

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA KHE HỖ BÁNH RĂNG TRONG HỘ SỐ ĐẾN CHẤT LƯỢNG ĐIỀU KHIỂN CÁC HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN DÙNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PID KINH ĐIỂN

RESEARCHING ON THE EFFECT OF GEAR'S GAP IN GEAR TO CONTROL QUALITY OF DRIVER SYSTEM USING TRADITIONAL PID CONTROLLER

Vũ Hữu Thích^{1,*}

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu, đánh giá sự ảnh hưởng của độ rộng khe hở bánh răng trong hộ số đến chất lượng điều khiển của các hệ truyền động điện có sử dụng bộ điều khiển PID kinh điển. Kết quả nghiên cứu dùng để tham khảo cho việc thiết kế, chế tạo và sử dụng các hệ truyền động có hộ số trong thực tiễn.

Từ khóa: Khe hở bánh răng, hệ truyền động điện, bộ điều khiển PID.

ABSTRACT

This paper presents the effect of gear's gaps in the gear to control quality of driver system which uses traditional PID controller. The research's results use for referencing to design, manufacture and use real driver system that has gear.

Keywords: The gear's gap, driver system, PID controller.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

Email: thichvh@haui.edu.vn

Ngày nhận bài: 04/01/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 03/4/2018

Ngày chấp nhận đăng: 21/8/2018

Phản biện khoa học: TS. Võ Quang Vinh

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hộ số từ lâu đã được sử dụng rộng rãi trong các hệ truyền động nói chung. Có thể hiểu hộ số là tập hợp của nhiều cơ cấu bánh răng, dùng để truyền hoặc thay đổi hướng chuyển động giữa các trục với tỉ số truyền xác định nhờ sự ăn khớp trực tiếp giữa các bánh răng. Hộ số được sử dụng với mục đích chủ yếu là: thay đổi tốc độ quay, thay đổi mô men hoặc thay đổi hướng chuyển động. Trục của động cơ truyền động được nối với bánh răng chủ động và truyền chuyển động đến máy sản xuất thông qua bánh răng bị động hoặc các bánh răng trung gian (hình 1).

Hộ số trong các hệ truyền động cần phải đảm bảo được một số yêu cầu kỹ thuật chính: độ chính xác động học; độ chính xác ổn định, độ chính xác tiếp xúc và độ chính xác khe hở mặt bên.



Hình 1. Một số dạng truyền động qua hộ số (nguồn: Internet)

Khi xem xét các hệ thống tự động điều chỉnh truyền động điện (TĐĐ), một giả thiết thường được sử dụng là: *liên kết động học giữa động cơ và máy công tác (MCT) không bị biến dạng đàn hồi*. Điều này chỉ đúng nếu như liên hệ đó không có khe hở, khi đó tốc độ của động cơ truyền động và phần cơ quy đổi đến trục động cơ là bằng nhau không chỉ trong chế độ xác lập mà ở cả chế độ quá độ, còn mô men quán tính của hệ TĐĐ bằng tổng mô men quán tính của động cơ, của hộ số và của cơ cấu công tác quy đổi về trục động cơ. Sự thay đổi mô men tải đối với cơ hệ trong trường hợp này tương đương với sự thay đổi mô men tải đối với động cơ. Trong trường hợp lý tưởng nói trên, liên kết cứng giữa động cơ và cơ cấu công tác là rất khó thực hiện, đặc biệt đối với hệ khi chuyển động ở tốc độ thấp. Liên kết cứng được xác định khi mà tần số dao động đàn hồi riêng của cơ hệ cao hơn nhiều lần tần số xác định tính tác động nhanh của hệ thống điều chỉnh tự động TĐĐ. Nếu điều kiện này không thỏa mãn thì khi bỏ qua yếu tố đàn hồi trong quá trình phân tích và tổng hợp hệ truyền động sẽ dẫn đến sai lệch các kết quả. Với hệ thống có tính tác động nhanh càng cao thì xác suất ảnh hưởng của yếu tố đàn hồi đến chất lượng của hệ thống điều khiển TĐĐ sẽ càng rõ rệt [1].

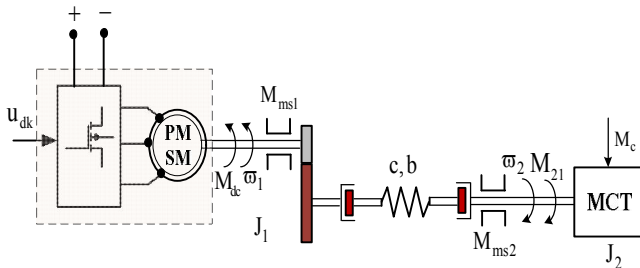
Vấn đề đặt ra ở đây là trong quá trình chế tạo, lắp ráp hoặc sử dụng, khe hở mặt bên không còn được đảm bảo sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác điều khiển, đặc biệt là các đặc tính quá độ của hệ thống như: tăng số lần dao động, tăng độ quá điều chỉnh. Với các hệ thống truyền động sử dụng bộ điều khiển PID kinh điển thì sự ảnh hưởng này là rất rõ rệt và cần phải có các giải pháp để khắc phục.

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ HỘ SỐ

Một cơ hệ thực trên thực tế luôn là hệ thống với các tham số phân bố. Tuy nhiên có thể coi là hệ thống có tham số tập trung khi chấp nhận giả thiết: các khâu đàn hồi là không trọng lượng và được đặc trưng bằng hệ số độ cứng [3];

Xét mô hình cơ hệ có kể đến yếu tố khe hở trên hình 2 trong đó động cơ truyền động là động cơ đồng bộ kích thích vĩnh cửu PMSM (hệ hai khối lượng).

Mô men quán tính của khối lượng thứ nhất J_1 gây ra bởi mô men quán tính của động cơ và hộp số, mô men quán tính của khối lượng thứ hai J_2 gây ra bởi cơ cấu công tác. Dưới tác động của mô men điện từ động cơ M_{dc} và mô men cản M_c từ cơ cấu công tác, truyền động đàn hồi được xoắn với góc ban đầu. Sau khi triệt tiêu các mô men bên ngoài, trong hệ thống xuất hiện dao động tắt dần. Nếu cắt động cơ khỏi nguồn, các dao động sẽ tắt dần dưới tác động của lực ma sát, năng lượng dự trữ trong hệ thống đàn hồi bị triệt tiêu. Để mô tả các lực này, thường sử dụng giả thiết rút gọn trong khuôn khổ lý thuyết tuyến tính. Có thể giả thiết rằng dao động tắt dần nhờ lực ma sát bên trong của khâu đàn hồi và tỷ lệ với hiệu của tốc độ khối lượng thứ nhất ω_1 và tốc độ khối lượng thứ hai ω_2 và nhờ ma sát nhớt bên ngoài trên các khối lượng thứ nhất và thứ hai có thể xác định bằng tốc độ tỷ lệ tương ứng của các khối.



Hình 2. Mô hình cơ hệ khi xét đến đàn hồi, khe hở và ma sát [1]

Ký hiệu: điện áp điều khiển động cơ u_{dk} , góc dịch chuyển của cơ cấu công tác là φ_2 , tốc độ động cơ ω_1 , tốc độ của cơ cấu công tác ω_2 . Mô men đàn hồi của hai khối lượng liên kết M_{21} được tính theo biểu thức [3]:

$$M_{21} = c\vartheta + b\dot{\vartheta} = c\vartheta + b \frac{d\vartheta}{d\Delta\varphi} \Delta\vartheta \quad (1)$$

trong đó: ϑ là góc xoắn gây ra bởi tính đàn hồi, c là hệ số độ cứng, b là hệ số giảm chấn.

Các phân tích trên cho thấy cơ hệ khi xét đến yếu tố đàn hồi, khe hở và ma sát là hệ có tính phi tuyến mạnh. Vì vậy, một phương pháp thường được sử dụng khi xây dựng mô hình toán học cho các đối tượng này là phương pháp tuyến tính hóa có tính đến các đánh giá sai số mô hình.

Kết hợp hệ phương trình vi phân mô tả động cơ PMSM [2] với phương trình vi phân mô tả cấu trúc phần cơ [1] ta có hệ phương trình vi phân mô tả hệ thống (2), trong đó: $F_2(\omega_2, t)$; $F_{dh}(M_{21}, t)$; $F_1(\omega_1, t)$ là các hàm phụ thuộc vào các

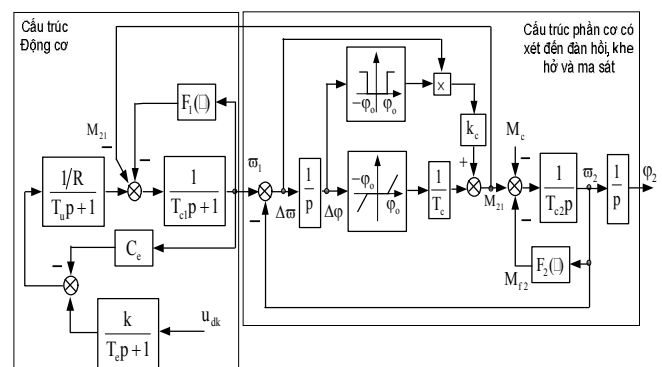
thành phần bất định biến đổi theo thời gian (đàn hồi, khe hở, ma sát) cũng như các tác động nhiễu loạn khác. ω_{dm} , M_{dm} , R và C_e lần lượt là giá trị tốc độ, mô men định mức, điện trở pha và hệ số sức phản điện động của động cơ. Mô men đàn hồi M_{21} được xác định theo biểu thức (1), k_e là hệ số khuếch đại của bộ biến đổi công suất, i là tỉ số truyền của hộp số.

$$\begin{cases} \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2; \\ \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{i^2 M_{dm}}{J_2 \omega_{1dm}} M_{21} - F_2(\omega_2, t) - M_c; \\ \frac{dM_{21}}{dt} = -\frac{c\omega_{1dm}}{i^2 M_{dm}} \omega_2 + \frac{c\omega_{1dm}}{i^2 M_{dm}} \omega_1 + F_{dh}(M_{21}, t); \\ \frac{d\omega_1}{dt} = -\frac{M_{dm}}{J_1 \omega_{1dm}} M_{21} - \frac{1}{R} \frac{J_1 \omega_{1dm}}{M_{dm}} \omega_1 \\ + \frac{k_e}{C_e} \frac{1}{R} \frac{M_{dm}}{J_1 \omega_{1dm}} u_{dk} - F_1(\omega_1, t); \end{cases} \quad (2)$$

Sơ đồ cấu trúc của động cơ và cơ cấu công tác được trình bày trên hình 3. Để cho gọn, các thành phần đánh giá sai số liên quan đến ma sát được ký hiệu: $F_2(\omega_2, t) = F_2(\square)$; $F_1(\omega_1, t) = F_1(\square)$; Các hằng số thời gian của phần cơ trong sơ đồ được tính toán như sau [4]:

$$T_{c1} = \frac{J_1 \omega_{dm}}{M_{dm}}; \quad T_{c2} = \frac{J_2 \omega_{dm}}{i^2 M_{dm}}; \quad T_c = \frac{i^2 M_{dm}}{c \omega_{dm}};$$

$$k_c = \frac{b \omega_{dm}}{i^2 M_{dm}}; \quad k = \frac{k_e}{C_e}$$



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc của động cơ và cơ cấu công tác

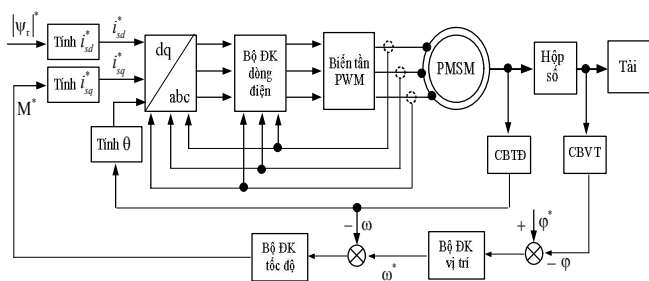
3. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

3.1. Lựa chọn hệ truyền động mô phỏng

Để thấy rõ sự ảnh hưởng của các yếu tố phi tuyến kể trên đến chất lượng điều khiển của các hệ truyền động điện có sử dụng bộ điều khiển PID kinh điển, ở đây sẽ lựa chọn hệ truyền động bám vị trí sử dụng động cơ đồng bộ kích thích vĩnh cửu được mô tả trên hình 2. Sơ đồ hệ truyền động bám vị trí với bộ điều khiển vị trí và bộ điều khiển tốc độ là các bộ PID kinh điển được trình bày trên hình 4. Các bộ điều khiển này được tổng hợp theo phương pháp mô đun tối ưu và mô đun tối ưu đối xứng. Kết quả mô phỏng được kiểm nghiệm với đầy đủ bốn dạng tín hiệu vào đặc

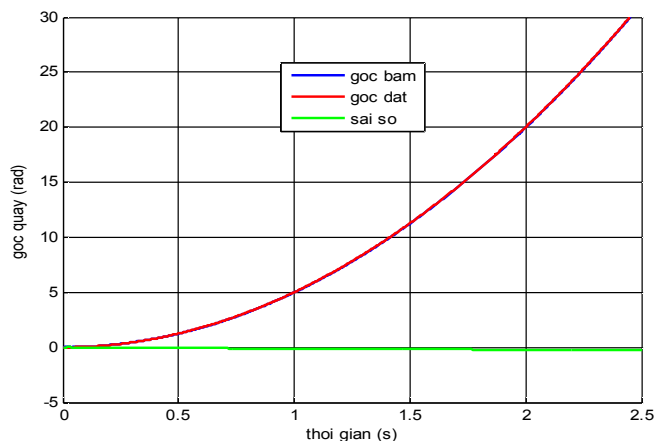
trung của hệ thống bám: hàm vận tốc, hàm gia tốc, hàm hình sin, hàm bước nhảy tương với độ rộng khe hở lần lượt là $\delta = 0,005\text{rad}$ và $\delta = 0,05\text{rad}$.

Các tham số động cơ và các tham số tính toán: Điện trở pha stato: $5,0\Omega$; điện áp pha: 12V ; tốc độ không tải: 2150v/ph ; mô men khởi động: $0,324\text{Nm}$; công suất cơ: 18W ; hằng số thời gian cơ điện: 160ms ; hằng số thời gian điện từ: $0,07\text{ms}$; hệ số mô men: $0,12\text{Nm/A}$; hệ số sức phản điện động: $0,12\text{Vs/rad}$; mô men quán tính: $2,3 \cdot 10^{-4}\text{kg.m}^2$; $k_e = 13,5$; $T_e = 0,0001$; $R = 5,0$; $L = 0,0035$; $C_e = 0,12$; $p = 4$; $J_1 = 0,0023$; $C_m = 0,12$; $T = 0,0007$; $T_{c1} = 0,00012$; $T_{c2} = 0,00086$; $T_c = 0,0001$; $t = 0,0001$.

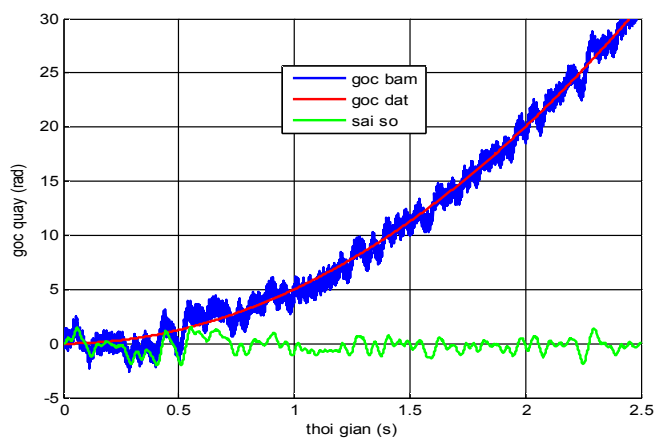


Hình 4. Sơ đồ cấu trúc khối hệ truyền động bám bám vị trí

3.2. Kết quả mô phỏng

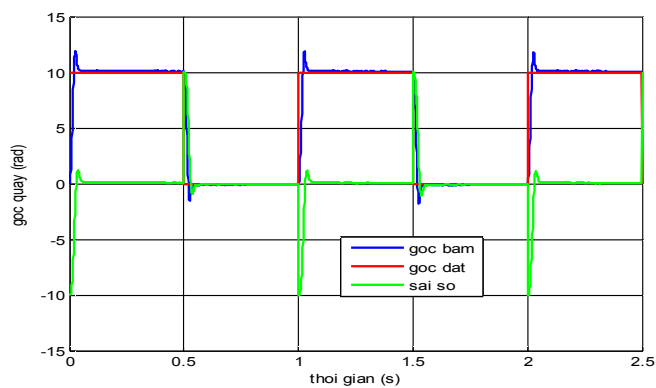


a)

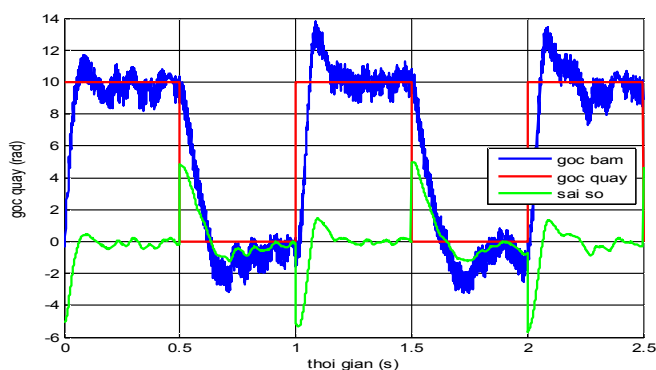


(b)

Hình 5. Đáp ứng góc bám với khe hở $\delta = 0,005\text{rad}$ (a) và $\delta = 0,05\text{rad}$ (b) khi tín hiệu vào là hàm bước nhảy

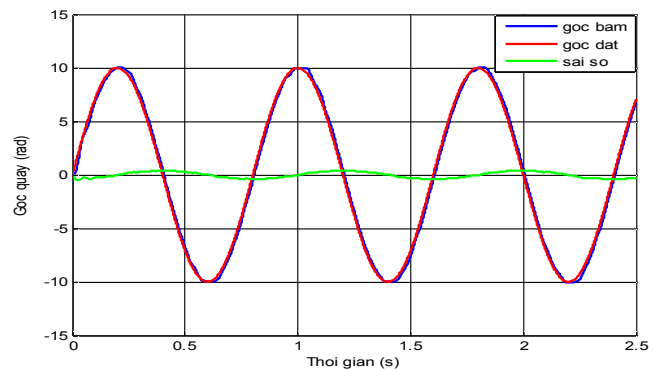


a)

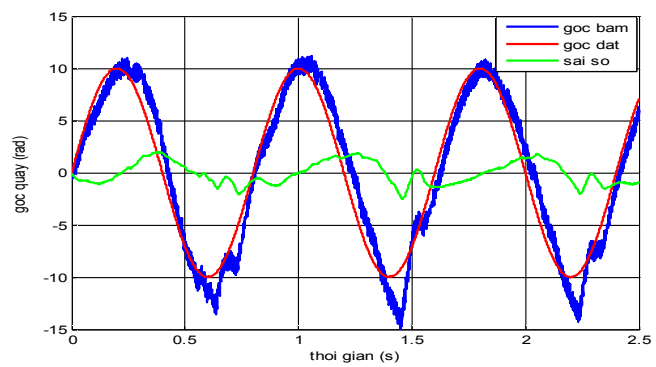


(b)

Hình 6. Đáp ứng góc bám với khe hở $\delta = 0,005\text{rad}$ (a) và $\delta = 0,05\text{rad}$ (b) khi tín hiệu vào là hàm bước nhảy

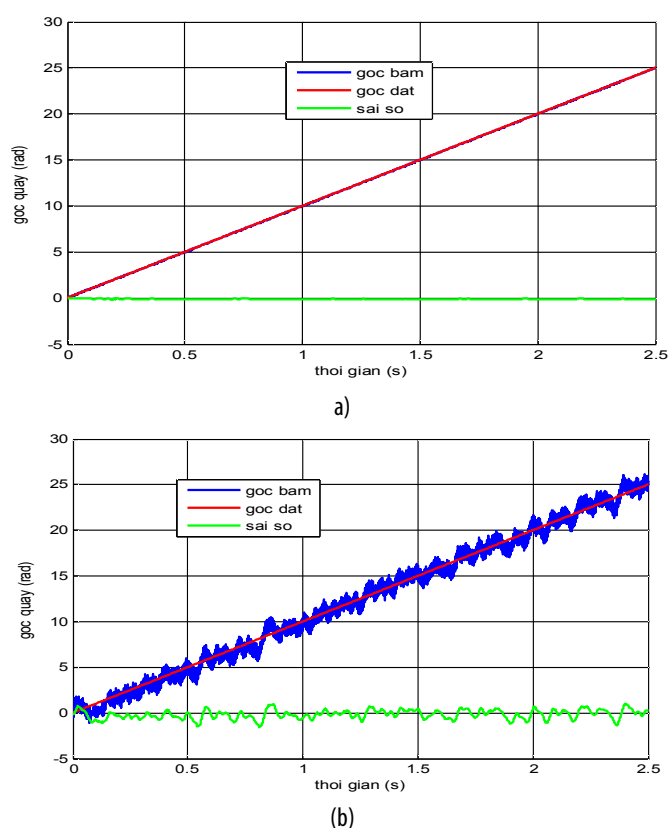


a)



(b)

Hình 7. Đáp ứng góc bám với khe hở $\delta = 0,005\text{rad}$ (a) và $\delta = 0,05\text{rad}$ (b) khi tín hiệu vào hình sin



Hình 8. Đáp ứng góc bám với khe hở $\delta = 0,005\text{rad}$ (a) và $\delta = 0,05\text{rad}$ (b) khi tín hiệu vào là hàm vận tốc

So sánh lần lượt từng cặp đáp ứng trên các hình từ hình 5 ÷ 8, cho thấy: tín hiệu ra bám sát tín hiệu đặt, sai số bám gần như bằng 0 trong trường hợp khe hở không đáng kể $\delta = 0,005\text{rad}$. Tuy nhiên, khi khe hở tăng lên, sai số bám tăng đáng kể trong cả bốn trường hợp (bảng 1).

Bảng 1. Sai số điều khiển khi khe hở bánh răng thay đổi

Tín hiệu vào, độ rộng khe hở (rad)	Sai số	
	Độ quá điều chỉnh (%)	Sai số tĩnh (%)
Hàm Step, $\delta = 0,005$	12	0
Hàm Step, $\delta = 0,005$	≈ 30	$\approx \pm 10$
Hàm sin, $\delta = 0,005$	không đánh giá	$\approx \pm 0,4$
Hàm sin, $\delta = 0,05$	-	$\approx \pm 18$
Hàm Ramp, $\delta = 0,005$	-	0
Hàm Ramp, $\delta = 0,05$	-	$\approx \pm 10$
Hàm at^2 , $\delta = 0,005$	-	0
Hàm at^2 , $\delta = 0,05$	-	$\approx \pm 10$

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, tác giả nghiên cứu ảnh hưởng của khe hở bánh răng đến sai số điều khiển trong các hệ truyền động sử dụng bộ điều khiển PID kinh điển. Kết quả nghiên cứu cho thấy độ rộng khe hở tăng lên đã làm tăng đáng kể độ quá điều chỉnh và sai số tĩnh. kết quả nghiên cứu có thể sẽ là kênh tham khảo tốt cho việc thiết kế, chế tạo và sử dụng các hệ truyền động này trong thực tiễn. Giải pháp khắc phục sự ảnh hưởng của khe hở bánh răng đến chất lượng truyền động sẽ được trình bày trong những nghiên cứu khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đào Hoa Việt, 2012. *Phân tích và tổng hợp hệ thống truyền động điện*. Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- [2]. Chee-Mun Ong. *Dynamic Simulation of Electric Machinery using Matlab/Simulink*. PRENTICE HALL PTR Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- [3]. Борцов Ю. А., Соколовский Г. Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями.- 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат. Санкт- Петербург. отд-ние, 1992.- 288 е.: ил. ISBN 5-283-04544-7
- [4]. Дианов А. Н. Разработка и исследование системы бездатчикового управления вентильным двигателем, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.- 05.09.03 - Москва, 2004.