

## Nghiên cứu thiết kế và chế tạo thiết bị kiểm tra thông số độ bền cầu sau chủ động ô tô theo nguyên lý thu phát wireless

Designing and manufacturing wireless equipment for reliability inspection of automobile rear axles

Trần Phúc Hòa, Phạm Việt Thành, Nguyễn Thanh Quang\*

*Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*

*\*Email: nguyenthanhquang@hau.edu.vn*

*Mobile: 0903404601*

---

### Tóm tắt

#### *Từ khóa:*

Thu phát không dây (Wireless), HTTL, Cầu sau chủ động, Ứng suất, Biến dạng.

Hệ thống truyền lực (HTTL) ô tô bao gồm các cụm ly hợp, hộp số, trục các đăng và cầu chủ động. Khi ô tô chạy trên đường, các chi tiết quay gồm trục và bánh răng trong HTTL chịu các tải trọng xoắn và một phần tải trọng uốn. Các chi tiết thân, vỏ và dầm chịu tải trọng uốn. Để xác định các tải trọng uốn trên thân và vỏ ta dễ dàng sử dụng các cảm biến đo và nối với thiết bị đo bằng các dây dẫn. Trên các chi tiết đang quay tại các trục phải sử dụng những dụng cụ chuyên dùng, có cấu tạo đặc biệt và thường phải cắt chi tiết để lắp ráp thiết bị đó. Một giải pháp ứng dụng nguyên lý thu phát sóng wireless được sử dụng để chế tạo thiết bị đo các tín hiệu trên các chi tiết đang quay của HTTL ô tô. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo bộ thu phát sóng không dây sử dụng trong thiết bị kiểm tra độ bền cụm cầu sau chủ động ô tô. Bộ phát sóng hoạt động theo nguyên lý các tín hiệu điện áp từ tenzo biến dạng gắn trên trục quay sẽ chuyển vào mạch nhận và xử lý thành tín hiệu sóng điện từ để phát vào không gian. Bộ thu sóng lắp với máy tính nhận tín hiệu vào chuyển đổi thành tín hiệu số được phần mềm xử lý ra file kết quả. Thực hiện công việc chuẩn số liệu đo theo tín hiệu ứng suất, biến dạng sẽ thu được kết quả đánh giá độ bền của các chi tiết.

---

### Abstract

#### *Keywords:*

Wireless; Powertrain; Active rear axle; Stress; Deformation.

The powertrain system of automobile consists of clutches, gearboxes, axles and rear axles. When the moving on the road, the rotating parts consist of the shaft and gear wheels bear the torsion load and a part of the bending load. Components of the cover, casing and beams subject to bending loads. To determine the bending loads on the covers and shells, it is easy to use the sensors and connect them to the measuring equipment by wires. Specialized tools must be used on parts that are rotating on the axle, these tools are specially constructed and often have to be cut off in order to assemble the device. A wireless transceiver application solution is used to fabricate signals on rotating parts of automotive systems. This article presents the results of designing and manufacturing wireless transceiver used in the test equipments for automotive rear axle reliability. The transmitter operates according to the principle that voltage signals from the tenzo deformation mounted on the rotary axis will be transferred to the receiver, and processed into electromagnetic waves to be emitted into space. A receiver installed on a computer will receive the signals and convert them into digital signals processed by the software. Performing the calibration of measurement data according to the stress signal and the deformation will result in the evaluation results of the reliability of the components.

---

Ngày nhận bài: 29/6/2018

Ngày nhận bài sửa: 12/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. GIỚI THIỆU

Xe ô tô chuyển động gây ra tải tác dụng lên hệ thống truyền lực (HTTL) và cầu sau với các ứng suất khác nhau như ứng suất uốn, ứng suất cắt và ứng suất nén. Ngoài những ứng suất trên, các chi tiết cũng chịu sự rung động do sự mất cân bằng lốp xe hoặc bánh xe và sự không tròn của lốp xe hoặc bánh xe, hoặc một vành xe bị gập... nên rất dễ bị mòn hoặc hư hỏng, ảnh hưởng trực tiếp đến độ bền của HTTL và cụm cầu sau chủ động. Việc xác định được giá trị các thông số tải khi ô tô di chuyển và các trục đang quay rất phức tạp và thường sử dụng phương pháp phá hủy trong phòng thí nghiệm để thực hiện.

Sử dụng tín hiệu điện từ thu được từ chi tiết đang chuyển động, truyền tín hiệu đó vào không gian và tìm cách thu nhận, chuyển đổi thành dữ liệu đo được sẽ đảm bảo được tính trung thực của mô hình nghiên cứu, phương pháp này là phương pháp không phá hủy.

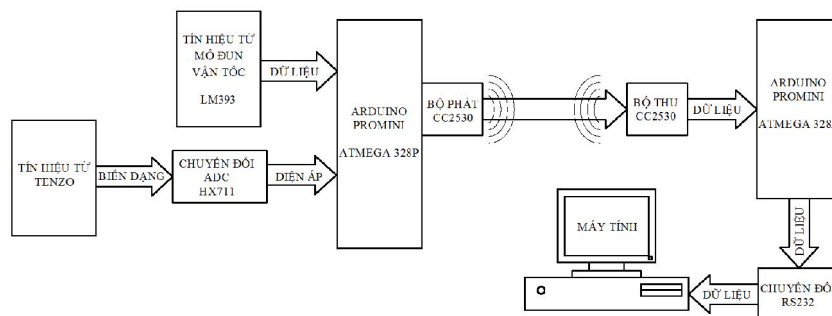
Thiết bị thực hiện nhiệm vụ này là bộ thu phát wireless. Thiết bị có thể thu nhận tín hiệu trong khoảng cách trên 100 m. Thiết bị gắn trên cầu chủ động hoặc trục quay làm nhiệm vụ nhận thông số đo, chuyển đổi thành sóng điện từ phát vào không gian. Trên máy tính gắn ăng ten và mạch thu tại cổng USB hoặc cổng COM để nhận tín hiệu và chuyển đổi lại thành tín hiệu số đọc được trên giao diện phần mềm để lấy kết quả [1].

Sử dụng bộ thu phát wireless ta có thể truyền nhận tín hiệu được xa hơn mà không bị hạn chế do dây dẫn. Để chế tạo thiết bị ta sử dụng các mô đun sẵn có trên thị trường kết hợp với chế tạo mạch, lắp ghép và hiệu chỉnh để có được bộ thiết bị với cấp chính xác, tính ổn định và độ tin cậy theo yêu cầu. Các đầu cảm biến kèm theo thiết bị gồm cảm biến đo biến dạng bằng strain gauge, đo vận tốc. Sử dụng vi điều khiển Arduino và được lập trình thu nhận tín hiệu trong phần mềm Visual Studio C#.

## 2. CƠ SỞ THIẾT KẾ BỘ THU PHÁT WIRELESS

### 2.1. Xây dựng sơ đồ khối của thiết bị

Tín hiệu từ tenzo đo biến dạng trên chi tiết được bộ chuyển đổi ADC 24bit Loadcell HX711 thành tín hiệu điện áp đưa vào vi điều khiển ATmega328P trên Arduino Promini. Tín hiệu vận tốc (số vòng quay) được thu nhận từ cảm biến ánh sáng sử dụng quang trở và IC LM393 tạo thành dữ liệu cùng đưa vào vi điều khiển ATmega328P trên Arduino Promini. Sau đó, tín hiệu sau khi xử lý sẽ được gửi đến mô đun phát sóng RF Zigbee UART CC2530 để truyền không dây đến mô đun nhận tín hiệu (cùng loại RF Zigbee UART CC2530) đã kết nối với máy tính sẽ thu nhận và xử lý dữ liệu thu được. Dữ liệu sau khi xử lý sẽ được tính toán, lưu trữ và thể hiện bằng phần mềm chuyên biệt được thiết kế và lập trình bởi Visual Studio để dễ dàng quan sát và nghiên cứu [2]. Sơ đồ khối của thiết bị nêu trên hình 1.

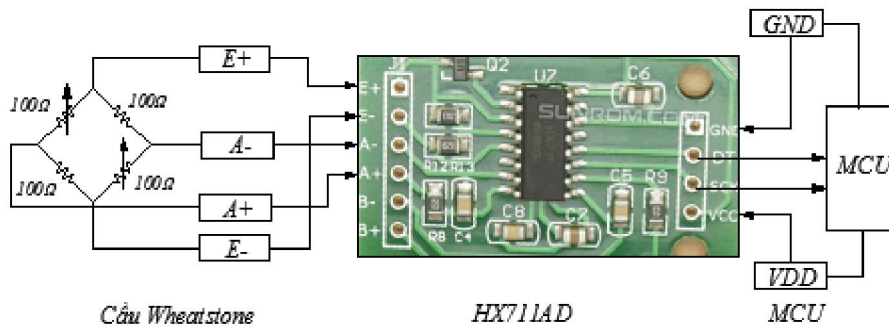


Hình 1. Sơ đồ khối của thiết bị

## 2.2. Thiết kế sơ đồ mạch của thiết bị

Bộ thu phát wireless được thiết kế trên cơ sở các mô đun: Mô đun chuyển đổi ADC 24bit Loadcell HX711, dùng để chuyển đổi tín hiệu analog sang digital 24-bit và ứng dụng điều khiển công nghiệp để giao tiếp trực tiếp với cảm biến cầu điện trở (Strain gauge), gửi dữ liệu cho vi điều khiển/Arduino; Mô đun cảm biến ánh sáng sử dụng quang trở và IC LM393, độ nhạy có thể tùy chỉnh để đo vận tốc qua việc truyền tải dữ liệu bằng thu nhận xung laser; Mạch thu phát RF Zigbee UART CC2530 sử dụng IC CC2530 từ TI, mạch được lập trình sẵn firmware để có thể dễ dàng sử dụng truyền nhận dữ liệu chuẩn Zigbee với giao tiếp UART để kết nối với vi điều khiển/Arduino với các bước lập trình tạo config. Mạch thu phát RF UART CC2530 có khoảng cách truyền nhận xa, chuẩn truyền sóng Zigbee 2,4 GHz chuẩn công nghiệp có độ ổn định cao nên được sử dụng để truyền nhận dữ liệu từ mô đun đo biến dạng, vận tốc sau đó kết nối với máy tính để xử lý dữ liệu thu được; AMS1117 - IC ổn áp 3,3V; AMS1117-3,3V là IC chuyên dụng để ổn định điện áp tuyến tính với độ sụt áp thấp. Điện áp đầu ra 3.3V, dòng điện đầu ra 1A dùng để tạo điện áp 3,3V cung cấp cho mô đun Wireless UART (mạch thu phát RF Zigbee UART CC2530) [3], [5].

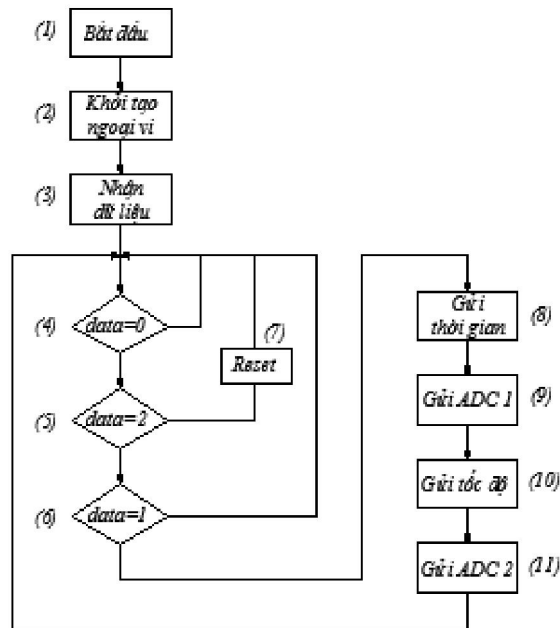
Mạch chuyển đổi ADC 24bit Loadcell HX711 có chức năng tích hợp cao, phản ứng nhanh, khả năng chống nhiễu, độ tin cậy cao và thông số kỹ thuật của gồm: Điện áp hoạt động: 2,7V - 5V; Dòng tiêu thụ: < 1,5mA; Tốc độ lấy mẫu: 10 - 80 SPS (tùy chỉnh); Độ phân giải: 24 bit ADC; Độ phân giải điện áp: 40mV; Kích thước: 38 x 21 x 10 mm. Sơ đồ thiết kế tổng thể chuyển đổi ADC 24bit Loadcell HX711 trên hình 2 [4].



Hình 2. Sơ đồ thiết kế mạch tổng thể của mô đun chuyển đổi ADC 24bit Loadcell HX711

## 2.3. Phân tích chế độ làm việc của thiết bị

Chế độ làm việc của thiết bị được phân tích trên sơ đồ khối hình 3. Khi khởi động bộ thu phát wireless (1), lập tức tiến hành khởi tạo ngoại vi (2) các giá trị ban đầu (tín hiệu từ các mô đun cảm biến) sẽ được scale lại về giá trị gốc. Sau đó sẽ chờ lệnh từ máy tính (data) gửi xuống khối nhận dữ liệu (3) để quyết định lựa chọn thực hiện chương trình. Nếu data là "0" (4), chương trình sẽ dừng và không thực hiện và sẽ quay lại tiếp tục chờ lệnh. Nếu data là "2" (5), chương trình sẽ reset lại, toàn bộ dữ liệu được xử lý lại từ đầu và tiếp tục chờ lệnh. Nếu data là "1" (6), chương trình sẽ được khởi chạy, đầu tiên (8) thời gian thực sẽ được gửi liên tục cùng với dữ liệu từ các cảm biến. Sau đó chương trình xử lý tín hiệu và gửi dữ liệu về tốc độ và biến dạng sẽ tuần tự được thực hiện như sau: xử lý tín hiệu và gửi dữ liệu biến dạng ở điểm thứ 1 (9), xử lý tín hiệu và gửi dữ liệu vận tốc ở điểm thứ 1 (10); xử lý tín hiệu và gửi dữ liệu biến dạng ở điểm thứ 2 (11); muốn lấy thêm một vài điểm đo khác thì sẽ thêm một vài bước tương ứng và chương trình cứ thế lặp lại để chạy.



Hình 3. Lưu đồ chế độ làm việc của thiết bị

### 3. CHẾ TẠO, LẮP ĐẶT VÀ HIỆU CHUẨN THIẾT BỊ

Vị trí lắp tenzo theo nguyên lý mạch cầu Wheatstone. Mạch cầu Wheatstone bao gồm 4 điện trở biến dạng (tenzo hoặc strain gage) dán bằng keo đặc biệt trên bán trục, hình 4 [6].



Hình 4. Mạch cầu Wheatstone và dán tenzo lên bán trục cầu sau

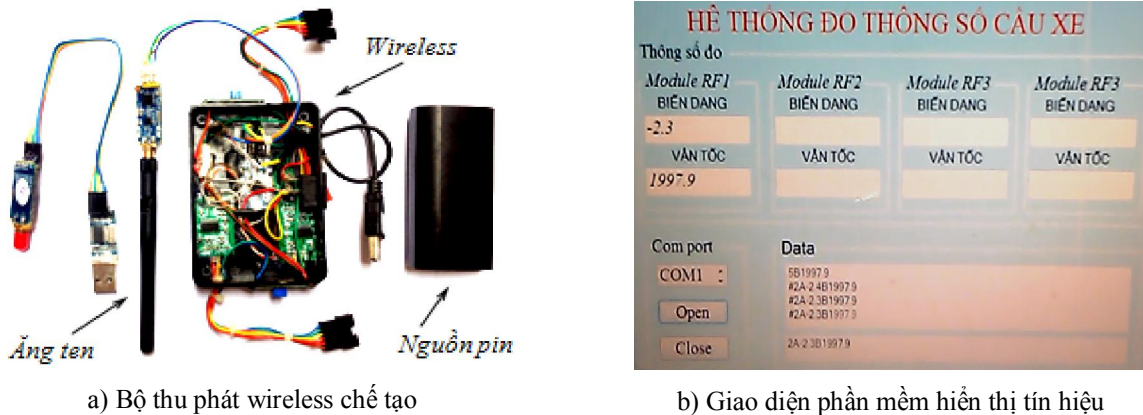
Điện áp đo  $V_{out}$  gần như tỷ lệ thuận với biến dạng của trục, biến dạng này lại tỷ lệ thuận với mô men xoắn trên trục  $M_t$ , nên thiết bị đo có thể coi là tuyến tính theo (1).

$$V_{out} \approx k.M_t \quad (1)$$

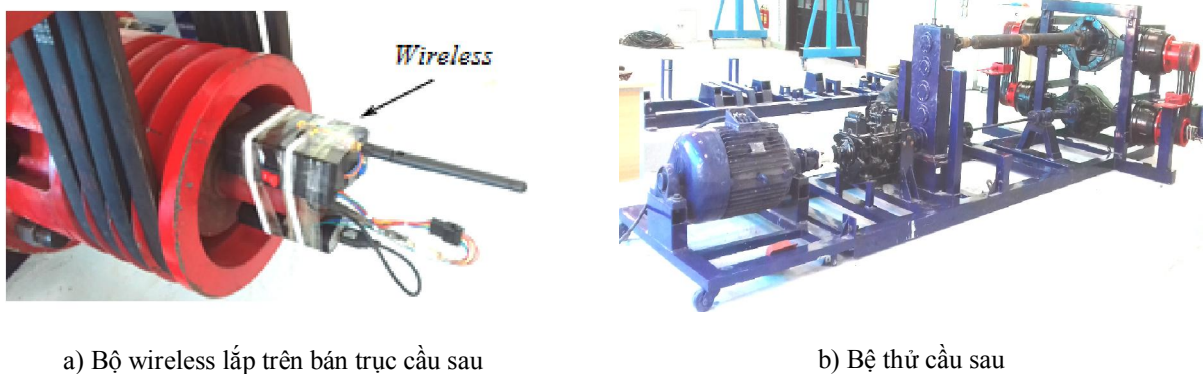
Trong đó  $k$  là hệ số tỷ lệ,  $M_t$  là mô men xoắn trên trục.

Các mạch của bộ thu phát tín hiệu wireless được chế tạo và đóng vỏ dạng hộp đảm bảo các yêu cầu gọn nhẹ, đủ bền, dễ tháo lắp, làm việc ổn định và lắp đặt, bảo quản thuận lợi trong quá trình thí nghiệm. Hình ảnh bộ thu phát wireless chế tạo trình bày trên hình 5.a. Giao diện phần mềm xây dựng có các cửa hiển thị thông số biến dạng và vận tốc góc các trục quay, hình 5.b với 4 cửa tương ứng với 4 vị trí đo. Số lượng cửa hiển thị kết quả có thể tăng lên tùy theo yêu cầu thí nghiệm và vị trí cần đo. Thiết bị có thể kết nối với máy tính bằng cổng USB hoặc cổng COM.

Thiết bị thu phát wireless lắp ráp trên cầu chủ động theo yêu cầu thí nghiệm. Khi đo mô men xoắn và biến dạng trên các bán trục đang quay, các tenzo được dán lên trên trục dạng cầu Wheatstone truyền tín hiệu điện áp  $\Delta e$  về mạch HX711 và chuyển đổi thành tín hiệu wireless truyền vào không gian.



Hình 5. Thiết bị wireless đã được chế tạo



Hình 6. Lắp đặt thiết bị wireless trên cầu sau thử nghiệm

Hiệu chuẩn thiết bị được thực hiện hai calip trên máy chuyên dùng cùng với bộ thu phát wireless để phát và nhận tín hiệu.

*Calip 1:* Hiệu chuẩn tín hiệu tải trọng là mô men xoắn calip  $M_{xcl}$  trên trục có dán các tenzo điện trở bằng cách treo vật nặng  $P_t$  lên đầu tay đòn có chiều dài  $L_{CL} = 1000$  mm trạng thái tĩnh với các trọng lượng lần lượt tăng dần  $P_t = 0$  kg, 10 kg, 20 kg, ..., 100 kg theo công thức (2).

$$M_{CL} = P_t \times L_{CL} \quad (2)$$

Điện áp đo  $\Delta e$  (mV) và mô men xoắn trên trục  $M_{CL}$  (Nm) là tuyến tính, gần đúng theo công thức (3).

$$\Delta_e = k_M \times M_{CL} \quad (3)$$

Trong đó:  $k_M$  là hệ số tỷ lệ,  $M_{CL}$  là mô men xoắn calip trên trục.

Kết quả đã xác định được hệ số calip mô men xoắn là  $k_M = 25$  kg.m/10mV.

*Calip 2*: Hiệu chuẩn tín hiệu mô men xoắn và biến dạng. Tín hiệu mô men xoắn đã thu được từ thí nghiệm với bộ thu phát wireless và được hiệu chuẩn theo mức điện áp đo được. Sử dụng giá trị tải trọng là mô men xoắn tiến hành calip trên thiết bị kéo nén, trong đó tenzo loại FCA-3-11: 360kHz chiều dài 3 mm dán lên mảnh kim loại của chi tiết cầu sau đã thử nghiệm trên bệ thử. Các thông số calip được xác định bởi các phương trình (4), (5) và (6), [7].

Từ công thức xác định biến dạng của điện trở (4).

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta R / R}{K_{CL}} \quad (\mu m) \quad (4)$$

Ta xác định hệ số calip biến dạng theo mô men xoắn (5)

$$K_{CL} = \frac{\Delta P_{CL} / P_{CL}}{\varepsilon_{CL}} = \frac{\Delta M_{CL} / M_{CL}}{1000 * \varepsilon_{CL}} \quad (5)$$

Biến dạng trên chi tiết được xác định là biến tương đối thực tế trên cầu điện trở được xác định từ công thức (6).

$$\Delta_{U_V} = \frac{U_V \times K_{CL}}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (mV) \quad (6)$$

Và viết lại theo công thức (7).

$$(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) = 4 \times \frac{\Delta_{U_V}}{U_V} \times \frac{1}{K_{CL}} \quad (\mu m) \quad (7)$$

Trong đó:  $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$  - Biến dạng tương đối thực tế trên cầu điện trở;  $\Delta l$  - Độ dẫn dài của điện trở;  $\Delta R$  - Lượng thay đổi điện trở;  $\Delta_{U_V}$  - Lượng thay đổi điện áp;  $U_V$  - Điện áp cầu đo;  $P_{CL}$  - Tải kéo trên máy kéo nén;  $\Delta M_{CL}$  - Lượng thay đổi của mô men tải;  $M_{CL}$  - Mô men calip;  $\varepsilon_{CL}$  - Lượng biến dạng đo được trên máy kéo nén; Chỉ số 1000 tương ứng với cánh tay đòn 1000 mm trong calip 1 về mô men.

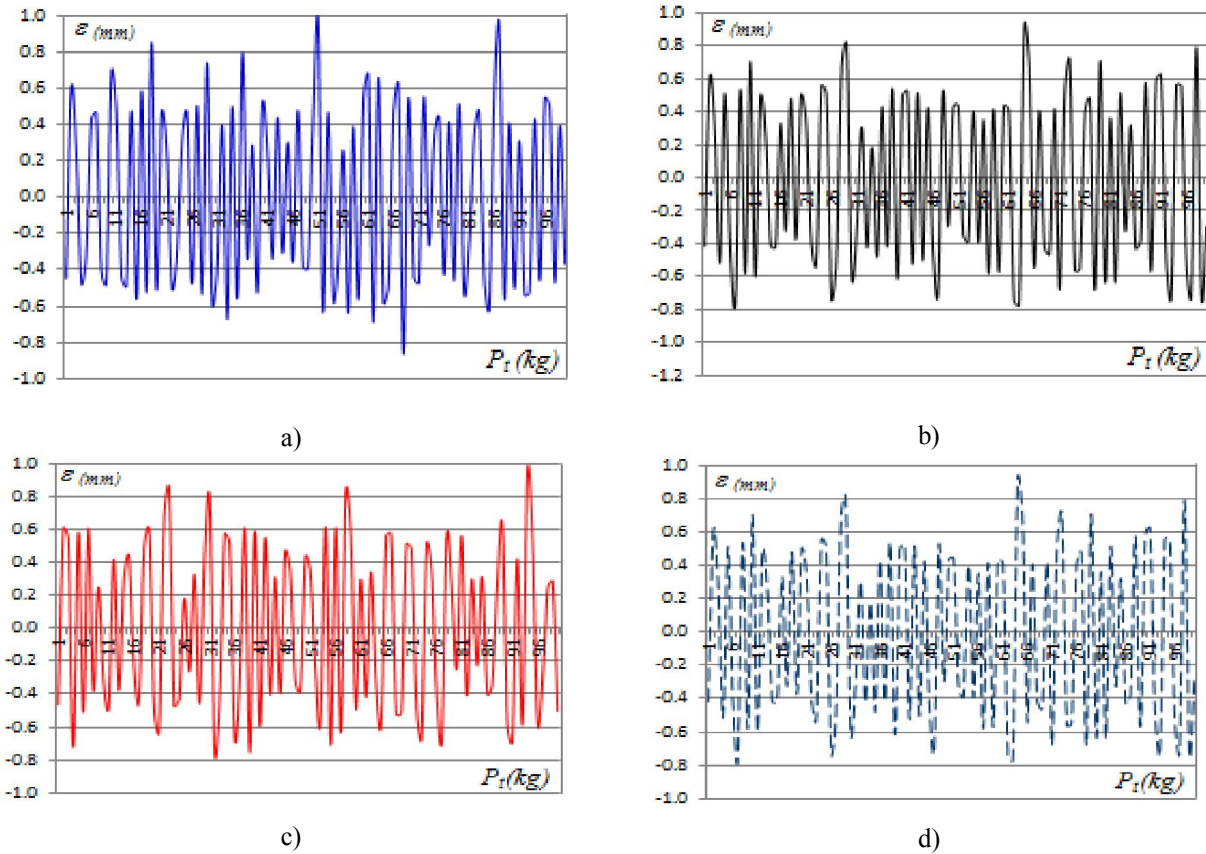
#### 4. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Thí nghiệm thực hiện trên bệ thử cầu sau, hình 6 ở trên. Thông số xe và cầu sau chủ động bao gồm: Trọng lượng bản thân của xe 4230 kg; tải trọng xe 2980 kg; tổng trọng lượng toàn bộ xe 7405 kg; công suất cực đại của động cơ tại 3000 v/ph 81 kW; mô men xoắn cực đại tại 2000 - 2200 v/ph 320 Nm; tỷ số truyền cầu sau 6,75. Tiến hành thí nghiệm ở các chế độ tải khác nhau trên bệ thử, ghi các kết quả đo và lưu những file quản lý. Thực hiện calip 1 xác định được hệ số calip giữa giá trị điện áp đo được và mô men xoắn,  $k_M = 25 \text{ kg.m/10mV}$ . Tiếp theo thực hiện calip 2 xác định hệ số calip giữa tải trọng (mô men xoắn) và biến dạng dài trên chi tiết  $K_{CL}$ . Trong thí nghiệm và các phép calip đều sử dụng bộ thu phát wireless chế tạo.

Các kết quả theo các chế độ tải ứng, biến dạng trên chi tiết tại các vị trí khác nhau đều xác định cụ thể và được trình bày trên hình 7. Hình 7.a tương ứng với số vòng quay 1600 v/ph của trục dẫn động, hình 7.b tương ứng với số vòng quay 2000 v/ph của trục dẫn động. Hình 7.c tương ứng cùng số vòng quay 1600 v/ph của trục dẫn động và hình 7.d tương ứng với số vòng quay 2000 v/ph của trục dẫn động khi sử dụng bộ thiết bị wireless chuẩn RTS 5600 của hãng KMT Cộng hòa Liên bang Đức chế tạo [8] (hiện nay trường Đại học Lâm nghiệp Việt Nam



quản lý và sử dụng). Đây là các chế độ tương ứng ở tay số 3 với chế độ mô men cực đại của động cơ.



Hình 7. Các kết quả thí nghiệm trên bộ thu phát wireless

## 5. KẾT LUẬN

Sử dụng phương pháp không phá hủy để đo các thông số đánh giá độ bền cầu chủ động ô tô gồm có mô men xoắn, biến dạng trên các chi tiết quay có ưu điểm đảm bảo tính ổn định của kết cấu nhưng rất phức tạp. Chế tạo thiết bị theo nguyên lý thu phát wireless đã giải quyết được việc lấy các tín hiệu ra trong khi các chi tiết và hệ thống ở trạng thái đang làm việc ở những chế độ thí nghiệm theo yêu cầu.

Thiết bị đã được thiết kế chế tạo trên cơ sở các mô đun tích hợp kết hợp với giao diện phần mềm lập trình Arduino thu thập và xử lý các tín hiệu đo được. Khi thí nghiệm đo mô men xoắn trên các chi tiết quay của cầu chủ động, thông số đo được thực hiện calip 1 theo mô men tải. Khi thí nghiệm xác định biến dạng trên chi tiết, thông số đo sẽ được thực hiện calip 2 xác định hệ số của mối quan hệ giữa mô men tải. Thiết bị đo gồm những mạch điều khiển có tính ổn định cao và giá thành hợp lý nên có thể chủ động thí nghiệm và phát triển ứng dụng với những thí nghiệm khác trên ô tô.

So sánh kết quả thí nghiệm đo biến dạng trên chi tiết khi sử dụng bộ thu phát wireless chế tạo (hình 7.a,b) với bộ thu phát wireless chuẩn RTS 5600 của hãng KMT Cộng hòa Liên bang Đức chế tạo (hình 7.c,d), sai khác nhau 1,5 - 3% cho thấy thiết bị thu phát wireless chế tạo đáng tin cậy.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Vũ Đình Thành. (2013). *Lý thuyết cơ sở Kỹ thuật siêu cao tần*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh.
- [2]. Vũ Văn Tác, Trần Tiến Phúc , Quách Đức Cường. (2014). *Thiết kế và thực hiện hệ thống thu thập dữ liệu môi trường từ xa qua mạng Zigbee wireless cho bảo tàng viện hải dương học*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển; Tập 14, Số 3; 2014: 289-298 DOI: 10.15625/1859-3097/14/3/5163 <http://www.vjs.ac.vn/index.php/jmst>.
- [3]. Ajay Bharadwaj, Applications Engineer Senior, and Balaji Mamidala, Applications Engineer. (2011). *Integrated sensor nodes with GSM modems: simplifying the task of wireless data acquisition*. Cypress Perform, Cypress Semiconductor Corp.
- [4]. HX711. *24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales*.
- [5]. GL55 Series, CdS Photoresistor Manual, Shenzhen Senba Optical & Electronic Co., Ltd. [www.sbcde.com.cn](http://www.sbcde.com.cn)
- [6]. Nguyễn Thanh Quang, Hoàng Việt, Lê Hoàng Anh. (2017). *Thí nghiệm đo mô men xoắn trên cầu sau ô tô tải nhỏ*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, tập 11, số 4, 07-2017, trang 75.
- [7]. TML. *Strain Gauge Users' Guide*. Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd Japan. [www.tlm.jp](http://www.tlm.jp)
- [8]. <https://www.kmt-telemetry.com/telemetry/1-channel-telemetry/>