

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG  
KHOA CÔNG NGHỆ TỰ ĐỘNG HÓA



Th.S. Nguyễn Thị Thu Hiền  
Th.S. Phạm Thị Hồng Anh

**BÀI GIẢNG**  
**LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG**

**Tài liệu lưu hành nội bộ**

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG  
KHOA CÔNG NGHỆ TỰ ĐỘNG HÓA

Th.S. Nguyễn Thị Thu Hiền

Th.S. Phạm Thị Hồng Anh

**BÀI GIẢNG**  
**LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG**

**Thái Nguyên, tháng 6 năm 2022**

## MỤC LỤC

<b>MỤC LỤC</b> .....	<b>3</b>
<b>DANH MỤC HÌNH ẢNH</b> .....	<b>7</b>
<b>CÁC TỪ VIẾT TẮT</b> .....	<b>10</b>
<b>MỞ ĐẦU</b> .....	<b>11</b>
<b>CHƯƠNG 1: MÔ TẢ MỘT HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN CƠ BẢN</b> .....	<b>12</b>
Bài 1: Khái niệm về hệ thống điều khiển tự động (Số tiết: 03 tiết).....	12
<b>1.1 Các khái niệm cơ bản</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2 Các phần tử cơ bản của hệ thống điều khiển tự động</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3. Các nguyên tắc điều khiển cơ bản</b> .....	<b>14</b>
1.3.1. Nguyên tắc điều khiển theo sai lệch.....	14
1.3.2. Nguyên tắc điều khiển theo tín hiệu nhiễu loạn (bù nhiễu) .....	15
1.3.3. Nguyên tắc điều khiển hỗn hợp (theo sai lệch và bù nhiễu) .....	15
1.3.4. Nguyên tắc điều khiển thích nghi.....	16
<b>1.4. Phân loại các hệ thống điều khiển tự động</b> .....	<b>16</b>
1.4.1 Phân loại theo nguyên lý xây dựng.....	16
1.4.2. Phân loại theo tính chất của lượng vào.....	17
1.4.3. Phân loại theo dạng tín hiệu sử dụng trong hệ thống.....	17
1.4.4. Phân loại theo dạng phương trình toán học mô tả hệ thống.....	18
1.4.5. Phân loại theo tính chất của các tác động bên ngoài.....	18
1.4.6. Phân loại theo số lượng đại lượng cần điều khiển.....	18
<b>1.5. Quá trình thiết lập một hệ thống điều khiển</b> .....	<b>19</b>
<b>Câu hỏi, bài tập chương 1</b> .....	<b>19</b>
<b>CHƯƠNG 2: MÔ HÌNH TOÁN HỌC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN</b> .....	<b>21</b>
Bài 2: Hàm truyền đạt của hệ thống điều khiển (Số tiết: 03) .....	21
<b>2.1 Các khâu cơ bản</b> .....	<b>21</b>
2.1.1 Khâu khuếch đại.....	21
2.1.2 Khâu tích phân .....	21
2.1.3 Khâu vi phân .....	22
2.1.4 Khâu bậc nhất .....	22
2.1.5 Khâu bậc hai .....	22
2.1.6 Khâu bậc n .....	22
<b>2.2 Mô hình trong miền tần số</b> .....	<b>22</b>
2.2.1 Khái niệm về phép biến đổi Laplace và ứng dụng .....	22
2.2.2 Hàm số truyền của hệ thống ĐKTD.....	33
2.2.3 Hàm truyền đạt của mạch điện .....	35
2.2.4 Hàm truyền của hệ thống cơ khí .....	37
2.2.5 Sự tương đương giữa hệ cơ khí với một mạch điện .....	40
2.2.6 Hàm truyền của các phân tử điện tử.....	41
<b>Bài 3: Mô hình toán học trong miền thời gian ( 3 tiết)</b> .....	<b>44</b>
<b>2.3 Mô hình toán học trong miền thời gian</b> .....	<b>44</b>
2.3.1 Khái niệm trạng thái và biến trạng thái.....	44
2.3.2 Hệ tuyến tính hệ số hằng.....	46

2.3.3 Ứng dụng biểu diễn mô hình toán học trên không gian trạng thái.....	46
<b>2.4 Chuyển từ hàm truyền đạt sang không gian trạng thái và ngược lại .....</b>	<b>49</b>
2.4.1 Chuyển từ hàm truyền đạt sang không gian trạng thái.....	49
2.4.2 Chuyển từ không gian trạng thái sang hàm truyền đạt.....	53
<b>2.5 Tuyến tính hóa.....</b>	<b>54</b>
<b>Câu hỏi bài tập chương 2: .....</b>	<b>54</b>
<b>CHƯƠNG 3: ĐÁP ỨNG THỜI GIAN .....</b>	<b>58</b>
<b>Bài 4: Đặc tính của các khâu động học (3 tiết).....</b>	<b>58</b>
<b>3.1 Các đặc tính của hệ thống ĐKTD.....</b>	<b>58</b>
3.1.1 Đặc tính thời gian .....	58
3.1.4 Đặc tính tần số. ....	59
<b>3.2 Các khâu động học điển hình.....</b>	<b>62</b>
3.2.1 Định nghĩa các khâu động học điển hình .....	62
3.2.2. Các khâu nguyên hàm. ....	63
3.2.3 Khâu tích phân. ....	67
3.2.4 Khâu vi phân .....	68
3.2.5 Khâu trễ.....	69
<b>3.3 Mô hình ZPK (Zero, Pole and Gain).....</b>	<b>70</b>
<b>Câu hỏi và bài tập: .....</b>	<b>72</b>
<b>Bài 5: Một số vấn đề hệ thống bậc 1 và bậc 2 ( số tiết 03).....</b>	<b>74</b>
<b>3.4 Hệ thống bậc nhất .....</b>	<b>74</b>
<b>3.5 Hệ thống bậc 2.....</b>	<b>77</b>
3.5.1 Hệ thống đáp ứng xung tắt dần (Overdamped) .....	78
3.5.2 Hệ thống đáp ứng dưới tắt dần (Underdamped) .....	79
3.5.3 Hệ thống đáp ứng không bị nhụt (Undamped) .....	80
3.5.4 Hệ thống đáp ứng tắt dần tới hạn (Critically Damped Response) .....	80
3.5.5 Tìm đáp ứng tự do .....	81
<b>3.6 Một số vấn đề chung về hệ thống bậc hai .....</b>	<b>81</b>
<b>3.7 Hệ thống bậc hai dưới tắt dần (Underdamped).....</b>	<b>83</b>
<b>Câu hỏi và bài tập: .....</b>	<b>86</b>
<b>Câu hỏi và bài tập chương 3: .....</b>	<b>88</b>
<b>CHƯƠNG 4: CÁC PHƯƠNG PHÁP GIẢM THIỂU HỆ THỐNG ĐA CẤP ....</b>	<b>91</b>
<b>Bài 6: Các phương pháp giảm thiểu hàm đa cấp( số tiết 03).....</b>	<b>91</b>
<b>4.1 Sơ đồ khối của một hệ thống.....</b>	<b>91</b>
4.1.1 Hệ thống dạng nối tiếp.....	91
4.1.2 Hệ thống dạng song song(Parallel Form) .....	93
4.1.3. Hệ thống dạng phản hồi (Feedback Form).....	93
<b>4.2 Phân tích và thiết kế hệ thống phản hồi.....</b>	<b>97</b>
<b>Câu hỏi và bài tập: .....</b>	<b>100</b>
<b>Bài 7: Grap tín hiệu ( số tiết 03) .....</b>	<b>104</b>
<b>4.3 Grap tín hiệu .....</b>	<b>104</b>
4.3.1 Các khái niệm cơ bản.....	104

4.3.2 Các dạng biểu diễn Graph tín hiệu .....	104
4.3.3 Các quy tắc biến đổi Graph .....	105
4.3.4 Quy tắc Masson .....	105
<b>Câu hỏi và bài tập chương 4: .....</b>	<b>107</b>
<b>CHƯƠNG 5: SỰ ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG.....</b>	<b>111</b>
<b>Bài 8: Tiêu chuẩn ổn định đại số (Số tiết: 03) .....</b>	<b>111</b>
<b>5.1 Khái niệm về ổn định hệ thống điều khiển tự động.....</b>	<b>111</b>
<b>5.2. Nhận xét chung.....</b>	<b>112</b>
<b>5.3 Tiêu chuẩn ổn định đại số. ....</b>	<b>112</b>
5.3.1 Tiêu chuẩn Routh .....	113
5.3.2 Tiêu chuẩn Hurwitz .....	114
5.3.3 Một số trường hợp đặc biệt của tiêu chuẩn Routh.....	115
5.3.4. Sử dụng tiêu chuẩn Routh – Hurwitz để thiết kế sự ổn định .....	117
<b>Câu hỏi và bài tập .....</b>	<b>118</b>
<b>Bài 9: Tiêu chuẩn ổn định tần số (Số tiết: 03) .....</b>	<b>120</b>
<b>5.4. Tiêu chuẩn ổn định tần số .....</b>	<b>120</b>
5.4.1. Tiêu chuẩn ổn định Nyquist.....	120
5.4.2. Tiêu chuẩn ổn định Mikhailov .....	122
<b>5.5. Xét ổn định cho hệ có mô tả toán học dưới dạng mô hình trạng thái.....</b>	<b>123</b>
<b>Câu hỏi và bài tập .....</b>	<b>124</b>
<b>Câu hỏi và bài tập chương 5: .....</b>	<b>126</b>
<b>CHƯƠNG 6: CHẤT LƯỢNG HỆ THỐNG.....</b>	<b>128</b>
<b>Bài 10: Sai số ở trạng thái xác lập và loại hệ thống (Số tiết: 03) .....</b>	<b>128</b>
<b>6.1 Mở đầu .....</b>	<b>128</b>
<b>6.2 Sai số ở trạng thái xác lập (SSE) .....</b>	<b>129</b>
6.2.1. SSE đối với hệ hở ( $T(s)$ ) .....	129
6.2.2. SSE đối với hệ thống phản hồi đơn vị .....	130
<b>6.3. Hằng số sai số tĩnh và loại hệ thống .....</b>	<b>133</b>
6.3.1. Hằng số sai số tĩnh .....	133
6.3.2. Loại hệ thống.....	136
<b>Câu hỏi và bài tập .....</b>	<b>137</b>
<b>Bài 11: Các tham số kỹ thuật rút ra từ SSE và tính SSE cho hệ thống phản hồi, hệ thống có nhiễu (Số tiết: 03) .....</b>	<b>140</b>
<b>6.4. Các tham số kỹ thuật rút ra từ SSE .....</b>	<b>140</b>
<b>6.5. SSE cho nhiễu .....</b>	<b>141</b>
<b>6.6. SSE cho hệ thống phản hồi không phải là đơn vị .....</b>	<b>143</b>
<b>6.7 Độ nhạy .....</b>	<b>146</b>
<b>Câu hỏi và bài tập chương 6: .....</b>	<b>147</b>
<b>CHƯƠNG 7: TỔNG HỢP HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN .....</b>	<b>152</b>
<b>Bài 12: Tổng hợp hệ thống điều khiển( số tiết 03) .....</b>	<b>152</b>
<b>7.1. Khái niệm.....</b>	<b>152</b>

<b>7.2. Bộ điều khiển PID .....</b>	<b>153</b>
7.2.1. Định nghĩa.....	153
7.2.2. Các Luật Điều Khiển.....	154
<b>7.3. Các phương pháp tổng hợp Bộ điều khiển PID .....</b>	<b>160</b>
7.3.1. Phương pháp Ziegler–Nichols .....	161
7.3.2. Phương pháp tổng hằng số thời gian (Kuhn ) .....	165
<b>7.4. Tính điều khiển được và quan sát được .....</b>	<b>166</b>
<b>Câu hỏi và bài tập chương 7: .....</b>	<b>167</b>
<b>Câu 1. Tổng hợp bộ điều khiển là gì? Tại sao phải tổng hợp bộ điều khiển? .....</b>	<b>167</b>
<b>CHƯƠNG 8: HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ [1].....</b>	<b>172</b>
<b>Bài 13: Hệ thống điều khiển số ( số tiết 03) .....</b>	<b>172</b>
<b>8.1 Mở đầu .....</b>	<b>172</b>
<b>8.2. Mô hình giữ mẫu bậc không (ZOH – zero order hold) .....</b>	<b>175</b>
<b>8.3. Biến đổi Z.....</b>	<b>175</b>
<b>8.4 Hàm truyền đạt .....</b>	<b>176</b>
<b>8.5 Sự ổn định .....</b>	<b>178</b>
<b>8.6. Sai số xác lập.....</b>	<b>179</b>
<b>Câu hỏi bài tập chương 8 .....</b>	<b>181</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>186</b>
<b>CÁC CÂU HỎI THƯỜNG GẶP .....</b>	<b>187</b>

## DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1: Sơ đồ điều khiển của lò hơi để phát điện.....	12
Hình 1.2: Sơ đồ tổng quát hệ thống điều khiển tự động .....	13
Hình 1.3: Sơ đồ cấu trúc của nguyên tắc điều khiển theo sai lệch bám .....	15
Hình 1.4: Sơ đồ cấu trúc của nguyên tắc điều khiển theo tín hiệu nhiều .....	15
Hình 1.5: Sơ đồ cấu trúc của nguyên tắc điều khiển hỗn hợp .....	16
Hình 1.6: Sơ đồ cấu trúc của nguyên tắc điều khiển thích nghi .....	16
Hình 2.1: Sơ đồ một hệ thống điều khiển tổng quát .....	21
Hình 2.2: Sơ đồ khâu khuếch đại tĩnh.....	21
Hình 2.3: Sơ đồ khâu khuếch đại tầng.....	21
Hình 2.4: Điện trở .....	35
Hình 2.5: Điện cảm L.....	35
Hình 2.6: Tự điện C .....	36
Hình 2.7: Sơ đồ các phần tử mạch điện RLC mắc nối tiếp .....	36
Hình 2.8: Sơ đồ các phần tử mạch điện RLC mắc song song .....	37
Hình 2.9: Sơ đồ biểu diễn lò xo .....	37
Hình 2.10: Sơ đồ biểu diễn bộ giảm chấn dầu ép .....	38
Hình 2.11: Sơ đồ biểu diễn trọng khối.....	38
Hình 2.12: Sơ đồ biểu diễn thiết bị giảm chấn .....	38
Hình 2.13: Sơ đồ biểu diễn lực tác động lên trọng khối .....	39
Hình 2.14: Sơ đồ biểu diễn sự tương đương giữa mạch cơ khí và mạch điện.....	40
Hình 2.15: Biểu diễn phần tử khuếch đại thuật toán .....	41
Hình 2.16: Sơ đồ hệ thống khuếch đại đảo .....	42
Hình 2.17: Sơ đồ khối biểu diễn hệ thống điều khiển trong không gian trạng thái.....	45
Hình 2.18: Sơ đồ mạch RLC mắc hỗn hợp.....	46
Hình 2.19: Sơ đồ mạch RLC mắc nối tiếp.....	47
Hình 2.20: Sơ đồ mạch RLC mắc nối tiếp.....	48
Hình 2.21: Sơ đồ biểu diễn bằng sơ đồ khối trong gian trạng thái .....	52
Hình 3.1: Đặc tính của các hàm trong đặc tính tần số .....	61
Hình 3.2: Đặc tính tần số biên độ pha.....	61
Hình 3.3: Biểu diễn khâu động học điển hình. ....	63
Hình 3.4. Đặc tính thời gian của khâu không quán tính .....	63
Hình 3.5: Đặc tính tần số của khâu không quán tính.....	64
Hình 3.6: Đặc tính thời gian của khâu quán tính bậc nhất.....	64
Hình 3.7: Đặc tính tần số của khâu quán tính bậc nhất .....	65
Hình 3.8: Đặc tính thời gian của khâu bậc hai.....	66
Hình 3.9: Đặc tính tần số của khâu bậc hai .....	66

Hình 3.10: Đặc tính thời gian của tích phân .....	67
Hình 3.11: Đặc tính tần số của khâu tích phân .....	68
Hình 3.12: Đặc tính thời gian của khâu vi phân lý tưởng.....	69
Hình 3.13: Đặc tính tần số của khâu vi phân lý tưởng .....	69
Hình 3.14. Đặc tính quá độ và các đặc tính tần số của khâu trễ .....	70
Hình 3.15: Sơ đồ bố trí các điểm cực và điểm không.....	71
Hình 3.16: Hệ thống đối tượng làm ví dụ 3 .....	72
Hình 3.17: Hệ thống bậc nhất và phân bố điểm cực.....	74
Hình 3.18: Đáp ứng đầu ra của hệ thống bậc 1 với tín hiệu bậc thang đơn vị .....	75
Hình 3.19: Đường đặc tính đáp ứng của hệ thống bậc nhất .....	76
Hình 3.20: Các hệ thống bậc hai và đáp ứng với tín hiệu bậc thang đơn vị.....	78
Hình 3.21: Đáp ứng bậc hai tạo bởi các nghiệm phức.....	80
Hình 3.22: Đáp ứng bậc hai theo hệ số tắt dần .....	83
Hình 4.1: Sơ đồ khối của hệ thống .....	91
Hình 4.2: Sơ đồ khối của hệ thống nối tiếp .....	92
Hình 4.3: Hệ thống ghép nối tiếp.....	92
Hình 4.5: Sơ đồ khối của hệ thống có phản hồi.....	93
Hình 4.6: a) Hệ thống phản hồi âm b) Hệ thống phản hồi dương .....	94
c) Hàm truyền của hệ thống có phản hồi .....	94
Hình 4.7: Sơ đồ khối hệ thống phản hồi đơn vị.....	94
Hình 4.8: Hình biến đổi các sơ đồ khối cơ bản.....	96
Hình 4.9: Rút gọn sơ đồ áp dụng các quy tắc biến đổi .....	97
Hình 4.10: Hệ thống có phản hồi âm .....	98
Hình 4.11: Sơ khối hệ thống phản hồi biết trước hệ số khuếch đại.....	98
Hình 4.12: Sơ đồ khối của hệ thống phản hồi khi hệ số khuếch đại K chưa biết.....	99
Hình 4.13: Một nút cơ bản .....	104
Hình 4.14: Biểu diễn một nhánh cơ bản .....	104
Hình 4.15: Graph biểu diễn hệ thống nối tiếp.....	104
Hình 4.16: Graph biểu diễn hệ thống song song.....	104
Hình 4.17: Graph biểu diễn hệ thống có phản hồi.....	105
Hình 4.18: Sơ khối minh họa quy tắc Masson.....	106
Hình 5.1. Hệ thống có hệ số khuếch đại K chưa biết .....	117
Hình 5.2. Vòng bao của đường cong $W_H(j\omega)$ .....	120
Hình 5.3. Điểm chuyển đổi trên đặc tính tần số Logarit.....	122
Hình 5.4. Véc tơ đa thức đặc tính $A(j\omega)$ .....	123
Hình 6.1. Các tín hiệu thử đầu vào .....	128
Hình 6.2. Các dạng hệ thống tính sai số ở trạng thái xác lập .....	129



Hình 6.3. Hệ thống có sai số ở trạng thái xác lập với $T(s)$ .....	130
Hình 6.4. Hệ thống phản hồi đơn vị không có bộ tích phân.....	132
Hình 6.5. Hệ thống phản hồi đơn vị có một bộ tích phân.....	133
Hình 6.6. Hệ thống không có và có bộ tích phân.....	134
Hình 6.7. Hệ thống có $n$ bộ tích phân .....	136
Hình 6.8. Hệ thống phản hồi âm có nhiều tác động .....	141
Hình 6.9. Hệ thống phản hồi nhiều .....	142
Hình 6.10. Hệ thống phản hồi âm có nhiều tác động với các đối tượng thực .....	143
Hình 6.11. Biến đổi hệ thống phản hồi không phải là đơn vị thành hệ thống phản hồi đơn vị. ....	144
Hình 6.12. Hệ thống phản hồi không phải là đơn vị.....	144
Hình 6.13. Hệ thống phản hồi âm không phải là đơn vị có nhiều tác động .....	145
Hình 6.14. Độ nhạy đối với hệ kín.....	146
Hình 6.15. Độ nhạy đối với SSE.....	147
Hình 7.1. Cấu trúc cơ bản của một hệ thống điều khiển.....	152
Hình 7.2. Sơ đồ khối của bộ điều khiển PID .....	153
Hình 7.3. Các đặc tính của quy luật điều chỉnh tỷ lệ vi phân .....	157
Hình 7.4. Các đặc tính của quy luật điều chỉnh tỷ lệ tích phân .....	158
Hình 7.5. Các đặc tính của quy luật điều chỉnh tỷ lệ vi tích phân .....	160
Hình 7.6. hàm quá độ của mô hình bậc nhất có trễ của đối tượng .....	161
Hình 7.7. Xác định tham số cho mô hình xấp xỉ .....	162
Hình 7.8. Xác định hằng số khuếch đại tới hạn .....	164
Hình 8.1. Sơ đồ điều khiển phản hồi có sử dụng máy tính.....	172
Hình 8.2. Tín hiệu được trích mẫu sử dụng trong máy tính số.....	173
Hình 8.3. Tín hiệu $r(t)$ được trích mẫu.....	173
Hình 8.4. Tích của dạng sóng theo thời gian và tín hiệu trích mẫu .....	174
Hình 8.5. Tín hiệu $r(t)$ được trích mẫu.....	175
Hình 8.6. Hệ thống tín hiệu trích mẫu .....	177
Hình 8.7. Mặt phẳng phân bố sự ổn định.....	178
Hình 8.8. Hệ thống điều khiển phản hồi đã được trích mẫu .....	179
Hình 8.9. Sai số xác lập của hệ điều khiển số.....	180

## CÁC TỪ VIẾT TẮT

STT	Từ viết tắt	Ý nghĩa của từ
1	ĐKTĐ	Điều khiển tự động
2	ĐC	Điều chỉnh
3	HTTĐ	Hệ thống tự động
4	HST	Hàm số truyền
5	ĐTTS	Đặc tính tần số
6	PT	Đặc tính pha tần số
7	BT	Đặc tính biên độ tần số
8	BTL	Đặc tính biên độ tần số logarit
9	TB	Thiết bị
10	TBĐK	Thiết bị điều khiển
11	HT ĐKTĐ	Hệ thống điều khiển tự động
12	PID	Bộ điều khiển tỉ lệ, vi, tích phân
12	PI	Bộ điều khiển tỉ lệ tích phân
14	PD	Bộ điều khiển tỉ lệ vi phân