

สารบัญ

คำนำ

บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)

| | | |
|-------|---|------|
| 1.1 | สัญญาณ | 1-1 |
| 1.1.1 | มิติและช่องสัญญาณ | 1-1 |
| 1.1.2 | สัญญาณเวลา | 1-4 |
| 1.1.3 | สัญญาณแน่นอน, สัญญาณแรนด้อม | 1-6 |
| 1.2 | ระบบและการประมวลสัญญาณ | 1-7 |
| 1.2.1 | ระบบแน่นอน, ระบบสโตคาสติก | 1-8 |
| 1.2.2 | ระบบพารามิเตอร์รวม, ระบบพารามิเตอร์กระจาย | 1-9 |
| 1.3 | โดเมนเวลาและโดเมนความถี่ | 1-9 |
| 1.3.1 | スペกตรัม | 1-9 |
| 1.3.2 | โดเมนเวลา | 1-10 |
| 1.3.3 | โดเมนความถี่ | 1-12 |
| 1.4 | โดเมนการแปลง | 1-15 |

บทที่ 2 สัญญาณและระบบเวลาต่อเนื่อง (CONTINUOUS-TIME SIGNALS AND SYSTEMS)

| | | |
|-------|--|------|
| 2.1 | สัญญาณเวลาต่อเนื่อง | 2-1 |
| 2.1.1 | สัญญาณเวลาต่อเนื่องพื้นฐาน | 2-1 |
| 2.1.2 | การจำแนกชนิดของสัญญาณเวลาต่อเนื่อง | 2-8 |
| 2.1.3 | การดำเนินการต่อสัญญาณเวลาต่อเนื่อง | 2-15 |
| 2.2 | ระบบเวลาต่อเนื่อง | 2-21 |
| 2.2.1 | รายละเอียดสัญญาณขาเข้า-สัญญาณขาออกของระบบ | 2-21 |
| 2.2.2 | การแทนระบบด้วยแผนภาพบล็อก | 2-22 |
| 2.2.3 | การจำแนกชนิดของระบบ | 2-26 |
| 2.3 | การวิเคราะห์ระบบเวลาต่อเนื่องที่เป็นเชิงเส้นและไม่แปรตามเวลา | 2-32 |
| 2.3.1 | เทคนิคการวิเคราะห์ระบบเชิงเส้น | 2-32 |
| 2.3.2 | การแตกสัญญาณขาเข้าเป็นอิมพัลส์ | 2-33 |
| 2.3.3 | การตอบสนองของระบบ LTI ต่อสัญญาณขาเข้าใดๆ | 2-36 |
| 2.3.4 | คุณสมบัติคอนโวจูชันและการต่อร่วมกันของระบบ LTI | 2-43 |
| 2.3.5 | คุณสมบัติของระบบ LTI | 2-45 |
| 2.4 | การวิเคราะห์ระบบ LTI เมื่อแทนโดยสมการอนุพันธ์ | 2-46 |

| | |
|-----------------------------|------|
| 2.4.1 การหาค่าตอบเกอกพันธ์ | 2-46 |
| 2.4.2 การหาค่าตอบเฉพาะ | 2-49 |
| 2.4.3 การหาค่าตอบที่สมบูรณ์ | 2-50 |

บทที่ 3 สัญญาณและระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง (DISCRETE-TIME SIGNALS AND SYSTEMS)

| | |
|---|------|
| 3.1 สัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่อง | 3-1 |
| 3.1.1 สัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่องพื้นฐาน | 3-3 |
| 3.1.2 การจำแนกชนิดของสัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่อง | 3-12 |
| 3.1.3 การดำเนินการต่อสัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่อง | 3-15 |
| 3.2 ระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง | 3-21 |
| 3.2.1 รายละเอียดสัญญาณขาเข้า-สัญญาณขาออกของระบบ | 3-21 |
| 3.2.2 การแทนระบบด้วยแผนภาพบล็อก | 3-25 |
| 3.2.3 การจำแนกระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง | 3-28 |
| 3.2.4 การต่อเข้าร่วมกันของระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง | 3-37 |
| 3.3 การวิเคราะห์ระบบเวลาไม่ต่อเนื่องที่เป็นเชิงเส้นและไม่แปรตามเวลา | 3-36 |
| 3.3.1 เทคนิคการวิเคราะห์ระบบเชิงเส้น | 3-36 |
| 3.3.2 การแตกสัญญาณขาเข้าเป็นอิมพัลส์ | 3-37 |
| 3.3.3 การตอบสนองของระบบเชิงเส้นต่อสัญญาณขาเข้าใด ๆ | 3-39 |
| 3.3.4 การตอบสนองของระบบ LTI ต่อสัญญาณขาเข้าใด ๆ | 3-42 |
| 3.3.5 คุณสมบัติของคอนโวโลชันและการต่อร่วมกันของระบบ LTI | 3-49 |
| 3.3.6 คุณสมบัติระบบ LTI | 3-50 |
| 3.3.7 ระบบ FIR และ IIR | 3-54 |
| 3.4 การวิเคราะห์ระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง เมื่อแทนโดยสมการผลต่าง | 3-55 |
| 3.4.1 ระบบเวลาไม่ต่อเนื่องแบบรีเคอร์สีฟและนอนรีเคอร์สีฟ | 3-56 |
| 3.4.2 สมการผลต่างที่ใช้อิบิยาระบบ LTI | 3-59 |
| 3.4.3 คำตอบของสมการผลต่างเชิงเส้นสัมประสิทธิ์คงที่ | 3-61 |

บทที่ 4 การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณและระบบเวลาต่อเนื่อง (FREQUENCY ANALYSIS OF CONTINUOUS-TIME SIGNALS AND SYSTEMS)

| | |
|---|------|
| 4.1 สัญญาณเวลาต่อเนื่องข้า carb ในโดเมนความถี่ | 4-1 |
| 4.1.1 อนุกรมฟูเรียร์สำหรับสัญญาณเวลาต่อเนื่องข้า carb | 4-1 |
| 4.1.2 รูปต่าง ๆ ของอนุกรมฟูเรียร์ | 4-3 |
| 4.1.3 เงื่อนไข Dirichlet | 4-19 |
| 4.1.4 คุณสมบัติของอนุกรมฟูเรียร์ | 4-22 |
| 4.1.5 ประภาคภูมิกิบบ์ | 4-30 |

| | | |
|-------|--|-------|
| 4.2 | สัญญาณเวลาต่อเนื่องไม่ซ้ำคابในโดเมนความถี่ | 4-33 |
| 4.2.1 | การแปลงฟูเรียร์เวลาต่อเนื่อง | 4-33 |
| 4.2.2 | การลู่เข้าของการแปลงฟูเรียร์ | 4-35 |
| 4.2.3 | การแปลงฟูเรียร์สำหรับสัญญาณเวลาต่อเนื่องซ้ำคاب | 4-37 |
| 4.2.4 | คุณสมบัติของการแปลงฟูเรียร์ | 4-48 |
| 4.2.5 | การประยุกต์ของการแปลงฟูเรียร์ | 4-60 |
| 4.3 | ลักษณะจำเพาะของระบบ LTI ในโดเมนความถี่ | 4-66 |
| 4.3.1 | การตอบสนองความถี่ | 4-66 |
| 4.3.2 | การตอบสนองภาวะอยู่ตัวต่อสัญญาณขาเข้าซ้ำคاب | 4-71 |
| 4.3.3 | การตอบสนองต่อสัญญาณขาเข้าที่ไม่ซ้ำคاب | 4-73 |
| 4.4 | การกรองและวงจรกรองสัญญาณ | 4-74 |
| 4.4.1 | การผิดเพี้ยน | 4-77 |
| 4.4.2 | วงจรกรองที่ไม่มีการผิดเพี้ยน | 4-81 |
| 4.4.3 | วงจรกรองในอุดมคติ | 4-84 |
| 4.5 | การพล็อตในโดเมนความถี่ | 4-86 |
| 4.5.1 | การพล็อตโพลาร์ | 4-87 |
| 4.5.2 | การพล็อต Bode | 4-90 |
| 4.5.3 | การพล็อตขนาดเทียบกับเฟล | 4-103 |

บทที่ 5 การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณและระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง (FREQUENCY ANALYSIS OF DISCRETE-TIME SIGNALS AND SYSTEMS)

| | | |
|-------|---|------|
| 5.1 | สัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่องในโดเมนความถี่ | 5-1 |
| 5.1.1 | อนุกรมฟูเรียร์สำหรับสัญญาณไม่ต่อเนื่องที่ซ้ำคاب | 5-1 |
| 5.1.2 | スペกตรัมความหนาแน่นกำลังของสัญญาณซ้ำคاب | 5-7 |
| 5.1.3 | การแปลงฟูเรียร์เวลาไม่ต่อเนื่องสำหรับสัญญาณไม่ซ้ำคاب | 5-11 |
| 5.1.4 | การลู่เข้าของการแปลงฟูเรียร์ | 5-13 |
| 5.1.5 | スペกตรัมความหนาแน่นพลังงานของสัญญาณไม่ซ้ำคاب | 5-19 |
| 5.1.6 | การแปลงฟูเรียร์ของสัญญาณซ้ำคاب | 5-24 |
| 5.1.7 | คุณสมบัติของการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง | 5-30 |
| 5.2 | ลักษณะจำเพาะของระบบ LTI ในโดเมนความถี่ | 5-43 |
| 5.2.1 | การตอบสนองต่อสัญญาณเอกซ์พอนেเชียลและสัญญาณไซน์ | 5-43 |
| 5.2.2 | การตอบสนองช่วงขณะและภาวะอยู่ตัวต่อสัญญาณขาเข้ารูปไซน์ | 5-53 |
| 5.2.3 | การตอบสนองภาวะอยู่ตัวต่อสัญญาณขาเข้าซ้ำคاب | 5-55 |
| 5.2.4 | การตอบสนองต่อสัญญาณขาเข้าที่ไม่ซ้ำคاب | 5-56 |
| 5.3 | การทำหนดจำเพาะของสัญญาณในโดเมนความถี่ | 5-59 |

| | |
|---|------|
| 5.3.1 ความเป็นคู่ เวลา-ความถี่ | 5-59 |
| 5.3.2 การจำแนกสัญญาณในโดเมนความถี่ | 5-62 |
| 5.3.3 พิสัยความถี่ของสัญญาณธรรมชาติบางแบบ | 5-63 |
| บทที่ 6 การแปลงลาปลาส (LAPLACE TRANSFORMATION) | |
| 6.1 นิยามของการแปลงลาปลาสสองด้าน | 6-1 |
| 6.2 การลู่เข้าของการแปลงลาปลาส | 6-4 |
| 6.3 การแปลงลาปลาสด้านเดียว | 6-8 |
| 6.4 คุณสมบัติการแปลงลาปลาสสองด้าน | 6-12 |
| 6.4.1 คุณสมบัติการแปลงลาปลาสด้านเดียว | 6-14 |
| 6.5 การแปลงกลับลาปลาส | 6-25 |
| 6.5.1 การแยกเศษส่วนย่อย | 6-26 |
| 6.5.2 การแปลงกลับลาปลาสสองด้าน | 6-33 |
| 6.6 การประยุกต์การแปลงลาปลาสในการวิเคราะห์ระบบ | 6-38 |
| 6.6.1 ระบบอันดับหนึ่ง | 6-39 |
| 6.6.2 ระบบอันดับสอง | 6-49 |
| 6.7 ทรานส์ฟอร์มหรือซีสเต็มฟิงก์ชัน | 6-59 |
| 6.7.1 นิยาม | 6-59 |
| 6.7.2 โพลและซีโร | 6-60 |
| 6.7.3 เสถียรภาพของระบบเชิงเส้น | 6-61 |
| 6.7.4 การตอบสนองช่วงขณะและการตอบสนองภาวะอยู่ตัวของระบบเชิงเส้น | 6-61 |
| 6.7.5 การตอบสนองความถี่ของระบบเชิงเส้น | 6-65 |
| 6.8 การแปลงลาปลาสองฟิงก์ชันคोแซลและช้าคาน | 6-68 |
| 6.8.1 การตอบสนองของระบบเชิงเส้นต่อสัญญาณขาเข้าคोแซลและช้าคาน | 6-72 |
| 6.8.2 การตอบสนองภาวะอยู่ตัวต่อสัญญาณขาเข้าช้าคาน | 6-76 |
| บทที่ 7 การแปลง z (z-TRANSFORMATION) | |
| 7.1 นิยามของการแปลง z | 7-1 |
| 7.2 คุณสมบัติของการลู่เข้าของการแปลง z | 7-6 |
| 7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการแปลง z กับการแปลงฟูเรีย์ของสัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่อง | 7-8 |
| 7.4 การแปลง z ด้านเดียว | 7-10 |
| 7.5 คุณสมบัติของการแปลง z | 7-13 |
| 7.5.1 คุณสมบัติการแปลง z ด้านเดียว | 7-19 |
| 7.6 การแปลงกลับ z | 7-21 |
| 7.6.1 โดยการอินทีเกรตคอนทัวร์ | 7-23 |

| | | |
|-------|---|------|
| 7.6.2 | โดยการตั้งหารายวาระ | 7-29 |
| 7.6.3 | โดยการแยกเศษส่วนย่อย | 7-30 |
| 7.7 | การประยุกต์การแปลง z ด้านเดียวในการแก้สมการผลต่าง | 7-38 |
| 7.8 | การแปลง z ที่เป็น Rational | 7-41 |
| 7.8.1 | โพลและซีโร | 7-41 |
| 7.8.2 | ตำแหน่งโพลและพุติกรรมในโดเมนเวลาของสัญญาณคօแซล | 7-46 |
| 7.8.3 | ทรานสเฟอร์หรือซิสเต็มฟังก์ชัน | 7-49 |
| 7.8.4 | การคำนวณการตอบสนองความถี่จากตำแหน่งโพลและซีโร | 7-53 |
| 7.9 | การวิเคราะห์ระบบ LTI ในโดเมน z | 7-57 |
| 7.9.1 | การตอบสนองของระบบที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันเป็น rational | 7-58 |
| 7.9.2 | การตอบสนองของระบบเมื่อเงื่อนไขเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์ | 7-59 |
| 7.9.3 | การตอบสนองช่วงขณะและการตอบสนองภาวะอยู่ตัว | 7-63 |
| 7.9.4 | การเป็นคօแซลและเสถียรภาพ | 7-65 |
| 7.9.5 | การทำจัดของโพลและซีโร | 7-67 |
| 7.9.6 | โพลอันดับมากกว่าหนึ่งและเสถียรภาพ | 7-69 |

บทที่ 8 การประมวลสัญญาณ (SIGNAL PROCESSING)

| | | |
|--------|--|------|
| 8.1 | การซักตัวอย่างสัญญาณเวลาต่อเนื่องในโดเมนเวลา | 8-1 |
| 8.1.1 | ตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล | 8-1 |
| 8.1.2 | การซักตัวอย่างสัญญาณแอนะล็อก | 8-3 |
| 8.1.3 | ทฤษฎีการซักตัวอย่าง | 8-5 |
| 8.1.4 | การสร้างสัญญาณขึ้นใหม่ | 8-12 |
| 8.1.5 | สัญญาณซักตัวอย่าง | 8-18 |
| 8.1.6 | การควนไทยสัญญาณที่มีขนาดต่อเนื่อง | 8-20 |
| 8.1.7 | การเข้ารหัสตัวอย่างที่ถูกควนไทยแล้ว | 8-26 |
| 8.1.8 | ตัวแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อก | 8-26 |
| 8.1.9 | ข้อพิจารณาในทางปฏิบัติ | 8-30 |
| 8.1.10 | การประยุกต์ทฤษฎีการซักตัวอย่าง | 8-32 |
| 8.2 | การจำลองระบบ | 8-34 |
| 8.2.1 | การจำลองระบบในโดเมนเวลา | 8-34 |
| 8.2.2 | ระบบซักตัวอย่าง | 8-48 |
| 8.2.3 | การจำลองระบบในโดเมนความถี่ | 8-56 |
| 8.3 | การซักตัวอย่างสัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่องในโดเมนความถี่ | 8-64 |
| 8.3.1 | การซักตัวอย่างและการสร้างใหม่ สัญญาณไม่ต่อเนื่องในโดเมนความถี่ | 8-65 |
| 8.3.2 | การแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง (DFT) | 8-71 |

| | |
|---|------|
| 8.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง DFT กับการแปลงอีนิท | 8-74 |
| 8.3.4 การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณโดยใช้ DFT | 8-78 |

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ข.

ภาคผนวก ค.

ภาคผนวก ง.