"UTILIZATION OF TRANSISTOR CIRCUITS"

โดย

วิชัย สังขจันทรานนท์

007043

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้

เขียนขึ้นเนื่องด้วยได้รับทุนอุดหนุนจากสภาวิจัยแห่งชาติ

ประจำปี

พ.ศ. 2504 - 2505

i18368906

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เขียนขึ้นโดยมีจุดมุ่งหมาย 3 ประการ คือ

(1) ทำการตรวจสอบวงจร RC oscillator ที่ทำด้วยทรานซิสเตอร์ ได้พบว่า oscillator ที่ใช้ tapered RC feedback network จะทำงานได้ดีกว่า oscillator ที่ใช้ RC feedback network ธรรมดา

(2) ในการสังเคราะห์วงจรที่ประกอบด้วยวงจร RC และ transistor negative impedance converter นั้น อาจทำเป็น

(ก) RC square-wave generator ที่มีความถี่ต่ำ

(ข) วงจร one-port network โดยให้ driving-point impedance มีพฤติการณ์เหมือนกับเป็น pure inductance

(ค) วงจร RC active filter แบบต่างๆได้

(3) ตรวจสอบการใช้ transition capacitance ของ semiconductor diode ในวงจร autodyne ว่าสามารถใช้แทน mechanical variable capacitor และเป็นการเปลี่ยนเทคนิคการ tuning เสียใหม่โดยการปรับค่า bias - potentiometer.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSTRACT

This thesis is divided into 3 main parts:

(1) Investigation of a transistorized RC oscillator. It was found that the oscillator will work better if the tapered RC feedback is used in place of the ordinary one.

(2) Synthesis of various RC active circuits by using negative-impedance converters. It was found that it is possible

  (a) to construct low-frequency RC square-wave generators.

  (b) to construct a one-port network with a driving-point impedance which behaves like a pure inductance.

  (c) to construct various RC active filters.

(3) Possibility to replace mechanically variable capacitors in the autodyne circuit by using the transition capacitance of semiconductor diodes, and to change the tuning technique by varying the bias potentiometer.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณ สภาวิจัยแห่งชาติที่ได้ให้ทุนอุดหนุนจนสามารถเขียนวิทยานิพนธ์นี้เป็นผลสำเร็จ ขอขอบคุณนายวิชัย สุขวัจน์และนายชาย ชีวะเกตุ ผู้ร่วมงาน ซึ่งได้ช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้เริ่มต้นขึ้นได้ ถึงแม้จะไม่มีโอกาสอยู่ทำงานร่วมกันต่อไปจนเป็นผลสำเร็จ นอกจากนี้ขอขอบคุณบรรดาอาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนิสิตวิศวกรรมไฟฟ้า แห่งแผนกวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งนายสุทิน เวทย์วัฒนะ ที่ได้ช่วยซื้อหนังสือ สิ่งของและได้ช่วยเหลือในการจัดหาเครื่องมือที่ใช้ในการค้นคว้านี้

วิชัย สังขจันทรานนท์

๒๘ ธ.ค. ๐๖

แผนกวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
คำขอบคุณ	ง
บัญชีตาราง	ช
บัญชีภาพ	ซ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ประวัติการค้นคว้าทางสารกึ่งตัวนำและทรานซิสเตอร์	4
2.1. การค้นคว้าเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำในสมัยเริ่มแรก	4
2.2. ความเจริญก้าวหน้าเกี่ยวกับคุณสมบัติภายในก้อนสารจนถึงปี 1942	7
2.3. ความเจริญก้าวหน้าเกี่ยวกับคุณสมบัติของผิวจนถึงปี 1942	14
2.4. การค้นคว้าภายหลังสงครามโลกครั้งที่สอง	21
2.5. การค้นคว้าเกี่ยวกับคุณสมบัติของผิวภายหลังปี 1942	22
2.6. การค้นคว้าเกี่ยวกับคุณสมบัติภายในก้อนสารภายหลังปี 1942	23
3. วงจรสมมูลย์และ parameter ของทรานซิสเตอร์	34
3.1. parameter ของทรานซิสเตอร์	34
3.2. วงจรสมมูลย์ของทรานซิสเตอร์	37
3.3. วงจรสมมูลย์สัมพันธ์กับขบวนการทางฟิสิคส์ของทรานซิสเตอร์	39
3.4. วงจรสมมูลย์ที่ใช้ hybrid parameter	44
3.5. วงจรสมมูลย์รูป T	53
3.6. วงจรสมมูลย์ hybrid รูป π	56
3.7. parameter ต่างๆมีค่าขึ้นกับจุด operating point และอุณหภูมิ	60
3.8. single-stage amplifier ที่ใช้กับสัญญาณต่ำ	62

3.9. วงจร Amplifier ที่ดัดแปลงโดยเพิ่ม Element ภายนอกลงไปอีก 67

3.10. Amplifier ที่มี Feedback 69

4. วงจรทรานซิสเตอร์บางอย่าง 76

4.1. CR Oscillator แบบ Phase-Shift 76

4.2. RC Square-Wave Generator ที่ใช้ Negative Impedance Converter 84

4.3. วงจร Active RC ที่มีคุณสมบัติเป็น Pure Inductance 90

4.4. วงจร Active RC ที่ใช้เป็นวงจร Filter 95

4.5. วงจร Autodyne ที่ใช้ Transition Capacitance ของSemiconductor Diode เป็น Variable Capacitor 102

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ 115

5.1. สรุป 115

5.2. ข้อเสนอแนะ 115

ผนวก 1 บัญชีสัญญลักษณ์ 117

ผนวก 2 Matrices 122

ผนวก 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Parameter ต่าง ๆ 125

ผนวก 4 สูตรของ Gain และ Impedance 128

บรรณานุกรม 130

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัญชีตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1.	การแบ่งพวกตัวนำ สารกึ่งตัวนำ และฉนวน	32
3.1.	การเปรียบเทียบ gain และ impedance เมื่อใช้การ feedback แบบต่างๆ	75
4.1.	การแปรค่าของ R_L/R และ current gain ต่อการแปรค่าของ k	81
4.2.	ผลที่ได้จากการทดลองของวงจร RC Phase-Shift Oscillator	83
4.3.	ผลการทดลองของ Band-Pass RC Active Filter	99
4.4.	Semiconductor Diode ที่เหมาะจะใช้งานการเปลี่ยนค่า Capacitance	114

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัญชีภาพ

รูปที่	หน้า
1.1. ทรานซิสเตอร์แบบ point-contact	1
1.2. Junction ทรานซิสเตอร์	2
1.3. สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์	2
3.1. block diagram ของ active three-terminal network	34
3.2. ตัวอย่างการหาค่า parameter α_e ที่สัญญาณมีค่าน้อยจาก static characteristics	37
3.3. วงจรสมมูลย์แบบ z parameter	37
3.4. วงจรสมมูลย์แบบ y parameter	37
3.5. วงจรสมมูลย์แบบ h parameter	38
3.6. (ก) วงจรสมมูลย์รูป T (ข) วงจรสมมูลย์รูป T ที่ใช้ค่าเป็น z parameter	38
3.7. วงจรสมมูลย์รูป π	39
3.8. ทรานซิสเตอร์ต่อแบบ common-base	40
3.9. แสดงถึงประจุไฟฟ้าที่อยู่ในบริเวณ base ซึ่งทำให้เกิดมี emitter diffusion capacitance	40
3.10. วงจร hybrid parameter สำหรับทรานซิสเตอร์อุดมคติที่ความถี่ต่ำ	41
3.11. ค่า current gain ที่สัญญาณต่ำ	46
3.12. Current gain เป็นฟังก์ชันกับ collector voltage	46
3.13. วงจรสมมูลย์ของ hybrid parameter ที่คิดถึงความต้านทานของ base, r'_{bb} ด้วย	47
3.14. รูปวงจรสมมูลย์ hybrid ของทรานซิสเตอร์ที่แท้จริงโดยคิดรวมความต้านทานของ base, r'_{bb} เข้าไว้ด้วย	49
3.15. วงจรสมมูลย์แบบ hybrid เมื่อกำนึงถึง collector capacitance และความถี่ cut-off	50

3.16. วงจร hybrid parameter ที่ต่อแบบ common-emitter 50

3.17. รูปที่ 3.8. เขียนใหม่ให้ง่ายลง 53

3.18. วงจรสมมูลย์รูป T จากทรานซิสเตอร์อุดมคติ 53

3.19. วงจรสมมูลย์รูป T ที่รวมความต้านทานของ base เข้าไว้ด้วย 54

3.20. วงจรสมมูลย์รูป T ที่ใช้ voltage generator 54

3.21. วงจรสมมูลย์รูป T ที่ใช้ current generator 54

3.22. วงจรสมมูลย์รูป T ต่อแบบ common-emitter 55

3.23. วงจรรูป T ที่ใช้ current generator กับค่า collector capacitance และค่า alpha ที่ขึ้นกับความถี่ 55

3.24. วงจรสมมูลย์ hybrid รูป π 56

3.25. วงจรที่ต่อแบบ common-emitter อันเป็นรูปที่แปลงจากรูปที่ 3.8(ค)ให้ง่ายลง 57

3.26. วงจรสมมูลย์ hybrid รูป π ซึ่งใช้เป็นประโยชน์ในย่านความถี่สูงมาก 58

3.27. วงจรสมมูลย์ hybrid รูป π ซึ่งใช้ในย่านความถี่ต่ำ 59

3.28. รูปเส้นโค้งของ input impedance, current transfer ratio และ transconductance 59

3.29. ค่า hybrid parameter ที่ต่อแบบ common-emitter เปลี่ยนค่าไปตามกระแส emitter 60

3.30. ค่า hybrid parameter ที่ต่อแบบ common-emitter เปลี่ยนค่าไปตามศักย์ของ collector 60

3.31. ค่า hybrid parameter ต่อแบบ common-emitter แปรค่าไปตามอุณหภูมิ 61

3.32. Alpha cutoff frequency จะเปลี่ยนค่าไปตามอุณหภูมิ กระแส emitter และศักย์ของ collector 62

3.33. (ก) ทรานซิสเตอร์เมื่อต่อเข้ากับ generator และ load

(ข) เมื่อใช้วงจรสมมูลย์เป็น hybrid parameter

(ค) เมื่อใช้ [h] แทนวงจรสมมูลย์แบบ hybrid parameter 63

3.34. เส้นโค้งของสมการ gain และ impedance ต่างๆ 64

3.35. (ก) แสดงถึง input impedance เป็นฟังก์ชันกับ R_L

(ข) แสดงถึง output impedance เป็นฟังก์ชันกับ R_g 65

3.36. เส้นโค้งของ current และ voltage gain เป็นฟังก์ชันกับ R_L 66

3.37. เส้นโค้งของ power gain 67

3.38. รูปวงจรของ amplifier เมื่อเพิ่ม series element ลงไป 68

3.39. วงจรสมมูลย์ของ amplifier แบบ common-emitter ที่ต่อ emitter resistor ด้วย 68

3.40. วงจร series-current feedback amplifier 70

3.41. วงจร amplifier ที่มี feedback แบบ parallel voltage feedback 72

3.42. (ก) วงจรที่ใช้ series-current และ parallel-voltage feedback ร่วมกัน

(ข) วงจรสมมูลย์ของ (ก) 73

3.43. (ก) วงจร parallel-current feedback

(ข) วงจร series-voltage feedback 74

4.1. รูป block diagram ของวงจร feedback 76

4.2. วงจร CR phase-shift oscillator 77

4.3. วงจรสมมูลย์ของรูปที่ 4.2. 78

4.4. รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R_L/R, h_{fe} กับ k 82

4.5. วงจร RC phase-shift oscillator ที่ใช้ในการทดลอง 82

4.6. รูป block diagram ของ negative impedance converter 84

4.7. รูป block diagram ของ RC square-wave generator 85

4.8. RC network ของ Z_1 และ Z_2 85

4.9. Square-wave generator ที่ใช้ negative impedance converter 86

4.10. วงจรสมมูลย์ของ NIC 87

4.11. วงจร RC กับ NIC ที่ใช้ในการหา driving-point impedance 90

4.12. รูป network ที่มี driving-point admittance เท่ากับ 1/s 93

4.13. Network ที่ใช้ในการทดลองที่มี driving-point admittance = 1/s 94

4.14. วงจรเมื่อแก้ y_{22a} และ y_{22b} ให้ถูกต้อง 94

4.15. รูป block diagram ของวงจร RC active filter 95

4.16. (ก) pole ของ transfer impedance

(ข) pole และ zero ของ D(s) 97

4.17. วงจร RC active filter ที่มี Butterworth characteristic 98

4.18. การเรียงตัวของ pole-zero ของรูปวงจร high-pass และ band-pass 98

4.19. วงจร two-stage active band pass filter 100

4.20. Characteristics ของรูปที่ (4.19) 101

4.21. รูปของ p-n junction ที่ทำด้วย (ก) วิธี alloying (ข) วิธี grown และ

(ค) วิธี diffusion 103

4.22. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสิ่งเจือปน ประจุและสักย์ครอบ abrupt -

p-n junction แบบอุดมคติ (ก) ความเข้มข้นของสิ่งเจือปน (ข) ความเข้มข้น

ของประจุ (ค) ความเข้มข้นของประจุอย่างอุดมคติ และ (ง) การเปลี่ยนแปลงศักย์

อิเลคตรอนอย่างอุดมคติ 105

4.23. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสิ่งเจือปน ประจุและศักย์ครอบ graded p-n

junction (ก) ความเข้มข้นของสิ่งเจือปน **(ข) ความเข้มข้นของประจุ**

(ค) ความเข้มข้นของประจุอย่างอุดมคติ (ง) การเปลี่ยนแปลงของศักย์อิเลคตรอน 108

4.24. วงจรสมมูลย์ของ semiconductor diode 111

4.25. (ก) วงจร resonant ที่ใช้ silicon diode 1 ตัว

(ข) รูป waveform ที่ได้จากรูป (ก)

(ค) วงจร resonant ที่ใช้ silicon diode 2 ตัว

(ง) รูป waveform ที่ได้จากรูป (ค) 112

4.2ข. วงจร Autodyne ที่ใช้ silicon diode เป็น variable capacitor 113

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย