

THIẾT KẾ VÀ ĐIỀU KHIỂN CON LĂN ĐIỆN SỬ DỤNG CHO BĂNG TẢI

DESIGN AND CONTROL OF DRUM ROLLER FOR CONVEYOR APPLICATIONS

Nguyễn Tấn Tiến^{1,2}, Dương Văn Tú^{1,2}, Nguyễn Huy Hùng³

¹DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Trường Đại học Sài Gòn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày thiết kế và điều khiển con lăn điện ứng dụng trong băng tải. Kết cấu con lăn điện thông thường với trục đứng yên, vỏ quay được khảo sát và thay thế bằng động cơ điện thông thường với trục quay, vỏ đứng yên. Bộ điều khiển trượt kinh điển được sử dụng cho bài toán điều khiển đảm bảo đáp ứng mong muốn ngay cả khi có sự trượt đai và các thông số của động cơ không chính xác. Kết quả mô phỏng minh chứng cho tính khả thi của giải pháp đề nghị.

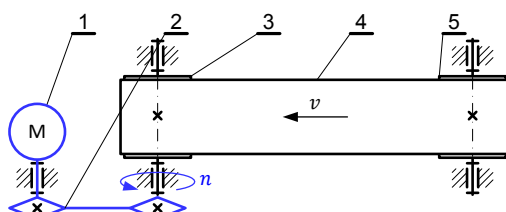
Từ khóa: Con lăn điện; Con lăn tự dẫn động; Con lăn dẫn động băng tải.

ABSTRACT

This paper presents the design and control of electric rollers applied in conveyors. Conventional electric roller structure with stationary shaft, rotating housing is surveyed and replaced by conventional electric motor with rotating shaft, stationary housing. The conventional sliding mode controller is used for the control problem ensures the desired response even in the presence of belt slip and uncertainty in system modeling. The simulation results show the feasibility of the proposed solution.

Keywords: Electric roller; Motorized pulley; Conveyor belt drum motor.

1. TỔNG QUAN



Hình 1. Sơ đồ băng tải thông thường

1) Động cơ, 2) Bộ truyền ngoài (đai/xích), 3) Pulley dẫn động, 4) Băng tải, 5) Pulley bị động

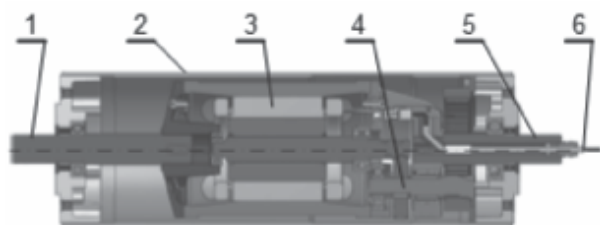
Băng tải (băng chuyền) là một thiết bị dùng vận chuyển, chuyển tải vật liệu, hàng hóa từ vị trí này đến vị trí kia như Hình 1.

Thông thường, băng tải được truyền động từ động cơ bên ngoài thông qua bộ truyền động xích hay đai. Để đơn giản kết cấu, đặc biệt cho bài toán dẫn động và điều khiển, hệ thống bao gồm động cơ 1, bộ truyền ngoài 2, và pulley dẫn động 3 được thiết kế làm một

khối như Hình 2 và có tên gọi là con lăn điện. Con lăn điện là con lăn chứa bên trong nó động cơ dẫn động được thiết kế riêng cho ứng dụng băng tải.

Khái niệm con lăn điện được xuất hiện lần đầu vào năm 1928 nhưng chưa phổ biến cho đến đầu những năm 1950, khi lần đầu tiên được áp dụng cho ứng dụng băng tải [11]. Kết cấu con lăn điện có các ưu điểm nổi bật như kết cấu gọn trong một khối module, hiệu suất truyền động cao, ma sát thấp so với kết cấu truyền động thông thường và ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong thực tế.

Cấu tạo một con lăn điện thương mại gồm các bộ phận chính như Hình 2 [1], được cấu tạo bởi động cơ, bộ giảm tốc hành tinh. Động cơ dẫn động ở đây được thiết kế sao cho trục và dây cáp điện đứng yên và vỏ động cơ quay cùng với vỏ con lăn.



Hình 2. Cấu tạo một con lăn điện thương mại:
1) Trục; 2) Vỏ con lăn; 3) Động cơ dẫn động; 4) Giảm tốc bánh răng hành tinh; 5) Trục; 6) Dây cáp điện cho động cơ.

Con lăn điện được dùng trong băng tải con lăn hoặc trong các hệ thống truyền động thông minh, cho phép dễ dàng điều chỉnh các biến băng tải cụ thể như tốc độ, hướng luân chuyển,... So với thông thường, con lăn điện tiết kiệm năng lượng hơn, an toàn với môi trường và các yêu cầu thông minh hơn trong sản xuất. Con lăn điện được điều khiển đặc biệt để kiểm soát, di chuyển, lưu trữ và bảo vệ sản

phẩm trong suốt quá trình sản xuất, phân loại, lưu kho, ...



a) Lắp đặt con lăn điện b) Vệ sinh băng tải
Hình 3. Lắp đặt con lăn điện thương mại

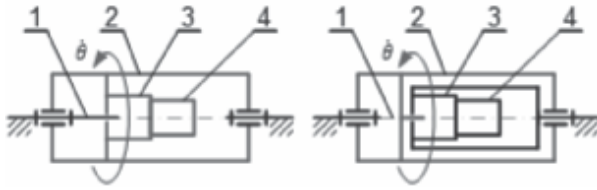
Con lăn điện phù hợp cho những môi trường phức tạp, cần sự tinh gọn và dễ dàng vệ sinh.

Tốc độ truyền của con lăn điện có thể đạt đến 1,3 m/s, làm tăng đáng kể lưu lượng truyền tải sản phẩm, được thiết kế cho phép điều chỉnh tốc độ và hướng một cách linh hoạt và chính xác, do đó tối ưu hóa được dòng nguyên liệu và đảm bảo năng suất tối đa. Ngoài ra, con lăn điện chạy yên tĩnh, ít ồn so với hệ thống con lăn thông thường.

2. PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ

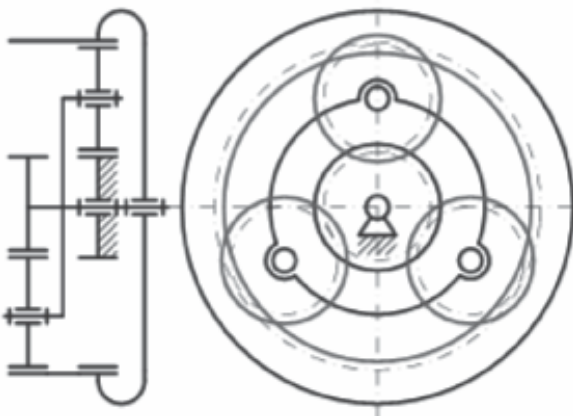
Khi thiết kế con lăn điện phải chú ý: 1) Trục động cơ đứng yên với khung băng tải, còn con lăn quay cung cấp chuyển động cho băng tải; 2) Dây cáp điện vào phải đứng yên. Từ đây, có hai lựa chọn: 1) Kết cấu như Hình 2a – động cơ có trục đứng yên → động cơ phải được thiết kế đặc biệt (không giống động cơ trục quay thông thường); 2) Kết cấu như Hình 2b – động cơ bình thường. Giải pháp thứ nhất thích hợp cho nhà sản xuất chuyên dụng, hàng loạt. Giải pháp thứ hai phù hợp cho các ứng dụng cụ thể, ví dụ: thiết kế này robot platform dẫn động băng trục vít; trục vít tải đặc biệt trong chế biến thủy sản và ngành công nghiệp thực phẩm,...





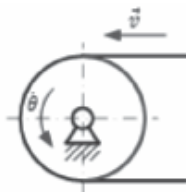
a) Động cơ trục cố định b) Động cơ vỏ cố định
Hình 3. Phương án thiết kế con lăn điện:
1) Trục con lăn (cố định); 2) Con lăn (chuyển động); 3) Hộp giảm tốc (hành tinh); 4) Động cơ.

Hộp giảm tốc của động cơ trong con lăn điện sử dụng giảm tốc hành tinh vì lý do con lăn điện làm việc bằng chuyển động quay tròn, do đó phải quan tâm đến vấn đề cân bằng động cho con lăn khi thiết kế. Khi quan tâm đến bài toán cân bằng, bộ giảm tốc hành tinh là lựa chọn duy nhất vì tính đối xứng và tỉ số truyền lớn. Tùy tỉ số i , hộp giảm tốc hành tinh có thể là 1 hoặc 2 cấp.



Hình 4. Hộp giảm tốc hành tinh 2 cấp

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN



Hình 5. Quan hệ giữa vận tốc băng tải và vận tốc góc của con lăn

Vận tốc băng tải:

$$v = r\dot{\theta}\eta = r\frac{2\pi}{60}n\eta \quad (1)$$

Với, r : bán kính con lăn, mm;

$\dot{\theta}$: vận tốc con lăn, s^{-1} ;

η : hệ số tính đến độ trượt của đai.

Con lăn được dẫn động bởi động cơ DC và được biểu diễn bằng phương trình động lực học sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{v}{I} & \frac{k}{I} \\ \frac{k}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} u \quad (2)$$

$$y = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Với,

x_1 : vận tốc động cơ, $x_1 \stackrel{\text{def}}{=} \dot{\theta}$, s^{-1} ;

x_2 : dòng điện cảm, $x_2 \stackrel{\text{def}}{=} i$, A;

u : điện áp điều khiển, $u \stackrel{\text{def}}{=} v$, V;

y : ngõ ra là vận tốc động cơ, s^{-1} ;

I : momen quán tính, kgm^2 ;

v : ma sát tại ổ trục, Nms;

k_e : hằng số điện, V/rad/s;

k_t : hằng số cơ, Nm/A;

L : độ tự cảm, H;

R : điện trở trong, Ω .

Có thể viết (2) dưới dạng:

$$\ddot{\theta}(t) = -f(\theta, t) + bu(t) + d(t) \quad (4)$$

Biết $f(\theta, t)$, $b > 0$, $d(t)$ là sai số hệ thống gồm cả sai số do mô hình hóa hệ thống, $d_u \leq d \leq d_L$.

Sai số bám quỹ đạo:

$$e = \theta_d - \theta, \dot{e} = \dot{\theta}_d - \dot{\theta} \quad (5)$$

với $\theta_d, \dot{\theta}_d$: vị trí, vận tốc trục động cơ.

Chọn mặt trượt:

$$s = ce + \dot{e} \quad (3)$$

với c : hằng số thỏa điều kiện Hurwitz, $c > 0$.

$$\begin{aligned} \rightarrow \dot{s} &= c\dot{e} + \ddot{e} = c(\ddot{\theta}_d - \ddot{\theta}) \\ &+ (\ddot{\theta}_d + f - bu - d) \quad (4) \end{aligned}$$

Theo nguyên lý mặt trượt:

$$\dot{s} = -\varepsilon \operatorname{sgn}(s) - ks, \quad k > 0, \varepsilon > 0 \quad (5)$$

Từ (4) và (5), ta có:

$$\begin{aligned} c(\ddot{\theta}_d - \ddot{\theta}) + (\ddot{\theta}_d + f - bu - d) \\ = -\varepsilon \operatorname{sgn}(s) - ks \quad (6) \end{aligned}$$

và luật điều khiển trượt cho hệ thống:

$$\begin{aligned} u(t) = \frac{1}{b} [\varepsilon \operatorname{sgn}(s) + ks + c(\ddot{\theta}_d - \ddot{\theta}) \\ + \ddot{\theta}_d + f - d_c] \quad (7) \end{aligned}$$

$$\text{với, } d_c = \frac{d_U + d_L}{2} - \frac{d_U - d_L}{2} \operatorname{sgn}(s)$$

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Các thông số dùng trong mô phỏng:

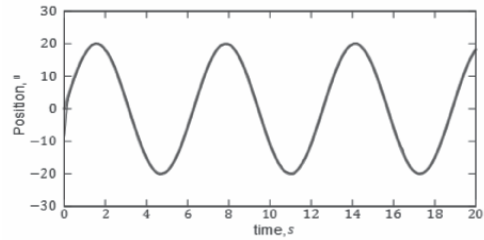
$I = 0,01 \text{kgm}^2$, $b = 0,1 \text{Nm/s}$, $k_e = 0,01 \text{V/rad/s}$, $k_t = 0,01 \text{Nm/A}$, $L = 0,5 \text{H}$, $R = 1 \Omega$.

Controller (7) được sử dụng với:

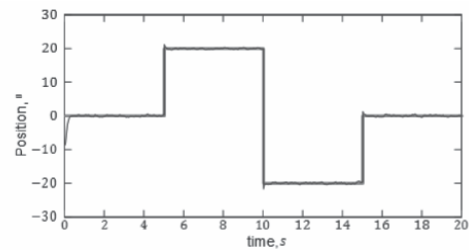
$$f = -\frac{k}{L}x_1 - \frac{R}{L}x_2, \quad b = \frac{1}{L}$$

Vị trí và vận tốc đo trượt dùng cho mô phỏng là 20% giá trị tham chiếu tương ứng. Kết

quả mô phỏng cho điều khiển vị trí với giá trị tham chiếu dạng sin và dạng bước cho ở Hình 6.



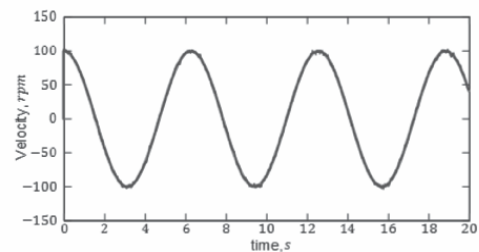
a. Vị trí tham chiếu dạng sin



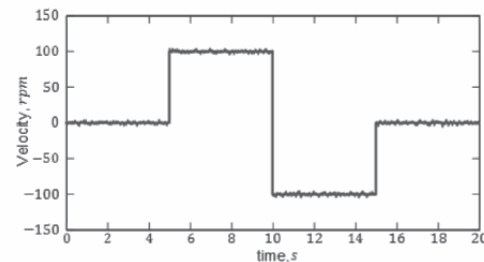
b. Vị trí tham chiếu dạng bước

Hình 6. Đáp ứng vị trí theo các tham chiếu

Kết quả mô phỏng cho điều khiển vận tốc với giá trị tham chiếu dạng sin và dạng bước cho ở Hình 7.



a. Vận tốc tham chiếu dạng sin



b. Vận tốc tham chiếu dạng bước

Hình 7. Đáp ứng vận tốc theo các tham chiếu



Hình 6 và Hình 7 cho thấy bộ điều khiển trượt đề nghị áp dụng cho con lăn điện đáp ứng rất tốt ngay cả khi trượt đai (vị trí, vận tốc) lớn. Bài toán thiết kế con lăn điện và bộ điều khiển vị trí, vận tốc con lăn đang được triển khai tiếp tục tại DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày thiết kế và điều khiển con lăn điện ứng dụng trong băng tải. Kết cấu con lăn điện thông thường với trục đứng yên, vỏ quay được khảo sát và thay thế bằng động cơ điện thông thường với trục quay, vỏ đứng yên. Bộ điều khiển trượt kinh điển được sử dụng cho bài toán điều khiển đảm bảo đáp ứng mong muốn ngay cả khi có sự trượt đai và các thông số của động cơ không chính xác. Kết quả mô phỏng minh chứng cho tính khả thi của giải pháp đề nghị.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2022-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Điều khiển số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **01/8/2022**

Ngày phản biện: **15/8/2022**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Stefan Hamacher; “*The Drum Motor - The All-Rounder in Modern Unit Handling Conveyor Technology*”. Springer Vieweg, 2020.
- [2]. Livinti Petru; “*PWM Control of a DC Motor Used to Drive a Conveyor Belt*”. Procedia

- Engineering, Vol. 100, pp.299-304, 2015.
- [3]. Yanjun Shen and Xiaohua Xia; “*Adaptive Parameter Estimation for an Energy Model of Belt Conveyor with DC Motor*”. Asian Journal of Control, Vol.16, No.3, pp.1–11, 2014.
- [4]. Mircea Popescu et. al.; “*A Line-Fed Permanent-Magnet Motor Solution for Drum-Motor and Conveyor-Roller Applications*”. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.49, No.2, pp.832-840, 2013.
- [5]. S.B. Wang et. al.; “*Finite Element Analysis for Belt Conveyor's Drum*”. Advanced Materials Research, Vol.228-229, pp.764-770, 2011.
- [6]. Mircea Popescu et. al.; “*Experimental Validation of a Simple Multiphysics Model for Drum Roller Driven by Induction Motor*”. The 37th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, Melbourne, Australia, pp. 1848-1853, 2011.
- [7]. Mircea Popescu et. al.; “*A Line-Fed Permanent Magnet Motor Solution for Drum-Motor and Conveyor-Roller Applications*”. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Phoenix, AZ, USA, pp. 3990-3997, 2011.
- [8]. Jia Li et. al.; “*Fatigue Life Reliability Analysis of Belt Conveyor Driving Drums Based on FEM*”. Advanced Materials Research, Vol.118-120, pp. 492-496, 2010.
- [9]. Peter Uttrup; “*A Line-Fed Permanent-Magnet Motor Solution for Drum-Motor and Conveyor-Roller Applications*”. Trends in Food Science & Technology, Vol.20, pp.17-18, 2009.
- [10]. A.E. Gusel'nikov et. al.; “*Asynchronous Induction Roller Motors*”. Russian Electrical Engineering, Vol.79, No.5, pp.243–247, 2008.
- [11]. A.Z. Dalgleish et. al.; “*Measurement and Verification of A Motor Sequencing Controller on A Conveyor Belt*”. Russian Electrical Engineering, Energy, Vol.28, pp.913–927, 2008.
- [12]. Patent US1889173A, 1928.