

SADRŽAJ

I DEO: UVOD - OSNOVNE KARAKTERISTIKE UPRAVLJANJA PROCESNIM SISTEMIMA	1
1.1. Pojam automatskog upravljanja procesima i razlozi za njegovo uvođenje	1
1.1.1. Otklanjanje uticaja spoljašnjih poremećaja	2
1.1.2. Osiguravanje stabilnosti procesa	4
1.1.3. Optimizovanje rada procesa	6
1.2. Projektni aspekti sistema automatskog upravljanja	8
1.2.1. Klasifikacija promenljivih u postrojenjima procesne industrije	8
1.2.2. Elementi projektovanja sistema automatskog upravljanja	9
1.3. Fizički elementi sistema automatskog upravljanja	15
1.3.1. Osnovni elementi sistema automatskog upravljanja i vrste opreme	15
1.3.2. Tehnološke šeme (dijagrami tokova)	18
1.3.3. Korišćenje digitalnih računara u upravljanju procesima	20
1.4. Uloga hemijskog inženjera u upravljanju procesima	23
II DEO: DINAMIKA PROCESA I DRUGIH ELEMENATA SISTEMA UPRAVLJANJA	25
2.1. Dinamika sistema u vremenskom domenu	26
2.1.1. Klasifikacija dinamičkih modela	27
2.1.2. Formiranje teorijskih determinističkih modela	28
2.1.3. Linearizacija modela i promenljive odstupanja	35
2.2. Dinamika sistema u Laplasovom domenu	41
2.2.1. Laplasova transformacija	41
2.2.2. Dinamički model sistema u Laplasovom domenu - prenosna funkcija sistema	53
2.3. Dinamika jednostavnih - elementarnih sistema	55
2.3.1. Proporcionalni element	55
2.3.2. Sistem prvog reda (element sa vremenskom konstantom)	59
2.3.3. Kapacitivni element (integrator)	67
2.3.4. Sistem drugog reda	69
2.3.5. Element sa mrtvim vremenom (element sa čistim kašnjenjem)	80
2.3.6. Diferencijalni element	82
2.4. Blok dijagrami i algebra blok dijagrama	85
2.4.1. Osnovni elementi blok dijagrama	85
2.4.2. Formiranje blok dijagrama	86
2.4.3. Rešavanje blok dijagrama - ekvivalentne transformacije	88

2.5. Dinamički modeli nekih složenijih procesa	98
2.5.1. Primeri procesa sa nagomilanim parametrima	98
2.5.2. Primeri procesa sa raspoređenim parametrima	115
2.6. Dinamički modeli sistema u prostoru stanja	122
2.6.1. Definicija modela sistema u prostoru stanja	122
2.6.2. Primeri korišćenja modela sistema u prostoru stanja	124
2.6.3. Prevođenje obične diferencijalne jednačine n -tog reda u sistem od n jednačina prvog reda	129
2.7. Vremenski odzivi sistema	131
2.7.1. Vremenski odzivi sistema prvog reda	133
2.7.2. Vremenski odzivi sistema drugog reda	147
2.7.3. Vremenski odzivi kapacitivnog elementa	162
2.7.4. Vremenski odzivi diferencijalnog elementa	163
2.7.5. Vremenski odzivi serije više sistema prvog reda	164
2.7.6. Vremenski odzivi multivarijabilnih sistema na osnovu modela u prostoru stanja	167
2.8. Dinamika sistema u frekventnom domenu	169
2.8.1. Definicija frekventne karakteristike	169
2.8.2. Dobijanje frekventnih karakteristika - osnovna teorema	171
2.8.3. Grafičko prikazivanje frekventnih karakteristika	174
2.8.4. Frekventne karakteristike elementarnih sistema	176
2.8.5. Frekventne karakteristike složenih sistema	186
2.9. Veze između vremenskog, Laplasovog i frekventnog domena	192
2.9.1. Poređenje dinamike sistema u vremenskom, Laplasovom i frekventnom domenu	193
2.9.2. Konverzija modela iz jednog domena u drugi	194
III DEO: OSNOVNI ELEMENTI SISTEMA UPRAVLJANJA	197
3.1. Proces kao objekat upravljanja	198
3.1.1. Eksperimentalna identifikacija procesa	199
3.1.2. Eksperimentalna identifikacija procesa na osnovu stepenastog odziva procesa	201
3.1.3. Eksperimentalna identifikacija procesa na osnovu frekventnog odziva	209
3.1.4. Eksperimentalna identifikacija procesa na osnovu pulsog odziva	215
3.2. Merni elementi	218
3.2.1. Statičke i dinamičke karakteristike mernih elemenata	218
3.2.2. Osetni i pretvarački delovi mernih elemenata	221
3.2.3. Instrumenti za merenje protoka	224
3.2.4. Instrumenti za merenje pritiska i razlike pritiska	234
3.2.5. Instrumenti za merenje nivoa	240
3.2.6. Instrumenti za merenje temperature	242
3.2.7. Instrumenti za određivanje sastava i koncentracija	252

3.3. Regulacioni ventil kao izvrsni element sistema automatskog upravljanja	259
3.3.1. Osnovni elementi i tipovi regulacionih ventila	259
3.3.2. Statičke i dinamičke karakteristike regulacionih ventila	262
3.3.3. Izbor i specifikacija regulacionog ventila	267

3.4. Transmisionne linije	269
---------------------------	-----

IV DEO: KONFIGURACIJA UPRAVLJANJA SA NEGATIVNOM POVRATNOM SPREGOM -ZATVORENO REGULACIONO KOLO 271

4.1. Osnovni elementi i blok dijagram zatvorenog regulacionog kola	272
4.2. Regulator u zatvorenom regulacionom kolu	274
4.2.1. Osnovni tipovi regulatora u zatvorenom regulacionom kolu	274
4.2.2. Prenosne funkcije regulatora u zatvorenom regulacionom kolu	277
4.2.3. Frekventne karakteristike regulatora u zatvorenom regulacionom kolu	278
4.2.4. Fizička realizacija pneumatskih i električnih regulatora	283
4.2.5. Dinamičke karakteristike realnih regulatora	290
4.3. Dinamika zatvorenog regulacionog kola	293
4.3.1. Blok dijagram i prenosna funkcija zatvorenog regulacionog kola	295
4.3.2. Vremenski odzivi zatvorenog regulacionog kola	296
4.4. Analiza stabilnosti zatvorenog regulacionog kola	317
4.4.1. Definicija stabilnosti i osnovni uslov stabilnosti	317
4.4.2. Stabilnost zatvorenog regulacionog kola	320
4.4.3. Rut-Hurvicov kriterijum stabilnosti	321
4.4.4. Metoda geometrijskog mesta korena karakteristične jednačine zatvorenog kola	325
4.4.5. Bodeov kriterijum stabilnosti	348
4.4.6. Nikvistov kriterijum stabilnosti	362
4.4.7. Ispitivanje realtivne stabilnosti zatvorenog regulacionog kola korišćenjem frekventnih karakteristika otvorenog kola	376
4.4.8. Frekventne karakteristike zatvorenog regulacionog kola	383
4.5. Izbor i projektovanje regulatora zatvorenog regulacionog kola	389
4.5.1. Kriterijumi za ocenu kvaliteta regulacije	389
4.5.2. Izbor tipa regulatora zatvorenog regulacionog kola	396
4.5.3. Podešavanje parametara regulatora	398

V DEO - ANALIZA I PROJEKTOVANJE SLOŽENIJIH KONFIGURACIJA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA 409

5.1. Specijalne konfiguracije za regulaciju sistema sa velikim mrtvim vremenom ili sa inverznim odzivom	410
5.1.1. Regulacija procesa sa velikim mrtvim vremenom	410
5.1.2. Regulacija procesa sa inverznim odzivom	414

IV

5.2. Sistemi upravljanja sa više zatvorenih kontura	418
5.2.1. Kaskadna regulacija	418
5.2.2. Selektivni regulacioni sistemi	426
5.2.3. Regulacija sa grananjem signala	428
5.3. Konfiguracije upravljanja sa upravnom i upravno-povratnom spregom i regulacija odnosa	429
5.3.1. Konfiguracija upravljanja sa upravnom spregom	429
5.3.2. Konfiguracija upravljanja sa upravno-povratnom spregom	441
5.3.3. Regulacija odnosa	444
5.4. Adaptivno i posredno upravljanje	445
5.4.1. Adaptivno upravljanje	445
5.4.2. Posredna regulacija	449

VI DEO: SISTEMI UPRAVLJANJA PROCESIMA

6.1. Upravljanje procesima sa prenosom količine kretanja	454
6.1.1. Regulacija protoka	454
6.1.2. Sistemi regulacije pritiska i nivoa	458
6.2. Upravljanje procesima sa prenosom toplote	461
6.2.1. Dinamika razmenjivača toplote	461
6.2.2. Sistemi upravljanja razmenjivačima toplote	463
6.3. Upravljanje procesima sa prenosom mase	469
6.3.1. Osnovne karakteristike uređaja za prenos mase	469
6.3.2. Upravljanje apsorpcionim i ekstrakcionim kolonama	470
6.3.3. Upravljanje rektifikacionim kolonama	472
6.4. Upravljanje procesima sa hemijskom reakcijom	477
6.4.1. Osnovne karakteristike hemijskih reaktora	477
6.4.2. Upravljanje izotermnim protočnim reaktorima sa mešanjem	478
6.4.3. Upravljanje neizotermnim protočnim reaktorima sa mešanjem	480
6.5. Upravljanje biohemijskim procesima	482
6.5.1. Osnovne karakteristike biohemijskih procesa	482
6.5.2. Osnovne veličine u biohemijskim sistemima koje se mogu jednostavno meriti i regulisati	482
6.5.3. Upravljanje drugim veličinama u biohemijskim procesima	485
6.6. Upravljanje ukupnim postrojenjem	486
6.6.1. Upravljanje materijalnim bilansom i kvalitetom proizvoda	487
6.6.2. Ostali aspekti upravljanja ukupnim postrojenjem	488

PRILOZI

491

Prilog A. Tablica Laplasovih transformacija

492

Prilog B. Padeova aproksimacija

496

Prilog C. Spisak najvažnijih oznaka

498

LITERATURA

501

INDEKS

503