สารบาญ

	หน้า
คำขอบคุณ	ค
บทคัดย่อ	ง
รายการตารางประกอบ	ฌ
รายการภาพประกอบ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	2
2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของแหล่งจ่ายแรงดันคงที่	2
ตอนที่ 1 เสถียรภาพของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง	5
2.2 ผลของอุณหภูมิต่อสารกึ่งตัวนำและรอยต่อพีเอ็น	5
2.2.1 ผลของอุณหภูมิต่อไดโอดสารกึ่งตัวนำ	5
2.2.2 ผลของอุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของรอยต่อพีเอ็น	7
2.3 ตัวประกอบที่มีผลต่อเสถียรภาพของจุดทำงานของทรานซิสเตอร์	10
2.4 เสถียรภาพ	15
2.4.1 แรงดันอ้างอิง	16
2.4.1.1 ซีเนอร์ไดโอด	17
2.4.1.1.1 การทำงานของซีเนอร์ไดโอด	18
2.4.1.1.2 คุณสมบัติด้านกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด	21
2.4.1.1.3 การใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์สร้างแรงดันอ้างอิง	24
2.4.1.1.4 ซีเนอร์แบบชดเชยอุณหภูมิ	25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

2.4.1.1.5 เสถียรภาพของส้มประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ 28
2.4.1.1.6 วงจรลดค่าแรงดันชนิดอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ 29
2.4.1.1.7 การใช้ซีเนอร์ไดโอดแบบชดเชยอุณหภูมิและให้จ่ายกระแสได้มาก 31
2.4.1.1.8 ไดโอดแรงดันอ้างอิง 32
2.4.1.2 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดซีเนอร์ที่ใช้กระแสคงที่ 34
2.4.1.3 วงจรรวมชนิดซีเนอร์ 35
2.4.1.4 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงแบบแบนด์แกพ 36
2.4.1.5 วงจรรวมแรงดันอ้างอิงแบบแบนด์แกพ 40
2.4.1.6 แรงดันอ้างอิงพินช์ออฟ 41
2.4.1.7 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงที่เสถียรภาพต่ออุณหภูมิ 42
2.4.1.8 วงจรรวมแรงดันอ้างอิงชนิดแบนด์แกพของ A. PAUL BROKOW 43
2.4.1.9 แหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงที่เสถียรภาพของ D. HAMPEL 48
2.4.1.10 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแรงดันอ้างอิงชนิดเที่ยงตรงของ KAREL E. KUIJK. 53
2.4.1.11 ตัวอย่างไดโอดแรงดันอ้างอิง LM 336 - 2.5 โวลต์ 57
2.4.1.12 แรงดันอ้างอิงที่ใช้กับออพแอมป์ 59

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

		หน้า
2.4.2	หน่วยขยายความคลาดเคลื่อน	60
	2.4.2.1 ดริฟท์ที่เกิดกับแรงดันออฟเซทขาเข้าของแอมปลิไฟเออร์	62
	2.4.2.2 ดริฟท์ที่เกิดจากกระแสออฟเซทขาเข้า	63
	2.4.2.3 ความวองไวตอแหลงจายไฟของแอมปลิไฟเออร์	68
	2.4.2.4 อิมพีแดนซ์ขาออกของแอมปลิไฟเออร์	70
2.4.3	หน่วยของอุปกรณ์ส่งผาน	72
	2.4.3.1 รูปแบบของทรานซิสเตอร์กำลังในวงจรคงค่าแรงดัน	72
	2.4.3.2 ค่าเฉพาะของอุปกรณ์ส่งผาน	74
	2.4.3.3 การตอทรานซิสเตอร์กำลังแบบขนาน	76
2.4.4	หน่วยสุ่มตัวอยางแรงดัน	79
	2.4.4.1 การเลือกใช้ตัวต้านทาน	80
	2.4.4.2 การแก้ความไม่เสถียรภาพในเครื่องจายไฟตรงชนิดใช้ออพแอมป์	81
ตอนที่ 2	การตอบสนองของเครื่องจายไฟกระแสตรง	82
2.5	ลักษณะทางการสวิทช์	82
2.5.1	การสวิทช์ด้วยความเร็วสูง	82
2.5.2	การกำหนดช่วงเวลาขาขึ้น	83
2.5.3	การกำหนดช่วงเวลาขาลง	84
2.5.4	ช่วงเวลาหน่วงและเวลาสะสม	84
2.6	การพิจารณาการตอบสนองในออพแอมป์	86

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

		หน้า
2.6.1	สลูเรส	86
2.6.2	ทรานเซียนท์เรสปอนส์	86
2.6.3	การพิจารณาสลูเรส	87
2.6.4	การเพิ่มค่าสลูเรส	88
2.6.5	เซทหลิ่งไทม์	89
2.6.5.1	ออพแอมป์ความเร็วสูง	91
2.6.5.2	การทดสอบวัดเซทหลิ่งไทม์ของออพแอมป์	92
2.7	โหลดทรานเซียนท์รีสัพเวอรี่ไทม์	93
บทที่ 3	การสร้างวงจรทดลองและอุปกรณ์การทดลอง	95
3.1	การศึกษาโครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟ	95
3.2	การทดลองสร้างวงจรตงค่าแรงดันชนิดใช้ทรานซิสเตอร์	96
3.3	การสร้าง ออกแบบ และทดลองเกี่ยวกับแรงดันอ้างอิง	98
3.3.1	ซีเนอร์ไดโอด	99
3.3.2	วงจรแรงดันอ้างอิงแบบใช้ซีเนอร์ไดโอดชนิดชดเชยอุณหภูมิด้วยกระแสคงที่	100
3.3.3	การทดลองซีเนอร์ไดโอดต่อแบบแสดด	101
3.3.4	การสร้างและทดลองเกี่ยวกับซีเนอร์ไดโอดแบบชดเชยอุณหภูมิแบบต่าง ๆ	102
3.3.5	การสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดแบนด์แกพ	103
3.3.6	การสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดอื่น	103
3.3.6.1	การสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดของ D. HAMPEL	103
3.3.6.2	การสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดของ KAREL E. KUIJK	104

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

3.3.7 สร้างวงจรแรงดันอ้างอิงจากวงจรรวม เบอร์ LM 336 105
3.3.8 การขยายความสามารถของแรงดันอ้างอิงให้จ่ายกระแสได้สูงขึ้น 106
3.4 อิทธิพลของอุปกรณ์อื่นต่อวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น 106
3.5 การสร้างและทดลองออกแบบเกี่ยวกับ เวลาที่ใช้ในการตอบสนองของวงจรคงค่าแรงดัน 108
3.6 การสร้างตู้อบ 109
3.7 การวัดเปรียบเทียบระหว่างแรงดันอ้างอิงที่สร้างขึ้นกับแรงดันที่ควบคุม 109
3.8 การสร้างสวิตชิ่งโหลด 110
3.9 การทดลองสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟตรง 113
3.9.1 การคำนวณหาขนาดหม้อแปลง 113
3.9.2 การคำนวณหากำลังของทรานซิสเตอร์ภาคขยายกระแส 114
3.9.3 การใช้ทรานซิสเตอร์ตัวขับทรานซิสเตอร์กำลัง 115
3.10 การสร้างแหล่งจ่ายไฟชนิดแรงดันและกระแสคงที่ 117
3.11 การออกแบบวงจรสมบูรณ์ 118
3.11.1 การออกแบบวงจรแรงดันอ้างอิงใช้วงจรรวม เบอร์ LM 336 118
3.11.2 การออกแบบวงจรด้านการตอบสนอง 119
บทที่ 4 ผลการทดลอง 122

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

4.1 ผลการทดลองสร้างวงจรคงค่าแรงดันหาผลของแรงดันออกต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป 123
4.2 ผลการทดลองวัดแรงดันออกของวงจรรวมชนิดคงค่าแรงดัน 3 ขา 5.00 โวลต์ เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 126
4.3 การทดลองสร้างแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิง 128
4.3.1 ผลการทดลองสร้างแรงดันอ้างอิงด้วยซีเนอร์ไดโอด 128
4.3.2 ผลการทดลองต่อซีเนอร์ไดโอดแบบแสดด 134
4.3.3 ผลการทดลองสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดซีเนอร์ไดโอดชดเชยอุณหภูมิ 136
4.3.4 ผลการทดลองวงจรแรงดันอ้างอิงของ D. HAMPEL 140
4.3.5 ผลการทดลองของวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงแบบแบนด์แกพ 145
4.3.6 ผลการทดลองวงจรแรงดันอ้างอิงแบบ KUIJK 148
4.3.7 ผลการทดลองของวงจรแรงดันอ้างอิงใช้วงจรรวมเบอร์ LM 336 150
4.3.8 ผลการทดลองวงจรที่สร้างสมบูรณ์ 152
4.4 ผลการทดลองด้านการตอบสนอง 155
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 159
เอกสารอ้างอิง 161
ภาคผนวก 163
ภาคผนวก ก. ตารางแสดง IC reference 164
ภาคผนวก ข. ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 165
ภาคผนวก ค. ตารางแสดงออพแอมป์ต่าง ๆ 166

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้า

ภาคผนวก ง. คำศัพท์ที่ใช้ในรายงานฉบับนี้ 172

ประวัติการศึกษา 176

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงซีเนอร์ไดโอดและไดโอดแรงดันอ้างอิง	33
2.2	แสดงคุณสมบัติของวงจรรวมแรงดันอ้างอิงชนิดหนึ่ง	47
2.3	แสดงแรงดันออกของวงจรแรงดันอ้างอิงของ D. HAMPEL	50
2.4	การแก้ไขผลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อแรงดันออกของวงจรคงค่าแรงดัน	72
2.5	การเลือกใช้ทรานซิสเตอร์กำลังในการขยายกระแสของวงจรคงค่าแรงดัน	78
2.6	สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของความต้านทานแบบต่าง ๆ	80
2.7	เปรียบเทียบค่าสลูเรตของทรานซิสเตอร์ 2 ตัว	89
2.8	แสดงออพแอมป์ที่มีความเร็วสูง	91
3.1	แสดงตำแหน่งของสวิตช์ที่หน้ากล่องสวิตช์ชิ่งโหลด	113
4.1	แสดงค่า ΔV_o ของซีเนอร์ไดโอดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในหน่วยมิลลิโวลต์	129
4.2	ผลการวัดแรงดัน ณ จุดต่าง ๆ ของแรงดันอ้างอิงแบบแบนด์แกพ	146
4.3	สรุป การพิจารณาเลือกใช้วงจรแรงดันอ้างอิง	154

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงโครงสร้างส่วนประกอบของแหล่งจ่ายแรงดันคงที่	4
2.2	วงจรสมมูลย์ของหน่วยสร้างแรงดันคงที่	5
2.3	แสดงค่าแรงดันและกระแสของไดโอดชนิดซิลิคอนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 จุด บริเวณที่อิคทีฟคือค่าจำกัดที่ 25° C ของค่าความนำที่ควบคุม	7
2.4	ค่า I_{CBO} ต่ออุณหภูมิของรอยต่อ a) หมายถึงของทรานซิสเตอร์ 2N1175 แบบเยอร์มาเนียม b) หมายถึงของทรานซิสเตอร์ 2N914 แบบซิลิคอน	8
2.5	การเพิ่มของกระแสย้อนกลับของไดโอดกับการเพิ่มอุณหภูมิของไดโอดแบบเยอร์มาเนียมและซิลิคอน	10
2.6	แสดงการเลื่อนของจุดทำงานเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง	11
2.7	ลักษณะทางออกของทรานซิสเตอร์แบบเยอร์มาเนียมกับซิลิคอน ณ อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 100° C	12
2.8	การขึ้นกับอุณหภูมิของ V_{BE} ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ชนิดเยอร์มาเนียมและซิลิคอน	14
2.9	แสดงค่าแรงดันเบสอิมิตเตอร์ที่เปลี่ยนไปต่ออุณหภูมิกับค่ากระแสในคอลเลคเตอร์	15
2.10	แสดงค่าของแรงดันและกระแสของซีเนอร์ไดโอด	17
2.11	วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงอย่างง่ายโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด	18
2.12	แสดงค่าคุณสมบัติเบรกดาวน์ไดโอด 2 ชนิด กับ 2 อุณหภูมิ 2 ช่วงที่ต่างกัน	19
2.13	รูปแสดงรอยต่อพีเอ็นขณะเบรกดาวน์แบบอะวาลันช์	21
2.14	แสดงคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด	22

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่		หน้า
2.15	แสดงค่าอิมพีแดนซ์และค่าเรกูเลชั่นของซีเนอร์ไดโอดที่แรงดันต่างๆ กัน	24
2.16	แสดงสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของซีเนอร์ไดโอดกับแรงดันเบรกดาวน์	25
2.17	ผลของอุณหภูมิกับคุณลักษณะสมบัติของซีเนอร์ไดโอด	26
2.18	หลักการเบื้องต้นของการชดเชยอุณหภูมิในซีเนอร์ไดโอดชนิดชดเชยอุณหภูมิ	27
2.19	แสดงการชดเชยอุณหภูมิให้กับซีเนอร์ไดโอดด้วยไดโอดที่มีไบอัสตรง	28
2.20	กราฟแสดงค่าแรงดันกับอุณหภูมิของซีเนอร์ไดโอด 1N827 ที่เป็นซีเนอร์แบบชดเชยอุณหภูมิ	29
2.21	วงจรคงค่าแรงดันอย่างง่ายที่ประกอบด้วยซีเนอร์ไดโอด	29
2.22	วงจรคงค่าแรงดันชนิดอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์	30
2.23	วงจรแสดงการใช้โลว์พาสฟิลเตอร์ให้กับการไบอัสซีเนอร์ไดโอด	31
2.24	แสดงการจ่ายกระแสคงที่ให้ซีเนอร์ไดโอดแบบเที่ยงตรงที่ชดเชยอุณหภูมิ	32
2.25	วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดใช้ซีเนอร์ไดโอดที่ใช้กระแสคงที่	34
2.26	กราฟแสดงสัญญาณรบกวนที่เกิดจากไดโอดแรงดันอ้างอิงชนิดโลว์นอยส์ซีเนอร์ชนิดที่ใช้กับ 723	35
2.27	แสดง current mirror	36
2.28	แสดงกราฟอัตราส่วนของกระแสคอลเลคเตอร์สำหรับทรานซิสเตอร์ที่พอเหมาะกัน ซึ่งได้จากความแตกต่างของแรงดันที่เบสอิมิตเตอร์	37

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่		หน้า
2.29	แสดงกระแสของคอลเลคเตอร์และเบสซึ่งเป็นฟังค์ชั่นของแรงดันที่เบส-อิมิตเตอร์	38
2.30	วงจรแรงดันอ้างอิงชนิดแรงดันเบสอิมิตเตอร์แบนด์แกพ	38
2.31	วงจรแรงดันอ้างอิงชนิดแบนด์แกพที่นิยมอีกรูปหนึ่งให้แรงดันออก 5.00 โวลต์	39
2.32	แสดงวงจรรวมแรงดันอ้างอิงแบนด์แกพ TL 431 C	41
2.33	แสดงวงจรแรงดันอ้างอิงแบบพินช์ออฟในฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์	41
2.34	วงจรแรงดันอ้างอิงแบบแบนด์แกพ	43
2.35	รูปแบบวงจรแรงดันอ้างอิงแบบแบนด์แกพ	44
2.36	วงจรใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว สร้างเป็นเซลแบบแบนด์แกพ	46
2.37	วงจรที่ให้แรงดันออกสูงกว่าของแบนด์แกพ	46
2.38	วงจรสมบูรณ์ของวงจรรวมแบบโมโนลิธิคชนิดแรงดันอ้างอิงแบบ 3 ขา	47
2.39	วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงที่เสถียรภาพของ D. HAMPEL	49
2.40	กราฟแสดงแรงดันออกกับแหล่งจ่ายไฟทั้ง $\frac{3}{4}$ V_{cc} และ $\frac{1}{4}$ V_{cc} ของ D. HAMPEL	52
2.41	เสถียรภาพทางอุณหภูมิของแรงดันอ้างอิงของ D. HAMPEL	53
2.42	รูปวงจรรวมเบอร์ 572 ของวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงของ KAREL E. KUIJK	54
2.43	กราฟแสดงผลของอุณหภูมิต่อแรงดันออกของวงจร KAREL E. KUIJK	55
2.44	แสดงพฤติกรรมทางอุณหภูมิของตัวอย่างวงจรหนึ่งของ KAREL E. KUIJK	55
2.45	วงจรสมบูรณ์ของแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงของ KAREL E. KUIJK	56
2.46	การปรับแรงดันเบรกดาวน์ในวงจรรวม LM 336	57
2.47	การปรับสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของวงจรรวม LM 336	58
2.48	วงจรสมบูรณ์ภายในวงจรรวม LM 336	59

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่		หน้า
2.49	วงจรสร้างแรงดันล้างอิงใช้ออพแอมป์	60
2.50	รูปแบบวงจรสร้างแรงดันคงที่ใช้ออพแอมป์	61
2.51	วงจรออพแอมป์แสดงการหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นบนแรงดันออก	65
2.52	แสดงกระแสไบอัสขาเข้าของออพแอมป์แบบทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์และฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อ	66
2.53	การขึ้นกับอุณหภูมิของกระแสไบอัสขาเข้าของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์และฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อ	67
2.54	รูปแสดงค่าจำกัดความของความคลาดเคลื่อนจากแรงดันคอมมอนโหมด	68
2.55	ผลของคอมมอนโหมดต่อวงจรตงค่าแรงดัน	70
2.56	แสดงการลดค่า Z_{OL} โดยการใช้อิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ที่แรงดันออก	71
2.57	แสดงการต่อทรานซิสเตอร์ควบคุมแบบเอ็นพีเอ็นในวงจรตงค่าแรงดัน	73
2.58	แสดงการต่อทรานซิสเตอร์ควบคุมแบบพีเอ็นพีในวงจรตงค่าแรงดัน	73
2.59	แสดงพื้นที่การทำงานอย่างปลอดภัยของทรานซิสเตอร์ 2N3055	75
2.60	การต่อทรานซิสเตอร์แบบขนาน	77
2.61	แสดงวงจรสุ่มตัวอย่างแรงดัน	79
2.62	การแก้ไขความไม่เสถียรภาพในเครื่องจ่ายไฟตรงชนิดใช้ออพแอมป์	81
2.63	โมเดลของทรานซิสเตอร์ขณะทำหน้าที่สวิตช์	82
2.64	รูปแบบคลื่นจากการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์	83
2.65	แสดงการแก้ไขช่วงเวลาสะสมในทรานซิสเตอร์	85
2.66	วงจรแสดงการพิจารณาเรื่องสลูเรต	87
2.67	แสดงค่า Settling time	90
2.68	แสดงการวัด Settling time	92

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่		หน้า
2.69	รูปแบบการวัดและผลของ Settling time ของ LF 356, LF 357	93
2.70	Load transient recovery time	94
3.1	Block diagram ของวงจรคงค่าแรงดัน	95
3.2	วงจรสร้างแรงดันคงที่ชนิดประกอบด้วยทรานซิสเตอร์วงจรหนึ่งที่สร้างเพื่อสำรวจหาสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของแรงดันออก	96
3.3	รูปแบบการวางอุปกรณ์ของอุปกรณ์สร้างแรงดันคงที่ชนิดใช้ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ศึกษาสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของแรงดันออก	97
3.4	รูปแบบการวางอุปกรณ์ในกล่องของวงจรสร้างแรงดันคงที่ชนิดใช้ทรานซิสเตอร์	97
3.5	วงจรคงค่าแรงดันชนิดปรับค่าแรงดันออกที่วงจรสุ่มตัวอย่างแรงดัน	98
3.6	วงจรค่าแรงดันชนิดปรับค่าแรงดันออกที่ความต้านทานที่ต่อจากแรงดันอ้างอิง	98
3.7	รูปการวัดคุณสมบัติด้านอุณหภูมิของซีเนอร์ไดโอด	99
3.8	การใช้ทรานซิสเตอร์แบบฟิลด์เอฟเฟคเป็นตัวจ่ายกระแสคงที่	100
3.9	วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงจากซีเนอร์ไดโอดที่จ่ายกระแสคงที่ด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว	100
3.10	การเพิ่มสเกลของแรงดันอ้างอิงด้วยออพแอมป์โดยการใช้การแบ่งกระแสจากแรงดันออก	101
3.11	การต่อวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงแบบซีเนอร์ไดโอดมาต่อกันแบบ Stack	102
3.12	รูปแบบการสร้างซีเนอร์ไดโอดที่มีการชดเชยอุณหภูมิ	102
3.13	การใช้กระแสคงที่กับแรงดันอ้างอิงแบบแบนด์แกพ	103
3.14	วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงของ D. HAMPEL	104

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่		หน้า
3.15	วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงของ KAREL E. KUIJK	105
3.16	การปรับสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิของวงจรรวมเบอร์ LM336-2.5 V.	105
3.17	วงจรแสดงการเพิ่มความสามารถจ่ายกระแสจากวงจรแรงดันอ้างอิงแบบต่าง ๆ โดยใช้ออพแอมป์และทรานซิสเตอร์ต่อแบบวงจรคงค่าแรงดัน	106
3.18	การชดเชยด้าน Settling time	108
3.19	รูปคู่อย	109
3.20	การวัดเปรียบเทียบหาแรงดันที่เปลี่ยนไปด้วยโวลต์มิเตอร์แบบตัวเลข	109
3.21	กระแสที่เปลี่ยนไปของโหลดของแหล่งจ่ายไฟ	110
3.22	แสดงทรานเซียนท์ และการตอบสนองของแรงดันออก	110
3.23	หลักการสวิตช์ชิ่งโหลด	111
3.24	การใช้วงจรรวม 555 สร้างคลื่นสี่เหลี่ยมป้อนเข้าสู่ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่สวิตช์ชิ่งโหลด	111
3.25	วงจรสวิตช์ชิ่งโหลด	112
3.26	แสดงวงจรเรคติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นมี center tapped	113
3.27	การต่อทรานซิสเตอร์แบบขนานกัน 2 ตัว	115
3.28	การหาค่าความต้านทานไบอัสทรานซิสเตอร์ภาคขับทรานซิสเตอร์ 2N 3055	116
3.29	วงจรแหล่งจ่ายไฟชนิดคงค่าแรงดันและกระแส	117
2.30	วงจรสมบูรณ์ของวงจรสร้างแรงดันอ้างอิงจาก LM 336 กับ LM 308H	118
3.31	วงจรสมบูรณ์ของแหล่งจ่ายไฟชนิดคงค่ากระแสและแรงดันที่สร้างขึ้น	102
3.32	วงจรแรงดันอ้างอิงในกล่อง	121

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่		หน้า
4.1	วงจรคงค่าแรงดันชนิดใช้ทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นหาการเปลี่ยนแปลงของแรงดันออกเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น	123
4.2	ผลการทดลองวัด ΔV_o ของวงจรคงค่าแรงดันจากการใช้ทรานซิสเตอร์ในวงจร	124
4.3	ผลการทดลองวัด ΔV_o ของเครื่องจ่ายไฟตรงชนิดคงค่าแรงดันและกระแสใช้วงจรรวม 7805 เป็นแรงดันอ้างอิง	125
4.4	ผลการทดลองวัด ΔV_o ของวงจรรวมเบอร์ 7805 จำนวน 3 ตัวอย่าง	127
4.5	ตารวัดคุณสมบัติด้านสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของซีเนอร์ไดโอด	128
4.6	ผลการทดลองของซีเนอร์ไดโอดต่าง ๆ ในด้านสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ	130
4.7	ผลการทดลองวัด ΔV_o ซีเนอร์ไดโอด 5.1 โวลต์ เบอร์ 1N5231 กระแส 30 มิลลิแอมแปร์	132
4.8	ผลการทดลองนำซีเนอร์ไดโอด 4.7 โวลต์ กับ 6.2 โวลต์ มาอนุกรมกัน	133
4.9	วงจรต่อซีเนอร์ไดโอดแบบ Stack	134
4.10	ผลการทดลองซีเนอร์ไดโอดต่อแบบ Stack	135
4.11	วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงชนิดใช้ซีเนอร์ที่ชดเชยอุณหภูมิด้วยการป้อนกระแสคงที่จากทรานซิสเตอร์ 2 ตัว	136
4.12	ผลการทดลองซีเนอร์ไดโอดแบบ TC. ด้วยการจ่ายกระแสคงที่ของทรานซิสเตอร์ 2 ตัว	137
4.13	ผลการทดลองซีเนอร์ไดโอดแบบ TC. เปรียบเทียบกับวงจรแรงดันอ้างอิงจาก LM 336	138

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่		หน้า
4.14	ผลการทดลองขยายกระแสของซีเนอร์ไดโอดแบบ TC. ด้วย LM 318	139
4.15	วงจรสร้างแรงต้านอ้างอิงของ D. HAMPEL	140
4.16	ผลการทดลอง 2 ครั้งของวงจรแรงต้านอ้างอิงแบบ D. HAMPEL	141
4.17	การขยายกระแสและเพิ่มขนาดของแรงต้านอ้างอิง	142
4.18	ผลการทดลองขยายกระแสวงจรแรงต้านอ้างอิงของ D. HAMPEL ด้วยวงจรรวมเบอร์ 308 H 2 ตัว	143
4.19	ผลการทดลองขยายกระแสวงจรแรงต้านอ้างอิงของ D. HAMPEL ด้วยวงจรรวมเบอร์ 318, 741	144
4.20	วงจรสร้างแรงต้านอ้างอิงชนิดแบนด์แกพ	145
4.21	ผลการทดลองแรงต้านอ้างอิงแบบแบนด์แกพ	147
4.22	วงจรสร้างแรงต้านอ้างอิงของ KUIJK	148
4.23	ผลการทดลองของวงจรแรงต้านอ้างอิงของ KUIJK	149
4.24	วงจรแรงต้านอ้างอิงของวงจรรวม LM 336	150
4.25	ผลการทดลองวัด ΔV_o ของวงจรแรงต้านอ้างอิงแบบวงจรรวม เบอร์ LM 336	151
4.26	ผลการทดลองแรงต้านออกที่เปลี่ยนไปของวงจรคงค่าแรงดันที่สร้างขึ้นจากแรงต้านอ้างอิงของ LM 336 และ LM 308H เป็นวงจรบัฟเฟอร์	153
4.27	รูปแบบการตอบสนองของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง	155
4.28	รูปการตอบสนองของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงกับการใช้วงจรรวม 3 ตัวอย่าง	157

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved