

PRIMA PARTE: Il corso ITSC

CAP.1 INTRODUZIONE AL CORSO E RICHIAMI TEORICI pag. 1

<u>1.1 Problematiche dei Sistemi di Controllo "REALI"</u>	<u>pag. 1</u>
<u>1.2 Passi fondamentali della progettazione di un Sistema di Controllo</u>	<u>pag. 3</u>
<u>1.3 Richiami di Controllo Digitale</u>	<u>pag. 5</u>
1.3.1 Vantaggi offerti dall'impiego del calcolatore come regolatore	pag. 7
1.3.2 Svantaggi che comporta l'impiego del calcolatore come regolatore	pag. 7
1.3.3 Analisi dei segnali	pag. 8
1.3.4 Segnali canonici discreti	pag. 12
1.3.5 Sistemi dinamici discreti	pag. 13
1.3.6 Approccio alla sintesi del regolatore	pag. 14
1.3.7 Breve richiamo sulla applicazione della Trasformata ZETA allo studio dei SdC	pag. 15
1.3.8 I metodi di discretizzazione di un sistema continuo e loro applicazione a G(s)	pag. 16
1.3.9 Osservazioni sulla scelta del periodo Ts di campionamento	pag. 19

CAP.2 TRASDUTTORI pag. 20

<u>2.1 Introduzione ai trasduttori</u>	<u>pag. 20</u>
<u>2.2 Caratteristiche statiche</u>	<u>pag. 20</u>
2.2.1 Accuratezza	pag. 21
2.2.2 Risoluzione	pag. 21
2.2.3 Ripetibilità	pag. 21
2.2.4 Isteresi	pag. 22
2.2.5 Linearità	pag. 22
<u>2.3 Caratteristiche dinamiche</u>	<u>pag. 24</u>
2.3.1 Parametri della RISPOSTA AL GRADINO	pag. 25
2.3.2 La RISPOSTA IN FREQUENZA	pag. 25
<u>2.4 Trasduttori di posizione</u>	<u>pag. 26</u>
2.4.1 POTENZIOMETRI	pag. 26
2.4.2 Linear Variable Differential Transformers	pag. 29
2.4.3 Encoders ottici	pag. 30
2.4.4 Synchro e Resolver	pag. 33
<u>2.5 Trasduttori di FORZA</u>	<u>pag. 36</u>
2.5.1 Strain Gage	pag. 36
<u>2.6 Trasduttori di spostamento: Accelerometri</u>	<u>pag. 39</u>
<u>2.7 Trasduttori di PRESSIONE</u>	<u>pag. 41</u>
2.7.1 Trasduttori di pressione a STRAIN GAGE LAMINARE	pag. 41
2.7.2 Trasduttori di pressione a CONDENSATORE	pag. 42
2.7.3 Trasduttori di pressione a LVDT	pag. 42
2.7.4 Trasduttori di pressione a POTENZIOMETRO	pag. 43
<u>2.8 Trasduttori di temperatura</u>	<u>pag. 44</u>
2.8.1 Termocoppie	pag. 44
2.8.2 RTD	pag. 46
2.8.3 Termistori	pag. 46
2.8.4 Trasduttori di temperatura a Circuito Integrato	pag. 47

CAP.3 CONDIZIONAMENTO DEI SEGNALI E TRASMISSIONE pag. 49

<u>3.1 Introduzione</u>	<u>pag. 49</u>
<u>3.2 Amplificatore per strumentazione</u>	<u>pag. 51</u>
<u>3.3 Circuiti di adattamento d'ampiezza e traslazione di livello.</u>	<u>pag. 54</u>
<u>3.4 Conversione Tensione → Corrente</u>	<u>pag. 55</u>
3.4.1 Convertitore V/I con carico flottante	pag. 56
3.4.2 Convertitore V/I con carico riferito a massa	pag. 57
<u>3.5 Convertitori Corrente → Tensione</u>	<u>pag. 58</u>
<u>3.6 Convertitori Tensione → Frequenza</u>	<u>pag. 59</u>
<u>3.7 Convertitori Frequenza → Tensione</u>	<u>pag. 61</u>

3.8 Circuiti di isolamento	<i>pag. 63</i>
3.8.1 Amplificatori accoppiati con trasformatore	<i>pag. 64</i>
3.8.2 Amplificatori ad accoppiamento ottico	<i>pag. 65</i>
3.9 Cablaggio	<i>pag. 69</i>
3.9.1 Schermatura magnetica ed elettrostatica	<i>pag. 69</i>
3.9.2 Messa a terra e interconnessione di sottosistemi	<i>pag. 70</i>
CAP.4 ATTUATORI	<i>pag. 74</i>
4.1 Breve introduzione agli attuatori	<i>pag. 74</i>
4.2 Motore in corrente continua	<i>pag. 76</i>
4.2.1 Richiami di elettrotecnica	<i>pag. 76</i>
4.2.2 Struttura del motore in c.c. e modello matematico della parte elettrica	<i>pag. 77</i>
4.2.3 Modello della parte meccanica del motore in c.c.	<i>pag. 79</i>
4.2.4 Modello completo del motore c.c.	<i>pag. 81</i>
4.2.5 Motoriduttore	<i>pag. 82</i>
CAP.5 MODELLIZZAZIONE DEI SISTEMI MECCANICI	<i>pag. 84</i>
5.1 Derivazione delle equazioni del moto	<i>pag. 84</i>
5.1.1 Esempio elementare	<i>pag. 84</i>
5.1.2 Modellizzazione di un sistema meccanico non lineare: il pendolo inverso	<i>pag. 85</i>
CAP.6 IDENTIFICAZIONE	<i>pag. 89</i>
6.1 Introduzione	<i>pag. 89</i>
6.2 Identificazione Non-Parametrica	<i>pag. 89</i>
6.2.1 Approccio alla identificazione dei Sistemi Lineari a tempo continuo e discreto	<i>pag. 89</i>
6.2.2 Proprietà fondamentale dei sistemi discreti BIBO stabili	<i>pag. 93</i>
6.2.3 Il metodo "una frequenza per volta": trattamento dei campioni I/O	<i>pag. 94</i>
6.2.4 Il problema del rumore: stima spettrale stocastica	<i>pag. 98</i>
6.3 Identificazione Parametrica	<i>pag. 100</i>
6.3.1 Utilizzo dell'informazione "a priori"	<i>pag. 102</i>
6.3.2 Definizione dell'errore di stima	<i>pag. 103</i>
6.3.3 Minimi quadrati	<i>pag. 106</i>
6.3.4 Minimi Quadrati Ricorsivi	<i>pag. 109</i>
6.3.5 Cenno al metodo dei Minimi Quadrati Stocastici	<i>pag. 112</i>
CAP.7 SISTEMI NON LINEARI	<i>pag. 113</i>
7.1 Introduzione	<i>pag. 113</i>
7.2 Approccio allo studio della stabilità dei sist. closed loop non lineari	<i>pag. 113</i>
7.2.1 Il metodo della Funzione Descrittiva: un esempio preliminare	<i>pag. 114</i>
7.3 Il metodo della funzione descrittiva	<i>pag. 116</i>
7.4 Il criterio di Nyquist e sua estensione	<i>pag. 118</i>
7.5 Ricerca dei cicli limite per via grafica	<i>pag. 120</i>
7.6 Esempi di comuni non-linearità	<i>pag. 121</i>
7.6.1 Saturazione	<i>pag. 121</i>
7.6.2 Relè ideale	<i>pag. 123</i>
7.6.3 Zona morta	<i>pag. 124</i>
7.6.3 Backlash	<i>pag. 125</i>
7.6.4 Relè con isteresi	<i>pag. 126</i>
7.6.5 Quantizzazione	<i>pag. 126</i>
7.6.6 Relè con zona morta	<i>pag. 127</i>
7.6.7 Esempio di ricerca dei cicli limite con il metodo grafico	<i>pag. 128</i>
7.7 Analisi di stabilità dei cicli limite con il metodo grafico	<i>pag. 129</i>
7.8 Affidabilità dell'analisi mediante funzione descrittiva	<i>pag. 129</i>
7.9 Criterio del cerchio (ridotto)	<i>pag. 130</i>

CAP.8 COMPENSAZIONE DI RITARDO NEL SdC **pag.133**

8.1 Introduzione: il problema del ritardo	pag. 133
8.2 Il compensatore di Smith	pag. 134

CAP.9 REGOLATORI P.I.D. **pag.138**

9.1 Note introduttive	pag. 138
9.2 Caratterizzazione dei regolatori PID	pag. 139
9.2.1 Banda Proporzionale	pag. 140
9.2.2 Tempo dell'azione integrale	pag. 140
9.2.3 Tempo di anticipo	pag. 141
9.2.4 Struttura dei regolatori	pag. 142
9.3 Algoritmi P.I.D. assoluti	pag. 143
9.4 Configurazioni alternative dei regolatori P.I.D.	pag. 146
9.5 Sintesi dei controllori PID (tuning)	pag. 147
9.5.1 Sintesi basata sul margine di fase	pag. 147
9.5.2 Osservazioni sulla scelta del parametro a e della banda B	pag. 149
9.5.3 Sintonizzazione sperimentale con i metodi di Ziegler e Nichols	pag. 151
9.6 Controllori P.I.D. digitali	pag. 154
9.7 Desaturazione dell'azione integrale (anti reset wind-up)	pag. 154
9.7.1 Desaturazione nei controllori PID digitali	pag. 157
9.8 Funzionamento Manuale/Automatico	pag. 158
9.8.1 Commutazione A/M nei controllori digitali	pag. 159
9.9 Varianti dei regolatori P.I.D.	pag. 160
9.10 Effetto delle quantizzazioni negli algoritmi P.I.D.	pag. 161
9.10.1 Azione I	pag. 161
9.10.2 Azione D	pag. 162

CAP.10 REGOLATORI AUTO-TUNING **pag.165**

10.1 La sintonizzazione dei regolatori	pag. 165
10.2 Controllo adattativo	pag. 166
10.2.1 Controllo adattativo tipo Self-Tuning (STR)	pag. 166
10.2.2 Gain Scheduling	pag. 168
10.2.3 Sistemi adattativi tipo Model- Reference (MRAC)	pag. 169
10.2.4 Sistemi esperti per la sintonizzazione	pag. 170
10.3 Controllori P.I.D. Auto-Tuning	pag. 170
10.4 Caratterizzazione di un processo mediante ciclo limite	pag. 172
10.4.1 Introduzione: tuning con il secondo metodo di Ziegler e Nichols	pag. 172
10.4.2 Il metodo di Astrom e Hagglund: tuning con isteresi	pag. 172
10.4.3 Esistenza del ciclo limite	pag. 174
10.4.4 Stabilità del ciclo limite	pag. 176
10.4.5 Problemi nella realizzazione del metodo	pag. 176
10.4.6 Sintesi del regolatore con margine di fase specificato	pag. 177
10.4.7 Azione proporzionale	pag. 177
10.4.8 Azione PID	pag. 178
10.4.9 Conclusione	pag. 180

CAP.11 CONTROLLO FEED-FORWARD **pag.181**

11.1 Compensazione dei disturbi nei sistemi di controllo	pag. 181
11.1.1 Esempio di compensazione Feed-Forward	pag. 183
11.1.2 Stima del disturbo	pag. 184
11.2 Azione feed-forward nei sistemi di asservimento	pag. 185

CAP.12 ELEMENTI DI CONTROLLO OTTIMO **pag.189**

<u>12.1 Il problema fondamentale del controllo ottimo</u>	<u>pag.189</u>
12.1.1 La "funzione obiettivo modificata" e l'Hamiltoniano	pag.189
12.1.2 L'equazione aggiunta	pag.191
12.1.3 Il Principio del Massimo	pag.192
12.1.4 Esempio di applicazione del principio del massimo	pag.193
<u>12.2 Problemi con vincoli terminali</u>	<u>pag.194</u>
12.2.1 Il Principio del Massimo per problemi con vincoli terminali	pag.195
12.2.2 Esempio di applicazione del Princ. del Max per probl. con vincoli terminali	pag.195
<u>12.3 Problemi a tempo finale libero</u>	<u>pag.196</u>
<u>12.4 Sistemi lineari con costo quadratico: Regolatore LQ</u>	<u>pag.198</u>
<u>12.5 Problemi a tempo minimo e controllo Bang-Bang</u>	<u>pag.200</u>
12.5.1 Esempio di problema a tempo minimo: controllo di un sistema inerziale	pag.202
12.5.2 Esempio di problema a tempo minimo: controllo di un oscillatore sinusoidale	pag.203
<u>12.6 Controllo ottimo a tempo minimo per servomeccanismi</u>	<u>pag.204</u>
12.6.1 Continuous time-optimal control applicato ad un processo doppio integratore	pag.204
12.6.2 PTOS a tempo continuo	pag.205
12.6.3 PTOS a tempo discreto	pag.207

CAP.13 POLI E ZERI NEI SISTEMI MECCANICI **pag.209**

<u>13.1 Sistemi co-locati e non co-locati</u>	<u>pag.209</u>
13.1.2 Esempio: sist. meccanico massa-molla-massa	pag.210
<u>13.2 Poli e zeri nei sistemi meccanici</u>	<u>pag.212</u>
13.2.1 Il problema del posizionamento dei sensori	pag.213
<u>13.3 Analisi di un sistema meccanico a due gradi di libertà con giunto elastico</u>	<u>pag.215</u>
<u>13.4 Analisi del sistema rotante con motoriduttore e flexible joint</u>	<u>pag.217</u>
13.4.1 Approccio alla progettazione del controllore PID per il sistema flexible joint	pag.219
<u>13.5 Strutture flessibili</u>	<u>pag.220</u>
13.5.1 Ipotesi dell'analisi di Eulero-Bernoulli	pag.221
13.5.2 L'equazione generale del moto	pag.222
13.5.3 Analisi vincolata	pag.224
13.5.4 Analisi non vincolata	pag.225

CAP.14 USO DI STIMATORI **pag.227**

<u>14.1 Gli stimatori dello stato: breve richiamo teorico</u>	<u>pag.227</u>
<u>14.2 La tecnica Disturbance Observer</u>	<u>pag.230</u>
14.2.1 Acceleration Tracing Orientation Method (ATOM)	pag.230
<u>14.3 La compensazione del disturbo nel sistema con giunto elastico</u>	<u>pag.234</u>
<u>14.4 Progettazione dello stimatore per il sistema motore+giunto elastico</u>	<u>pag.235</u>
14.4.1 Progettazione dello stimatore discreto per il modello privo di disturbi costanti	pag.238
14.4.2 Progettazione dello stimatore discreto per il sistema con disturbo di tipo "passeggiata aleatoria"	pag.240
14.4.3 Taratura sperimentale della varianza del rumore di modello: test di Bartlett	pag.240