



MÔ PHỎNG CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA BỘ ĐIỀU TỐC TRONG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN PHÁT ĐIỆN CHẠY BẰNG NĂNG LƯỢNG THỦY TRIỀU SỬ DỤNG MATLAB/SIMULINK

Lương Thị Thu Giang¹, Nguyễn Anh Tuấn², Đinh Thị Thủy³

Ngày nhận bài: 12/11/2025

Ngày chấp nhận đăng: 22/12/2025

Tóm tắt: Bài báo trình bày quá trình mô phỏng hoạt động của bộ điều tốc trong hệ thống điều khiển phát điện chạy bằng năng lượng thủy triều nhằm phân tích đặc tính điều khiển tần số và ổn định công suất phát khi phụ tải thay đổi. Mô hình được thực hiện trên nền tảng Matlab/Simulink, qua đó khảo sát năm chế độ làm việc của bộ điều tốc: chạy không tải, có tải nhưng chưa có phản hồi công suất, có phản hồi công suất, có đặt giá trị công suất phát, và chế độ tổng hợp có cả phản hồi công suất và giá trị đặt. Các nghiên cứu tìm hiểu về các phương pháp điều khiển cho nhà máy điện thủy triều như đã trình bày trong bài báo có thể được sử dụng để tham khảo cho việc tính toán và quyết định chọn loại tua bin thủy lực, máy phát, phương án điều khiển.

Từ khóa: Bộ điều tốc, nhà máy điện thủy triều, mô phỏng Matlab/Simulink, điều khiển tần số, công suất phát, ổn định hệ thống.

SIMULATION OF GOVERNOR OPERATING MODELS IN A TIDAL POWER GENERATION CONTROL SYSTEM USING MATLAB/SIMULINK

Abstract: Tidal power generation systems require precise frequency and power control to ensure stable operation under dynamic load conditions. This study presents a simulation-based analysis of the governor operation within a tidal power generation control system. The main objective is to investigate the frequency regulation characteristics and power stability performance of the system when subjected to load variations. The simulation model was developed on the Matlab/Simulink platform, allowing detailed examination of five operating modes of the governor: (i) no-load operation, (ii) loaded operation without power feedback, (iii) operation with power feedback, (iv) operation with set-point power control, and (v) a combined mode incorporating both power feedback and set-point control. The results provide insights into the dynamic behavior of the governor under different control configurations and demonstrate the importance of coordinated feedback and set-point regulation for maintaining power stability. The findings of this study can serve as a useful reference for the design and selection of hydraulic turbines, generators, and control strategies in tidal power plants.

Keywords: Governor; tidal power plant; Matlab/Simulink simulation; frequency control; power stability.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh nhu cầu sử dụng năng lượng ngày càng gia tăng cùng với sự cạn kiệt của các nguồn năng lượng hóa thạch, việc nghiên cứu và phát triển các nguồn năng lượng tái tạo đang trở thành xu hướng tất yếu trên toàn cầu. Trong số đó, năng lượng thủy triều được đánh giá là nguồn

¹ Phòng Đào tạo - Khoa học, Trường Đại học Hoa Lu, Email: ltgiang@hluv.edu.vn

² Phòng Đảm bảo chất lượng, Trường Đại học Hoa Lu

³ Trường Phổ thông Thực hành sư phạm Trảng An, Trường Đại học Hoa Lu



năng lượng sạch, ổn định và có tiềm năng lớn nhờ đặc tính chu kỳ tự nhiên và khả năng dự đoán cao. Việc khai thác hiệu quả năng lượng thủy triều đòi hỏi hệ thống phát điện có khả năng điều khiển chính xác, đảm bảo ổn định tần số và công suất phát khi phụ tải thay đổi.

Trong các nhà máy điện thủy triều, bộ điều tốc (governor) đóng vai trò then chốt trong việc duy trì tốc độ quay định mức của tuabin, điều chỉnh công suất phát và ổn định tần số hệ thống. Bộ điều tốc chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như đặc tính tải, quán tính tuabin, tham số điều khiển và các tín hiệu phản hồi. Việc phân tích, mô phỏng và đánh giá hoạt động của bộ điều tốc trong các điều kiện làm việc khác nhau là cơ sở quan trọng để tối ưu hóa hiệu năng của hệ thống điều khiển phát điện.

Xuất phát từ thực tế trên, bài báo này trình bày mô hình mô phỏng hoạt động của bộ điều tốc trong hệ thống điều khiển phát điện sử dụng năng lượng thủy triều trên nền tảng Matlab/Simulink. Nghiên cứu tập trung phân tích năm chế độ làm việc đặc trưng của bộ điều tốc, bao gồm: chạy không tải, có tải nhưng chưa có phản hồi công suất, có phản hồi công suất, có đặt giá trị công suất phát, và chế độ tổng hợp có cả phản hồi công suất và giá trị đặt. Kết quả mô phỏng nhằm làm rõ vai trò của từng khâu phản hồi trong việc duy trì ổn định tần số và công suất phát của tổ máy, góp phần hỗ trợ thiết kế và vận hành hiệu quả các hệ thống năng lượng thủy triều trong thực tế.

Hiện nay, công cụ Matlab/Simulink được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực tự động hóa và kỹ thuật điện nhờ khả năng mô phỏng mạnh mẽ, trực quan và cho phép biểu diễn các hệ thống động phức tạp dưới dạng sơ đồ khối. Ứng dụng Matlab/Simulink trong mô phỏng bộ điều tốc cho phép khảo sát chi tiết các chế độ vận hành, đánh giá phản ứng của hệ thống trước các biến động tải và tham số điều khiển, từ đó đưa ra giải pháp nâng cao tính ổn định và độ tin cậy của hệ thống phát điện thủy triều.

II. NỘI DUNG

2.1. Giới thiệu về MATLAB/Simulink

Matlab là một chương trình phần mềm lớn của lĩnh vực tính toán số. Matlab chính là chữ viết tắt từ MATrix LABoratory, thể hiện định hướng chính của chương trình bao gồm một số hàm toán các chức năng nhập/xuất cũng như các khả năng lập trình với cú pháp thông dụng mà nhờ đó ta có thể dựng nên các Scripts.

2.1.1. Matlab

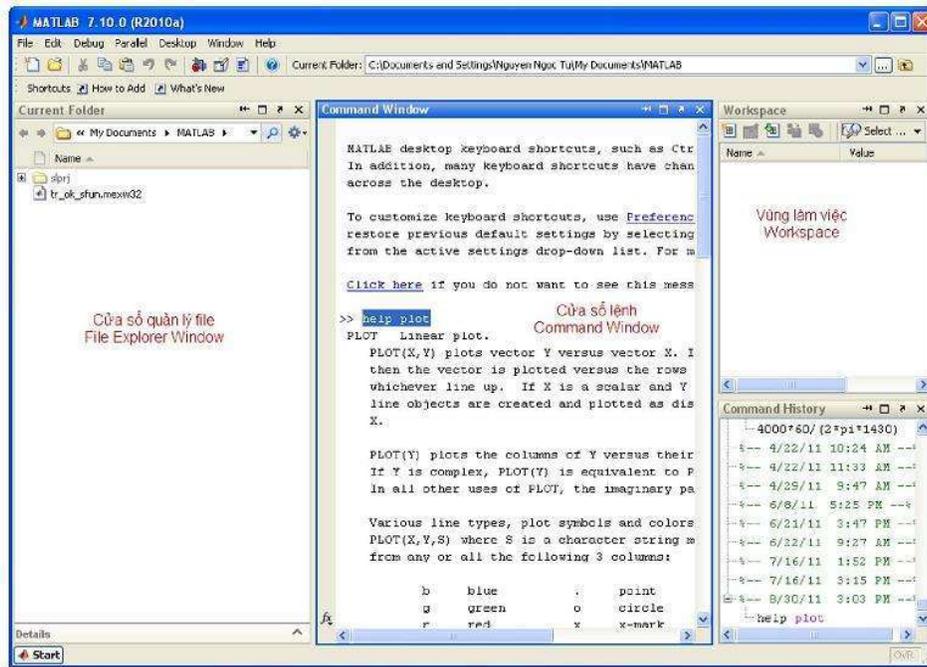
Matlab (Matrix Laboratory) là một phần mềm khoa học được thiết kế để cung cấp việc tính toán số và hiển thị đồ họa bằng ngôn ngữ lập trình cấp cao. Matlab cung cấp các tính năng tương tác tuyệt vời cho phép người sử dụng thao tác dữ liệu linh hoạt dưới dạng mảng ma trận để tính toán và quan sát. Các dữ liệu vào của Matlab có thể được nhập từ "Command line" hoặc từ "mfiles", trong đó tập lệnh được cho trước bởi Matlab.

Matlab cung cấp cho người dùng các Toolbox tiêu chuẩn tùy chọn. Người dùng cũng có thể tạo ra các hộp công cụ riêng của mình gồm các "mfiles" được viết cho các ứng dụng cụ thể. Các ứng dụng cơ bản của Matlab bao gồm:

- Làm các phép toán;
- Phát triển thuật toán;
- Thu thập dữ liệu;
- Mô hình hóa, mô phỏng và tạo mẫu;
- Phân tích dữ liệu, khai thác và hiển thị; đồ họa;
- Các phát triển ứng dụng.

Toán học trong Matlab bao gồm một tập lớn các giải thuật tính toán bao hàm từ các hàm cơ sở, các tính toán cho số phức tới các hàm phức tạp hơn như đạo ma trận, biến đổi Fourier... Ngoài ra, Matlab còn cung cấp một số khối chuyên dụng đặc biệt khác để giải các bài toán chuyên sâu được phát triển trong Blockset. Giao diện Matlab sau khi khởi động Matlab:





Hình 2.1. Cửa sổ làm việc của Matlab sau khi khởi động

2.1.2. Simulink

Simulink là một công cụ trong Matlab dùng để mô hình, mô phỏng và phân tích các hệ thống động với môi trường giao diện sử dụng bằng đồ họa. Việc xây dựng mô hình được đơn giản hóa bằng các hoạt động nhấp chuột và kéo thả. Simulink bao gồm một bộ thư viện khối với các hộp công cụ toàn diện cho cả việc phân tích tuyến tính và phi tuyến. Simulink là một phần quan trọng của Matlab và có thể dễ dàng chuyển đổi qua lại trong quá trình phân tích, và vì vậy người dùng có thể tận dụng được ưu thế của cả hai môi trường. Cửa sổ giao diện thư viện Simulink.



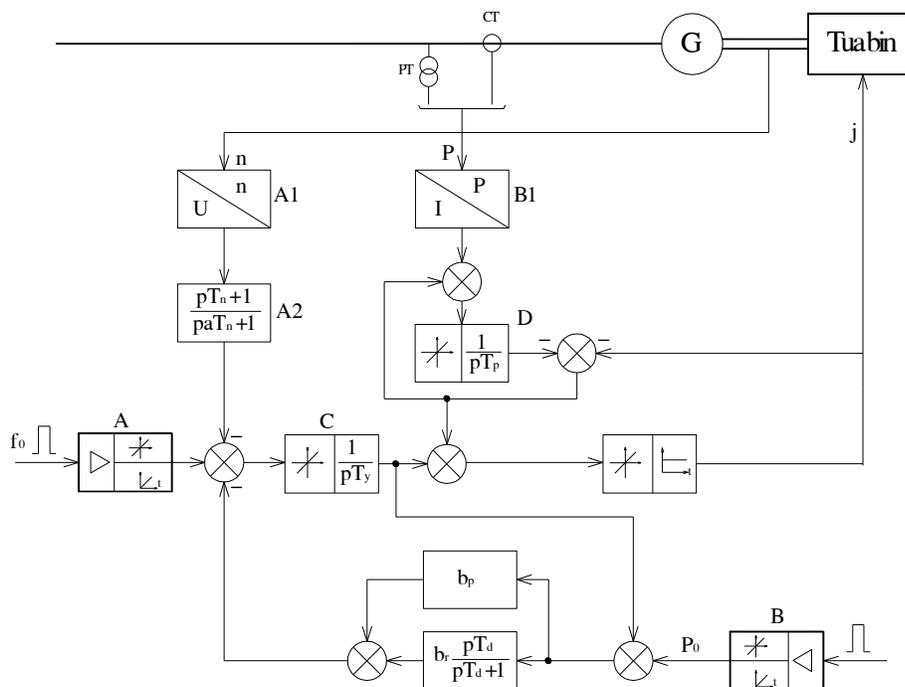
Hình 2.2. Cửa sổ thư viện các khối chức năng trong Simulink

2.2. Nghiên cứu bộ điều tốc tua bin thủy triều

Khi tổ máy chưa hòa vào lưới (tức chưa tham gia vào quá trình phát điện), thì việc điều chỉnh tần số được thực hiện thông qua điều chỉnh tốc độ quay của tua bin, khi tổ máy hòa vào hệ thống lưới điện thì lúc này vấn đề điều chỉnh tần số không còn là nhiệm vụ của riêng một tổ máy nữa, mà là vấn đề chung của toàn hệ thống điện. Vì vậy, việc điều chỉnh tần số sẽ kết hợp với điều chỉnh lượng công suất phát vào hệ thống để cân bằng với công suất phụ tải (luôn luôn biến đổi). Để hiểu rõ được các chức năng của bộ điều tốc, cách thức hoạt động, ta nghiên cứu bộ điều tốc thủy lực của hãng Powebase - Canada sản xuất [1].

2.2.1. Sơ đồ khối bộ điều khiển tốc độ [1,2]

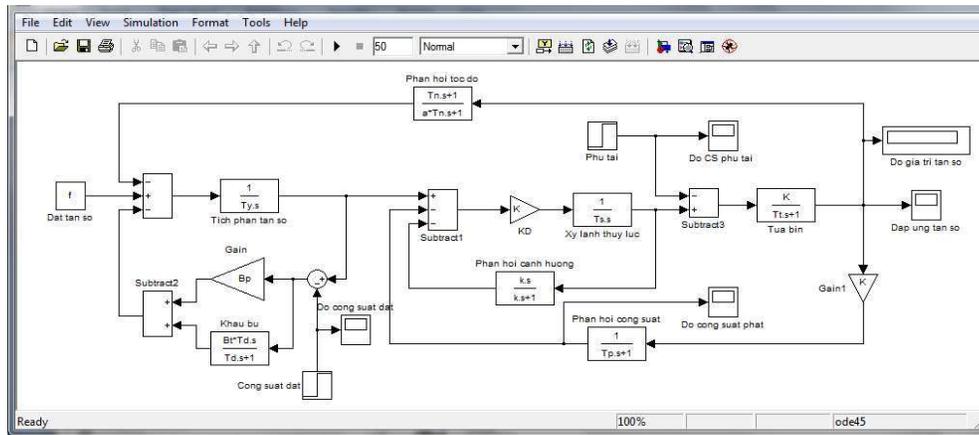
Sơ đồ khối (hình 2.3) mô tả các khối chức năng của bộ điều tốc điện thủy lực, tại mỗi khối nhỏ được thể hiện bằng một hàm truyền. Các thông số điều chỉnh n , P ứng với tốc độ n và công suất P được hình thành nhờ các bộ biến đổi tốc độ A1 và công suất B1. Tín hiệu đặt tần số f_0 thông qua khâu A có vai trò giống một khâu tích phân, có nhiệm vụ nhớ giá trị tần số và duy trì không đổi trong một khoảng thời gian đủ dài. Đầu ra A là giá trị đặt tần số, giá trị đặt này được so sánh với giá trị thực phản hồi từ A2 của tổ máy tua bin, hiệu sai lệch tần số đặt và tần số thực của tua bin được cho qua khâu tích phân tần số C, tín hiệu ra khâu C đưa đến điều khiển tốc độ quay tua bin. Tại thời điểm hòa lưới đồng thời đặt công suất phát P_0 thông qua khâu B có vai trò giống một khâu tích phân, nhiệm vụ là nhớ giá trị đặt công suất phát và duy trì không đổi trong một khoảng thời gian đủ dài. Khi điều tốc ở vị trí cân bằng (ổn định), tín hiệu đầu ra bằng không ($j=0$). Nếu một trong các tín hiệu đầu vào bất kỳ n , P , f_0 , P_0 thay đổi sẽ làm cho tín hiệu (j) bị thay đổi tương ứng. Tín hiệu j đó sẽ làm cho xy lanh thủy lực dịch chuyển tương ứng.



Hình 2.3. Sơ đồ khối chức năng bộ điều tốc tua bin thủy triều thông thường

2.2.2. Sơ đồ biểu diễn dưới dạng Simulink đơn giản hóa

Từ sơ đồ khối (hình 2.3) được chuyển sang mô phỏng bằng Simulink [1] như hình 2.4. Với hàm truyền của từng khối đã cho, trong Simulink cũng tương tự như vậy, với bộ điều tốc điều khiển theo nguyên lý PI. Để đơn giản hóa cho quá trình mô phỏng, ta chỉ thiết lập các khâu chính và bỏ qua các chức năng bảo vệ, tự động điều khiển khởi động, dừng...



Hình 2.4. Sơ đồ bộ điều tốc biểu diễn dưới dạng Simulink đơn giản hóa

Lựa chọn các thông số để mô phỏng [1] (lấy theo bộ thông số của bộ điều tốc thủy lực do hãng Powebase – Canada):

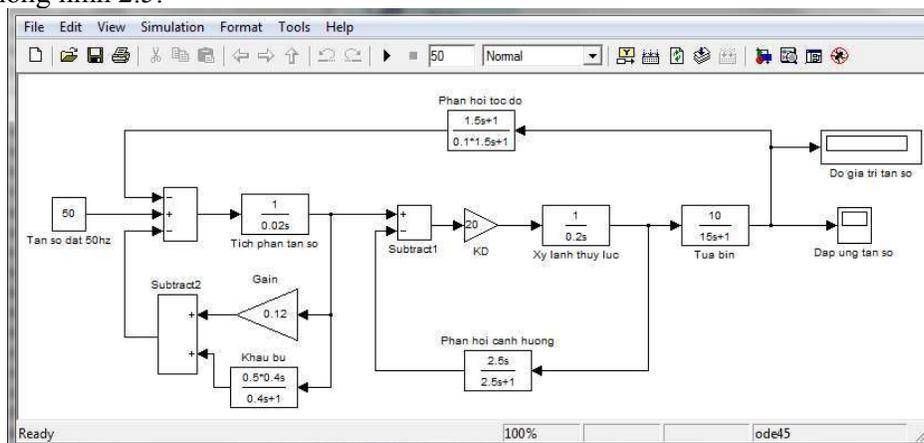
- Ty: Thời gian tích phân (0,01 ÷ 500)s
- Bp: Độ dốc của đặc tính tốc độ, (0 – 10)% tương ứng (1 - 10)
- Bt: Hệ số rơi tốc tạm thời (1 - 100% tương ứng 0 - 100)
- Td: Hằng số vi phân (0 - 20)
- Ts: Hằng số thời gian của xy lanh thủy lực (0,01 ÷ 0,05s)
- K: Hệ số khuếch đại tuabin (0-500)
- Tt: Hằng số thời gian tuabin (15s)
- Tp: Hằng số thời gian công suất (0 - 50s)
- Tn: Hằng số thời gian (0 - 1,5s)

2.3. Mô phỏng các chế độ làm việc của bộ điều tốc

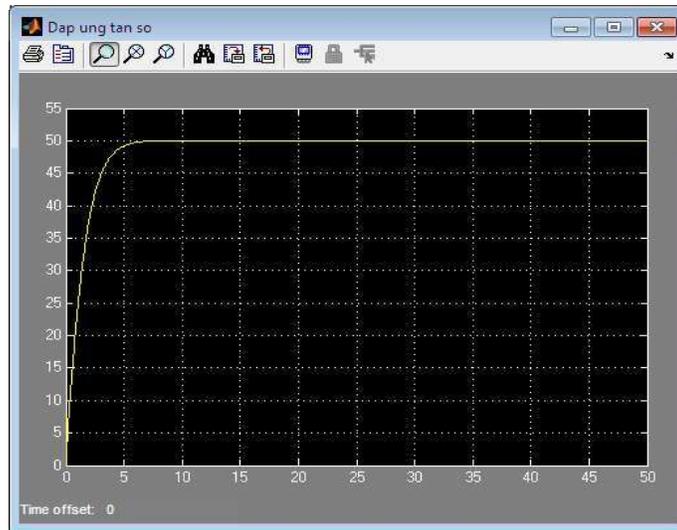
Để thấy rõ các quá trình hoạt động của bộ điều tốc, như chạy không tải, có tải, chạy độc lập, song song, các phản hồi cần phải có..., ta phải mô phỏng ở từng chế độ và kiểm tra các đáp ứng đặc tính của chúng, để thấy rõ các chức năng cần có nhằm đảm bảo hệ thống làm việc chính xác và ổn định. Mặt khác, ta xem xét sự ổn định công suất phát khi phụ tải thay đổi. [3]

2.3.1. Chế độ của bộ điều tốc khi tổ máy phát điện chạy không tải

Cho bộ điều tốc chạy ở chế độ chưa có tải (khi tổ máy chưa hòa lưới) tức là chưa nối máy phát với hệ thống điện, tổ máy chưa phát công suất hữu công, khi đó hệ thống chưa có vòng phản hồi công suất chỉ có vòng phản hồi tần số (tốc độ). Do đó, nhiệm vụ của bộ điều tốc lúc này là điều chỉnh tốc độ quay (tần số) của tua bin để đạt tốc độ định mức dựa vào sai lệch tốc độ phản hồi, sơ đồ mô phỏng hình 2.5.



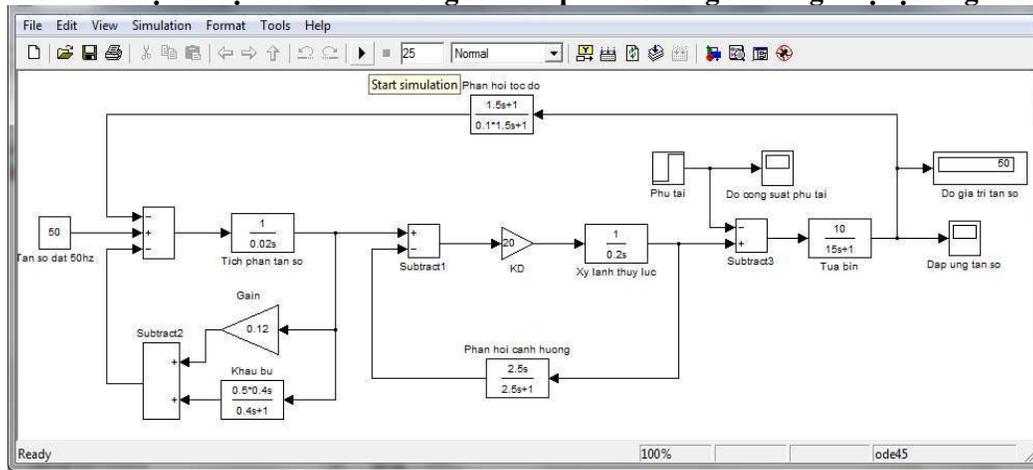
Hình 2.5. t tốc ở chế độ không tải



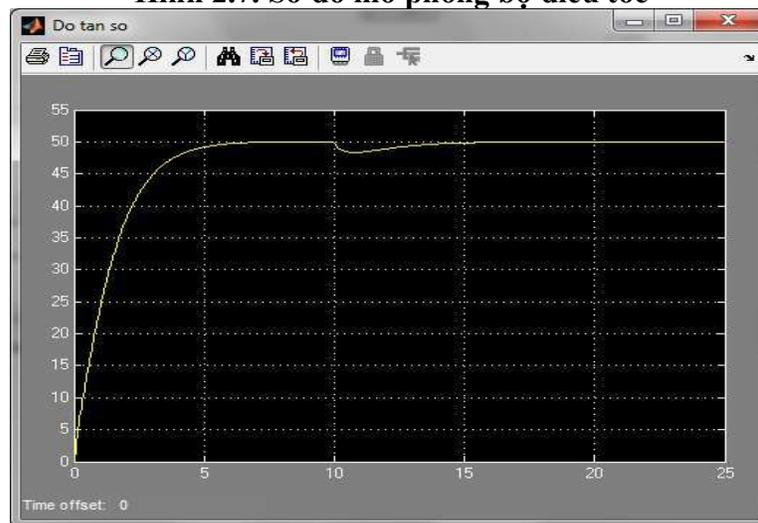
Hình 2.6. Đáp ứng tần số của hệ thống điều khiển

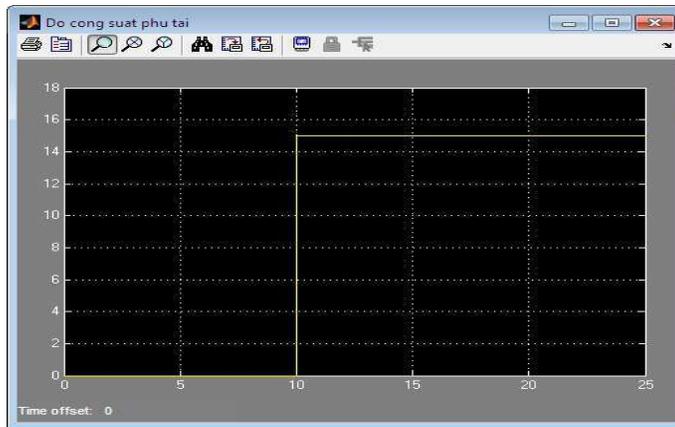
Ta thấy, đặc tính tốc độ (hình 2.6) khi tổ máy khởi động không tải, việc tăng tần số từ 0 lên bằng với giá trị đặt 50Hz (định mức) chỉ mất khoảng 7s và không có quá hiệu chỉnh và sai lệch tĩnh bằng 0, nếu không có tải thì tổ máy làm việc giữ nguyên ở 50Hz.

2.3.2. Chế độ của bộ điều tốc khi không có khâu phản hồi công suất và giá trị đặt công suất phát



Hình 2.7. Sơ đồ mô phỏng bộ điều tốc

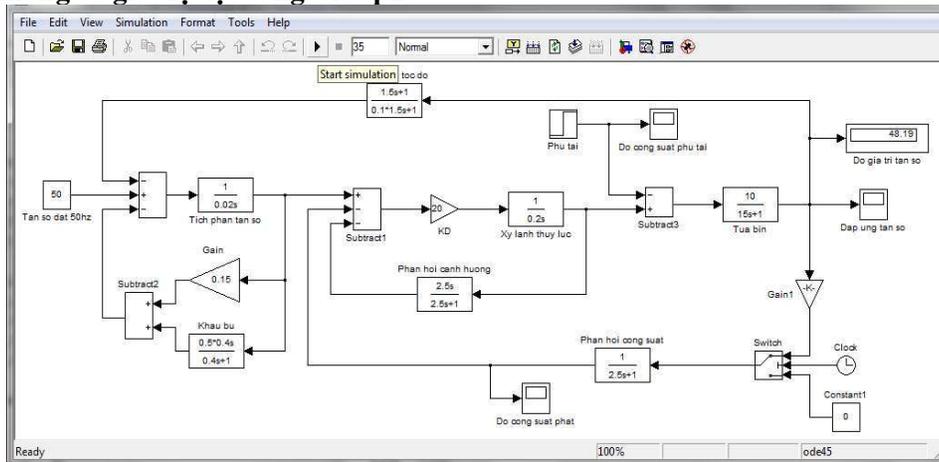




Hình 2.8. Đáp ứng tần số của bộ điều tốc

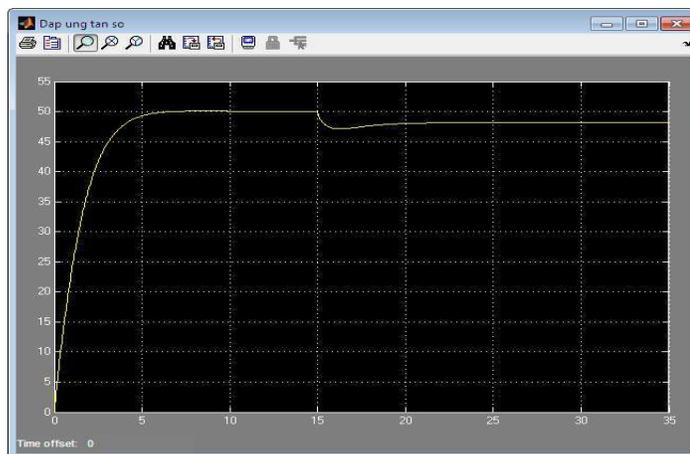
Ta thấy, đáp ứng của bộ điều khiển (hình 2.8) khi cho phụ tải tác động tần số bị giảm xuống gây sai lệch tần số cỡ $48 \div 50 = 2$ Hz. Sau 7s tần số trở lại vị trí ban đầu với sai lệch tính bằng 0, ở đây ta đã thấy rõ, vai trò của hai tầng khuếch đại trong việc bù độ giảm tốc của bộ điều khiển.

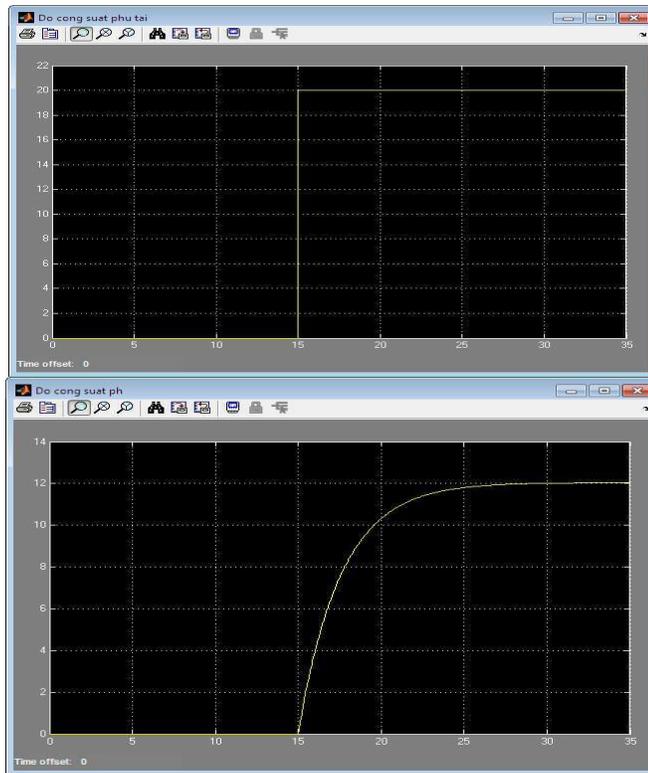
2.3.3. Chế độ của bộ điều tốc khi có phụ tải, có vòng phản hồi công suất cùng tác động nhưng không có giá trị đặt công suất phát



Hình 2.9. Sơ đồ mô phỏng chế độ của bộ điều tốc

Xét trường hợp bộ điều tốc chỉ có khâu phản hồi cánh hướng, phản hồi công suất phát cùng lúc, nhưng không có phản hồi giá trị đặt công suất phát (hình 2.9). Với các thông số đầu vào như ở mục 2.3.2, phụ tải P = 15 và thời gian xét tại thời điểm t = 15s.



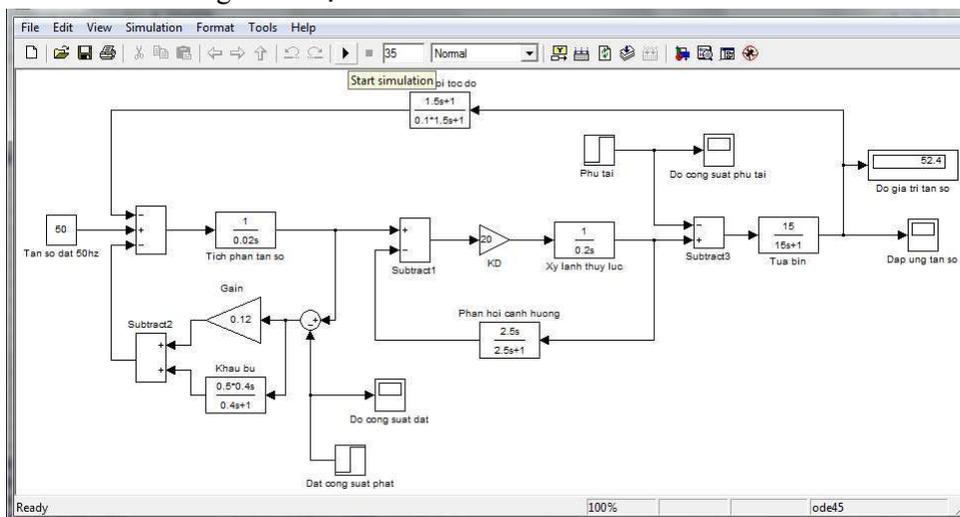


Hình 2.10. Đáp ứng tần số của hệ thống điều khiển

Sơ đồ đáp ứng của bộ điều khiển (hình 2.10), khi cho phụ tải tác động tần số bị giảm xuống (giảm tốc xuất hiện) và giữ ổn định ở một giá trị mới nhỏ hơn giá trị ban đầu, tốc độ bị suy giảm là do khâu phản hồi công suất làm cho quá trình tăng độ mở cánh hướng bị giới hạn.

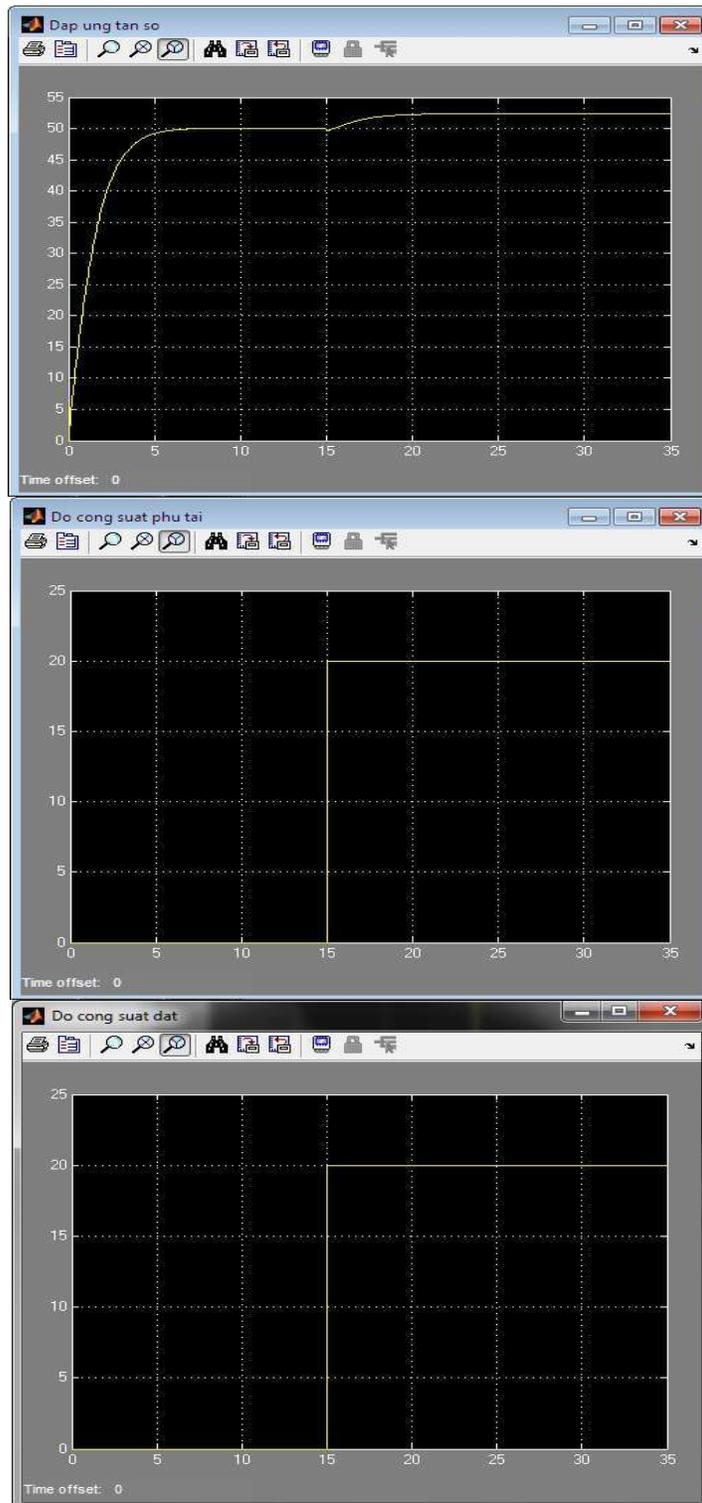
2.3.4. Chế độ của bộ điều tốc khi cho phụ tải tác động, đặt giá trị công suất phát cùng tác động một lúc, nhưng không có vòng phản hồi công suất

Xét trường hợp bộ điều tốc khi cho phụ tải tác động, đặt giá trị công suất phát cùng tác động một lúc, nhưng không có vòng phản hồi công suất (hình 2.11). Với các thông số đầu vào như ở mục 2.3.2, phụ tải $P = 20$ và thời gian xét tại thời điểm $t = 15s$.



Hình 2.11. Sơ đồ mô phỏng bộ điều tốc

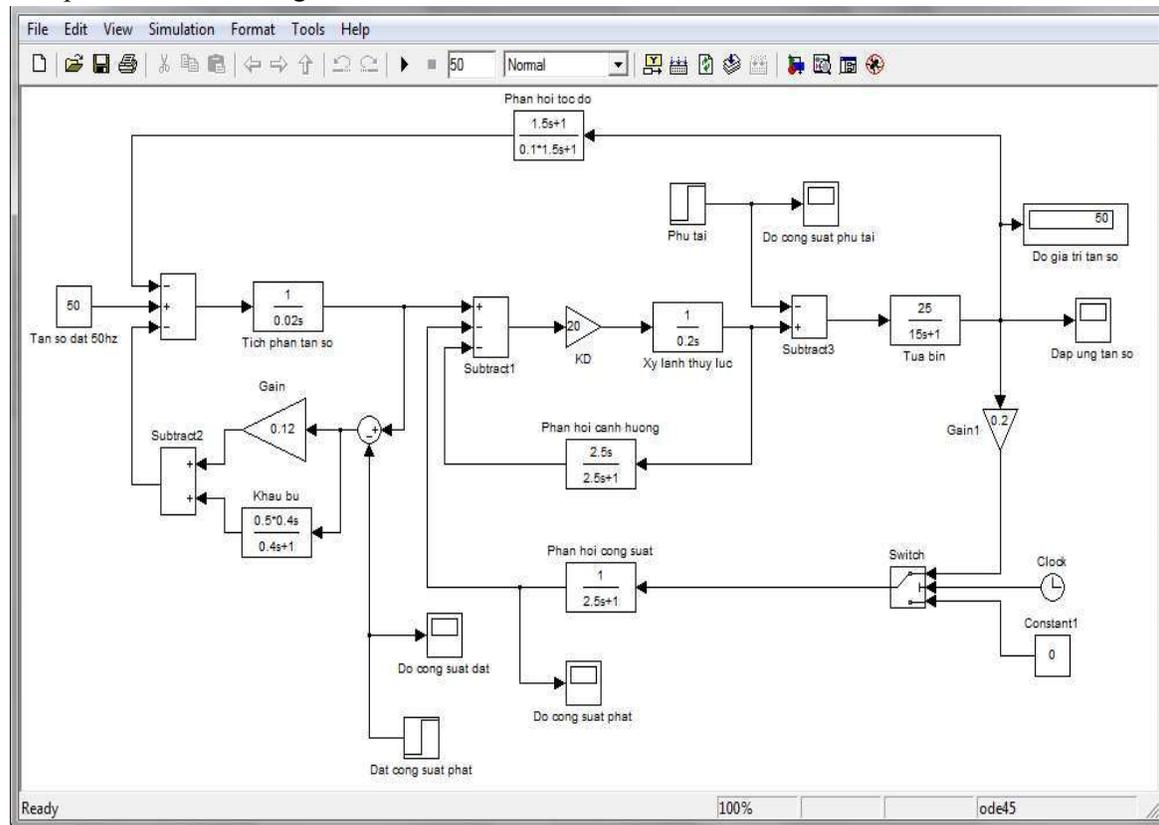
Đáp ứng đặc tính tần số như hình 2.12. Ban đầu tần số bị giảm do tác động của phụ tải, sau một thời gian tần số tăng lên nhờ khâu đặt công suất phát. Do không có khâu phản hồi công suất nên tần số sẽ giữ nguyên ở giá trị mới.



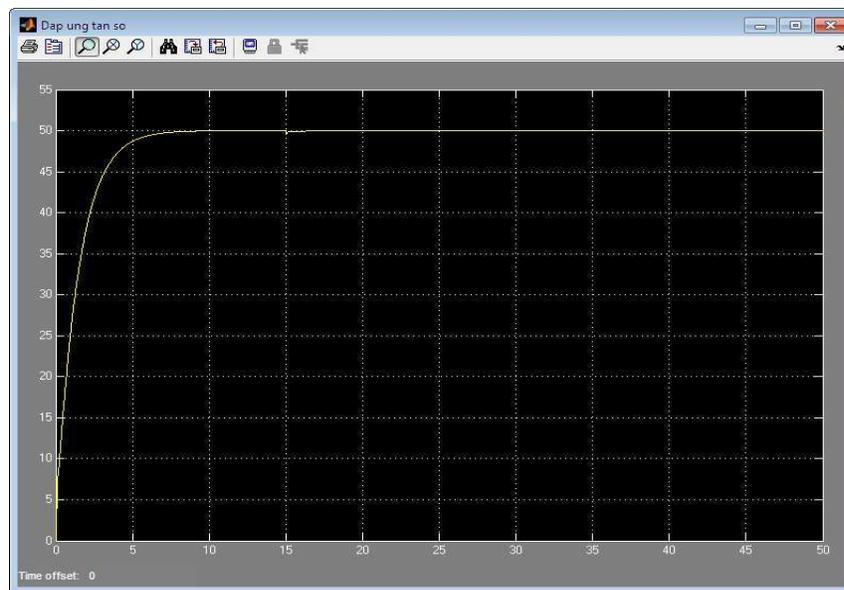
Hình 2.12. Đáp ứng tần số của hệ thống điều khiển

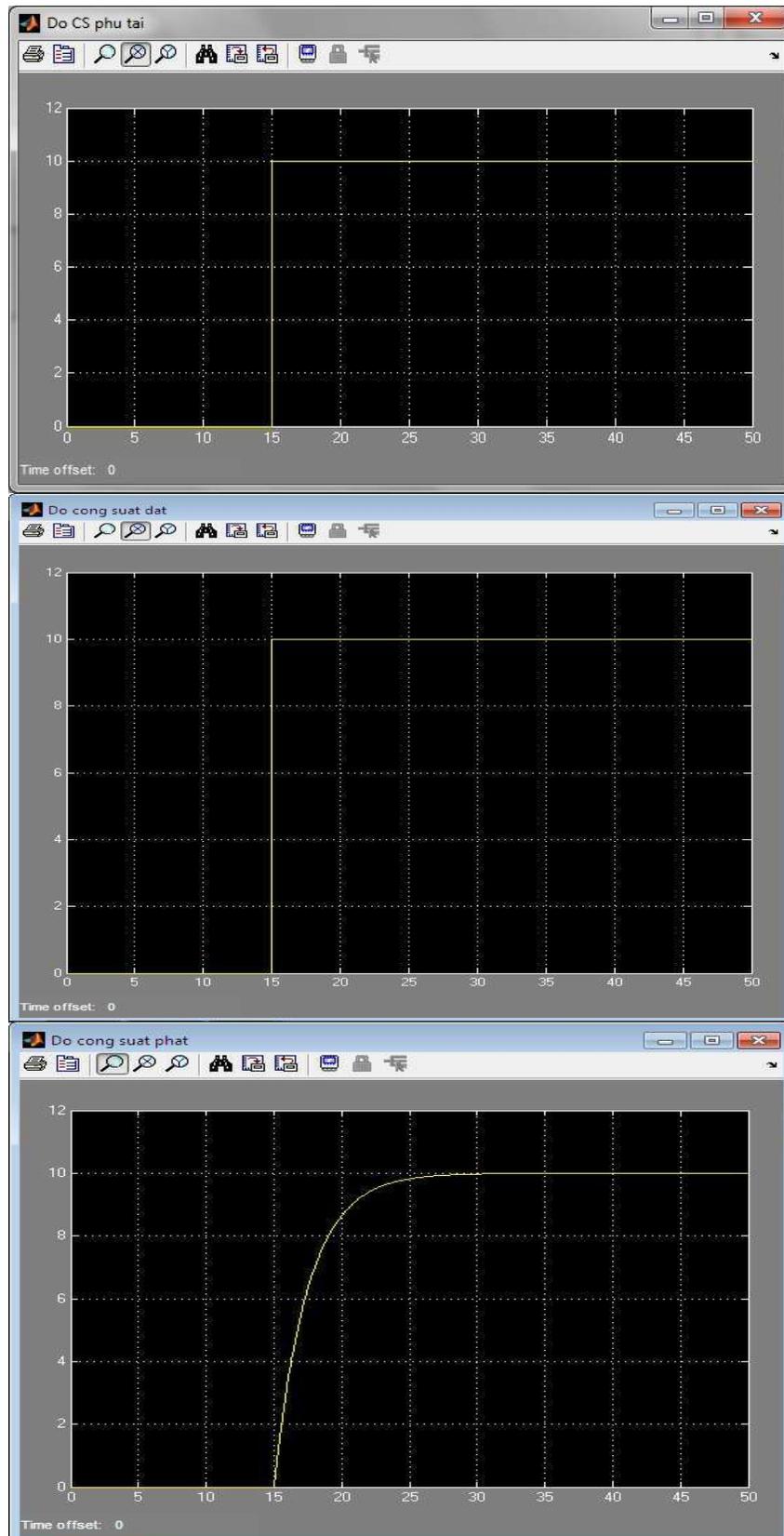
2.3.5. Chế độ của bộ điều tốc khi cho đồng thời phụ tải, giá trị đặt công suất phát cùng tác động và có phản hồi công suất

Xét trường hợp bộ điều tốc khi cho đồng thời phụ tải, phản hồi công suất, và giá trị đặt phụ tải cùng tác động (hình 2.13). Với các thông số đầu vào như ở mục 2.3.2, phụ tải $P = 10$, giới hạn công suất phát $P = 10$ và thời gian xét tại thời điểm $t = 15s$.

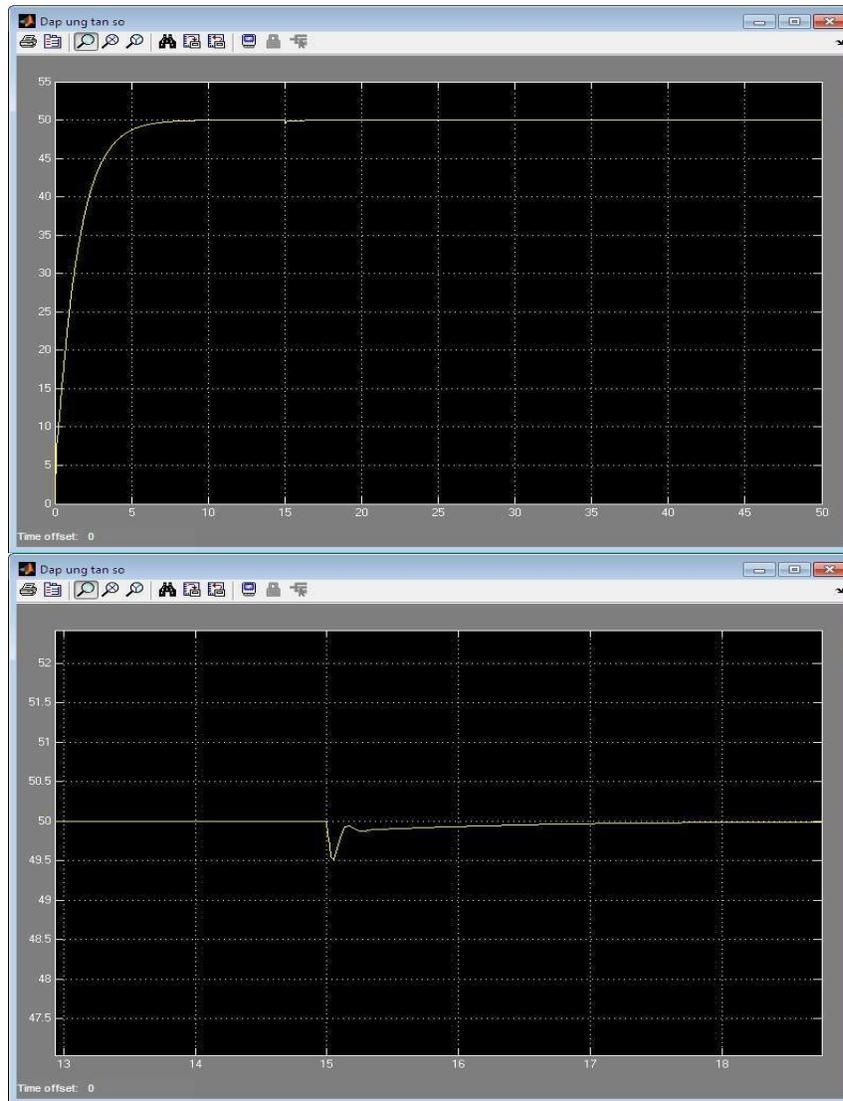


Hình 2.13. Sơ đồ mô phỏng bộ điều tốc khi cho đồng thời phụ tải, phản hồi công suất, và giá trị đặt phụ tải cùng tác động





Hình 2.14. Đáp ứng tần số của hệ thống điều khiển



Hình 2.15. Quá trình quá độ của bộ điều tốc khi đóng phụ tải

Từ đặc tính (hình 2.14) ta thấy, khi có sự tham gia của cả khâu đặt công suất phát và khâu phản hồi công suất, thì phụ tải tác động làm cho cánh hướng đóng bớt lại, tần số bị giảm xuống nhưng không giảm nhiều (khoảng $49,5-50=0,5$ Hz) do có khâu đặt công suất phát. Tần số được tăng lên, do tác dụng của khâu phản hồi công suất nên tần số trở về vị trí ban đầu với sai lệch tĩnh bằng 0, thấy tần số xác lập lại sau vài giây.

Từ các đáp ứng đặc tính tần số, công suất (hình 2.14) thì ta thấy rõ vai trò của điều khiển tần số khi tổ máy chưa hòa lưới và điều khiển cân bằng công suất khi tổ máy hòa lưới.

Như vậy, khi bộ điều tốc có đầy đủ các chức năng thì quá trình hoạt động là hoàn chỉnh nhất, đảm bảo hoạt động tốt ở các chế độ khác nhau, tần số sai khác không quá tiêu chuẩn qui định (chỉ khoảng 0,2 giây). Nó giúp cho tần số không bị giảm quá thấp hay bị tăng quá cao cũng như rút ngắn thời gian quá độ với cùng lượng thay đổi phụ tải như nhau, để có thể thấy rõ sự dao động trong giai đoạn quá độ khi đóng tải (hình 2.15).

III. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều tốc có khả năng đáp ứng nhanh với các biến đổi của phụ tải, duy trì ổn định tần số và công suất phát. Khi áp dụng phản hồi công suất và giá trị đặt, hệ thống

đạt hiệu quả điều khiển cao hơn, giảm thiểu dao động công suất và cải thiện tính ổn định tổng thể. Bộ điều tốc làm việc ở các chế độ khác nhau, khi có thêm nhiều khâu phản hồi (phản hồi công suất, phản hồi cánh hướng, khâu tạo trễ...) thì chế độ làm việc càng ổn định hơn và dao động không lớn, rất phù hợp với sự thay đổi quán tính của tổ máy thủy lực.

Nghiên cứu đã mô phỏng thành công hoạt động của bộ điều tốc trong hệ thống phát điện sử dụng năng lượng thủy triều. Kết quả cho thấy mô hình Matlab/Simulink là công cụ hữu ích để phân tích và tối ưu hóa hiệu suất điều khiển. Hướng phát triển tiếp theo là tích hợp các thuật toán điều khiển tiên tiến nhằm nâng cao hiệu quả và độ tin cậy của hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Viện Thủy điện và năng lượng tái tạo (2006), Nghiên cứu ứng dụng tự động hóa cho các trạm thủy điện nhỏ, Đề tài cấp Nhà nước mã số KC 07-04, Hà Nội.
- [2] Luz Alexandra Lucero Tenorio (2010), Master of Science in Electric Power Engineering, Hydro Turbine and Governor Modelling, Norwegian University of Science and Technology.
- [3] Phạm Hữu Định (2011), Nghiên cứu điều khiển hệ thống năng lượng thủy triều.

