

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM

KHOA: ĐIỆN – ĐIỆN TỬ

ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU:

**NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG HỆ TỰ ĐỘNG PHÂN CHIA TẢI
CHO 2 DIESEL CHÍNH LÀM VIỆC SONG SONG
BẰNG VIỆC ỨNG DỤNG BỘ LỌC TÍN HIỆU**

ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU: CẤP TRƯỜNG

CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI: PGS.TS Lưu Kim Thành

Các thành viên tham gia: Th.S Đỗ Văn A

Th.S Nguyễn Xuân Trụ

HẢI PHÒNG 04/2016

MỤC LỤC

NỘI DUNG	TRANG
I. MỞ ĐẦU	1
II. NỘI DUNG	3
Chương 1. NHIỆM VỤ CHUNG KHI PHÂN CHIA TẢI CHO CÁC DIESEL LÀM VIỆC SONG SONG	3
1. 1. Đặt vấn đề	3
1.2. Nguyên tắc chung để thực hiện phân chia tải giữa các Diesel làm việc song song.	3
1.3. Thuật toán và cấu hình các khâu phục vụ cho việc phân chia tải	7
Chương 2. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH TỰ ĐỘNG PHÂN CHIA TẢI GIỮA HAI DIESEL LAI CHUNG CHÂN VỊT	15
2.1. Tính chọn các tham số của hệ Diesel – chân vịt	15
2.2. Mô phỏng dùng tín hiệu M_c của hai Diesel	16
2.3. Mô phỏng dùng tín hiệu ra của bộ điều chỉnh U_r	27
2.4. Quá trình khởi động và cân bằng tải của 2 Diesel khác thời điểm	32
2.5. Quá trình khởi động và phân tải không cân bằng của 2 Diesel khác thời điểm	39
2.6. Quá trình tự động cân bằng tải khi thay đổi tín hiệu đặt trước tốc độ	41
KẾT LUẬN	43
TÀI LIỆU THAM KHẢO	44

I. MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề.

Trên các tàu thủy thường được trang bị động cơ lai chân vịt chính hầu hết là sử dụng một hoặc hai động cơ Diesel. Khi sử dụng hai Diesel lai chung một chân vịt thì việc phân chia tải giữa chúng lại rất cần thiết. Bởi vì trong quá trình làm việc song song có thể xảy ra hiện tượng tranh cướp tải của nhau, hoặc thậm trí Diesel này trở thành tải của Diesel kia. Khi đó sẽ xảy ra hiện tượng quá tải cho một Diesel, vốn dĩ Diesel là đối tượng có hệ số quá tải thấp nên dẫn tới rời khỏi công tác song song giữa chúng. Mặt khác việc khai thác hợp lý hai Diesel lai chung một chân vịt luôn được người vận hành quan tâm. Vì thông số của chúng chưa chắc đã được giữ như nhau tuy cùng chủng loại (cùng nhãn mác).

Trên thế giới nhiều hãng đã chế tạo thành công các hệ thống điều khiển tự động phân chia tải giữa 2 Diesel lai chung một chân vịt theo tín hiệu mô men cản (M_C) [6], hoặc theo tín hiệu ra (U_R) từ 2 bộ điều tốc điện tử [7], [8].

Trong nước chưa có nhà máy nào chế tạo hệ thống điều khiển tự động phân chia tải giữa 2 Diesel lai chung một chân vịt. Các công trình nghiên cứu còn ít, ở trường đại học Hàng hải Việt Nam có 2 công trình nghiên cứu vấn đề này [1] và [5]. Kết quả nghiên cứu quá trình tự động phân chia tải theo tín hiệu M_C và theo U_R đã được trình bày trong [1]. Cũng theo [1] cho thấy khả năng điều khiển theo tín hiệu ra từ 2 bộ điều chỉnh tốc độ có dạng PID cũng gặp điều bất lợi về đặc tính tín hiệu ra của chúng theo thời gian thường có dạng bất thường (phi chu kỳ, biên độ không đều và có biến động lớn). Hai tín hiệu ra dạng đó gây khó khăn cho việc so sánh lựa chọn theo thuật toán cực đại [1] trong khối tự động phân chia tải. Để giải quyết khó khăn này cần thiết phải xử lý dạng tín hiệu ra U_R của 2 bộ điều chỉnh tốc độ nhờ mạch lọc thông thấp (LPF).

Xuất phát từ nhu cầu nâng cao chất lượng điều khiển tự động phân chia tải giữa hai động cơ Diesel lai một chân vịt chính trên tàu thủy mà nhóm tác giả chọn hướng đề tài: ***“Nâng cao chất lượng hệ tự động phân chia tải cho 2 Diesel chính làm việc song song bằng việc ứng dụng bộ lọc tín hiệu.”***

2. Mục đích của đề tài.

Nghiên cứu lựa chọn bộ lọc dùng để xử lý tín hiệu ra của hai bộ điều tốc nhằm nâng cao chất lượng điều khiển tự động phân chia tải giữa hai động cơ Diesel công tác song song lai một chân vịt chính trên tàu thủy.

3. Phương pháp nghiên cứu của đề tài.

- Thông qua việc phân tích dạng quá độ U_R của bộ điều chỉnh tốc độ trong hệ điều khiển tự động phân chia tải giữa hai động cơ Diesel công tác song song, tiến hành lựa chọn mạch lọc đơn giản và phù hợp cho việc ứng dụng sau này;

- Sử dụng phần mềm Simuling / Matlab để mô phỏng quá trình xử lý tín hiệu ra của bộ điều tốc bằng một vài bộ lọc thông thấp (LPF) với các thông số khác nhau. Lựa chọn thông số phù hợp cho việc xử lý tín hiệu ra của bộ điều tốc.

- Đưa ra các đánh giá về từng loại bộ lọc thông thấp được nghiên cứu và đưa ra quyết định lựa chọn mô hình bộ lọc LPF cho hệ thống tự động phân chia tải giữa 2 Diesel lai chung một chân vịt. Cuối cùng nghiên cứu hệ với bộ lọc LPF trên Simuling / Matlab để đưa ra kết luận.

4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài.

- Đề tài thực hiện thành công sẽ là cơ sở lý luận hỗ trợ cho việc nghiên cứu thiết kế chế tạo hệ thống điều khiển tự động phân chia tải giữa các động cơ Diesel công tác song song lai một chân vịt chính trên tàu thủy.

- Đồng thời cũng góp phần nâng cao kỹ năng sử dụng khai thác hệ thống điều khiển từ xa và tự động phân chia tải cho 2 Diesel công tác song song lai một chân vịt chính tàu thủy.

- Nội dung nghiên cứu không chỉ mang tính chất là tài liệu tham khảo cho cán bộ KHKT, mà còn góp phần hỗ trợ cho SV tìm hiểu sâu về vấn đề tự động phân chia tải cho 2 Diesel công tác song song.

II. NỘI DUNG

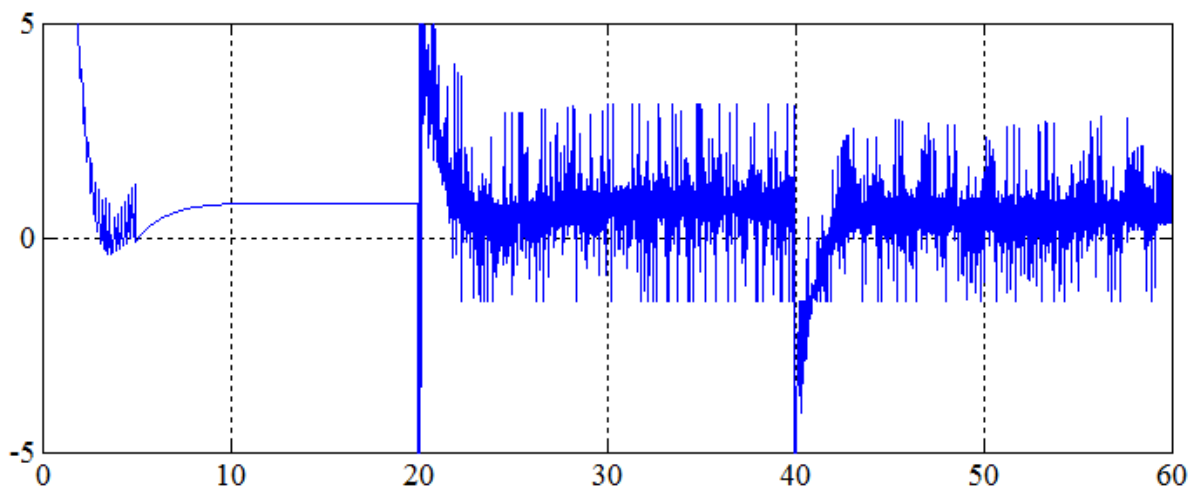
Chương 1. BỘ LỌC TIN HIỆU

1.1. Khái quát bộ lọc (Filter)

1.1.1/ Chức năng của bộ lọc:

Bộ lọc có nhiệm vụ loại bỏ đi những gì mà chúng ta không cần thiết. Trong các hệ thống kiểm tra, đo lường, điều khiển chúng ta thường thấy bộ lọc làm nhiệm vụ loại bỏ các nhiễu ảnh hưởng đến kết quả đo lường, điều khiển. Tuy nhiên mong muốn loại bỏ hoàn toàn ảnh hưởng của nhiễu là không thể (bởi vì nhiễu bao gồm nhiễu sóng hài với dải tần số rộng), mà chỉ có thể là giảm thiểu được ảnh hưởng do nhiễu sinh ra. Ngoài ra bộ lọc còn có chức năng khác trong lĩnh vực sử dụng tín hiệu, đó là loại bỏ đi các dữ liệu không cần thiết, hoặc không có lợi cho quá trình sử lý tín hiệu.

Trong quá trình điều khiển thì tín hiệu ra của bộ điều khiển PID thường có dạng đặc tính bất thường (phi chu kỳ, biên độ không đều và có biến động lớn) như trong [1] giới thiệu trên hình 1.1. Với các tín hiệu ra của bộ điều khiển khi có dạng biến động bất thường như vậy sẽ gây trở ngại lớn cho việc điều khiển, nhất là khi cần thực hiện việc tự động phân chia tải cho các đối tượng làm việc song song. Do vậy khi này cần thiết sử dụng bộ lọc phù hợp để tạo ra đặc tính có dạng đơn giản hơn, dễ sử dụng hơn.



Hình 1.1. Dạng tín hiệu ra của 1 bộ điều khiển PID khi thực hiện phân chia tải giữa 2 Diesel lại chung 1 tải.

1.1.2/ Phân loại các bộ lọc

Phân loại các bộ lọc có thể dựa theo dải tần của tín hiệu cần lọc, khi đó ta có:

- + Bộ lọc thông thấp (LPF – Low Pass Filter) cho tín hiệu có tần số trong khoảng $[0 \div f_{\text{cutoff}}]$ đi qua, còn các tín hiệu có tần số $f > f_{\text{cutoff}}$ bị chặn lại (bị loại bỏ);
- + Bộ lọc thông cao (HPF – High Pass Filter) cho tín hiệu có tần số $f > f_{\text{cutoff}}$ đi qua, còn các tín hiệu có tần số $f < f_{\text{cutoff}}$ bị chặn lại (bị loại bỏ);
- + Bộ lọc thông dải (BPF – Band Pass Filter) chỉ cho các tín hiệu có tần số trong một dải (một khoảng) nào đó đi qua, còn các tín hiệu có tần số nằm ngoài dải tần đó sẽ bị chặn lại;
- + Bộ lọc dải chặn (BSF – Band Stop Filter) có chức năng ngược lại so với bộ lọc thông dải;

Căn cứ theo sự có hay không sử dụng nguồn điện mà tương ứng ta phân ra bộ lọc chủ động hay bị động:

- + Trong đó các bộ lọc bị động thường sử dụng mạch gồm điện trở, điện cảm và điện dung. Tuy nhiên để bộ lọc có cấu trúc đơn giản và gọn nhẹ người ta thường dùng mạch RC.
- + Các bộ lọc chủ động (còn gọi là mạch lọc tích cực – Active) thường sử dụng mạch khuếch đại thuật toán (OP.AMP) kết hợp với tổ hợp của RC.

Ngoài các bộ lọc tương tự như Butterworth, Chebyshev, Elip (Cauer)... chúng ta còn có các bộ lọc số như: FIR, IIR, Kalman..... Chúng được sử dụng trong các hệ thống số.

Tuy nhiên ở đây chúng ta đang quan tâm đến xử lý tín hiệu để nhận được dạng tín hiệu mong muốn từ dạng biến động liên tục (hình 1.1). Mà tín hiệu mong muốn là tín hiệu có tần số thấp. Vì vậy sau đây ta chỉ quan tâm đến các dạng bộ lọc thông thấp (LPF).

1.2. Bộ lọc thông thấp (LPF)

1.2.1. Bộ lọc thông thấp bậc 1 thụ động

Bộ lọc thông thấp bậc một thụ động đơn giản nhất là sử dụng mạch RC như sơ đồ hình 1.2.

Chúng ta dễ dàng xác định được hàm truyền của mạch lọc thụ động RC trên hình 1.2.a từ các phương trình toán tử của tín hiệu vào và ra [2]:

$$U_V(s) = I(s).R + I(s)/Cs \quad \text{và} \quad U_R(s) = I(s)/Cs$$

Từ đó suy ra: $U_V(s) = U_R(s).(1+RCs) = U_R(s).(1+Ts)$

với hằng số thời gian $T = RC$.



Hình 1.2. Sơ đồ mạch lọc thụ động bậc nhất.

Hay ta có hàm truyền của mạch lọc RC hình 1.2.a:

$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1}{1 + Ts} \quad (1.1)$$

Tương tự ta xác định hàm truyền của mạch lọc thụ động RC trên hình 1.2.b:

$$U_V(s) = I(s).R + I(s).R_1 + I(s)/Cs \quad \text{và} \quad U_R(s) = I(s)/Cs + I(s).R_1$$

Từ đó suy ra hàm truyền của mạch lọc RC hình 1.2.b có dạng:

$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1 + T_2s}{1 + Ts} \quad (1.2)$$

Trong đó $T_1 = R_1 C$; $T_2 = R_2 C$ và $T = T_1 + T_2$;

Theo (1.1) và (1.2) với $T > T_2$ thì mạch lọc thông thấp bậc một thụ động RC có tính tích phân. Khi $R_2 = 0$ thì $T_2 = 0$ sẽ làm mất khâu vi phân trong bộ lọc.

1.2.2. Bộ lọc thông thấp bậc 2 thụ động

Từ hàm truyền (1.1) của mạch lọc hình 1.2.a chúng ta sẽ tạo ra hàm truyền của bộ lọc thông thấp thụ động bậc hai có dạng:

$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1}{1 + a_1s + a_2s^2} \quad (1.3)$$

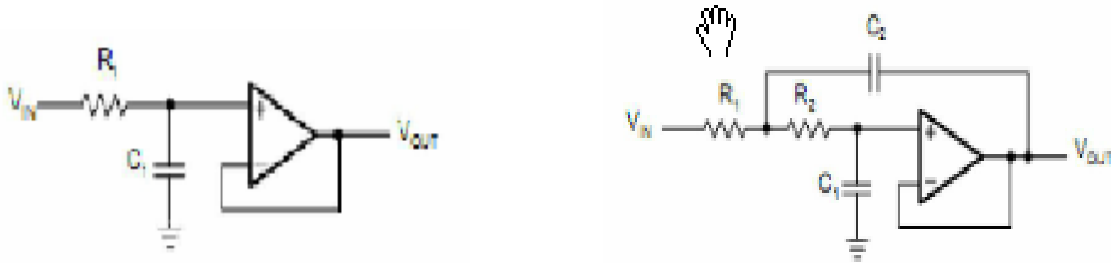
Chúng ta hoàn toàn có thể tạo ra bộ lọc LPF bậc cao tùy ý và giá trị tần số cắt f_{cutoff} của nó sẽ khác tần số cắt của các mắt lọc thành phần [3].

Nói chung bộ lọc thông thấp thụ động có ưu điểm lớn là cấu trúc rất đơn giản, nhưng lại có nhược điểm là hệ số truyền không phải luôn luôn là 1 như trong các biểu thức (1.1) ÷ (1.3) mà thường nhỏ hơn 1. Sự suy giảm hệ số truyền là do sụt áp trên các điện trở R khi tải trên cửa ra của bộ lọc không lớn.

1.2.3. Bộ lọc thông thấp bậc 2 chủ động (tích cực)

Để khắc phục nhược điểm trên của bộ lọc thông thấp thụ động người ta dùng mạch lọc tích cực (Active) có thể sử dụng 2 phương án sau:

+ Mặc mạch lặp dùng khuếch đại thuật toán vào giữa cửa ra của bộ lọc với tải của nó (hình 1.3);



Hình 1.3. Bộ lọc LPF sử dụng mạch lặp với OP.AMP.

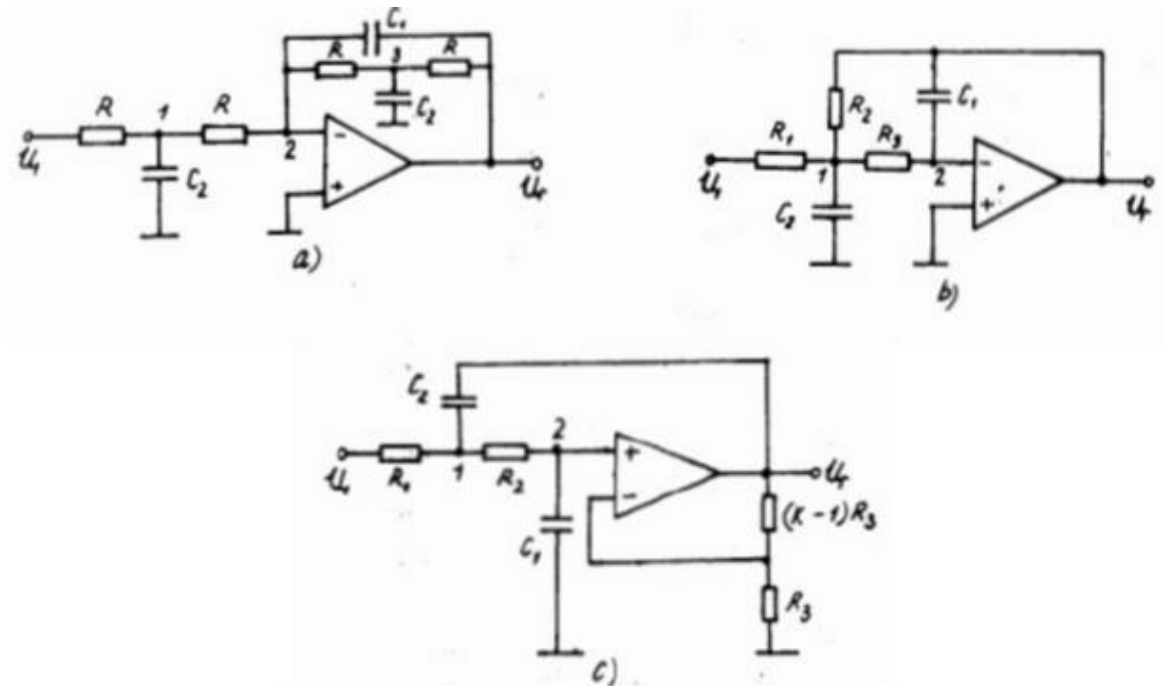
+ Sử dụng bộ lọc thông thấp chủ động dùng OP.AMP với các tổ hợp mạch RC trên mạch vào và trên một hoặc nhiều vòng phản hồi “-“ hoặc “+” (hình 1.4).

Trên hình 1.4.a giới thiệu mạch LPF bậc 2 với một vòng phản hồi âm. Hàm truyền của mạch này có dạng (1.4)[4]:

$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1}{1 + 2\omega_c RC_1 s + \omega_c^2 R^2 C_1 C_2 s^2} \quad (1.4)$$

Trong đó tần số cắt :

$$\omega_c = \frac{1}{R^2 C_1 C_2}$$



Hình 1.4. Bộ lọc LPF sử dụng mạch OP.AMP.

Hàm truyền của mạch LPF bậc 2 với hai vòng phản hồi âm (hình 1.4.b) có dạng (1.5) [4]:

$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{R_2/R_1}{1 + \omega_c C_1 (R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1})s + \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 s^2} \quad (1.5)$$

Hàm truyền của mạch LPF bậc 2 với một vòng phản hồi dương (hình 1.4.c) có dạng (1.6) [4]:

$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{K}{1 + \omega_c [R_1 C_1 + R_2 C_1 + (1 - K)R_1 C_2]s + \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 s^2} \quad (1.6)$$

Trong đó tần số cắt :

$$\omega_c = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}$$

Còn hệ số khuếch đại K của mạch sẽ có giá trị 1 (K = 1) khi điện trở phản hồi bị ngắn mạch $R_{ph} = 0$.

Kết luận: Theo các hàm truyền của bộ lọc thông thấp từ (1.1) đến (1.6) ta có thể viết dạng tổng quát như sau:

+ Đối với bộ lọc thông thấp bậc 1:

$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1 + b_1 s}{1 + a_1 s} \quad \text{Với } 0 \leq b_1 \ll a_1 \quad (1.7)$$

+ Đối với bộ lọc thông thấp bậc 2:

$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1 + b_1 s}{1 + a_1 s + a_2 s^2} \quad (1.8)$$

1.3. Ảnh hưởng của các hệ số a_i và b_i tới phản ứng của bộ lọc (LPF)

1.3.1. Ảnh hưởng của hệ số a_1 .

Trước tiên ta xét bộ lọc LPF bậc nhất có hàm truyền dạng (1.7) với hệ số $b_1=0$. Khi đó hàm truyền của bộ lọc LPF là hàm truyền của khâu quán tính bậc nhất và hệ số a_1 đóng vai trò của hằng số thời gian quá độ.

Nếu tăng hệ số a_1 thì đáp ứng tín hiệu ra $U_R(t)$ sẽ có đặc tính sau:

- + Giảm tốc độ biến thiên của $U_R(t)$ so với tốc độ biến thiên của $U_V(t)$;
- + Giảm độ quá chỉnh của $U_{R\text{Max}}(t)$;

- + Giảm độ gợn sóng của $U_R(t)$ khi xác lập;
- + Tăng thời gian quá độ;
- + Giá trị xác lập $U_{RXL} = U_V(t)$ khi $U_V(t)$ không có dạng dao động. Trường hợp $U_V(t)$ có dạng dao động thì giá trị xác lập U_{RXL} nhỏ hơn giá trị trung bình của $U_V(t)$.

1.3.2. Ảnh hưởng của hệ số b_1 .

Mặc dù hệ số $b_1 \ll a_1$ (theo hàm truyền 1.7), nhưng nó lại là thành phần vi phân của bộ lọc LPF.

Nếu tăng hệ số b_1 thì đáp ứng tín hiệu ra $U_R(t)$ sẽ có đặc tính sau:

- + Tăng độ quá chỉnh của $U_{RMax}(t)$;
- + Tăng thời gian quá độ;
- + Làm xuất hiện dạng dao động của $U_R(t)$ lặp lại $U_V(t)$ nhưng với biên độ nhỏ hơn.

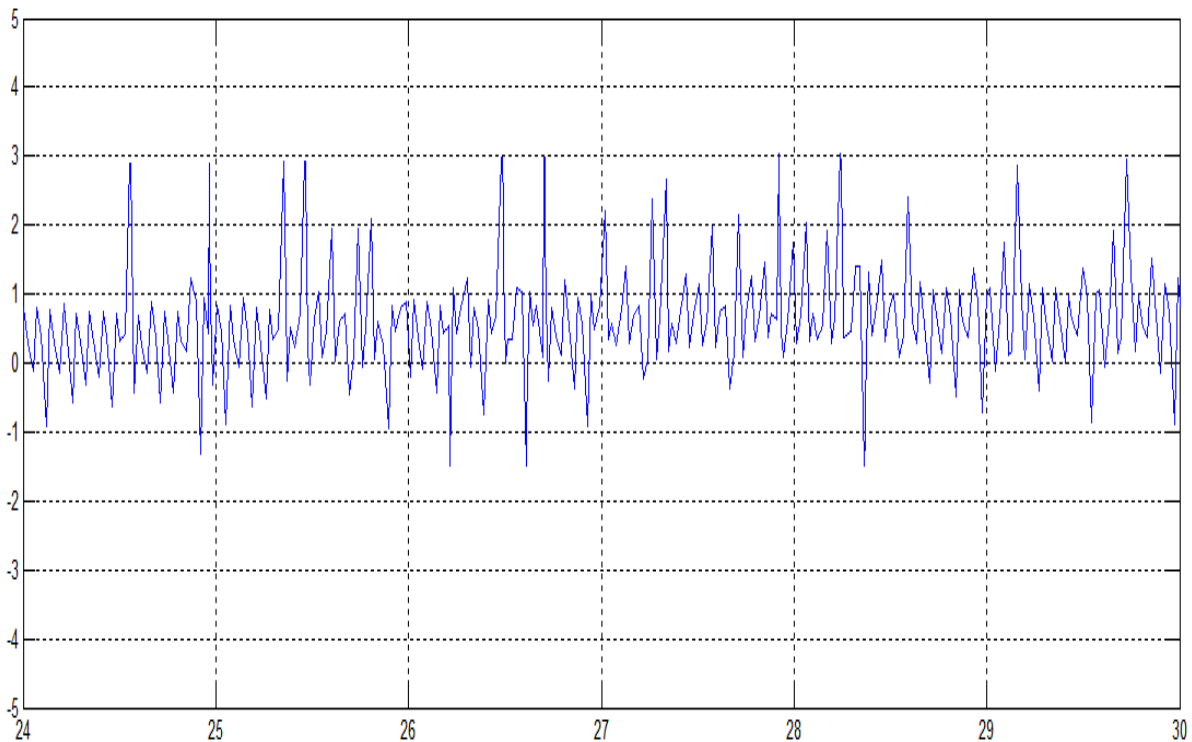
1.3.3. Ảnh hưởng của hệ số a_2 .

Bây giờ ta xét hàm truyền dạng (1.8) với $b_1 = 0$. Khi này bộ lọc thông thấp bậc 2 là mạch nối tiếp của 2 khâu lọc thông thấp bậc nhất có hàm truyền dạng (1.1). Nếu tăng hệ số a_2 thì đáp ứng tín hiệu ra $U_R(t)$ sẽ có đặc tính sau:

- + Tăng độ quá chỉnh của $U_{RMax}(t)$;
- + Giảm tốc độ biến thiên của tín hiệu ra $U_R(t)$;
- + Khi tăng $a_2 > 0,1$ thì làm xuất hiện sự dao động của $U_R(t)$
- + Giá trị xác lập $U_{RXL} = U_V(t)$ khi $U_V(t)$ không có dạng dao động. Nhưng giá trị xác lập U_{RXL} sẽ nhỏ hơn giá trị trung bình của $U_V(t)$ khi $U_V(t)$ có dạng dao động.

1.4. Lựa chọn các hệ số của bộ lọc LPF.

Để lựa chọn các hệ số trong hàm truyền của bộ lọc LPF được sử dụng cho việc tự động phân chia tải giữa 2 Diesel lại chung một chân vịt, chúng ta cần phân tích dạng tín hiệu ra của một trong hai bộ điều chỉnh tốc độ như hình 1.1. Tuy nhiên đây chỉ là trường hợp hay gặp, mà không cần sử dụng bộ lọc LPF thì vẫn tiến hành phân chia tải được. Để dễ dàng đánh giá ta chỉ xét hình 1.1 trong một khoảng thời gian từ giây thứ 24 đến giây thứ 30 được giới thiệu trên hình 1.5. Cụ thể ta thấy trong khoảng thời gian 1s có thể tồn tại từ 15 đến 18 lần biến động phi chu kỳ của tín hiệu ra từ bộ điều tốc. Điều đó tương ứng với tần số $f_{cutoff} = (15 \div 18)$ Hz, hay chu kỳ tương đối $T = (66,7 \div 55,6)$ ms.



Hình 1.5. Biến động của tín hiệu ra từ bộ điều tốc trong một khoảng thời gian.

Tất nhiên rất có thể gặp trường hợp xấu hơn là: trong khoảng thời gian 1s có thể tồn tại hoặc nhiều hơn 25 lần biến động phi chu kỳ của tín hiệu ra từ bộ điều tốc. Khi này ứng với chu kỳ tương đối $T = 40$ ms.

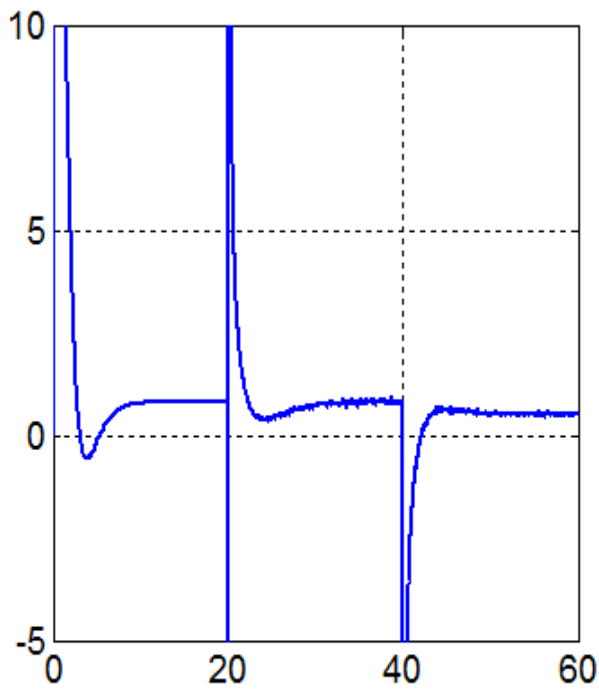
Để xử lý dạng tín hiệu ra (hình 1.5) của bộ điều chỉnh tốc độ, trước tiên ta dùng bộ lọc LPF có hàm truyền dạng (1.1) với hệ số a_1 có giá trị khác nhau. Kết quả thử nghiệm trên simulink được giới thiệu trên hình 1.6.

Theo hình 1.6.a ứng với $a_1 = 0,2$ ta thấy rằng: Độ mập mô của tín hiệu sau lọc lớn nhất so với 2 trường hợp còn lại.

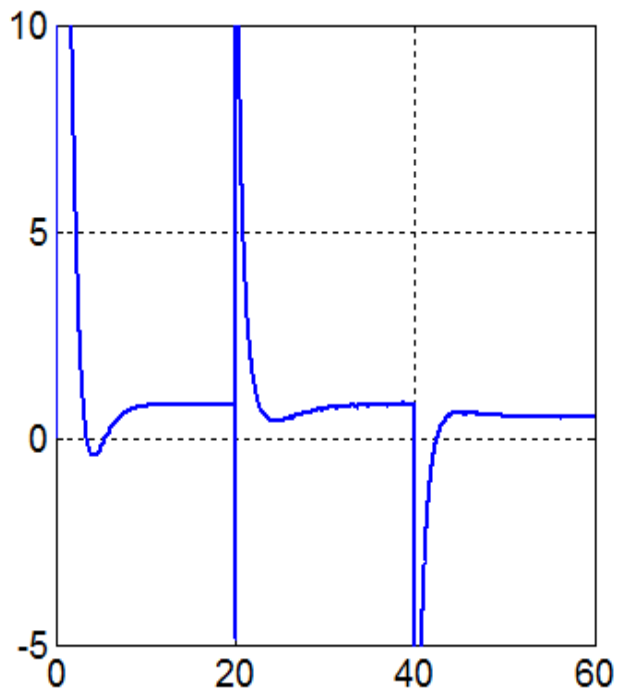
Theo hình 1.6.c ứng với $a_1 = 1,0$ ta thấy rằng: Độ mập mô của tín hiệu sau lọc có dạng mịn hơn kết quả của 2 trường hợp còn lại. Nhưng biên độ đỉnh (peak) lại bị suy giảm quá nhiều.

Theo hình 1.6.b ứng với $a_1 = 0,4$ ta thấy rằng: Độ mập mô của tín hiệu sau lọc không mịn như khi $a_1 = 1,0$, nhưng lại không mập mô lớn như khi $a_1 = 0,2$.

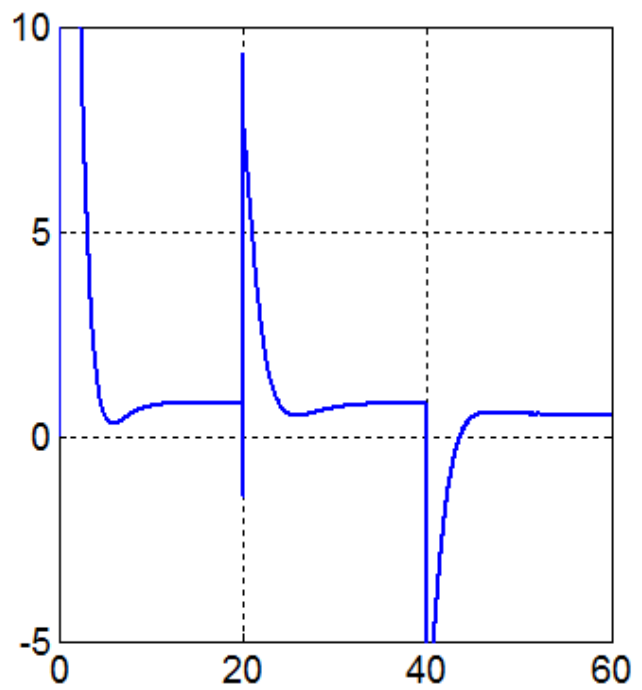
Vì vậy ta chọn $a_1 = 0,4$ để được kết quả hợp lý hơn và vẫn phản ánh được dạng và biên độ đỉnh cao nhất của tín hiệu trước khi lọc.



a)



b)



c)

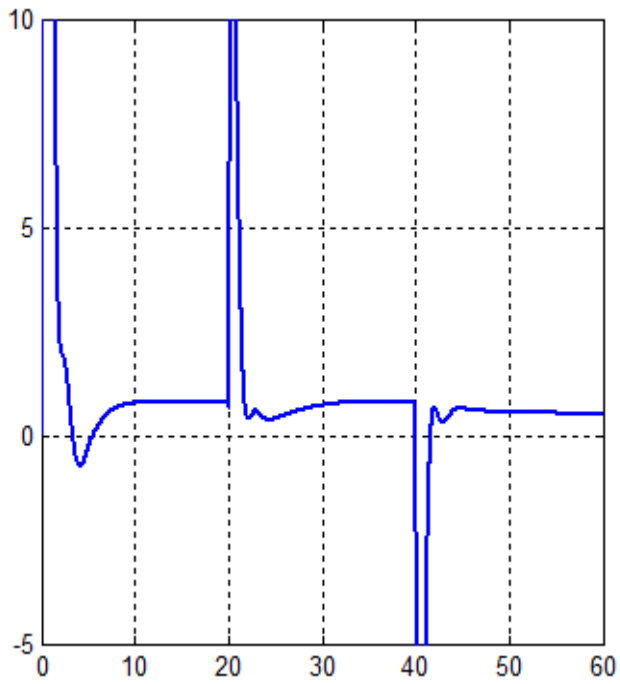
Hình 1.6. Đáp ứng của bộ lọc thông thấp bậc 1 với giá trị khác của a_1 :

a) $a_1 = 0,2$

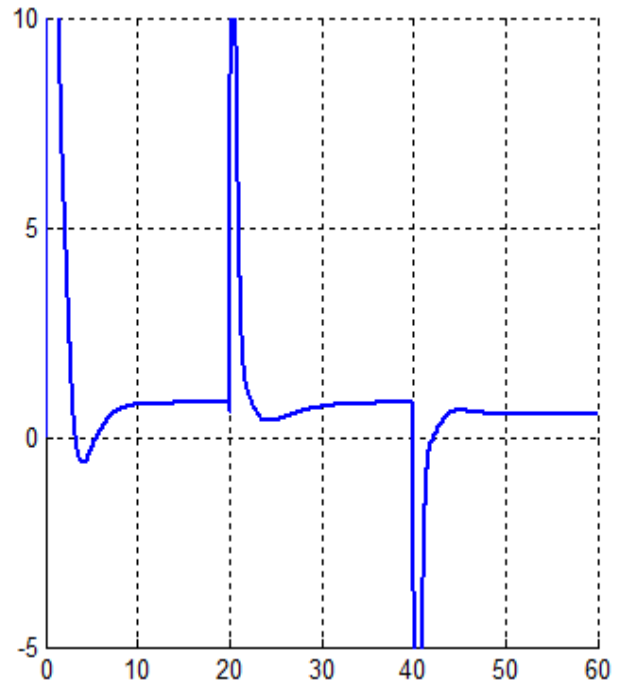
b) $a_1 = 0,4$

c) $a_1 = 1,0$

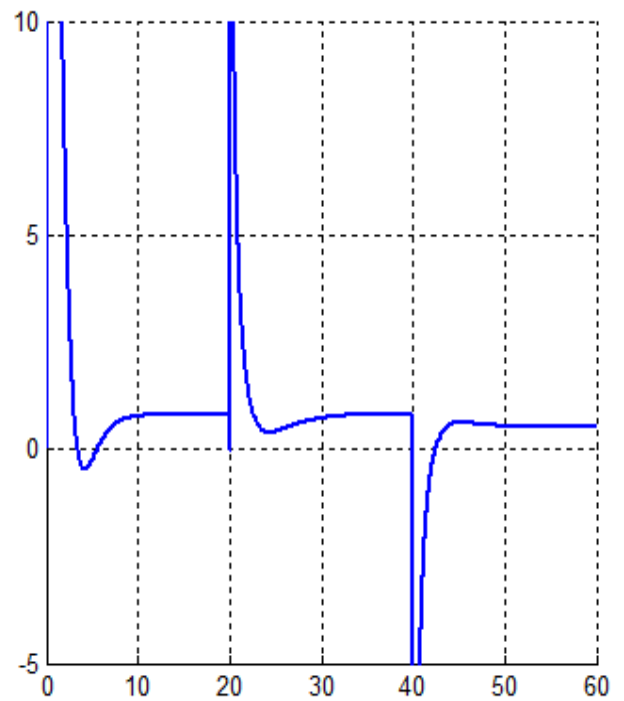
Tương tự ta cũng dùng phương pháp mô phỏng trên simulink để lựa chọn hệ số a_2 theo nhận xét tại mục 1.3.3.



a)



b)



c)

Hình 1.7. Đáp ứng của bộ lọc thông thấp bậc 2 với giá trị khác của a_2 :

a) $a_2 = 0,12$

b) $a_2 = 0,08$

c) $a_2 = 0,02$

Theo kết quả mô phỏng thu được trên hình 1.7 ta nhận thấy:

+ Với $a_2 = 0,2$ thì đáp ứng có biên độ đỉnh cao nhất (peak) sau khoảng 1,5s là 70 (giá trị thấp nhất trong 3 trường hợp khảo sát), nhưng lại có xuất hiện dao động trước khi đạt tới vùng ổn định;

+ Với $a_2 = 0,02$ thì đáp ứng không thấy xuất hiện dao động trước khi đạt tới vùng ổn định, nhưng lại có biên độ đỉnh cao nhất sau khoảng 1,5s là 90 (giá trị cao nhất trong 3 trường hợp khảo sát);

+ Với $a_2 = 0,08$ thì đáp ứng có biên độ đỉnh cao nhất sau khoảng 1,5s là 75 (giá trị nằm trong khoảng giữa 23 trường hợp khảo sát trên), cũng không làm xuất hiện dao động trước khi đạt tới vùng ổn định (như trường hợp 2);

Như vậy chúng ta có thể lựa chọn hệ số $a_2 = 0,08$ cho hàm truyền của bộ lọc thông thấp bậc 2 để sử dụng cho mục đích tự động phân chia hoặc cân bằng tải giữa hai Diesel lại chung một chân vịt.

Riêng thành phần b_1 mang đến cho bộ lọc thông thấp có tính vi phân (tuy không mạnh bằng tính tích phân). Sự có mặt của thành phần vi phân này sẽ làm tăng biên độ đỉnh của tín hiệu sau lọc. Nếu chọn hệ số b_1 thì dễ có nguy cơ làm tín hiệu sau lọc xuất hiện dao động. Sau khi mô phỏng thử nghiệm trên simulink Matlab chúng ta có thể loại bỏ thành phần vi phân này (cho $b_1 = 0$), hoặc chọn giá trị nhỏ $b_1 = 0,05$.

Chương 2: ỨNG DỤNG BỘ LỌC THÔNG THẤP TRONG HỆ TỰ ĐỘNG PHÂN CHIA TẢI GIỮA HAI DIESEL LAI CHUNG CHÂN VỊT.

2.1. Khảo sát đáp ứng của một số LPF

Từ kết quả trên chúng ta tiến hành khảo sát đáp ứng của LPF với 4 dạng hàm truyền khi tín hiệu vào bộ lọc có dạng như trên hình 1.1:

+ Bộ lọc thông thấp bậc 1 với 2 dạng hàm truyền:

$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1}{1 + 0,4s} \quad (2.1)$$

và

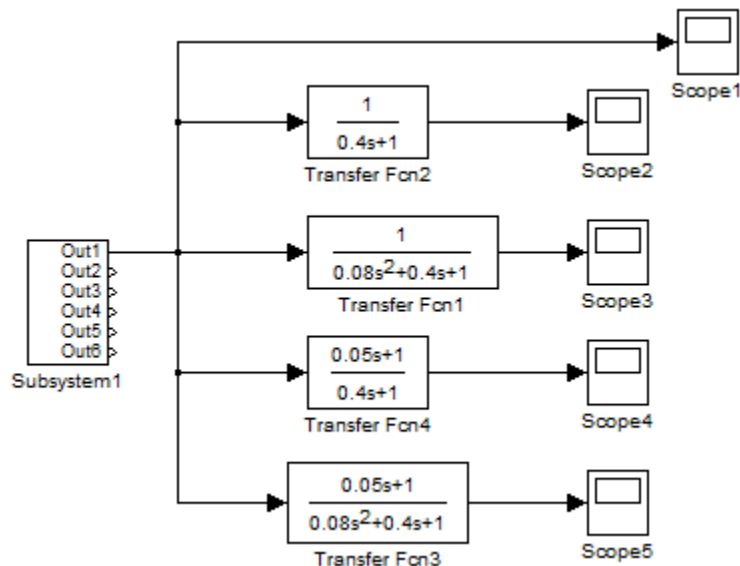
$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1 + 0,05s}{1 + 0,4s} \quad (2.2)$$

+ Bộ lọc thông thấp bậc 2 với 2 dạng hàm truyền:

$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1}{1 + 0,4s + 0,08s^2} \quad (2.3)$$

và

$$W(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1 + 0,05s}{1 + 0,4s + 0,08s^2} \quad (2.4)$$



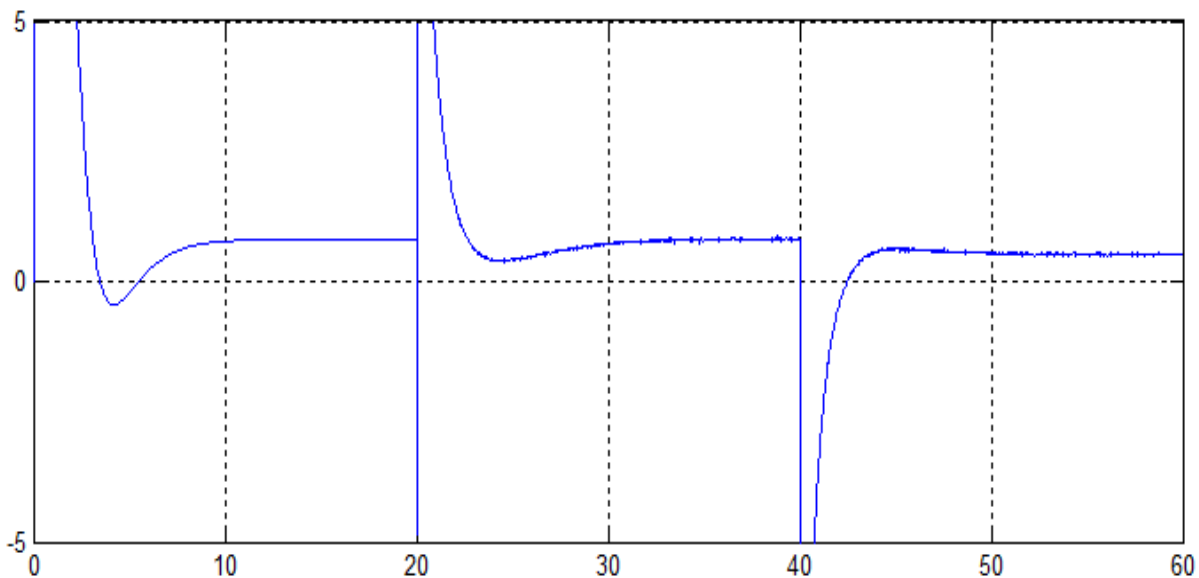
Hình 2.1. Sơ đồ mô phỏng đáp ứng của các LPF.

Trên hình 2.1 giới thiệu sơ đồ mô phỏng trên Simulink Matlab. Trong đó khối tạo tín hiệu cần lọc chính là hệ tự động phân chia tải giữa hai Diesel lai chung chân vịt. Tín hiệu cần được lọc là tín hiệu ra từ một trong hai bộ điều tốc (cửa số 1 của Subsystem 1), nó được chỉ thị trên Scope 1.

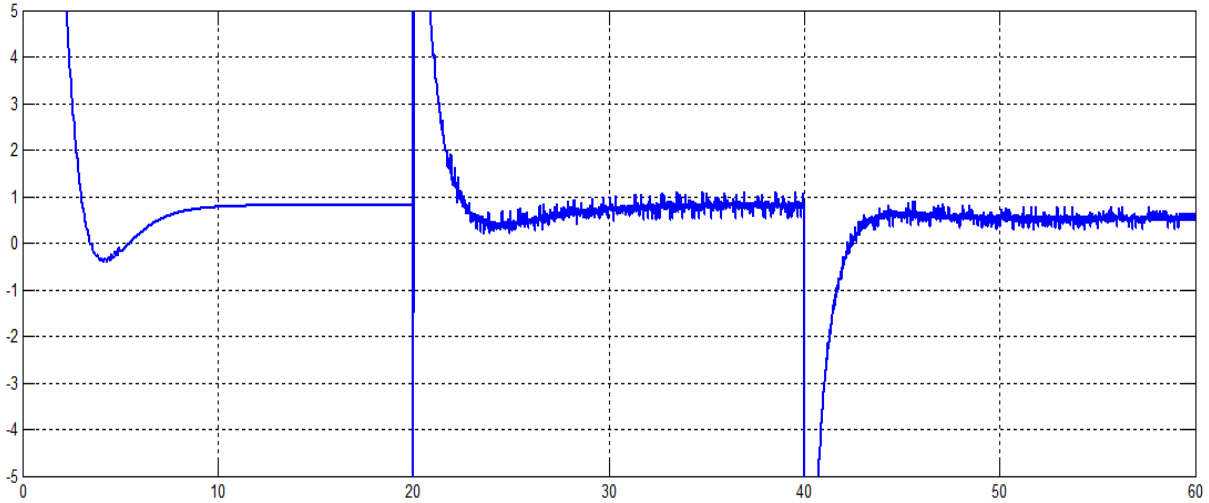
Trên các Scope 2 ÷ 5 tương ứng chỉ thị tín hiệu ra của 4 bộ lọc có hàm truyền theo (2.1), (2.2), (2.3) và (2.4).

Khi sử dụng bộ lọc thông thấp bậc 1 với hàm truyền (2.1) chúng ta nhận được tín hiệu sau lọc được chỉ ra trên hình 2.2. Khi xét về biên độ đỉnh peak thì bộ lọc này cho thấy peak là 96 (xung thứ nhất), xung thứ ba là “-40”. Ở vùng tựa ổn định vẫn tồn tại hiện tượng nhấp nhô với biên độ nhỏ.

Đáp ứng ra của bộ lọc thông thấp bậc 1 với hàm truyền (2.2) là tín hiệu sau lọc được giới thiệu trên hình 2.3. Biên độ đỉnh peak của xung thứ nhất có giảm không đáng kể chỉ là 90, nhưng biên độ xung thứ hai là 85 và -80, còn xung thứ ba là -105. Đặc biệt ở vùng tựa ổn định vẫn tồn tại hiện tượng nhấp nhô với biên độ lớn nhất trong 4 trường hợp khảo sát.

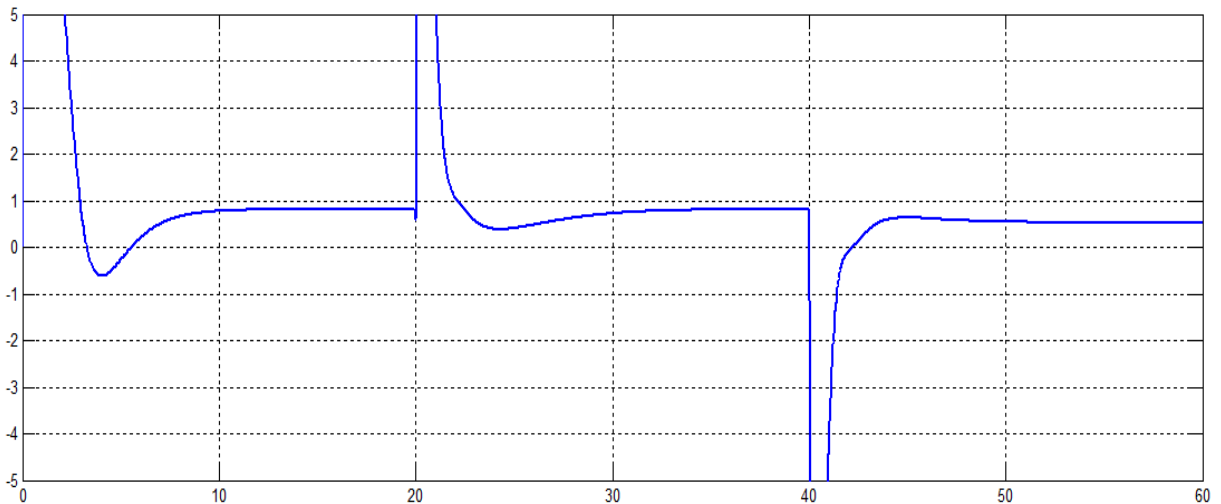


Hình 2.2. Tín hiệu ra của bộ lọc với hàm truyền (2.1).



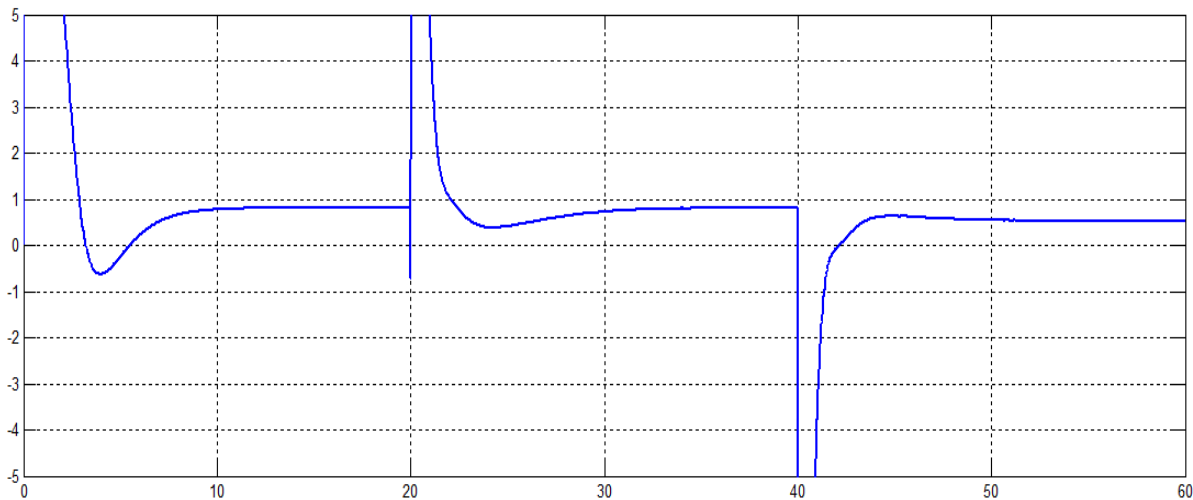
Hình 2.3. Tín hiệu ra của bộ lọc với hàm truyền (2.2).

Dạng tín hiệu sau bộ lọc thông thấp bậc 2 với hàm truyền (2.3) được chỉ ra trên hình 2.4. Khi xét về biên độ đỉnh peak thì bộ lọc này cho thấy peak là 75 (xung thứ nhất), xung thứ hai chỉ là 13 và 0,7, còn xung thứ ba chỉ là -14. Ở vùng ổn định không còn hiện tượng nhấp nhô.



Hình 2.4. Tín hiệu ra của bộ lọc với hàm truyền (2.3).

Đáp ứng ra sau bộ lọc thông thấp bậc 2 với hàm truyền (2.4) được chỉ ra trên hình 2.5. Khi xét về biên độ đỉnh peak thì bộ lọc này cho thấy peak xung thứ nhất cũng là 76, xung thứ hai chỉ là 13 và -0,8, còn xung thứ ba chỉ là -15. Ở vùng ổn định không còn hiện tượng nhấp nhô.



Hình 2.5. Tín hiệu ra của bộ lọc với hàm truyền (2.4).

Kết luận: Tuy cùng tín hiệu vào như nhau nhưng đáp ứng ra của 4 loại mạch lọc thông thấp cũng khác nhau.

Nếu cùng bậc 1, hoặc 2 thì mạch lọc nào có thêm thành phần vi phân tuy nhỏ ($b_1 = 0,05$) cũng có chất lượng kém hơn mạch lọc với $b_1 = 0$. Mặt khác cấu trúc của mạch lọc có thêm thành phần vi phân sẽ phức tạp hơn và khi điều khiển, hoặc mô phỏng sẽ tốn thời gian hơn.

Nếu so sánh hiệu quả sau lọc thì mạch lọc thông thấp bậc hai cho kết quả lọc tốt hơn hẳn. Nhưng mạch lọc bậc 2 lại có nhược điểm về cấu trúc và tốc độ xử lý.

Đến đây chúng ta có đủ cơ sở để chọn bộ lọc cho hệ tự động phân chia tải giữa hai Diesel lai chung chân vịt:

+ Khi cần đáp ứng nhanh và yêu cầu tín hiệu sau lọc không cao thì nên sử dụng bộ lọc thông thấp bậc nhất có dạng hàm truyền (2.1);

+ Khi yêu cầu cao về chất lượng tín hiệu sau lọc để thuận tiện hơn cho việc điều khiển không cần nhanh thì hãy sử dụng bộ lọc thông thấp bậc nhất có dạng hàm truyền (2.3).

Khi đánh giá tổng thể kết quả đáp ứng ra của các bộ lọc với tín hiệu vào như nhau, chúng ta có thể sắp xếp theo thứ tự hiệu quả nhất trở xuống như sau:

- 1/. Bộ lọc thông thấp bậc 2 không có khâu vi phân với hàm truyền (2.3);
- 2/. Bộ lọc thông thấp bậc 2 có khâu vi phân với hàm truyền (2.4);
- 3/. Bộ lọc thông thấp bậc 1 không có khâu vi phân với hàm truyền (2.1);
- 4/. Bộ lọc thông thấp bậc 1 có khâu vi phân với hàm truyền (2.2);

Sau đây chúng ta sẽ sử dụng bộ lọc thông thấp bậc 2 không có khâu vi phân với hàm truyền (2.3) cho hệ thống tự động phân chia tải giữa hai Diesel lai chung một chân vịt tàu thủy.

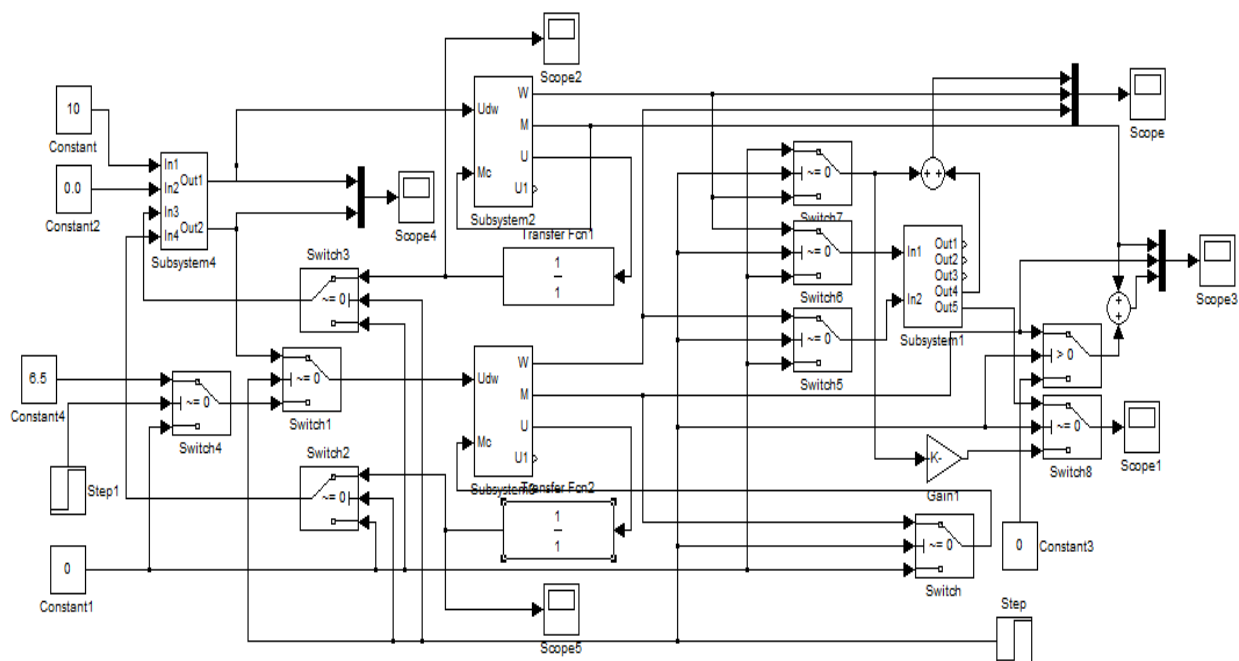
2.2. Ứng dụng bộ lọc LPF bậc 2 cho hệ tự động phân chia tải giữa 2 Diesel lai chung chân vịt.

2.2.1. Quá trình khởi động và cân bằng tải của 2 Diesel khác thời điểm

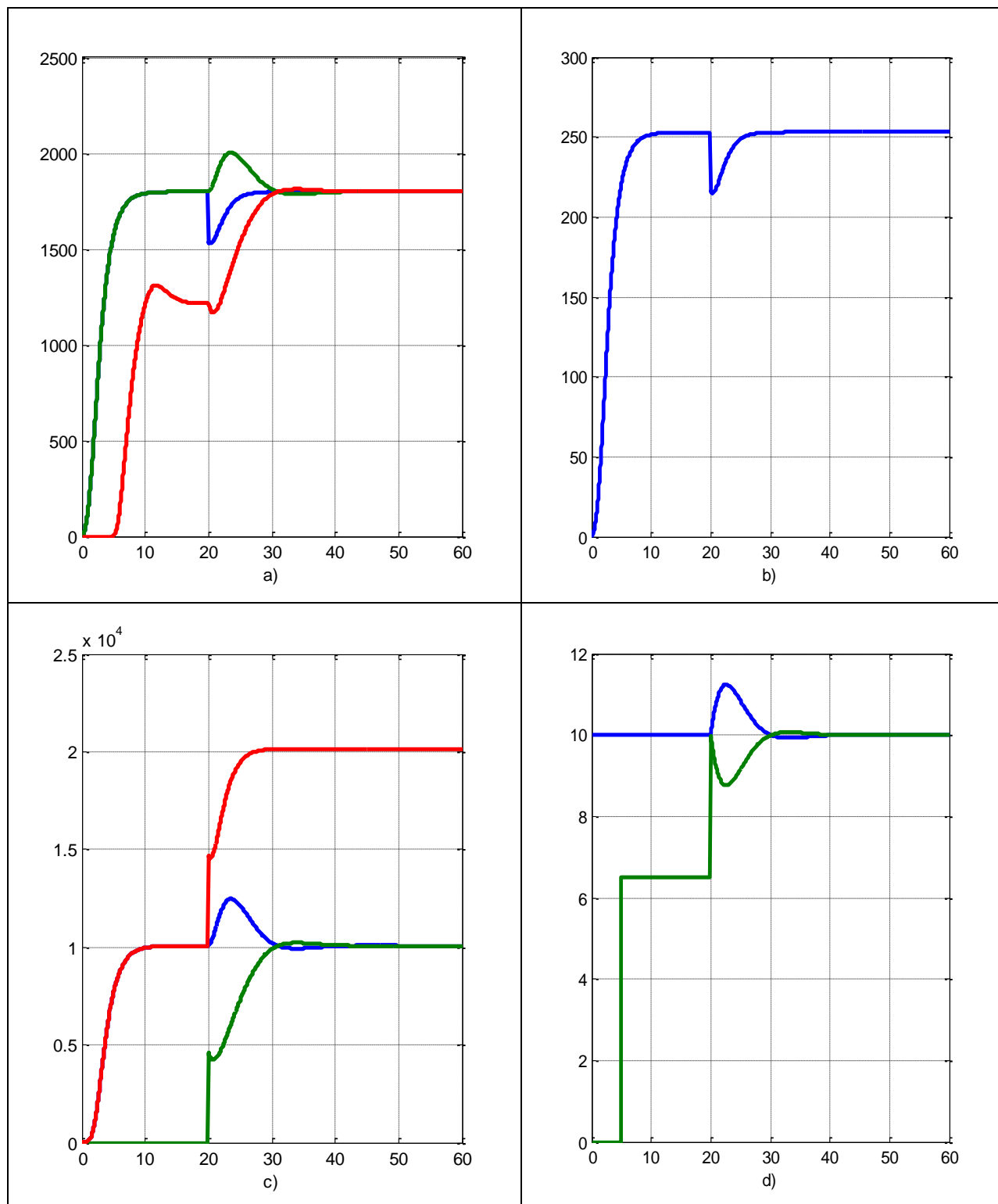
2.2.1.1. Trường hợp 2 Diesel có cùng thông số $K_D = 12400$

A/. Khi không có sự tham gia của bộ lọc LPF [1]

Khi sử dụng tín hiệu ra của 2 bộ điều chỉnh tốc độ làm tín hiệu điều khiển quá trình tự động cân bằng tải nhờ file OKUrKS_CCCC (hình 2.6). Trong đó Diesel 1 đang làm việc với $U_{d\omega} = 10$ và Diesel 2 khởi động sau 5s với $U_{d\omega} = 6,5$, sau 15 s tiếp theo (Diesel 2 đã ổn định tốc độ 1200 Vòng/phút) thực hiện việc hòa cùng $U_{d\omega} = 10$. Kết quả mô phỏng quá trình này được giới thiệu trên hình 2.7. Tại thời điểm hòa (20s) tín hiệu đặt trước của Diesel 2 tăng từ 6,5 lên 10



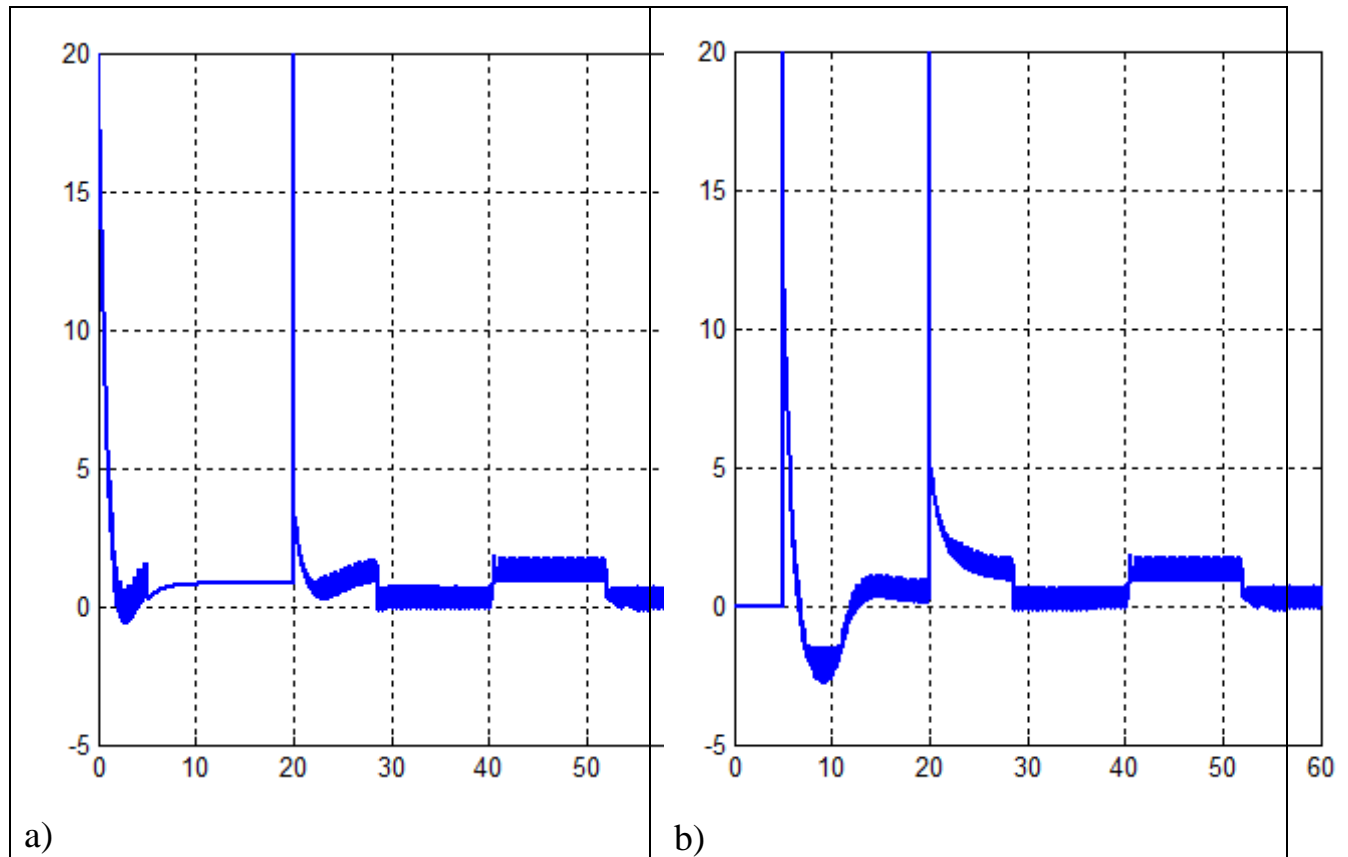
Hình 2.6. Sơ đồ mô phỏng quá trình tự động cân bằng tải không có sự tham gia của LPF khi hòa Diesel 2 cùng thông số.



Hình 2.7. Kết quả tự động cân bằng tải không có sự tham gia của LPF khi hòa Diesel 2 cùng thông số.

(hình 2.7.d), nhưng vì Diesel 2 cũng phải nhận tải M_{c2} tăng từ 0 lên gần 500Nm,

nên tốc độ của nó có suy giảm nhỏ ngay lập tức (hình 2.7.a). Đồng thời tốc độ chân vịt giảm khoảng 30 vòng/phút (hình 2.7.b). Ngay lập tức bộ tự động phân chia tải tăng tín hiệu $U_{d\omega 1}$ lên khoảng trên 11 và giảm tín hiệu $U_{d\omega 2}$ xuống khoảng gần 9, khiến tốc độ của cả 2 Diesel cùng có xu hướng tăng, để cuối quá trình (khoảng 20 s tiếp theo) ta nhận được sự cân bằng tải. Trong quá trình đó thì 2 tín hiệu đưa tới khâu tự động phân chia tải U_1 và U_2 (được lấy từ tín hiệu ra của 2 bộ điều chỉnh tốc độ của Diesel 1 và Diesel 2) có dạng như hình 2.8.

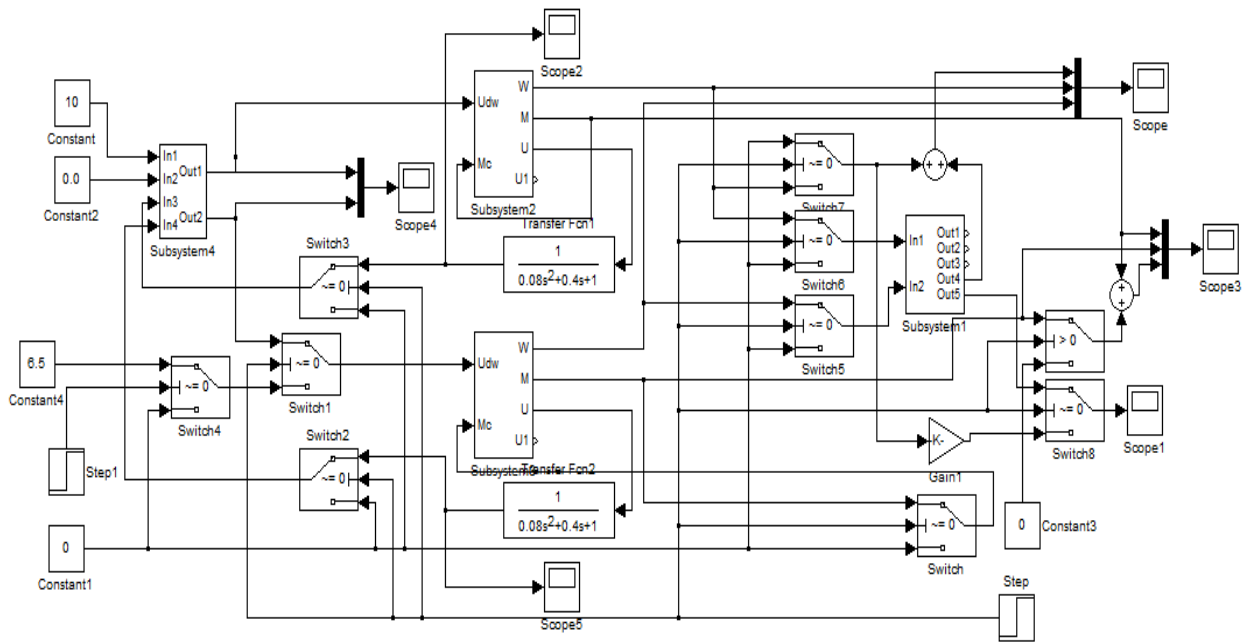


Hình 2.8. Dạng tín hiệu U_1 (a) và U_2 (b) khi không có bộ lọc.

B/. Khi có sự tham gia của bộ lọc LPF

Chúng ta sẽ mô phỏng hệ tự động cân bằng tải với sự tham gia của bộ lọc LPF bậc 2 (hình 2.9) cùng điều kiện như trường hợp A.

Kết quả mô phỏng quá trình tự động cân bằng tải có sự tham gia của LPF khi hòa Diesel 2 cùng thông số $K_D = 12400$ được giới thiệu trên hình 2.10. Trong quá trình đó thì 2 tín hiệu đưa tới khâu tự động phân chia tải U_1 và U_2 (được lọc từ tín hiệu ra của 2 bộ điều chỉnh tốc độ của Diesel 1 và Diesel 2) có dạng như hình 2.11.

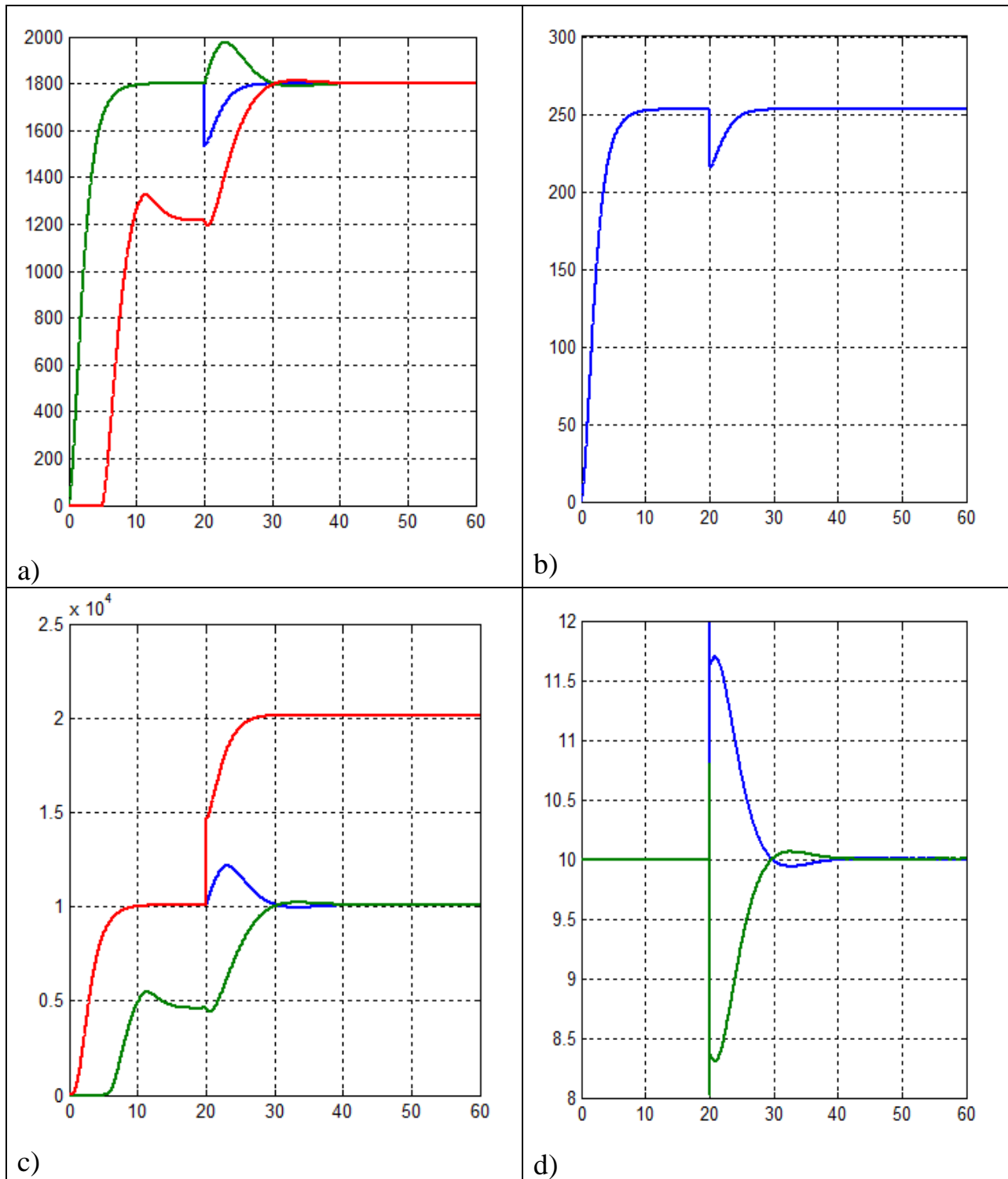


Hình 2.9. Sơ đồ mô phỏng quá trình tự động cân bằng tải có sự tham gia của LPF khi hòa Diesel 2 cùng thông số.

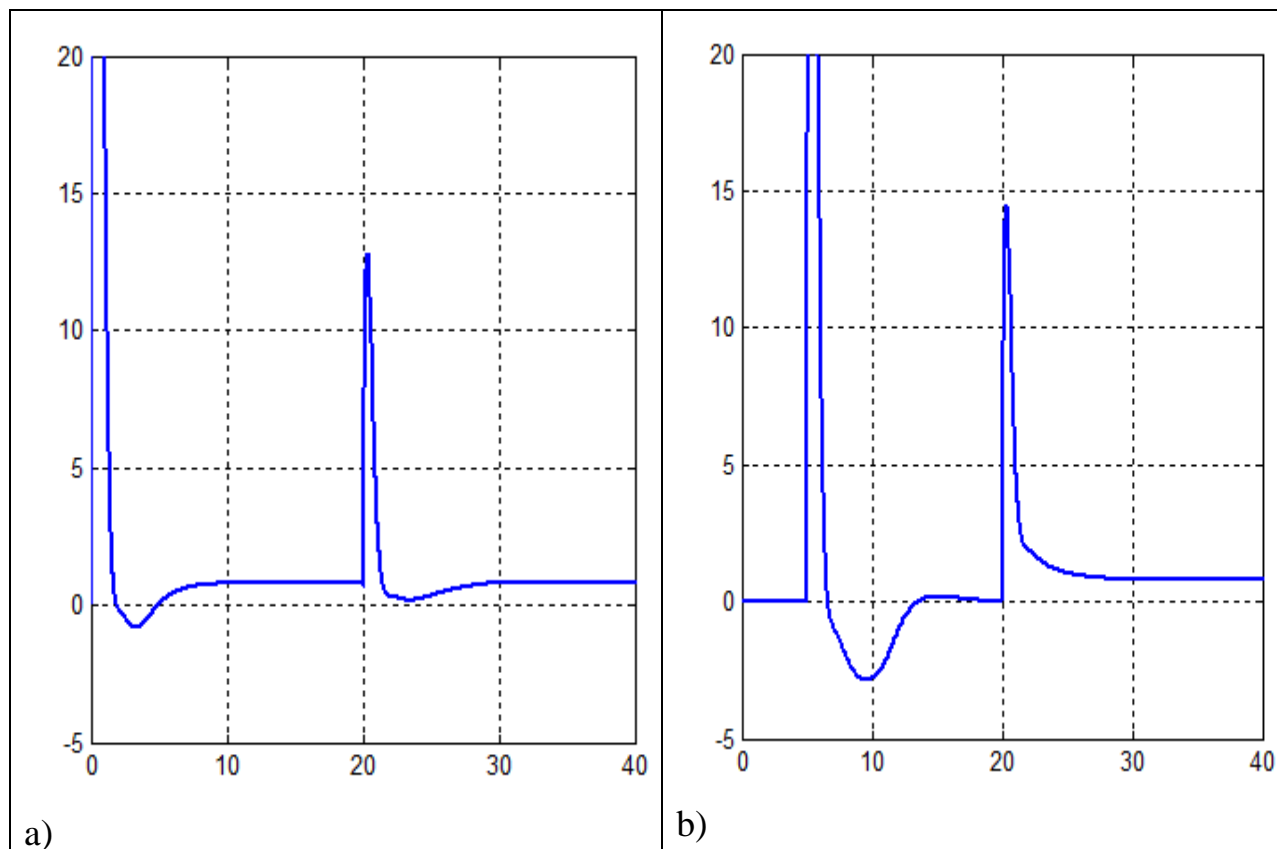
So sánh với kết quả không dùng LPF (hình 2.7) chúng ta nhận thấy rằng: Dáng điệu các đặc tính không khác nhau, chỉ có biên độ cực đại của $\omega_{1\max} < 2000$ Vòng/phút khi dùng LPF, còn khi không dùng LPF thì $\omega_{1\max} > 2000$ Vòng/phút. Bởi vì khi hòa 2 Diesel thì khâu tự động phân chia tải tăng gần như tức thời tín hiệu $U_{d\omega 1}$ lên khoảng trên 11,7 và giảm gần như tức thời tín hiệu $U_{d\omega 2}$ xuống khoảng 8,3, sau thời gian rất ngắn $U_{d\omega 1}$ giảm dần và $U_{d\omega 2}$ tăng dần, khiến cho quá trình đáp ứng nhanh và giảm độ quá chỉnh (không chậm như đáp ứng trong hệ không dùng LPF). Có thể nói: Đây là hiệu quả đầu tiên khi sử dụng LPF.

Trong quá trình đó thì 2 tín hiệu đưa tới khâu tự động phân chia tải U_1 và U_2 (được lấy từ tín hiệu ra của 2 bộ điều chỉnh tốc độ của Diesel 1 và Diesel 2 đã qua bool lọc thông thấp bậc 2) có dạng như hình 2.11. Nếu so sánh hình 2.11 với 2.8 chúng ta nhận thấy ngay: Trong điều kiện thuận lợi nhất (2 Diesel cùng thông số và tham số cân bằng tải $B = 0$) mà tín hiệu đưa vào khâu phân chia tải khi chưa được lọc có dạng dao động gây ra vùng tựa xác lập từ sau giây thứ 30. Nếu gặp điều kiện xấu hơn nhiều thì tín hiệu này sẽ còn biến dạng phức tạp hơn nhiều – Đó là điều gây khó khăn lớn cho khâu tiếp theo thực hiện thuật toán tự động phân chia

tải. Cũng điều kiện thuận lợi nhất thì 2 tín hiệu vào khâu tự động phân chia tải đã được lọc lại có dạng đường tròn chu rõ rệt.



Hình 2.10 . Kết quả tự động cân bằng tải với sự tham gia của LPF khi hòa Diesel 2 cùng thông số.



Hình 2.11. Dạng tín hiệu U_1 (a) và U_2 (b) đã được lọc.

2.2.1.2. Trường hợp cân bằng tải cho 2 Diesel có thông số K_D khác nhau

Trong quá trình vận hành có thể xảy ra trường hợp 2 Diesel có thông số K_D khác nhau. Giả sử Diesel 1 có thông số chuẩn, còn Diesel 2 có hệ số truyền đạt giảm 20% ($K_{D2} = 9920$).

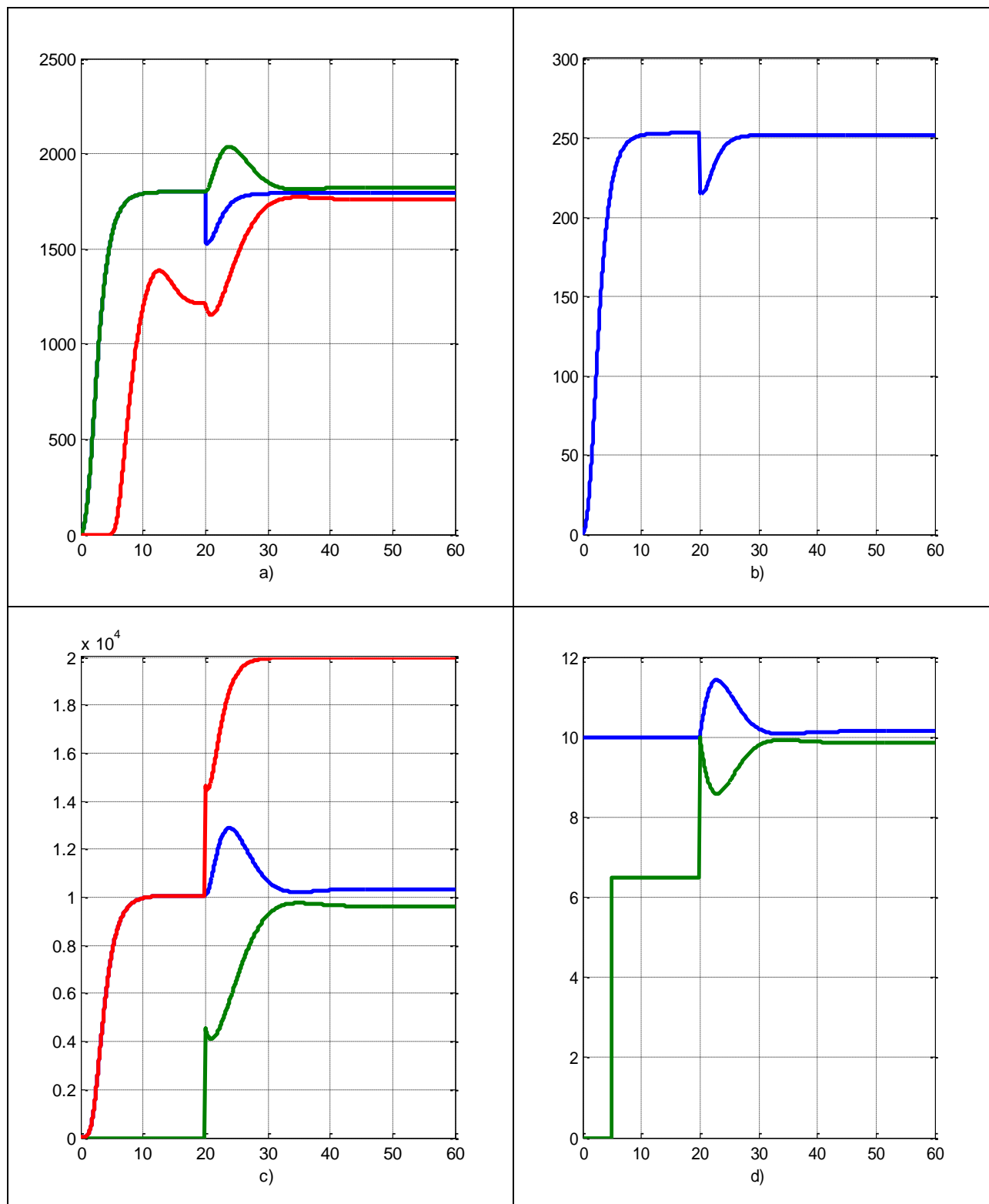
A/. Khi không có sự tham gia của bộ lọc LPF [1]

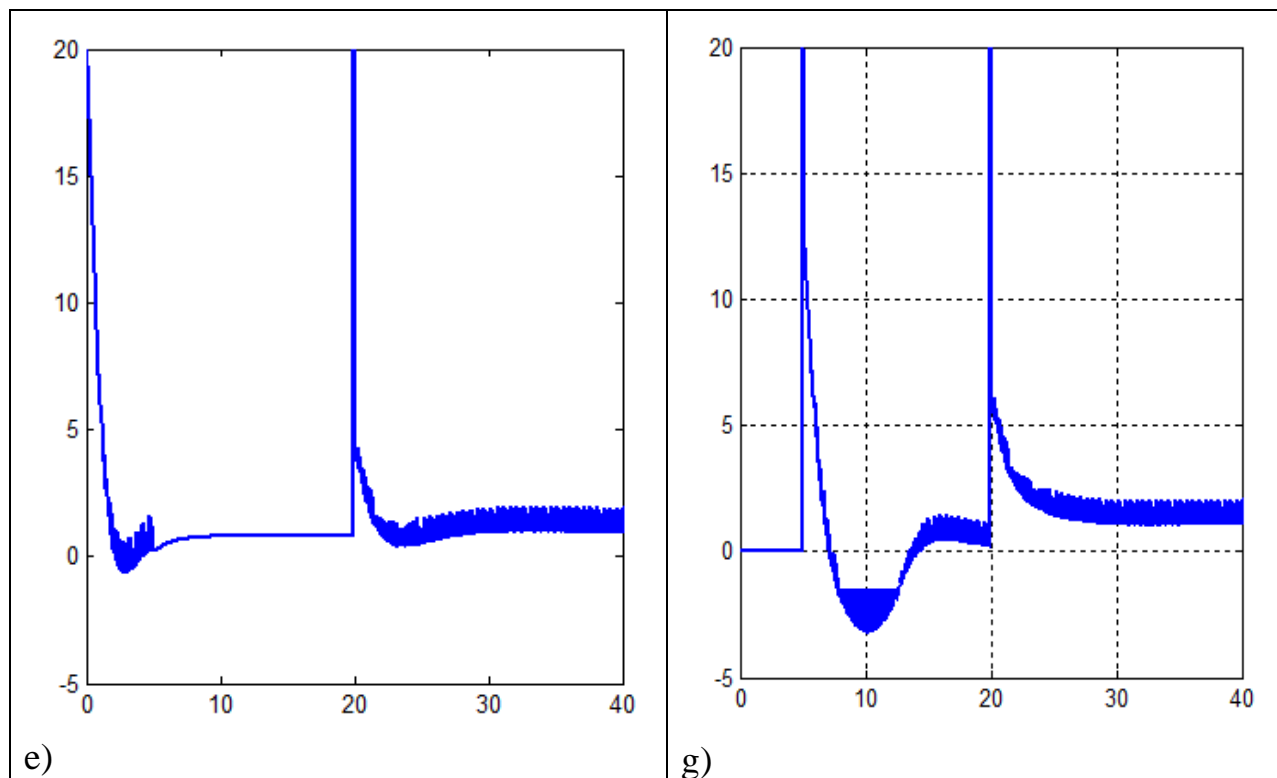
Kết quả mô phỏng cho trường hợp 2 Diesel có thông số K_D khác nhau, cụ thể $K_{D1} = 12400$, $K_{D2} = 9920$ và $B = 0$ được chỉ ra trên hình 2.12

Trong trường hợp hệ số truyền đạt của Diesel 2 bị suy giảm và với việc phân chia tải được điều khiển bởi 2 tín hiệu ra U_r của 2 bộ điều tốc chúng ta nhận được kết quả trên hình 2. 10.

Rõ ràng hệ không thể đảm bảo việc cân bằng tải khi đặt $B = 0$ (hình 2.12a). Điều này được lý giải bởi giá trị của tín hiệu $U_{r1} < U_{r2}$ và hiệu $U_{r2} - U_{r1} > 0$, sau

phần tử đảo dấu (trong subsystem – Bộ tự động phân chia tải) hiệu đó lại nhận giá trị dương. Kết quả làm tăng $U_{đo1} > 10$ và giảm $U_{đo2} < 10$ ở giai đoạn ổn định.



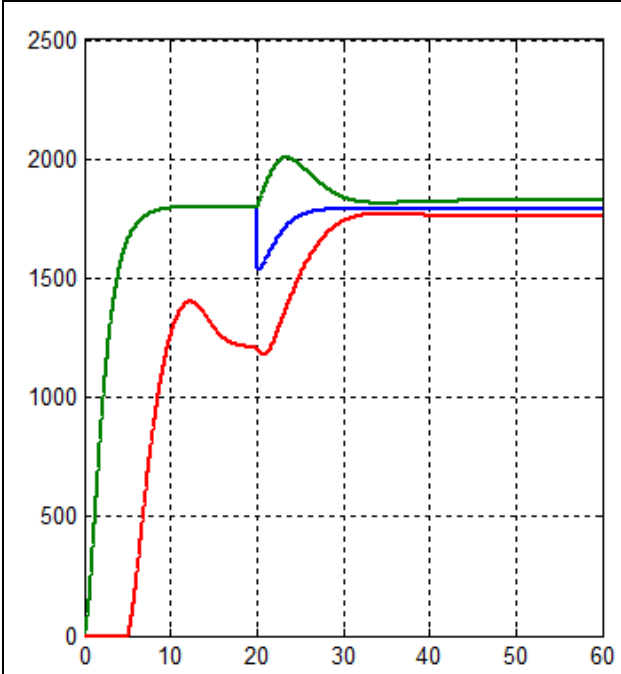


Hình 2.12 . Kết quả tự động cân bằng tải khi $K_{D2} = 9920$.

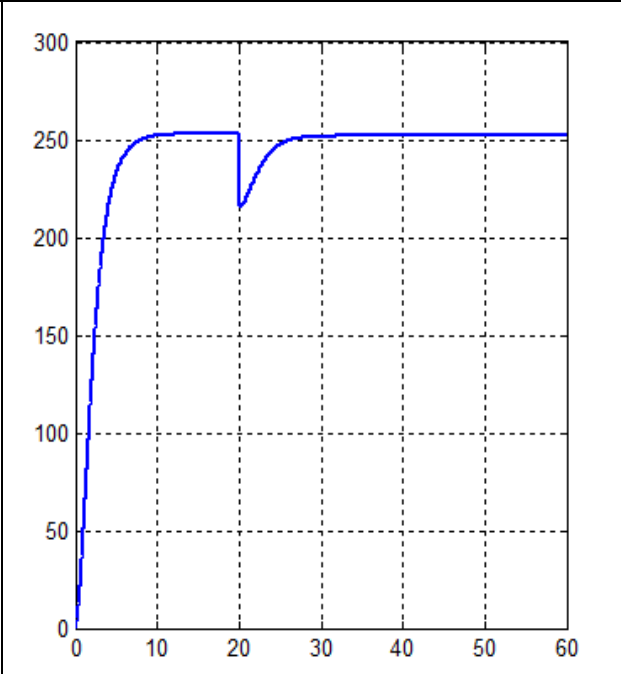
Rõ ràng hệ không thể đảm bảo việc cân bằng tải khi đặt $B = 0$. Điều này được lý giải bởi giá trị của tín hiệu $U_{r1} < U_{r2}$ và hiệu $U_{r2} - U_{r1} > 0$, sau phần tử đảo dấu (trong subsystem – Bộ tự động phân chia tải) hiệu đó lại nhận giá trị dương. Kết quả làm tăng $U_{đo1} > 10$ và giảm $U_{đo2} < 10$ ở giai đoạn ổn định. Cũng như kết quả hình 2.8 ta thấy 2 tín hiệu đưa đến khâu phân chia tải đều bị biến động phi chu kỳ với biên độ không đối xứng quanh giá trị trung bình.

B/. Khi có sự tham gia của bộ lọc LPF.

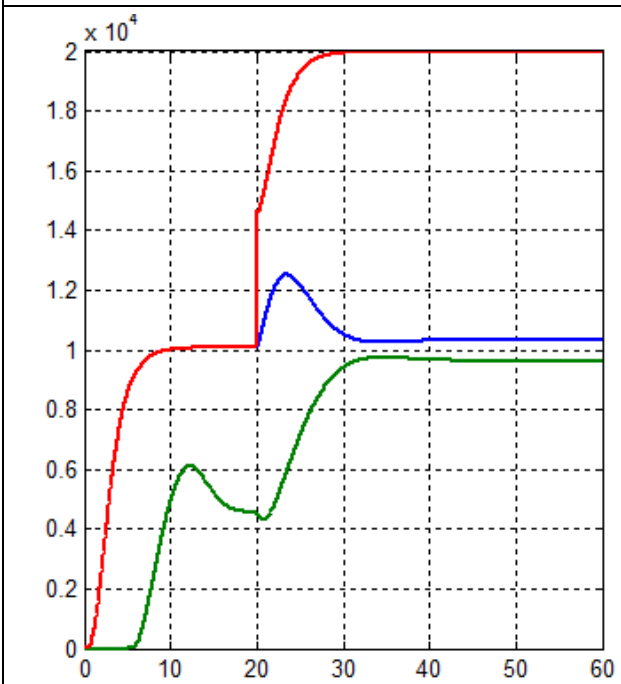
Khi có sự tham gia của bộ lọc LPF bậc 2 chúng ta cũng nhận được kết quả mô phỏng có cùng điều kiện được chỉ ra trên hình 2.13. Từ hình 2.13.e và g ta thấy 2 tín hiệu đưa đến khâu phân chia tải đã được lọc, nên không còn dạng biến động phi chu kỳ. Nhờ đó mà giảm được độ quá của tốc độ quay n_{DD1} không vượt quá 2000(V/P).. Tuy nhiên việc cân bằng tải cũng không được thực hiện như khi không có bộ lọc LPF.



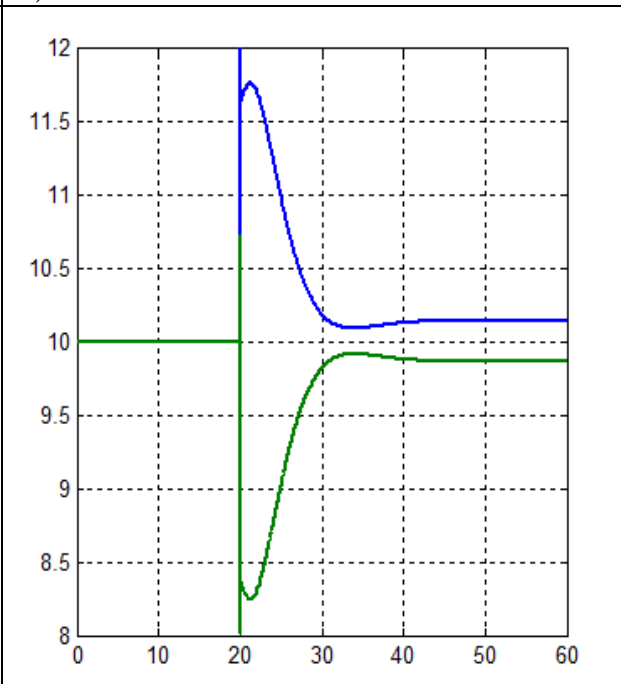
a)



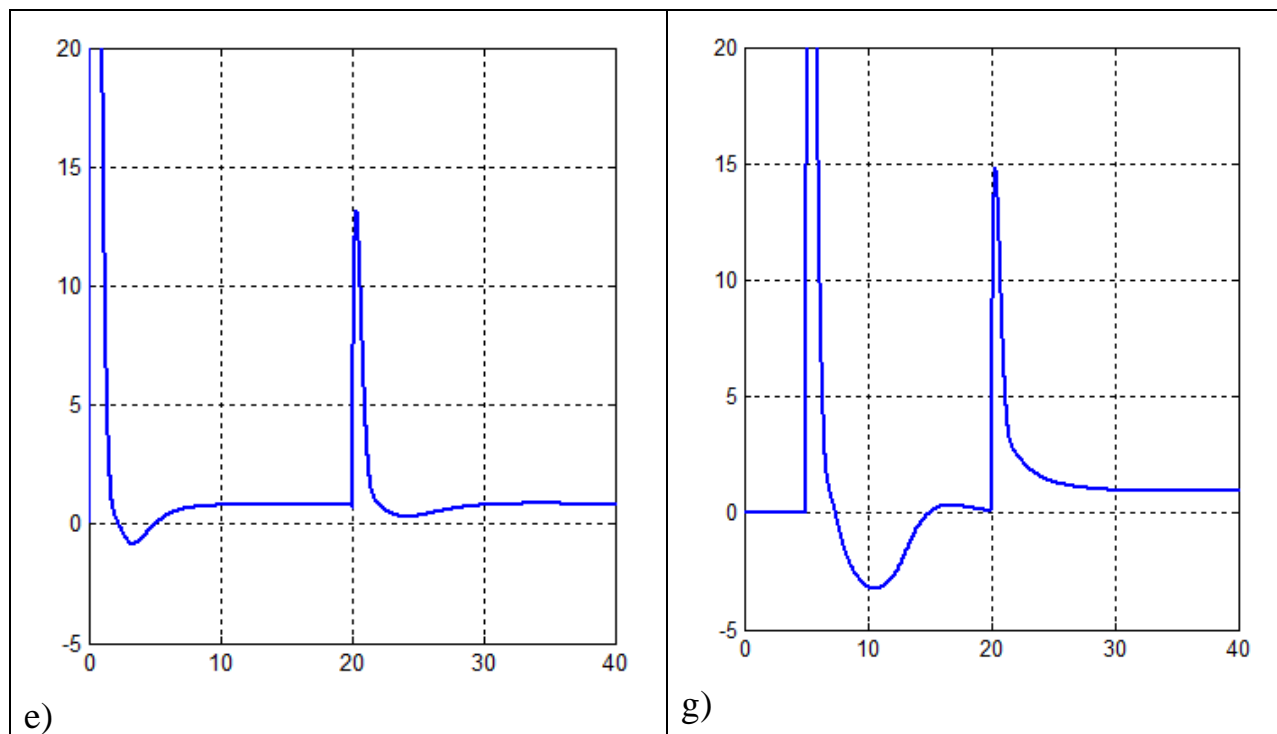
b)



c)



d)



Hình 2.13 . Kết quả tự động cân bằng tải theo tín hiệu U_r khi K_{D2} giảm 20%..

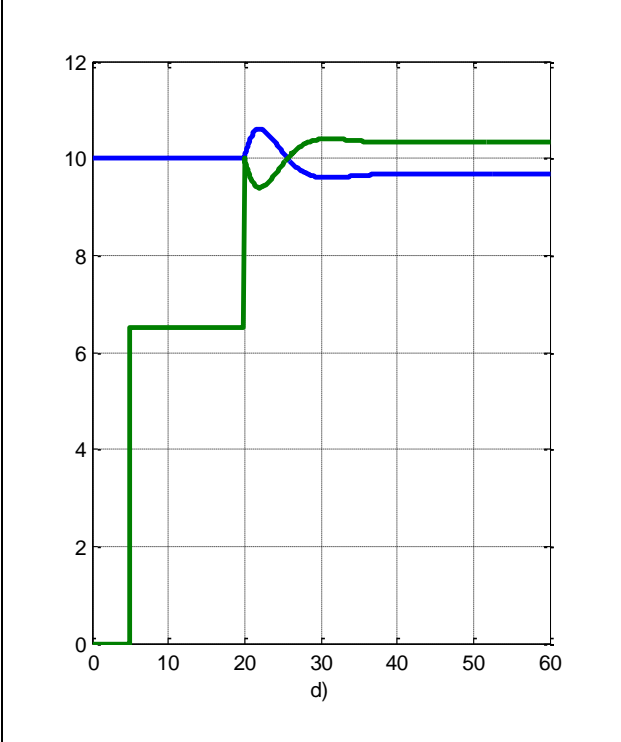
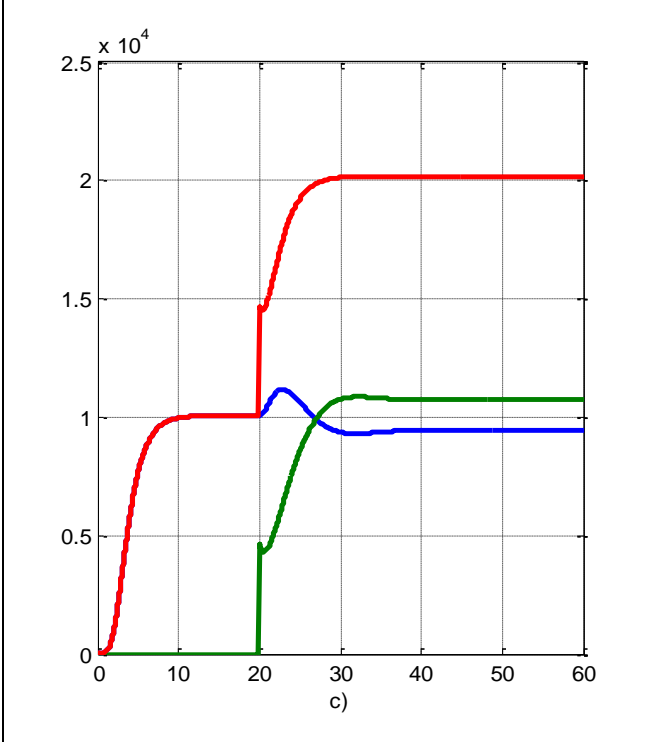
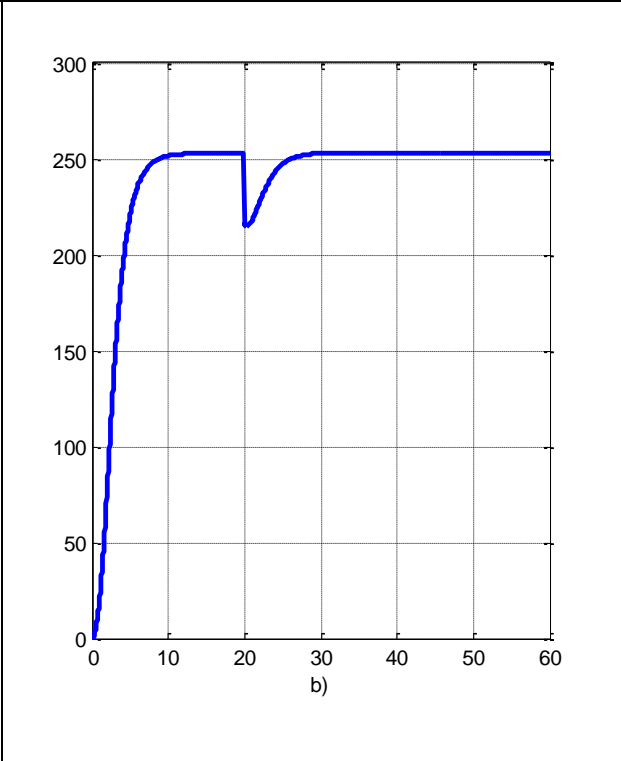
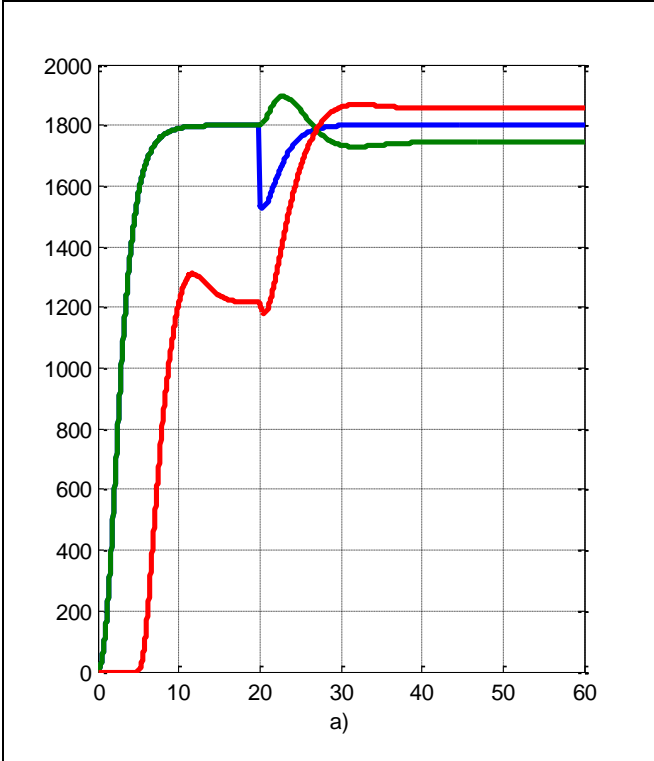
2.2.2. Quá trình khởi động và phân tải không cân bằng của 2 Diesel khác thời điểm

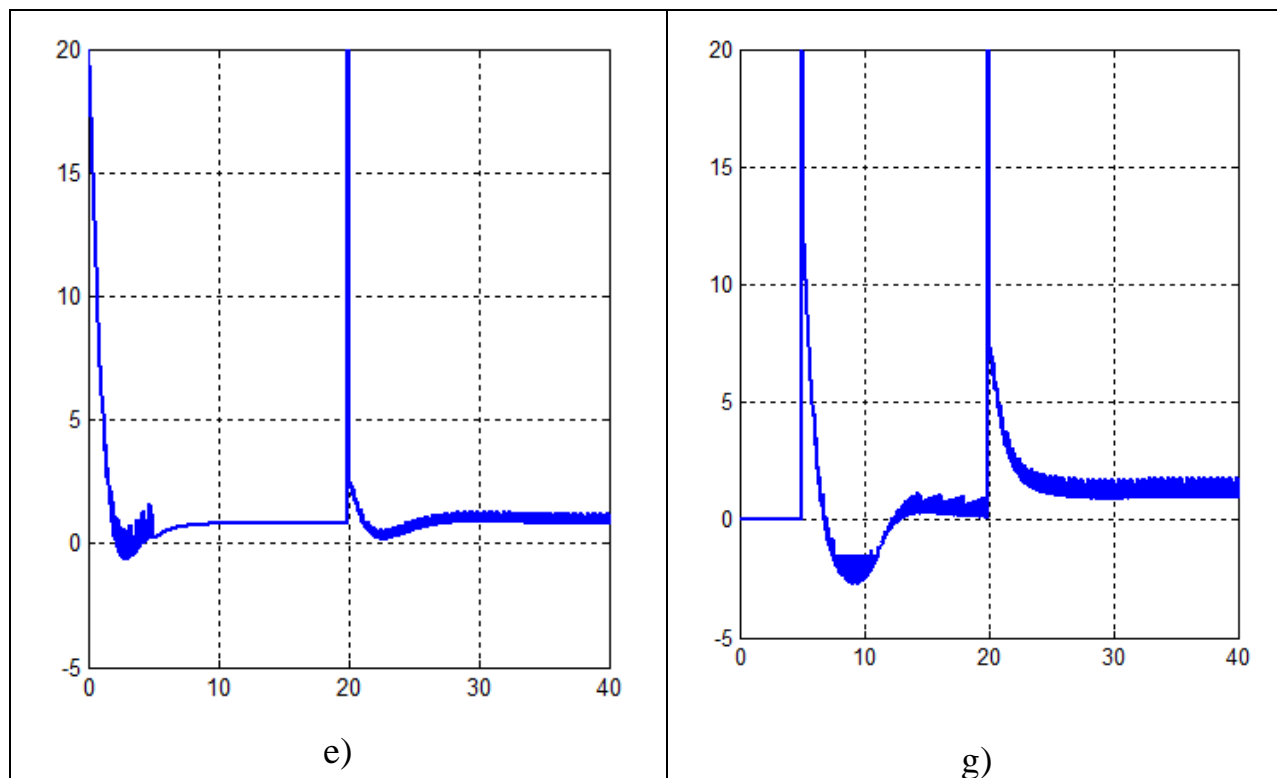
2.2.2.1. Trường hợp cân bằng tải cho 2 Diesel có cùng thông số $K_D = 1240$

A/. Khi không có sự tham gia của bộ lọc LPF

Khi các thông số của 2 Diesel theo giá trị chuẩn và đặt $B = 0,5$, tức là chênh lệch tải M_{c1} và M_{c2} là 0,5 giá trị $M_{c,đm}$. Trên hình 2.14 chỉ ra kết quả mô phỏng cho quá trình tự động phân chia tải với $B=0,5$ và K_D là chuẩn [1].

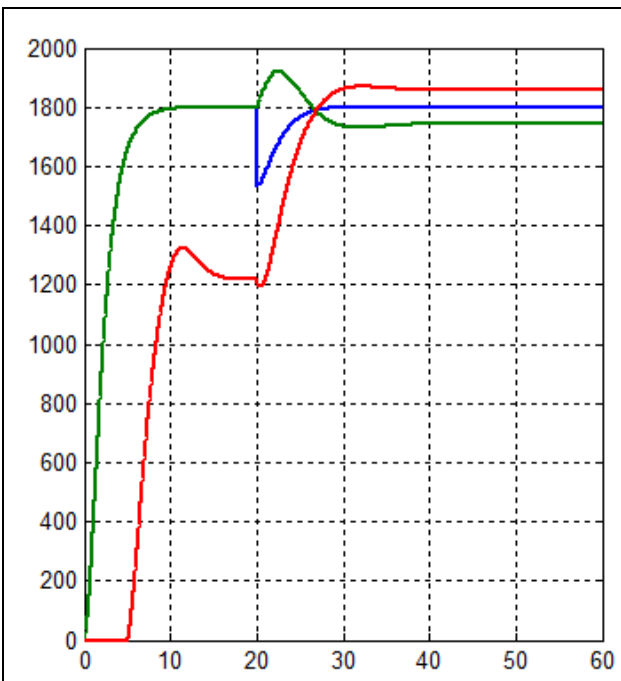
Nhưng khi đặt hệ số phân chia tải lớn hơn thì việc mô phỏng không thể cho ra kết quả. Bởi vì 2 tín hiệu lấy ra từ 2 bộ điều tốc được đưa đến khâu tự động phân chia tải có sự biến động lớn và phi chu kỳ mạnh, khiến khâu tự động phân chia tải không thể thực hiện được thuật toán điều khiển theo giá trị lớn nhất của chúng



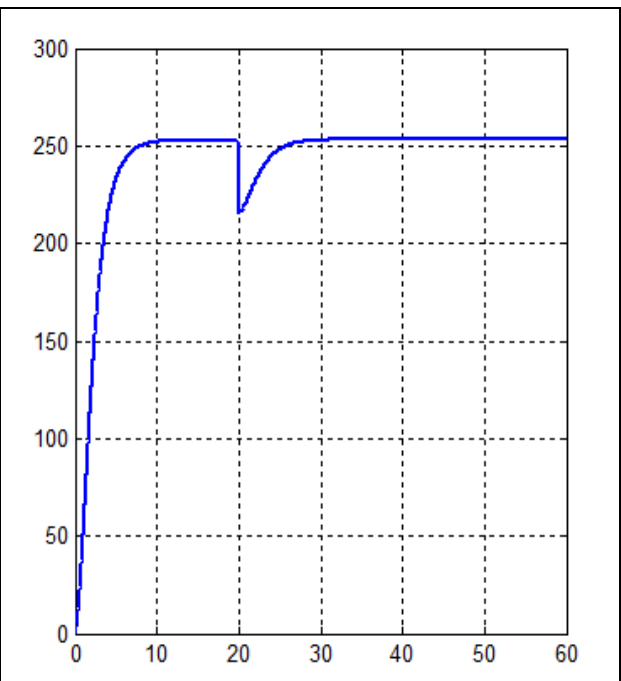


Hình 2. 14. Kết quả tự động phân chia tải với $B=0.5$ khi hòa Diesel 2 với tham số chuẩn khi không có LPF.

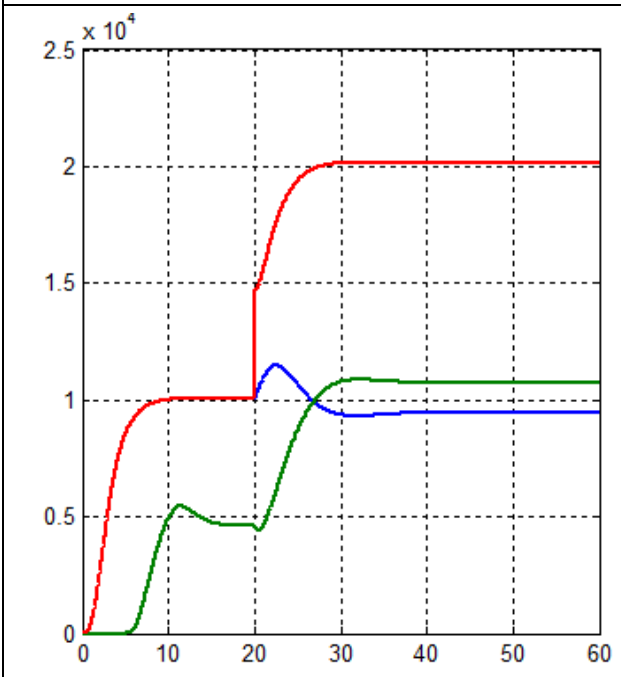
B/. Khi có sự tham gia của bộ lọc LPF



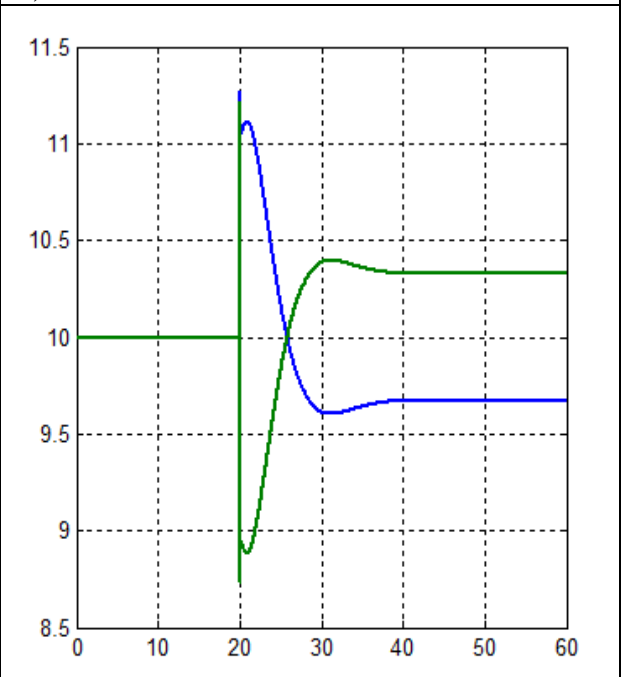
a)



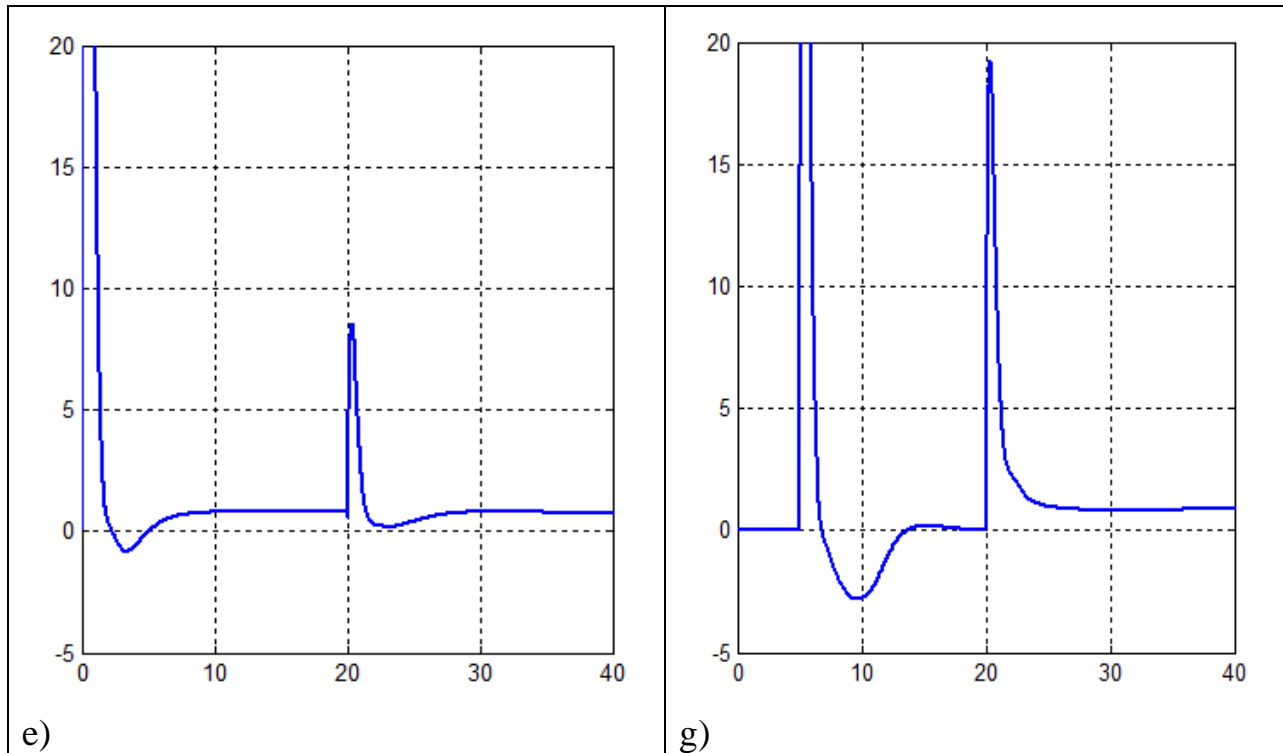
b)



c)

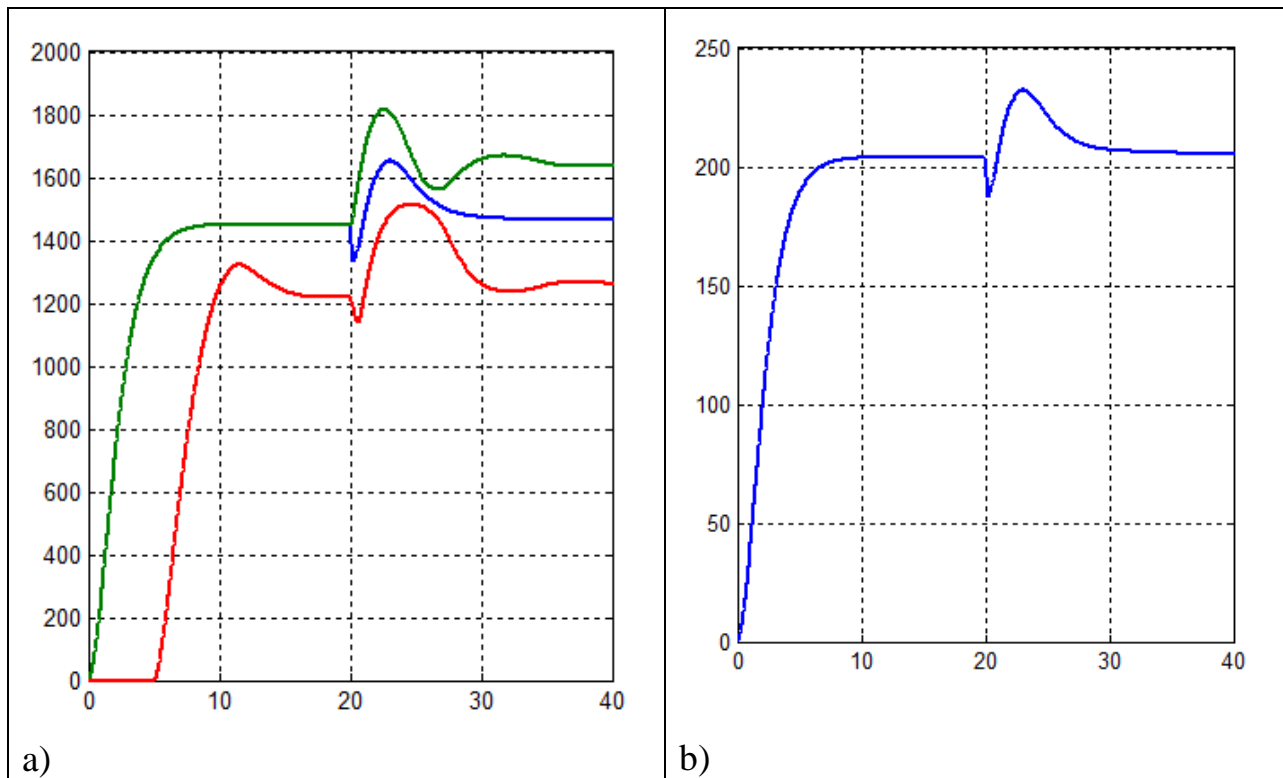


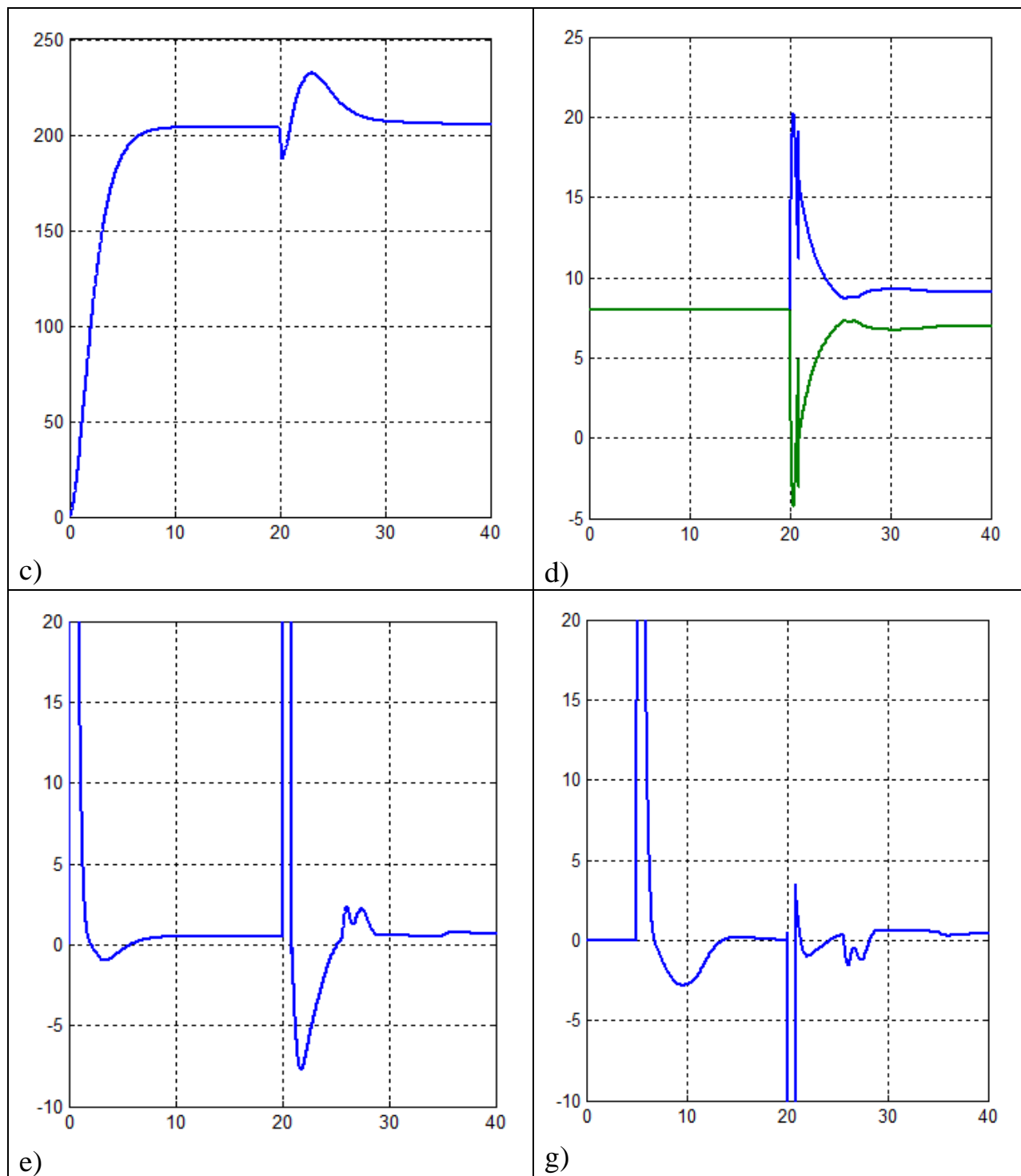
d)



Hình 2. 15. Kết quả tự động phân chia tải

giữa 2 Diesel 2 với tham số chuẩn và $B=0.5$ khi có LPF bậc 2.





Hình 2. 16. Kết quả tự động phân chia tải với $B=2.0$, $U_{đ\omega} = 8$

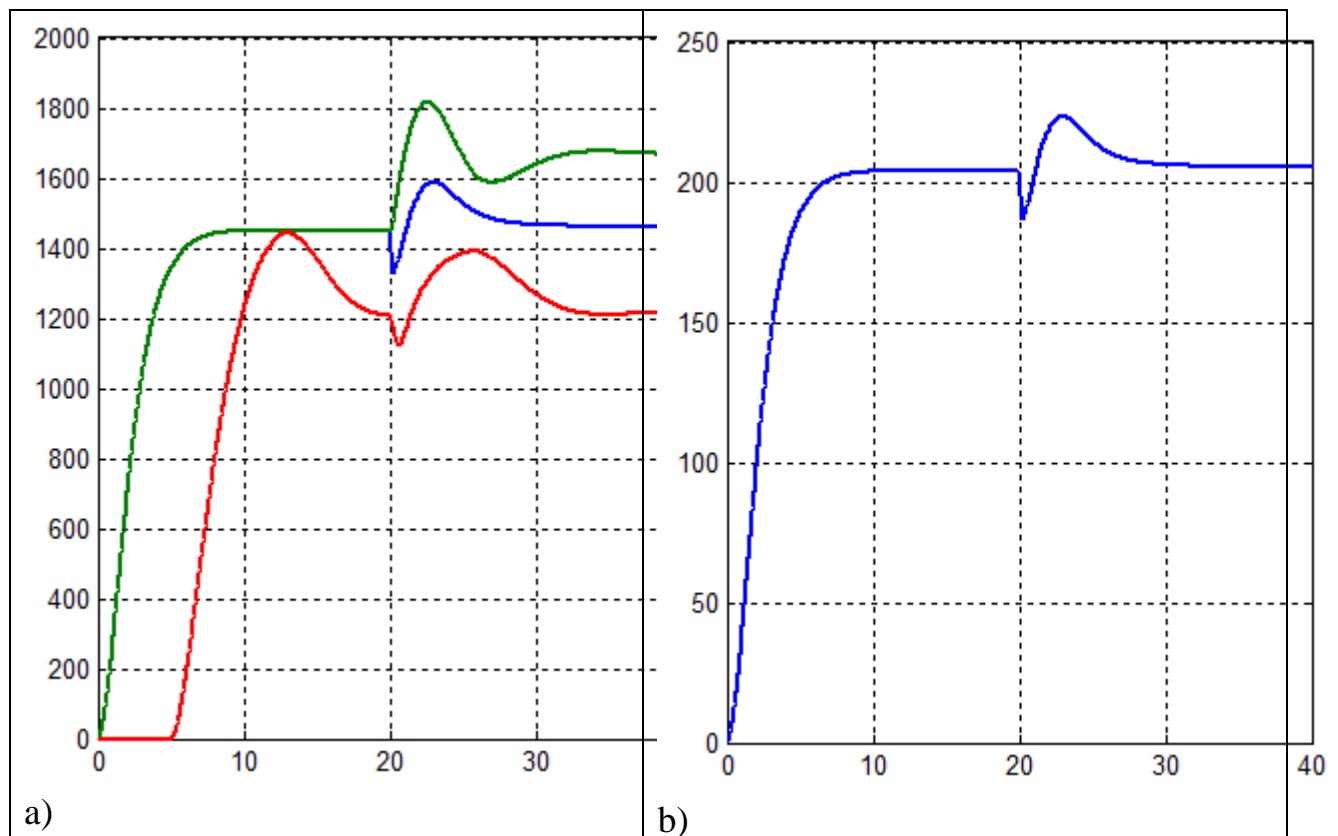
khi hòa Diesel 2 với tham số chuẩn khi có LPF bậc 2.

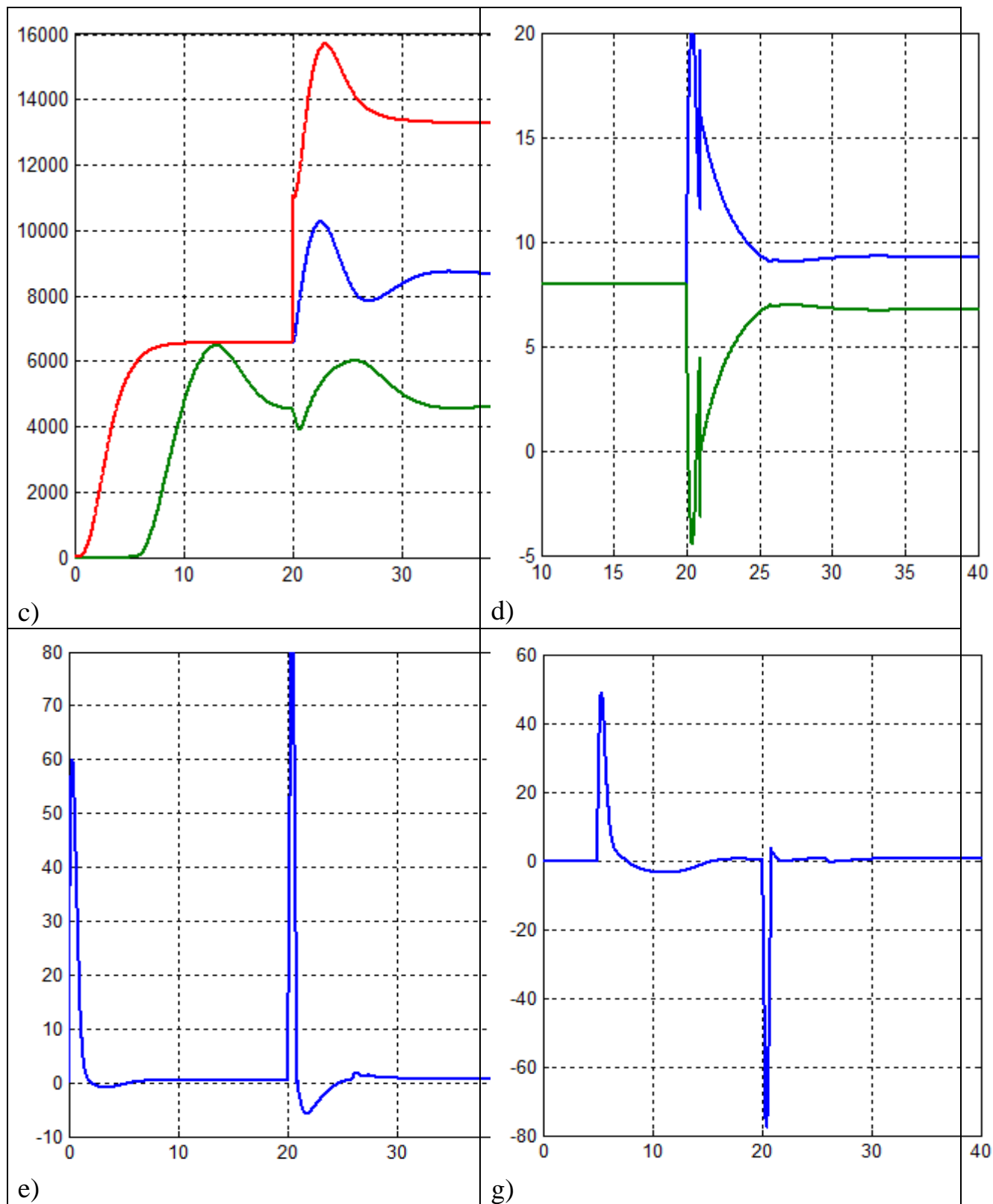
2.2.2.2. Trường hợp phân chia tải với $B = -2,0$ cho 2 Diesel có thông số K_D khác nhau $K_{D1} = 12400$, $K_{D2} = 8680$ và có sự tham gia của bộ lọc LPF bậc 2.

Trong trường hợp 2 Diesel có K_D sai khác nhau (30%) và kèm theo hệ số phân chia tải $B > 0,5$ lại không sử dụng bộ lọc thì chúng ta cũng không nhận được kết quả mô phỏng. Nhưng nếu sử dụng bộ lọc LPF bậc 2 cho trường hợp này thì lại nhận được kết quả mô phỏng ngay cả khi K_{D2} giảm 30% và với $B = -2$ (hình 2.17).

Để tránh tình trạng bắt Diesel bị suy giảm hệ số K_D lại phải quay với tốc độ cao hơn và nhả tải nhiều hơn chúng ta cần đặt hệ số $B < 0$ (ở đây ta có thể chọn $B = -2$). Tuy nhiên với sự trợ giúp của bộ lọc LPF bậc 2 thì cũng không thể tăng giá trị tuyệt đối hệ số B vượt quá 2. Nếu vi phạm thì sẽ nhận được kết quả có hiện tượng dao động tốc độ quay của 2 Diesel.

Mặt khác trong trường hợp khi một Diesel có K_D bị suy giảm thì cần phải giảm tín hiệu đặt tốc độ của toàn hệ - Nhờ thế mà không có Diesel nào phải lâm vào tình trạng quá tốc độ. Ở đây ta đặt tín hiệu tốc độ cho trước $U_{d\omega} = 8$.





Hình 2. 17. Kết quả tự động phân chia tải với $B = -2.0$

khi hòa Diesel 2 với K_{D2} giảm 30% khi có LPF bậc 2.

KẾT LUẬN

Nội dung đề tài: “ *Nâng cao chất lượng hệ tự động phân chia tải cho 2 Diesel chính làm việc song song bằng việc ứng dụng bộ lọc tín hiệu.*” Đã thực hiện được mục đích đặt ra của đề tài: Nghiên cứu lựa chọn thông số của bộ lọc thông thấp (LPF) phù hợp cho việc xử lý tín hiệu ra (U_{r1} và U_{r2}) của 2 bộ điều chỉnh tốc độ PID cho 2 Diesel. Đồng thời ứng dụng bộ lọc thông thấp bậc 2 cho hệ thống điều khiển tự động phân chia tải cho hai động cơ Diesel công tác song song lại một chân vịt chính trên tàu thủy thông qua ly hợp và hộp số.

Nhờ có sự trợ giúp của LPF mà tín hiệu ra của 2 bộ điều tốc được xử lý mất dạng biến động phi chu kỳ để trở thành tín hiệu vào khối tự động phân chia tải. Với dạng 2 đặc tính mới nhận được cho phép khối tự động phân chia tải dễ dàng thực hiện được thuật toán điều khiển theo giá trị lớn nhất giữa chúng (U_{r1} và U_{r2}).

Kết quả mô phỏng hệ tự động phân chia tải khi có và không sử dụng LPF bậc 2 cho phép đánh giá như sau:

+ Trong cùng trường hợp giữ $K_{D1} = K_{D2} = 12400$ và $B = 0$, hoặc $K_{D1} = K_{D2} = 12400$ và $B \leq 0,5$, hoặc giữ $K_{D1} = 12400$ còn $K_{D2} = 9920$ (giảm 20%) và $B = 0$ Thì dạng đáp ứng của hệ khi dùng hoặc không dùng bộ lọc LPF bậc 2 không khác là bao, ngoài biên độ cực đại (peak) của tốc độ quay có giảm chút ít khi có sự tham gia của bộ lọc, cũng như dạng 2 tín hiệu đưa đến khối tự động phân chia tải không biến động nhanh và phi chu kỳ.

+ Khi ứng dụng bộ lọc thông thấp bậc 2 cho cho hệ thống điều khiển tự động phân chia tải cho hai động cơ Diesel công tác song song, thì hoàn toàn cho phép thay đổi hệ số phân chia tải B trong phạm vi $[- 2, + 2]$ với hệ số truyền của một Diesel giảm tới 30%. Trường hợp này nếu không sử dụng bộ lọc LPF thì hệ không giải quyết được.

Tuy nhiên kết quả nghiên cứu cũng khuyến cáo rằng:

- Việc thay đổi hệ số phân tải B ngoài phạm vi $[- 2, + 2]$ khi hệ số truyền của một Diesel giảm tới 30% thì đáp ứng của hệ có hiện tượng nhấp nhô – tựa ổn định, thậm trí không ổn định.
- Vì khâu tự động phân chia tải hoạt động theo thuật toán Max (U_{r1} và U_{r2}) nên việc lựa chọn dấu vủa hệ số phân chia tải B phải phù hợp với hệ số K_{D1} và K_{D2} . Cụ thể như sau: B sẽ mang dấu “+” khi $K_{D1} < K_{D2}$ và B sẽ mang dấu “-” khi $K_{D1} > K_{D2}$.
- Trong trường hợp $K_{D1} \neq K_{D2}$ thì nhất thiết phải giảm tín hiệu tốc độ đặt ($U_{d\omega}$) để tránh hiện tượng quá tốc của một trong hai Diesel.

Tuy nhiên vì sự hạn chế về thời gian nên đề tài chưa thể đề cập đến một số vấn đề sau:

- Chưa xem xét đến thuật toán MIN, cũng như giải pháp tín hiệu bù riêng biệt cho hai hệ con.
- Chưa nghiên cứu hệ và bộ lọc thông thấp ở dạng số.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lưu Kim Thành, Đỗ Văn A, Nguyễn Xuân Trụ. Nghiên cứu thuật toán và cấu hình bộ tự động phân chia tải giữa các Diesel lai chân vịt tàu thủy. Đề tài NCKH cấp trường ĐHHHVN 6/2015.
- [2]. Lưu Kim Thành. Phần tử tự động. Nhà xuất bản Hải Phòng 2007.
- [3]. www. Thiết kế mạch lọc thông thấp, thông cao và Kalman với STM 32f4.
- [4]. www. Mạch lọc thông thấp bậc hai.
- [5]. Lưu Kim Thành, Đỗ Văn A, Nguyễn Xuân Trụ. Nghiên cứu vấn đề tự động phân chia tải giữa các Diesel lai chân vịt tàu thủy. Đề tài NCKH cấp trường ĐHHHVN 6/2014.
- [6]. Tài liệu khai thác hệ Diesel – chân vịt tàu Hậu Giang, năm 1980.
- [7]. Tài liệu khai thác hệ Diesel – chân vịt của Hãng Rollroy, năm 2006.

[8]. Tài liệu khai thác hệ Diesel – chân vịt của hãng Caterpillar, năm 2007.