

BÀI THÍ NGHIỆM 2 : ỨNG DỤNG MATLAB THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

I. MỤC ĐÍCH :

Thực tập ứng dụng Matlab để thiết kế hệ thống điều khiển tự động. Ta biết rằng thiết kế là giải bài toán ngược: cho trước chất lượng hệ thống, tìm các thông số bộ điều khiển. Bài toán này không phải lúc nào cũng giải được trực tiếp, người ta thường dùng phương pháp thử và sai (trial and error): tính toán sơ bộ thông số điều khiển bằng một công cụ đơn giản và giải chính xác bài toán thuận để kiểm tra chất lượng ngõ ra, thay đổi thông số lần nữa rồi kiểm tra cho đến khi ngõ ra đạt yêu cầu. Phương pháp này rất được ưa chuộng khi thiết kế dùng máy tính vì ta có thể giải chính xác và nhanh bài toán thuận. Trong bài thí nghiệm này, ta sẽ tính toán hiệu chỉnh sớm trễ pha hệ thống tuyến tính theo phương pháp thử và sai.

Trong thí nghiệm, ta sử dụng một chương trình viết trên MatLab, nó cung cấp các công cụ cần thiết cho việc khảo sát và thiết kế có thể gọi ra bằng **menu**, bao gồm:

- Tính toán sơ bộ các thông số của hàm hiệu chỉnh.
- Khảo sát chất lượng ngõ ra bằng nhiều phương pháp.

Bài thí nghiệm sẽ đề ra các bước sử dụng chương trình để thiết kế bộ hiệu chỉnh sớm trễ pha cho hệ thống tuyến tính.

II. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM BAO GỒM :

Sử dụng phương pháp biểu đồ Bode (thiết kế trong miền tần số) để hiệu chỉnh sớm - trễ pha hệ thống tuyến tính.

Bài thí nghiệm bao gồm hai phần, phần đầu II.1 là thiết kế mẫu gồm các bước hiệu chỉnh được hướng dẫn chi tiết để làm mẫu cho SV tự hiệu chỉnh ở phần thứ hai II.2. Cần đọc kỹ phần hướng dẫn ở hai chương cuối bài để hiểu được các thao tác trong phần thí nghiệm..

II.1.Thiết kế mẫu:

- a. Mục đích : Sinh viên hãy thiết kế bộ bù sớm trễ pha hệ thống sau :

$$G(s) = \frac{A}{s(s+1)(s+2)} \quad \text{với } A = 20$$

Sao cho : $K_v = 10$, độ dự trữ biên = 12 dB, độ dự trữ pha là 50° .

- b. Thí nghiệm : Thực hiện tuần tự các bước : (Chữ **in đậm** là MENU, dấu / chỉ MENU con . Chữ in nghiêng là nội dung cần nhập vào , >> là dấu nhắc của MatLAB)

<i>Hiện thị nhắc (prompt)</i>	<i>Gõ vào</i>	<i>Ghi chú</i>
Bước 1 : Nhập số liệu ban đầu.		
Nhấn mouse vào menu thiết kế / thiết kế theo miền tần số / nhập hàm truyền để nhập hàm truyền hệ hở $G(s)$ như sau :		
Nhập vào đa thức tử số >	20< enter >	
Nhập vào đa thức mẫu số >	pmult([1 0],[1 1],[1 2])<enter>	

Nhập tần số đầu ...	-1<enter>	ứng với dãy tần số:
Nhập tần số cuối ...	1<enter>	$10^{-1} \dots 10^{+1}$
Bước 2 : Hiệu chỉnh trễ pha : a. Nhấn mouse vào .../.../ Nhập các giá trị của bộ điều khiển (ký hiệu ... chỉ một cấp MENU được nhắc ở phần trên): Nhập hệ số khuếch đại K của bộ hiệu chỉnh theo hướng dẫn trong cửa sổ dòng lệnh command window, lấy K = 1. Vì chưa biết a & T nên ta chọn a = 0 , T = 0 để có thể kích hoạt các menu còn lại. b. Xem .../.../ Tính sai số xác lập : MatLAB thông báo hệ chưa hiệu chỉnh là không ổn định . c. Xem .../.../ Tính độ dự trữ / HT chưa hiệu chỉnh (có tính K) : nhận được +Độ dự trữ biên : - 10.46 dB +Độ dự trữ pha : - 28.07⁰ +Tần số cắt biên, rad/s 2.426 Như vậy hệ chưa hiệu chỉnh là không ổn định và có độ dự trữ biên pha như trên, so sánh với yêu cầu thiết kế độ dự trữ biên là 12 dB, độ dự trữ pha là 50⁰. d. Nhấn mouse vào .../.../ Sớm trễ pha để tính chọn thông số a : - Vì chọn trễ pha trước nên không nhập pha của bộ sớm pha, nhấn <enter> để bỏ qua.		
Nhập vào sự suy giảm lớn nhất của bộ trễ pha tính bằng dB>	22<enter>	Cần bù vào từ -10dB đến 12dB nên cần bù tổng cộng 22dB .
Tìm được thông số a = 0.1		
Biến đổi thông số a - nhập vào : (y/n) >	Y<enter>	đồng ý, để ghi nhớ thông số a

e. Trở lại .../.../ **Nhập các giá trị của bộ điều khiển** :

- Nhập K = 1 , a = 0.1 , chọn T= 60 (xem hướng dẫn ở IV)

- Kiểm tra tần số có lệch pha max $\omega_{MAX} = 0.05267$ khá nhỏ so với tần số cắt biên của hệ chưa hiệu chỉnh trễ pha là 2.426 rad/s (Đây là điều kiện để hiệu chỉnh trễ pha, nếu không đạt phải chỉnh lại T của bộ hiệu chỉnh).

- Xem .../.../ **Sai số xác lập** : MatLAB thông báo $K_v = 10$: Đạt yêu cầu .

f. Xem .../.../ **Tính độ dự trữ / HT vòng hở đã hiệu chỉnh** .

+ Độ dự trữ biên : 7,3dB

+ Độ dự trữ pha : 20,7⁰

+ Tần số cắt biên 0.7495 rad/sec

Yêu cầu của đề ra độ dự trữ biên 12dB , độ dự trữ pha = 50⁰ ,nên ta sẽ phải chọn thêm bộ bù sớm pha vào để nâng để nâng độ dự trữ biên pha lên.

g. Vẽ và in đáp ứng tần số của hệ chưa và đã hiệu chỉnh trên cùng đồ thị để làm kết quả cho phần hiệu chỉnh trễ pha:

- Nhấn mouse vào **.. / .. / Đáp ứng tần số / Biểu đồ Bode HT chưa hiệu chỉnh (có tính K) / biên độ và pha** để vẽ biểu đồ biên độ pha của hệ hở (có tính K).

- Để có nhiều đường cong trên một đồ thị, cần phải giữ hình này bằng nhấn mouse vào nút ấn **“Giữ hình”** trước khi vẽ đường thứ hai.

Lưu ý : Trên cửa sổ có 2 hình thì phải nhấn mouse trái vào từng hình để chọn (dùng nút **“Lướt”** để kiểm tra đã chọn được chưa), rồi mới nhấn vào **“Giữ hình”**. Xem thêm phần hướng dẫn sử dụng nút ấn, trang III.6 .

- Vẽ tiếp **.. / .. / .. / Biểu đồ Bode hệ hở (đã hiệu chỉnh) / biên độ và pha** .

- Vào menu **file / print** để in đồ thị có hai giản đồ Bode hệ hở trước và sau khi hiệu chỉnh này để báo cáo kết quả của bước 1.

Bước 3 : Hiệu chỉnh sớm pha :

Trước khi thực hiện hiệu chỉnh tiếp tục, ta phải nhập lại hàm truyền, vì đầu vào bộ hiệu chỉnh sớm pha chính là hệ thống đã hiệu chỉnh trễ pha. Ta có các hàm truyền :

$$\text{Hàm truyền chưa hiệu chỉnh } G(s) = \frac{20}{s(s+1)(s+2)}$$

$$\text{Bộ bù trễ pha đã tìm được : } G_{C_1}(s) = \frac{0,1(s+0.1667)}{s+0.01667}$$

Hàm truyền cần nhập $G_1(s)$ là tích của hàm truyền chưa hiệu chỉnh nhân với hàm truyền của bộ hiệu chỉnh trễ pha:

$$G_1(s) = G(s).G_{C_1}(s) = G(s). \frac{K(1+aTs)}{1+Ts} \quad a < 1$$

Thực hiện tuần tự các bước :

h. Nhấn mouse vào menu **.. / nhập hàm truyền :**

Hiển thị nhắc (prompt)	Gõ vào	Ghi chú
Nhập vào đa thức tử số >	2*[1 0.1667] <enter>	để lấy giá trị mặc định
Nhập vào đa thức mẫu số >	pmult ([1 0],[1 1],[1 2],[1 0.01667]) <enter>	
Nhập tần số đầu ...	< enter >	
Nhập tần số cuối ...	< enter >	
i. Tính chọn thông số bộ bù sớm pha : Nhấn mouse vào .. / .. / Sớm trễ pha , chọn bù sớm pha :		
- Cần bù vào từ + 20 ⁰ đến 50 ⁰ nên ta chọn pha sớm nhất (chọn trong khoảng 50 ⁰ – 60 ⁰)		
Nhập vào pha lớn nhất của bộ điều khiển sớm pha >	50 <enter>	Tính được hệ số a cần thiết bằng 7.5

- ấn <enter> để thoát khi có câu nhắc (prompt) tính hiệu chỉnh trễ pha.

j. Nhấn mouse vào **.. / .. / Nhập các giá trị của bộ điều khiển :**

- Nhập $K = 1$; $a = 7,5$; $T = 0,23$. (để ý điều kiện chọn T ở phần IV. hướng dẫn hiệu chỉnh).

Kiểm tra tần số có lệch pha $\max \omega_{\text{MAX}} = 1.588$ hơi lớn hơn tần số cắt biên hệ chưa hiệu chỉnh sớm pha (bằng 0.7495 rad/sec).

k. Xem **.. / .. / Tính độ dự trữ / HT vòng hở đã hiệu chỉnh .**

+ Độ dự trữ biên	13 dB
+ Tần số cắt biên, rad/s	1.215
+ Độ dự trữ pha	49.7°

Như vậy hệ thống hiệu chỉnh xem như đạt yêu cầu. Nếu không đạt, dựa vào quan hệ tần số cắt biên hệ đã hiệu chỉnh sớm pha và tần số lệch pha max của bộ hiệu chỉnh để thay đổi T (thường phải giảm T khi độ dự trữ biên pha không đạt yêu cầu).

Vẽ và In biểu đồ biên độ và pha HT vòng hở sau hiệu chỉnh sớm pha trên cùng đồ thị với phần hiệu chỉnh trễ pha để báo cáo:

- Nhấn mouse vào **.. / .. / Đáp ứng tần số / Biểu đồ Bode hệ hở (đã hiệu chỉnh) / biên độ và pha** để vẽ biểu đồ biên pha của hệ hở sau khi hiệu chỉnh sớm pha. Như vậy trên màn hình ta có ba biểu đồ Bode tương ứng với ba bước tính toán.

- Vào menu **file / print** để in kết quả làm báo cáo. Cần ghi chú rõ tên của từng đường cong và sự thay đổi của độ dự trữ biên pha hệ thống trước và sau khi hiệu chỉnh.

II.2. Thiết kế hiệu chỉnh sớm trễ pha hệ thống 2:

có hàm truyền sau:
$$G(s) = \frac{80}{s(0.02s + 1)(0.05s + 1)}$$

Sao cho $K_v = 80$ Độ dự trữ biên = 10 dB Độ dự trữ pha = 50°

Thực hiện như phần thiết kế mẫu II.1 trên với khoảng tần số khảo sát là 0.01 đến 100 (tương ứng với nhập -2 và +2 cho tần số đầu và cuối). Sau mỗi bước hiệu chỉnh sớm trễ pha cần vẽ QTQĐ hệ thống kín với đầu vào hàm nấc $h(t)$ để hiểu rõ hơn tác dụng của từng bộ hiệu chỉnh.

Các bước thực hiện:

Bước 1: Nhập hàm truyền.

Bước 2: Hiệu chỉnh trễ pha :Thực hiện các bước từ a. đến g. của thiết kế mẫu. Điền kết quả vào bảng 2 của báo cáo. Vẽ và In biểu đồ biên độ và pha HT vòng hở trước và sau hiệu chỉnh trễ pha trên cùng đồ thị cho báo cáo.

- Dùng menu **Thiết kế / thiết kế theo miền tần số / Vẽ đáp ứng quá độ / Đặc tính ngõ ra hệ kín $y(t)$ / Vẽ đáp ứng quá độ** để vẽ và in $h(t)$ – đáp ứng hàm nấc của hệ kín của HT sau bước hiệu chỉnh trễ pha. Có thể phải dùng menu **.. / .. / Thay đổi thời gian cuối** để chỉnh thời gian khảo sát QTQĐ sao cho đường cong nhận được là đầy đủ và rõ ràng các giai đoạn.

Bước 3: Hiệu chỉnh sớm pha : Thực hiện các bước từ h. đến k. của thiết kế mẫu. Điền kết quả vào bảng 1 của báo cáo. Vẽ và In biểu đồ biên độ và pha HT vòng hở sau hiệu chỉnh sớm pha trên cùng đồ thị với phần hiệu chỉnh trễ pha cho báo cáo.

- Cũng như ở bước 2, dùng menu **Thiết kế / thiết kế theo miền tần số / Vẽ đáp ứng quá độ / Đặc tính ngõ ra hệ kín y(t) / Vẽ đáp ứng quá độ** để vẽ và in h(t) – đáp ứng hàm nấc của hệ kín của HT sau khi hoàn thành hiệu chỉnh sớm – trễ pha.

II.3. Trả lời các câu hỏi tổng kết trong báo cáo.

III. HƯỚNG DẪN SỬ DỤNG MENU :

Lưu ý là hai cửa sổ **Command window** và **Figure** (menu ứng dụng) luôn đồng thời được mở:

- Cửa sổ **Figure** dùng để vẽ hoặc gọi chương trình ứng dụng qua các **menu**, sau đó cần qua cửa sổ **Command window** để nhập hay xem các số liệu.
- Cửa sổ **Command window** dùng để nhập số liệu, xem số liệu và các thông báo. Sau mỗi lần nhập số liệu hoặc chạy chương trình trong **Command window**, phải ấn <enter> để thoát ra khỏi phần vừa mới chạy, trở về cửa sổ **Figure** để gọi tiếp chương trình cần khảo sát.

Để làm bài thí nghiệm 2 này, vào menu **Thiết kế** trong cửa sổ **Figure**.

GIẢI THÍCH MENU THIẾT KẾ THEO MIỀN TẦN SỐ :

Menu này cho phép thiết kế bộ hiệu chỉnh hệ thống tự động bằng các bộ sớm trễ pha khi vận dụng các hàm tính toán, kiểm tra sau :

Nhập hàm truyền : Như trong phần Khảo sát, nhập hàm truyền G(s) như sau :

Nhập đa thức tử và mẫu số của hàm truyền theo 2 cách :

+ Nhập các hệ số của đa thức theo thứ tự bậc n cho đến bậc 0.

Ví dụ : 1 đa thức có dạng :

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \dots + a_n$$

Nhập như sau :

>> Nhập vào đa thức tử số : **[a₀ a₁ a₂... a_n] <enter>** .

+ Nếu đa thức ở dạng tích số, mỗi thừa số được coi là một đa thức con nằm trong ngoặc vuông, các thừa số liên kết với nhau bởi hàm pmult.

Ví dụ đa thức : $s(s+1)(3s+2)(s+3)$

Nhập như sau:

>> Nhập vào đa thức tử số : **pmult ([1 0],[1 1],[3 2],[1 3]) enter** .

Cũng như nhập hàm truyền của phần khảo sát, ta cũng cần nhập khoảng tần số khảo sát. Khoảng tần số khảo sát được biểu diễn ở dạng số mũ của 10 : tần số 100 rad/sec được nhập bằng +2, vì $100 = 10^2$; 0.01 rad/sec tương ứng với -2.

Nhập các giá trị bộ điều khiển : Nhập các giá trị của bộ điều khiển sớm (hay trễ) pha bao gồm hệ số khuếch đại K , hệ số a và thời hằng T. Khi bắt đầu thí nghiệm, cần dùng phím <enter> để chọn giá trị mặc định hay cho bằng 0 các thông số chưa biết để kích hoạt các menu còn lại và thoát ra khỏi phần này. Lần lượt xem sai số xác lập và độ dư trữ về biên pha hệ chưa hiệu chỉnh. Dựa vào các thông số này , chọn bộ hiệu chỉnh cho phù hợp .

Vẽ đáp ứng tần số : Vẽ giản đồ BODE của các hàm truyền liên quan : hệ hở (có tính K), bộ hiệu chỉnh và hệ hở sau khi hiệu chỉnh.

Sớm trễ pha : Cho phép tính toán thông số a khi ta chọn bộ hiệu chỉnh là sớm hay trễ pha.

+ Nếu chọn bộ hiệu chỉnh sớm pha : chỉ cần nhập pha cần bù vào (tính bằng độ) , ta sẽ có giá trị a của bộ sớm pha .

+ Nếu chọn bộ hiệu chỉnh trễ pha : chỉ cần nhập biên độ cần bù vào (tính bằng dB) , ta sẽ có giá trị a của bộ trễ pha .

Chỉ chọn bộ sớm pha hoặc trễ pha , không chọn cùng một lúc 2 bộ , làm từng bước một . Tùy theo hệ thống và yêu cầu của bài toán cụ thể mà ta chọn bộ hiệu chỉnh sớm pha hay trễ pha hoặc cả sớm - trễ pha .

Thông số HT theo đáp ứng thời gian : Không sử dụng trong bài thí nghiệm.

Tính sai số xác lập : Cho biết hệ loại nào , tính toán hệ số vị trí , hệ số tốc độ , hệ số gia tốc và sai số vị trí , sai số tốc độ , sai số gia tốc .

Tính độ dư trữ : Cho phép tính cho các hệ thống: chưa hiệu chỉnh , bộ hiệu chỉnh sớm pha , hệ đã hiệu chỉnh

QTQĐ đầu vào hàm nấc : Vẽ các quá trình quá độ hệ kín y(t), sai số e(t) và ngõ ra bộ hiệu chỉnh u(t) với đầu vào hàm nấc.

Các hàm truyền : Cho ta biết các hàm truyền hở , hàm truyền của bộ hiệu chỉnh , hàm truyền kín sau hiệu chỉnh .

Các Cực và Zero : Tính các cực và zero của hàm hở ,bộ hiệu chỉnh , và hàm truyền kín sau khi hiệu chỉnh .

Các nút ấn trên cửa sổ FIGURE hay dùng :

- ♦ **Lưới :** Kẻ ô tọa độ trên màn hình đồ thị . Lưu ý cũng như các hàm số đồ họa khác của MatLAB, hàm kẻ lưới chỉ tác động vào đồ thị đang được chọn. Nếu có nhiều đồ thị trên màn hình, ta phải chọn từng đồ thị – bằng cách ấn chuột trái, để kẻ lưới. Nút **Lưới** có hai trạng thái có và không có kẻ lưới, khi bấm hai lần nó trở về trạng thái cũ.
- ♦ **Giữ hình (hold) :** Giữ lại các hình trước khi vẽ hình kế tiếp, ví dụ như muốn vẽ biểu đồ Bode của hệ chưa hiệu chỉnh và đã hiệu chỉnh trên cùng 1 hình . Chú ý giữ hình là mọi cờ hiệu giữ và không giữ, chỉ sử dụng cho mỗi đồ thị một lần, khi bấm hai lần nó sẽ trở về

trạng thái cũ (xem báo hiệu trong **command window**). Cũng như **kẻ lưới**, nút **Giữ hình** chỉ tác dụng vào đồ thị đang được chọn.

- ♦ **Zoom** : Cho phép phóng to thu nhỏ hình cần khảo sát . Mỗi lần phóng , tỉ lệ chia nhỏ 10 lần. Sau khi ấn nút Zoom, ấn chuột trái để phóng to và chuột phải để phục hồi. Ấn nút Zoom lần thứ hai sẽ bỏ khả năng Zoom của chuột.
- ♦ **Nhãn đồ thị** : Cho phép nhập vào tên (Label) của hình vẽ .

Lưu ý : Sinh viên muốn thực hiện phần nào trên menu chỉ việc nhấn mouse vào phần đó, sau đó chuyển qua **Command windows** để thực hiện đối thoại nhập số liệu hay xem kết quả. Trước khi ra khỏi **Command windows** sang phần khác phải nhấn <enter> đến khi có lại dấu nhắc >> của MatLAB . Khi nhập sai số liệu của một menu thì phải gọi lại menu đó với số liệu đúng, không thể sửa lại các nội dung của **Command windows**.

IV. CÁC BƯỚC HIỆU CHỈNH : (Chữ in đậm là tên của các menu của chương trình)

(Xem phần lý thuyết hiệu chỉnh sớm trễ pha ở phụ lục để hiểu rõ hơn phần thực hành)

Để hiệu chỉnh hệ thống có được độ dự trữ biên và pha mong muốn bằng khâu sớm trễ pha, làm các bước sau:

Bước 1 : Nhập số liệu ban đầu, gồm hàm truyền và khoảng tần số khảo sát .

Bước 2 : Hiệu chỉnh trễ pha :

a. **Nhập giá trị bộ hiệu chỉnh** tạm thời với **a**, **T** bất kỳ (vì chưa có thông số **a**, **T** hợp lý) và hệ số khuếch đại **K** được tính theo hướng dẫn trong **Command windows** để có **Kv** đề bài yêu cầu.

b. Vào menu **Tính sai số xác lập** để kiểm tra **Kv** và các thông số xác lập khác.

c. Vào menu **Tính độ dự trữ / HT chưa hiệu chỉnh (có tính K)** để xem đặc tính tần số (dự trữ biên, pha, tần số cắt) của hệ hở.

Lưu ý : Chương trình thông báo các độ dự trữ bằng **0** hay **inf** hoặc để trống có nghĩa là các điểm có đặc tính tương ứng nằm ngoài vùng tần số khảo sát đã chọn, cần nhập lại **khoảng tần số khảo sát**.

d. Vào menu **Sớm trễ pha** tính hệ số **a** của bộ hiệu chỉnh trễ pha để nâng độ dự trữ biên độ đến gần giá trị mong muốn. Để ý độ suy giảm của khâu trễ pha cũng chính là lượng tăng của độ dự trữ biên độ của hệ thống sau khi hiệu chỉnh. (Xem phụ lục).

e. **Nhập lại giá trị bộ hiệu chỉnh** với hệ số **a** đã có, thời hằng **T** được chọn sao cho tần số có lệch pha max ω_{MAX} của bộ hiệu chỉnh **khá nhỏ** so với tần số cắt biên của hệ thống, nếu không đạt phải làm lại bước này với thời hằng **T** mới.

f. Vào menu **Tính độ dự trữ / HT vòng hở đã hiệu chỉnh** để kiểm tra kết quả hiệu chỉnh, nếu độ dự trữ biên là gần đủ thì có thể xem là xong hiệu chỉnh trễ pha, có thể qua bước tiếp, nếu không đạt thì trở về bước e. để thay đổi thông số bộ hiệu chỉnh hoặc xem lại c. hay d. hoặc hàm truyền hệ hở nếu không chắc chắn là các tham số nhập đúng.

g. Vẽ và in đáp ứng tần số của hệ chưa và đã hiệu chỉnh trên cùng đồ thị để quan sát kết quả.

Bước 3 : Hiệu chỉnh sớm pha :

Trong đa số hệ thống, hiệu chỉnh trễ pha đã có thể làm hệ ổn định, nhưng thêm hiệu chỉnh sớm pha (tương ứng với sớm trễ pha) có thể làm tăng khả năng tác động nhanh, giảm vọt lố và dao động ở ngõ ra. Thông thường hiệu chỉnh sớm pha sẽ thực hiện trên hệ thống đã hiệu chỉnh trễ pha hay đã ổn định để cải thiện chất lượng quá độ.

h. **Nhập lại số liệu ban đầu**, gồm hàm truyền hệ thống đã hiệu chỉnh trễ pha và khoảng tần số khảo sát. Có thể dùng menu **xem hàm truyền** để ghi kết quả hay thành lập hàm truyền bằng tay.

i. Làm lại các bước a. c. d. để có hệ số **a** của bộ hiệu chỉnh sớm pha, nhưng thông số để tính hệ số **a** là lượng tăng dự trữ pha tính toán bao gồm lượng tăng dự trữ pha mong muốn cộng với 5° hay 10° để bù trừ cho sự tăng lên của tần số cắt khi hiệu chỉnh sớm pha (xem lý thuyết ở phần tham khảo).

j. **Nhập lại giá trị bộ hiệu chỉnh** với hệ số **a** đã có, thời hằng **T** được chọn sao cho tần số có lệch pha $\max \omega_{\text{MAX}}$ của bộ hiệu chỉnh **hơi lớn** hơn tần số cắt biên của hệ thống. Giống như khi nhập thông số bộ hiệu chỉnh trễ pha, nếu kết quả không đạt phải làm lại bước này với thời hằng **T** mới.

k. Vào menu **Tính độ dự trữ / hệ đã hiệu chỉnh** để kiểm tra kết quả hiệu chỉnh, nếu độ dự trữ biên và pha đã đủ thì có thể xem là đã hiệu chỉnh xong, nếu không đạt thì trở về bước j để thay đổi **T** hoặc xem lại bước i. hay hàm truyền hệ hở nếu không chắc chắn là các tham số đã được nhập đúng. Cũng có thể vẽ trên cùng đồ thị các đặc tính tần số và theo đó thay đổi **T**.