

Универзитет у Крагујевцу
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву

Војислав Ж. Филиповић

Индустријски регулатори

Краљево, 2016.

др Војислав Ж. Филиповић, ван. професор

Индустријски регулатори

Рецензенти

др Новак Недић, ред.проф. Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву
др Зоран Бучевац, ред. професор Машинског факултета у Београду
др Зоран Рибар, ред. професор Машинског факултета у Београду

Статус публикације

Уџбеник

Издавач

Универзитет у Крагујевцу
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Доситејева 19
36000 Краљево

За издавача

Проф. др Миле Савковић, декан

Дизајн корица

Јован Дашић

Техничка обрада

Биљана Филиповић
Владимир Ђорђевић

Одобрено за штампу

Одлуком Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у
Краљеву,
број 1400/1 од 04.10.2016. године

Штампа

SaTClP, Врњачка Бања

Тираж

100 примерака

Свет је моја представа.

Артур Шопенхауер

Предговор

Теорија управљања, мада релативно млада, спада у врло развијене теорије. С друге стране је и даље вибрентно подручје погодно за интензивна истраживања. Развој теорије је пролазио кроз различите фазе. Почетни резултати су везани за фреквентно подручје у којем робусност на неизбежну немоделовану динамику игра важну улогу. Крај педесетих и почетак шездесетих година прошлог века поставио је тежиште развоја теорије у простор стања. Појавили су се бриљантни резултати (Белманово динамичко програмирање и Понтрјагинов принцип максимума). Добијени резултати су изазвали егзалтацију у научним круговима. Добијена је, мислило се, панацеја за све проблеме. Али конфронтација теорије са практичним проблемима је утицала на значајну редуkcију егзалтираности. Наиме, показало се да нарушавање услова оптималности, што је у пракси пре правило него изузетак, значајно деградира перформансе система управљања јер горе поменуте теорије нису укључивале концепт робусности. Био је нужан повратак на класичну теорију управљања и он се догодио почетком осамдесетих година прошлог века. У међувремену је развијена респектабилна теорија робусних система управљања. Примера ради развијена је робусна теорија Понтрјагиновог принципа максимума (Boltianski, V.G. and Poznyak, A.S. (2010): *The Robust Maximum Principle. Theory and Applications*. Basel: Birkhauser). Неокласицизам, у теорији управљања, имао је утицаја и на материјал изложен у уџбенику.

Алгоритми управљања, поред хардвера и софтвера, представљају трећу компоненту високих технологија. Они, у доброј мери, дефинишу технички статус друштва и постали су синоним за његов висок ниво. Нема области у којој нека форма управљања није присутна. У току су интензивна истраживања да се, осим за регулисање система, теорија примени и у: математичкој биологији, аутоматском регулисању процеса анестезије, аутоматском управљању Интернета и пакетних комуникационих рачунарских мрежа и у многим другим подручјима. Норберт Винер је дефинисао повратну спрегу као фундаментални принцип за „живе организме и машине” (Winer, N. (1961): *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge, Massachustts: MIT Press)

Материјал изложен у књизи прекрива план и програм предмета „Индустријски регулатори“ који аутор држи на првој години Мастер студија на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву. Разуме се да обим књиге значајно превазилази потребе предмета. Аутор се нада да од тога могу имати користи студенти који самостално желе да прошире своја знања, као и инжењери у пракси.

У наставку ћемо укратко представити садржаје појединих глава.

У првој глави представљен је историјат развоја теорије аутоматског управљања. Показано је да постоје два фундаментална принципа регулисања: принцип повратне спреге и комбиновани принцип који се састоји из стратегије повратне спреге и стратегије управљања по мерљивом поремећају. Уведен је и концепт девијационе променљиве.

Друга глава је посвећена математичким моделима процеса: посебно је посвећена пажња моделима првог и другог реда, који се најчешће користе у процесној индустрији. Разматрани су и модели са кашњењем. Феномен кашњења креира додатне проблеме при њиховом регулисању. Такође су уведени и модели високог реда. Пројектовање регулатора за такве процесе представља, такође, изазов.

У трећој глави разматрани су поремећаји. По мишљењу аутора то је врло важна тема. Поремећаји и, у пракси ретко присутни нестабилни системи, су главни разлог постојања аутоматског управљања. Природа поремећаја, у доброј мери, одређује методологију пројектовања регулатора. Разматрани су детерминистички поремећаји и стохастички поремећаји. Поред наведеног разматрана је и класа поремећаја којој је у литератури посвећена мала пажња. То су на делове полиномијални поремећаји који имају особине и детерминистичких и стохастичких поремећаја. На крају су разматрани *скоро произвољни поремећаји* (униформно ограничени поремећаји).

Четврта глава је посвећена рекурзивној идентификацији. Ова област елиминиса слаботи „нека је дат модел“. Наиме, коришћењем мерења улаза и излаза система, применом одређених процедура, добија се математички модел процеса. Разматране су процедуре са скаларним појачањем и процедуре са матричним појачањем. У првој класи алгоритама разматрани су Качмажов алгоритам, стандардна стохастичка апроксимација и стохастичка апроксимација са усредњавањем. Стохастичка апроксимација са усредњавањем има, у асимптотском смислу, исту брзину као и метод најмањих квадрата. Централно место процедура са матричним појачањем има метод најмањих квадрата. Из овог метода природно следе метод инструменталних променљивих и метод проширених најмањих квадрата. Изложена је методологија одређивања реда модела процеса (Акаикеов критеријум). За идентификацију нелинеарних система описана је процедура за идентификацију Хамерштајнових модела. Такође је разматрана могућност повећања брзине конвергенције градијентних алгоритама.

Глава пет детаљно разматра ПИД алгоритам. Такође се разматрају и друге врсте алгоритама чија је улога да побољшају прелазне процесе круга регулисања. Као кандидат за ту врсту регулатора су хибридни регулатори који се састоје из прекидачке секвенце и коначне колекције линеарних регулатора (нпр. ПИД регулатори). Ова врста регулатора је робусна у односу на значајни износ немоделоване динамике. Као подкласа ових регулатора разматрани су регулатори са ресетовањем, за које је идеолошку основу поставио Клег 1958 године.

У глави шест описане су методе за подешавање ПИД регулатора. То су, пре свега, класичне Зиглер-Николсове методе. Затим је представљена процедура самоподешавања заснована на релејном експерименту. На крају су описане методе адаптације за подешавање регулатора. У овом случају непрекидно се подешавају параметри регулатора. Описана су два типа адаптивних регулатора:

индиректни и директни. Ове врсте регулатора су последице присуства кашњења у моделу процеса.

Глава седам се бави проблемима регулисања система са кашњењем. Када је кашњење система велико развијена је посебна класа закона управљања. За стабилне системе решење је предложио Смит 1957. године и овај случај је описан у седмој глави. Напоменимо да је решен и случај када су системи нестабилни. Решење је компликованије и оно није разматрано у књизи.

У осмој глави разматрано је пројектовање дигиталних регулатора. Најпре је описано пројектовање регулатора у континуалном домену, засновано на релејном експерименту. Тако добијен регулатор се дискретизује. Затим је разматран врло важан проблем Q – параметризације регулатора. Овим поступком се добија континуум стабилизујућих регулатора који зависе од стабилне преносне функције Q . Пројектовање регулатора се своди на избор функције Q . Тај избор може бити хеуристички и заснован је на инжењерском знању и интуицији. Формалан избор је везан за методе оптимизације и тако се могу добити добро познати оптимални регулатори H_2 и H_∞ . Следећи корак је разматрање робусности у односу на немоделовану динамику. У глави су представљени различити описи немоделоване динамике. Уведена је и мера робусности (Виникомбе-ова метрика). Затим је приказано решење пројектовања робусног ПИД регулатора засновано на конвексној анализи. На крају је представљено пројектовање дигиталног регулатора у z – домену, засновано на методологији подешавања полова система са затвореном повратном спрегом. Такође су разматрани специјални случајеви ове методологије: системи са коначним прелазним процесом и регулатори засновани на унутрашњем моделу.

Девета глава је посвећена предиктивним регулаторима. Ова класа регулатора је најзаступљенија у пракси после ПИД регулатора. То су софистициране стратегије чија примена обезбеђује значајне економске бенефиције. У глави је детаљно разматран најчешће примењиван регулатор, заснован на динамичкој матрици процеса (DMC регулатор). Избором хоризонта предикције могу се превазићи нетривијални проблеми кашњења и неминимално фазности. Оно што је важно за ове класе регулатора јесте: (i) лако проширење алгорита на мултиваријабилне процесе; (ii) лако увођење различитих ограничења. На крају главе наведени су најпознатији комерцијални предиктивни регулатори као и фирме које их производе

У глави десет представљене су различите примене скаларних регулатора: регулатори по мерљивом поремећају, каскадни регулатори, регулатори односа, регулатори са структурираним опсегом, као и селективно управљање.

Последња глава, у свом првом делу, бави се применама теорије управљања на неке индустријске процесе. Прво је разматран проблем регулисања парних котлова у термоелектранама са тежиштем на трокомпонентну стратегију регулисања. После тога је разматрано регулисање бинарне дестилационе колоне. Важан аспект регулисања је и уштеда енергије. У овој глави је описана уштеда заснована на замени класичних аутоматских вентила фреквентним регулаторима, који обезбеђују промену протока променом брзине обртања асинхроног мотора. У последњем делу главе приказана је корелација између структуре регулатора и типа извршног органа (са пнеуматским погоном или са електромеханичким погоном). Детаљно је описан троположајни ПИД регулатор, који се добија

применом једне класе нелинеарних система (системи са клизним режимима). На самом крају описана је архитектура савременог система управљања.

Велики посао на техничкој обради текста обавила је Билљана Филиповић, док је припрему великог броја слика урадио Владимир Ђорђевић, студент Докторских студија на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву. Аутор им се на томе захваљује.

Октобар 2016
Краљево

Војислав Ж. Филиповић

CIP- Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

681.515(075.8)
621.3.078(075.8)

ФИЛИПОВИЋ, Војислав Ж., 1952-

Индустријски регулатори / Војислав Ж. Филиповић. -
Краљево: Факултет за машинство и грађевинарство,
2016 (Врњачка Бања: SaTCIP). -
XII, 289 стр. : илустр. ; 24 cm

На врху насл. стр.: Универзитет у
Крагујевцу. - Тираж 100. - Библиографија уз
свако поглавље.

ISBN 978-86-82631-83-5

а) Аутоматска регулација б) Системи аутоматског
управљања – Регулациони уређаји

COBISS.SR-ID 226861324