

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**TÍNH TOÁN BÙ SAI SỐ ĐIỂM CUỐI  
TRÊN ROBOT CÔNG NGHIỆP**

**Ngành: CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO MÁY**

**Mã số: 60.52.01.03**

**Học viên: PHẠM THÀNH ĐỨC**

**Người HD khoa học: TS. PHẠM THÀNH LONG**

Xác nhận của cơ sở đào tạo

**LỜI CAM ĐOAN**

Tôi là: Phạm Thành Đức

Nơi công tác: Công ty TNHH MTV Cơ điện và vật liệu nổ 31-TCCNQP-BQP

Tên đề tài: Tính toán bù sai số điểm cuối trên robot công nghiệp.

Chuyên ngành: Công nghệ chế tạo máy.

Mã số: 62 52 04 01

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của cá nhân tôi. Các số liệu, kết quả có trong luận văn là trung thực và chưa từng được công bố trong bất kỳ một công trình nào khác.

Thái Nguyên, ngày tháng năm 2012

Học viên

Phạm Thành Đức

## LỜI CẢM ƠN

Trong thời gian thực hiện đề tài, tác giả đã nhận được sự quan tâm rất lớn của nhà trường, khoa cơ khí, các thầy cô giáo trường Đại Học Kỹ thuật Công Nghiệp Thái Nguyên và các bạn cùng lớp.

Tác giả xin chân thành cảm ơn Ban giám hiệu, khoa đào tạo Sau đại học, các thầy cô giáo tham gia giảng dạy đã tạo điều kiện cho tác giả hoàn thành luận văn này.

Tác giả xin bày tỏ lời cảm ơn chân thành nhất đến TS. Phạm Thành Long và tập thể cán bộ giảng viên Bộ môn Cơ điện tử đã cho những chỉ dẫn quý báu để hoàn thành luận văn này.

Tác giả cũng xin chân thành cảm ơn ý kiến đóng góp của các thầy giáo thuộc khoa cơ khí và các đồng nghiệp tại Công ty Cơ điện và vật liệu số 31 đã tạo điều kiện thuận lợi và giúp đỡ tác giả tháo gỡ những khó khăn trong thời gian làm luận văn.

Mặc dù đã cố gắng song do kiến thức và kinh nghiệm còn hạn chế nên chắc chắn luận văn không tránh khỏi những thiếu sót, tác giả rất mong muốn sẽ nhận được những chỉ dẫn từ các thầy cô giáo và các bạn đồng nghiệp để luận văn được hoàn thiện và có ý nghĩa hơn nữa trong thực tiễn.

Xin chân thành cảm ơn!

## MỤC LỤC

<b>Mục</b>	<b>Nội dung</b>	<b>Trang</b>
	- Trang phụ bìa luận văn	1
	- Xác nhận của cơ sở đào tạo	2
	- Lời cam đoan	3
	- Lời cảm ơn	4
	- Mục lục	5
	- Danh mục các thuật ngữ, kí hiệu, từ viết tắt	8
	- Danh mục các bảng biểu	10
	- Danh mục các hình vẽ đồ thị	11
	<b>MỞ ĐẦU</b>	13
	1- Tính cấp thiết của đề tài	13
	2- Mục đích, đối tượng và phạm vi nghiên cứu	13
	3- Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài	14
	4- Phương pháp và công cụ nghiên cứu	15
	5- Nội dung luận văn	15
	<b>CHƯƠNG 1 - CÁC SAI SỐ THƯỜNG GẶP TRÊN ROBOT CÔNG NGHIỆP</b>	
1.1	Sai số và ảnh hưởng của nó đến quá trình làm việc của robot	16
1.1.1	Các nguyên nhân gây sai số điểm cuối thường gặp trên robot	16
1.1.2	Phát hiện và đánh giá sai số trên robot công nghiệp	17
1.2	Những phương pháp loại trừ ảnh hưởng của sai số	17
1.2.1	Các phương pháp thụ động	17
1.2.2	Các phương pháp chủ động	19
1.2.2.1	Các phương pháp cơ học	19
1.2.2.2	Các phương pháp trên cơ sở điều khiển	21
1.3	So sánh tính hiệu quả của các phương pháp	21
1.4	Một số nghiên cứu liên quan đến bù sai số robot trên thế giới	22
1.5	Hướng nghiên cứu của đề tài	25
	Kết luận chương 1	25

## **CHƯƠNG 2 – BÙ SAI SỐ TRÊN ROBOT CÔNG NGHIỆP**

2.1	Giới thiệu bài toán	27
2.2	Mô hình tính toán các thành phần sai số của khâu cuối	28
2.2.1	Mô hình lý thuyết FEM	28
2.2.1.1	Mô hình của robot mềm một khâu	29
2.2.1.2	Mô hình của tay máy tổng quát	35
2.2.2	Mô hình thí nghiệm bằng xử lý ảnh	35
2.3	Phương pháp điểm sinh bù sai lệch điểm cuối	35
2.3.1	Xây dựng mô hình toán từ hệ thực	36
2.3.2	Giải thuật bù sai số Online	37
2.4	Những hạn chế của phương pháp	38
	Kết luận chương 2	39

## **CHƯƠNG 3 – TÍNH TOÁN BÙ SAI SỐ ĐIỂM CUỐI**

3.1	Hệ phương trình động học đặc trưng của robot	40
3.1.1	Phân tích bài toán	40
3.1.2	Quy tắc DH	41
3.2	Phương trình vòng kín và bài toán động học ngược thứ nhất	42
3.2.1	Sơ lược về giải bài toán động học ngược trên robot	42
3.2.2	Phương pháp tối ưu giải bài toán động học ngược	44
3.3	Giải bài toán ngược với công cụ Solver của MS office	47
3.3.1	Giới thiệu chung về giải thuật và phương pháp	47
3.3.2	Minh họa các thao tác chính với công cụ Solver	50
3.4	Tính toán biến dạng của cấu trúc với phần mềm FEM	53
3.4.1	Xây dựng mô hình liên tục với CAD	53
3.4.2	Giới thiệu phần mềm Cosmos Design Star	54
3.5	Điểm sinh và bài toán động học ngược thứ hai	58
3.6	Kiểm tra dữ liệu vòng tròn	58
3.7	Ví dụ tính toán bù sai số biến dạng cho robot ba khâu phẳng	60
3.8	Tính toán bù tinh trên cơ sở lược bù thô	63
3.8.1	Sự giới hạn của lần bù thứ nhất	63

3.8.2	Nguyên tắc tính toán điểm sinh lần bù thứ hai	64
3.8.3	Ví dụ bù sai số hai bước cho robot ba khâu phẳng	65
	- KẾT LUẬN CHƯƠNG 3	74
	- KẾT LUẬN CỦA LUẬN VĂN	75
	- DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ	76
	- TÀI LIỆU THAM KHẢO	77

**DANH MỤC**  
**CÁC THUẬT NGỮ, KÍ HIỆU, TỪ VIẾT TẮT**

TT	KÍ HIỆU	DIỄN GIẢI NỘI DUNG ĐẦY ĐỦ	ĐƠN VỊ
1	$a_{(\dots)}$	Approach (Véc tơ hướng tiếp cận vật thể của bàn kẹp)	
2	$a_i$	Lượng tịnh tiến dọc theo trục ox	(mm)
3	$A_i$	Ma trận truyền giữa khâu (i-1) và khâu (i)	
4	$A^T$	Transpose (A)	
5	$a_i$	Góc quay quanh trục ox	(rad)
6	$C_{ijk}$	$\text{Cos}(q_i + q_j + q_k)$	
7	C	Ma trận hệ số cân của cấu trúc	
8	D	Miền thỏa mãn các ràng buộc vật lí của các khớp	
9	DH	Denavit-Hartenbeg	
10	$d_i$	Lượng tịnh tiến dọc theo trục oz	(mm)
11	E	Mô đun đàn hồi của vật liệu	
12	F	Ma trận lực nút	
13	FEM	Phương pháp phần tử hữu hạn	
14	IR	Industrial Robot	
15	J	Mô men quán tính mặt cắt ngang của thanh	
16	K	Ma trận độ cứng cấu trúc	
17	M	Ma trận khối lượng cấu trúc	
18	$n_{(\dots)}$	Normal. (Véc tơ pháp tuyến của mặt phẳng chứa s, a)	
19	n	Số bậc tự do của robot	
20	$P_{Cx}$	Chuyển vị của điểm C theo phương trục x	
21	$P_{Cy}$	Chuyển vị của điểm C theo phương trục y	
22	$q_i$	Biến khớp thứ (i)	
23	$q_i'$	Vận tốc (dài/góc) khớp thứ (i)	
24	$q_i''$	Gia tốc (dài/góc) khớp (i)	
25	RPY	Roll-Pitch-Yaw	
26	$s_{(\dots)}$	Sliding. (Véc tơ hướng đóng mở bàn kẹp)	



27	$S_{ijk}$	$\text{Sin}(q_i + q_j + q_k)$	
28	${}^0T_n$	Phương trình động học thuận	
29	${}^{i-1}T_i$	Biểu diễn của hệ quy chiếu (i) trong hệ quy chiếu (i-1)	
30	$U''$	Véc tơ gia tốc nút	
31	$u$	Véc tơ chuyển vị nút	

**DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU**

<b>KÍ HIỆU</b>	<b>NỘI DUNG BẢNG BIỂU</b>	<b>TRANG</b>
3.1	Ý nghĩa các thuật ngữ của công cụ Solver trên giao diện chương trình	48
3.2	Ý nghĩa các tùy chọn trong Option của công cụ Solver	49
3.3	So sánh kết quả bù sai số 2 bước và sai số không bù	73