa độ hơn cực*.

Kích chuột phải vào vùng QĐNS, ta chọn [Design Constraints]→[New] để cài đặt độ vọt lố và thời gian xác lập như sau:

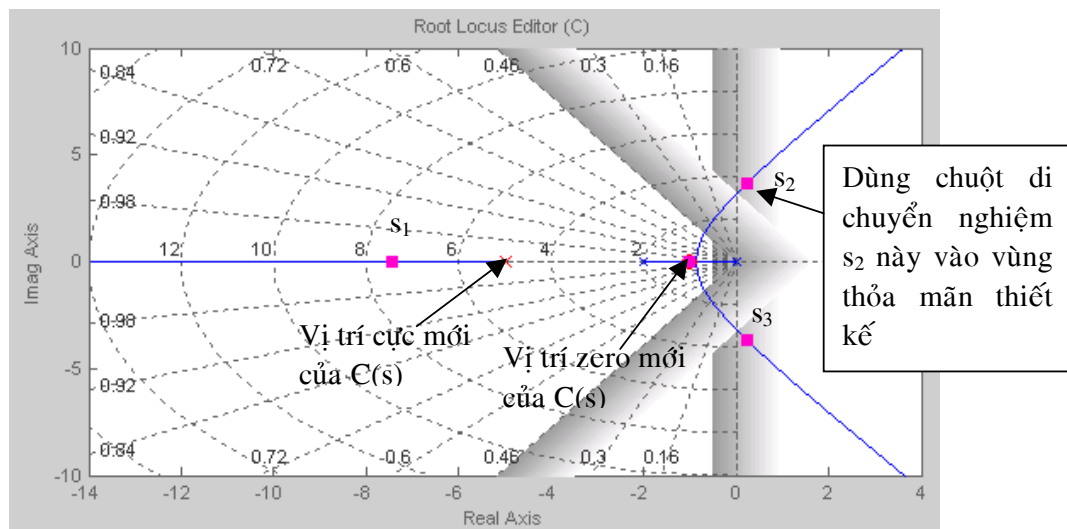


Sau khi tiến hành cài đặt xong, QĐNS lúc này sẽ thay đổi như sau:

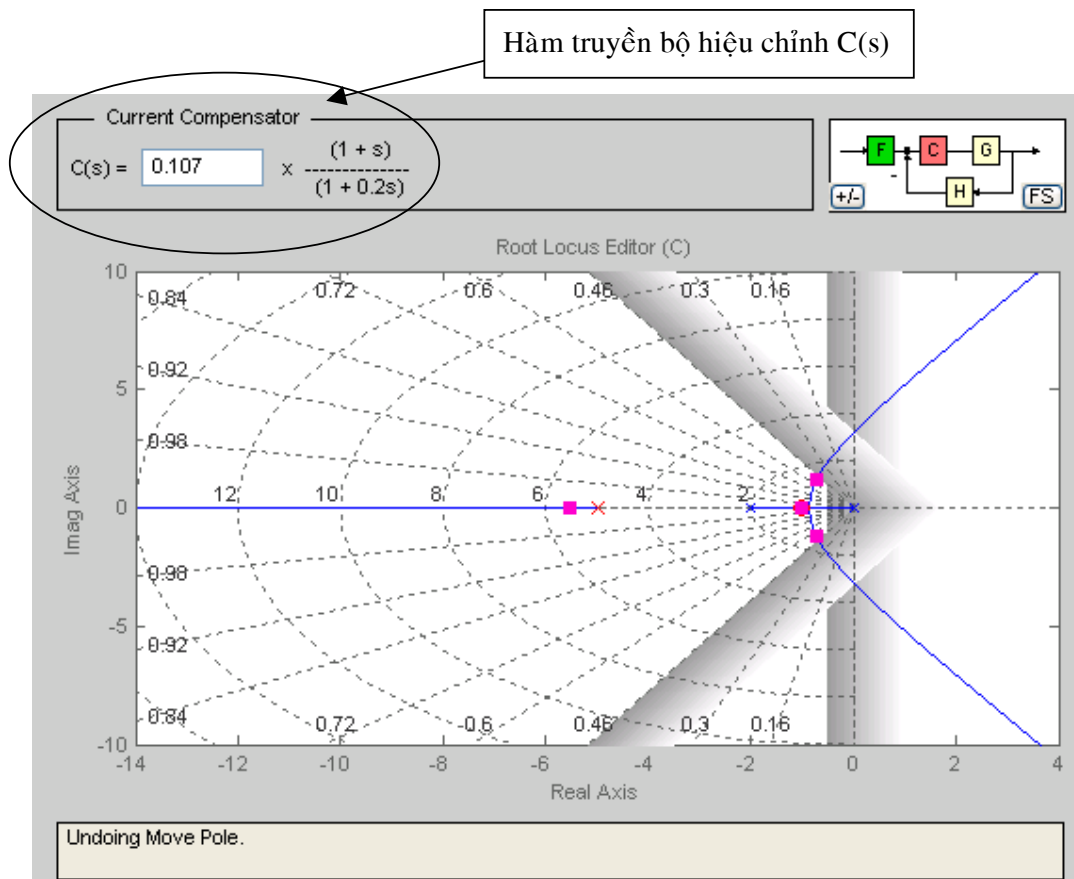


Bây giờ ta sẽ di chuyển các cực và zero của bộ hiệu chỉnh C(s) trên trục thực sao cho nhánh QĐNS (A) kéo vào vùng thỏa mãn thiết kế. Có 2 phương pháp tìm cực và zero của bộ hiệu chỉnh là phương pháp đường phân giác và phương pháp khử cực (sinh viên xem lại sách lý thuyết để hiểu 2 phương pháp này). Ở đây ta chọn phương pháp khử cực vì dễ thao tác và trực quan trên cửa sổ QĐNS.

Nhận thấy QĐNS hệ thống trước khi hiệu chỉnh có 3 cực $p_1 = 0$, $p_2 = -1$, $p_3 = -2$ (trên hình vẽ thể hiện bằng dấu x màu xanh). Do đó, di chuyển zero của C(s) trùng với cực gần trục ảo nhất (khác 0) là cực $p_2 = -1$. Di chuyển cực của C(s) hướng ra xa trục ảo để nhánh QĐNS (A) tiến về vùng thỏa mãn yêu cầu thiết kế. Di chuyển đến vị trí $s = -5$ là thỏa mãn (chú ý giá trị này càng tiến ra xa càng tốt nên trong thiết kế giá trị này được lựa chọn theo ý muốn của người thiết kế).

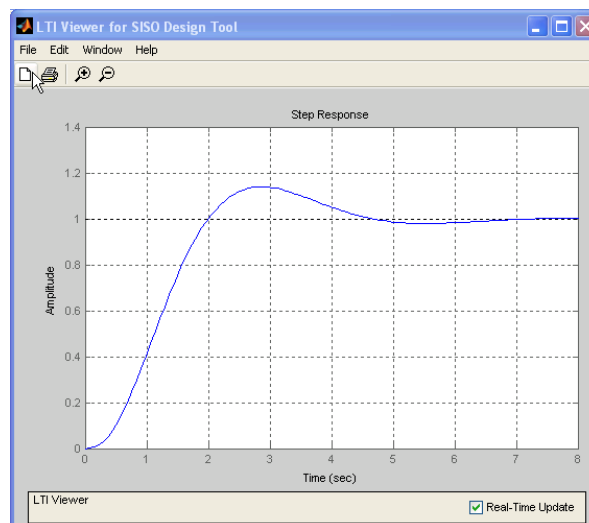


Cuối cùng, dùng chuột di chuyển vị trí nghiệm s_2 vào vùng thỏa mãn thiết kế. Chú ý vì ý tưởng thiết kế của mỗi người khác nhau nên việc di chuyển này cũng không giống nhau, miễn sao vị trí này nằm trong vùng thỏa mãn thiết kế. Tuy nhiên ta không nên di chuyển gần trục ảo quá vì sẽ làm thời gian xác lập tăng lên. Quá trình thiết kế đã hoàn tất.



Vậy hàm truyền của bộ hiệu chỉnh là: $C(s) = 0.107 \frac{1+s}{1+0.2s}$. Để lưu hình trên phục vụ viết báo cáo ta vào menu [File]→[Print to Figure]. Sau đó tiến hành lưu hình trong cửa sổ **Figure** như ở **Bài thí nghiệm 1**.

Đáp ứng quá độ của hệ thống kín với đầu vào hàm nấc sau khi hiệu chỉnh thỏa mãn $POT < 20\%$ và $t_{xl} < 8s$:



III.2. Thiết kế bộ hiệu chỉnh trễ pha:

▪ Mục đích:

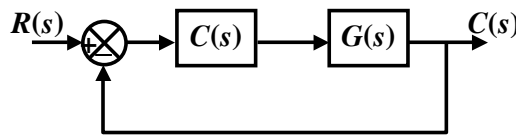
Trong phần này sinh viên sẽ thiết kế bộ hiệu chỉnh trễ pha để hệ thống đạt được các tiêu chuẩn về chất lượng xác lập như độ sai số xác lập và hệ số vận tốc K_V . Hàm truyền trễ pha có dạng:

$$C(s) = K_C \frac{1 + \beta Ts}{1 + Ts}, \quad (\beta < 1)$$

Ta tính các thông số của bộ hiệu chỉnh $C(s)$ sao cho đáp ứng của hệ thống thỏa mãn yêu cầu về sai số xác lập mà không làm ảnh hưởng nhiều đến đáp ứng quá độ.

▪ Thí nghiệm:

Cho hệ thống như hình vẽ :



$$G(s) = \frac{20}{s(s+1)(s+2)}$$

- Thiết kế bộ hiệu chỉnh trễ pha để hệ thống có sai số xác lập với đầu vào hàm dốc bằng 0.1. Trình bày rõ quá trình thiết kế kèm hình vẽ.
- Vẽ đáp ứng quá độ của hệ thống sau khi hiệu chỉnh để chứng minh hệ thống đạt được các yêu cầu ở câu a. Lưu hình vẽ đáp ứng này để viết báo cáo.

▪ Hướng dẫn:

Sau khi nhập hàm truyền vào **sisotool**, quan sát QĐNS ta thấy phương trình đặc tính vòng kín có 3 nghiệm (đấu ■ màu đỏ):

$$s_1 = -5, \quad s_2 = -1 + j, \quad s_3 = -1 - j.$$

Bây giờ ta sẽ tìm các thông số của bộ hiệu chỉnh trễ pha. Hệ thống trước khi hiệu chỉnh có : $K_V = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = 0.83$.

$$\text{Sau khi hiệu chỉnh có } K_V^* = \lim_{s \rightarrow 0} sC(s)G(s) = \frac{1}{e_{xl}} = 10 \quad \Rightarrow K_C = \frac{K_V^*}{K_V} = 12$$

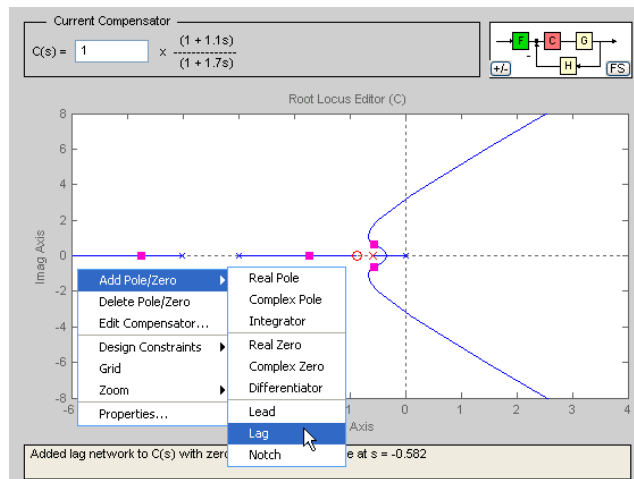
Tiếp theo ta tìm cực và zero của $C(s)$. Để bộ hiệu chỉnh trễ pha không ảnh hưởng nhiều đến đặc tính quá độ của hệ thống ta phải chọn cực và zero của $C(s)$ rất nhỏ so với phần thực của cặp nghiệm quyết định của hệ thống.

$$\text{Do đó, ta chọn zero của } C(s) : z_{C(s)} = \frac{1}{10} |\text{Re}\{s_2\}| = \frac{1}{10} \cdot 1 = 0.1$$

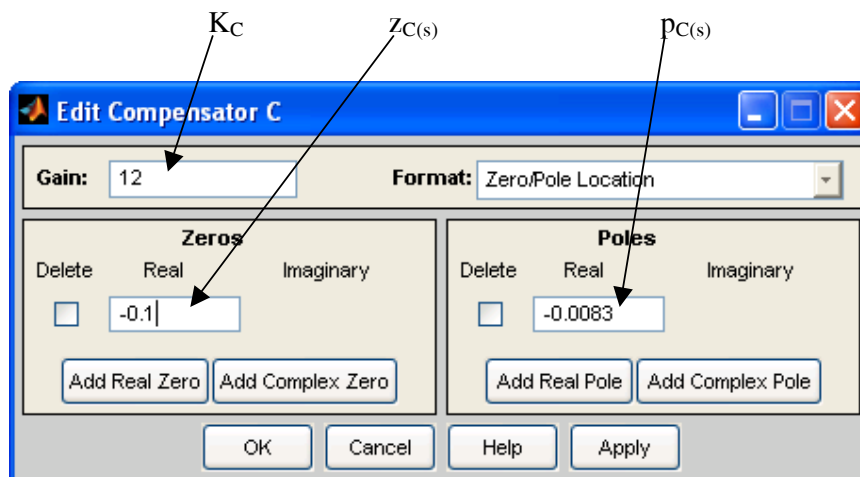
$$\text{Và cực của } C(s) : p_{C(s)} = z_{C(s)} / K_C = \frac{0.1}{12} = 0.0083$$

$$\text{Cuối cùng ta có hàm truyền của bộ hiệu chỉnh trễ pha: } C(s) = 12 \frac{1+10s}{1+120s}.$$

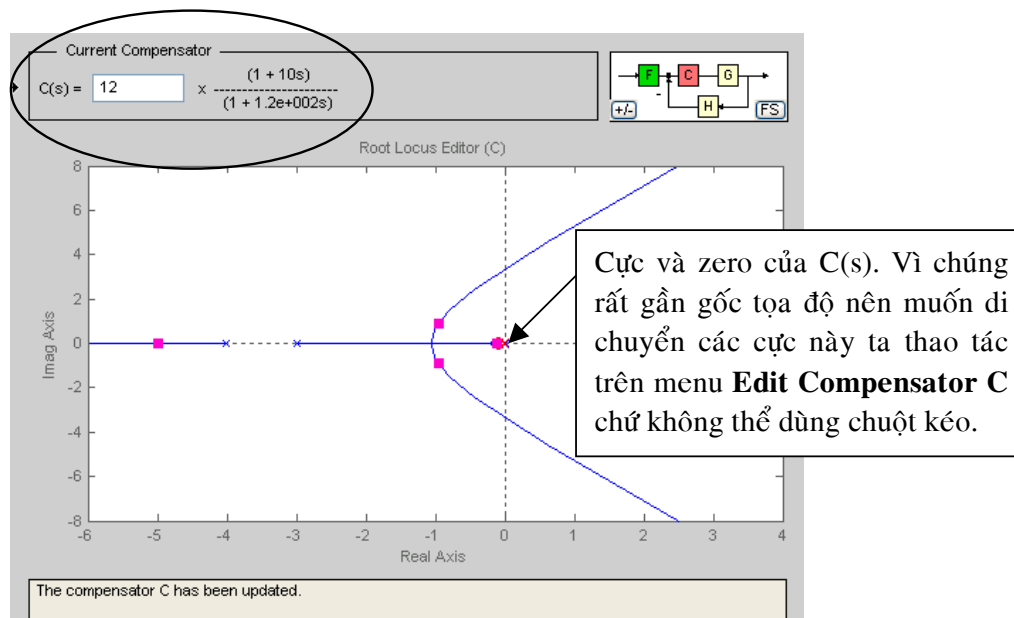
Từ cửa sổ **sisotool**, chọn bộ hiệu chỉnh trễ pha bằng cách kích chuột phải và chọn menu [Add Pole/Zero]→[Lag]. Nhấp chuột vào một vị trí bất kỳ trên trục thực của QĐNS để xác định vị trí của cực và zero của bộ hiệu chỉnh, **sisotool** sẽ gán tự động *vị trí của cực nằm gần gốc tọa độ hơn zero*.



Vì bộ hiệu chỉnh này chỉ do **sisotool** gán tự động nên ta sẽ phải chỉnh lại cho đúng với bộ hiệu chỉnh trễ pha vừa tìm được ở trên bằng cách kích chuột phải và chọn menu [Edit Compensator...]. Cửa sổ **Edit Compensator C** hiện ra, tiến hành thay đổi cực và zero của $C(s)$ như hình vẽ bên dưới:

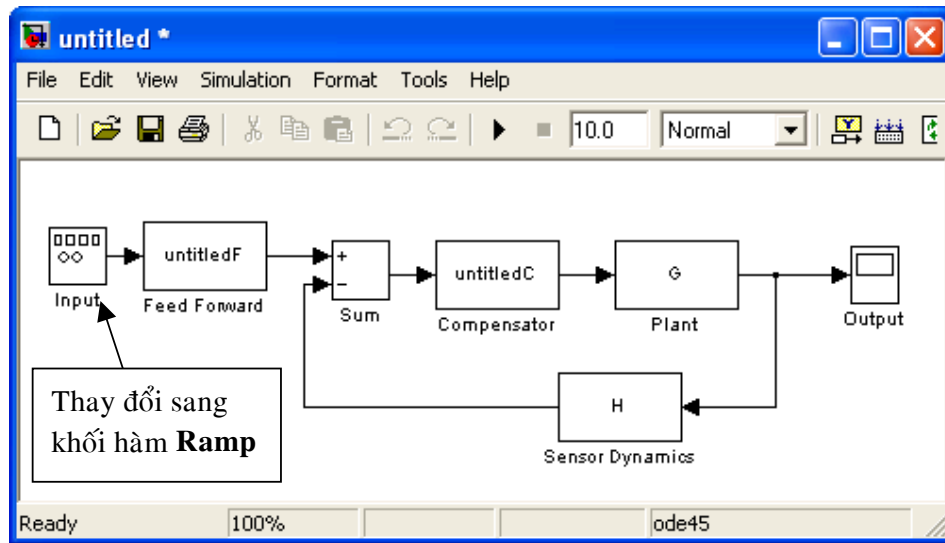


QĐNS của hệ thống sau khi hiệu chỉnh như sau:

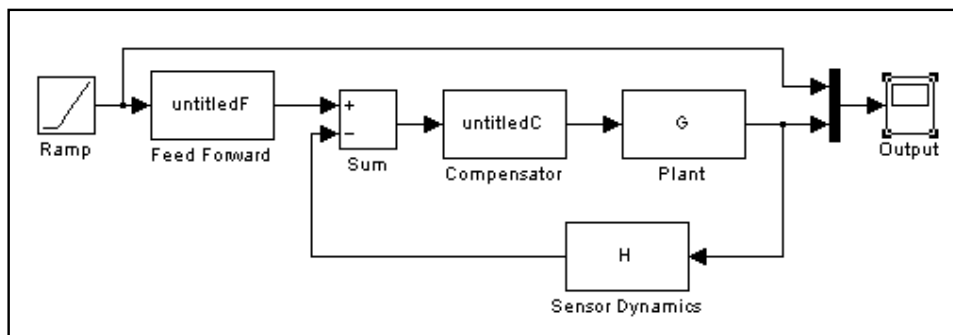


Sau khi thiết kế xong, ta tiến hành vẽ đáp ứng của hệ thống với đầu vào hàm dốc. Chú ý, công cụ **sisotool** không hỗ trợ vẽ đáp ứng của hàm dốc nên ta phải chuyển hệ thống vừa thiết kế sang mô hình SIMULINK để mô phỏng.

Từ cửa sổ **Sisotool**, vào menu [Tools]→[Draw Simulink Diagram...]. Cửa sổ thông báo hiện ra, nhấn [Yes]. Mô hình Simulink của hệ thống hiện ra như sau:



Sửa đổi sơ đồ khối để mô phỏng đáp ứng đầu vào hàm dốc như sau:



Chỉn thời gian mô phỏng **Stop time** = 30s, tiến hành mô phỏng hệ thống và thực hiện lưu hình vẽ từ Scope như ở **Bài thí nghiệm 2**.

III.3. Thiết kế bộ hiệu chỉnh sớm trễ pha:

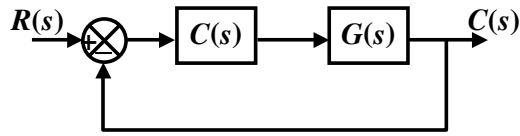
▪ Mục đích:

Trong phần này sinh viên sẽ thiết kế bộ hiệu chỉnh sớm trễ pha để hệ thống đạt được các tiêu chuẩn về đáp ứng quá độ và chất lượng xác lập. Hàm truyền sớm trễ pha có dạng:

$$C(s) = K_{c1} \frac{1 + \alpha T_1 s}{1 + T_1 s} \cdot K_{c2} \frac{1 + \beta T_2 s}{1 + T_2 s}, \quad (\alpha > 1, \beta < 1)$$

▪ Thí nghiệm:

Cho hệ thống như hình vẽ :



$$G(s) = \frac{4}{s(s+0.5)}$$

- Thiết kế bộ hiệu chỉnh sớm trễ pha để hệ thống có $\xi = 0.5$, $\omega_n = 5$ (rad/s) và hệ số vận tốc $K_V = 80$. Trình bày rõ quá trình thiết kế.
- Vẽ đáp ứng quá độ của hệ thống sau khi hiệu chỉnh với đầu vào hàm dốc để chứng minh hệ thống đạt được các yêu cầu ở câu a. Lưu hình vẽ này để viết báo cáo.

▪ Hướng dẫn:

Trước tiên ta thiết kế bộ hiệu chỉnh sớm pha $C_1(s) = K_{c1} \frac{1+\alpha T_1 s}{1+T_1 s}$ để hệ thống có

$\xi = 0.5$, $\omega_n = 5$ cho đối tượng $G(s)$. Sau đó, thiết kế bộ hiệu chỉnh trễ pha $C_2(s) = K_{c2} \frac{1+\beta T_2 s}{1+T_2 s}$

cho đối tượng mới $G_1(s) = G(s) \cdot C_1(s)$. Chú ý, sau khi thiết kế xong bộ hiệu chỉnh sớm pha ta phải khởi động lại **sisotool** và nhập lại hàm truyền G và H với hàm truyền G lúc này chính là $G_1(s)$ và $H = 1$.

$$\text{Với } \xi = 0.5, \omega_n = 5 \Rightarrow s_{1,2}^* = -2.5 \pm j4.33$$

Do đó, khi thiết kế bộ hiệu chỉnh sớm pha $C_1(s)$, để hệ thống có $\xi = 0.5$, $\omega_n = 5$ ta sẽ di chuyển zero của $C_1(s)$ tới vị trí -0.5 (vị trí cực của $G(s)$ để khử cực này) và di chuyển cực của $C_1(s)$ (phải cách xa gốc tọa độ hơn zero) sao cho QĐNS đi qua 2 nghiệm $s_{1,2}^*$. Sau đó dùng chuột di chuyển nghiệm s_2 (dấu ■ màu đỏ) lại vị trí $s_{1,2}^*$ này.

