

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 phần 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 nhiễu .....	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

## MỞ ĐẦU

Bài giảng Lý thuyết điều khiển tự động được tập thể giảng viên thuộc bộ môn Kỹ thuật điện, điện tử biên soạn nhằm phục vụ cho việc giảng dạy của giảng viên và học tập của sinh viên Trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông - Đại học Thái Nguyên. Tập bài giảng này được biên soạn theo nội dung đề cương chi tiết học phần Lý thuyết điều khiển tự động ở trình độ đại học.

Bài giảng Lý thuyết ĐKTD dùng cho ngành Kỹ thuật Điện – Điện tử nhằm trang bị cho sinh viên những kiến thức về phân tích, đánh giá và hiệu chỉnh một hệ thống lý thuyết ĐKTD.

Bài giảng này là tài liệu học tập cho sinh viên ngành Kỹ thuật Điện – Điện tử, ngành Tự động hóa cũng như tài liệu giảng dạy tham khảo cho giảng viên của các trường kỹ thuật đồng thời là nguồn tài liệu quý giá cho những sinh viên học tập qua mạng trong nhà trường.

Nội dung của giáo trình gồm 8 chương:

- Chương 1. Mô tả một hệ thống điều khiển cơ bản[1]
- Chương 2. Mô hình toán học hệ thống điều khiển
- Chương 3. Đáp ứng thời gian
- Chương 4. Các phương pháp giảm thiểu hóa hệ thống đa cấp
- Chương 5. Sự ổn định của hệ thống
- Chương 6. Chất lượng hệ thống
- Chương 7. Tổng hợp hệ thống điều khiển[1]
- Chương 8. Hệ thống điều khiển số

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự đóng góp những ý kiến quý báu của các thầy cô giáo trong khoa Công nghệ Tự động hóa, các phòng ban chức năng trong việc xây dựng bài giảng này.

Mặc dù tập thể tác giả đã dành nhiều thời gian và công sức để biên soạn, song khó tránh khỏi thiếu sót. Vậy, chúng tôi kính mong quý thầy cô và các bạn sinh viên đóng góp ý kiến để cuốn bài giảng được hoàn thiện hơn. Xin trân trọng cảm ơn.

**Nhóm tác giả**

## CHƯƠNG 1: MÔ TẢ MỘT HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN CƠ BẢN

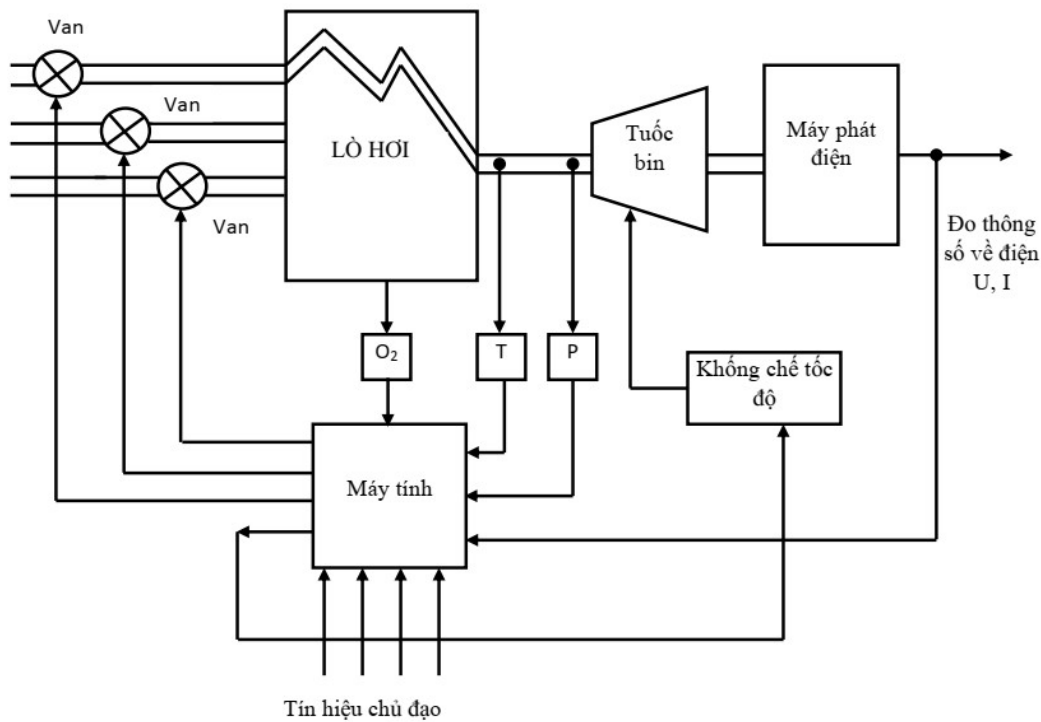
Nội dung chính của chương: Nêu lên một số khái niệm về hệ thống điều khiển tự động, cấu trúc, nguyên tắc điều khiển và phân loại các hệ thống điều khiển tự động hiện nay.

Mục tiêu cần đạt được của chương: Sinh viên phân biệt được các khái niệm về hệ thống điều khiển từ đó có thể nhìn vào cấu trúc của hệ thống nhận biết được hệ thống điều khiển thuộc loại nào và cũng từ đó thiết lập được các bước thiết kế hệ thống điều khiển

### Bài 1: Khái niệm về hệ thống điều khiển tự động (Số tiết: 03 tiết)

#### 1.1 Các khái niệm cơ bản

Để hiểu được khái niệm về hệ thống điều khiển tự động trước hết ta xem ví dụ sau



Hình 1.1: Sơ đồ điều khiển của lò hơi để phát điện

Điều khiển là tập hợp tất cả các tác động có mục đích nhằm điều khiển một quá trình này hay quá trình kia theo một quy luật hay một chương trình cho trước.

Điều khiển học là một bộ môn khoa học nghiên cứu nguyên tắc xây dựng các hệ điều khiển.

Quá trình điều khiển hoặc điều chỉnh được thực hiện mà không có sự tham gia trực tiếp của con người, thì chúng ta gọi đó là quá trình điều khiển và điều chỉnh tự động.

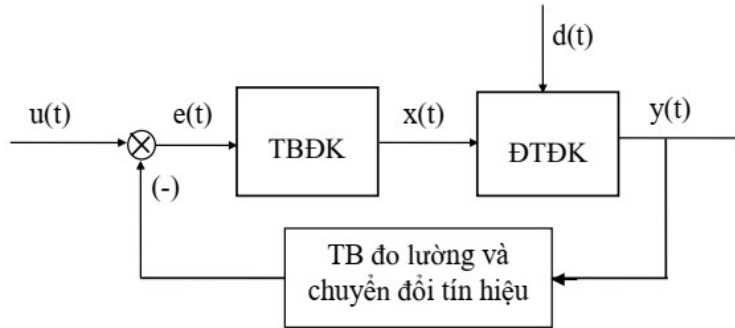
Tập hợp tất cả các thiết bị mà nhờ đó quá trình điều khiển được thực hiện gọi là hệ thống điều khiển.

Tập hợp tất cả các thiết bị kỹ thuật, đảm bảo ĐK hoặc DC tự động một quá trình

nào đó được gọi là hệ thống ĐK hoặc DC tự động (đôi khi gọi tắt là hệ thống tự động – HTTĐ).

## 1.2 Các phần tử cơ bản của hệ thống điều khiển tự động

Một cách tổng quát hệ thống điều khiển tự động được mô tả bởi sơ đồ cấu trúc như sau:



Hình 1.2: Sơ đồ tổng quát hệ thống điều khiển tự động

Trong đó:

- ĐTĐK: Đối tượng điều khiển (Cơ cấu chấp hành), có thể là các thiết bị kỹ thuật, dây chuyền sản xuất, quy trình công nghệ... là mục tiêu điều khiển của con người trong các lĩnh vực khác nhau.

Các phần tử chấp hành thường dùng trong điều khiển tự động là các loại động cơ bước, động cơ DC, động cơ servo, động cơ AC, động cơ thủy lực khí nén...

Một loại đối tượng điều khiển cũng thường gặp khác trong công nghiệp là hệ thống nhiệt, ví dụ như: lò nung trong dây chuyền công nghiệp sản xuất gạch men lò sấy trong dây chuyền chế biến thực phẩm, hệ thống làm lạnh trong dây chuyền chế biến thủy sản. Yêu cầu điều khiển đối với hệ thống nhiệt thường là điều khiển ổn định nhiệt độ hoặc điều khiển theo chương trình.

- TBĐK: Thiết bị điều khiển, là thiết bị gia công tín hiệu điều khiển, nó có nhiệm vụ tạo ra tín hiệu điều khiển tác động lên ĐTĐK theo một quy luật nào đó để thỏa mãn các yêu cầu công nghệ.

- Tín hiệu: là một hàm số phụ thuộc thời gian mang thông tin về các thông số kỹ thuật và được truyền tải bởi các đại lượng vật lý.

$u(t)$ : Tín hiệu đầu vào (tín hiệu đặt)

$y(t)$ : Tín hiệu đầu ra.

$x(t)$ : Tín hiệu điều khiển tác động lên đối tượng.

$d(t)$ : Tín hiệu nhiễu loạn tác động vào hệ thống.

- Hệ thống điều khiển đơn điệu: là hệ mà đại lượng  $\frac{dy}{dx}$  không đảo dấu.

- Hệ thống điều khiển dao động: là hệ mà đại lượng  $\frac{dy}{dx}$  có đảo dấu.

- Phản hồi: Là mối liên hệ ngược trích một phần năng lượng ở đầu ra đưa ngược trở lại đầu vào. Có các loại phản hồi như sau:

+ Phản hồi âm: tín hiệu phản hồi và tín hiệu đặt ngược dấu nếu là một chiều và ngược pha nếu là xoay chiều. Phản hồi này có tác dụng giữ ổn định giá trị của đại lượng được phản hồi.

+ Phản hồi dương: tín hiệu phản hồi và tín hiệu đặt luôn cùng dấu nếu là một chiều và cùng pha nếu là xoay chiều, có tác dụng nâng cao hệ số khuếch đại và tạo nên hệ tự kích.

+ Phản hồi cứng: là phản hồi tham gia làm việc trong hệ cả ở chế độ quá độ và chế độ xác lập nhưng hiệu quả cơ bản là ở chế độ xác lập còn ở chế độ quá độ ít hiệu quả (thường bỏ qua). Phản hồi cứng có tác dụng nâng cao chất lượng hệ thống ở chế độ xác lập. Các thiết bị có tính tỷ lệ như máy phát tốc, can nhiệt, mạch điện tử... thường được sử dụng cho phản hồi loại này.

+ Phản hồi mềm: là phản hồi chỉ tham gia làm việc trong hệ ở chế độ quá độ còn chế độ xác lập thì không tham gia. Loại phản hồi này có tác dụng nâng cao chất lượng của hệ thống ở chế độ quá độ. Để tạo phản hồi mềm phải dùng các thiết bị có tính vi, tích phân như mạch R - C, R - L, cầu mềm (cầu động), biến áp vi phân...

Tổ hợp của bốn loại phản hồi trên tạo ra: Phản hồi âm cứng, dương mềm; âm mềm, dương cứng tùy theo yêu cầu cụ thể của từng hệ thống thực tế.

- TB đo lường và chuyển đổi tín hiệu: là thiết bị gia công tín hiệu phản hồi để đưa trở lại đầu vào của hệ thống.

Thông thường các tín hiệu phản hồi lấy về là các tín hiệu không điện như: tốc độ quay, nhiệt độ, lực, ứng suất, quang thông... Do đó cần phải có các thiết bị đo các tín hiệu đó và chuyển thành các tín hiệu điện tương ứng với tín hiệu đầu vào của hệ thống.

Cấu trúc của thiết bị đo gồm có 3 phần chính: bộ phận chuyển đổi hay cảm biến, cơ cấu đo điện, và các sơ đồ mạch khuếch đại trung gian hay mạch gia công tín hiệu như mạch khuếch đại, chỉnh lưu ổn định.

Các thiết bị đo tốc độ như DC Tachometer, AC Tachometer, Optical Tachometer... Cảm biến nhiệt độ như Pt 56Ω, Pt 100Ω, Thermocouple...

Ngoài các thiết bị kể trên, để lấy tín hiệu phản hồi tốc độ và dòng điện người ta còn sử dụng hệ thống máy phát tốc và máy biến dòng.

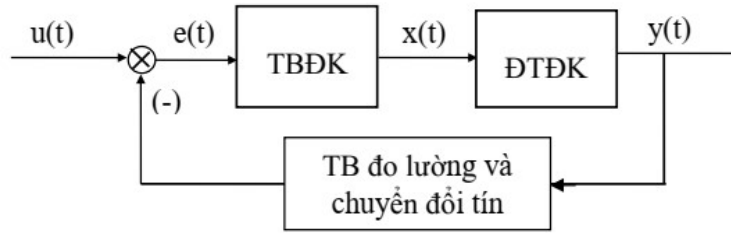
### **1.3. Các nguyên tắc điều khiển cơ bản**

#### *1.3.1. Nguyên tắc điều khiển theo sai lệch*

Là nguyên tắc mà tín hiệu điều khiển  $u(t)$  được thành lập dựa trên sự sai lệch của lượng ra thực tế  $y(t)$  so với lượng ra yêu cầu (tín hiệu đặt ở đầu vào  $r(t)$ )

$$x(t) = f[u(t) - y(t)] = f[e(t)]$$

Sơ đồ cấu trúc của nguyên tắc điều khiển theo sai lệch như sau:



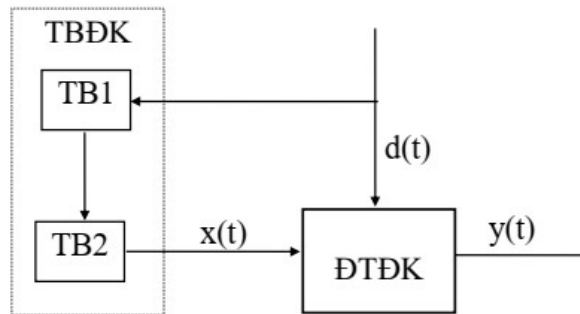
Hình 1.3: Sơ đồ cấu trúc của nguyên tắc điều khiển theo sai lệch bám

### 1.3.2. Nguyên tắc điều khiển theo tín hiệu nhiễu loạn (bù nhiễu)

Là nguyên tắc mà tín hiệu điều khiển  $u(t)$  được thành lập theo tín hiệu nhiễu tác động với mục đích để khử nhiễu ở đầu ra:

$$x(t) = f[d(t)]$$

Những hệ thống được xây dựng theo nguyên tắc này là những hệ thống hở (không có phản hồi). Sơ đồ cấu trúc như sau:



Hình 1.4: Sơ đồ cấu trúc của nguyên tắc điều khiển theo tín hiệu nhiễu

Trong đó:

TB1: là thiết bị để đo tín hiệu nhiễu.

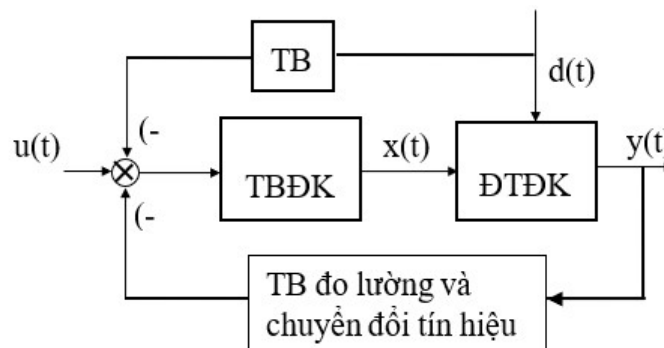
TB2: là thiết bị để tạo ra tín hiệu điều khiển  $u(t)$ .

### 1.3.3. Nguyên tắc điều khiển hỗn hợp (theo sai lệch và bù nhiễu)

Là nguyên tắc mà tín hiệu điều khiển  $u(t)$  được thành lập dựa vào sự tổng hợp của hai phương pháp trên với

$$x(t) = f[e(t), d(t)]$$

Sơ đồ cấu trúc tổng quát như sau:

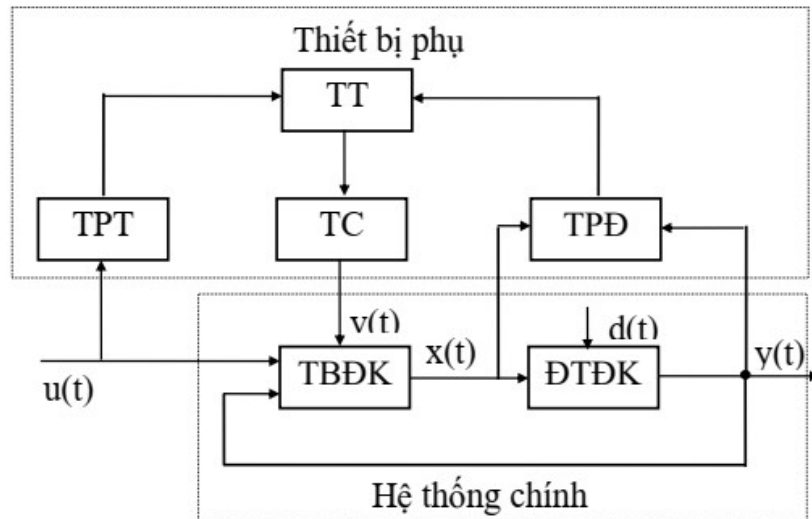


Hình 1.5: Sơ đồ cấu trúc của nguyên tắc điều khiển hỗn hợp

### 1.3.4. Nguyên tắc điều khiển thích nghi

Là nguyên tắc mà tín hiệu điều khiển  $u(t)$  được thành lập có tính đến tất cả các yếu tố ảnh hưởng đến đại lượng cần điều khiển.

Sơ đồ tổng quát của hệ điều khiển thích nghi như sau:



Hình 1.6: Sơ đồ cấu trúc của nguyên tắc điều khiển thích nghi

Trong đó:

TPT : Thiết bị phân tích tín hiệu vào (xác định tính chất của tín hiệu vào như tốc độ, gia tốc ...).

TPĐ: Thiết bị phân tích đối tượng (xác định đặc tính động học của đối tượng cần điều khiển).

TT: Thiết bị tính toán (xác định phương pháp biến đổi đặc tính của thiết bị điều khiển chính).

TC: Thiết bị chấp hành (có nhiệm vụ chỉnh định thiết bị điều khiển theo các tín hiệu nhận được từ thiết bị tính toán).

$V(t)$  : Là hàm tự chỉnh, nó là hàm đa tham số.

$$v(t) = f[u(t), r(t), y(t) \dots]$$

Ngoài các nguyên tắc điều khiển đã nêu trên thì còn có các nguyên tắc điều khiển khác như : Điều khiển mờ, điều khiển tối ưu, điều khiển bền vững ...

## 1.4. Phân loại các hệ thống điều khiển tự động.

### 1.4.1 Phân loại theo nguyên lý xây dựng.

Các phần tử được phân chia thành các loại: hệ thống ĐK theo mạch hở, hệ thống ĐK theo mạch kín và hệ thống ĐK hỗn hợp .

Ngoài những nguyên lý trên, từ những năm 60 của thế kỷ XX, trên cơ sở áp dụng điều khiển học trong cơ thể sống vào kỹ thuật đã ra đời một loại hình hệ thống tự động



mô phỏng hoạt động của cơ thể sống: đó là các hệ tự chỉnh, thích nghi. Nguyên lý tự chỉnh và thích nghi không đòi hỏi phải biết đầy đủ các đặc tính của quá trình điều khiển và trong quá trình làm việc, các hệ thống này tự chỉnh và thích nghi với các điều kiện bên ngoài thay đổi.

Lý thuyết các hệ ĐK tự chỉnh và thích nghi đã trở thành một nhánh phát triển quan trọng của lý thuyết ĐKTD.

Vì hầu hết các hệ thống ĐKTD trong kỹ thuật là những hệ mạch kín và quá trình điều khiển các thiết bị kỹ thuật chung quy lại là quá trình điều chỉnh các tham số của nó, nếu dưới đây chúng ta sẽ đề cập đến sự phân loại các hệ thống ĐKTD mạch kín và lý thuyết về các hệ đó.

#### *1.4.2. Phân loại theo tính chất của lượng vào.*

Tùy theo tính chất của tác động đầu vào, các hệ thống ĐKTD có 3 loại:

Hệ thống ổn định tự động (điều chỉnh theo hằng số) là hệ thống có lượng vào không đổi. Nhiệm vụ của hệ thống là duy trì một hoặc một vài đại lượng vật lý ở giá trị không đổi. Thí dụ như hệ thống ĐKTD tốc độ động cơ nhiệt, hệ thống ĐKTD điện áp, tần số của máy phát, hệ ổn định đường bay của máy bay khi góc lái không thay đổi ...

Hệ thống điều chỉnh theo chương trình là hệ thống có lượng vào là các hàm đã biết trước, có thể dưới dạng chương trình. Thí dụ hệ điều khiển đường bay định trước của máy bay không người lái, hệ thống điều khiển các máy công cụ: bào, phay với chương trình định trước trong bộ nhớ máy tính...

Hệ tự động bám, gọi tắt là hệ bám là hệ thống có lượng vào là các hàm thời gian không biết trước, có thể thay đổi theo quy luật bất kỳ. Nhiệm vụ của hệ là bảo đảm lượng ra phải „bám“ theo sự thay đổi của lượng vào. Thí dụ các hệ như là hệ bám đồng bộ góc, các hệ bám vô tuyến điện tử của các đài radar...

#### *1.4.3. Phân loại theo dạng tín hiệu sử dụng trong hệ thống.*

Theo dạng tín hiệu sử dụng trong hệ thống, chúng ta có các tác động liên tục và các hệ thống gián đoạn (hay hệ rời rạc).

Hệ tác động liên tục (gọi tắt là hệ liên tục) là hệ mà tất cả các phần tử của hệ có lượng ra là các hàm liên tục theo thời gian.

Tín hiệu dưới dạng hàm liên tục có thể là tín hiệu một chiều (chưa biến điệu) hoặc tín hiệu xoay chiều (đã được biến điệu) tương ứng chúng ta có hệ ĐKTD một chiều (DC) và hệ thống ĐKTD xoay chiều (AC) (thí dụ hệ thống bám đồng bộ công suất nhỏ dùng động cơ chấp hành 2 p ha).

Hệ tác động gián đoạn (gọi tắt là hệ gián đoạn hay hệ rời rạc) là các hệ có chứa ít nhất một phần tử gián đoạn, tức là phần tử có lượng vào là một hàm liên tục và lượng ra là một hàm gián đoạn theo thời gian.

Tuỳ theo tính chất gián đoạn của lượng ra, các hệ gián đoạn có thể phân chia thành các loại: hệ thống ĐKTD xung, hệ thống ĐKTD kiểu rơ le và hệ thống ĐKTD số.

Nếu sự gián đoạn của tín hiệu ra xảy ra qua những thời gian xác định (ta gọi là gián đoạn theo thời gian) khi tín hiệu vào thay đổi, thì ta có hệ ĐKTD xung.

Nếu sự gián đoạn của tín hiệu xảy ra khi tín hiệu vào qua những giá trị ngưỡng xác định nào đó (chúng ta gọi là gián đoạn theo mức), thì có thể ĐKTD kiểu rơle. Hệ rơle thực chất là hệ phi tuyến, vì đặc tính tĩnh của nó là hàm phi tuyến. Đây là đối tượng nghiên cứu của một phần quan trọng trong lý thuyết ĐK.

Nếu phần tử gián đoạn có tín hiệu ra dưới dạng mã số (gián đoạn cả theo mức và cả theo thời gian), thì ta có hệ ĐKTD số. Hệ thống ĐKTD số là hệ chứa các thiết bị số (các bộ biến đổi A/D, D/A, máy tính điện tử (PC), bộ vi xử lý).

#### *1.4.4. Phân loại theo dạng phương trình toán học mô tả hệ thống.*

Về mặt toán học, các hệ thống ĐKTD đều có thể mô tả bằng các phương trình toán học: phương trình tĩnh và phương trình động. Dựa vào tính chất của các phương trình, chúng ta phân biệt hệ thống ĐKTD tuyến tính và hệ ĐKTD không tuyến tính (phi tuyến).

Hệ thống ĐKTD tuyến tính là hệ thống được mô tả bằng phương trình toán học tuyến tính. Tính chất tuyến tính của các phần tử và của cả hệ thống ĐKTD chỉ là tính chất lý tưởng. Vì vậy, các phương trình toán học của hệ thống là các phương trình đã được tuyến tính hoá, tức là thay các sự phụ thuộc gần đúng tuyến tính.

Hệ tuyến tính có phương trình động học với các tham số không thay đổi thì gọi là *hệ ĐKTD tuyến tính có tham số không thay đổi*, hay hệ ĐKTD tuyến tính dừng, còn nếu hệ thống có phương trình với tham số thay đổi thì gọi là *hệ ĐKTD tuyến tính có tham số biến thiên*, hay hệ ĐKTD tuyến tính không dừng.

Hệ thống ĐKTD phi tuyến là hệ thống được mô tả bằng phương trình toán học phi tuyến. Hệ phi tuyến là hệ có chứa các phần tử phi tuyến điển hình, thí dụ đó là hệ có chứa các phần tử rơle.

#### *1.4.5. Phân loại theo tính chất của các tác động bên ngoài.*

Các tác động bên ngoài vào hệ tự động có quy luật thay đổi đã biết trước hoặc mang tính chất ngẫu nhiên.

Hệ thống tiền định là các hệ có các tác động bên ngoài là tiền định, tức là đã biết trước các quy luật thay đổi của nó (thí dụ xét hệ thống với các tác động điển hình).

Hệ thống không tiền định (hay hệ ngẫu nhiên) là các hệ được xem xét nghiên cứu khi các tác động bên ngoài là các tín hiệu ngẫu nhiên.

#### *1.4.6. Phân loại theo số lượng đại lượng cần điều khiển.*

Tuỳ theo số lượng cần điều khiển (lượng ra của hệ) chúng ta có: hệ một chiều và

hệ nhiều chiều.

Hệ thống ĐKTD một chiều có chứa một đại lượng cần điều khiển, còn hệ ĐKTD nhiều chiều là hệ có chứa từ hai đại lượng cần điều khiển trở lên. Thí dụ về hệ nhiều chiều có thể là hệ thống ĐKTD một máy phát điện, nếu hệ thống ĐKTD cùng một lúc điều khiển tự động điện áp và tần số của nó.

Ngoài các cách phân loại chính đã xét ở trên, tùy thuộc vào sự tồn tại sai số của hệ ở trạng thái cân bằng, chúng ta phân biệt hai loại hệ thống: hệ thống tĩnh (có sai số tĩnh) và hệ phiếm tĩnh (không có sai số tĩnh). Tùy thuộc vào quy luật (định luật) điều khiển (tức là dạng của tín hiệu điều khiển  $x(t)$  do cơ cấu điều khiển tạo ra), chúng ta phân biệt các bộ điều khiển tỷ lệ (bộ điều khiển P), bộ điều khiển tỷ lệ vi phân (bộ điều khiển PD), bộ điều khiển vi phân – tích phân (bộ điều khiển PID).

### 1.5. Quá trình thiết lập một hệ thống điều khiển

- Bước 1: Chuyển đổi các yêu cầu kỹ thuật thành một hệ thống vật lý.
- Bước 2: Vẽ sơ đồ khối chức năng. Chuyển đổi sự miêu tả đặc tính hệ thống thành một sơ đồ khối chức năng. Đây là sự miêu tả về các phần chi tiết của hệ thống và mối quan hệ giữa chúng.
- Bước 3: Thiết lập sơ đồ nguyên lí.
- Bước 4: Sử dụng sơ đồ nguyên lý thiết lập sơ đồ khối hoặc graph tín hiệu hoặc biểu diễn không gian trạng thái.
- Bước 5: Rút gọn sơ đồ khối.
- Bước 6: Phân tích và thiết kế.

### Câu hỏi, bài tập chương 1

Câu 1. Hệ thống điều khiển tự động có thể phân loại như thế nào?

Câu 2. Hệ thống điều khiển có mấy phần tử cơ bản?

Câu 3. Hãy nêu các quy tắc điều khiển cơ bản để điều khiển một hệ thống điều khiển?

Câu 4. Nêu các bước thiết lập một hệ thống điều khiển?

Câu 5: Hãy nêu một số khái niệm về điều khiển tự động?

Câu 6: Phân biệt hệ thống hở (Open-Loop System)

- a. Là hệ thống điều khiển theo các tín hiệu đầu vào
- b. Là hệ thống mà không có khả năng bù bất cứ nhiễu nào tác động lên hệ thống
- c. Là hệ thống chỉ bù nhiễu của bộ điều khiển
- d. Là hệ thống mà sơ đồ khối là một đường thẳng và tín hiệu đầu ra luôn thay đổi theo tín hiệu vào

Câu 7: Hệ thống điều khiển được gọi là hệ thống tuyến tính được phân loại theo

- a. Số lượng đại lượng cần điều khiển
- b. Tính chất của các tác động bên ngoài

- c. Dạng tín hiệu sử dụng trong hệ thống
- d. Dạng phương trình toán học mô tả hệ thống

Câu 8: Hệ thống điều khiển hở được sử dụng khi nào?

- a. Sử dụng trong các quá trình đơn giản và chi phí điều khiển thấp, và có mô hình toán học thể hiện mối quan hệ giữa tín hiệu đầu vào và tín hiệu đầu ra.
- b. Sử dụng trong các hệ thống có chi phí xây dựng thấp.
- c. Sử dụng trong các hệ thống công nghiệp ngành dầu khí.
- d. Chủ yếu sử dụng trong ngành sản xuất xi măng.

Câu 9: Điều khiển tự động là gì?

- a. Là quá trình điều khiển mà có sự tham gia trực tiếp của các thiết bị điều khiển và con người
- b. Là quá trình điều khiển mà không có sự tham gia trực tiếp của bộ điều khiển và con người
- c. Là quá trình điều khiển mà không có sự tham gia trực tiếp của con người
- d. Là quá trình điều khiển mà không sự tham gia trực tiếp của của các bộ điều khiển

Câu 10: Các thành phần cơ bản trong hệ thống điều khiển tự động

- a. Thiết bị điều khiển, đối tượng điều khiển, cơ cấu chấp hành và thiết bị đo lường
- b. Thiết bị hiệu chỉnh, đối tượng điều khiển, cơ cấu chấp hành và thiết bị đo lường
- c. Thiết bị điều khiển, cơ cấu cơ khí và thiết bị đo lường
- d. Thiết bị điều khiển, đối tượng điều khiển cục bộ và thiết bị đo lường

Câu 11: Các tín hiệu  $r(t)$ ,  $c(t)$  và  $e(t)$  được viết tắt từ

- a. Regular Input, Controlled Output, Error
- b. Reference Input, Controlled Output, Error
- c. Reference Input, Carried Output, Error
- d. Refresh Input, Controlled Output, Error