

*BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN*

-----***-----

NGUYỄN ANH ĐỨC

**ĐIỀU KHIỂN TÍCH CỰC DAO ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG
ỐNG DẪN DẦU KHÍ TRONG KHAI THÁC DẦU BIỂN**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Thái Nguyên - Năm 2018

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của cá nhân tôi dưới sự hướng dẫn của tập thể các nhà khoa học và các tài liệu tham khảo đã trích dẫn. Kết quả nghiên cứu là trung thực và chưa được công bố trên bất cứ một công trình nào khác.

Tác giả

Nguyễn Anh Đức

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình làm luận án với đề tài “*Điều khiển tích cực dao động của hệ thống ống dẫn dầu khí trong khai thác dầu biển*”, tôi đã nhận được rất nhiều góp ý về chuyên môn cũng như sự ủng hộ của các tổ chức, của tập thể cán bộ hướng dẫn, của các nhà khoa học, của các bạn đồng nghiệp. Tôi xin được gửi tới họ lời cảm ơn sâu sắc.

Tôi xin bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc đến GS. TS. Đỗ Khắc Đức đã tâm huyết hướng dẫn tôi trong suốt thời gian qua để hoàn thành luận án này.

Tôi cũng xin chân thành cảm ơn các đồng nghiệp, tập thể các nhà khoa học Trường đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên, của Viện Điện trường Đại học Bách Khoa Hà Nội đã có những ý kiến đóng góp quý báu, các Phòng ban của Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp và Khoa Điện đã tạo điều kiện thuận lợi cho tôi trong suốt quá trình thực hiện đề tài luận án.

Tôi giành những lời biết ơn chân thành nhất gửi đến gia đình. Sự động viên, chia sẻ và giúp đỡ của gia đình là động lực mạnh mẽ giúp tôi vượt qua mọi khó khăn, thử thách để hoàn thành luận án này.

Tác giả

Nguyễn Anh Đức

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	iii
MỤC LỤC	iv
Các ký hiệu được sử dụng	vii
Các ký hiệu viết tắt	ix
Bảng danh mục các hình vẽ	x
PHẦN MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết, mục đích và nhiệm vụ của đề tài	1
2. Mục tiêu của luận án	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	3
4. Phương pháp nghiên cứu	3
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn	5
6. Bố cục của luận án	6
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN ỚNG DẪN DẦU TRONG LÒNG BIỂN	8
1.1 Các hệ thống khai thác dầu khí ngoài đại dương	9
1.1.1 Phân loại hệ thống ống dẫn dầu khí	9
1.1.2 Hệ thống neo giữ tàu khai thác trên biển	9
1.1.3 Các yếu tố ảnh hưởng tới sự làm việc của hệ thống ống dẫn dầu khí	11
1.1.4 Cơ cấu dẫn động của hệ thống ống dẫn dầu	12
1.2 Bài toán điều khiển ống dẫn dầu	14
1.2.1 Các giả thiết đơn giản hóa	14
1.2.2 Các điều kiện biên của ống dẫn dầu	15
1.3 Các phương pháp điều khiển biên ống dẫn dầu	17
1.3.1 Các phương pháp điều khiển kinh điển	17
1.3.2 Các phương pháp điều khiển hiện đại	18
1.3.2.1 Phương pháp điều khiển theo mô hình	18
1.3.2.2 Phương pháp điều khiển biên	19

1.3.3	Các nghiên cứu khoa học trong lĩnh vực khai thác dầu khí ở Việt Nam	21
1.4	Bài toán nghiên cứu điều khiển ống dẫn dầu khí của luận án	23
1.5	Kết luận chương 1	25
CHƯƠNG 2: ĐIỀU KHIỂN BÙ CHUYỂN ĐỘNG DỌC TRỤC CỦA ỐNG DẪN DẦU TRONG LÒNG BIỂN		26
2.1	Các phương pháp điều khiển đã có	27
2.1.1	Bù thụ động	27
2.1.2	Bù chủ động	28
2.1.2.1	Nguyên lý chung	29
2.1.2.2	Một số phương pháp hiện đang sử dụng	30
2.2	Đề xuất hai phương pháp điều khiển bù chủ động	32
2.2.1	Chuẩn hóa mô hình và nhiệm vụ điều khiển	33
2.2.2	Đề xuất thứ nhất: Bộ điều khiển backstepping giả định rõ	37
2.2.2.1	Thiết kế bộ điều khiển phản hồi trạng thái	38
2.2.2.2	Xây dựng bộ quan sát nhiễu	41
2.2.2.3	Bộ điều khiển backstepping giả định rõ	44
2.2.2.4	Tính ổn định của hệ kín	44
2.2.2.5	Xác định các tham số bộ điều khiển để hệ thỏa mãn thêm các điều kiện ràng buộc	46
2.2.3	Đề xuất thứ hai: Bộ điều khiển tối ưu thích nghi	48
2.2.3.1	Bộ điều khiển tối ưu tiên định	49
2.2.3.2	Xây dựng khâu ước lượng các thành phần nhiễu	51
2.2.3.3	Hệ thống điều khiển tối ưu thích nghi	52
2.2.3.4	Tính ổn định của hệ kín	53
2.2.3.5	Khả năng thỏa mãn thêm các điều kiện ràng buộc	54
2.2.4	Đánh giá chất lượng hai bộ điều khiển đã đề xuất thông qua mô phỏng	56
2.2.4.1	So sánh và đánh giá chất lượng ước lượng thích nghi thành phần nhiễu của hai bộ điều khiển	57
2.2.4.2	So sánh và đánh giá chất lượng điều khiển bám có ràng buộc của hai bộ điều khiển	59
2.3	Kết luận	60

CHƯƠNG 3: ĐIỀU KHIỂN BÙ CHUYỂN ĐỘNG HAI CHIỀU DỌC VÀ NGANG TRỰC CỦA ỐNG DẪN DẦU TRONG LÒNG BIỂN	60
3.1 Mô hình mô tả dạng uốn cong của đường ống dẫn dầu	64
3.1.1 Nguyên lý Hamilton mở rộng	65
3.1.2 Phương trình mô tả độ cong đường ống dẫn dầu trong lòng đại dương dưới tác động của ngoại lực	66
3.1.2.1 Mô hình hóa độ cong của đường ống dẫn dầu theo một chiều	67
3.1.2.2 Mô hình hóa độ cong đường ống theo cả hai chiều trong không gian	72
3.2 Thiết kế bộ điều khiển	77
3.2.1 Bộ điều khiển theo một phương ngang	77
3.2.1.1 Thiết kế bộ điều khiển	78
3.2.1.2 Đánh giá chất lượng ổn định của hệ kín	82
3.2.1.3 Chứng minh tồn tại và duy nhất của nghiệm hệ thống vòng kín	86
3.2.2 Bộ điều khiển theo cả hai phương dọc và ngang trực trong không gian	86
3.2.2.1 Thiết kế bộ điều khiển	87
3.2.2.2 Đánh giá chất lượng ổn định của hệ kín	92
3.2.2.3 Chứng minh tồn tại và duy nhất của nghiệm hệ thống vòng kín	99
3.3 Kiểm chứng chất lượng bộ điều khiển thông qua mô phỏng	99
3.3.1 Kiểm chứng chất lượng bộ điều khiển theo một phương ngang	99
3.3.2 Kiểm chứng chất lượng bộ điều khiển theo cả hai phương dọc và ngang trực trong không gian	107
3.4 Kết luận	117
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	118
Những vấn đề đã được giải quyết	119
Những vấn đề còn tồn tại và kiến nghị	120
CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ	121
TÀI LIỆU THAM KHẢO	122
PHỤ LỤC	126

Các ký hiệu được sử dụng

Ký hiệu	Ý nghĩa
m_H	Khối lượng của cán xi-lanh của hệ thủy lực
x_H	Độ dịch chuyển của cán xi-lanh (pít-tông) của hệ thủy lực
x_{Hv}	Độ dịch chuyển của van trượt
A_H	Diện tích bề mặt của pít-tông
P_H	Áp suất tải của xi-lanh
b_H	Hệ số ma sát nhớt lên pít-tông
i_H	Dòng điện đầu vào điều khiển của hệ thủy lực.
$D(t, x_H, z, \dot{x}_H, \dot{z})$	Lực tác dụng lên cán xi-lanh từ ống dẫn dầu (nhiều tác động lên hệ)
b_{He}	Mô-đun đàn hồi tác dụng
L	Khoảng cách từ đầu trên của ống dẫn dầu xuống tới đáy biển
$z(t)$	Chuyển động dọc trục của tàu/giàn khoan nổi
M	Khối lượng của cơ cấu chấp hành
D, B	Các hệ số liên quan đến vị trí và vận tốc của cơ cấu chấp hành
a	Biến điều khiển ảo
x_{1e}, x_{2e}, \dots	Các sai lệch vị trí
w	Tốc độ chuyển động lên xuống của tàu khai thác
V	Hàm Lyapunov
J	Hàm mục tiêu
H	Hàm Hamilton
$\underline{p} = (p_1, p_2)^T$	Biến đồng trạng thái của hệ
v	Tín hiệu điều khiển tối ưu
T	Động năng
P	Thế năng
U	Năng lượng tạo ra từ sự biến dạng vật chất phía bên trong
W	Năng lượng chịu tải của vật chất dưới tác động của các ngoại lực
dW	Biến thiên năng lượng chịu tải của vật chất
W_c	Công ảo gây ra do các lực không bảo toàn
W_b	Sự chuyển mô-men ảo tại biên

A	Diện tích mặt cắt ngang của ống dẫn dầu
E	Hệ số đàn hồi Young
I	Mô-men quán tính của mặt cắt ngang ống dẫn dầu
P_0	Lực hướng trục không đổi
c, d_1, d_2	Hệ số cản nhớt
r_w	Khối lượng riêng của nước
C_D	Hệ số vận tốc dịch chuyển ngang
D	Đường kính của ống dẫn dầu
$u(z, t)$	Căn bậc hai của tốc độ hạt nước
$a(z, t)$	Gia tốc của hạt nước
f^x, f^z	Các thành phần ngoại lực tác động lên ống dẫn dầu theo phương dọc và ngang trục x, z
$\underline{u}(z, t)$	Véc tơ mô tả sự biến dạng của đường ống dẫn dầu trong không gian hai chiều x, z
$u^x(z, t)$	Mô hình độ cong đường ống dẫn dầu theo phương ngang trục x bởi thành phần ngoại lực f^x .
$u^z(z, t)$	Mô hình độ cong đường ống dẫn dầu theo phương dọc trục z bởi thành phần ngoại lực f^z .
D	Thành phần nhiễu bất định
\hat{D}	Khâu ước lượng nhiễu
D_e	Sai lệch ước lượng nhiễu

Các ký hiệu viết tắt

Viết tắt	Ý nghĩa	
AHC	Bộ bù chủ động	<i>Active Heave Compensator</i>
PHC	Bộ bù thụ động	<i>Passive Heave Compensator</i>
BOP	Bộ phận bít an toàn	<i>Blowout Preventer</i>
DP	Định vị động	<i>Dynamic Positioning</i>
ISS	Trạng thái ổn định ISS	<i>Input-to-State Stability</i>

Bảng danh mục các hình vẽ

Hình 1.1: Mô hình hệ thống ống dẫn và tàu khai thác dầu trên biển.....	8
Hình 1.2: Hệ thống tàu khai thác dầu trên biển.....	10
Hình 1.3: Hệ thống ống dẫn điển hình	12
Hình 1.4: Sơ đồ minh họa cấu trúc của hệ thống van và pít-tông thủy lực.....	12
Hình 1.5: Sơ đồ áp suất đỉnh ống dẫn dầu với thùng chứa nổi [12].....	15
Hình 1.6: Hệ thống ống dẫn biển và các thiết bị liên quan [12].....	16
Hình 2.1: Nhiệm vụ điều khiển ổn định dọc trục ống dẫn dầu.....	26
Hình 2.2: Cấu trúc của hệ thống điều khiển PHC.....	28
Hình 2.3: Mô hình hệ thống bù AHC	29
Hình 2.4: Hành trình xi-lanh trong bộ AHC.....	30
Hình 2.5: Sơ đồ minh họa của hệ thống AHC.....	31
Hình 2.6: Hệ quy chiếu và các lực tác dụng lên ống dẫn theo phương dọc trục.....	33
Hình 2.7: Tốc độ chuyển động lên xuống của tàu khai thác	40
Hình 2.8: Tín hiệu nhiễu D	41
Hình 2.9: Khoảng cách được duy trì $ x + z(t) - L $	41
Hình 2.10: Sơ đồ cấu trúc điều khiển bù chuyển động dọc trục.....	44
Hình 2.11: Nguyên lý bù thích nghi ở tín hiệu đầu vào	49
Hình 2.12: Sơ đồ khối của bộ điều khiển tối ưu.....	51
Hình 2.13: Sơ đồ khối của khâu ước lượng nhiễu	52
Hình 2.14: Hệ thống điều khiển tối ưu thích nghi.....	52
Hình 2.15: Hệ thống điều khiển tối ưu thích nghi khi có ràng buộc về độ lớn của tín hiệu điều khiển	56
Hình 2.16: Giá trị thực w và giá trị ước lượng \hat{w} (sử dụng bộ quan sát)	57
Hình 2.17: Giá trị thực D và giá trị ước lượng \hat{D} (sử dụng bộ quan sát)	57
Hình 2.18: Giá trị thực D và giá trị ước lượng \hat{D}	58
Hình 2.19: Khoảng cách được duy trì $ x + z(t) - L $ khi sử dụng phương pháp điều khiển cuốn chiếu	59