

ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในกระบวนการโดยใช้ตัวประมวลผลออนไลน์

นาย นฤพล สวัสดิ์ชนกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-611-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PROCESS FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS SYSTEM  
USING ON-LINE APPROXIMATORS

Mr. Narupon Sawattanakit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-638-611-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในกระบวนการโดยใช้ตัวประมาณ  
ออนไลน์

โดย นาย นฤพล สวัสดิ์ธนกิจ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. วรากรณ์ เขาวีวิศิษฏ์

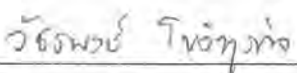
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวัฒน์ กลั่นความดี)

  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรากรณ์ เขาวีวิศิษฏ์)

  
กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชรพงษ์ ไชวิฑูรกิจ)

นฤพล สวัสดิ์ธนกิจ : ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในกระบวนการ โดยใช้ตัวประมาณ  
ออนไลน์ (PROCESS FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS SYSTEM USING ON-LINE  
APPROXIMATORS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วราภรณ์ เชาว์วิศิษฐ, 73 หน้า. ISBN 974-638-611-5

งานวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติ โดยใช้ข่ายงานประสาท  
ในรูปของตัวประมาณออนไลน์ ตัวอย่างที่ทำการศึกษาได้แก่ ระบบสามถัง และระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อ  
เนื่อง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความสามารถของตัวประมาณออนไลน์ในการวินิจฉัยความผิดปกติ  
สามารถพัฒนาเพิ่มขึ้นได้โดยการนำความรู้เกี่ยวกับระบบเข้ามาประยุกต์ใช้เพิ่มเติม

ในระบบสามถังได้มีการนำเสนอชุดของตัวประมาณ ซึ่งจากผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดง  
ให้เห็นว่าชุดของตัวประมาณสามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติอย่างเฉียบพลันและรวดเร็ว  
สองอย่างพร้อมกันส่วนใหญ่ได้ถูกต้องทั้งในกรณีที่ทราบแบบจำลองแน่นอน และในกรณีที่มีความคลาด  
เคลื่อนของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

ในระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่า กรณีที่  
สามารถวัดตัวแปรสถานะได้ทุกตัว ตัวประมาณออนไลน์สามารถตรวจพบและวินิจฉัยได้ในช่วงสภาวะชั่วคราว  
สำหรับในกรณีที่ตัวแปรสถานะไม่สามารถวัดได้ จำเป็นต้องมีการประมาณตัวแปรสถานะดังกล่าว ก่อนที่จะ  
ทำการตรวจพบและวินิจฉัย ซึ่งในกรณีหลังนี้ใช้เวลาในการวินิจฉัยในช่วงเวลาใกล้เคียงกับเวลาเข้าที่ของ  
ระบบ

ภาควิชา .....  
สาขาวิชา .....  
ปีการศึกษา .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 3970773621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING  
KEY WORD: FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS / ON-LINE APPROXIMATOR

NARUPON SAWATTANAKIT : PROCESS FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS SYSTEM USING  
ON-LINE APPROXIMATORS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VARAPORN JAOVISIDHA, Ph.D.

73 pp. ISBN 974-638-611-5

This thesis investigates the process fault detection and diagnosis using artificial neural network as an on-line approximator. Three tank system and continuous stirred tank reactor are two examples in this study. The results show that the system knowledge should be implemented in order to improve the diagnosis ability of the on-line approximator.

In three tank system, Bank of estimators has been proposed. The results of the simulation show that all of the single faults and most of the double faults can be detected and diagnosed correctly in both case of exact model and case of model with parameter uncertainty.

In continuous stirred tank reactor, the results of the simulation show that in case of full state is measurable, the process faults can be detected and diagnosed during the transient period. However, in case of that one state is not measurable, the unmeasurable state should be first estimated before process faults can be detected and diagnosed. In this latter case the final result can only accomplished after a certain period of time, required for the settling time, has elapsed.

ภาควิชา.....

สาขาวิชา.....

ปีการศึกษา.....

ลายมือชื่อนิติ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยอาจารย์ทุกท่านในสาขาระบบควบคุมที่ได้  
ประสิทธิ์ประสาทความรู้พื้นฐานในวิชาทางระบบควบคุม อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำงาน  
วิทยานิพนธ์นี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรองศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ เชาว์วิศิษฐ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่ง  
ได้สละเวลาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการวิจัย รวมทั้งกระตุ้นให้ผู้วิจัย  
พยายามที่แก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

อนึ่งเบื้องหลังที่ทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ที่สำคัญคือ บิดา มารดา และญาติพี่น้อง  
ที่คอยให้กำลังใจ ตลอดจนผองเพื่อน พี่ น้อง ในห้องทดลองระบบควบคุมที่ร่วมทุกข์สุข  
ช่วยคิดแก้ปัญหา และเป็นแรงใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ส่วนหนึ่งของความสำเร็จของงานวิทยานิพนธ์  
นี้มาจากโครงการศึกษากันกุฎิที่สนับสนุนในด้านการเงินตลอดช่วงเวลาที่ผู้วิจัยศึกษาอยู่

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ

### บทที่

1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติ.....	5
2.1 คำจำกัดความและลักษณะของความผิดปกติ.....	5
2.2 ส่วนประกอบในการสอดส่องระบบ.....	8
2.3 หลักในการพิจารณาระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติ.....	9
2.4 วิธีการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติ.....	10
3. การตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติด้วยตัวประมาณออนไลน์ .....	15
3.1 รูปแบบการจำลองความผิดปกติ.....	15
3.2 แบบจำลองที่ใช้ประมาณ.....	16
3.3 ตัวประมาณออนไลน์.....	18
3.4 วิธีการเรียนรู้.....	19
3.5 การปรับปรุงสำหรับการวินิจฉัยความผิดปกติ .....	22

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4. ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบสามถัง.....	25
4.1 ระบบสามถังและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ .....	25
4.2 ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบสามถัง.....	27
4.3 การพัฒนาสร้างชุดของตัวประมาณสำหรับระบบสามถัง.....	33
4.4 ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์.....	36
4.5 สรุปและวิจารณ์.....	42
5. ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง... 44	
5.1 ระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	44
5.2 ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง48	
5.3 การพัฒนาปรับปรุงสำหรับกรณีที่ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารเข้า. ....	49
5.4 ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์.....	56
5.5 สรุปและวิจารณ์.....	68
6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ .....	69
รายการอ้างอิง.....	71
ประวัติผู้เขียน.....	73



## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.1	ความผิดพลาดในระบบสามถึง และสัญลักษณ์ .....	26
ตารางที่ 4.2	โดเมนของข่ายงานเรเดียลเบซิสในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพลาดในระบบสามถึง.....	29
ตารางที่ 4.3	เมตริกซ์ $E$ ที่เป็นไปได้ในแต่ละตัวประมาณแบบจำลอง สำหรับระบบสามถึง.....	35
ตารางที่ 5.1	ความผิดพลาดในระบบถึงปฏิบัติการเคมีชนิดต่อเนื่อง.....	47
ตารางที่ 5.2	โดเมนของข่ายงานเรเดียลเบซิส สำหรับระบบถึงปฏิบัติการเคมีชนิดต่อเนื่อง... ..	49
ตารางที่ 5.3	ความสามารถของโครงสร้างที่นำเสนอในกรณีที่ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถึงปฏิบัติการ.....	58

## สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	รูปแบบความผิดพลาดในกระบวนการ .....	7
รูปที่ 2.2	วงรอบการสอดคล้องระบบสำหรับความผิดพลาด .....	8
รูปที่ 2.3	โครงสร้างทั่วไปของระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพลาด .....	9
รูปที่ 2.4	การแปลงข้อมูลสำหรับการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพลาด .....	11
รูปที่ 2.5	โครงสร้างทั่วไปของการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพลาดโดยใช้แบบจำลอง..	12
รูปที่ 2.6	ภาพทางเรขาคณิตของการตรวจพบที่ใช้การส่งผ่านรูปแบบ .....	14
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมของตัวประมาณ .....	17
รูปที่ 4.1	ระบบสามถึง .....	26
รูปที่ 4.2	นอร์มของความผิดพลาดจากการประมาณตัวแปรสถานะ ในกรณีที่ เกิดการรบกวนถึงที่ 1 50 % และรบกวนถึงที่ 2 50% ที่เวลา 20 วินาที.....	29
รูปที่ 4.3	ค่าฟังก์ชันจากตัวประมาณออนไลน์ในกรณีที่ เกิดการรบกวนถึงที่ 1 50 % และรบกวนถึงที่ 2 50% ที่เวลา 20 วินาที .....	29
รูปที่ 4.4	นอร์มของความผิดพลาดจากการประมาณตัวแปรสถานะ เมื่อ $G = -g \times I$ โดย $g = 1, 10, 50$ และ $\Gamma = 10 \times I$ ในกรณีที่ เกิดการรบกวนถึงที่ 1 50 % และรบกวนถึงที่ 3 50% ที่เวลา 20 วินาที.....	31
รูปที่ 4.5	ค่าประมาณความผิดพลาด L1 เมื่อ $G = -g \times I$ โดย $g = 1, 10, 50$ และ $\Gamma = 10 \times I$ ในกรณีที่ เกิดการรบกวนถึงที่ 1 50 % และรบกวนถึงที่ 3 50% ที่เวลา 20 วินาที .....	31
รูปที่ 4.6	นอร์มของความผิดพลาดจากการประมาณตัวแปรสถานะ เมื่อ $\Gamma = p \times I$ โดย $p = 1, 10, 100, 500$ และ $G = -10 \times I$ ในกรณีที่ เกิดการรบกวนถึงที่ 1 50 % และรบกวนถึงที่ 3 50% ที่เวลา 20 วินาที.....	32
รูปที่ 4.7	ค่าประมาณความผิดพลาด L1 เมื่อ $\Gamma = p \times I$ โดย $p = 1, 10, 100, 500$ และ $G = -10 \times I$ ในกรณีที่ เกิดการรบกวนถึงที่ 1 50 % และรบกวนถึงที่ 3 50% ที่เวลา 20 วินาที .....	32
รูปที่ 4.8	ชุดของตัวประมาณ .....	33
รูปที่ 4.9	ข่ายประสาทงานสี่ชั้น .....	37

## สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในระบบเมื่อเกิดความผิดพลาด L1 50% กับ C13 30% พร้อมกัน เปรียบเทียบกับเมื่อเกิดความผิดพลาด L1 18% กับ L3 36% พร้อมกัน .....	38
รูปที่ 4.11 นอร์มของค่าผิดพลาดจากการประมาณของตัวประมาณแบบจำลองแต่ละตัว เมื่อเกิดการรบกวนถึงที่ 1 50 % และจุดคั่นที่ระหว่างถึงที่ 2 และ3 50% ที่เวลา 20 วินาที กรณีทราบพารามิเตอร์ของระบบแน่นอน .....	39
รูปที่ 4.12 ค่าประมาณความผิดพลาดของตัวประมาณแบบจำลองตัวที่ 4 เมื่อเกิดการรบกวนถึงที่ 1 50 % และจุดคั่นที่ระหว่างถึงที่ 2 และ3 50% ที่เวลา 20 วินาที กรณีทราบพารามิเตอร์ของระบบแน่นอน .....	39
รูปที่ 4.13 นอร์มของค่าผิดพลาดจากการประมาณของตัวประมาณแบบจำลองแต่ละตัว เมื่อเกิดการรบกวนถึงที่ 2 50 % และจุดคั่นที่ระหว่างถึงที่ 2 และ3 50% ที่เวลา 20 วินาที กรณีมีคลาดเคลื่อนในพารามิเตอร์ของระบบ .....	41
รูปที่ 4.14 ค่าประมาณความผิดพลาดของตัวประมาณแบบจำลองตัวที่ 4 เมื่อเกิดการรบกวนถึงที่ 1 50 % และจุดคั่นที่ระหว่างถึงที่ 2 และ3 50% ที่เวลา 20 วินาที กรณีมีคลาดเคลื่อนในพารามิเตอร์ของระบบ.....	41
รูปที่ 4.15 ค่าประมาณความผิดพลาดของตัวประมาณแบบจำลองตัวที่ 4 เมื่อเกิดการรบกวนถึงที่ 1 50 % เกิดการจุดคั่นที่ระหว่างถึงที่ 2 และ3 50% และเกิดการรบกวนถึงที่ 2 2% ที่เวลา 20 วินาที กรณีมีคลาดเคลื่อนในพารามิเตอร์ของระบบ.....	42
รูปที่ 5.1 แผนภาพกระบวนการถึงปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง .....	45
รูปที่ 5.2 โครงสร้างที่ปรับปรุงสำหรับการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพลาดเมื่อไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถังได้ .....	50
รูปที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสถานะ $x_1, x_2, x_3, x_4$ และสัญญาณควบคุม $u_1, u_2$ กรณีที่เกิดความผิดพลาด f#2p 26 % เปรียบเทียบกับกรณีที่เกิดความผิดพลาด f#3 10 % .....	55
รูปที่ 5.4 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุม $u_2$ เมื่อเกิดความผิดพลาด f#2p เปรียบเทียบกับเมื่อเกิดความผิดพลาด f#3p .....	56
รูปที่ 5.5 ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดพลาด f#3n 10% กรณีที่วัดตัวแปรสถานะได้ทุกตัว.....	60

## สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 5.6	การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสถานะ $x_1, x_2, x_3, x_4$ และสัญญาณควบคุม $u_1, u_2$ เมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#3n$ 10% กรณีที่วัดตัวแปรสถานะได้ทุกตัว . . . . .	60
รูปที่ 5.7	ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#1p$ 10%, $f\#2n$ 5%, $f\#3p$ 5% และ $f\#4p$ 5% กรณีวัดตัวแปรสถานะได้ทุกตัว . . . . .	61
รูปที่ 5.8	การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสถานะ $x_1, x_2, x_3, x_4$ และสัญญาณควบคุม $u_1, u_2$ เมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#1p$ 10%, $f\#2n$ 5%, $f\#3p$ 5% และ $f\#4p$ 5% กรณีวัดตัวแปรสถานะได้ทุกตัว . . . . .	61
รูปที่ 5.9	ค่าประมาณตัวแปร $x_2$ ของตัวสังเกตเมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#2n$ 10% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง . . . . .	62
รูปที่ 5.10	ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#2n$ 10% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง . . . . .	62
รูปที่ 5.11	ค่าประมาณตัวแปร $x_2$ ของตัวสังเกตเมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#3n$ 10% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง . . . . .	63
รูปที่ 5.12	ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#3n$ 10% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง . . . . .	63
รูปที่ 5.13	ค่าประมาณตัวแปร $x_2$ ของตัวสังเกตเมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#1n$ 5% และ $f\#3p$ 5% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง . . . . .	64
รูปที่ 5.14	ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#1n$ 5% และ $f\#3p$ 5% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง . . . . .	64
รูปที่ 5.15	ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#2p$ 13% และ $f\#4p$ 5% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง . . . . .	65
รูปที่ 5.16	ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#2p$ 13% และ $f\#4p$ 10% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง . . . . .	65
รูปที่ 5.17	ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#3p$ 5% และ $f\#4p$ 5% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง . . . . .	66
รูปที่ 5.18	ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดปกติ $f\#3n$ 5% และ $f\#4p$ 5% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง . . . . .	66
รูปที่ 5.19	การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสถานะ $x_1, x_2, x_3, x_4$ และสัญญาณควบคุม $u_1, u_2$ กรณีที่เกิดความผิดปกติ $f\#2n$ 13 % และ $f\#4p$ 5% เปรียบเทียบกับกรณีที่เกิดความผิดปกติ $f\#3n$ 5% และ $f\#4p$ 5%. . . . .	67