MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM HỘP SỐ PHÂN NHÁNH CÔNG SUẤT DÙNG CHO MÁY KÉO NÔNG NGHIỆP

Phạm Duy Súy[1*], Hàn Trung Dũng[2], Trịnh Minh Hoàng[3], Bùi Hải Triều[4]

[1]Trung tâm Phát triển Công nghệ cao, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
[2]Học viện Nông nghiệp Việt Nam
[3]Trường Đại học Bách khoa Hà Nội,
[4]Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

[*]Tác giả liên hệ: pdsuy@ctdas.vast.vn

Ngày nhận bài: 20.03.2020 Ngày chấp nhận đăng: 12.05.2020

TÓM TẮT

Do ưu điểm là điều khiển vô cấp với hiệu suất cao, hộp số phân nhánh công suất thủy tĩnh cho thấy khả năng ứng dụng trên máy kéo nông nghiệp. Điều này cũng được thể hiện trong một số kết quả nghiên cứu lý thuyết. Tuy nhiên, cần thiết phải có những thử nghiệm thực tế để đánh giá cấu hình hộp số về nguyên lý hoạt động và các tính chất động lực học cho mục tiêu thiết kế sau này. Mục tiêu của bài báo là giới thiệu mô hình thí nghiệm (bệ thử) hộp số phân nhánh công suất được xây dựng tại Bộ môn Động lực, Học viện Nông nghiệp Việt Nam. Mô hình bệ thử bao gồm động cơ dẫn động, hộp số phân nhánh công suất thủy tĩnh và bộ phận tạo tải, cùng với các thiết bị đo và xử lý số liệu hiện đại. Mô hình có thể được sử dụng để tái hiện nguyên lý hoạt động, nghiên cứu các tính chất tĩnh học, động lực học của hộp số phân nhánh công suất làm cơ sở cho các chiến lược điều khiển chuyển số trong các điều kiện làm việc đặc trưng của máy kéo nông nghiệp.

Từ khóa: Hộp số phân nhánh công suất thủy tĩnh, mô hình thí nghiệm, tỷ số truyền hộp số.

Hydrostatic Power Split Transmission Test Band for Agricultural Tractor

ABSTRACT

Due to the advantages of continuously variable transmission and high efficiency, hydrostatic power-split transmission (HPST) shows the applicability on the agricultural tractor. This is also shown in some theoretical research results. However, practical tests are needed to evaluate the power-split transmission configuration for the operating principle and dynamics properties for the next design goal. This article introduces the experimental model (test band) of a HPST built at the Department of Dynamics, Vietnam National University of Agriculture. The test band consists of a drive motor, a HPST, load generator and modern data processing and measuring equipment. The model can be used to reproduce the operating principle and to study the static and dynamic properties of the HPST, as the basis for control strategies in working conditions of agricultural tractors.

Keywords: Hydrostatic power-split transmission, experimental model, agricultural tractor.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hộp số phân nhánh công suất (HSPNCS) là hộp số vô cấp phối hợp thủy cơ, kết nối song song giữa một bộ phận truyền động hành tinh với một bộ biến tốc thủy tĩnh (Wik & cs., 1999). Trên thế giới, HSPNCS đã được trang bị cho máy kéo nông nghiệp từ cuối thế kỷ trước và bộc lộ sự vượt trội so với hộp số phân cấp cơ khí truyền thống do tích hợp được ưu điểm của việc điều khiển vô cấp số vòng quay trên hộp số thủy tĩnh và hiệu suất tương đối cao của hộp số sang số dưới tải trọng (Murrenhuff & Wallentowtz, 1998, Skirde & Gigling, 1996). Theo một số kết quả nghiên cứu ban đầu (Bùi Hải Triều & cs., 2018, Phạm Duy Súy & cs., 2018), phù hợp nhất với máy kéo nông nghiệp đang hoạt động tại Việt Nam với cỡ công suất 20-30kW, là sử dụng

HSPNCS đơn giản có cấu hình CRO trên cơ sở một bộ phận truyền hành tinh đơn 3 trục.

Để phục vụ cho nghiên cứu cơ bản về HSPNCS làm cơ sở phát triển ứng dụng cho máy kéo nông nghiệp cỡ vừa và nhỏ, một bệ thử nghiệm hộp số với hệ thống đo và xử lý tín hiệu hiện đại được xây dựng tại Bộ môn Động lực, Học viện Nông nghiệp Việt Nam. Mô hình thí nghiệm cho phép mô tả và phân tích các tính chất tĩnh học, động lực học và điều khiển điển hình của hộp số nghiên cứu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm được phát triển trên cơ sở sơ đồ kết cấu và hoạt động của HSPNCS theo cấu hình CRO (Hình 1). Công suất trục vào từ động cơ truyền đến trục dẫn C, sau đó được phân nhánh thành 2 dòng: dòng thứ nhất - công suất thủy lực được truyền qua vành răng R, bơm P của bộ biến tốc đến động cơ thủy lực M, dòng thứ hai - công suất cơ khí được truyền qua bánh răng mặt trời S. Hai dòng công suất hợp nhất tại trục ra là trục thứ cấp của hộp số nhờ cặp bánh răng có tỷ số truyền i_2 (Bùi Hải Triều & cs., 2018).

Đối với sơ đồ HSPNCS với cấu hình như hình 1, dưới đây là một số quan hệ động lực học:

- Quan hệ mô men:

$$M_e = M_S + M_R;\ \frac{M_S}{M_e} = \frac{z_S}{z_S + z_R};\quad \frac{M_R}{M_e} = \frac{z_R}{z_S + z_R};\ M_A = M_M + M_S i_2 \tag{1}$$

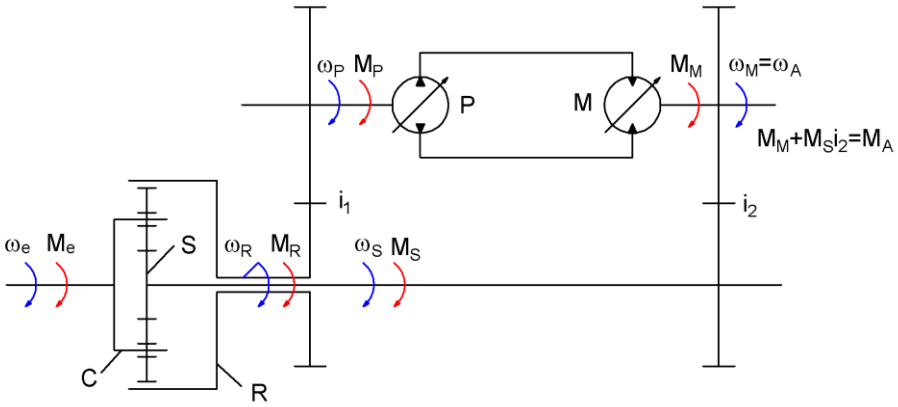
- Quan hệ vận tốc góc và tỷ số truyền:

$$\omega_e\left(z_S + z_R\right) = \omega_S z_S + \omega_R z_R l;\ i_0 = \frac{z_R}{z_S};\quad i_1 = \frac{\omega_P}{\omega_R};\ i_2 = \frac{\omega_M}{\omega_S};\ i_H = \frac{V_P}{V_M};\ i_G = \frac{\omega_M}{\omega_e} \tag{2}$$

Trong các công thức trên: z_R, z_S: số răng của vành răng (R) và bánh răng mặt trời (S); ω_R, ω_S, ω_P, ω_M là vận tốc góc trên vành răng, bánh răng mặt trời, trục bơm và trục ra của động cơ thủy lực; i_1, i_2 là tỷ số truyền các bộ truyền tách và nhập dòng công suất; V_P, V_M là thể tích làm việc của bơm (P) và động cơ (M); M_i chỉ thành phần mô men trên các phần tử tương ứng.

Để thuận tiện cho việc lắp ráp, điều chỉnh khoảng cách trục cũng như việc lắp đặt các cảm biến mà vẫn thỏa mãn yêu cầu đánh giá hiệu suất và phân tích trạng thái động lực học và điều khiển của HSPNCS, các cặp bánh răng i_1, i_2 được thay thế bằng các bộ truyền xích có tỷ số truyền tương đương. Sơ đồ truyền động và đo của mô hình thí nghiệm được trình bày trên hình 2 bao gồm các phần tử kết cấu dưới đây:

- Động cơ truyền lực là động cơ diesel có công suất định mức 20,8kW, tương ứng số vòng quay 2400 vòng/phút, mô men xoắn cực đại 95Nm đạt tại số vòng quay 1.400 vòng/phút;



Ghi chú: C - Cần dẫn; R - Vành răng; S - Bánh răng mặt trời; i_1 - Bộ truyền bánh răng phân nhánh; i_2 - Bộ truyền bánh răng nhập dòng; P, M - Các đơn nguyên bơm/động cơ

Hình 1. Sơ đồ HSPNCS cấu hình CRO

- Bộ truyền hành tinh đơn 3 trục có công suất danh nghĩa 30kW, tỷ số truyền cơ sở $i_0 = \frac{z_R}{z_S} = 57/27 \approx 2{,}1$;

- Bộ biến tốc thủy lực có công suất truyền 20-30kW, các đơn nguyên bơm (P) và động cơ (M) điều khiển được thể tích đến thể tích cực đại V_{Pmax} = 33 cm^3/vòng và V_{Mmax}= 37 cm^3/vòng;

- Bộ phân tạo tải: phanh thủy tĩnh bằng bơm thủy lực.

Tải trọng thí nghiệm được tạo ra bởi một phanh thủy tĩnh. Bơm thủy lực tạo tải được dẫn động từ trục thứ cấp hộp số qua một cặp xích với tỷ số truyền $i_p = \frac{1}{2}$. Các phương án tải trọng được thực hiện bằng cách phối hợp điều khiển 3 van: V_G, V_w, V_{Dr}.

Các loại cảm biến được sử dụng trong hệ thống bao gồm: Cảm biến đo áp suất (C_5) loại Huba Pressure Transmitter Type 511.954603142, áp suất 0-400bar, 2 dây đo dòng 4-20 mA; cảm biến đo lưu lượng (C_6) loại Lake Flow Transmitter R-4A-6HD-50RF. Cảm biến đo mô men (C_2) loại Kistler Torque Sensor Model 4502A. Các cảm biến đo số vòng quay (C_1, C_3, C_4) loại E2A-M18KS08-WP-C1 2M là các cảm biến tiệm cận đo tần số. Các tín hiệu đo từ cảm biến được thu nhận bởi Card chuyển đổi A/D loại Ni PCI-6251, sau đó được lưu trữ vào máy tính và được xử lý trực tiếp bằng phần mềm DASYLab. Tất cả các thiết bị này được lắp đặt, chuẩn hóa, kết nối và đo ghi tại Bộ môn Động lực, Học viện Nông nghiệp Việt Nam.

2.2. Nghiên cứu thực nghiệm

- Việc xác định chính xác hiệu suất của hộp số cần thiết được thực hiện trong phòng thí nghiệm bằng cách đo trực tiếp hao tổn công suất hoặc đánh giá gián tiếp từ giá trị công suất đầu ra so với đầu vào của hộp số (Heribert, 1990; Thiel, 1983). Đối với các hệ thống có hiệu suất cao (≥95%), phương pháp đo trực tiếp hao tổn công suất có ưu thế hơn do việc đo sai lệch tương đối giữa công suất vào - ra của phương pháp đánh giá công suất sẽ rất khó chính xác, cũng như yêu cầu độ chính xác của kỹ thuật đo rất cao. Tuy nhiên, tại vùng hiệu suất từ (78-93%) sai số tương đối của cả hai phương pháp không chênh lệch nhiều (Heribert, 1990). Do đó, đối với hộp số HSPNCS, có hiệu suất dự kiến (80-90%) việc xác định hiệu suất được lựa chọn theo phương pháp đánh giá công suất đầu vào - ra. Trên sơ đồ hình 2, công suất vào được xác định nhờ 2 cảm biến số vòng quay C_1 và cảm biến mô men C_2 trên trục sơ cấp. Công suất ra được xác định nhờ 3 cảm biến: cảm biến số vòng quay C_4, cảm biến áp suất C_5 và cảm biến lưu lượng C_6 là công suất thủy lực và quy dẫn đến trục thứ cấp của HSPNCS.

- Phân tích động lực học và điều khiển của HSPNCS: Các trạng thái động lực học và điều khiển của HSPNCS xuất hiện nhờ quá trình phối hợp điều khiển giữa động cơ diesel (thay đổi tay ga), HSPNCS (thay đổi V_P, V_M bằng cách thay đổi góc nghiêng của đĩa phản ứng trong bơm và động cơ thủy lực) và thay đổi tải (điều khiển các van thủy lực V_G, V_w, V_{Dr}). Do đó, cấu hình thí nghiệm có thể phân tích một số tính chất động lực học điển hình của hộp số máy kéo như: Khởi hành, sang số, tăng giảm ga và tăng giảm tải trọng.

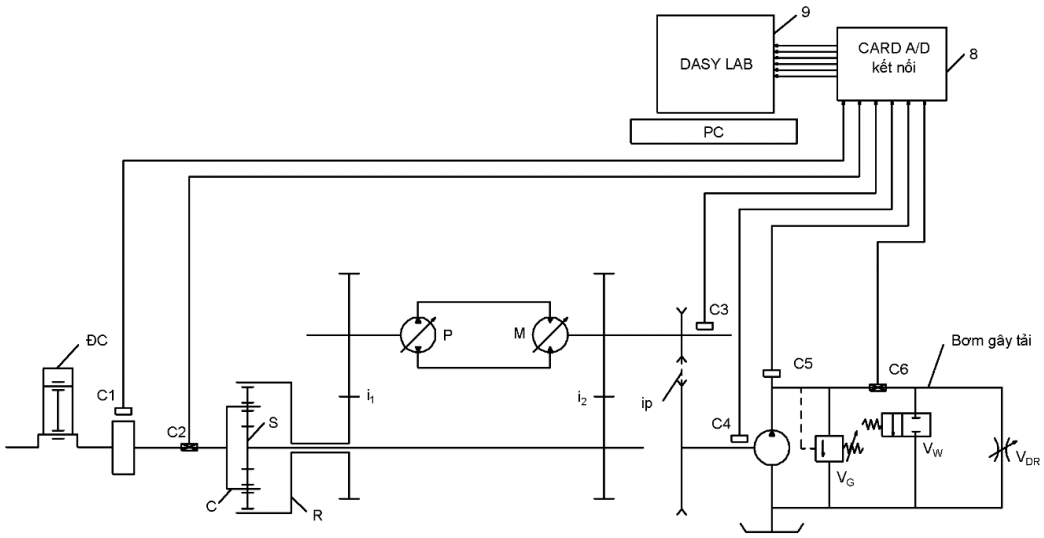
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mô hình thí nghiệm HSPNCS được thiết kế, chế tạo và lắp đặt tại phòng thí nghiệm của Bộ môn Động lực, Học viện Nông nghiệp Việt Nam. Ảnh chụp hệ thống thiết bị thí nghiệm được trình bày trên hình 3.

Mô hình thí nghiệm đã được chạy thử ổn định và thực hiện các phương án theo mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm. Trong khuôn khổ của bài báo, tác giả chỉ giới thiệu một số kết quả thử nghiệm mô hình để đánh giá khả năng tạo tải, khả năng tái hiện, đo và phân tích một số trạng thái hoạt động điển hình của HSPNCS trong phòng thí nghiệm.

3.1. Thí nghiệm thay đổi tỷ số truyền

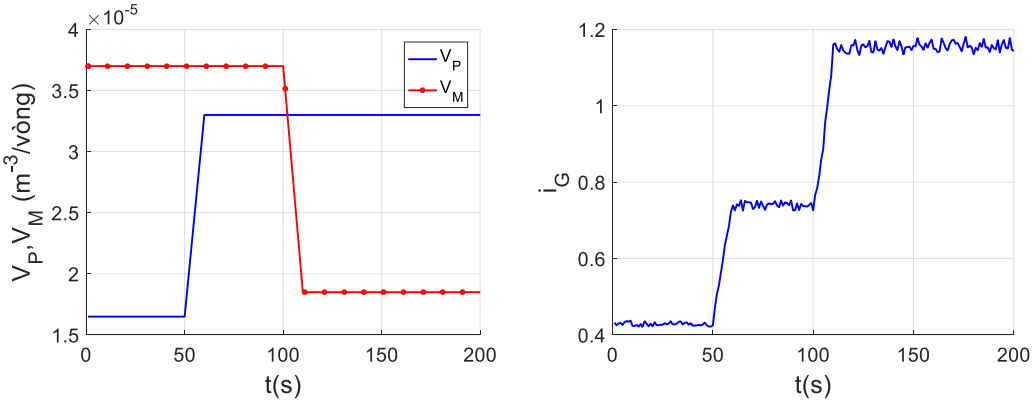
Trong thí nghiệm, động cơ hoạt động theo đặc tính ngoài (ga cực đại), tải trọng được giữ ở một giá trị xác định (V_w ở vị trí khóa, điều chỉnh V_{Dr} đến mức tải thí nghiệm), đặt V_M tại vị trí max, tiến hành điều chỉnh V_Pđến vị trí max để thay đổi tỷ số truyền HSPNCS. Sau đó giữ V_P tại vị trí max, giảm V_M để tiếp tục có được các tỷ số truyền lớn hơn. Quy trình điều khiển này được mô tả trên hình 4.



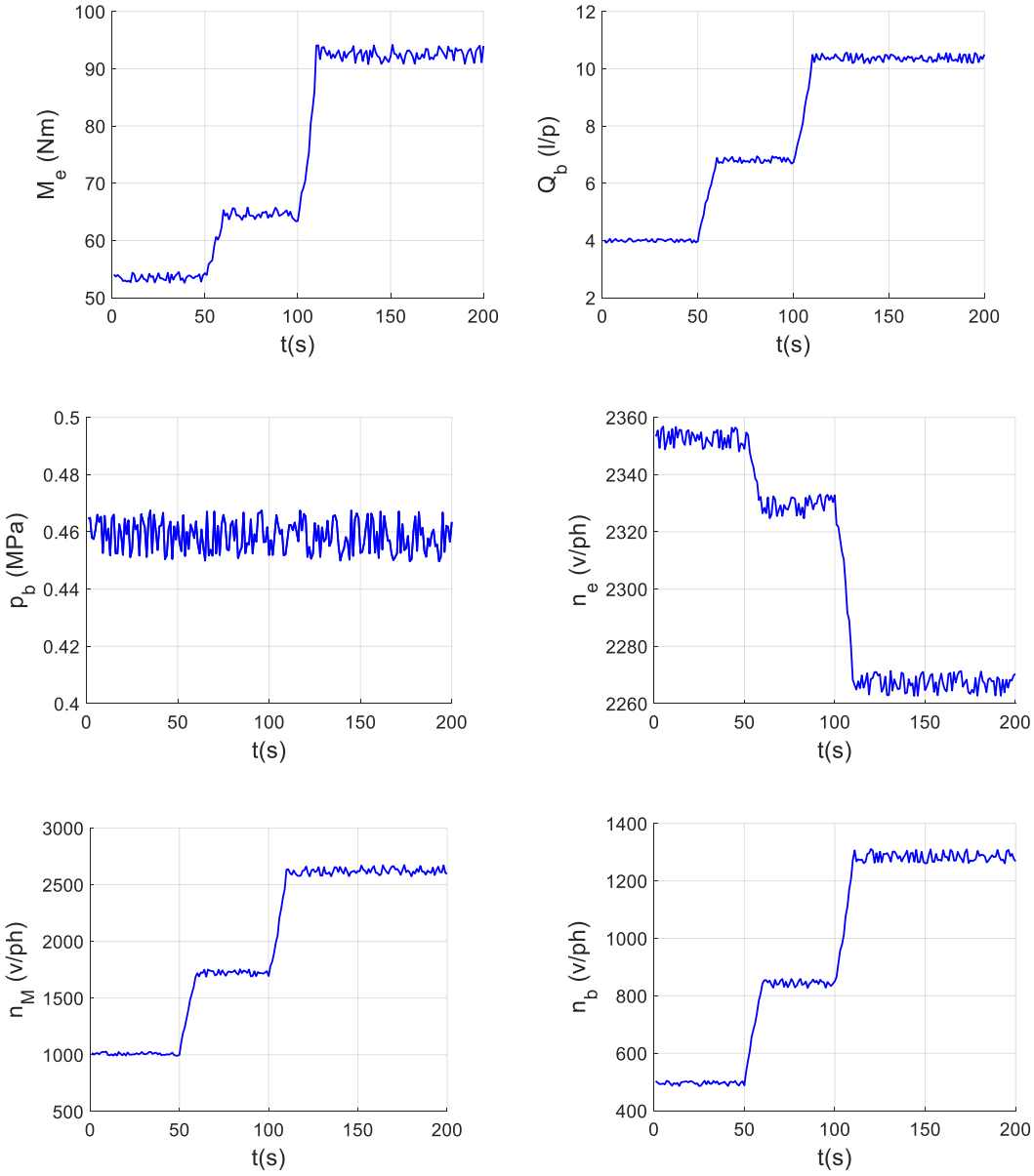
Ghi chú: ĐC - Động cơ truyền lực; C - Cần dẫn; R - Vành răng; S - Bánh răng mặt trời;i_1 - Xích phân nhánh; i_2 - Xích nhập dòng; i_p - Xích tải trọng; P, M - Các đơn nguyên bơm/động cơ; C_1, C_3, C_4 - Các cảm biến số vòng quay; C_2 - Cảm biến mô men; C_5,C_6 - Cảm biến áp suất và lưu lượng gây tải; V_G - Van giới hạn áp suất; V_w - Van phân phối đóng ngắt; V_{Dr} - Van tiết lưu.

Hình 2. Sơ đồ truyền động, điều khiển đo thí nghiệm HSPNCS

Hình 3. Bệ thử công suất để thí nghiệm HSPNCS



Hình 4. Quy trình điều khiển tỷ số truyền bằng thay đổi các thể tích VP, VM



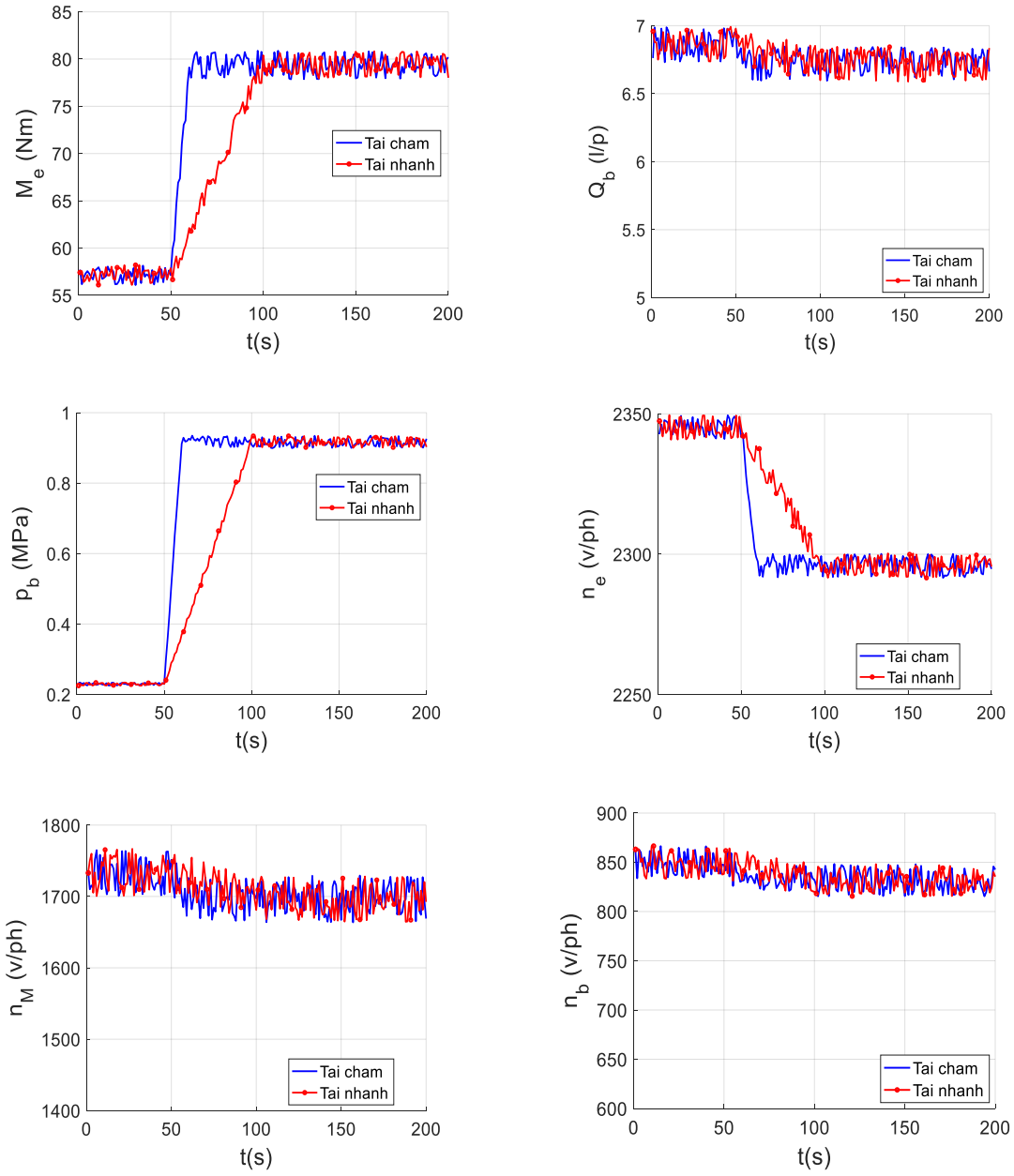
Hình 5. Kết quả thí nghiệm thay đổi tỷ số truyền

Hình 5 mô tả các quá trình tín hiệu từ các cảm biến C_1 đến C_6. Các quá trình tín hiệu từ cảm biến ít nhiễu, biến đổi phù hợp theo sự thay đổi V_P, đáp ứng tốt với tín hiệu điều khiển.

3.2. Thí nghiệm thay đổi tải trọng

Trong thí nghiệm, động cơ vẫn hoạt động theo đặc tính ngoài, điều khiển V_P, V_M để có một tỷ số truyền xác định, tải trọng thay đổi chậm (đường chấm đỏ) bằng cách thay đổi V_w ở vị trí khóa và xoay vị trí van tiết lưu V_{Dr} . Nếu muốn thay đổi tải nhanh (đường liền xanh) thì cần cố định vị trí V_{Dr} ở một mức độ tải và chuyển mạch V_w từ vị trí lưu thông đến vị trí khóa (tăng tải) và ngược lại (giảm tải). Phản ứng của các tín hiệu cảm biến được trình bày trên hình 6.

Nhận xét: Khi thay đổi tải bằng cách thay đổi vị trí van tiết lưu, quá trình tín hiệu từ các cảm biến biến đổi phù hợp. Các tín hiệu mô men trục sơ cấp (cảm biến C_2), số vòng quay trục sơ cấp (cảm biến C_1) đáp ứng tốt với sự thay đổi từ cảm biến áp suất (C_5) và cảm biến số vòng quay trục thứ cấp (C_4) phù hợp với khi biến đổi qua tỷ số truyền của HSPNCS.



Hình 6. Kết quả thí nghiệm thay đổi tải trọng HSPNCS

3.3. Thí nghiệm đánh giá công thức tỷ số truyền HSPNCS

Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá hệ thống thí nghiệm về khả năng tái hiện nguyên lý làm việc của HSPNCS, tái hiện cấu hình CRO và khả năng đáp ứng các yêu cầu theo mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm.

Theo nguyên lý kết cấu của HSPNCS có cấu hình CRO, tỷ số truyền của hộp số (i_G) được xác định từ tỷ số truyền biến tốc thủy lực (i_H) theo công thức:

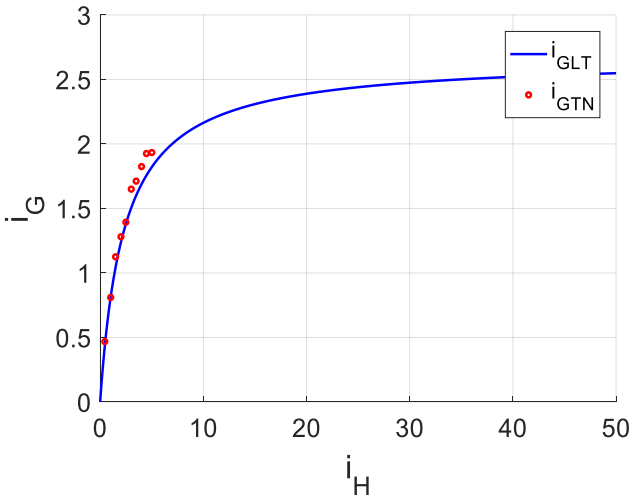
$$i_G = \frac{\omega_M}{\omega_e} = \frac{i_H\left(1+i_0\right)}{i_0 i_1 + i_2 i_H} \quad (3)$$

Trong đó:

$$i_0 = \frac{57}{27}; i_1 = \frac{18}{14}; i_2 = \frac{14}{12};$$
$$i_3 = i_p = \frac{24}{12}; i_H = \frac{V_P}{V_M} \quad (4)$$

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm xác định tỷ số truyền

V_P (cm^3/vg)	V_M (cm^3/vg)	i_H	i_{GLT}	i_{GTN}	RMS của sai số tương đối (%)
$0,5\times V_{Pmax}$	V_{Mmax}	0,4459	0,4289	0,4292	1,09
V_{Pmax}	V_{Mmax}	0,8919	0,7390	0,7392	1,17
V_{Pmax}	$0,5\times V_{Mmax}$	1,7838	1,1573	1,1565	1,16



Hình 7. Kết quả so sánh kết quả thí nghiệm với công thức lý thuyết

Việc đánh giá so sánh kết quả thí nghiệm với công thức lý thuyết được thực hiện theo bảng 1, trong đó V_{Pmax} = 33 cm^3/vòng, V_{Mmax} = 37 cm^3/vòng, kết quả thí nghiệm là giá trị trung bình của các lần đo. Kết quả so sánh tổng hợp được trình bày trên đồ thị hình 7. Từ các kết quả cho thấy, các giá trị thí nghiệm không sai lệch nhiều so với công thức lý thuyết, thể hiện khả năng tái hiện nguyên lý làm việc của HSPNCS và đáp ứng được các yêu cầu theo mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm. Thực tế khi thí nghiệm với V_M tiến gần tới 0 giá trị i_G cũng tiến gần đến giá trị cực đại $i_{Gmax} = \left(1 + i_0\right)/i_2$.

4. KẾT LUẬN

Mô hình thí nghiệm hoạt động ổn định, có khả năng thực hiện các thí nghiệm theo yêu cầu để phân tích tĩnh học và động lực học của HSPNCS. Nhờ kết nối trực tiếp các tín hiệu cảm biến trong phần mềm DASYLAB, có thể xác định hiệu suất hộp số phụ thuộc điểm làm việc trên đặc tính động cơ cũng như phụ thuộc tỷ số truyền của HSPNCS. Các tính chất động lực học và điều khiển cũng có thể được phân tích trong thí nghiệm, thí dụ quá trình biến thiên của tải trọng, quá trình khởi hành, sang số hoặc tăng giảm ga của động cơ truyền lực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Wik D., Strohl H. & Gebhandt N. (1999). Hydraulik - Grandlagen, Komponenten, Schaltungen. Springer - Verlag Berlin.

Murrenhuff H. & Wallentowtz H. (1998). Fluidtechnik fiir mobile Anendungen. RWTH Aachen.

Skirde E. & Gigling M. (1996). VDI/MEG Koloqium Agrartechnik, Mobilhydraulik. Braunschwelge.

Bùi Hải Triều, Trịnh Minh Hoàng, Phạm Duy Súy & Chu Văn Huỳnh (2018). Truyền động phân nhánh công suất thủy tĩnh cho máy kéo nông nghiệp. Tạp chí Cơ khí Việt Nam. 5: 101-105.

Phạm Duy Súy, Trịnh Minh Hoàng & Bùi Hải Triều (2018). Hiệu suất truyền động của hộp số phân nhánh công suất thủy tĩnh. Tạp chí Cơ khí Việt Nam. 6: 36-43.

Heribert R. (1990). Verluste und wirkungsgrade bei Trakrogetriebe. VDI Verlag.

Thiel E. (1983). Messung der Verlustleistung von Kraftfahrzeug - Schalt - Und Achsgetrieben. Dis. Uni. Stuttgart.