

621.381528
ย127ก
ร.3

การออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

ปริญญานิพนธ์
ของ
ยงยุทธ วิฑูริศานต์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
มีนาคม 2541
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอก
อุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

.....ประธาน

(ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

.....กรรมการ

(ดร.ละเอียด รัชฎ์เฝ้า)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธาน

(ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

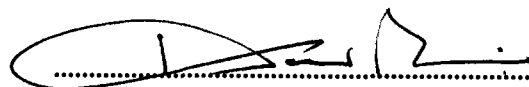
.....กรรมการ

(ดร.ละเอียด รัชฎ์เฝ้า)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณรงค์ เหลืองบุตรนาค)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2541

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงด้วยความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษาแนะนำอย่างดียิ่งจาก ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ประธานคณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ดร. ละเอียด รักษ์เผ่า กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณรงค์ เหลืองบุตรนาท ที่กรุณาร่วมเป็นกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ และน้อมล่ำลึงถึงพระคุณ ของบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ส่งเสริมผลักดัน ให้ความรู้และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัย จึงเป็นเหตุให้สามารถประสบความสำเร็จการศึกษาระดับมหาบัณฑิตนี้อันเป็นพระคุณหาที่เปรียบมิได้

ขอขอบคุณ อาจารย์ สำเริง สุขสวัสดิ์ หัวหน้าภาควิชาไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคเลย อาจารย์ กรกช ศรีสันต์ อาจารย์ประจำภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคเลย ที่อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ เพื่อการเปรียบเทียบกับเครื่องวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ยงยุทธ วิฑูริศานต์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
จุดมุ่งหมายในการศึกษาค้นคว้า.....	4
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า.....	4
ขอบเขตการศึกษาค้นคว้า.	5
นิยามศัพท์เฉพาะ	6
สมมติฐานการศึกษาค้นคว้า	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำ	8
ทรานซิสเตอร์ แบบไบโพลาร์	11
ประวัติทรานซิสเตอร์	11
โครงสร้างทรานซิสเตอร์	11
การทำงานของทรานซิสเตอร์	12
การจัดไบแอสให้กับสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ.....	12
การจัดวงจรทรานซิสเตอร์	14
คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์.....	18
อัตราทดได้สูงสุดของทรานซิสเตอร์	19
ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์.....	19
กระบวนการวัดหาค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าเพื่อการเขียนกราฟ	
ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์.....	23
การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง.....	24
วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น.....	25
วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น.....	26
วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์.....	27
วงจรกรองแรงดัน	27
วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ	28

บทที่	หน้า
วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเหนี่ยวนำ	28
วงจรกรองแรงดันแบบพาส	29
วงจรกรองแรงดันแบบตัวแอล.....	30
วงจรกรองแรงดันแบบ RC	30
การควบคุมแรงดันขาออกคงที่	33
วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบสวิตชิง.....	33
วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบเชิงเส้น.....	33
วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบขนานกับภาระ.....	33
วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบอนุกรมกับภาระ.....	37
วิธีหาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน.....	52
เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	53
ประเภทของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.....	53
เครื่องมือวัดแบบแอมป์โซลูด	53
เครื่องมือวัดแบบมัลติยูนิ	53
ความหมายของศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัด	54
ชั้นของเครื่องมือวัด	54
เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า.....	55
เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงระบบตัวเลข.....	55
เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงระบบตัวเลข.....	55
เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ.....	57
เครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการจัดการศึกษาสาขาอิเล็กทรอนิกส์	59
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	60
3 วิธีดำเนินการศึกษา	62
การศึกษารายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	64
การออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่างๆของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์... ..	64
แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้.....	64
แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดเลือกค่าแรงดันขาออกได้2ระดับ.....	69
แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ชุดเครื่องมือวัดระบบตัวเลข.....	71
ชุดเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า.....	72

บทที่	หน้า
วงจรรวมของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	73
กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ ที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัด	
ทรานซิสเตอร์.....	75
วัสดุอุปกรณ์.....	75
เครื่องมือ	78
กำหนดระยะเวลา และสถานที่ ที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัด	
ทรานซิสเตอร์.....	78
สร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้.....	78
ทดสอบปรับปรุงและแก้ไขการทำงานของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	79
วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการเปรียบเทียบ.....	79
4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	82
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	83
การหาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน.....	83
การปรับแต่งค่าการวัดของเครื่องมือวัดระบบตัวเลข.....	84
การเปรียบเทียบผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด	
ทรานซิสเตอร์และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ.....	86
5 สรุป อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ.....	100
จุดมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า.....	100
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	100
สมมุติฐานการศึกษาค้นคว้า	100
การดำเนินการศึกษาค้นคว้า.....	101
ผลการศึกษาค้นคว้า.....	101
อภิปรายผล.....	103
ข้อเสนอแนะ.....	103
บรรณานุกรม.....	105

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	109
ตอน ก.....	110
ตอน ข	127
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	130

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ค่าแรงดันและค่ากระแสของไอซีควบคุมแรงดันคงที่	48
2	ค่าแรงดันและค่ากระแสไฟฟ้าของไอซีควบคุมแรงดันคงที่ชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้.....	50
3	การหาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาออกคงที่.....	83
4	ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ.....	84
5	ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้นชุดที่ 1 และเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ.....	85
6	ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้นชุดที่ 2 และเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ.....	86
7	ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่กระแสเบส 100 ไมโครแอมแปร์.....	87
8	ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่กระแสเบส 200 ไมโครแอมแปร์.....	88
9	ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่กระแสเบส 300 ไมโครแอมแปร์.....	89
10	ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 400 ไมโครแอมแปร์.....	90
11	ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 500 ไมโครแอมแปร์.....	91
12	ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 600 ไมโครแอมแปร์.....	92
13	ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 700 ไมโครแอมแปร์.....	93
14	ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 800 ไมโครแอมแปร์.....	94
15	ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 900 ไมโครแอมแปร์.....	95

ตาราง

หน้า

16 ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่อง เขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 1000 ไมโครแอมแปร์...	96
17 สรุปค่ากระแสคอลเล็กเตอร์เฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้น และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ.....	97
18 รายการประมาณราคาวัสดุ อุปกรณ์ ของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	128

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงโครงสร้างของอิเล็กทรอนิกส์ของอะตอมทองแดง.....	9
2 แสดงผลึกของซิลิกอน.....	10
3 แสดงสัญลักษณ์และโครงสร้างของทรานซิสเตอร์.....	12
4 แสดงการจัดไบแอสให้แก่ทรานซิสเตอร์.....	13
5 แสดงทิศทางการไหลของกระแสหลังการจัดไบแอส.....	14
6 แสดงวงจรเบสร่วม.....	15
7 แสดงวงจรอิมิตเตอร์ร่วม.....	16
8 แสดงวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม.....	18
9 แสดงลักษณะสมบัติทางด้านขาเข้าของวงจรเบสร่วม.....	20
10 แสดงลักษณะสมบัติทางด้านขาออกของวงจรเบสร่วม.....	21
11 แสดงลักษณะสมบัติทางด้านขาเข้าของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม.....	22
12 แสดงลักษณะสมบัติทางด้านขาออกของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม.....	22
13 แสดงการต่ออุปกรณ์ทดสอบหากราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์.....	23
14 แสดงตารางบันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้.....	24
15 แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น.....	25
16 แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น.....	26
17 แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์.....	27
18 แสดงวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ.....	28
19 แสดงวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเหนี่ยวนำ.....	29
20 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบพาส.....	29
21 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบรูปตัวแอล.....	30
22 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบ R_c	30
23 แสดงไดโอดเกรนควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบขนาน.....	33
24 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ที่ใช้ซีเนอริไดโอด.....	34
25 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ที่ใช้เทอร์มิสเตอร์.....	35
26 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ที่ใช้ทรานซิสเตอร์.....	36
27 แสดงบล็อกไดโอดเกรน ของวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบอนุกรมกับภาระ.....	37

ภาพประกอบ

หน้า

28	แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบอนุกรมกับภาระ โดยใช้ทรานซิสเตอร์.....	38
29	แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ชนิดปรับค่าแรงดันได้.....	40
30	แสดงวงจรอย่างง่ายของการควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดยใช้โอปแอมป์.....	41
31	แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ 15V 20 mA.....	42
32	แสดงการเพิ่มกระแสขาออกโดยใช้ทรานซิสเตอร์.....	42
33	แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ที่ใช้การต่อทานซิสเตอร์ แบบคาริงตันและมีวงจรป้องกันการลัดวงจร.....	43
34	แสดงการปรับค่าแรงดันขาออกโดยปรับที่ภาคตัวอย่างแรงดัน.....	44
35	แสดงการปรับค่าแรงดันขาออกโดยปรับที่ภาคแรงดันอ้างอิง.....	45
36	แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ชนิดปรับค่าได้ 0-30V, 2A.....	46
37	แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดยใช้ไอซี 78xx.....	49
38	แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดยใช้ไอซีตระกูล 79xx.....	49
39	แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ชนิดปรับค่าได้โดยใช้ ไอซี 3 ขาเบอร์ LM 317	51
40	แสดงการต่อวงจรเพื่อหาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน.....	52
41	แสดงวงจรเครื่องมือวัดไฟฟ้าระบบตัวเลข.....	55
42	แสดงภาพด้านหน้าของเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของ สารกึ่งตัวนำ รุ่น 571.....	58
43	แสดงกรอบความคิดในการศึกษาค้นคว้า.....	63
44	แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ชนิดปรับค่าแรงดันได้ 0- 30V, 2 A	65
45	แสดงวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดเลือกค่า แรงดันขาออกได้.....	69
46	แสดงวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับชุดเครื่องมือวัดระบบตัวเลข.....	71
47	แสดงการเพิ่มวงจรแบ่งแรงดันให้ชุดเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า.....	72
48	แสดงการเพิ่มวงจรแบ่งกระแสให้ชุดเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า.....	73
49	แสดงวงจรการเดินสายไฟฟ้าภายในของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	73
50	แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองชนิด...	99
51	แสดงภาพด้านหน้าของเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	113

ภาพประกอบ	หน้า
52 แสดงภาพด้านหลังของเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	114
53 แสดงวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดัน ขาออกได้ 0- 30 โวลต์.....	116
54 แสดงลายแผ่นทองแดงด้านล่างของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ 0 - 30 โวลต์.....	117
55 แสดงการวางตำแหน่งอุปกรณ์ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ 0 - 30 โวลต์.....	118
56 แสดงวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดเลือกค่าแรงดันขาออกได้.....	119
57 แสดงลายแผ่นทองแดงด้านล่างของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดเลือกค่าแรงดันขาออกได้.....	119
58 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดเลือกค่าแรงดันขาออกได้.....	120
59 แสดงวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ชุดเครื่องมือวัด.....	120
60 แสดงลายแผ่นทองแดงด้านล่างของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ชุดเครื่องมือวัด.....	121
61 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ชุดเครื่องมือวัด.....	121
62 แสดงการต่อวงจรเพิ่มให้แก่ชุดเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า เพื่อวัดค่าได้สูงสุด 200 มิลลิแอมแปร์.....	122
63 แสดงการต่อวงจรเพิ่มให้แก่ชุดเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า เพื่อให้วัดค่าได้สูงสุด 200 มิลลิแอมแปร์ และ 2 แอมแปร์.....	122
64 แสดงการต่อวงจรเพิ่มให้แก่ชุดเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า.....	123
65 แสดงวงจรของเครื่องมือวัดระบบตัวเลข.....	123
66 แสดงวงจรรวมของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	124

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

นับตั้งแต่ ไมเคิล ฟาราเดย์ (Micheal Faraday) ได้ค้นพบกระแสไฟฟ้า ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของอำนาจแม่เหล็ก เมื่อปี ค.ศ. 1831 เป็นต้นมา (วิชาญ ก่องดาวงศ์. 2534: 20) ก็ได้มีการพัฒนาการใช้กระแสไฟฟ้า เพื่อประโยชน์ของมนุษยชาติ อีกหลายยุคหลายสมัย จนถึงปัจจุบันซึ่งยอมรับกันโดยทั่วไปว่าเป็นยุคโลกาภิวัตน์ (Globalization) หรือยุคโลกไร้พรมแดนทางภูมิศาสตร์ (มงคล คำธนาอินทร์. 2537: 2) สิ่งสำคัญที่ช่วยให้เกิดสภาพการณ์ของโลกไร้พรมแดนทางภูมิศาสตร์ ก็คือความเจริญอย่างรวดเร็วทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) ประเทศไทย แม้เป็นประเทศเกษตรกรรมดั้งเดิมมาก่อน แต่ได้มีการพัฒนาประเทศ เพื่อเป็นประเทศอุตสาหกรรมใหม่โดยมีการส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างจริงจัง เป็นผลให้การขยายตัวทางเศรษฐกิจในช่วงระยะก่อนเริ่มแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2535-2539) มีอัตราสูงถึงร้อยละ 10 (อนุภาพ สุนอนันต์. 2537: 13) ส่วนการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศในช่วง 3 ปีแรก ของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 โดยรวมมีอัตราทั้งหมด ร้อยละ 8.2 ต่อปี (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2537: 12) และการส่งออกสินค้า ที่มีมูลค่าสูงสุดประจำปี พ.ศ. 2538 ได้แก่สินค้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีมูลค่าการส่งออก 331,050 ล้านบาท (วรวิทย์ ไพศาลสุขะกุล. 2539: 92) และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 404,551 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2539 (ผู้จัดการรายวัน. 2538: 3) ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการขยายตัวทางอุตสาหกรรมแล้ว จะเห็นว่า เทคโนโลยี บุคลากร และความเจริญทางด้านอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาตามไปด้วย ซึ่ง ยืน ภู่วรรณ (2538: 4) ให้ความเห็นว่า เครื่องมือ เครื่องใช้ทางอิเล็กทรอนิกส์แม้จะมีความทำงานที่ซับซ้อนแต่ก็อาศัยหลักการพื้นฐาน ซึ่งถ้าเข้าใจพื้นฐานนั้นอย่างเพียงพอก็จะสามารถเรียนรู้การทำงานที่ซับซ้อนนั้นได้ไม่ยาก การศึกษาวิชาชีพทางอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องมีการเรียนรู้ทั้งทาง ทฤษฎีและปฏิบัติควบคู่กันไปจะขาดอย่างใดอย่างหนึ่งมิได้

ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductors) ชนิดหนึ่ง ซึ่งค้นพบโดย จอห์น บาร์ดีน และ วอลเตอร์ เฮท. แบริทเทน (John Bradeen and Walter H. Brattain) ในปี ค.ศ. 1947 (Boylested and Nashelsky. 1992 : 108) ต่อมาได้มี

การพัฒนา ประสิทธิภาพและใช้แพร่หลายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ทรานซิสเตอร์มีความสำคัญทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการใช้ทำหน้าที่แทนหลอดสุญญากาศ (Vacuum tube) ซึ่งมีขนาดใหญ่ และเกิดความร้อนขณะใช้งานสูง ซึ่งทรานซิสเตอร์จะมีขนาดเล็ก และเกิดความร้อนต่ำทำให้อายุการใช้งานยาวนาน ทนต่อการสั่นสะเทือนและทำงานได้ทันทีที่ไม่ต้องมีการอุ่นไส้หลอดให้ร้อนก่อนใช้งาน (เย็น ภู่วรรณ. 2538: 191) แม้ปัจจุบันจะมีการพัฒนาเป็นวงจรรวมหรือไอซี(Integrated circuit) ซึ่งมีความสามารถในการทำงานมากกว่า ทรานซิสเตอร์ แต่พื้นฐานการผลิตก็มาจากการใช้ทรานซิสเตอร์ บรรจุไว้ในแผ่นวงจรเดียวกันเป็นจำนวนมาก ซึ่งในวงจรรวมหนึ่งตัว อาจประกอบด้วยทรานซิสเตอร์หลายร้อยตัวขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการออกแบบเพื่อการใช้งานแต่ถ้าเป็นวงจรที่ต้องการใช้กระแสสูงๆแล้ว ทรานซิสเตอร์ยังมีความจำเป็นที่ต้องใช้อยู่มาก เช่น ในวงจรของเครื่องขยายเสียง (Power amplifier) เป็นต้นการศึกษาเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์นั้นจำเป็นต้องศึกษาถึง โครงสร้าง รูปร่าง ลักษณะสมบัติ (Characteristics) ตลอดจนการใช้งานให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ (เย็น ภู่วรรณ. 2538: 171)

การใช้งานทรานซิสเตอร์ส่วนใหญ่ จะอาศัยลักษณะสมบัติของกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C : collector current) ซึ่งเป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ของแรงดันคร่อมรอยต่อระหว่าง ขาคอลเล็กเตอร์ และขาอิมิตเตอร์ (V_{CE} : collector-emitter voltage) กับกระแสเบส (I_B : base current) ค่าใดค่าหนึ่ง (เย็น ภู่วรรณ. 2538: 200)ซึ่งสอดคล้องกับ นิพนธ์ สุขุม (2532: 4) กล่าวว่ารูปแบบที่ง่ายที่สุดในการศึกษาสิ่งประดิษฐ์รอยต่อสารกึ่งตัวนำนั้นคุณสมบัติทางไฟฟ้า จะถูกศึกษาโดยการวัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อในรูปแบบของกราฟแสดงลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำนั้น ซึ่งการวิเคราะห์แบบกราฟเป็นเครื่องช่วยทางสายตาทำให้เกิดภาพของความคิดเกี่ยวกับการขยาย ความคิดเกี่ยวกับการแกว่ง (Swing) ของแรงดันทางขาออก การขึ้นลงของจุดทำงาน แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างการวัดจุดทำงาน เพื่อจุดประสงค์ของการพิสูจน์และแปลความหมายในการทำงาน (นิพนธ์ สุขุม. 2532: 84)

ความสำคัญของการศึกษาลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์นั้นมีอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะการออกแบบวงจรขยายเสียง ซึ่ง สรณรงค์ (2535: 145-150) กล่าวถึงเรื่องนี้ว่าในภาคขับและภาคสุดท้ายของวงจรเครื่องขยายเสียงแบบ พูช- พูล (Push- pull circuit) จะมีวงจรสองส่วนช่วยกันทำงานโดยวงจรส่วนหนึ่งจะขยายสัญญาณทางบวก อีกส่วนหนึ่งจะขยายสัญญาณทางลบ จึงต้องใช้ทรานซิสเตอร์สองตัว ทำงานตัวละครึ่งคลื่นสัญญาณ(Cycle) แล้วนำมารวมกันอีกครั้ง ทำให้ได้สัญญาณเต็มคลื่นออกทางลำโพง หากทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวมีลักษณะ

สมบัติไม่เหมือนกัน หรือที่เรียกว่าคู่เหมือน (Match pair) แล้ว การขยายสัญญาณทางขาออก (Output) จะมีความเพี้ยน (Distortion) ของสัญญาณเกิดขึ้นมาก ซึ่งสอดคล้องกับ คลิฟฟอร์ด (Robert Clifford ; อ้างอิงโดยศรัณยู. ม.ป.ป.: 111-114) คาร์เวอร์ (Robert Carver. 2533: 24) และบริษัท เจ.วี.ซี. (ทอง โชติสรยุทธ์. 2538: 93) มีความเห็นตรงกันว่า ความเพี้ยนของการขยายสัญญาณในเครื่องขยายเสียงเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่นการเลือกคู่เหมือนของทรานซิสเตอร์ไม่เหมาะสม การขยายที่ไม่สม่ำเสมอ ของทรานซิสเตอร์ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถศึกษาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสคอลเล็กเตอร์และแรงดันคร่อมรอยต่อระหว่าง ขาคอลเล็กเตอร์ และขาอีมิเตอร์ที่กระแสเบสต่างๆกัน และจากการศึกษาหลักสูตรในระดับ อนุปริญญาวิทยาศาสตร สาขาอิเล็กทรอนิกส์ที่เปิดสอนในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ และ คอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสถาบันราชภัฏได้แก่วิชา(5581104) อิเล็กทรอนิกส์ 1 วิชา (5581106) ปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ 1 (สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา 2536: 186 - 187) หลักสูตรระดับมัธยมศึกษา วิชา (ข0284) ช่างซ่อมเครื่องรับวิทยุ (กรมวิชาการ. 2533: 252) หลักสูตรระดับมัธยมศึกษา วิชา(ข 0266) ช่างซ่อมเครื่องรับวิทยุ (กรมวิชาการ. 2533: 177) ระบุให้มีการศึกษาถึงคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งรวมถึงลักษณะสมบัติของ ทรานซิสเตอร์ด้วย

การเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ สามารถเขียนได้หลายวิธีเช่นการใช้ เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ (Curve tracer) ซึ่งจะแสดงผลเป็นภาพบน จอภาพ การใช้คอมพิวเตอร์ และการใช้เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter) เครื่องมือวัด กระแสไฟฟ้า (Ammeter) แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ร่วมกันวัดค่าต่างๆ แล้วนำมาทำการเขียนกราฟในตารางกราฟ

การใช้เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ และใช้คอมพิวเตอร์เขียน กราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์นั้นจะรวดเร็วเหมาะสำหรับผู้ที่มีพื้นฐานหรือผ่านการ ศึกษาเรื่องทรานซิสเตอร์ขั้นต้นมาแล้ว เครื่องมือมีราคาแพง และมีใช้ในห้องปฏิบัติการ ของบริษัท หรือสถาบันการศึกษาขนาดใหญ่ เช่นมหาวิทยาลัย สถาบันอุดมศึกษาบางแห่ง ซึ่งจากการสำรวจเบื้องต้น ในสถาบันราชภัฏ 10 แห่ง วิทยาลัยเทคนิค 9 แห่ง ที่เปิดสอนสาขา อิเล็กทรอนิกส์พบว่าร้อยละ 89.5 ไม่มีเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ ไว้ใช้ในห้องปฏิบัติการเรียนการสอน ซึ่งสอดคล้องกับ ผลการวิจัยเกี่ยวกับการจัดการศึกษา ด้านอาชีวศึกษาทั้งในระดับมัธยมศึกษา และอุดมศึกษา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 - 2532 พบว่า สถานศึกษาขาดแคลน วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องจักร มากที่สุด (วิชัย แหวนเพชร.

2535: 32-33)

สำหรับการเขียนกราฟ ในตารางกราฟ โดยใช้มัลติมิเตอร์ร่วมกับ แหล่งจ่ายกำลัง ไฟฟ้ากระแสตรงมาช่วยนั้นต้องใช้มัลติมิเตอร์จำนวน 3 ตัว แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจำนวน 2 ชุด และอุปกรณ์อื่น ๆ ทำให้ต้องมีการเชื่อมต่อสายไฟฟ้าในวงจรภายนอกที่ยุ่งยาก และราคาโดยรวมค่อนข้างสูง

จากสภาพปัญหาดังกล่าว ผู้ศึกษาจึงออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ ใช้ในการหาค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เพื่อการเขียนกราฟ ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถปรับค่าแรงดันขาออกได้ พร้อมทั้งเครื่องมือวัดที่แสดงผลเป็นระบบตัวเลข (Digital) และสามารถใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อใช้ในงานทดลองอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆได้ด้วย อีกทั้งราคาโดยรวมประหยัดกว่าเครื่องมือวัดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ ให้นักศึกษาใช้ฝึกปฏิบัติต่อไป

จุดมุ่งหมายในการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อออกแบบชุดเครื่องมือวัด หาค่ากระแส และค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์
2. เพื่อสร้างชุดเครื่องมือวัด หาค่ากระแส และค่าแรงดันไฟฟ้า เพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์
3. เพื่อเปรียบเทียบค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ ที่วัดได้จากชุดเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น กับกระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จาก เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. สามารถนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ ของสถานศึกษาเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์ได้
2. สามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนเครื่องมือวัด ในการเรียนวิชาอิเล็กทรอนิกส์ 1 วิชาช่างวิทยุ วิชาช่างเครื่องขยายเสียงได้
3. ใช้คัดเลือกทรานซิสเตอร์เพื่อหาคู่เหมือน ในการซ่อมเครื่องขยายเสียงของสถานประกอบการได้

4. ใช้เป็นเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง และเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้

5. สามารถประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าอื่นๆของทรานซิสเตอร์ได้ เช่น อัตราขยายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (β) และสมการเส้นโหลด (Load line) เป็นต้น

ขอบเขตการศึกษาค้นคว้า

การศึกษารั้ครั้งนี้ ผู้ศึกษามุ่งที่จะออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือวัดหาค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเพื่อใช้ในการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องมือวัดจะแสดงผลของการวัดกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าด้วยระบบตัวเลข ประกอบด้วย
 - 1.1 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current ammeter)
 - มีย่านการวัด 0-200 มิลลิแอมแปร์ จำนวน 1 ตัว
 - มีย่านการวัด 0-2 แอมแปร์ จำนวน 1 ตัว
 - มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2.5
 - 1.2 เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current voltmeter)
 - มีย่านการวัด 0-50 โวลต์ จำนวน 1 ตัว
 - มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2.5
2. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ ประกอบด้วย
 - 2.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ 0-30 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 2 แอมแปร์ จำนวน 1 ชุด
 - 2.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดเลือกค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ 2 ระดับ ได้แก่ 1.5 โวลต์ และ 12 โวลต์สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 500 มิลลิแอมแปร์จำนวน 1 ชุด
 - 2.3 มีค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน (Voltage regulation) ไม่เกินร้อยละ 1
3. มีคู่มือการใช้งานซึ่งแสดงรายละเอียดการใช้งาน การบำรุงรักษาและความปลอดภัยในการใช้งาน
4. การหาค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ใช้ตำแหน่งจุดตัดบนแกน y และแกน x ระหว่างค่ากระแสเบส เท่ากับ 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1,000 ไมโครแอมแปร์ และค่าแรงดันคร่อมรอยต่อ ขาคอลเล็กเตอร์ และ ขาอีมีตเตอร์ เท่ากับ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 โวลต์

5. มุ่งหาค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า เพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์โดยการต่อวงจรแบบอิมิตเตอร์ร่วม (Common emitter circuit) ในทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ (Bipolar junction transistor)

6. ตัวแปรที่จะศึกษา

ตัวแปรต้น ได้แก่ ตำแหน่งจุดตัดระหว่าง ค่ากระแสเบส กับค่าแรงดันคร่อมรอยต่อระหว่างขาคอลเล็กเตอร์และขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่วัดได้จากชุดเครื่องวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้น และ เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ที่วัดได้

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การออกแบบชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ หมายถึง การกำหนดลักษณะวงจรไฟฟ้า ที่มีความสัมพันธ์กับการใช้วัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้สามารถใช้หาค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จะนำไปเขียนกราฟ ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ แบบไบโพลาร์ ได้

2. การสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ หมายถึง การประกอบ วัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกันและบรรจุลงในกล่องเดียวกัน โดยจัดให้มีความสัมพันธ์กันตามแบบที่กำหนดไว้

3. ชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ หมายถึง ชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่ผู้ศึกษาสร้างขึ้นใช้หาค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ แบบไบโพลาร์โดยมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจำนวน 2 ชุด เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 2 ตัว เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 1 ตัว พร้อมด้วย สวิตช์เลือกการทำงานของเครื่องมือวัด

4. กราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ หมายถึง แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสขาเข้า(Input) แรงดันคร่อมรอยต่อทางขาออก (Output) และกระแสขาออกของทรานซิสเตอร์

5. เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำหมายถึงชื่อเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ที่แสดงผลการวัดลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ เช่นทรานซิสเตอร์ ไดโอด เอสซีอาร์ เป็นกราฟทางจอภาพ ยี่ห้อ เทกโทรนิคส์ (Tectronic) รุ่น 571

6. เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ หมายถึง เครื่องมือที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าทางขาออกให้เพิ่มขึ้น หรือลดลงได้ตามต้องการ

7. ทรานซิสเตอร์ แบบไบโพลาร์ หมายถึงสารกึ่งตัวนำที่นำมายึดติดกันตามกรรมวิธีการผลิต ระหว่างสารชนิด P และชนิด N ซึ่งจะได้เป็น PNP หรือ NPN ตามวัตถุประสงค์ของการผลิต มี 3 ขา

8. ตำแหน่งจุดตัดระหว่างค่ากระแสเบส กับค่าแรงดันคร่อมรอยต่อ ระหว่างขาคอลเล็กเตอร์ และ ขาอิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ ได้แก่ ตำแหน่งจุดตัดที่เกิดขึ้นจากค่ากระแสเบสกับค่าแรงดันคร่อมรอยต่อระหว่างขาคอลเล็กเตอร์และขาอิมิตเตอร์ในกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ ที่ได้จากการวัดด้วยชุดเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

9. ค่ากระแสเบส หมายถึง ค่ากระแสที่ไหลผ่านขาเบสของทรานซิสเตอร์ที่ผู้วัดกำหนดไว้เป็นค่าคงที่ในการวัดเพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

10. ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ได้แก่ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ ที่ได้จากการวัดด้วยชุดเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

11. การควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันทางขาออก ของวงจรที่ใช้งาน ขณะไม่ใส่ภาระ และขณะใส่ภาระเต็มพิกัด
(สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย และสมบุญ มาลานนท์. 2538: 44)

สมมติฐานการศึกษาค้นคว้า

ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นและเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ไม่แตกต่างกัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบและสร้าง ชุดเครื่องมือวัดหาค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้า เพื่อการเขียนกราฟ ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ มีดังต่อไปนี้

1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำ
2. ทรานซิสเตอร์ แบบไบโพลาร์
3. กระบวนการวัดหาค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้าเพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์
4. การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง
5. การกรองแรงดัน
6. การควบคุมแรงดันขาออกคงที่
7. การหาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน
8. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า
9. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่ใช้ในการเรียนการสอนทางอิเล็กทรอนิกส์
10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำ

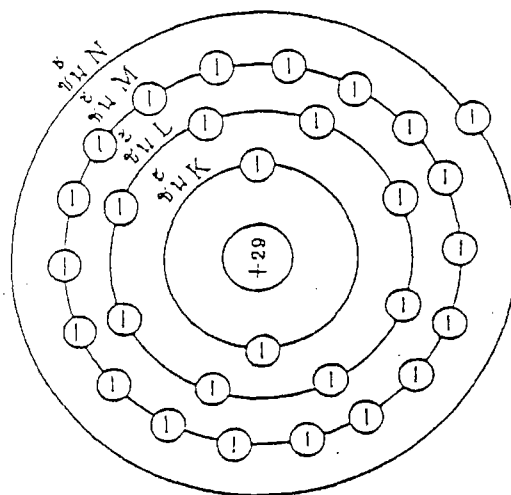
สารกึ่งตัวนำ เป็นสารที่แสดงคุณสมบัติได้ทั้งเป็นตัวนำ และฉนวน เมื่อนำสารนี้มาประกอบเข้าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แล้ว สารกึ่งตัวนำนี้สามารถควบคุมการไหลของกระแส อิเล็กตรอนได้ (ยีน ภู่วรรณ. 2538: 52)

เครื่องมือเครื่องใช้ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ใช้อุปกรณ์หลักที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งบางครั้งเรียกว่า โซลิดสเตท (Solid state) การศึกษาสารกึ่งตัวนำนั้นจะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติ และโครงสร้างของอะตอมของสารเพื่อเป็นความรู้เบื้องต้นในการศึกษาต่อไป

สสารทุกชนิดประกอบขึ้นด้วยอนุภาคที่เล็กที่สุดเรียกว่า อะตอม (Atom) อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันจะเหมือนกันทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี ตลอดจนมวล ถ้าอะตอมของธาตุทั้งสองชนิดหรือมากกว่ามารวมกันทางเคมี โดยที่มีจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิดเป็นจำนวนคงที่ เรียกว่า สารประกอบ

อะตอมประกอบด้วยอนุภาคมูลฐานสำคัญ 3 ชนิด คือโปรตอน (Proton) นิวตรอน (Neutron) และอิเล็กตรอน (Electron) โดยมี โปรตอน กับนิวตรอน อยู่ภายใน นิวเคลียส(Nucleus) โปรตอนจะมีอำนาจไฟฟ้าบวก นิวตรอนจะเป็นกลาง บริเวณรอบๆ โปรตอนและนิวตรอน จะมีอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบวิ่งรอบอยู่ โปรตอนหนึ่งตัวจะมี ประจุไฟฟ้าเท่ากับอิเล็กตรอน คือ 1.6×10^{-19} คูลอมปี ภายในอะตอมของสสารที่มี อิเล็กตรอนวิ่งเคลื่อนที่โดยรอบ อิเล็กตรอนแต่ละตัวจะมีระดับพลังงานที่ขึ้นอยู่กับค่า n ซึ่งเป็นเลขจำนวนเต็ม เช่น 1, 2, 3, 4, ... ระดับพลังงานต่ำสุด คือ $n=1$ ระดับพลังงานนี้ แบ่งเป็น วง (shell) ซึ่งให้ชื่อเป็นอักษรเรียงกันได้แก่ K, L, M, N, O, P, Q,... ระดับพลังงาน $n=1$ ซึ่งเป็นระดับที่มีพลังงานต่ำสุดนั้น จะต้องใช้พลังงานมากที่สุดที่จะดึงเอาอิเล็กตรอนนั้นออกไป จากอะตอมได้

จำนวนอิเล็กตรอนที่จะมีได้มากที่สุด ในระดับพลังงานระดับใดระดับหนึ่ง มีค่า เท่ากับ $2n^2$ เช่น ในระดับ $n=1$ หรือ วง K จะมีอิเล็กตรอนได้อย่างมากที่สุด เท่ากับ $2(1)^2$ หรือ 2 ตัว ในระดับ $n=2$ หรือ วง L จะมีอิเล็กตรอนได้มากที่สุดเท่ากับ $2(2)^2$ หรือ 8 ตัว เป็นต้น และจำนวนอิเล็กตรอนในวงนอกสุด จะต้องไม่เกิน 8 ตัว ตัวอย่างเช่น อะตอม ของทองแดง วง K มีอิเล็กตรอนได้ 2 ตัว วง L มีอิเล็กตรอนได้ 8 ตัว วง M มีอิเล็กตรอน ได้ 18 ตัว วง N มีอิเล็กตรอนได้ 1 ตัว ดังแสดงในภาพประกอบ 1



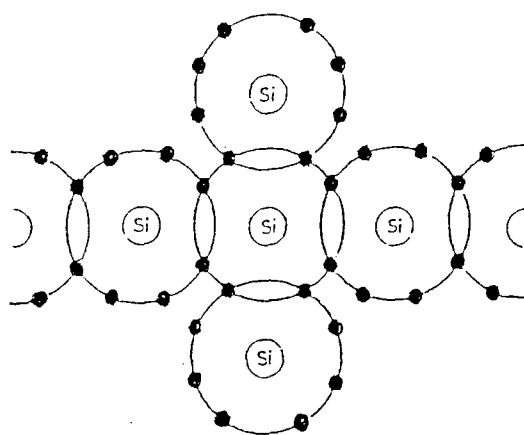
ภาพประกอบ 1 แสดงโครงสร้างของอิเล็กตรอนของอะตอมของทองแดง

(ขึ้น ภูววรรณ. 2538: 64)

ธรรมชาติของอะตอม จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มอะตอมเรียกว่า โมเลกุล (Molecule) ซึ่ง จะมีอำนาจในการรวมตัว ของอะตอมเรียกว่า วาเลนซ์ (Valence) และอำนาจในการรวมตัว

กับอะตอมอื่นจะอยู่ที่วงนอกสุด เรียกว่า วาเลนซ์ (Valence shell) ซึ่งอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงนี้เรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence electron) และจะมีไม่เกิน 8 ตัว ซึ่งจะทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวกันเรียกว่า บอนด์ (Bond) ซึ่งหมายถึง แบบการยึดเหนี่ยวของอะตอมตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป

ธาตุที่นิยมใช้ในการผลิตสารกึ่งตัวนำมีอยู่ 2 ธาตุ ได้แก่ ธาตุเยอรมันเนียม (Germanium) และธาตุซิลิคอน (Silicon) อะตอมของธาตุเยอรมันเนียม มีอิเล็กตรอนทั้งหมด 32 ตัว ส่วนอะตอมของธาตุซิลิคอนมีทั้งหมด 14 ตัว และธาตุทั้งสองมี วาเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่ 4 ตัว การยึดเกาะกันของอะตอมของธาตุนั้น อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดจะสร้างบอนด์ขึ้น ทำให้อิเล็กตรอนในวงวาเลนซ์มีครบ 8 ตัว เรียกว่า โควาเลนซ์บอนด์ (Covalence bond) จากการทดลอง ปรากฏว่าถ้าอิเล็กตรอนของอะตอมในผลึกของสาร ไม่ครบ 8 ตัว มันจะมีแรงพยายาม ดึงอิเล็กตรอนอิสระที่หลงเหลืออยู่ในสารนั้น มาสู่วงโคจรของมันให้ครบ 8 ตัวให้ได้ (ชิน ภู่วรรณ. 2538: 70) โครงสร้างผลึกของซิลิคอนแสดงในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงผลึกของซิลิคอน

(ชิน ภู่วรรณ. 2538: 70)

โฮล (Hole) หมายถึง ช่องว่างที่เกิดจากอิเล็กตรอนหลุดออกไป ซึ่งจะแสดงสถานะทางไฟฟ้าเป็นประจุบวก ส่วนอิเล็กตรอนที่หลุดไปนั้นเรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระ (Free electron) ซึ่งจำนวนโฮล และอิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ มีจำนวนน้อยเกินกว่าที่

จะนำมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง จึงมีวิธีที่ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนอิสระและโฮลเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยใช้ขบวนการที่เรียกว่าการโด๊ป ซึ่งหมายถึงการเติมอะตอมของสารเจือปนลงในผลึกเยอรมันเนียมหรือ ผลึกซิลิกอนบริสุทธิ์ สารกึ่งตัวนำที่ถูกโด๊ปแล้วเรียกว่า สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์

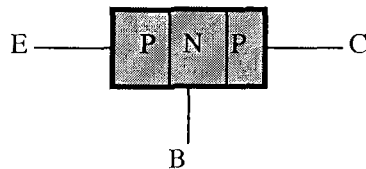
การโด๊ป ทำได้โดยการหลอมเยอรมันเนียม หรือซิลิกอนบริสุทธิ์ให้ละลาย แล้วจึงเติมสารเจือปน ให้ผสมลงไปเนื้อเดียวกัน โดยสารเจือปนจะต้องมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวน 3 ตัวหรือ 5 ตัว ในกรณีที่เติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 3 ตัว อะตอมของ สารเจือปน 1 ตัว จะยึดเกาะกับ อะตอมของเยอรมันเนียม หรือซิลิกอน 4 ตัว ด้วยโควาเลนต์ ทำให้ขาดอิเล็กตรอนไปหนึ่งตัว เกิดเป็นช่องว่างที่เรียกว่า โฮล ลักษณะของสารกึ่งตัวนำที่ได้ จึงสามารถรับอิเล็กตรอนจากภายนอกได้เพิ่มอีกหนึ่งตัว จึงเป็นสารที่มีพาหะข้างมากเป็นบวก หรือสารกึ่งตัวนำชนิด P ส่วนการเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 5 ตัว จากการยึดเกาะด้วยโควาเลนต์ จะทำให้เหลืออิเล็กตรอนตกค้างอยู่หนึ่งตัว ที่ไม่สามารถเข้าไปจับบอนด์ได้ เรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระ และทำให้เกิดสารกึ่งตัวนำที่มีพาหะข้างมากเป็นลบ ซึ่งได้แก่สารกึ่งตัวนำชนิด N

2. ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์

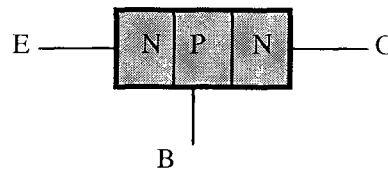
2.1 ประวัติของทรานซิสเตอร์ ในระหว่างปี ค.ศ. 1904 - 1947 หลอดสุญญากาศได้รับความสนใจ และใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลาย กระทั่ง ค.ศ.1947 วงการอิเล็กทรอนิกส์ได้ให้ความสนใจสิ่ง ที่พัฒนาขึ้นใหม่ โดยวอลเตอร์ เฮท แบรทเทน และจอห์น บาร์ดีน ซึ่งได้ทำการค้นคว้าทดลองเกี่ยวกับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ที่ห้องทดลองของบริษัทเบลเทเลโฟนพบว่า สารกึ่งตัวนำสามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ เมื่อเปลี่ยนขั้วแรงดันคร่อมตัวมันเช่นเดียวกับหลอดสุญญากาศ โดยแบรทเทน และบาร์ดีน ได้สาธิตความสามารถในการขยายสัญญาณของทรานซิสเตอร์ ในตอนบ่ายของวันที่ 23 ธันวาคม 1947 และหลังจากนั้นไม่นาน ทรานซิสเตอร์ก็มีการผลิตขึ้นใช้งาน และเป็นที่ยอมรับในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป (Boylested and Nashelsky. 1992 : 108)

2.2 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากการนำเอาสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N มารวมกัน โดยทำให้เกิดรอยต่อระหว่างเนื้อสารนี้สองรอยต่อ ถ้าตัวทรานซิสเตอร์ที่มีสารชนิด P อยู่สองหัวท้าย และชนิด N อยู่กลาง เรียกว่าทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ในทำนองกลับกัน ถ้ามีสารชนิด P อยู่กลาง และมีสารชนิด N อยู่หัวท้าย เรียกว่าทรานซิสเตอร์ชนิด NPN รอยต่อจากเนื้อสารทั้งสามนี้ มีจุดต่อเป็น

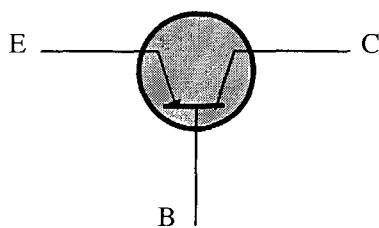
ขาของทรานซิสเตอร์เพื่อใช้เชื่อมโยง หรือยึดติดกับอุปกรณ์อื่น ดังนั้นทรานซิสเตอร์จึงมี 3 ขา มีชื่อเรียกขาต่าง ๆ ได้แก่ ขาคอลเล็กเตอร์ ใช้สัญลักษณ์ C ขาอีมีเตอร์ ใช้สัญลักษณ์ E และขาเบส ใช้สัญลักษณ์ B รูปร่างของโครงสร้าง และสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ แสดงดังภาพประกอบ 3



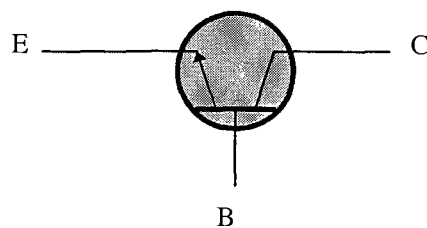
โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ PNP



โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ NPN



ทรานซิสเตอร์ PNP



ทรานซิสเตอร์ NPN

ภาพประกอบ 3 แสดงสัญลักษณ์และโครงสร้างของทรานซิสเตอร์
(ยืน ภู่วรรณ. 2538: 172)

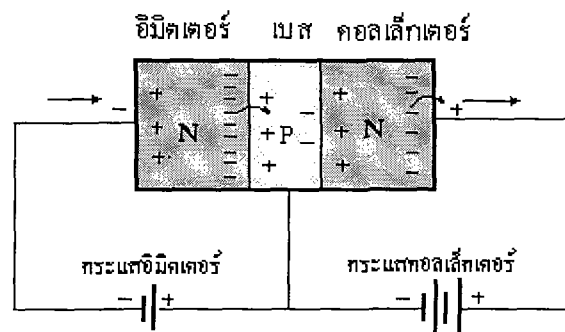
2.3 การทำงานของทรานซิสเตอร์ การทำให้สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ เช่น ไดโอด, ทรานซิสเตอร์ อยู่ในสภาพที่พร้อมที่จะทำงานได้ เรียกว่า การไบแอส (Bias) หรืออีกนัยหนึ่ง การไบแอส คือการป้อนแรงดันให้กับขาต่างๆ ของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ จนมีช่วงทำงานที่เหมาะสม ในกรณีของทรานซิสเตอร์ การป้อนแรงดัน และกระแสไฟฟ้าแก่ขาทั้งสามให้มีค่าที่เหมาะสม เรียกว่า จัดไบแอสให้ถูกต้อง ซึ่งจะช่วยให้ทรานซิสเตอร์ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ยืน ภู่วรรณ. 2538: 173)

2.3.1 การจัดไบแอสให้กับสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ การไบแอสตรง (Forward bias) และการไบแอสกลับ (Reverse bias)

การไบแอสตรงคือการต่อขั้วแหล่งจ่ายไฟให้ตรงกับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ขานั้นๆ เช่นการต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด P และต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารกึ่งตัวนำได้มาก

การไบแอสกลับ คือ การต่อขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้า ให้ต่างกับชนิดของสารกึ่งตัวนำนั้น โดยต่อขั้วบวกเข้ากับสารชนิด N ขั้วลบเข้ากับสารชนิด P เป็นต้นการไบแอสแบบนี้ ตามอุดมคติจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร แต่ทางปฏิบัติอาจมีกระแสรั่วได้บ้าง

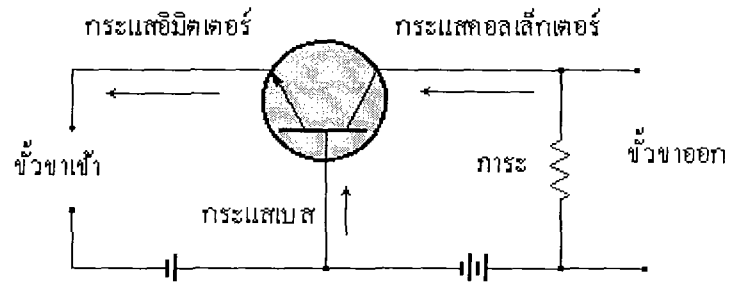
การจัดไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ จะต้องจัดให้ทั้งไบแอสตรง และไบแอสกลับ โดยจัดไบแอสตรงระหว่างขาเบสและอิมิตเตอร์ไบแอสกลับระหว่างขาเบส และคอลเล็กเตอร์ ดังภาพประกอบ 4



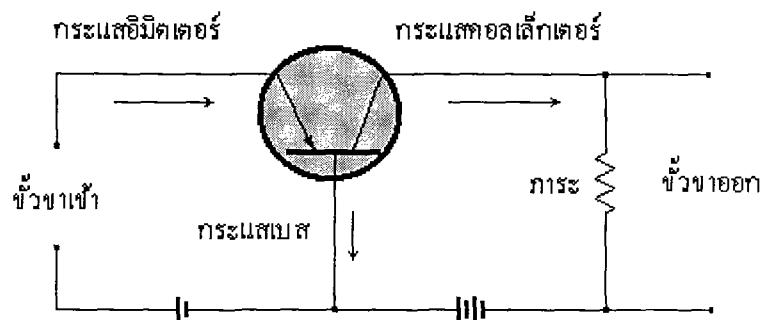
ภาพประกอบ 4 แสดงการจัดไบแอสให้แก่ทรานซิสเตอร์

(ชื่น ภู่วรรณ. 2538 : 177)

ซึ่งเมื่อจัดการไบแอสแล้ว จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อ ดังภาพประกอบ 5



ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

ภาพประกอบ 5 แสดงทิศทางการไหลของกระแส หลังการจัดไบแอส

(ยืน ภู่วรรณ. 2538 : 178)

ทิศทางการไหลของกระแสจะเป็นอย่างไรก็ตาม กระแสอิมิตเตอร์จะมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสเบส และกระแสคอลเล็กเตอร์เสมอ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$I_E = I_B + I_C$$

หรือ

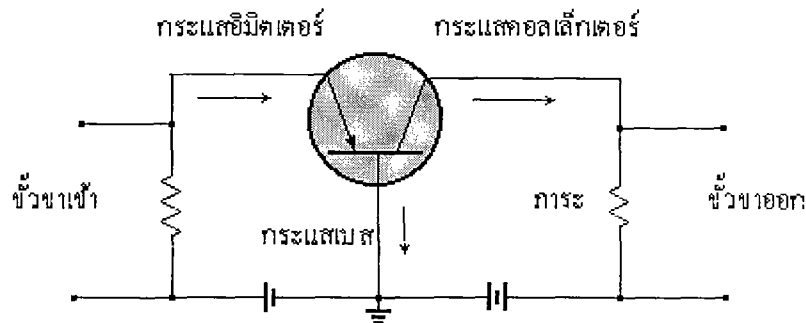
$$I_C = I_E - I_B$$

หรือ

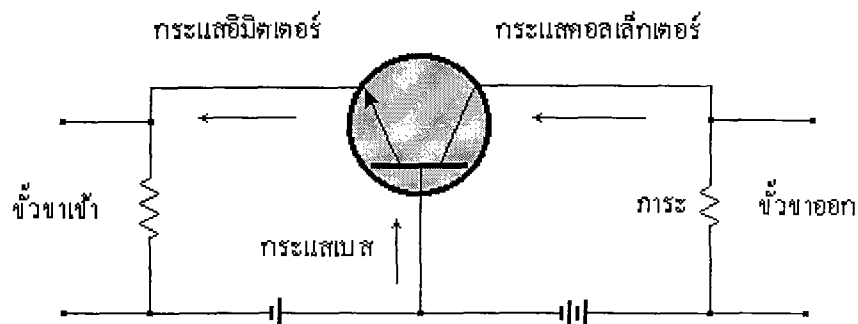
$$I_B = I_E - I_C$$

2.3.2 การจัดวงจรทรานซิสเตอร์ การจัดวงจรทรานซิสเตอร์สามารถจัดได้ 3 ลักษณะได้แก่

2.3.2.1 วงจรเบสร่วม (Common base circuit) ในวงจรขยายเบสร่วม สัญญาณขาเข้าจะถูกป้อนเข้าทางด้านอิมิตเตอร์ และ สัญญาณขาออก จะปรากฏคร่อมตัวต้านทาน R_L ที่คอลเลกเตอร์ เมื่อป้อนสัญญาณขาเข้า จะทำให้กระแสอิมิตเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปกับสัญญาณ และเป็นผล ทำให้กระแสคอลเลกเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยการต่อวงจรเบสร่วมแสดงในภาพประกอบ 6



ก) แสดงวงจรเบสร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP



ข) แสดงวงจรเบสร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ภาพประกอบ 6 แสดงวงจรเบสร่วม

(ยี่น ภู่วรรณ. 2538: 183)

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยายกระแสของวงจรเบสร่วม}(\beta) &= \frac{\text{กระแสขาออก}}{\text{กระแสขาเข้า}} \\ &= \frac{I_C}{I_E} \end{aligned}$$

โดย I_C = กระแสคอลเลกเตอร์

I_E = กระแสอิมิตเตอร์

$$\text{อัตราขยายแรงดันของวงจรเบสร่วม} (A_V) = \frac{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาออก}}{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาเข้า}}$$

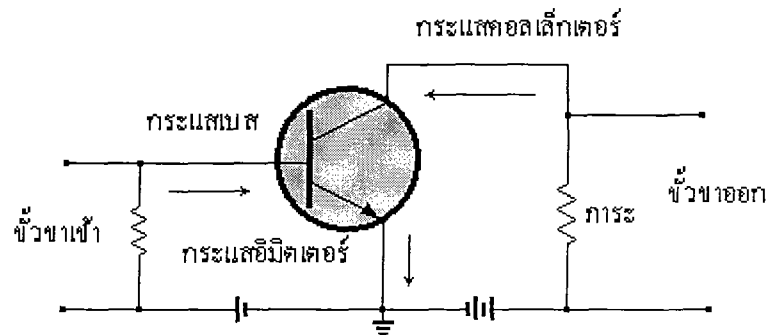
$$= \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i}$$

หรือ $A_v = \frac{\Delta I_c R_L}{\Delta I_E R_i}$

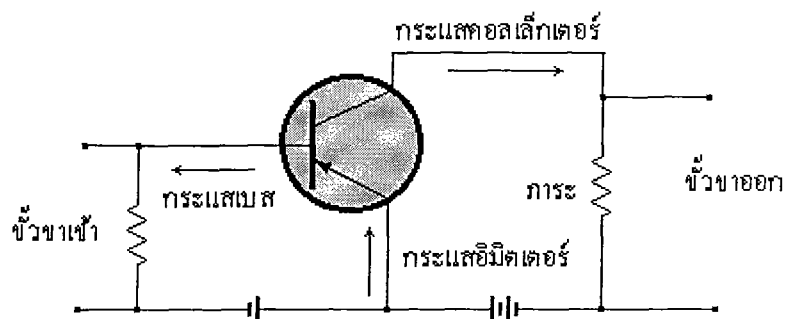
หรือ $A_v = \alpha \frac{R_L}{R_i}$

อัตราขยายกำลังงานของวงจรเบสร่วม (P_G) = อัตราขยายกระแส x อัตราขยายแรงดัน
 $= \beta \times A_v$

2.3.2.2 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common emitter circuit) ในวงจรอิมิตเตอร์ร่วม ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะต่ออยู่ระหว่างทางขาเข้าและขาออก สัญญาณขาเข้าจะป้อนเข้าทางด้านขาเบส และสัญญาณขาออกจะปรากฏที่คร่อม R_L ที่ขาคอลเล็กเตอร์



ก) แสดงวงจรอิมิตเตอร์ร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



ข) แสดงวงจรอิมิตเตอร์ร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

ภาพประกอบ 7 แสดงวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

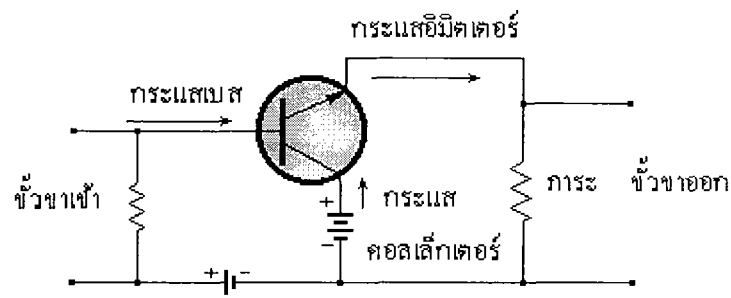
(ยืน ภู่วรรณ 2538 : 185)

$$\begin{aligned}\text{อัตราขยายกระแสของวงจร } (\beta) &= \frac{\text{กระแสขาออก}}{\text{กระแสขาเข้า}} \\ &= \frac{I_C}{I_B}\end{aligned}$$

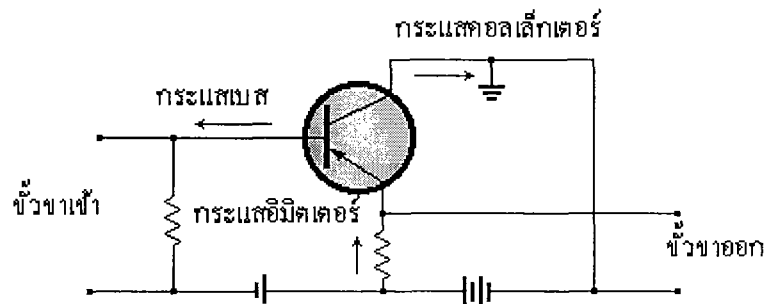
$$\begin{aligned}\text{อัตราขยายแรงดันของวงจร } (A_V) &= \frac{\Delta V_C}{\Delta V_B} \\ &= \frac{\Delta I_C R_L}{\Delta I_B R_B} \\ &= \beta \frac{R_L}{R_B}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{อัตราขยายกำลังงานของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม (P)} &= E \times I \\ &= \frac{\Delta V_C I_C}{\Delta V_B I_B} \\ &= A_V \cdot \beta\end{aligned}$$

2.3.2.3 วงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม (Common collector circuit) ในวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วมนั้น ขั้วคอลเล็กเตอร์จะอยู่ระหว่างขาเข้า และขาออก โดยปกติแล้วขั้วคอลเล็กเตอร์จะไม่ต่อลงดินโดยตรง แต่จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร ดังนั้นวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วมก็คือวงจรอิมิตเตอร์ร่วมที่นำเอาแรงดันขาออกคร่อมตัวต้านทานอิมิตเตอร์ไปใช้งาน ดังแสดงในภาพประกอบ 8



ก) วงจรคอลเล็กเตอร์ร่วมใช้ทรานซิสเตอร์ NPN



ข) วงจรคอลเล็กเตอร์ร่วมใช้ทรานซิสเตอร์ PNP

ภาพประกอบ 8 แสดงวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม

(ยืน ภู่วรรณ. 2538: 189)

วงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม มีข้อแตกต่างจากวงจรอิมิตเตอร์ร่วมและวงจรเบสร่วม คือมีความต้านทานทางขาเข้าสูง ความต้านทานทางขาออกต่ำ ดังนั้น อัตราขยายทางแรงดันจึงมีค่าต่ำ โดยทั่วไปน้อยกว่าหนึ่งส่วนอัตราขยายกระแสของวงจรมีค่าสูงที่สุด

$$\text{อัตราขยายกระแสของวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม} = \frac{I_E}{I_B}$$

2.4 คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ (Specifications of transistor) ทรานซิสเตอร์มีหลายชนิดหลายเบอร์ ซึ่งแต่ละชนิดแต่ละอย่างจะเหมาะกับงานที่ใช้แตกต่างกัน ผู้ใช้จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์นั้น ๆ เพื่อให้สามารถเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสมกับลักษณะงานซึ่ง ยืน ภู่วรรณ (2538: 192) กล่าวว่า บริษัทผู้ผลิตทรานซิสเตอร์จะแจ้งคุณสมบัติต่างๆ ไว้ในหนังสือคู่มือทรานซิสเตอร์ ซึ่งแบ่งออกได้ 4 พวก กล่าวคือ

2.4.1 อัตราทดได้สูงสุดของทรานซิสเตอร์ อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆต้องมีขอบเขตการใช้งานเช่น อัตราทดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่านตัวเองมีค่ามากเท่าไร กำลังงานสูญเสียและอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมได้ ข้อจำกัดต่างๆ เหล่านี้ถูกกำหนดโดยชนิดและโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งผู้ผลิตต้องกำหนดค่าจำกัดไว้ในรายการคุณสมบัติของอุปกรณ์นั้น การใช้งานต้องระวังมิให้ใช้งานเกินขีดจำกัดนี้

ทุกกรณี (ยีน ภู่วรรณ. 2538: 192) ประกอบด้วย

2.4.1.1. อุณหภูมิสูงสุด หมายถึง อุณหภูมิสูงสุดที่รอยต่อจะทนได้ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิจากความร้อนซึ่งสะสมจากการทำงาน หรืออุณหภูมิจากสิ่งแวดล้อมก็ตาม โดยทั่วไปยึดถือดังนี้

- 1) ทรานซิสเตอร์ที่ทำจากสารเยอรมันเนียมทนอุณหภูมิได้ไม่เกิน 90-100 องศาเซลเซียส
- 2) ทรานซิสเตอร์ที่ทำจากสารซิลิกอน มีตัวถังหุ้มเป็นพลาสติกจะทนอุณหภูมิได้ไม่เกิน 125 องศาเซลเซียส
- 3) ทรานซิสเตอร์ที่ทำจากสารซิลิกอน มีตัวถังหุ้มกระป๋องโลหะทนอุณหภูมิได้ไม่เกิน 175-200 องศาเซลเซียส

2.4.1.2. กระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุด หมายถึงกระแสที่ไหลผ่านขั้วคอลเล็กเตอร์มากที่สุดที่ทรานซิสเตอร์ยังทำงานได้ โดยไม่เก็บความร้อนสูงจนทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย ใช้สัญลักษณ์ $I_{C(MAX)}$

2.4.1.3. แรงดันสูงสุดที่ทนได้ หรือแรงดันพัง หมายถึงค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดระหว่างสองขั้วของทรานซิสเตอร์ ซึ่งถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้สูงกว่านี้ทรานซิสเตอร์จะเกิดการเสียหายได้ ซึ่งค่าที่สำคัญที่สุดก็คือค่าแรงดันระหว่างขั้วคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายง่ายที่สุด ใช้สัญลักษณ์ BV_{CEO}

2.4.1.4. กำลังสูญเสียสูงสุด หมายถึงกำลังงานสูญเสียในตัวอุปกรณ์ที่มีค่ามากที่สุด แล้วยังสามารถถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากกำลังงานนั้นได้ทัน โดยไม่ทำให้อุปกรณ์นั้นเสียหาย ใช้สัญลักษณ์ P_D ซึ่งโดยทั่วไปผู้ผลิตจะกำหนดค่ากำลังงานสูญเสียสูงสุดที่รอยต่อของคอลเล็กเตอร์ โดยกำหนดเงื่อนไขเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมหรือ อุณหภูมิวัสดุห่อหุ้มเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

2.4.2 ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ เป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากประการหนึ่งในการศึกษาเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์ ยีน ภู่วรรณ (2538: 200) ได้กล่าวถึงเรื่องนี้ว่า การใช้งานทรานซิสเตอร์ส่วนใหญ่ จะอาศัยลักษณะสมบัติของคอลเล็กเตอร์ ซึ่งเป็นการแสดง

ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันคร่อมขั้วคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ กับกระแสที่ไหลผ่านขั้วคอลเล็กเตอร์ที่ค่ากระแสเบสค่าใดค่าหนึ่ง

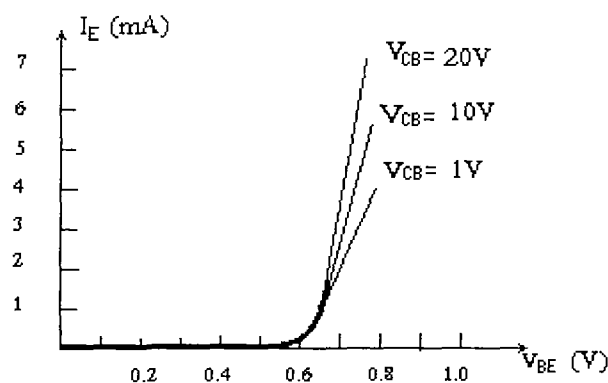
นิพนธ์ สุขุม (2532: 1) ให้ความเห็นว่า รูปแบบง่ายที่สุดในการศึกษาสิ่งประดิษฐ์รอยต่อสารกึ่งตัวนำ ซึ่งคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสาร จะถูกศึกษาโดยการวัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลผ่าน และแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อ ในรูปแบบของกราฟแสดงลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำนั้นๆ

การหาลักษณะสมบัติของคอลเล็กเตอร์นั้นสามารถหาได้โดยการใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะแสดงผลบนจอภาพ หรือใช้อุปกรณ์เครื่องมือวัดหาค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟในตารางกราฟประกอบด้วย

2.4.2.1 ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์สำหรับการต่อวงจรเบสร่วม

1) ลักษณะสมบัติทางด้านขาเข้าของวงจรเบสร่วมมีลักษณะดัง

ภาพประกอบ 9

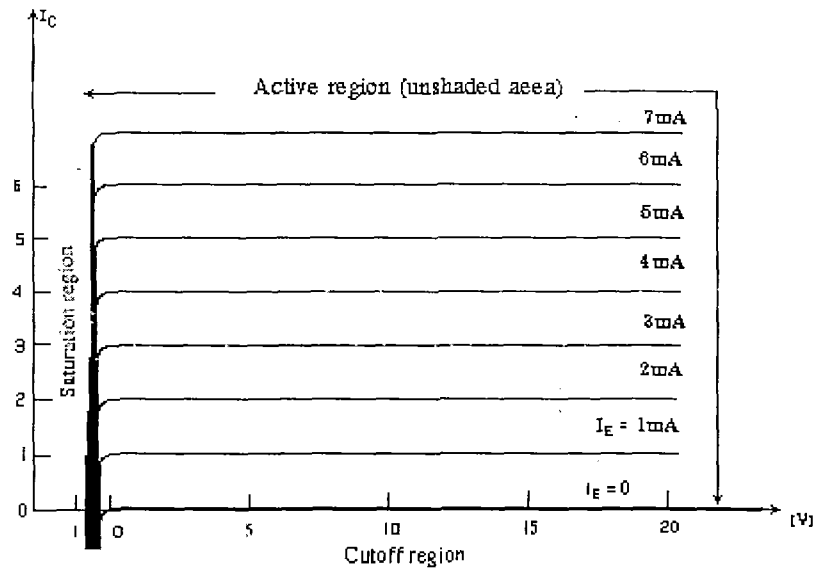


ภาพประกอบ 9 แสดงลักษณะสมบัติทางด้านขาเข้าของวงจรเบสร่วม

(BOYLESTAD AND NASHELSKY. 1992 : 111)

2) ลักษณะสมบัติทางด้านขาออกของวงจรเบสร่วมมีลักษณะดัง

ภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 แสดงลักษณะสมบัติทางด้านขาออกของวงจรเบสร่วม

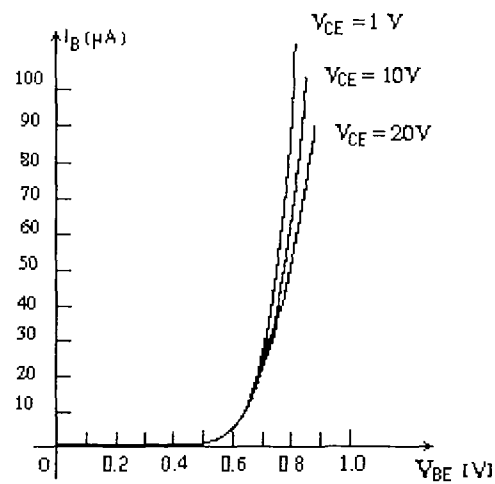
(BOYLESTAD AND NASHELSKY. 1992: 112)

2.4.2.2 ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์สำหรับการต่อวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

มี 2 ลักษณะได้แก่

1) ลักษณะสมบัติทางด้านขาเข้าของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม มีลักษณะ

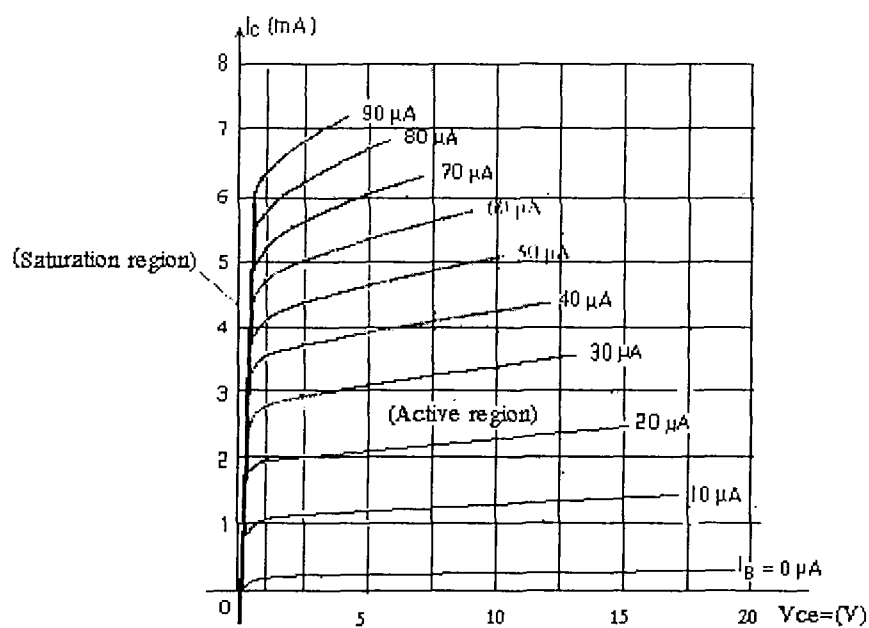
ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แสดงลักษณะสมบัติทางด้านขาเข้าของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม
(BOYLESTAD AND NASHELSKY. 1992: 117)

2) ลักษณะสมบัติทางด้านขาออกของวงจรอิมิตเตอร์ร่วมมีลักษณะ

ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แสดงลักษณะสมบัติทางด้านขาออกของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม
(BOYLESTAD AND NASHELSKY. 1992 : 117)

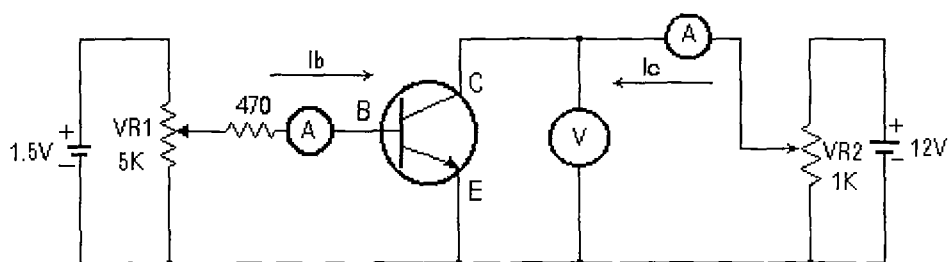
2.4.3 ลักษณะพิเศษอื่น ๆ เป็นลักษณะการใช้งานในวงจรพิเศษเช่นใช้ในวงจรความถี่สูงใช้ในวงจรสวิตชิง เป็นต้น

2.4.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ระบุเฉพาะเบอร์ เช่น พารามิเตอร์ ชนิดไฮบริด-เฮช

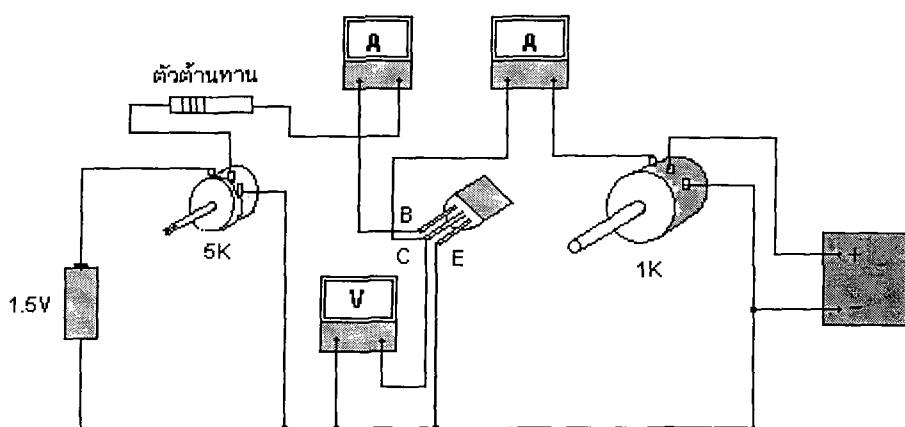
3.กระบวนการวัดหาค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าเพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

วิชาญ ก่องดาวงษ์ (2528: 107) ได้เสนอวิธีทดลองเพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ ดังนี้

1) ต่ออุปกรณ์ตามภาพประกอบ 13



ก) วงจรทดลองหากราฟลักษณะสมบัติทรานซิสเตอร์



ข) แสดงการต่ออุปกรณ์จริง

ภาพประกอบ 13 การต่ออุปกรณ์ทดลองหากราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์
(วิชาญ ก่องดาวงษ์. 2528: 107)

2) ปรับ VR1 ให้ $I_B = 0 \mu A$ แล้วปรับ VR2 ให้ค่า V_{CE} เท่ากับ 0V, 0.5 V, 1 V, 1.5 V, 2 V, 3 V, 4 V, 5 V, 6 V ทุกค่าของ V_{CE} ให้อ่านค่า I_C บันทึกในตาราง

3) ปรับ VR1 ให้อ่านค่า I_B เป็น $10 \mu A, 20 \mu A, 30 \mu A, 40 \mu A, \dots$ ทุกค่าของ I_B ให้ปรับ VR2 ให้ได้ค่า V_{CE} เป็น 0 V, 0.5 V, 1 V, ... (ตามข้อ 2) และทุกค่าของ V_{CE} ให้อ่านค่า I_C บันทึกในตาราง

4) เขียนกราฟระหว่าง V_{CE} และ I_C ที่ I_B ค่าต่าง ๆ

5) จากกราฟตามข้อ 4 วิเคราะห์หา h_{FE} หรือ β

ครั้งที่	I_B μA	I_C เมื่อ $V_{CE}=0$	I_C เมื่อ $V_{CE}=0.5$	I_C เมื่อ $V_{CE}=1$	I_C เมื่อ $V_{CE}=1.5$	I_C เมื่อ $V_{CE}=2$	I_C เมื่อ $V_{CE}=3$	I_C เมื่อ $V_{CE}=4$	I_C เมื่อ $V_{CE}=5$	I_C เมื่อ $V_{CE}=6$
1	10									
2	20									
3	30									
4	40									
5	50									
6	60									

ภาพประกอบ 14 แสดงตารางบันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้

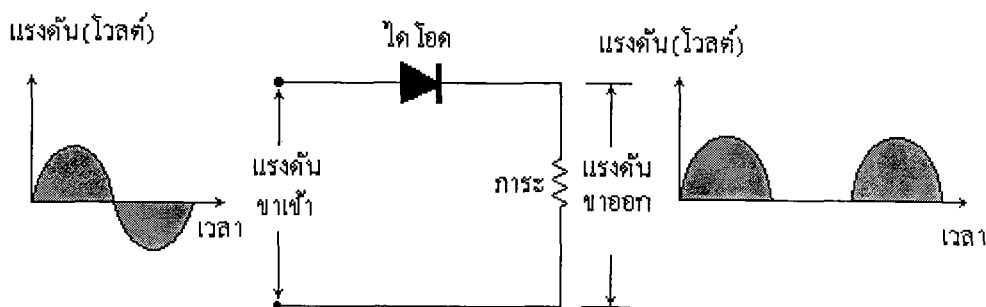
(วิชาญ ก่องดาวงษ์. 2528: 108)

4. การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ จำเป็นต้องมีไฟฟ้ากระแสตรงเลี้ยงวงจร ซึ่งได้จากแบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉาย แต่มีข้อจำกัดที่แบตเตอรี่มีพลังงานสะสมจำกัด จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนหรืออัดไฟกันบ่อยๆ ดังนั้นการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม เพราะนำไปใช้ได้สะดวก และมีพลังงานใช้ได้ยาวนาน ซึ่งวงจรที่ใช้ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงนี้ ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเรียกว่า วงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier)

วงจรเรกติไฟเออร์ คือวงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติ ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง อุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวงจร ได้แก่ ไดโอด (Diode) ซึ่ง ยีน ภู่วรรณ (2538: 100) ได้แบ่งการเรกติไฟเออร์ออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่

4.1 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น (Half wave rectifier) เป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปที่ ภาระ (Load) เฉพาะครึ่งสัญญาณ ซึ่งอาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ตามลักษณะการต่อวงจรแต่ละแบบ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีลักษณะ ดังภาพประกอบ 15

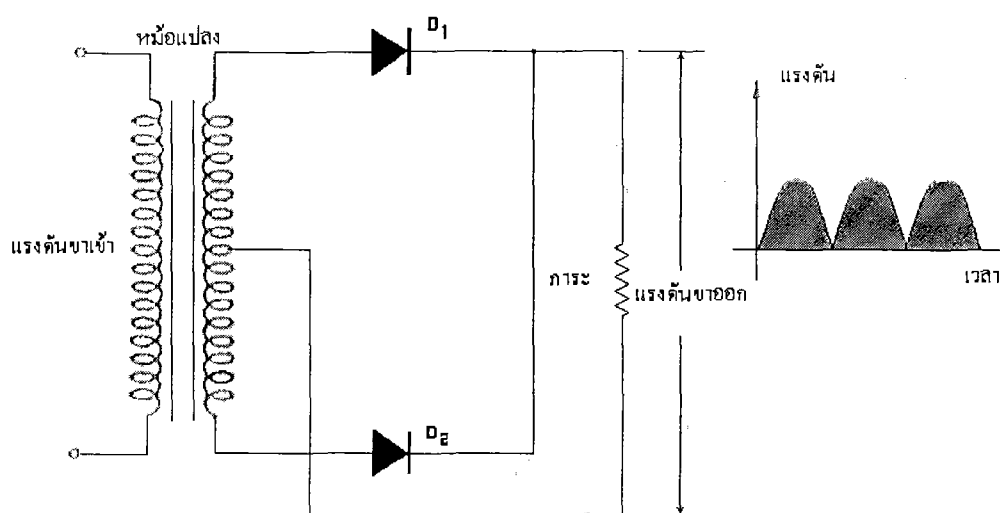


ภาพประกอบ 15 แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น
(ยีน ภู่วรรณ. 2538: 101)

จากภาพประกอบ 15 จะเห็นว่าในช่วงที่สัญญาณไฟฟ้าเป็นบวกไดโอดจะถูกไบแอสตรงทำให้มีกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังภาระได้ และเมื่อสัญญาณไฟฟ้าช่วงลบเข้ามา ไดโอดจะถูกไบแอสกลับ ทำให้ไม่มีกระแสไหลในวงจร แรงดันที่ตกคร่อมภาระจึงมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นสัญญาณขาออกที่ภาระ จึงมีค่าเป็นสัญญาณรูปครึ่งคลื่น ค่าแรงดันไฟตรงที่วัดได้ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ .318 เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีค่าดังสมการ

$$\begin{aligned} V_{dc} &= 0.318 V_P \\ &= 0.318 \sqrt{2} \times V_{RMS} \\ &= 0.449 V_{rms} \end{aligned}$$

4.2 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier) วงจรนี้ จำเป็นต้องใช้ไดโอดอย่างน้อยสองตัว ต่ออยู่ในวงจร เพื่อให้ไดโอดเกิดการนำกระแสในแต่ละครึ่งไซเคิลของไฟฟ้ากระแสสลับ ไดโอดทั้งสองจึงทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกระแสให้กับภาระตัวละครึ่งรอบสัญญาณ และจ่ายในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นวงจรนี้จึงสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงได้เร็วกว่าแบบครึ่งคลื่น วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 16

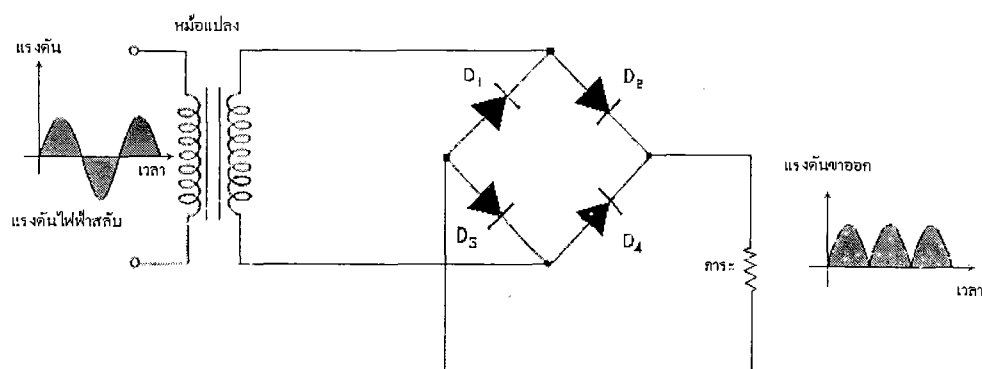


ภาพประกอบ 16 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น
(ยี่น ภู่วรรณ. 2538: 103)

ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางขาออก จะมีค่าเป็นสองเท่าของวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น

$$\begin{aligned} V_{dc} &= 0.637 V_p \\ &= 0.637 \sqrt{2} V_{rms} \\ &= 0.901 V_{rms} \end{aligned}$$

4.3 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์ (Bridge rectifier) เป็นวงจรที่ให้สัญญาณทางขาออกแบบเต็มคลื่น อีกแบบหนึ่ง มีลักษณะการต่อวงจร ดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์
(ยื่น ภู่วรรณ. 2538: 106)

สามารถหาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้จากสมการ

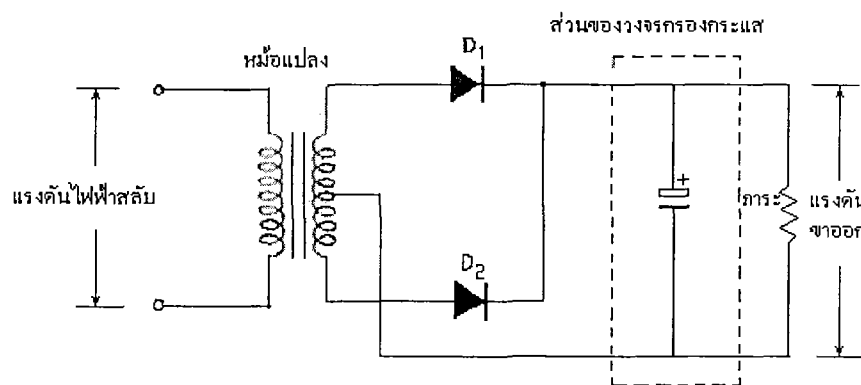
$$\begin{aligned} V_{dc} &= 0.637 V_p \\ &= 0.901 V_{rms} \end{aligned}$$

5. การกรองแรงดัน

สัญญาณไฟฟ้าทางขาออกที่มาจากวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น และวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น จะมีลักษณะเป็นห้วงๆ ซึ่งเป็นการกระเพื่อมของแรงดัน ตามความถี่ทางขาเข้า ในวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่นจะมีค่าเป็น 1 เท่าของความถี่ทางขาเข้า ส่วนวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่นจะมีค่าเป็น 2 เท่าของความถี่ทางขาเข้า ค่ากระเพื่อมของแรงดันไฟตรงทางขาออกที่กระเพื่อมไปจากค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยเรียกว่าริปเปิล ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป วิธีการที่จะลดการกระเพื่อมของแรงดันขาออก ก็จะต้องอาศัยวงจรกรองแรงดันมาทำหน้าที่กรองสัญญาณ

แรงดันที่เป็นห้วงๆ ให้เรียบมากขึ้นจนเกือบเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจริง ๆ ซึ่ง ยืน ภู่วรรณ (2538:107-113) ได้แบ่งประเภทของวงจร กรองแรงดันได้ 4 ประเภท ดังนี้

5.1 วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ แรงดันรีปเปิลมีผลเสมือนกับการจ่ายกระแสภาระเป็นรูปพัลส์ ซึ่งสามารถทำให้ลดลงได้ ถ้ามีพลังงานบางส่วนที่ทางขาออก ถูกเก็บไว้พร้อมที่จะจ่ายออกมาเมื่อถึงจังหวะที่ไม่มีพลังงานจ่ายออกจากวงจรแปลงไฟฟ้า กระแสกลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นหลักการเบื้องต้นของวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ



ภาพประกอบ 18 แสดงวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ

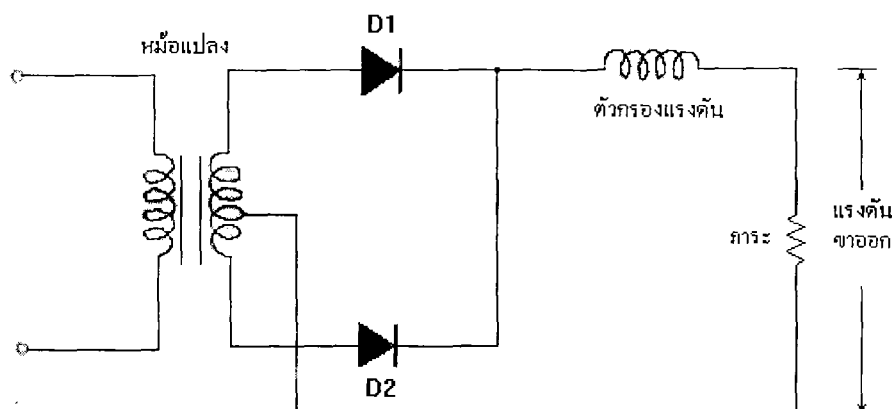
(ยืน ภู่วรรณ. 2538: 108)

การหาค่าตัวเก็บประจุ สามารถหาได้จากสูตร

$$C = \frac{2.9 I_{dc}}{V_{r(rms)}}$$

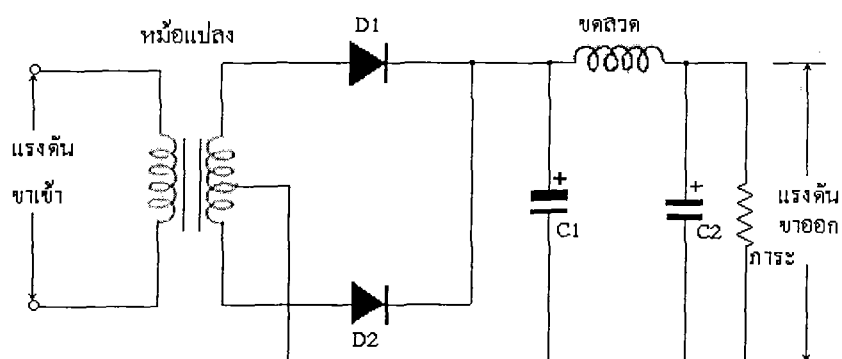
(สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์มาลานนท์. 2538: 51)

5.2 วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเหนี่ยวนำ ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเก็บและคายพลังงานทางไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับตัวเก็บประจุเป็นการเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปของเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า และสามารถนำเอาคุณสมบัตินี้มาทำเป็นตัวกรองกระแสได้เช่นเดียวกับตัวเก็บประจุ มีลักษณะการต่อวงจรดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 แสดงวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเหนี่ยวนำ
(เย็น ภู่วรรณ. 2538: 109)

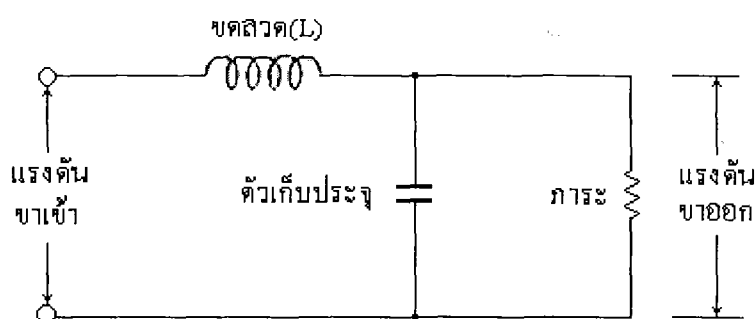
5.3 วงจรกรองแรงดันแบบ พาย (π) วงจรกรองแรงดันแบบพาย เป็นการนำเอา ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำมาต่อร่วมกันในวงจร ซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบพาย
(เย็น ภู่วรรณ. 2538: 110)

ในวงจรกรองแรงดันแบบพายตัวเก็บประจุ C_1 ทำหน้าที่เป็นตัวกรองแรงดันเหมือนตัวกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุตัวเดียวซึ่งตัวเก็บประจุนี้จะเป็นตัวทำให้ค่าแรงดันทางขาออก ลดลงตัวเก็บประจุ C_2 จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับ C_1 ตัวเหนี่ยวนำ L_1 มีหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้า ไม่ให้ค่าแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองแตกต่างกันมากนัก ซึ่งทำให้การกรองแรงดันได้ราบเรียบยิ่งขึ้น

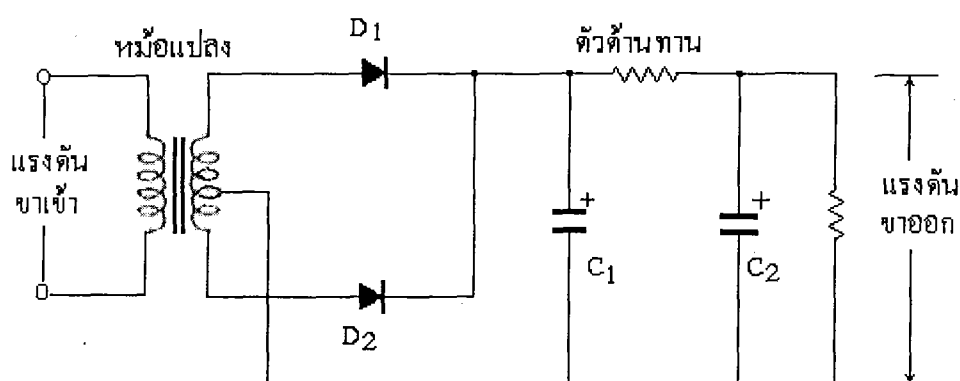
5.4 วงจรกรองแรงดันแบบรูปตัวแอล เมื่อต้องการกรองแรงดันโดยให้ค่าแรงดันขาออกของวงจรมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของแรงดันที่แปลงมาจากไฟฟ้ากระแสสลับ มิใช่ค่าสูงสุด V_p จะต้องใช้การกรองแรงดันที่จัดให้ตัวเหนี่ยวนำอยู่ทางด้านขาเข้าของวงจรกรองแรงดันและตัวเก็บประจุจะอยู่ทางด้านหลังดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบรูปตัวแอล

(ชิน ภู่วรรณ. 2538: 111)

5.5 วงจรกรองแรงดันแบบ Rc ในบางกรณีการพันขดลวดเพื่อเป็นตัวเหนี่ยวนำมักประสบปัญหายุ่งยาก ทั้งวิธีการพันและการวัดค่าของขดลวดดังนั้นการนำเอาวงจรกรองแรงดันแบบ Rc มาใช้จึงเป็นที่นิยมแทนวงจรกรองแรงดันแบบพาย โดยการใช้ตัวต้านทานแทนตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งตัวต้านทานจะทำหน้าที่ เพิ่มค่าคงตัวเวลาของการคายประจุ และการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ แต่การกรองแรงดันแบบนี้ก็มีผลเสีย ในกรณีต้องการจ่ายกระแสไปยังภาระมากๆ เพราะกระแสจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในตัวต้านทานสูง การต่อวงจรกรองแรงดันแบบ Rc จะต่อวงจรดังภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบ Rc

(ชิน ภู่วรรณ. 2538: 113)

การหาค่าการกระเพื่อม ของแรงดันในวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง สามารถหาได้จากสูตร (สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์ มานานนท์. 2538: 44)

$$r = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100\%$$

โดยที่

r = ค่าการกระเพื่อมของแรงดันในวงจร

$V_{r(rms)}$ = ค่าเฉลี่ยในหน่วย rms ของแรงดันกระเพื่อม

V_{dc} = ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ในวงจรการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่นสามารถหาค่า $V_{r(rms)}$ และค่า V_{dc} ได้ดังนี้

$$V_{r(rms)} = 0.385 V_m$$

$$V_{dc} = 0.318 V_m$$

ถ้าเป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่นสามารถหาค่า $V_{r(rms)}$ และค่า V_{dc} ได้ดังนี้

$$V_{r(rms)} = 0.308 V_m$$

$$V_{dc} = 0.637 V_m$$

เมื่อทำการกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุแล้วจะหาค่าของ $V_{r(rms)}$ และค่า V_{dc} ได้ดังนี้ (สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์ มานานนท์. 2538 : 50-51)

$$V_{r(rms)} = \frac{I_{dc}}{4\sqrt{3}fc}$$

ซึ่งถ้าความถี่ 50 Hz จะได้

$$V_{r(rms)} = \frac{2.9I_{dc}}{C}$$

หรือ

$$V_{r(rms)} = \frac{2.9V_m}{R_L C}$$

โดยที่

$$I_{dc} = \frac{V_m}{R_L}$$

กำหนดให้ C มีหน่วยเป็น ไมโครฟารัด

I_{dc} มีหน่วยเป็น มิลิแอมแปร์

R_L มีหน่วยเป็น กิโลโอห์ม

$$V_{dc} = V_m - \frac{I_{dc}}{4fc}$$

ถ้าความถี่ 50Hz จะได้

$$V_{dc} = V_m - \frac{5I_{dc}}{C}$$

หรือ

$$V_{dc} = V_m - \frac{5V_m}{R_L C}$$

โดยที่

C = ค่าตัวเก็บประจุกรองแรงดัน มีหน่วยเป็นไมโครฟารัด

I_{dc} = ค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงมีหน่วยเป็นมิลิแอมป์

$$= \frac{V_m}{R_L}$$

V_m = ค่าแรงดันขอด มีหน่วยเป็นโวลต์

R_L = ค่าความต้านทานภาระ มีหน่วยเป็นกิโลโอห์ม

ในทางปฏิบัติสามารถหาค่า V_{dc} ได้จากการใช้เครื่องวัด วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และ
หาค่า $V_{r(rms)}$ โดยใช้เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวัดทางขาออกของวงจร แล้วนำไป
แทนค่าในสูตร เพื่อหาค่าการกระเพื่อมของแรงดันได้ (สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์
มаланนท์. 2538: 44)

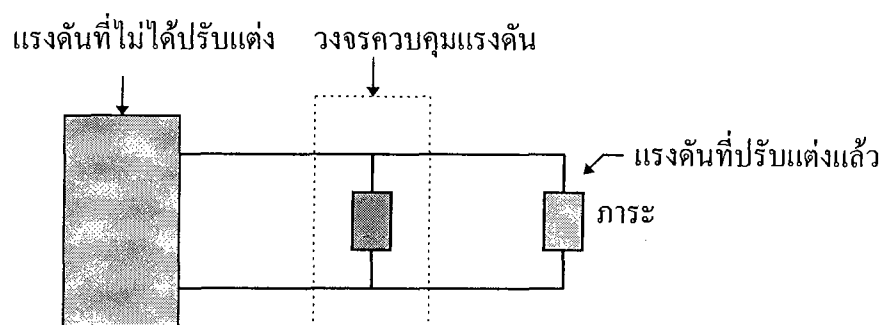
6. การควบคุมแรงดันขาออกคงที่

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปจะใช้กระแสไฟฟ้าขณะทำงานไม่คงที่ บางขณะใช้กระแสไฟฟ้ามาก บางขณะใช้กระแสไฟฟ้าน้อย ทำให้ประสบปัญหาการกระเพื่อมของแรงดันทางขาออกของแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นๆ ตามอุดมคติแล้ว แหล่งจ่ายไฟที่ดีจะต้องมีแรงดันไฟฟ้าคงที่ทุกขณะที่ใช้กระแส จะมากหรือน้อยก็ตามการใช้วงจรกรองกระแสเพียงอย่างเดียว ไม่เพียงพอที่จะรักษาระดับแรงดันให้คงที่ได้ วิธีการที่จะทำให้แหล่งจ่ายไฟ มีแรงดันคงที่ และมีการกระเพื่อมน้อยที่สุดนั้นทำได้โดยการใช้วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

6.1 วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบสวิตชิง (Switching voltage regulator) เป็นวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดยมีสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ตัดสัญญาณ และปล่อยสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นห้วงๆ ซึ่งความถี่ที่ใช้ประมาณ 5-100KHz

6.2 วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบเชิงเส้น (Linear voltage regulator) เป็นวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ที่มีการทำงานอย่างต่อเนื่องแบ่งออกได้ 2 ลักษณะประกอบด้วย

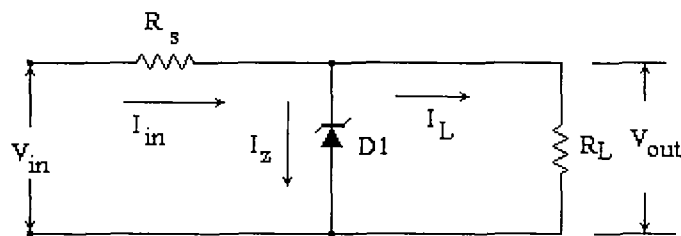
6.2.1 วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบขนานกับภาระ เป็นวงจรรักษาแรงดันขาออกคงที่ ที่ต้องการแยกกระแสขาเข้า และกระแสขาออกให้เป็นคนละส่วนกัน (ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ. ม.ป.ป.: 121)โดยมีลักษณะการต่อขนานกับภาระ ดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 แสดงไดอะแกรมควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบขนาน
(ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ. ม.ป.ป.: 121)

สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย และสมบุญ มัลลานนท์ (2538: 78-85) ได้แบ่งวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบขนานกับภาระตามลักษณะการใช้อุปกรณ์เป็น 3 ลักษณะคือ

6.2.1.1 วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ที่ใช้ซีเนอร์ไดโอด รูปแบบของวงจรควบคุมแรงดันจะมีลักษณะขนานกับภาระ โดยแรงดันขาเข้าจะต่อมาจากทางขาออกของวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ผ่านการกรองแรงดันมาแล้วมีลักษณะการต่อวงจรดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ที่ใช้ซีเนอร์ไดโอด
(สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย และ สมบุญ มัลลานนท์. 2538: 78)

การหาค่าต่างๆ ทำได้ดังนี้

$$I_{in} = I_{L(max)} + I_{z(min)}$$

หรือ

$$I_{in} = I_{L(min)} + I_{z(max)}$$

และสามารถหาค่า V_{R_s} ได้จากสมการ

$$V_{R_s} = V_{in} - V_z$$

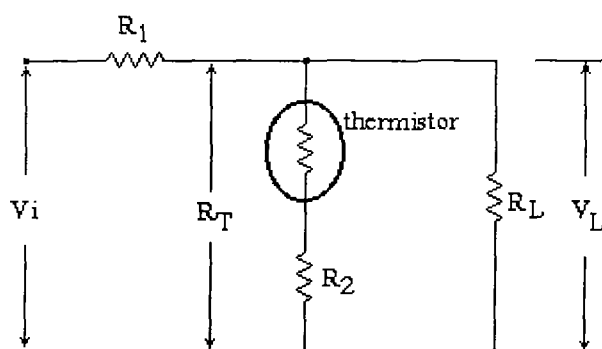
การหาค่า R_s ทำได้โดยใช้สูตร

$$R_s = \frac{V_{in} - V_z}{I_{in}} \quad \bullet$$

วิชาญ กองดวงษ์ (2528: 80) ได้กำหนดข้อกำหนดในการใช้ซีเนอร์ไดโอดในวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ แบบขนานกับโหลด ดังนี้

- 1) ให้มีกระแสจำนวนหนึ่ง ($I_{Z(min)}$) ไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดในลักษณะไบแอสกลับตลอดเวลา กระแสนี้มีค่าประมาณตั้งแต่ 2 - 10 mA ซึ่งแล้วแต่ขนาดของซีเนอร์ไดโอด หรือประมาณร้อยละ 2 - 5 ของกระแสสูงสุดที่ซีเนอร์ไดโอดทนได้
- 2) ซีเนอร์ไดโอดแต่ละเบอร์จะคงค่าแรงดันได้ค่าหนึ่งเท่านั้น
- 3) ต้องคำนึงถึงกำลังของซีเนอร์ไดโอดเสมอ โดยทั่วไป การปฏิบัติจริงไม่ควรใช้เกินร้อยละ 50 ของกระแสสูงสุด

6.2.1.2 วงจรควบคุมแรงดันคงที่แบบขนานกับภาระ โดยใช้เทอร์มิสเตอร์
เทอร์มิสเตอร์ คือ ตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าความต้านทาน ได้ตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ลดลง ความต้านทานจะสูงขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ความต้านทานจะลดลง ในภาพประกอบ 25 แสดงวงจรควบคุมแรงดันคงที่แบบขนานกับภาระ โดยใช้เทอร์มิสเตอร์



ภาพประกอบ 25 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดยใช้เทอร์มิสเตอร์
(สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์ มานานนท์. 2538: 84)

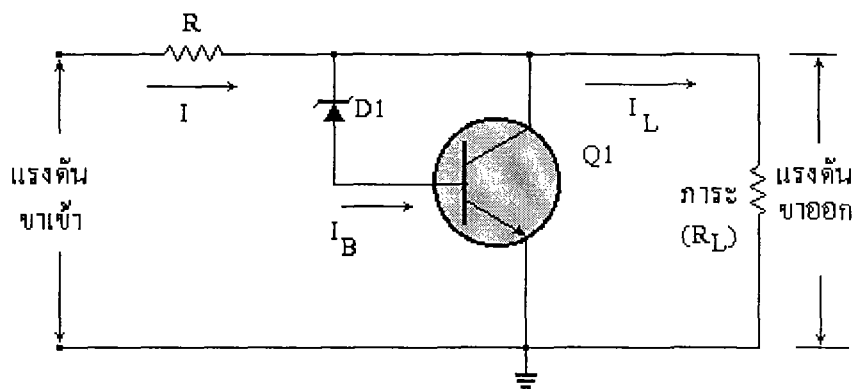
การวิเคราะห์วงจรทำได้ดังนี้

$$R_T = \frac{R_L(R_{th} + R_2)}{R_L + (R_{th} + R_2)}$$

และ
$$V_L = \frac{R_{th}}{R_1 R_{th}} V_i$$

โดย
$$I_1 = \frac{V_L}{R_{th} R_2}$$

6.2.1.3 วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดยใช้ทรานซิสเตอร์ เป็นการใช้อุปกรณ์ประเภทแอคทีฟ ที่ชื่อว่า ทรานซิสเตอร์ มาช่วยควบคุมแรงดันขาออกคงที่ ดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ โดยใช้ทรานซิสเตอร์ (สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์ มาลานนท์. 2538: 85)

การหาค่าต่างๆ ในวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดยใช้ทรานซิสเตอร์หาได้จากสูตร ดังนี้

- 1) การหาค่า V_L ใช้สูตร

$$V_L = V_Z + V_{BE}$$

โดยที่

$$V_L = \text{แรงดันทางขาออก}$$

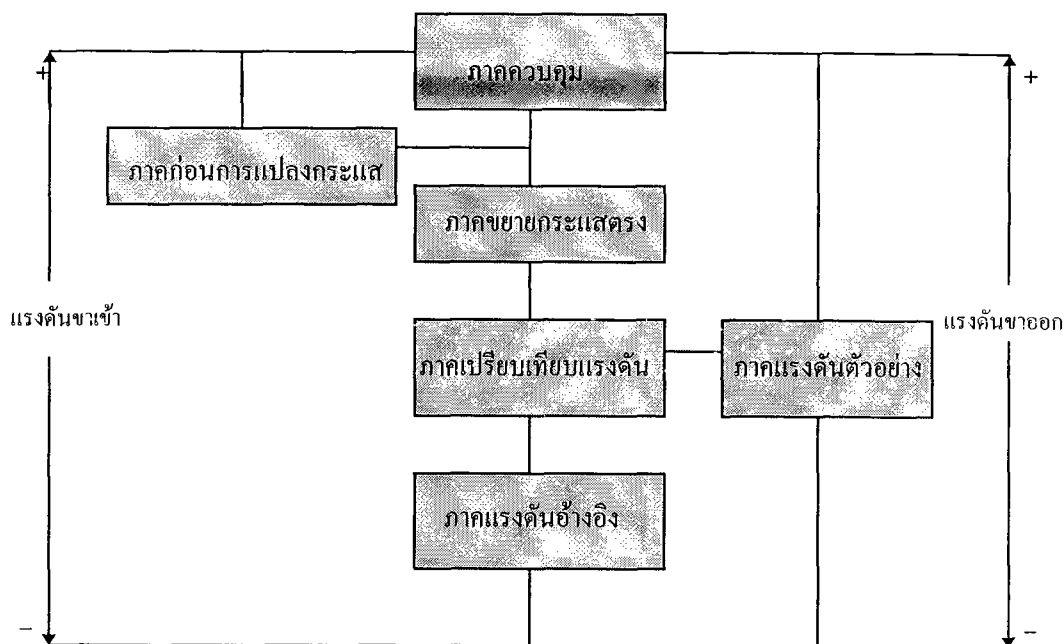
$$V_Z = \text{แรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด}$$

$$V_{BE} = \text{แรงดันคร่อมรอยต่อระหว่างขาเบส และขาอิมิตเตอร์}$$

- 2) การหาค่า R_1 ใช้สูตร

$$R_1 = \frac{V_{in} - V_Z - V_{BE}}{I_{in}}$$

6.2.2 วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบอนุกรมกับภาระ เป็นวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ ที่ส่วนของวงจรควบคุมการไหลของ กระแสจะต่ออนุกรมกับภาระ ดังภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 27 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบอนุกรมกับภาระ (วิชาญ กองดวงษ์.2528: 140)

องค์ประกอบของวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบอนุกรมกับภาระประกอบด้วยภาคการทำงานต่างๆดังนี้

1) ภาคก่อนการแปลงกระแส เป็นภาคที่ทำหน้าที่ป้อนกระแสลงที่ให้แก่ภาคควบคุม และภาคขยายกระแสตรงต่อไปเพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าจากทางขาเข้า ไม่ให้ไปกระทบกระเทือนวงจรภาคควบคุม โดยทั่วไปวงจรควบคุมแรงดันอย่างง่าย บางวงจรจะไม่มีภาคก่อนการแปลงกระแส

2) ภาคควบคุม คือภาคควบคุมแรงดันไฟฟ้าทางขาออกให้คงที่มีให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงเกินระดับที่กำหนด

3) ภาคขยายกระแสตรง มีหน้าที่ขยายกระแสที่ได้จากภาคแรงดันตัวอย่าง และภาคเปรียบเทียบแรงดัน ให้มีกระแสมากขึ้นเพียงพอต่อการไปขับภาคควบคุม

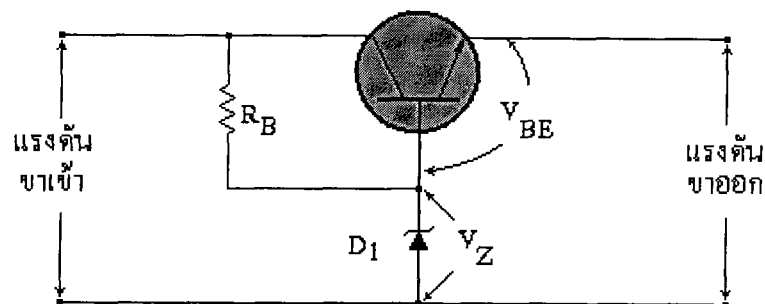
ซึ่งจะช่วยให้งจรมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าดีขึ้นภาคขยายนี้บางทีรวมอยู่กับภาคเปรียบเทียบแรงดัน

4) ภาคเปรียบเทียบแรงดัน มีหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันจากแรงดันตัวอย่างกับแรงดันอ้างอิง ดังนั้น ภาคเปรียบเทียบแรงดันจะต่อกับภาคแรงดันตัวอย่างและภาคแรงดันอ้างอิงเสมอ

5) ภาคแรงดันตัวอย่าง เป็นภาคที่จะตรวจสอบแรงดันขาออกว่ามีค่าเป็นอย่างไร คงที่ เพิ่มขึ้น หรือลดลง แล้วส่งผลการตรวจสอบไปยังภาคเปรียบเทียบแรงดัน

6) ภาคแรงดันอ้างอิง เป็นภาคที่มีแรงดันคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันขาออกของวงจรไม่ว่าเป็นมาตรฐานให้งจรเปรียบเทียบแรงดันไว้เปรียบเทียบกับแรงดันขาออก จากภาคตรวจสอบแรงดัน ซึ่งภาคเปรียบเทียบแรงดันจะรู้ว่า แรงดันทางขาออกคงที่ เพิ่มขึ้นหรือลดลง

6.2.2.1 วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบอนุกรมกับภาระ โดยใช้ทรานซิสเตอร์ ในภาพประกอบ 28 เป็นวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดยใช้ทรานซิสเตอร์ต่ออนุกรมกับภาระอย่างง่ายโดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวควบคุมการไหลของกระแสขาออกและใช้แรงดันซีเนอร์เป็นแรงดันอ้างอิง



ภาพประกอบ 28 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบอนุกรมกับภาระโดยใช้ทรานซิสเตอร์ (วิชาญ ก่องดาวงษ์. 2530: 48)

การวิเคราะห์ห้วงจรทำได้ดังนี้

1) การหาค่า V_O ใช้สูตร

$$V_O = V_Z - V_{BE}$$

2) การหาค่า R_B ใช้สูตร

$$R_B = \frac{V_{in} - V_Z}{I_{R_B}}$$

โดยที่ $I_{RB} = I_{B(max)} + I_{Z(min)}$

$$I_{B(max)} = \frac{I_L}{\beta} \square$$

(β คือ อัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์)

3) การหาค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยทรานซิสเตอร์

$$P_C = (V_i - V_o) I_L$$

4) การหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผ่านซีเนอร์ไดโอด

$$P_Z = V_Z I_{Z(max)}$$

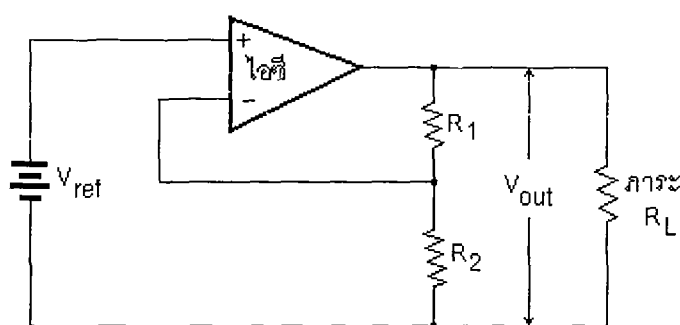
โดย

$$I_{Z(max)} = I_B$$

ในกรณีที่ต้องการให้ปรับค่าแรงดันขาออกของวงจร สามารถทำได้ซึ่งในภาพประกอบ 29 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ชนิดปรับค่าแรงดันทางขาออกได้

6.2.2.2 วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบอนุกรมกับภาระโดยใช้
 ออปแอมป์ ออปแอมป์ เป็นไอซีที่ออกแบบเพื่อให้เป็นตัวขยายสัญญาณโดยเฉพาะสามารถ
 นำไปออกแบบให้ทำงานในลักษณะต่าง ๆ ได้นับร้อยแบบ ซึ่งการนำออปแอมป์มาใช้ในวงจร
 ควบคุมแรงดันขาออกคงที่ ก็สามารทำได้ ประกอบด้วย

1) วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ชนิดปรับค่าแรงดันขาออก
 ไม่ได้

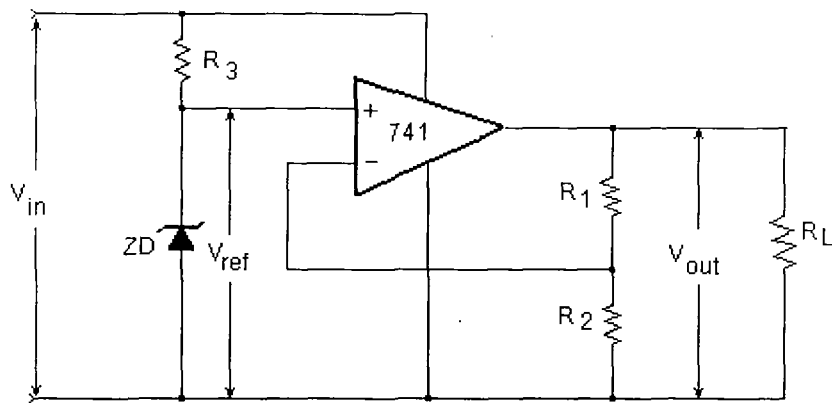


ภาพประกอบ 30 แสดงวงจรอย่างง่ายของการควบคุมแรงดันขาออกคงที่
 โดยใช้้ออปแอมป์ (ประภากร สุวรรณะ. 2527: 215)

ในภาพประกอบ 30 เป็นการนำหลักการทำงาน ของวงจรขยายชนิดไม่กลับเฟส
 ของออปแอมป์มาใช้เป็นวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ ค่าของศักดาทางขาออกที่คร่อม
 ภาระ(V_{out}) จะมีค่าดังสมการ

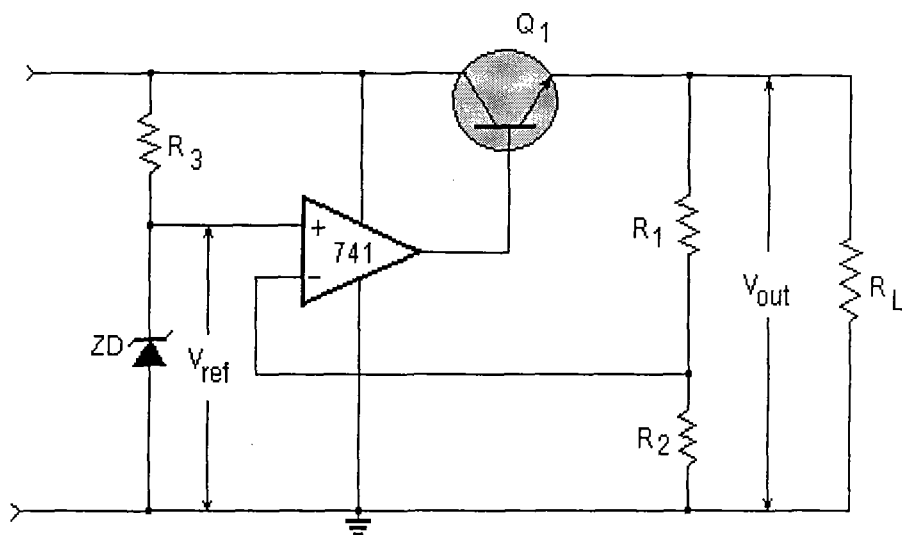
$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

จะเห็นว่าแรงดันที่ตกคร่อมภาระ V_{out} มีค่าไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลไปยังภาระ I_O
 ค่าของ V_{out} จะคงที่เมื่อค่าของแรงดันอ้างอิง V_{ref} มีเสถียรภาพที่ดีโดยทั่วไปนิยมใช้
 ซีเนอร์ไดโอดเป็นตัวกำหนดแรงดัน ดังภาพประกอบ 31



ภาพประกอบ 31 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ 15 V 20 mA
(ประภากร สุวรรณะ. 2527: 215)

เนื่องจากออปแอมป์สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดประมาณ 20 มิลลิแอมป์ ในกรณีที่
ต้องการกระแสสูงๆนั้น จะเพิ่มความสามารถของวงจรได้โดยการเพิ่มทรานซิสเตอร์เข้าไป เพื่อ
ทำหน้าที่ขยายกระแสให้เพียงพอกับความต้องการดังภาพประกอบ 32



ภาพประกอบ 32 แสดงการเพิ่มกระแสขาออกโดยใช้ทรานซิสเตอร์
(ประภากร สุวรรณะ. 2527: 216)

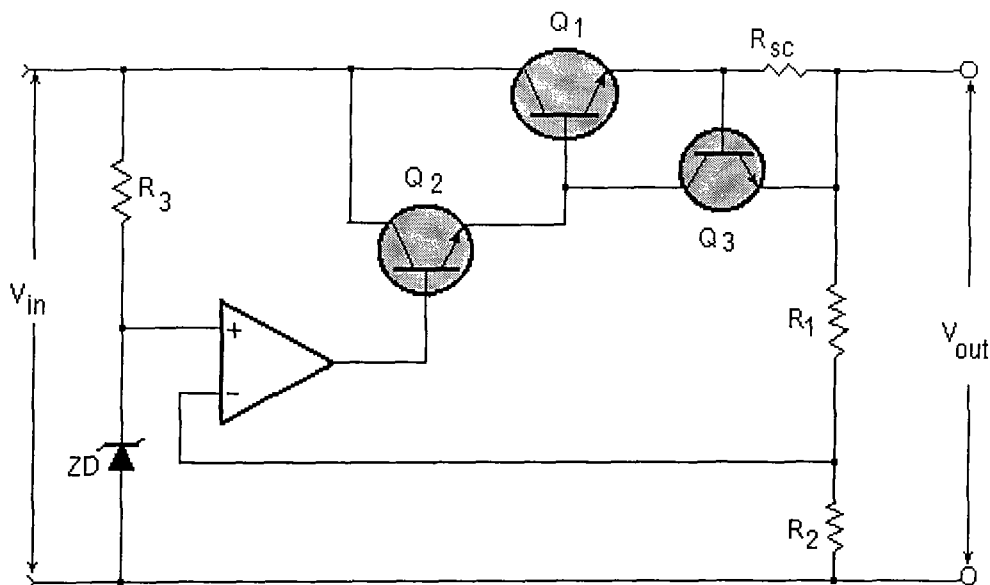
จากภาพประกอบ 32 กระแสที่ได้จากออปแอมป์ประมาณ 20 มิลลิแอมป์นี้ จะจ่าย เป็น กระแสเบส I_B ของทรานซิสเตอร์ Q_1 กระแสเอาต์พุตที่จ่ายให้กับภาระ I_O จะมีค่า เท่ากับกระแสอีมิเตอร์ I_E ของ Q_1 ซึ่งมีค่าดังสมการ

$$I_O = \beta I_B$$

ในกรณีที่ต้องการกระแส I_O มากขึ้นไปอีก สามารถทำได้โดยการต่อทรานซิสเตอร์ เข้าไปในลักษณะของ คาร์ลิ่งตัน ซึ่งผลที่ได้จะเป็นเสมือนทรานซิสเตอร์ตัวเดียวแต่มีอัตรา ขยายกระแสหรือ β สูงขึ้น คือมีค่าเท่ากับผลคูณของ β ของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวที่ต่อ คาร์ลิ่งตันกันอยู่ ดังรูปที่ 33 Q_1 และ Q_2 ต่อกันแบบคาร์ลิ่งตัน ส่วน Q_3 ทำหน้าที่ป้องกัน กระแสขาออกไหลเกินขนาด ซึ่งจะทำงานเมื่อแรงดันคร่อม R_{SC} เท่ากับ 0.7 โวลต์ โดยลัด วงจรระหว่างเบสและขาอีมิเตอร์ของ Q_1 ทำให้ Q_1 หยุดการทำงาน ค่าของ R_{SC} สามารถหาได้จากสมการ

$$R_{SC} = \frac{0.7}{I_{out_MAX}}$$

และสามารถจัดวงจรได้ดังภาพประกอบ 33



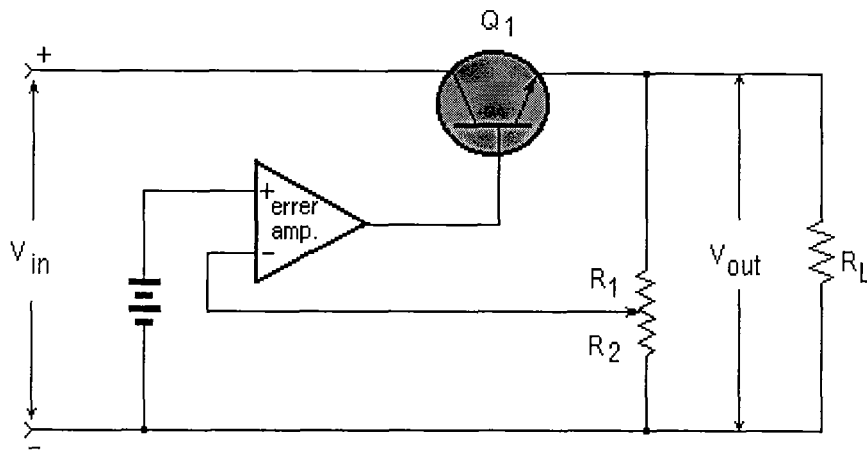
ภาพประกอบ 33 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ใช้การต่อทรานซิสเตอร์

แบบคาร์ลิ่งตันและมีวงจรป้องกันการลัดวงจร (ประภากร สุวรรณะ. 2527: 218)

ในภาพประกอบ 33 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ที่ใช้การต่อทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิ่งตันและมีวงจรป้องกันการลัดวงจรของขาออก

2) วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบปรับค่าแรงดันขาออกได้ ซึ่งการปรับค่าแรงดันขาออกนั้นอาจกระทำได้ 2 กรณี กล่าวคือ

ก. ปรับที่ภาคตัวอย่างแรงดัน

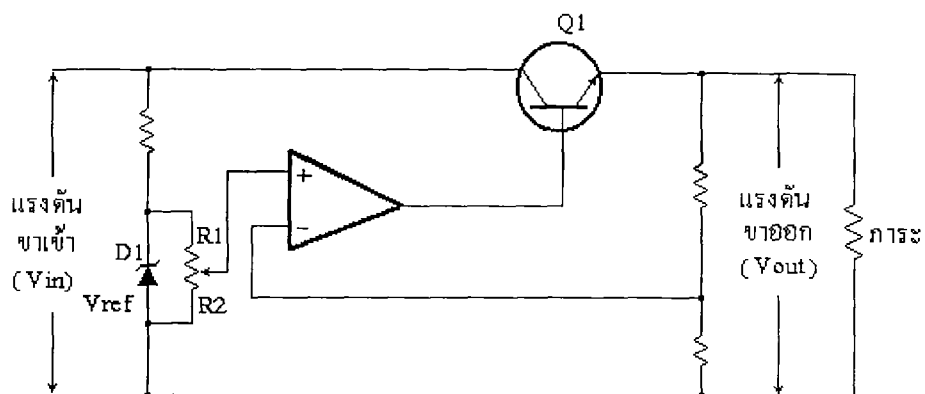


ภาพประกอบ 34 แสดงการปรับค่าแรงดันขาออกโดยปรับที่ภาคตัวอย่างแรงดัน
(วิชาญ ก่องตวงษ์. ม.ป.ป.: 3)

ค่าของแรงดันขาออกจะได้ดังสมการ

$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

ข. ปรับที่ภาคแรงดันอ้างอิง

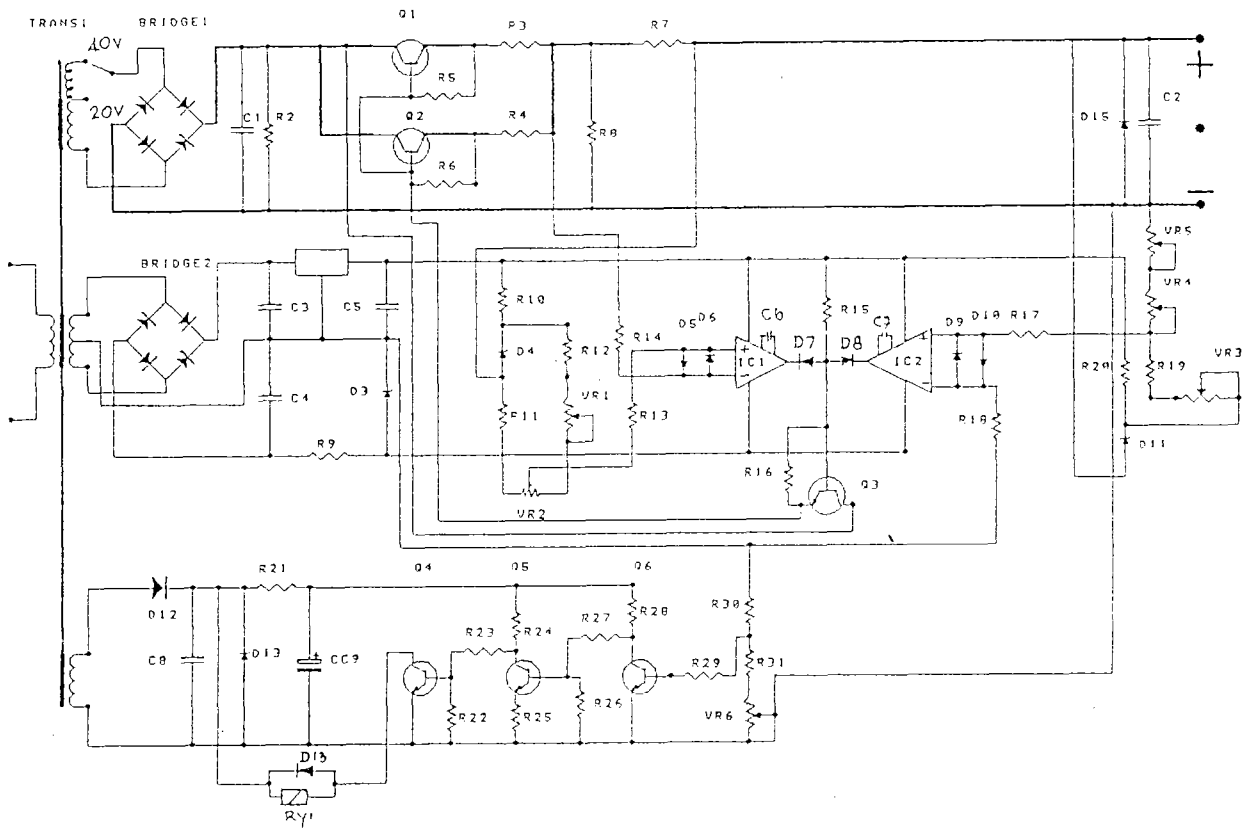


ภาพประกอบ 35 แสดงการปรับค่าแรงดันขาออกโดยปรับที่ภาคแรงดันอ้างอิง
(วิชาญ ก่องดาวงษ์. ม.ป.ป.: 3)

ค่าแรงดันอ้างอิงขาออกสามารถหาได้จากสมการ

$$V_{out} = V_{ref} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

วิชาญ ก่องดาวษ์ (ม.ป.ป. : 1) ได้เสนอโครงงานวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ ชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ 0-30 โวลต์ มีวงจรจำกัดกระแสชนิดเปลี่ยนค่ากระแสขาออก ได้ตั้งแต่ 0-2 แอมแปร์ ซึ่งมีวงจรตามภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 36 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ชนิดปรับค่าได้ 0-30V, 2A

(วิชาญ ก่องดาวษ์. ม.ป.ป.: 1)

การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้โดยสังเขป ดังนี้

หม้อแปลง วงจรนี้แยกหม้อแปลงทางขดขั้วปฐมเป็น 3 ขด กล่าวคือ

ขดที่ 1 แรงดัน 0-23 V - 40 V กระแส 3.5 A สำหรับแหล่งจ่ายไฟที่ออกไปยังขาออก เพื่อนำไปใช้กับภาระตามต้องการ และที่มีจุดเลือกที่ 23 โวลต์ หรือ 40 โวลต์ ก็เพื่อให้เกิดกำลังสูญเสียในทรานซิสเตอร์กำลัง Q_1, Q_2 ต่ำสุด เนื่องจาก ถ้าหากแรงดันขาออกต่ำกว่า 20 โวลต์ รีเลย์จะต่อเข้ากับจุด 23 V แต่ถ้าแรงดันขาออกสูงกว่า 20 โวลต์ รีเลย์จะต่อเข้ากับจุด 40 โวลต์

ขดที่ 2 แรงดัน 20-0-20 โวลต์ กระแส 50 มิลลิแอมแปร์ สำหรับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงออปแอมป์ และเป็นแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรอ้างอิง การแยกไฟเลี้ยงวงจรจากภาคกำลังสูงเช่นนี้ ทำให้ภาค เปรียบเทียบแรงดัน และภาคแรงดันอ้างอิงมี เสถียรภาพสูงยิ่งขึ้น และสามารถปรับแรงดันขาออกได้ตั้งแต่ 0 โวลต์ขึ้นไป

ขดที่ 3 แรงดัน 0 - 20 โวลต์ กระแส 100 มิลลิแอมแปร์ สำหรับเลี้ยงวงจรขับรีเลย์

ภาคแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และภาคกรองแรงดัน เป็นวงจรพื้นฐานทั่วไป ในเฉพาะส่วนของภาคจ่ายไฟเลี้ยงออปแอมป์นั้น มีไอซีควบคุมแรงดันคงที่ และซีเนอร์ไดโอด ช่วยรักษาระดับแรงดันให้คงที่

ภาคควบคุมแรงดัน ใช้ทรานซิสเตอร์ Q_1, Q_2 ขนานกันเพื่อแบ่งภาระกำลังสูญเสียในตัวทรานซิสเตอร์

ภาคเปรียบเทียบแรงดัน ใช้ IC_2 สำหรับควบคุม และตรวจวัดแรงดันขาออก สามารถปรับแรงดันขาออกได้โดยการปรับแรงดันอ้างอิงจาก D_{11} โดยให้ขากลับเฟส (-) ต่อกับภาคแรงดันตัวอย่างจากแรงดันขาออก เป็นการทำงานในลักษณะป้อนกลับทางลบ คือถ้าแรงดันขาออกลดลง ไอซีจะปล่อยกระแส ป้อนให้ทรานซิสเตอร์มากขึ้น ถ้าแรงดันขาออกเพิ่มขึ้น ไอซีจะปล่อยกระแสป้อนให้ทรานซิสเตอร์น้อยลง เพื่อคงค่าแรงดันขาออกไว้ให้คงที่ส่วนขาไม่กลับเฟสจะต่อกับภาคแรงดันอ้างอิง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ เพื่อให้ได้แรงดันขาออกตามต้องการ โดยการปรับที่ VR_4 หรือ VR_5

IC_1 มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับ IC_2 เพียงแต่ได้ตัวอย่างแรงดันจากแรงดันที่คร่อม R_3 เพื่อทำหน้าที่ควบคุมกระแสทางขาออก โดยสามารถปรับค่ากระแสได้จาก VR_1 หรือ VR_2

Q_4, Q_5, Q_6 เป็นวงจรขยายกระแสเพื่อขับรีเลย์ ในการเลือกแรงดันป้อนจากแรงดัน 23 โวลต์ เป็น 40 โวลต์

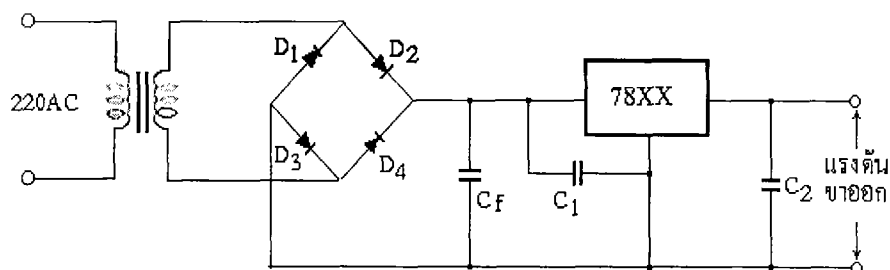
6.2.2.3 วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบอนุกรมกับภาระ โดยใช้ไอซี 3 ขา ไอซีที่ใช้ในการควบคุมแรงดันคงที่ โดยทั่วไปเรียกว่า ไอซีเร็กกูเลเตอร์ ซึ่งเมื่อ พ.ศ. 2530 ไอซีเบอร์ LM 723 เป็นไอซีที่ได้รับความนิยมนำไปประกอบเป็นวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้า แก่วงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างมาก ต่อมาได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพในการจ่ายกระแสให้เพิ่มขึ้นโดยนำเอาทรานซิสเตอร์กำลังมาต่อ รวมเข้าไว้ด้วยกันกับ LM 723 กลายเป็นไอซีควบคุมแรงดันขาออกคงที่ชนิด 3 ขา (วิโรจน์ อัสวรังสี. 2538: 44) ซึ่งประกอบด้วย

1) ไอซีควบคุมแรงดันขาออกคงที่แบบ 3 ขาแบบให้แรงดันขาออกคงที่ได้แก่ ไอซีตระกูล 78 xx เป็นชนิดจ่ายไฟบวก และไอซีตระกูล 79 xx เป็นชนิดจ่ายไฟลบ สัญลักษณ์ xx ที่ต่อท้าย หมายถึงค่าแรงดันขาออก เช่น 7805 หมายถึงเป็นไอซีไฟบวก ให้แรงดันขาออกคงที่ 5 โวลต์ เป็นต้น ซึ่งค่าแรงดันขาออกสามารถเลือกได้ ตามตารางที่ 1

ตาราง 1 แสดงค่าแรงดันและค่ากระแสของไอซีควบคุมแรงดันคงที่ โดยเรียงตามค่ากระแสขาออกสูงสุด (วิโรจน์ อัสวรังสี. 2538 :57)

เบอร์	แรงดันขาเข้า สูงสุด(โวลต์)	แรงดันขาออก สูงสุด(โวลต์)	แรงดัน ตกคร่อม(โวลต์)	กระแสเฉื่อย (มิลิแอมป์)	กระแสขาออก (แอมป์)
7805	8 - 35	5.0	2.5	8.0	1.0
7905					
7806	8.5 - 35	6.0	2.5	8.0	1.0
7906					
7808	10.5 - 35	8.0	2.5	8.0	1.0
7908					
7812	14 - 35	12.0	2.5	8.0	1.0
7912					
7815	17.5 - 35	15.0	2.5	8.0	1.0
7915					
7818	20.5 - 35	18.0	2.5	8.0	1.0
7918					
7824	26.5 - 40	24.0	2.5	8.0	1.0
7924					

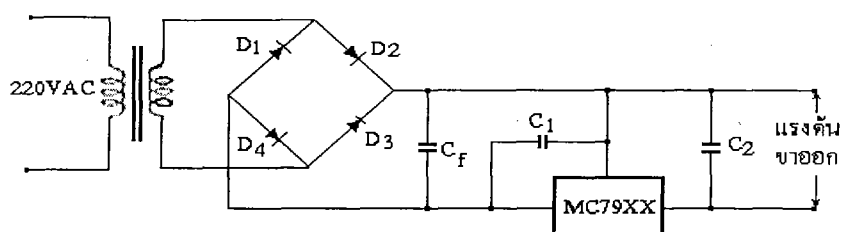
ส่วนวงจรมาตรฐานของวงจรควบคุมแรงดัน แบบแรงดันขาออกคงที่ โดยใช้ไอซี
ตระกูล 78xx แสดงในภาพประกอบ 37



ภาพประกอบ 37 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดยใช้ไอซี 78xx
(สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์ มัลลานนท์. 2538: 125)

จะเห็นว่าขา 1 ของ MC 78 xx จะต่อกับไฟบวก ส่วนขา 2 จะต่อกับไฟลบ C_1
ใส่ไว้เพื่อลดค่าความเหนี่ยวนำภายในไอซี ส่วน C_2 มีไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน

ในภาพประกอบ 38 จะแสดงวงจรมาตรฐานของวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดย
ใช้ไอซีตระกูล 79 xx ซึ่งการทำงานและอุปกรณ์ประกอบต่างๆจะเหมือนกับไอซีตระกูล 78 xx



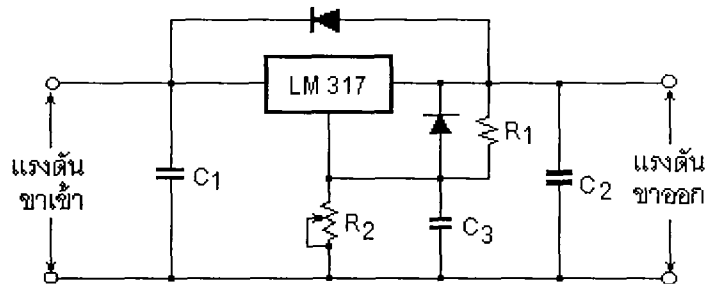
ภาพประกอบ 38 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดยใช้ไอซีตระกูล 79 xx
(สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์ มัลลานนท์. 2538: 126)

2) ไอซีควบคุมแรงดันคงที่ 3 ขา แบบปรับค่าแรงดันขาออกได้ ซึ่ง ไอซีชนิดนี้ มีหลายเบอร์ แต่ละเบอร์ จะให้กระแสและแรงดันขาออกต่างกันซึ่งเลือกได้จาก ตารางที่ 2

ตาราง 2 แสดงค่าแรงดันและค่ากระแสไฟฟ้าของไอซีควบคุมแรงดันคงที่ชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ โดยเรียงตามค่ากระแสขาออกสูงสุด (วิโรจน์ อัสวรังสี.2538:58)

เบอร์	แรงดันขาเข้า (โวลต์)	แรงดันขาออก (โวลต์)	แรงดันตกคร่อม (โวลต์)	กระแสเฉื่อย (มิลิแอมแปร์)	กระแสขาออก (มิลิแอมแปร์)
LM105	8.5-50	4.5 -30	3.0	2.0	12
LM305	8.5-40	4.5-30	3.0	2.0	12
LM376	9-40	5-37	3.0	2.5	25
LM723	9.5-40	2-37	3.0	4.0	150
78MG	7.5-40	5-30	2.5	5.0	500
78G	7.5-40	5-30	3.0	5.0	1000
LM117	3-40	1.2-37	1.5	10.0	1500
LM317	3-40	1.2-37	1.5	10.0	1500
LM150	35	1.2-33	2.2	5.0	3000
LM350	35	1.2-32	2.2	10.0	3000
LM138	35	1.2-32	2.6	5.0	5000
LM338	35	1.2-32	2.6	10.0	5000
LM196	20	1.25-15	3.5	10.0	10000
LM396	20	1.25-15	2.75	10.0	10000
LM104	(-8)-(-50)	(-0.15)-(-40)	2.0	5.0	25
LM304	(-8)-(-40)	0.035-(-30)	2.0	5.0	25
79MG	(-7)-(-30)	(-2.23)-(-30)	2.3	2.5	500
79G	(-7)-(-40)	(-2.23)-(-30)	2.3	2.0	1000
LM137	-40	(-1.2)-(-37)	1.8	3.0	1500
79GH	(-7)-(-40)	(-2.25)-(-24)	2.0	5.0	5000

ซึ่งเบอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดได้แก่ เบอร์ LM 317 สำหรับไฟบวก และ LM 137 สำหรับไฟลบ การต่อวงจรใช้งานแสดงในภาพประกอบ 39



ภาพประกอบ 39 แสดงวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ชนิดปรับค่าได้

โดยใช้ไอซี 3 ขา เบอร์ LM 317

(สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย และสมบุญณ์ มаланนท์. 2538: 135)

การใส่ C_1 และ C_2 เพื่อจุดประสงค์เดียวกับที่ใช้ใน MC 78 xx ส่วน C_3 มีไว้เพื่อกำจัดการกระเพื่อมของแรงดัน โดยมากจะใช้ค่า 10 ไมโครฟารัดชนิดแทนทาลัม สามารถหาค่าต่าง ๆ ได้จากสมการ

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \times V_{ref} + I_{adj} R_2$$

โดยที่

$$R_1 = \frac{V_{ref}}{I_{L(min)}}$$

$$I_{L(min)} = 10 \text{ มิลลิแอมป์ (จากกระแสเฉื่อยในตารางที่ 2)}$$

$$V_{ref} = 1.25 \text{ โวลต์}$$

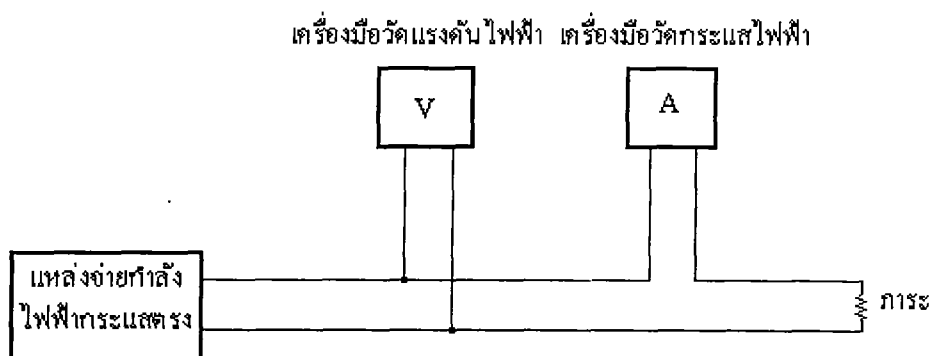
$$R_2 = \frac{V_{out} - V_{ref}}{V_{ref} / R_1 + I_{adj}}$$

$$I_{adj} = 50 \text{ ไมโครแอมป์ (กำหนดให้)}$$

7. วิธีหาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน

วงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่โดยทั่วไปจะมีความต้านทานภายในต่ำ เพราะจะไม่ทำให้แรงดันที่ขั้วของแหล่งจ่ายแรงดันตกลงมาขณะใช้งาน ซึ่งค่าแรงดันที่ใช้งานควรมีค่าใกล้เคียงกับค่า แรงดันที่จ่ายออกได้ ดังนั้นจึงมีการกำหนดมาตรฐานในการใช้งานของแต่ละชนิดว่าแหล่งจ่ายแรงดันนั้นๆ ควรใช้งานอยู่ในช่วงกระแสเท่าไร จึงจะทำให้ยังมีเสถียรภาพดี ในทางปฏิบัติจะกำหนดว่า แรงดันจะตกลงร้อยละเท่าไร โดยบอกในรูปของค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน(Voltage regulation) (วิชาญ ก่องดวงษ์. 2534: 136)วิธีหาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน สามารถหาได้ดังนี้

1. ตัวอย่างกราฟประกอบ 40



ภาพประกอบ 40 แสดงการต่อวงจรเพื่อหาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน

2. ปรับกระแสขาออก (ปรับที่ภาระ) ให้ได้ 0 แอมป์ วัดแรงดันขาออก จดบันทึก
3. ปรับกระแสขาออกสูงสุด วัดแรงดันขาออก จดบันทึก

4. คำนวณค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันจากสูตร (ประภากร สุรรณะ.
2527: 188)

$$V.R. = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \quad (\text{หน่วยเป็นร้อยละ})$$

โดยที่ $V.R.$ = ค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน

V_{NL} = แรงดันไฟฟ้าทางขาออกขณะไม่มีภาระ

V_{FL} = แรงดันไฟฟ้าทางขาออกขณะใส่ภาระเต็มพิกัด

8. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือวัดเป็นเครื่องมือพื้นฐานทางด้านช่าง ที่ช่างหรือบุคคลที่สนใจทางด้านช่าง จะต้องมีความรู้ความสามารถ ในการนำเครื่องมือวัดต่าง ๆ ไปใช้งานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ เป็นเครื่องมือวัดชนิดหนึ่งที่มีพื้นฐานทางด้านไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์รวมกัน

8.1 ประเภทของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ณรงค์ ขอนตะวัน

(ม.ป.ป. : 1-2) กล่าวถึงการแบ่งเครื่องมือวัดซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบได้แก่

8.1.1 เครื่องมือวัดแบบแอบโซลูต (Absolute Instrument) ได้แก่เครื่องมือวัดที่บอกปริมาณที่วัดได้ในรูปของค่าคงที่ของเครื่องวัด และมุมที่เข็มชี้บ่งเบนไปโดยที่ไม่มีการปรับแต่ง (Calibration) หรือไม่มีการเปรียบเทียบ (Comparision) มาก่อน ซึ่งเครื่องวัดแบบนี้มีใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น เช่น เทนเจนกัลวาโนมิเตอร์

8.1.2 เครื่องมือวัดแบบทุติยภูมิ (Secondary Instrument) เป็นเครื่องมือวัด ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้งานจริง แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

8.1.2.1 เครื่องมือวัดแบบอนาลอก เป็นเครื่องมือวัดที่แสดงปริมาณการวัดค่าด้วยการบ่งเบนของเข็มชี้ โดยการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปควบคุมให้เข็มชี้บ่งเบน

8.1.2.2 เครื่องมือวัดแบบแสดงผลเป็นตัวเลข เป็นเครื่องมือวัดที่แสดงปริมาณการวัดค่าด้วยตัวเลขแสดงค่าปริมาณที่วัดได้ พร้อมหน่วยการวัด โดยใช้หลักการเปรียบเทียบค่ากับค่ามาตรฐาน ที่กำหนด ทำให้เกิดค่าผิดพลาด นำค่าผิดพลาดนี้ไปแสดงผลการวัดโดยแสดงค่าออกเป็นตัวเลข

8.2 ความหมายของศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัด พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ (ม.ป.ป.: 25) ได้กล่าวถึงความหมายของศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดไว้ดังนี้

เครื่องมือ (Instrument) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดค่า หาขนาดของปริมาณ หรือ การเปลี่ยนแปลง

ความแน่นอนถูกต้อง (Precision) คือการวัดค่าซ้ำกันของเครื่องมือวัด เช่น กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงคงที่ค่าหนึ่ง ความแน่นอนถูกต้องก็คือการวัดด้วยเครื่องมือวัดที่สามารถแสดงมุมของการวัดที่แตกต่างออกมาได้ ในการวัดค่าแต่ละครั้ง

ความเที่ยงตรง คือ การวัดที่เครื่องมือวัดสามารถแสดงค่าออกมาได้ใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องของการวัดค่าที่มีการเปลี่ยนแปลง

ความไว (Sensitivity) คือ อัตราส่วนของสัญญาณขาออก หรือผลตอบสนองของเครื่องมือวัด ที่มีต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ สัญญาณขาเข้าที่วัดได้

ความสามารถในการแยกค่า (Resolution) คือ ค่าที่เครื่องมือวัดสามารถแสดงออกมาได้ เมื่อนำไปวัดค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ๆ

ความผิดพลาด (Error) คือ ค่าที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ถูกต้องของการวัดค่าตัวแปร ประกอบด้วย

1.ความผิดพลาดจากความประมาท ส่วนมากจะเป็นความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ เช่น การใช้เครื่องมือวัด การอ่านเครื่องมือวัด การปรับแต่งผิดพลาด การใช้เครื่องมือวัดไม่เหมาะสม

2.ความผิดพลาดของระบบ เป็นข้อบกพร่องของเครื่องมือวัด เช่น ข้อบกพร่องในบางส่วนของเครื่องมือวัด

3) ความผิดพลาดที่ไม่แน่นอน เป็นความผิดพลาดที่ไม่สามารถทราบที่มาได้ เพราะค่านั้นๆ จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในส่วนประกอบของระบบเครื่องมือวัด

8.3 ชั้นของเครื่องมือวัด มาตรฐาน IEC ฉบับที่ 13B - 23 (อากรณ์ เก่งพล และ โอชาณุ นิธิโนะ. 2519: 16-17) กำหนดไว้ว่า ความถูกต้อง (Accuracies) ของเครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้าควรแบ่งออกเป็น 8 ชั้น คือ

ชั้น 0.05, 0.1, 0.2 เป็นเครื่องมือวัดที่ละเอียด เที่ยงตรง อยู่ในห้องปฏิบัติการมาตรฐาน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือวัดมาตรฐานชั้นรอง เพื่อวัดละเอียด และตรวจสอบเครื่องมือวัดอื่น ๆ

ชั้น 0.5 เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับการวัดที่ละเอียด

ชั้น 1.0 เป็นเครื่องมือวัดที่เคลื่อนย้ายได้ และติดตั้งสวิตช์ขนาดใหญ่

ชั้น 1.5, 2.5, 5 เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ทั่ว ๆ ไป

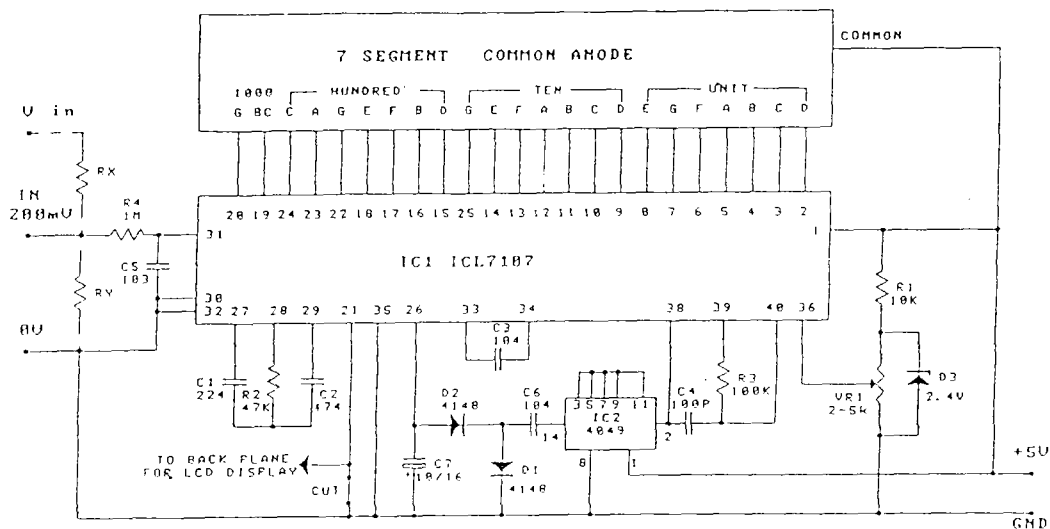
ซึ่งเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่ผู้ศึกษาค้นคว้าสร้างขึ้น กำหนดไว้ให้อยู่ในชั้น 2.5 นี้

8.4 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

8.4.1 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง เป็นเครื่องมือวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะแสดงผลการวัดเป็นระบบตัวเลข

8.4.2 เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นเครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งแสดงผลการวัดเป็นระบบตัวเลข

บริษัท โปรเฟสชันนอล แอ็ปปริ๊ฟ (ม.ป.ป.: 1) ได้เสนอชุด เครื่องวัดไฟฟ้าระบบตัวเลข ที่มีย่านการวัดสูงสุด 199.99 มิลลิโวลต์โดยแสดงผลด้วยไดโอดเปล่งแสง แบบตัวเลข 7 ส่วน มีลักษณะวงจรดังภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 41 แสดงวงจรเครื่องวัดไฟฟ้าระบบตัวเลข

(โปรเฟสชันนอล แอ็ปปริ๊ฟ. ม.ป.ป.: 1)

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือวัด ได้แก่ ไอซีเบอร์ ICL 7107 ซึ่งเป็น a/d converter ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ อนุภาค เป็นสัญญาณ ดิจิตอล และส่งไปแสดงผลทาง ไดโอดเปล่งแสงชนิดตัวเลข 7 ส่วน การทำงานประกอบด้วย

1. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิกาป้อนให้แก่ วงจร ดิจิตอล สำหรับวงจรนี้ความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานคือ 48 กิโลเฮิร์ต ซึ่งวงจรกำเนิด สัญญาณนาฬิกา สามารถทำได้หลายแบบ เช่นนำสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่จากภายนอก มาต่อเข้ากับขา 40 โดยตรง หรืออาจใช้ คริสตัล ค่าความถี่ตามต้องการต่อคร่อมระหว่างขา 39 - 40 ก็ได้ แต่สำหรับวงจรนี้ ใช้วงจร R - C oscillator ต่อระหว่างขา 38 - 40 ได้แก่ R_3 และ C_4 สามารถคำนวณค่า R_3 และ C_4 ได้จากสูตร

$$F = \frac{0.45}{RC}$$

ในการคำนวณใช้เปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุ ให้ได้ความถี่ตามต้องการได้ โดย กำหนดค่า ความต้านทานไว้ที่ 100 กิโลโอห์ม จะได้

$$C = \frac{0.45}{48000 \times 100000} \\ = 100 \text{ PF}$$

ตัวเก็บประจุที่ใช้อ้างอิง ที่ต่ออยู่ระหว่างขา 33 - 34 นั้นใช้ค่า $0.1 \mu F$ เป็นอย่างน้อย ความต้านทาน (R_2) ที่ต่ออยู่ที่ขา 28 นั้น จะต้องใช้ค่าที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับ ย่านสูงสุดที่ต้องการวัด เช่นย่านวัดสูงสุด 200 mV จะใช้ ค่า $R = 47$ กิโลโอห์ม

ตัวเก็บประจุ (C_1) ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณนาฬิกาในกรณีที่ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 48 กิโลเฮิร์ต จะใช้ค่า $0.22 \mu F$

ตัวเก็บประจุ (C_2) เป็นตัวเก็บประจุซึ่งทำหน้าที่ให้ วงจรแสดงผลเป็นศูนย์ในขณะที่ ไม่มีสัญญาณขาเข้า การกำหนดค่าตัวเก็บประจุนี้ขึ้นอยู่กับย่านวัด ที่ย่านวัด 200 mV ใช้ค่า $0.47 \mu F$

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า วงจรนี้ใช้ไฟบวก และไฟลบ โดยต่อไฟบวกเข้ากับขา 1 และ เพื่อให้สะดวกในการใช้งาน จึงใช้วงจรสร้างไฟลบขึ้น โดยการนำเอาสัญญาณนาฬิกาจากขา 38 ของ ไอซีมาผ่านวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และวงจรแปลงไฟฟ้า กระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น ได้ไฟลบไปเลี้ยง ไอซีที่ขา 26

การกำหนดย่านวัดสูงสุด ค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าจะวัดได้สูงสุดนั้นจะมีค่าเท่ากับ 2 เท่าของแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ซึ่งถ้าต้องการวัดสัญญาณขาเข้าที่มีความแรงเต็มย่านวัด 200 mV จะต้องปรับแรงดันอ้างอิง ให้มีค่าเท่ากับ 100 mV

ชุดเครื่องมือวัดนี้สามารถทำเป็นเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงหรือเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ โดยการต่อวงจรแบ่งแรงดัน อนุกรมกับวงจร สำหรับเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า และต่อขนานกับวงจรสำหรับเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า

8.4.3 เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ เป็นเครื่องวัดที่ใช้วัดเพื่อแสดงลักษณะสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เช่น ทรานซิสเตอร์ ไทริสเตอร์ ไดโอด มอสเฟต จังก์ชันเฟด เอสซีอาร์ เป็นต้นโดยแสดงผลการวัดบนจอภาพ

บริษัท เทกโทรนิค (Tektronix) ได้เสนอ เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ สู่ตลาดอิเล็กทรอนิกส์ 4 แบบ (Tektronix. 1994 : 329-335) ประกอบด้วย

แบบ 372 semiconductor workbench

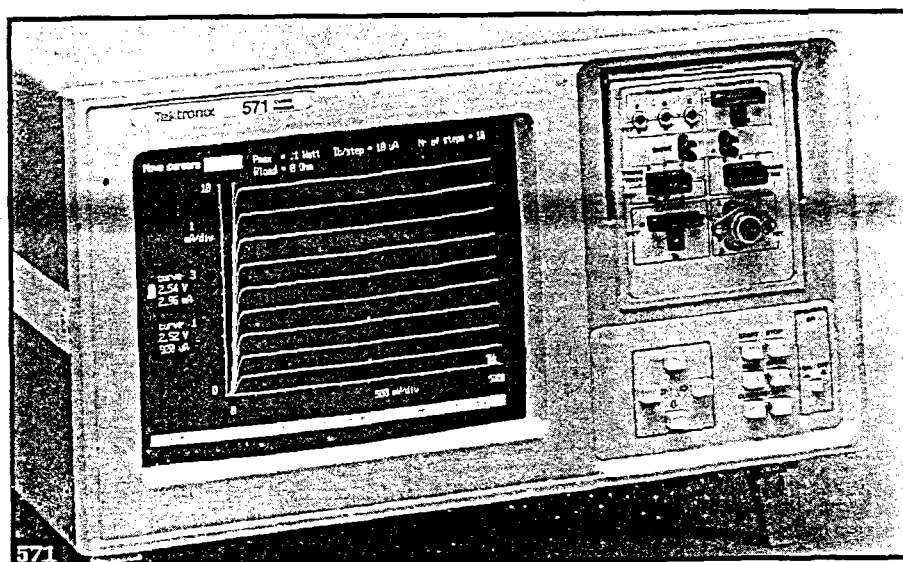
แบบ 370 A curve tracer

แบบ 371 A high power curve tracer

แบบ 571 curve tracer

เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ รุ่น 571 มีลักษณะดังภาพ

ประกอบ 42



ภาพประกอบ 42 แสดงภาพหน้าจอของเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติ
ของสารกึ่งตัวนำ รุ่น 571

รายละเอียดของเครื่องมี ดังนี้

แหล่งจ่ายแรงดันคอลเล็กเตอร์ สามารถจ่ายได้ตั้งแต่ 0.5 - 100 โวลต์ เลือกได้ 8 ช่วง
การวัด โดยจ่ายกระแสสูงสุด 2 แอมแปร์ ที่ 50 โวลต์ และ จ่ายกระแสสูงสุด 1 แอมแปร์ ที่
100 โวลต์

เลือกความต้านทานที่ภาระได้ คือ 0.25, 10, 100, โอห์ม และ 1, 10 กิโลโอห์ม

เลือกกระแสเบสได้ 10 ระดับ ตั้งแต่ 0.5 ไมโครแอมแปร์/ ระดับถึง 20 มิลลิแอมแปร์ /
ระดับ

วัดกระแสคอลเล็กเตอร์ ได้ ตั้งแต่ 5 ไมโครแอมแปร์ ถึง 200 มิลลิแอมแปร์/ ช่วง
วัดกระแสคอลเล็กเตอร์ได้ 15 ช่วงการวัด

ให้แรงดันขั้วขาเกต 0.1 โวลต์/ระดับ ถึง 1 โวลต์/ ระดับ ใช้ได้กับเฟท ชนิด พี
แชนแนล และ เอ็น แชนแนล มีช่วงการวัด 4 ช่วง

สัญญาณแสดงตำแหน่ง มี 2 สัญญาณ สามารถเคลื่อนที่ ตามแนวนอน และ แนวตั้ง

มีความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 2.0 ที่ตำแหน่งการวัดสูงสุด

สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องอัดสำเนาได้

9. เครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการจัดการศึกษาทางสาขาอิเล็กทรอนิกส์

จากการศึกษาหลักสูตรระดับอนุปริญญาวิทยาศาสตร สาขาอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่
 วิชา (5582601) เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ 1 (สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
 วิชา (5583601) เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ 2 (สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
 สรุปได้ว่า เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ที่ควรมีไว้เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอน ดังนี้

1. เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งระบบเข็มชี้ และระบบตัวเลข
2. เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ทั้งระบบเข็มชี้ และระบบตัวเลข
3. เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งระบบเข็มชี้ และระบบตัวเลข
4. เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ทั้งระบบเข็มชี้ และระบบตัวเลข
5. เครื่องมือวัดความต้านทาน ทั้งระบบเข็มชี้ และระบบตัวเลข
6. มัลติมิเตอร์ ทั้งระบบเข็มชี้ และระบบตัวเลข
- 7.. กัลวานอมิเตอร์
8. เครื่องมือวัดค่าความเหนี่ยวนำ
9. เครื่องมือวัดค่าตัวเก็บประจุ
10. เครื่องมือวัดรูปสัญญาณ
11. เครื่องมือวัดความถี่
12. เครื่องผลิตสัญญาณ
13. เครื่องผลิตรูปสัญญาณโทรทัศน์
14. เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ
15. เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง
16. เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยา ภู่อันติสัมพันธ์ (2526: 57-62) ได้นำเสนอเครื่องตรวจสอบทรานซิสเตอร์ ซึ่งสามารถวัดอัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และ PNP มีช่วงการวัดแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ 0-100, 0-500, 0-1000 สามารถหากระแสรั่วไหลของทรานซิสเตอร์ และ ไดโอดได้

สมชาย สุขพันธ์ (2531:156 -162) ได้ออกแบบสร้างเครื่องวัดคุณสมบัติ ทรานซิสเตอร์ สามารถวัดหากระแสรั่วไหล อัตราขยายกระแส แรงดันเบรกดาวน์ วัดได้ทั้ง ทรานซิสเตอร์ เฟท ไดโอด และ เอสซีอาร์

เฉลิมพล ศรีอนันต์ (2531:120-122) ได้ออกแบบ สร้างเครื่องทดสอบอุปกรณ์ สารกึ่งตัวนำ สามารถตรวจและวัดหาหาทรานซิสเตอร์ วัดหาอัตราขยายกระแส ทดสอบไดโอด แอลอีดี และเอสซีอาร์

วัชรพงษ์ วานานวงศ์ (2531: 61-63) ได้สร้างเครื่องทดสอบไดโอด และ ทรานซิสเตอร์ โดยอาศัยการกระพริบของแอลอีดีเป็นเครื่องบ่งชี้ว่าไดโอด หรือทรานซิสเตอร์ ที่นำมาทดสอบนั้นดีหรือเสีย

เพชรดา จินชัย และ สุวรรณ เทศนาคติธรรม (2536) ได้สร้างเครื่องตรวจสอบ คุณสมบัติ ไดโอด และ ทรานซิสเตอร์ โดยดูจากกราฟ I - V characteristic ซึ่งแสดงผลออก ทางจอภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจำกัดค่าสูงสุดไว้ระหว่าง +10 ถึง -10 โวลต์ กระแส ไบแอสสูงสุดที่ขา B (I_B) เท่ากับ $\pm 10mA$

คมสัน ดาศรี, ธีรศักดิ์ กฤตชนเวท และบรรจงศักดิ์ วงศ์กาวี (2537) ได้สร้าง เครื่องตรวจสอบคุณสมบัติของไดโอด และทรานซิสเตอร์ โดยสามารถสั่งงานได้โดยตรง จากคอมพิวเตอร์ ใช้การสื่อสารแบบอนุกรม RS232C มีความเร็วเท่ากับ 9600 bps สามารถเลือกย่านการกวาดแรงดัน ได้ 4 ระดับ และเลือกย่านการกวาดกระแส I_b ได้ 4 ระดับ 6 ขึ้น และ 11 ขึ้น

ฉัตรชัย วงกตศิลา และ พงษ์ศักดิ์ ทศนสุนทรวงศ์ (2537) ได้สร้างเครื่อง ตรวจสอบคุณสมบัติอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ส่วนของฮาร์ดแวร์ทำหน้าที่เป็นวงจรอินเตอร์เฟส กับคอมพิวเตอร์ ได้แก่การแปลงลอจิก ให้ เป็นระดับแรงดัน หรือกระแสป้อนให้อุปกรณ์ที่นำมาทดสอบ พร้อมกับการส่งข้อมูลเป็น ลอจิก ป้อนกลับเข้าคอมพิวเตอร์ โดยผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม ในส่วนของซอฟต์แวร์ ซึ่งเขียนด้วยภาษาแอสแซมบลี จะทำหน้าที่ควบคุมฮาร์ดแวร์ ส่งและรับข้อมูล ซึ่งแสดง ผลการทดสอบ เป็นรูปกราฟคุณสมบัติ ของแรงดันและกระแสบนจอภาพความสามารถของ

เครื่องทดสอบ ในการจ่ายแรงดันได้สูงสุด ± 10 โวลต์ และกระแส ± 100 มิลลิแอมป์ สามารถปรับเปลี่ยนให้มีขนาดลดลงได้ ทั้งทางฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล (2537: 66) ได้สร้างชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ มีชื่อว่า SE-LAB ใช้เป็นชุดทดลองทั้งอนาล็อกและดิจิทัล ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟตรง ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ดิจิตอลโวลต์ / แอมมิเตอร์ไฟตรงขนาด $3\frac{1}{2}$ หลัก วงจรขยายสัญญาณ 0.25 วัตต์ ลอจิกสวิตช์ 8 ช่อง ลอจิกมอนิเตอร์ 8 ช่อง ชุดถอดรหัสไบนารีเป็นตัวเลข 7 ส่วน วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา พร้อมทั้งอุปกรณ์ประกอบอีก 12 รายการ

ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด (2538: 22-29) นำเสนอโครงงานเกี่ยวกับเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทรานซิสเตอร์ โดยแสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์บุคคล ความสามารถของเครื่อง ประกอบด้วย การแสดงผลกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ได้ ทั้งชนิด NPN และ PNP บนจอคอมพิวเตอร์ และสามารถเชื่อมต่อกับเครื่องพิมพ์ได้โดยตรงโดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ TR TEST.EXE. รั้นบนคอมพิวเตอร์ แรงดันทดสอบที่ขาคอลเล็กเตอร์อิมิตเตอร์ อยู่ในช่วง 0-9 โวลต์ กระแสที่ขาคอลเล็กเตอร์สูงสุด 100 มิลลิแอมป์

บทที่ 3

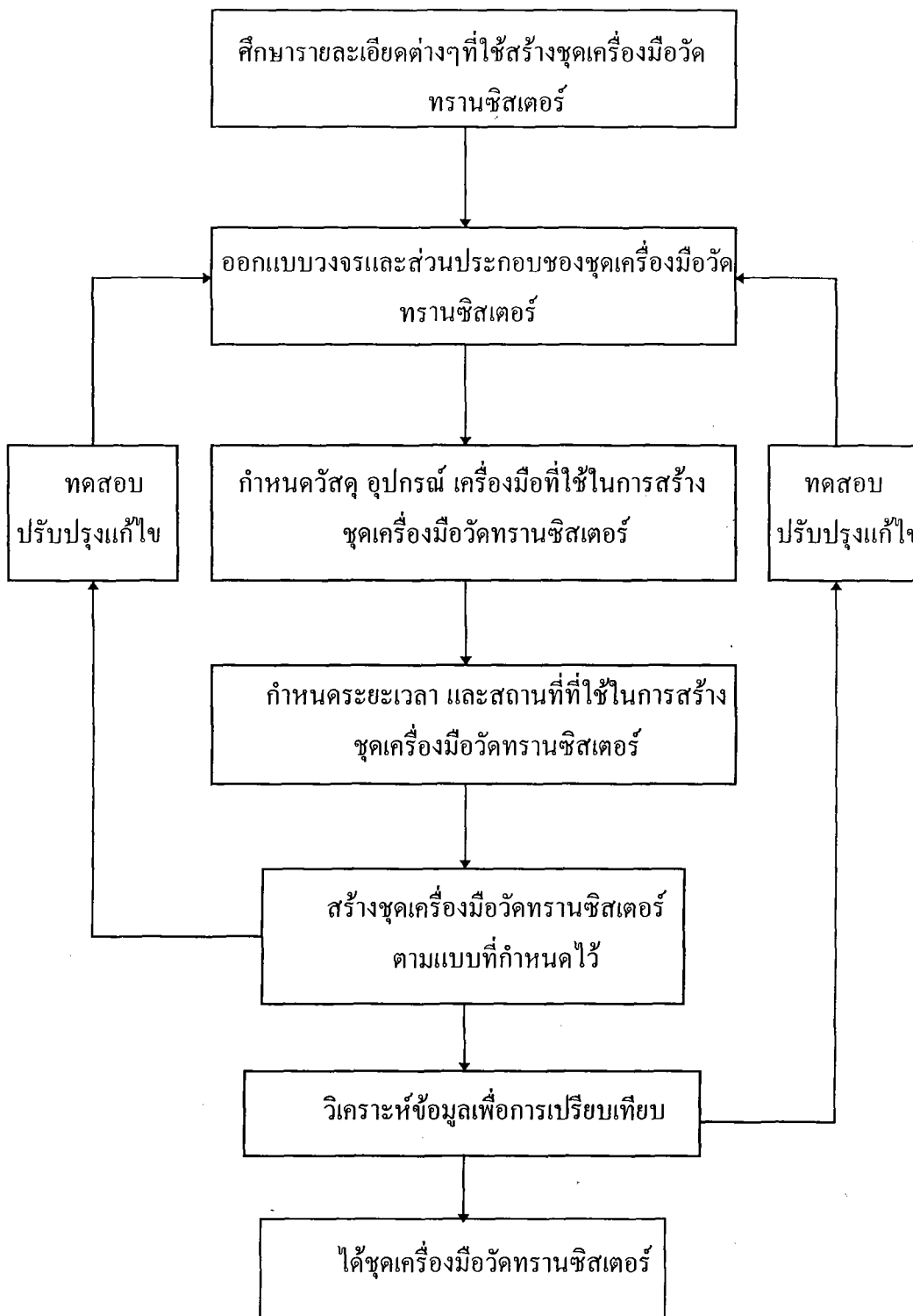
วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เป็นการศึกษาค้นคว้าเชิงทดลอง โดยการสร้างชุดเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์หาค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้า เพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ ซึ่งผู้ศึกษาดำเนินการโดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์
2. ออกแบบวงจร และส่วนประกอบต่างๆของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์
3. กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์
4. กำหนด ระยะเวลา และสถานที่ ที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์
5. สร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ ตามแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้
6. ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไข การทำงานของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

ที่สร้างขึ้น

7. วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการเปรียบเทียบ
ซึ่งสามารถเขียนเป็นกรอบความคิดได้ดังนี้



ภาพประกอบ 43 แสดงกรอบความคิดในการศึกษาค้นคว้า

1. ศึกษารายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

การศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัด ประกอบด้วย

1.1 ศึกษาค่านคว่ำ ตำรา และงานทดลอง ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชุดเครื่องมือวัด อิเล็กทรอนิกส์ ในการหาค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้า เพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของ ทรานซิสเตอร์

1.2 ศึกษาคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ ของชุดเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อ จัดหาวงจร วัสดุ และ อุปกรณ์ที่เหมาะสม มาประกอบเป็นชุดเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์หาค่า กระแส และแรงดันเพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

2. ออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่างๆ ของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

ชุดทดลองที่สร้างขึ้น มีการออกแบบวงจร และ ส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

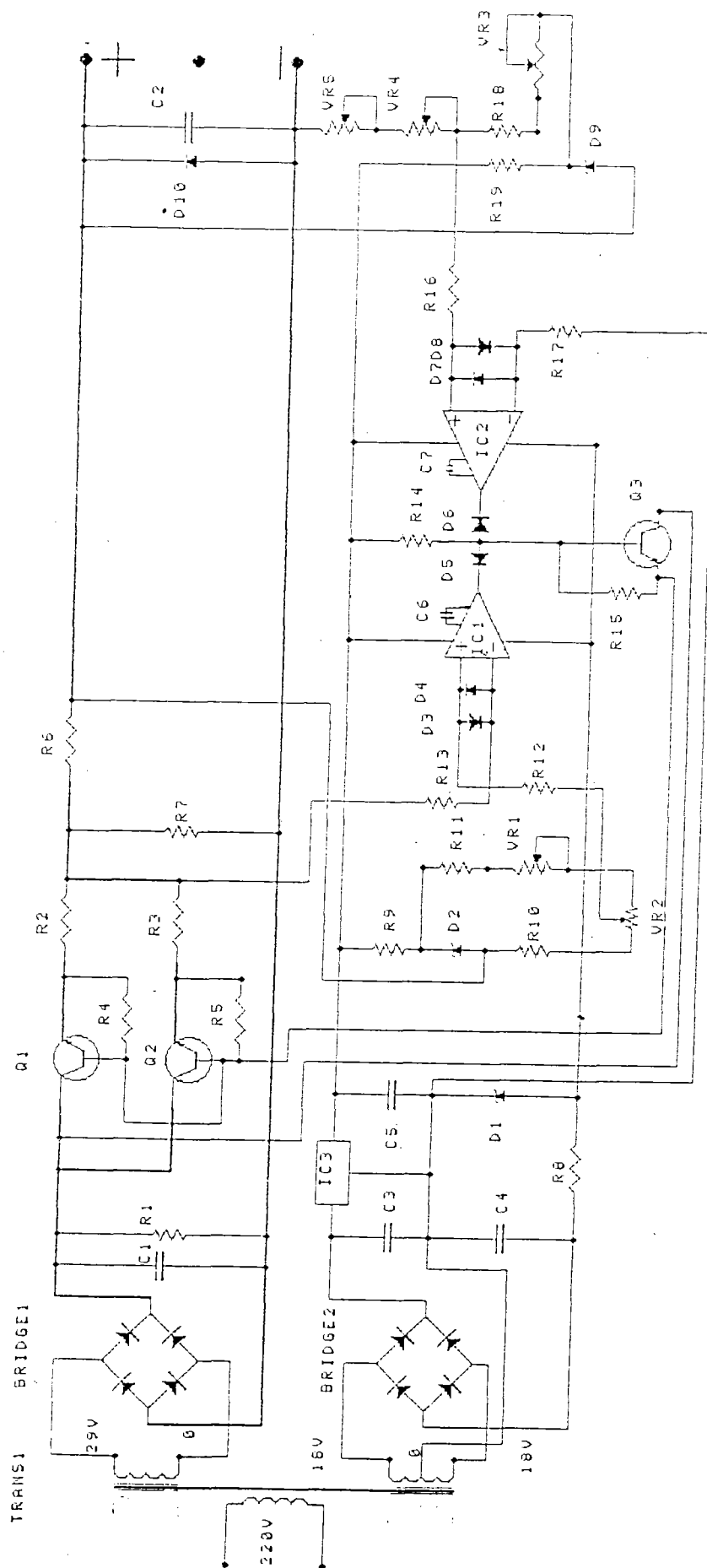
2.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ สามารถปรับแรงดันขาออกได้ ตั้งแต่ 0 - 30 โวลต์ ทนกระแสสูงสุด 2 แอมแปร์ โดยดัดแปลงจากวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ของวิชาญ ก่องดาวงษ์ มีรายละเอียดของวงจร ดังภาพประกอบ 44 โดยมี การออกแบบและเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่สำคัญ ดังนี้

หม้อแปลง การเลือกหม้อแปลง มีสิ่งที่จะต้องเลือก 2 อย่าง ได้แก่ เลือกขนาดกระแส และเลือกขนาดแรงดัน ทางชุดชุดวิทยุ

ชุดที่ 1 เนื่องจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ ต้องการกระแสขาออกสูงสุด 2 แอมแปร์โดยทั่วไปจะเผื่อไว้เป็น 1.5 เท่าของกระแสที่ต้องการสูงสุด ซึ่งจะได้กระแสขาออกเท่ากับ $2 \times 1.5 = 3$ แอมแปร์ ส่วนแรงดันหาได้โดยกำหนดให้มีค่ามากกว่าแรงดันขาออกสูงสุด ซึ่งในวงจรนี้ใช้ $V_{dc(max)} = 30$ โวลต์ เพราะฉะนั้นเลือก $V_{dc} \cong 40$ โวลต์ ซึ่งหาค่า V_{AC} ได้โดยใช้สูตร

$$\begin{aligned} V_{AC} &= \frac{V_{dc}}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{40}{1.414} \\ &= 28.28 \text{ โวลต์ (ใช้ 29 โวลต์)} \end{aligned}$$

ชุดที่ 2 ทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ I_{C1} และ I_{C2} ซึ่งใช้กระแสในการทำงานน้อยมาก ไม่เกิน 20 mA และใช้แรงดันเลี้ยงวงจร $I_{C \pm 15}$ โวลต์คงที่เพราะฉะนั้นใช้หม้อแปลงขนาดกระแส 100 มิลลิแอมป์ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 18-0-18 โวลต์



ภาพประกอบ 44 แสดงวงจรความแม่นยำสูงด้วยออปแอมป์ที่ปรับค่าแรงดันได้ 0 - 30 V, 2 A

ภาคแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและภาคกรองแรงดันประกอบด้วย

ไดโอด การเลือกไดโอด มีข้อพิจารณา 2 อย่าง คือ การเลือกขนาดของกระแสไฟฟ้าและการเลือกขนาดแรงดันไฟฟ้า โดยขนาดของกระแสจะเลือก $I_d > I_{TRANS}$ (I_d คือค่าของกระแสของไดโอดที่เลือกใช้ I_{TRANS} คือค่ากระแสที่หม้อแปลงจ่าย) ส่วนการเลือกขนาดแรงดัน จะเลือกประมาณ 2 เท่าของแรงดันสูงสุด ที่หม้อแปลงจ่ายออก (สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์ มาลานนท์. 2538: 66) เพราะฉะนั้นวงจรนี้เลือกไดโอดดังนี้

วงจร bridge 1 ใช้ไดโอดขนาด 25 แอมป์ 400 โวลต์

วงจร bridge 2 ใช้ไดโอดขนาด 5 แอมป์ 400 โวลต์

D15 ใช้ขนาด 5 แอมป์ 400 โวลต์

ตัวเก็บประจุ การเลือกตัวเก็บประจุ มีข้อพิจารณา 2 อย่าง คือค่าตัวเก็บประจุ และค่าแรงดันของตัวเก็บประจุ

$$\text{ค่าตัวเก็บประจุหาได้จากสูตร } C = \frac{2.9 Idc}{V_{r(rms)}}$$

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น} \quad C_1 &= \frac{2.9 \times 2000}{1} \\ &= 5800 \text{ ไมโครฟารัด} \end{aligned}$$

(กำหนดให้ $V_{r(rms)} = 1$ โวลต์)

ค่าแรงดันของตัวเก็บประจุใช้ประมาณ 2 เท่าของแรงดันสูงสุดที่จ่ายจากหม้อแปลง (สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์ มาลานนท์. 2538: 66)

เลือก $C_1 = 6300$ ไมโครฟารัด 80 โวลต์

ภาคคอนโทรล ประกอบด้วย

ทรานซิสเตอร์ มีข้อพิจารณา 3 ประการ คือ อัตราทนกระแสสูงสุด ($I_{C MAX}$) อัตราทนแรงดันสูงสุด ($V_{CE MAX}$) อัตราทนกำลังสูงสุด ($P_{C MAX}$) โดยจะต้องเลือกให้

$$\begin{aligned} I_{c(max)} &\geq I_{(out max)} \\ V_{CE(max)} &\geq V_{(in max)} - V_{(out max)} \\ P_{C(max)} &\geq (V_{(in max)} - V_{(out max)}) I_{(out max)} \end{aligned}$$

กระแส $I_{out(max)}$ ของวงจร = 2 A เพราะฉะนั้น:

Q_1, Q_2 เป็นตัวผ่านกระแสเลือกเบอร์ 2N 3055 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

$$I_{c(max)} = 15 \text{ แอมป์}$$

$$V_{CE(max)} = 60 \text{ โวลต์}$$

$$P_{c(max)} = 115 \text{ วัตต์}$$

Q_3 เป็นตัวขยายกระแสแล้วต่อคาริงตัน กับ Q_1, Q_2 หา I_{CQ_3} จะได้

$$\begin{aligned} I_{CQ_3} &= I_{BQ_1} + I_{BQ_2} \\ &= \frac{I_{CQ_1}}{\beta_{Q_1}} + \frac{I_{CQ_2}}{\beta_{Q_2}} \end{aligned}$$

$$(\text{กำหนด } \beta \text{ ของ } Q_1, Q_2 = 50) \quad \text{จะได้ } I_{CQ_2} = \frac{2A}{50} = 40mA$$

เพราะฉะนั้นเลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD 139 ซึ่ง มีรายละเอียดดังนี้

$$I_{c(max)} = 1 \text{ แอมแปร์}$$

$$V_{CE(max)} = 80 \text{ โวลต์}$$

$$P_{c(max)} = 12 \text{ วัตต์}$$

IC3 ใช้เบอร์ 7815 เพื่อรักษาระดับแรงดันคงที่เพื่อจ่ายให้แก่ IC1 และ IC2 โดยทำงานร่วมกับ D3 ซึ่งเป็น zener diode และเป็นแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรอ้างอิง

ภาคเปรียบเทียบแรงดัน ประกอบด้วย

IC1 สำหรับควบคุมและตรวจวัดกระแสขาออก โดยได้ตัวอย่างแรงดันมาจากแรงดันที่ตกคร่อม R6 ใช้ออปแอมป์ เบอร์ LM 301 หรือ μA 741

IC2 สำหรับควบคุมและตรวจวัดแรงดันจากขาออกใช้ออปแอมป์เบอร์ LM 301 หรือ μA 741

D5, D6, D9, D10 ทำหน้าที่จำกัดแรงดันแตกต่างระหว่างขาเข้าของออปแอมป์ทั้งสองไม่ให้เกิน 600 มิลลิโวลต์ เพื่อให้การทำงานมีเสถียรภาพ ใช้เบอร์ 1N 4148

R12, R13, R16, R17 มีไว้เพื่อให้เกิดเสถียรภาพทางออฟเซต ใช้ค่า 470 Ω

ภาคแรงดันอ้างอิง ประกอบด้วย VR หลายตัว ทั้งนี้เพื่อให้สามารถปรับแรงดันขาออก และปรับกระแสขาออกได้ละเอียดยิ่งขึ้น

VR1 สำหรับปรับค่ากระแสขาออกสูงสุด ใช้ค่า 5 k Ω

VR2 สำหรับเลือกค่ากระแสใช้งาน ใช้ค่า 1 k Ω

VR3 สำหรับปรับค่าแรงดันขาออกสูงสุด ใช้ค่า 5k Ω

VR4 และ VR5 สำหรับการปรับเลือกค่าแรงดันใช้งาน ใช้ค่า $3k\Omega$ และ $20k\Omega$
ตามลำดับ

รายการวัสดุชุดจ่ายกำลังไฟฟ้าปรับค่าได้ 30V, 2A

หม้อแปลง ขดทุติยภูมิ

ขดที่ 1 0-29 V 3A

ขดที่ 2 18-0-18V 100mA

ทรานซิสเตอร์

Q1, Q2, เบอร์ 2N 3055

Q3 เบอร์ BD 139

ออปแอมป์

IC1, IC2 เบอร์ LM 301 A หรือ $\mu 4741$

ตัวเก็บประจุ

C1 6300 ไมโครฟารัด 80 โวลต์ ชนิด อิเล็กโทรไลต์

C2 470 ไมโครฟารัด 50 โวลต์ ชนิด อิเล็กโทรไลต์

C3 100 ไมโครฟารัด 50 โวลต์ ชนิด อิเล็กโทรไลต์

C4 100 ไมโครฟารัด 50 โวลต์ ชนิด อิเล็กโทรไลต์

C5 10 ไมโครฟารัด 50 โวลต์ ชนิด อิเล็กโทรไลต์

C6 220 ไมโครฟารัด 50 โวลต์ ชนิด เซรามิกส์

C7 220 ไมโครฟารัด 50 โวลต์ ชนิด เซรามิกส์

ตัวต้านทาน ขนาด $\frac{1}{2}$ วัตต์ (นอกจากที่ระบุ)

R1 1 กิโลโอห์ม 5 วัตต์ R2, R3 0.5 โอห์ม 5 วัตต์

R4, R5 200 โอห์ม R6 0.5 โอห์ม 10 วัตต์

R7 500 โอห์ม 5 วัตต์ R8 1 กิโลโอห์ม

R9 820 โอห์ม R10 47 โอห์ม

R11 3.9 กิโลโอห์ม R12, R13 470 โอห์ม

R14 10 กิโลโอห์ม R15 1.2 กิโลโอห์ม

R16, R17 470 กิโลโอห์ม R18 6.2 กิโลโอห์ม

R19 820 โอห์ม

VR1 5 กิโลโอห์ม เกือกม้า VR2 1 กิโลโอห์ม เกือกม้า

VR3 5 กิโลโอห์ม เกือกม้า VR4 3 กิโลโอห์ม Volume

VR5 20 กิโลโอห์ม Volume

ไดโอด

Bridge1 บริดจ์เรกติไฟเออร์ 5 A 400 V Bridge 2 บริดจ์เรกติไฟเออร์ 5 A 400 V

D1 Zener diode 13 V 1 watt

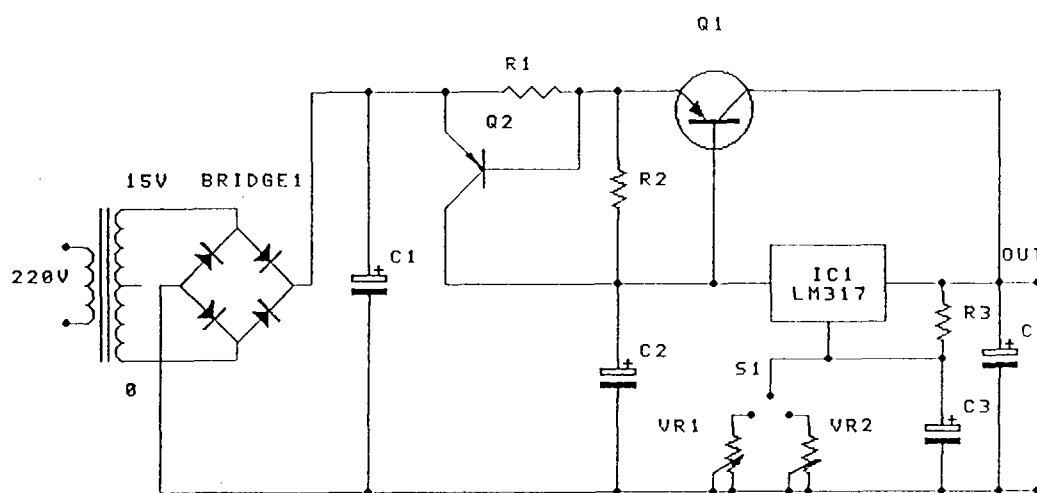
D2 Zener diode 6.2 V 1 watt

D3 - D8 1N 4148

D9 Zener diode 8 Volt 1 watt

D10 5A 400V

2.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดเลือกค่าแรงดันขาออกได้ 2 ระดับ ได้แก่ ขนาดแรงดัน 1.5 โวลต์ และ 12 โวลต์ ใช้ไอซีควบคุมแรงดันคงที่ 3 ขา เบอร์ LM 317 โดยออกแบบให้เลือกแรงดันขาออกได้ที่ 1.5 โวลต์ และ 12 โวลต์ ดังแสดงในภาพประกอบ 45



ภาพประกอบ 45 แสดงวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง
ชนิดเลือกค่าแรงดันขาออกได้

การคำนวณหาค่า อุปกรณ์ในวงจร สามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 R1 &= \frac{0.7V}{I_{max}} \\
 &= \frac{0.7V}{500mA} \\
 &= 1.4\Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{หาขนาด } P_{R_1} &= I_{\max}^2 \times R_1 \\
 &= 0.5^2 \times 1.4 \\
 &= 0.35 \text{ วัตต์ (ใช้ค่ามากกว่าที่คำนวณได้ 2 เท่า ขึ้นไป = 5 วัตต์)} \\
 R_2 &= \frac{0.7}{I_{reg}} \quad (\text{กำหนดให้ } I_{reg} = 100\text{mA}) \\
 &= \frac{0.7}{100} \times 1000 \\
 &= 7 \, \Omega \\
 R_3 &= \frac{V_{ref}}{I_{L(\min)}} \\
 &= \frac{1.25V}{10mA} \\
 &= 125 \, \Omega \quad (\text{ใช้ที่มีขายในท้องตลาด } 120 \, \Omega)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 VR_1 &= \frac{V_{out} - 1.25V}{10.47mA} \\
 &= \frac{12 - 1.25}{10.47} \times 1000 \\
 &= 1026 \, \Omega \quad (\text{ใช้ } 3 \, \text{k}\Omega)
 \end{aligned}$$

หาขนาดทรานซิสเตอร์ Q1

$$\begin{aligned}
 V_{CE} &= V_{in} - V_{out} \\
 &= 25 - 12 \\
 &= 13 \, \text{V} \\
 I_c &= I_{\max} \\
 &= 0.5 \, \text{A} \\
 P_c &= V_{CE} \times I_c \\
 &= 13 \times 0.5 = 6.5 \, \text{watt}
 \end{aligned}$$

ใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BD 140

หาขนาดทรานซิสเตอร์ Q2

$$\begin{aligned}
 V_{CE} &= V_{BE_1} + V_{BE_2} \\
 &= 0.7 + 0.7 \\
 &= 1.4 \, \text{V}
 \end{aligned}$$

$$I_c = 1 \text{ A (เท่ากับ } I_{\max} \text{ ของ LM 317)}$$

$$P_c = 1.4 \times 1$$

$$= 1.4 \text{ watt}$$

ใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BD 140

รายการวัสดุ อุปกรณ์ทั้งหมด ประกอบด้วย

หม้อแปลง ใช้ขนาด แรงดัน 0-15 V, กระแส 1 แอมแปร์

บริดจ์เรกติไฟเออร์ 5 A, 400 V

C1 2200 μF 50 V

C2 , C4 0.1 μF 50 V

C3 10 μF 50 V

R1 1.4 Ω 5 watt

R2 6.8 Ω

R3 120 Ω

VR1 , VR2 3K Ω เกือกม้า

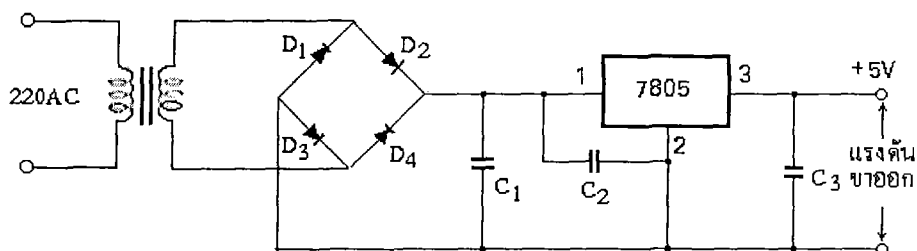
IC1 LM 317 T

Q1, Q2 BD 140

D1, D2 1N 4001

S1 สวิตช์หมุน แบบ 2 ตำแหน่ง 1ชุด

2.3 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ชุดเครื่องวัดระบบตัวเลข ผู้วิจัยได้แยกชุดจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ชุดเครื่องวัดออกมาโดยเฉพาะ เพื่อป้องกันการดึงกระแสและรบกวนกันขณะใช้การะมาก โดยใช้ไอซีควบคุมแรงดันขาออกคงที่ 3 ขา ได้แก่ เบอร์ 7805 ซึ่งให้แรงดันขาออกคงที่ 5 โวลต์ รายละเอียดวงจรแสดงในภาพประกอบ 46



ภาพประกอบ 46 แสดงวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับชุดเครื่องมือวัดระบบตัวเลข

รายการอุปกรณ์ประกอบด้วย

หม้อแปลง ใช้ขนาดแรงดัน 0 - 9 V , กระแส 500 mA

C1 1000 μF 25V

C2 0.1 μF 50V

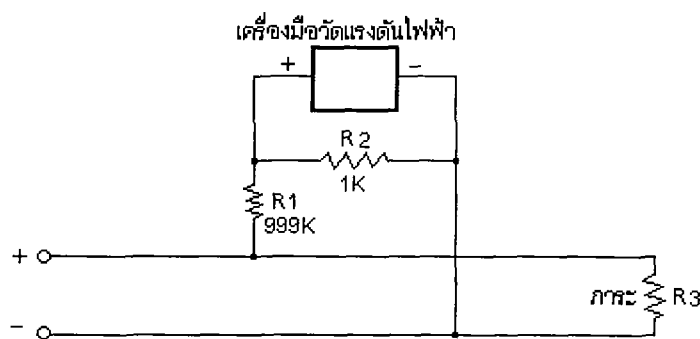
C3 10 μF 25 V

D1- D4 1N 4001

IC1 7805

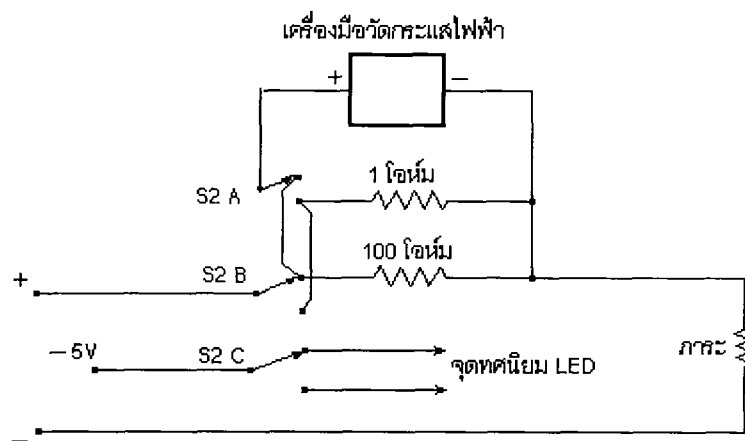
2.4 ชุดเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ประกอบด้วย

2.4.1 เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งแสดงผลเป็นระบบตัวเลข ใช้ชุดเครื่องมือวัดของบริษัทโปรเฟสชันนอล แอปปริฟ โดยเพิ่มวงจรแบ่งแรงดันเพื่อให้สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 200 โวลต์ (199.99V) ดังภาพประกอบ 47

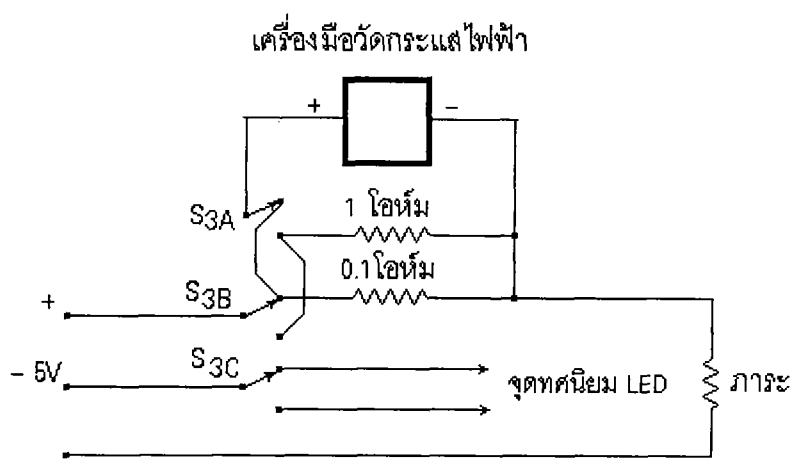


ภาพประกอบ 47 แสดงการเพิ่มวงจรแบ่งแรงดันให้ชุดเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า

2.4.2 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งแสดงผลเป็นระบบตัวเลข ใช้ชุดเครื่องมือวัดของบริษัทโปรเฟสชันนอล แอปปริฟ โดยเพิ่มวงจรแบ่งกระแสให้สามารถเลือกย่านการวัดได้สูงสุด 2 มิลลิแอมแปร์, 200 มิลลิแอมแปร์ และ 2 แอมแปร์ ดังภาพประกอบ 48



ก) ข่ายการวัดสูงสุด 2 mA, 200 mA.



ข) ข่ายการวัดสูงสุด 2 A

ภาพประกอบ 48 แสดงการเพิ่มวงจรแบ่งกระแสให้ชุดเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า

2.5 วงจรการเดินสายไฟฟ้าภายในของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ แสดงดังภาพ

ประกอบ 49

3. กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

การสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ เพื่อการศึกษาครั้งนี้ ใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ ได้แก่

3.1.1 ตัวต้านทาน ประกอบด้วย

ตัวต้านทาน ขนาด 0.5 วัตต์ ค่าผิดพลาด ร้อยละ 1

ค่าความต้านทาน	47	โอห์ม	จำนวน	1	ตัว
"	6.8	"	"	1	ตัว
"	120	"	"	2	ตัว
"	200	"	"	2	ตัว
"	470	"	"	2	ตัว
"	820	"	"	2	ตัว
"	1	กิโลโอห์ม	"	2	ตัว
"	1.2	"	"	1	ตัว
"	3.9	"	"	1	ตัว
"	6.2	"	"	1	ตัว
"	10	"	"	5	ตัว
"	47	"	"	3	ตัว
"	100	"	"	3	ตัว
"	1	เมกกะโอห์ม	"	3	ตัว

ตัวต้านทาน ขนาด 1 วัตต์ ค่าผิดพลาด ร้อยละ 1

ค่าความต้านทาน	0.1	โอห์ม	จำนวน	1	ตัว
"	1	"	"	2	ตัว
"	100	"	"	1	ตัว

ตัวต้านทาน ขนาด 5 วัตต์ ค่าผิดพลาด ร้อยละ 20

ค่าความต้านทาน	0.5	โอห์ม	จำนวน	2	ตัว
"	1.4	"	"	1	ตัว
"	500	"	"	1	ตัว

ค่าความต้านทาน 1 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว

ตัวต้านทานขนาด 10 วัตต์ ค่าผิดพลาด ร้อยละ 20

ค่าความต้านทาน 0.5 โอห์ม จำนวน 1 ตัว

3.1.2 ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ ประกอบด้วย

ค่าความต้านทาน	1	กิโลโอห์ม (เกือกม้า)	จำนวน	1	ตัว
”	5	”	”	3	ตัว
”	5	” (มัลติเทิร์น)	”	3	ตัว
”	5	” (วอลลุ่ม)	”	1	ตัว
”	20	”	”	1	ตัว

3.1.3 ตัวเก็บประจุ ประกอบด้วย

ค่าความจุ	220	ปิโคฟารัด	50	โวลต์	จำนวน	2	ตัว
”	0.1	ไมโครฟารัด	50	โวลต์	”	4	ตัว
”	10	”	25	”	”	1	ตัว
”	10	”	50	”	”	2	ตัว
”	470	”	50	”	”	1	ตัว
”	100	”	50	”	”	2	ตัว
”	1000	”	50	”	”	1	ตัว
”	2200	”	50	”	”	1	ตัว
”	4700	”	80	”	”	1	ตัว

3.1.4 ไดโอด ประกอบด้วย

บริดจ์เรกติไฟเออร์	5	แอมป์	400	โวลต์	จำนวน	3	ตัว
ไดโอด	5	แอมป์	400	โวลต์	จำนวน	1	ตัว
”	เบอร์	1N 4001			”	4	ตัว
”	เบอร์	1N 4148			”	12	ตัว
ซีเนอร์ไดโอด	2.4	โวลต์	1	วัตต์	จำนวน	1	ตัว
”	6.2	”	1	”	”	1	ตัว
”	8.2	”	1	”	”	1	ตัว
”	13	”	1	”	”	1	ตัว

3.1.5 ทรานซิสเตอร์ ประกอบด้วย

2N 3055	จำนวน	2	ตัว
BD 139	จำนวน	2	ตัว
BD 140	จำนวน	3	ตัว

3.1.6 ไอซี ประกอบด้วย

LM 317 T	จำนวน	1	ตัว
----------	-------	---	-----

LM 301 A จำนวน 2 ตัว
 7805 จำนวน 3 ตัว
 7815 จำนวน 1 ตัว
 ICL 7107 จำนวน 3 ตัว
 74HC 04 จำนวน 3 ตัว

3.1.7 LED 7 segment

LA 501 VA จำนวน 6 ตัว

3.1.8 หม้อแปลง

ตัวที่ 1 ขดทุติยภูมิ ขดที่ 1 0 - 29 V 3 A
 ขดที่ 2 20 - 0 - 20 V 100 mA
 ตัวที่ 2 ขดทุติยภูมิ ขดที่ 1 9 - 0 - 9 V 500 mA
 ขดที่ 2 18 - 0 - 18 V 1 A

3.1.9 สวิตช์เลือก แบบหมุน

ชนิด 2 ตัวเลือก 12 ชุด จำนวน 2 ตัว
 ชนิด 2 ตัวเลือก 4 ชุด จำนวน 3 ตัว

3.1.10 ปุ่มลูกบิด จำนวน 8 ตัว

3.1.11 ปลั๊กเสียบ

ปลั๊ก ดำ แดง ชนิดติดแท่น จำนวน 5 ชุด
 ปลั๊ก แคนนอน ชนิดติดแท่น จำนวน 1 ตัว
 ปลั๊กแคนนอน ตัวผู้ จำนวน 1 ตัว

3.1.12 สายไฟฟ้า

ขนาด 0.5 sq.mm. ยาว 5 เมตร
 ขนาด 1 sq.mm. ยาว 3 เมตร
 ขนาด 1.5 sq.mm. ยาว 2 เมตร

3.1.13 ตะกั่วบัดกรี ความยาว 10 เมตร

3.1.14 ตะปูเกลียว

ขนาด 3 มิลลิเมตร ยาว 1/2 นิ้ว จำนวน 20 ตัว
 ขนาด 3 มิลลิเมตร ยาว 1 นิ้ว จำนวน 20 ตัว

3.2 เครื่องมือ ประกอบด้วย

- 3.2.1 สว่านไฟฟ้า ชนิดมือถือ ขนาดหัวจับดอกสว่าน 3/4 นิ้ว
- 3.2.2 ดอกสว่านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว จำนวน 1 ดอก
- 3.2.3 ไขควงปากแบน 1 อัน
- 3.2.4 ไขควงปากแฉก 1 อัน
- 3.2.5 ตะไบกลมขนาด 3/8 นิ้ว จำนวน 1 อัน
- 3.2.6 ตะไบแบน 1 นิ้ว จำนวน 1 อัน
- 3.2.7 ประแจปากตาย เบอร์ 10 , 12, 16 อย่างละ 1 อัน
- 3.2.8 หัวแรงไฟฟ้า ขนาด 150 วัตต์ จำนวน 1 ตัว
- 3.2.9 หัวแรงไฟฟ้า ชนิดแช่ ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 1 ตัว
- 3.2.10 คีมปากตัด จำนวน 1 ตัว
- 3.2.11 คีมจับ จำนวน 1 ตัว

4. กำหนดระยะเวลา และสถานที่ ที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

ระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือวัด เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคม พ.ศ. 2540 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2540 โดยใช้สถานที่ในการทดลอง คือ โรงฝึกงานสถาบันราชภัฏเลย

5. สร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้

การสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์เพื่อการศึกษาครั้งนี้ ดำเนินการสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของชุดเครื่องมือวัด เสร็จแล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีลำดับขั้น ดังนี้

- 5.1 สั่งพิมพ์หม้อแปลง จากร้านไทยทรานฟอเมอร์ กรุงเทพฯ
- 5.2 จัดซื้อชุดคิด โดยซื้อเครื่องวัดไฟฟ้าระบบตัวเลข ของบริษัท โปรเฟสชั่นนอล แอ็ปปริ๊ฟ กรุงเทพฯ จำนวน 3 ชุด
- 5.3 จัดทำแผ่นพิมพ์วงจร โดยจัดทำแผ่นพิมพ์วงจร ของชุดควบคุมแรงดันขาออก คงที่ทั้ง 3 ชุด
- 5.4 ประกอบอุปกรณ์ ลงบนแผ่นพิมพ์วงจร โดยการประกอบอุปกรณ์ลงบนแผ่นพิมพ์วงจรของแต่ละชุด และบัดกรี ให้เรียบร้อย
- 5.5 เตรียมกล่องสำหรับบรรจุ โดยใช้กล่องเอนกประสงค์ ของบริษัท นัฐพงษ์ เซลล์แอนด์ เซอร์วิส รุ่น U3 D2 W2 มาทำการเจาะช่อง สำหรับใส่เครื่องวัดกระแส ไฟฟ้า

เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า สวิตช์เลือกและปุ่มควบคุมต่างๆ พร้อมทั้งวางตำแหน่งชุดหม้อแปลง และชุดควบคุมแรงดันขาออกคงที่ที่เหมาะสม

5.6 ประกอบอุปกรณ์ เช่นหม้อแปลง ชุดควบคุมแรงดันขาออกคงที่ เครื่องมือวัด พร้อมอุปกรณ์อื่นๆลงกล่องที่เตรียมไว้

5.7 เชื่อมสาย เพื่อต่อโยงวงจร แต่ละชุดเข้าด้วยกันตามแบบลายวงจร ที่ออกแบบไว้

5.8 ทดลองการทำงาน ของชุดเครื่องมือวัด หาข้อบกพร่องเพื่อปรับปรุง แก้ไข

เมื่อทุกอย่างเรียบร้อย จึงดำเนินการในขั้นต่อไป

6. ทดสอบ ปรับปรุง และ แก้ไขการทำงานของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

หลังจากที่ได้ทำการทดลองการทำงานของชุดเครื่องมือวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า ว่าสามารถทำงานได้ ลำดับต่อไป ได้แก่การทดสอบการทำงานของส่วนต่างๆ เพื่อให้ทำงานได้ตามข้อกำหนด ประกอบด้วย

6.1 หาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดัน ของวงจรควบคุมแรงดันขาออกคงที่ ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 โดยใช้สูตร

$$V.R. = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

6.2 ปรับแต่งค่าการวัดของชุดเครื่องมือวัดระบบตัวเลข โดยการเปรียบเทียบกับ เครื่องมือวัดระบบตัวเลข ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ยี่ห้อ sanwa รุ่น CD 720 E

7. วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการเปรียบเทียบ

การวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อการศึกษาเปรียบเทียบ ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ ที่วัดได้จากชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นกับเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ นั้น ผู้วิจัยใช้ลำดับขั้น ดังนี้

7.1 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย

1) ตั้งสมมุติฐานทางสถิติ

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

โดยที่ μ_1 = ค่าเฉลี่ยกระแสคอลเล็กเตอร์ ที่ได้จากการวัดด้วย ชุดเครื่องมือวัด ทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้น

μ_2 = ค่าเฉลี่ยกระแสคอลเล็กเตอร์ ที่ได้จากการวัดด้วย เครื่องเขียนกราฟ
ลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

2) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ

$$\alpha = 0.01$$

7.2 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1) ค่าเฉลี่ย ใช้สูตร (ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ. 2531:59)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

โดยที่

$\bar{X}$ = ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์เฉลี่ย

$\sum X$ = ผลรวมค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ทั้งหมด

N = จำนวนครั้งที่วัดค่ากระแส

2) ค่าความแปรปรวน ใช้สูตร (ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ. 2531:63)

$$s^2 = \frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}$$

โดยที่ s^2 = ความแปรปรวนของค่ากระแสคอลเล็กเตอร์

X = ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้แต่ละค่า

N = จำนวนครั้งที่วัดค่ากระแส

3) ค่าวิกฤต t เปิดตารางค่า t

4) ค่าสถิติ t ใช้สูตร

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

โดยที่ $\bar{X}_1$ = ค่าเฉลี่ยของค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จาก
ชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้น

- $\overline{X_2}$ = ค่าเฉลี่ยของค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จาก
เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ
- s_1^2 = ความแปรปรวนของ ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัด
ได้จากชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้น
- s_2^2 = ความแปรปรวนของค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้
จากเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ
- n_1 = จำนวนครั้งที่วัดค่ากระแสจากชุดเครื่องมือวัด
ทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้น
- n_2 = จำนวนครั้งที่วัดค่ากระแสจากเครื่องเขียนกราฟ
ลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ซึ่งประกอบด้วย การศึกษารายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ ออกแบบวงจรและส่วนประกอบของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ กำหนดวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการสร้าง กำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการสร้าง ทดสอบปรับปรุงและแก้ไขการทำงานของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ ซึ่งผลการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์มีดังต่อไปนี้

1. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ 0- 30 โวลต์เมื่อสร้างแล้วเสร็จสามารถใช้งานได้ตามจุดประสงค์
2. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดเลือกค่าแรงดันขาออกได้ 1.5 โวลต์ และ 12 โวลต์ เมื่อสร้างแล้วเสร็จ ได้ทดลองการทำงานปรากฏว่า ในขณะที่ทำงานเต็มพิกัด จะมีความร้อนเกิดขึ้นมากที่สุด ตัว ไอซีควบคุมแรงดันคงที่ชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ เบอร์ LM 317 และ ทรานซิสเตอร์ กำลัง ได้แก่ เบอร์ BD 140 ผู้วิจัยจึงทดลองเปลี่ยนทรานซิสเตอร์กำลังตัวใหม่ จากเบอร์ BD 140 ซึ่งทนกำลังได้สูงสุด 20 วัตต์ กระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุด 1.5 แอมแปร์ (Philips ECG. 1995: 1-47) เป็น เบอร์ MJ 2955 ซึ่งทนกำลังได้สูงสุด 150 วัตต์ กระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุด 15 แอมแปร์ (Philips ECG. 1995: 1-42) พร้อมใส่แผ่นระบายความร้อนขนาด 4x6x0.6 เซนติเมตรเพื่อระบายความร้อนที่ทรานซิสเตอร์กำลัง เสร็จแล้วทำการทดลองใช้งานใหม่ ปรากฏว่าความร้อนลดลง และใช้งานได้ดี
3. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่ชุดเครื่องมือวัดระบบตัวเลข ในการออกแบบขั้นตอนกำหนดให้ใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดเดียว ทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ชุดเครื่องมือวัดทั้ง 3 ชุด ได้แก่ เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า จำนวน 1 ชุด เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า จำนวน 2 ชุด ผลการทดลองปรากฏว่า ในขณะที่สวิตช์เลือกการทำงาน อยู่ตำแหน่ง INT. จะเกิดการลัดวงจรระหว่างขั้วไฟบวกและขั้วไฟลบของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ 0-30 โวลต์ เมื่อศึกษาโดยละเอียดแล้วพบว่าขั้วขาเข้าของเครื่องมือวัดทั้ง 3 ชุด ใช้ตำแหน่งลงดินร่วมกันกับไฟลบเป็นผลให้เมื่อประกอบเป็นวงจรของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์แล้ว ทำให้เกิดการลัดวงจรดังกล่าว จึงได้แก้ไข โดยการเพิ่มแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับเครื่องมือวัดระบบตัวเลข ให้แยกอิสระต่อกันเป็น 3 ชุด ซึ่งหลังจากที่ได้แก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวแล้ว เครื่องมือวัดสามารถทำงานได้ตามปกติ จากนั้นจึงได้นำเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์มาทดลองใช้ และนำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ต่อไป

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองใช้ชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองใช้ชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ ผู้วิจัยขอนำเสนอ
การวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1.การหาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาออกคงที่ ดำเนินการโดย วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่แรงดันสูงสุดขณะไม่มี ภาระ และ ขณะมีภาระเต็มพิกัด จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 2 ชุดเสร็จแล้วนำผลการวัดมาคำนวณโดยใช้สูตร

$$VR.. = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

ซึ่งได้ผลการหาค่าการควบคุมแรงดันขาออกคงที่ดังแสดงใน ตาราง 3

ตาราง 3 การหาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

รายละเอียด	แรงดันไฟฟ้าขณะ ไม่มีภาระ(โวลต์)	แรงดันไฟฟ้าขณะ มีภาระเต็มพิกัด (โวลต์)	ค่าการควบคุม การเปลี่ยนแปลง แรงดัน(ร้อยละ)	ค่าที่ตั้ง ไว้ (ร้อยละ)
1. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดปรับแรงดันขาออกได้ 0-30โวลต์	30.00	29.80	0.67	1
2. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดเลือกค่าแรงดันขาออกได้				
2.1แรงดันขาออก 1.5 โวลต์	1.50	1.42	5.63	1
2.2 แรงดันขาออก 12โวลต์	12.00	10.98	9.28	1

จากตาราง 3 พบว่าแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ มี
คุณภาพตามข้อกำหนดที่ตั้งไว้ คือไม่เกินร้อยละ 1 และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดเลือก
ค่าแรงดันขาออกได้ 1.5 โวลต์ และ 12 โวลต์มีค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันมากกว่าขอ
กำหนดที่ตั้งไว้ คือมีค่า เท่ากับ 5.63 และ 9.28 ตามลำดับ

จากตาราง 4 สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้น กับเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการได้ว่า เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าทั้งสองไม่มีความแตกต่างกัน

2.2 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงชุดที่ 1 ทำการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยการวัดตำแหน่งละ 5 ครั้งซึ่งได้ผลการวัดดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้นชุดที่ 1 และเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

กระแสไฟฟ้า (ไมโครแอมแปร์)	เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้น(ไมโครแอมแปร์)						เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ(ไมโครแอมแปร์)					
	1	2	3	4	5	$\bar{X}$	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
1200	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1200	1200	1200	1200	1200	1200
1400	1402	1402	1402	1402	1402	1402	1400	1400	1400	1400	1400	1400
1600	1602	1602	1602	1602	1602	1602	1600	1600	1600	1600	1600	1600
1800	1803	1803	1803	1803	1803	1803	1800	1800	1800	1800	1800	1800
1900	1904	1904	1904	1904	1904	1904	1900	1900	1900	1900	1900	1900

จากตาราง 5 พบว่าที่กระแสไฟฟ้าค่าต่างๆได้แก่ที่ตำแหน่งกระแสไฟฟ้า 100 ถึง 1000 มิลลิแอมแปร์จะให้ผลการวัดที่เท่ากัน ส่วนทางด้านกระแสสูงจะให้ผลการวัดที่คลาดเคลื่อนเล็กน้อยคือจากตำแหน่งที่ 1200 - 1900 ไมโครแอมแปร์จะมีความคลาดเคลื่อน 1-4 ไมโครแอมแปร์ตามลำดับ ซึ่งค่าสูงสุดมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.21 สามารถวิเคราะห์ผลการวัดเพื่อเปรียบเทียบเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้นและเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีค่าไม่แตกต่างกัน

2.3 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า ชุดที่ 2 ทำการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการโดยวัดตำแหน่งละ 5 ครั้ง ซึ่งผลการวัดแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้นชุดที่ 2 และเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

กระแสไฟฟ้า (มิลิแอมแปร์)	เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้น(มิลิแอมแปร์)						เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ(มิลิแอมแปร์)					
	1	2	3	4	5	$\bar{X}$	1	2	3	4	5	$\bar{X}$
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199

จากตาราง 6 พบว่าค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน

3.การเปรียบเทียบผลการวัดค่ากระแสคอลลีเกเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์กับเครื่องเขียนกราฟของสารกึ่งตัวนำ ดำเนินการโดยเลือกทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ ที่เป็นชนิด เอ็น พี เอ็น ซึ่งมีขายในท้องตลาดซึ่งในการทดลองครั้งนี้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD 139 มาทำการวัดหาค่ากระแสคอลลีเกเตอร์ ณ.ตำแหน่งแรงดันไฟฟ้าคร่อมรอยต่อ คอลลีเกเตอร์ - อิมิตเตอร์ 0-15โวลต์กระแสเบสคงที่ 100, 200, 300,..... 1000 ไมโครแอมแปร์ ตามลำดับ ทำการวัดตำแหน่งละ 5 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และค่า $\bar{x}$ ซึ่งค่าการวัดได้แสดงในตาราง 7-16 และตารางสรุปรวม ในตาราง 17

ตาราง 7 ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่กระแสเบส 100 ไมโครแอมแปร์และแรงดันระหว่างขั้วคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ต่างๆกัน

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	เครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์		เครื่องเขียนกราฟสารกึ่งตัวนำ		t
	$\bar{X}_1$	S_1^2	$\bar{X}_2$	S_2^2	
1	9.18	0.012	8.96	0.128	1.3147
2	9.26	0.008	8.96	0.128	1.8910
3	9.3	0.01	9.44	0.128	-0.8427
4	9.36	0.013	9.44	0.128	-0.5954
5	9.38	0.007	9.44	0.128	-0.3651
6	9.44	0.013	9.6	0	-3.1378
7	9.46	0.013	9.6	0	-2.7456
8	9.46	0.013	9.6	0	-2.7456
9	9.48	0.007	9.6	0	-3.2071
10	9.5	0.01	9.6	0	-2.2360
11	9.52	0.007	9.6	0	-2.1380
12	9.52	0.007	9.6	0	-2.1380
13	9.54	0.007	9.6	0	-1.6035
14	9.58	0.007	9.6	0	-0.5345
15	9.6	0.005	9.6	0	0

$$t(8,0.01) = 3.355$$

จากตาราง 7 สามารถวิเคราะห์ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำไม่แตกต่างกัน

ตาราง 8 ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่กระแสเบส 200 ไมโครแอมแปร์ และแรงดันระหว่างขั้วคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ต่างๆกัน

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	เครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์		เครื่องเขียนกราฟสารกึ่งตัวนำ		t
	$\bar{X}_1$	S_1^2	$\bar{X}_2$	S_2^2	
1	19.10	0.025	19.20	0	-1.4142
2	19.22	0.017	19.20	0	0.3429
3	19.30	0.020	19.20	0	1.5811
4	19.38	0.027	19.36	0.128	0.1135
5	19.46	0.023	19.36	0.128	0.5754
6	19.52	0.027	19.52	0.192	0
7	19.62	0.027	19.84	0.128	-1.2495
8	19.70	0.055	19.84	0.128	-0.7319
9	19.78	0.047	19.84	0.128	-0.3207
10	19.82	0.027	19.84	0.128	-0.1135
11	19.84	0.033	20.00	0	-1.9694
12	19.92	0.027	20.00	0	-1.0886
13	19.92	0.027	20.00	0	-1.0886
14	20.00	0.025	20.00	0	0
15	20.02	0.032	20.00	0	0.2500

$$t(8,0.01) = 3.355$$

จากตาราง 8 สามารถวิเคราะห์ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ไม่แตกต่างกัน

ตาราง 9 ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่กระแสเบส 300 ไมโครแอมแปร์ และแรงดันระหว่างขั้วคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ต่างกัน

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	เครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์		เครื่องเขียนกราฟสารกึ่งตัวนำ		t
	$\bar{X}_1$	S_1^2	$\bar{X}_2$	S_2^2	
1	29.20	0.055	29.44	0.128	-1.2545
2	29.42	0.062	29.60	0	-1.6164
3	29.54	0.073	29.76	0.128	-1.0972
4	29.74	0.073	29.76	0.128	-0.0997
5	29.86	0.063	29.92	0.192	-0.2656
6	29.98	0.072	30.24	0.128	-1.3000
7	30.08	0.072	30.24	0.128	-0.8000
8	30.18	0.072	30.24	0.128	-0.3000
9	30.34	0.058	30.24	0	-0.5570
10	30.48	0.077	30.24	0	0.6446
11	30.60	0.095	30.56	0.128	0.1894
12	30.68	0.077	30.56	0.128	0.5926
13	30.78	0.072	30.56	0.128	1.1000
14	30.86	0.038	31.04	0.128	-0.9878
15	30.98	0.072	31.04	0.128	-0.3000

$$t(8,0.01) = 3.355$$

จากตาราง 9 สามารถวิเคราะห์ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ไม่แตกต่างกัน

ตาราง 10 ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 400 ไมโครแอมแปร์ และแรงดันระหว่างขั้วคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ต่างๆกัน

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	เครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์		เครื่องเขียนกราฟสารกึ่งตัวนำ		t
	$\bar{X}_1$	S_1^2	$\bar{X}_2$	S_2^2	
1	38.84	0.003	39.20	0	-14.6969 *
2	38.92	0.212	39.20	0	-1.3598
3	39.38	0.002	39.52	0.192	-0.7107
4	39.58	0.002	40	0	-21.00 *
5	39.74	0.003	40	0	-10.6144 *
6	39.96	0.008	40	0	-1.000
7	40.14	0.008	40	0	3.5000 *
8	40.32	0.012	40	0	6.5319 *
9	40.54	0.008	40.32	0.192	1.1000
10	40.72	0.012	40.8	0	-1.6329
11	40.88	0.012	40.8	0	1.6329
12	41.10	0.005	40.8	0	9.4868 *
13	41.28	0.012	40.8	0	9.7979 *
14	41.42	0.012	40.8	0	12.6556 *
15	41.64	0.013	41.12	0.192	2.5680

$$t(8, 0.01) = 3.355$$

* มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตาราง 10 สามารถวิเคราะห์ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำไม่แตกต่างกันมีอยู่ 7 พิสัยการวัด ได้แก่การวัดที่ตำแหน่งแรงดัน 2, 3, 6, 9, 10, 11, 15 โวลต์ และให้ผลการวัดแตกต่างกัน 8 พิสัยการวัด ได้แก่การวัดที่ตำแหน่งแรงดันไฟฟ้า 1, 4, 5, 7, 8, 12, 13, และ 14 โวลต์

ตาราง 11 ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 500 ไมโครแอมแปร์ และแรงดันระหว่าง ขั้วคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ต่างๆกัน

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	เครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์		เครื่องเขียนกราฟสารกึ่งตัวนำ		t
	$\bar{X}_1$	S_1^2	$\bar{X}_2$	S_2^2	
1	48.98	0.007	48.96	0.128	0.1217
2	49.38	0.018	49.44	0.128	-0.3511
3	49.6	0.023	49.76	0.128	-0.9206
4	49.94	0.043	49.76	0.128	0.9733
5	50.18	0.042	50.08	0.192	0.4622
6	50.48	0.038	50.24	0.128	1.3171
7	50.74	0.033	50.56	0.128	1.0031
8	51.02	0.043	50.56	0.128	2.4873
9	51.22	0.027	51.04	0.128	1.0223
10	51.52	0.012	51.04	0.128	2.8685
11	51.78	0.017	51.20	0.320	2.2340
12	52.02	0.020	51.20	0.320	3.1445
13	52.32	0.023	51.68	.0512	1.9565
14	52.58	0.037	52.00	0.320	2.1705
15	52.86	0.028	52.04	0.408	2.7768

$$t(8, 0.01) = 3.355$$

จากตาราง 11 สามารถวิเคราะห์ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำไม่แตกต่างกัน

ตาราง 12 ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 600 ไมโครแอมแปร์ และแรงดันระหว่างขั้วคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ต่างๆกัน

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	เครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์		เครื่องเขียนกราฟสารกึ่งตัวนำ		t
	$\bar{X}_1$	S_1^2	$\bar{X}_2$	S_2^2	
1	58.68	0.022	59.20	0.320	-1.9882
2	59.16	0.007	59.84	0.128	-4.1383 *
3	59.58	0.015	60.00	0.320	-1.6226
4	60.00	0.018	60.16	0.128	-0.9363
5	60.34	0.003	60.80	0.320	-1.8098
6	60.74	0.007	60.80	0.320	-0.2346
7	61.08	0.007	61.28	0.192	-1.0025
8	61.38	0.003	61.60	0.320	-0.8655
9	61.76	0.007	61.60	0.320	0.6256
10	62.08	0.003	61.92	0.192	0.8101
11	62.46	0.010	62.24	0.128	1.3242
12	62.80	0.003	62.40	0.320	1.5737
13	63.16	0.003	62.40	0.320	2.9901
14	63.56	0.012	62.94	0.698	1.6453
15	63.92	0.012	63.26	0.458	2.1526

$$t(8, 0.01) = 3.355$$

* มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตาราง 12 สามารถวิเคราะห์ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ไม่แตกต่างกัน มี 14 พิสัยการวัด ได้แก่การวัดที่ตำแหน่งแรงดันไฟฟ้า 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 และ 15 โวลต์ มีอยู่ 1 พิสัยการวัดเท่านั้น ที่ให้ผลการวัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือการวัดที่ตำแหน่งค่าแรงดันไฟฟ้า 2 โวลต์

ตาราง 13 ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 700 ไมโครแอมแปร์ และแรงดันระหว่างขั้วคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ต่างๆกัน

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	เครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์		เครื่องเขียนกราฟสารกึ่งตัวนำ		t
	$\bar{X}_1$	S_1^2	$\bar{X}_2$	S_2^2	
1	69.16	0.023	69.44	0.128	-1.6112
2	69.70	0.01	70.24	0.128	-3.2504
3	70.22	0.007	70.40	0.320	-0.7038
4	70.68	0.007	70.88	0.192	-1.0025
5	71.12	0.002	71.04	0.448	0.2666
6	71.64	0.008	71.36	0.448	0.9271
7	72.12	0.002	72.00	0.320	0.4728
8	72.62	0.002	72.00	0.320	2.4431
9	73.08	0.002	72.64	0.128	2.7287
10	73.64	0.053	72.80	0.320	3.0754
11	74.14	0.078	72.96	0.448	3.6381 *
12	74.60	0.055	73.60	0.320	3.6514 *
13	75.14	0.018	73.60	0.320	5.9230 *
14	75.54	0.013	74.12	0.952	3.2322
15	76.00	0.005	74.64	1.088	2.9088

$$t(8, 0.01) = 3.355$$

* มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตาราง 13 สามารถวิเคราะห์ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ไม่แตกต่างกัน มีอยู่ 12 พิสัยการวัด ได้แก่ตำแหน่งการวัดที่ค่าแรงดันไฟฟ้า 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 15 โวลต์ มีอยู่เพียง 3 พิสัยการวัดที่ให้ผลการวัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือการวัดที่ตำแหน่งค่าแรงดันไฟฟ้า 11, 12, และ 13 โวลต์

ตาราง 14 ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 800 ไมโครแอมแปร์ และแรงดันระหว่างขั้วคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ต่างกัน

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	เครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์		เครื่องเขียนกราฟสารกึ่งตัวนำ		t
	X_1	S^2	X_2	S^2	
1	78.76	0.028	79.52	0.192	-3.6231 *
2	79.34	0.003	79.68	0.512	-1.0594
3	80.00	0.005	80.32	0.192	-1.6121
4	80.64	0.003	81.12	0.192	-2.4305
5	81.24	0.003	81.12	0.192	0.6076
6	81.94	0.003	81.92	0.192	0.1012
7	82.50	0	81.92	0.192	2.9598
8	83.08	0.002	82.24	0.768	2.1405
9	83.76	0.003	82.72	0.192	5.2662 *
10	84.36	0.008	82.72	0.192	8.2000 *
11	84.98	0.002	83.52	0.192	7.4120 *
12	85.62	0.007	83.52	0.192	10.5263 *
13	86.50	0.035	83.84	0.768	6.6375 *
14	87.10	0.015	84.32	0.192	13.6629 *
15	87.68	0.027	85.12	0.192	12.2321 *

$$t(8, 0.01) = 3.355$$

* มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตาราง 14 สามารถวิเคราะห์ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำไม่แตกต่างกันมี 7 พิสัยการวัด ได้แก่การวัดที่ตำแหน่งแรงดันไฟฟ้า 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 โวลต์ และมี 8 พิสัยการวัดที่ให้ผลการวัดแตกต่างกัน ได้แก่การวัดที่ตำแหน่งแรงดัน 1, 9, 10, 11, 12, 13, 14, และ 15 โวลต์

ตาราง 15 ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่กระแสเบส 900 ไมโครแอมแปร์ และแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ต่างกัน

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	เครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์		เครื่องเขียนกราฟสารกึ่งตัวนำ		t
	$\bar{X}_1$	S_1^2	$\bar{X}_2$	S_2^2	
1	88.20	0.22	89.92	0.832	-3.7497 *
2	89.10	0.235	90.56	0.448	-3.9502 *
3	89.94	0.173	91.20	0.320	-4.0126 *
4	90.66	0.183	92.00	0.320	-4.2248 *
5	91.44	0.173	92.16	0.768	-1.6596
6	92.16	0.183	92.80	0.320	-2.0178
7	92.96	0.198	93.28	0.832	-0.7050
8	93.70	0.140	93.60	0.768	0.2346
9	94.50	0.140	94.24	0.458	0.7518
10	95.30	0.140	94.46	0.992	1.7653
11	96.12	0.147	95.12	0.512	2.7545
12	96.84	0.098	95.28	0.872	3.3541
13	97.70	0.080	95.88	0.408	5.8256 *
14	98.54	0.053	96.04	0.1128	13.7288 *
15	99.40	0.080	96.76	0.512	7.6723 *

$$t(8, 0.01) = 3.355$$

* มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตาราง 15 สามารถวิเคราะห์ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีอยู่ 8 พิสัยการวัด ได้แก่การวัดที่ตำแหน่งแรงดันไฟฟ้า 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, โวลต์ และที่ให้ผลการวัดแตกต่างกันมีอยู่ 7 พิสัยการวัด ได้แก่การวัดที่ตำแหน่งแรงดัน 1, 2, 3, 4, 13, 14, และ 15 โวลต์

ตาราง 16 ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่กระแสเบส 1000 ไมโครแอมแปร์ และแรงดันระหว่างขั้วคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ต่างกัน

แรงดัน (โวลต์)	เครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์		เครื่องเขียนกราฟสารกึ่งตัวนำ		t
	$\bar{X}_1$	S_1^2	$\bar{X}_2$	S_2^2	
1	99.70	0.035	100.04	0.408	-1.1422
2	100.88	0.047	101	0.5	-0.3628
3	101.90	0.080	102	0.5	-0.2936
4	102.80	0.095	102.2	1.2	1.1789
5	103.74	0.123	102.6	0.8	2.6533
6	104.64	0.113	103.2	1.2	2.8100
7	105.56	0.053	104	2	2.4345
8	106.44	0.023	104.40	1.3	3.9658 *
9	107.42	0.032	105.20	1.2	4.4723 *
10	108.46	0.053	106	2	3.8390 *
11	109.38	0.017	106.40	2.3	4.3776 *
12	110.30	0.020	106.60	3.8	4.2330 *
13	111.36	0.023	107.6	3.8	4.3000 *
14	112.42	0.047	108	5	4.3993 *
15	113.44	0.048	109	5	4.4188 *

$$t(8, 0.01) = 3.355$$

* มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตาราง 16 สามารถวิเคราะห์ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำไม่แตกต่างกัน มีอยู่ 7 พิสัยการวัด ได้แก่การวัดที่ตำแหน่งค่าแรงดันไฟฟ้า 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, โวลต์ และที่ให้ผลการวัดแตกต่างกันมี 8 พิสัยการวัดได้แก่ การวัดที่ตำแหน่งแรงดันไฟฟ้า 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, และ 15 โวลต์

ผลจากตาราง 7 ถึง ตาราง 16 สามารถสรุปค่ากระแสคอลเล็กเตอร์รวมได้ดังตาราง 17

ตาราง 17 สรุปค่ากระแสคอลเล็กเตอร์เฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้น และ
เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ณ ตำแหน่งแรงดัน 1- 15 โวลต์ที่กระแสเบส
100-1000 มิลลิแอมแปร์

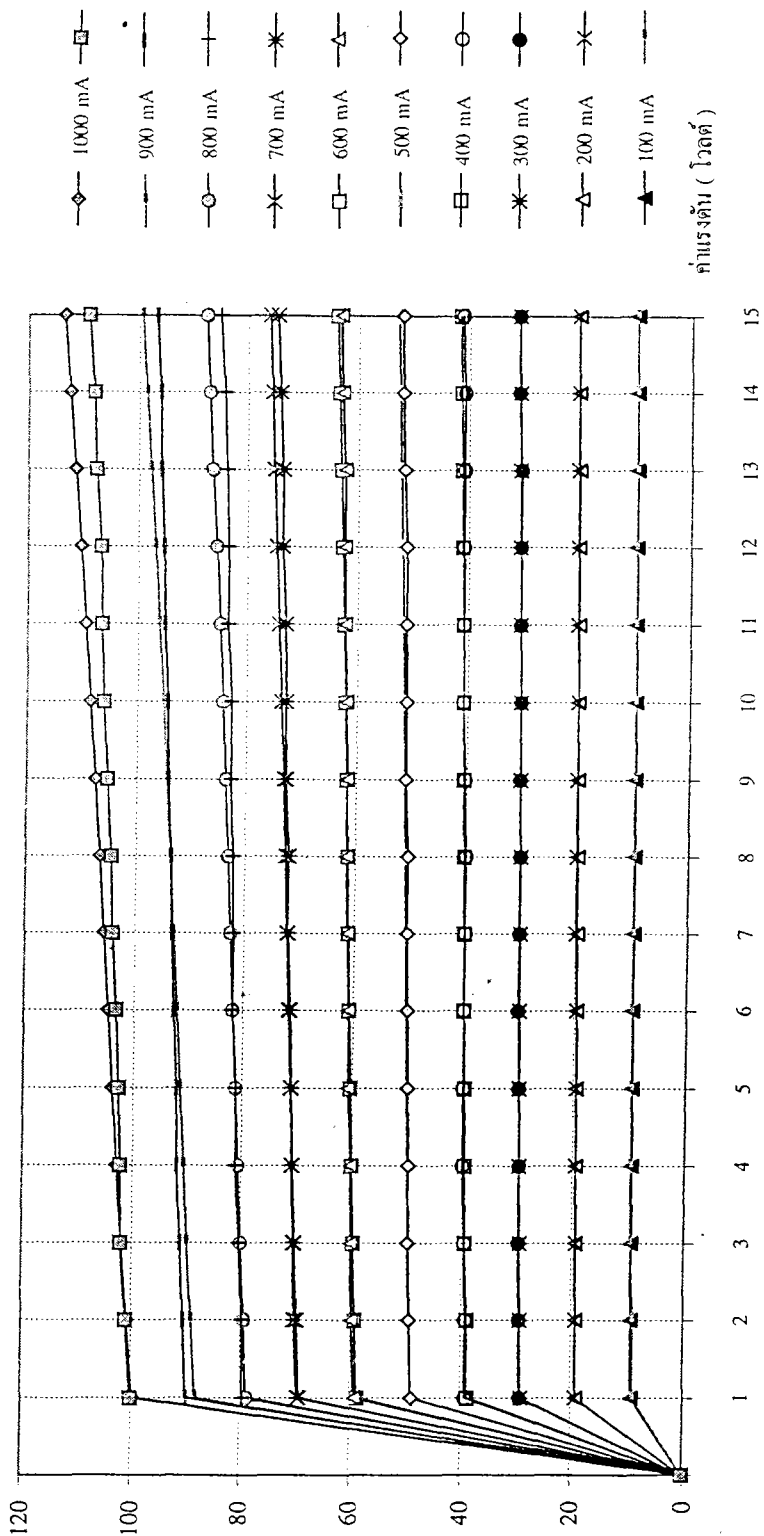
แรงดัน (โวลต์)	100มิลลิแอมแปร์		200มิลลิแอมแปร์		300มิลลิแอมแปร์		400มิลลิแอมแปร์		500มิลลิแอมแปร์	
	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$
1	9.18	8.96	19.1	19.2	29.2	29.44	38.84	39.2	48.98	48.96
2	9.26	8.96	19.22	19.2	29.42	29.6	38.92	39.2	49.38	49.44
3	9.3	9.44	19.3	19.2	29.54	29.76	39.38	39.52	49.6	49.76
4	9.34	9.44	19.38	19.36	29.74	29.76	39.58	40	49.94	49.76
5	9.38	9.44	19.46	19.36	29.86	29.92	39.74	40	50.18	50.08
6	9.44	9.6	19.52	19.52	29.98	30.24	39.96	40	50.48	50.24
7	9.46	9.6	19.62	19.84	30.08	30.24	40.14	40	50.74	50.56
8	9.46	9.6	19.7	19.84	30.18	30.24	40.32	40	51.02	50.56
9	9.48	9.6	19.78	19.84	30.34	30.4	40.54	40.32	51.22	51.04
10	9.5	9.6	19.82	19.84	30.48	30.4	40.72	40.8	51.52	51.04
11	9.52	9.6	19.84	20	30.6	30.56	40.88	40.8	51.78	51.2
12	9.52	9.6	19.92	20	30.68	30.56	41.1	40.8	52.02	51.2
13	9.54	9.6	19.92	20	30.78	30.56	41.28	40.8	52.32	51.68
14	9.58	9.6	20	20	30.86	31.04	41.42	40.8	52.58	52
15	9.6	9.6	20.02	20	30.98	31.04	41.64	41.12	52.86	52.04

ตาราง 17 (ต่อ)

แรงดัน (โวลต์)	600มิลิแอมแปร์		700มิลิแอมแปร์		800มิลิแอมแปร์		900มิลิแอมแปร์		1000มิลิแอมแปร์	
	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$
1	58.68	59.2	69.16	69.44	78.76	79.52	88.2	89.92	99.7	100
2	59.16	59.84	69.7	70.24	79.34	79.68	89.1	90.56	100.8	101
3	59.58	60	70.22	70.4	80	80.32	89.94	91.2	101.9	102
4	60	60.16	70.68	70.88	80.64	81.12	90.66	92	102.8	102.2
5	60.34	60.8	71.12	71.04	81.24	81.12	91.44	92.16	103.7	102.6
6	60.74	60.8	71.64	71.36	81.24	81.92	92.16	92.8	104.6	103.2
7	61.08	61.28	72.12	72	82.5	81.92	92.96	93.28	105.5	104
8	61.38	61.6	72.62	72	83.08	82.24	93.7	93.6	106.4	104.4
9	61.76	61.6	73.08	72.64	83.76	82.72	94.5	94.24	107.4	105.2
10	62.08	61.92	73.64	72.8	84.36	82.72	95.3	94.46	108.4	106
11	62.46	62.24	74.14	72.96	84.98	83.52	96.12	95.12	109.4	106.4
12	62.8	62.4	74.6	73.6	85.62	83.52	96.84	95.28	110.3	106.6
13	63.16	62.4	75.14	73.6	86.5	83.84	97.7	95.88	111.3	107.6
14	63.56	62.94	75.54	74.12	87.1	84.32	98.54	96.04	112.4	108
15	63.92	63.26	76	74.64	87.68	85.12	99.4	96.76	113.4	109

จากตาราง 17 เป็นตารางสรุปค่าเฉลี่ยของกระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด
ทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้น และ เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ ซึ่งสามารถนำมา
เขียนเป็นกราฟ แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทั้งสอง ดังภาพประกอบ 50

ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ (มิลลิแอมป์)



ภาพประกอบ 50 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองชนิด

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าเพื่อออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ และทำการเปรียบเทียบผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้ จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นกับค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ได้ดำเนินการเป็นขั้นตอน ดังต่อไปนี้

จุดมุ่งหมายในการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อออกแบบชุดเครื่องมือวัด หาค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าเพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์
2. เพื่อสร้างชุดเครื่องมือวัดหาค่ากระแสและค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์
3. เพื่อเปรียบเทียบค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ ที่วัดได้จากชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นกับค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. สามารถนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ ของสถานศึกษาเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์ได้
2. สามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนเครื่องมือวัดในการเรียนวิชาอิเล็กทรอนิกส์ 1 วิชาช่างวิทย์ วิชาช่างเครื่องขยายเสียงได้
3. ใช้คัดเลือกทรานซิสเตอร์เพื่อหาคุณสมบัติเหมือน ในการซ่อมเครื่องขยายเสียง ของสถานประกอบการได้
4. ใช้เป็นเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้
5. สามารถประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าอื่นๆของทรานซิสเตอร์ได้ เช่น อัตราขยายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (β) และสมการเส้นโหลด เป็นต้น

สมมุติฐานการศึกษาค้นคว้า

ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์และเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำไม่แตกต่างกัน

การดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการศึกษาออกเป็น 7 ขั้นตอนดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษารายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ โดยศึกษาจากเอกสาร ตำรา และบทความที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดระบบตัวเลขและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทางอิเล็กทรอนิกส์

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่างๆของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์โดยส่วนของลายแผ่นทองแดงใช้ออกแบบด้วยโปรแกรม โปรเทล (protel) ในคอมพิวเตอร์ บุคคล

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ ที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ วัสดุ อุปกรณ์ ที่มีคุณภาพดีและราคาถูก ที่มีขายในท้องตลาด ชุดเครื่องมือวัดระบบตัวเลขใช้ชุดประกอบเองของ บริษัท โปรเฟสชันนัล แอฟปรูฟด์ จำกัด

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดระยะเวลาและสถานที่ ที่ใช้ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ โดยผู้วิจัยกำหนดเวลาการสร้างตั้งแต่ วันที่ 1 เดือน มกราคม ถึง วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2540 โดยใช้สถานที่ในการสร้าง คือ โรงฝึกงาน สถาบันราชภัฏเลย

ขั้นตอนที่ 5 สร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ตามแบบที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 6 ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไขการทำงานของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ ผู้ศึกษาได้หาความเชื่อมั่นของเครื่องวัดระบบตัวเลขโดยการปรับความเที่ยงตรงเทียบกับเครื่องมือวัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งอยู่ในชั้น 0.5

ขั้นตอนที่ 7 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการเปรียบเทียบ ผู้วิจัยได้นำทรานซิสเตอร์ตัวที่เป็นกลุ่มตัวอย่างไปทำการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ ที่กระแส เบส และแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ด้วยชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นและเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ แล้วนำข้อมูลที่ได้อามาทำการเปรียบเทียบกันทางสถิติ

ผลการศึกษาค้นคว้า

เพื่อให้เกิดความเข้าใจโดยชัดเจนเกี่ยวกับผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงนำผลการศึกษาค้นคว้า มานำเสนอเป็นหัวข้อเพื่อให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายการศึกษาค้นคว้าดังนี้

1. ในการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดแนวคิดในการออกแบบ และสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์นี้ ซึ่งใช้หาค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้าเพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ ใช้ได้ทั้งทรานซิสเตอร์ชนิด พี เอ็น พี และ เอ็น พี เอ็น

2. การหาค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งผู้วิจัยตั้งข้อกำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 1 นั้นสำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ มีค่าการควบคุมอยู่ในข้อกำหนด คือเท่ากับร้อยละ 0.67 ส่วนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดเลือกค่าได้ มีค่าการควบคุมเกินข้อกำหนด กล่าวคือ ที่แรงดัน 1.5 โวลต์ มีค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันเท่ากับร้อยละ 5.63 และ ที่แรงดัน 12 โวลต์ มีค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันเท่ากับร้อยละ 9.28 ทั้งนี้เพราะคุณภาพของไอซีที่นำมาใช้อาจมีคุณภาพต่ำแต่ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของกระแสเบส ในการวัดหาค่ากระแสและแรงดันของเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ เพราะแรงดันคร่อมรอยต่อ เบส - อิมิตเตอร์ ใช้แรงดันเพียง 0.7 โวลต์เท่านั้น

3. การเปรียบเทียบค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้ จากชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์กับกระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ผู้วิจัยใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD 139 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็น พี เอ็น ทำการวัดหาค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่ค่าแรงดันคอลเล็กเตอร์ - อิมิตเตอร์ 0 - 15 โวลต์ โดยจำกัดค่ากระแส เบส เป็น 10 ช่วง ได้แก่ ช่วงกระแส เบส 100 - 1000 ไมโครแอมแปร์ทำการวัดตำแหน่งละ 5 ครั้งทั้งสองเครื่อง ผลการเปรียบเทียบโดยรวมไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาเป็นรายช่วงของกระแสเบสแล้วพบว่าที่ช่วงกระแสเบส 100, 200, 300, 500, ไมโครแอมแปร์ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้ไม่แตกต่างกัน ส่วนที่ช่วงกระแสเบส 400 ไมโครแอมแปร์ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้ไม่แตกต่างกัน ร้อยละ 46.67 ของตำแหน่งการวัด ช่วงกระแสเบส 600 ไมโครแอมแปร์ ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ไม่แตกต่างกันร้อยละ 93.33 ช่วงกระแสเบส 700 ไมโครแอมแปร์ ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ ไม่แตกต่างกันร้อยละ 80 ช่วงกระแสเบส 800 ไมโครแอมแปร์ ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ไม่แตกต่างกัน ร้อยละ 46.66 ช่วงกระแสเบส 900 ไมโครแอมแปร์ ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ ไม่แตกต่างกัน ร้อยละ 53.33 ช่วงกระแสเบส 1000 ไมโครแอมแปร์ค่ากระแสเบสไม่แตกต่างกัน ร้อยละ 46.66 จะเห็นว่าเมื่อค่ากระแสเบสสูงขึ้นผลการเปรียบเทียบค่ากระแสคอลเล็กเตอร์จะมีความแตกต่างกัน และเมื่อได้พิจารณาที่ค่ากระแสเบสแต่ละค่าแล้วพบว่า การวัดหาค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ด้วยเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์จะมีการเพิ่มค่ากระแสขึ้นในทุกๆช่วงของการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าคร่อมรอยต่อคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ แต่ผลการวัดด้วยเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำจะเพิ่มค่ากระแสคอลเล็กเตอร์นี้ ในหลายช่วงของการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าคร่อมรอยต่อ ดังกล่าว ซึ่งถ้าพิจารณาภาพรวมโดยการศึกษาผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์จากตาราง 7 ถึง ตาราง 16 จะเห็นว่า ผลการวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ด้วยเครื่องมือวัดทั้งสองจำนวน 150 ตำแหน่ง มีค่าไม่แตกต่างกันจำนวน 115 ตำแหน่ง คิดเป็นร้อยละ 76.67 ของตำแหน่งการวัด จึงสรุปได้ว่า ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นและเครื่องเขียนกราฟ

ลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ไม่แตกต่างกันในช่วงกระแสเบส เท่ากับ 100, 200, 300, และ 500 ไมโครแอมแปร์

อภิปรายผล

จากสมมติฐานการศึกษาค้นคว้าที่ตั้งไว้ในบทที่ 1 นั้นปรากฏผลการศึกษาค้นคว้าในบทที่ 4 สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ กับค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติทรานซิสเตอร์ ไม่แตกต่างกัน แต่จะมีบางพิสัยการวัดเท่านั้นที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยเฉพาะที่ช่วงกระแสเบสมีค่ามากขึ้น (700 - 1000 ไมโครแอมแปร์) สาเหตุประการหนึ่งเพราะว่า การนำกระแสของทรานซิสเตอร์นั้น จะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อ พี เอ็น ยิ่งกระแสไหลมาก หรือเป็นเวลานานจะยิ่งร้อนมาก และถ้าอุณหภูมิของรอยต่อ พี เอ็น สูงขึ้นกระแสคอลเล็กเตอร์ก็จะยิ่งไหลมากขึ้นจนถึงจุดวิ่งหนีความร้อน การวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์โดยใช้เครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำจะใช้เวลาในการเก็บข้อมูล ของตัวทรานซิสเตอร์เพียง 5 นาที แต่การวัดค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ด้วยเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์จะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 30 นาที ความร้อนนี้ทำให้ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์คลาดเคลื่อนได้ ซึ่งผู้วิจัยได้แก้ไขด้วยการใส่แผ่นระบายความร้อนที่ทรานซิสเตอร์ที่นำมาวัด และใช้ห้องทดลองที่มีการควบคุมอุณหภูมิและใช้ช่วงการวัดใน 1 เส้นกราฟ (15 ตำแหน่ง) ภายใน 5 นาที หยุดพัก 8 นาทีจึงเริ่มทดลองวัดใหม่ ผลปรากฏว่าค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้มีความเป็นเชิงเส้นมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การศึกษาค้นคว้านี้สมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนะบางสิ่งบางอย่างเพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ในการศึกษาค้นคว้า ในอนาคตดังนี้

1. การสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ควรมีการปรับปรุงส่วนที่ยังบกพร่อง ดังต่อไปนี้

1.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดเลือกค่าได้ ควรเลือกใช้ชนิดที่มีทั้ง ไฟบวก ไฟลบ และดิน(ground) เพราะว่าการหาอุปกรณ์ชุด ตัวเลือก(selector) มาประกอบวงจรได้ง่ายและใช้จำนวนน้อยกว่า

1.2 ลายแผ่นทองแดง ควรออกแบบเป็นแผ่นเดียวเพื่อสะดวกในการเดินสายไฟฟ้าและการติดตั้งลงในกล่อง

1.3. แผ่นระบายความร้อนของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งหมดควรนำมาไว้ด้านหลังกล่อง ซึ่งจะช่วยให้การระบายความร้อนได้ดีขึ้น

1.4 การใช้งานที่ต้องการความละเอียดควรเลือกช่วงการวัดที่ให้ค่าความเที่ยงตรงมากที่สุดได้แก่ช่วงกระแสเบสต่ำๆ (ไม่เกิน 700 ไมโครแอมแปร์)

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรเลือกแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไอซีควบคุมแรงดันขาออกคงที่ที่มีคุณภาพและให้ค่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่น้อยๆเพื่อคุณภาพของเครื่องมือวัดที่ดี

2.2 ควรเพิ่มการควบคุมกระแส เบส ให้คงที่ด้วยการใช้ ไมโครโปรเซสเซอร์

2.3 ควรออกแบบให้สามารถวัดหาค่ากระแส เคน เพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของ เฟต และ มอสเฟต ได้

2.4 ควรทดลองวัดหาค่ากระแสคอลเล็กเตอร์โดยการควบคุมอุณหภูมิของห้องทดลอง และตัวทรานซิสเตอร์ให้คงที่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซนเซียส ในการวัดหาค่ากระแส ด้วยเครื่องวัดทั้งสอง

2.5 ควรเลือกวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีสัญญาณเตือนขณะที่ใช้งานเกินกำลังเพื่อความปลอดภัยในการใช้ปฏิบัติงาน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- วิชาการ, กรม. หลักสูตรมัธยมศึกษาตอนต้น พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2533). 2533.
- _____. หลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2533). 2533.
- ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด. “เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทรานซิสเตอร์,” เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. 148 : 22-29; พฤษภาคม 2538.
- คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ, สำนักงาน, รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ การติดตามและประเมินผล แผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ ในระยะครึ่งแผนพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2537.
- คมสัน คาสรี, ชีรศักดิ์ กฤตธนเวท และบรรจงศักดิ์. เครื่องตรวจสอบคุณสมบัติของไดโอดและทรานซิสเตอร์.ปริญญานิพนธ์ วศ.บ.กรุงเทพฯ:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537. อัดสำเนา.
- เฉลิมพล ศรีอนันต์. “เครื่องทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ,” คอมพิวเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์. 12 (114) : 120-122; กุมภาพันธ์ 2531.
- นัตร์ชัย วงกตศิลา และ พงศ์ศักดิ์ ทักษณสุนทรวงศ์ เครื่องตรวจสอบคุณสมบัติอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ.กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537. อัดสำเนา.
- ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ. การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์วงจรฟลิปเฟลอร์ และวงจรเร็กกูเลเตอร์โดยใช้ออปแอมป์. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, ม.ป.ป.
- ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. “SE-LAB ชุดทดลองอิเล็กทรอนิกส์สมบูรณ์แบบ,” เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. 143 : 66-70; ตุลาคม 2537.
- ณรงค์ ขอนตะวัน. เครื่องวัดไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : เอราวิชันการพิมพ์, ม.ป.ป.
- ทอง โชติสรยุทธ์. “เทคโนโลยีเพาเวอร์แอมป์ในเครื่องขยายเสียง,” ใน สร้างและออกแบบแอมป์ไฮไฟ. หน้า 93. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน), 2538.
- นิพนธ์ สุขุม. หลักการและการประยุกต์ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (สารกึ่งตัวนำ). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า, 2532.
- ประภากร สุวรรณะ. “ท่านรู้จักโวลเตจเร็กกูเลเตอร์ดีแล้วหรือยัง,” คอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์เวิลด์. 8 (88) : 213-219; พฤษภาคม 2527.
- พันธุ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : บริษัทเฮช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด, 2536.

- _____. ทฤษฎีเครื่องมือวัดเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, ม.ป.ป.
- เพชรดา จินชัย และสุวรรณ เทศนาศิริธรรม. เครื่องตรวจสอบคุณสมบัติไดโอดและทรานซิสเตอร์. ปริญญาโท วศ.บ.กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536. อัดสำเนา.
- มงคล ด้านธานินทร์. “ข้อเสนอ : แนวทางการพัฒนาและการบริหารสถาบันราชภัฏ,” ใน เอกสารการสัมมนา หน้า 1-19. - สถาบันราชภัฏเลย, 2537. อัดสำเนา.
- ปิ่น ภู่วรรณ. ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 1. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2538.
- โรเบิร์ต ดับบลิว. คาร์เวอร์. “เอกอัจฉริยะเครื่องเสียงยุคใหม่,” วอท ไฮไฟ . 5(59): 24; สิงหาคม 2533.
- ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา . กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, 2536.
- วรวิทย์ ไพศาลสุขะกุล. “โพกัสเศรษฐกิจปีหนูไฟ,” ดอกเบี๋ย. 14(17) : 90-94 ; มกราคม 2539.
- วัชรพงษ์ วานานวงศ์. “เครื่องทดสอบไดโอดและทรานซิสเตอร์,” เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์. 12(115) : 61-63; มีนาคม-เมษายน 2531.
- วิชัย แหวนเพชร. “แนวทางการทำวิจัยเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมศึกษา,” พินเนศวร. 1(2) : 31-35; ธันวาคม-พฤษภาคม 2535.
- วิชาญ ก่องดาวงษ์. คู่มือปฏิบัติการทดลองอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 1. กรุงเทพฯ : บริษัทอิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์ จำกัด, 2528.
- _____. โครงการนวงจรควบคุมแรงดัน. ม.ป.ท., ม.ป.ป. อัดสำเนา.
- _____. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2534.
- _____. สื่อการสอนแม่เหล็กไฟฟ้า. เลข: วิทยาลัยครูเลย, 2534.
- วิชาญ ก่องดาวงษ์ และชัยยศ สุนทรวรรณ. “เสริมทักษะอิเล็กทรอนิกส์,” คอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์. 11(108) : 139-149; พฤษภาคม 2530.
- วิทยา ภู่อันติสัมพันธ์. “เครื่องตรวจสอบทรานซิสเตอร์,” คอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์. 7(82) : 57-62; ตุลาคม 2526.
- วิโรจน์ อัสวรงค์. “ใช้ให้เป็นใช้ให้ดีไอซีเร็กกูเรเตอร์ตอนที่ 1,” ใน ออกแบบเครื่องจ่ายไฟ. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2538.
- สภาสถาบันราชภัฏ , สำนักงาน. รหัสและคำอธิบายรายวิชาหลักสูตรสภาสถาบันราชภัฏฉบับปรับปรุงพุทธศักราช 2536. กรุงเทพฯ: สำนักงานสภาสถาบันราชภัฏ , 2536.

- สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย และสมบูรณ์ มาลานนท์. ทฤษฎีและการออกแบบแหล่งจ่ายไฟ
กระแสตรงแบบเชิงเส้น. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, ม.ป.ป.
- สมชาย สุขพันธุ์. “เครื่องวัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์,” เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์.
 86 : 156 -162; มิถุนายน 2531.
- สรณรงค์ (นามแฝง). “เพาเวอร์แอมป์ และ ปริแอมป์,” วอท ไฮไฟ. 7 (76) : 149 - 150 ;
 กุมภาพันธ์ 2535.
- “สินค้าส่งออก 10 อันดับ,” ผู้จัดการรายวัน. 25-26 : 3 ; พฤศจิกายน 2538.
- ศรัณยู (นามแฝง). “แหล่งกำเนิดความถี่,” สเตรียโอ. 15(3):110-140; ม.ป.ป.
- อานูภาพ สุนอนันต์. “ภาพรวมผลการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในระยะครึ่งแผนฯ 7,” ใน
รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ การติดตามและประเมินผลแผนพัฒนาเศรษฐกิจ
และสังคมแห่งชาติในระยะครึ่งแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 7. หน้า 13-19 ; กรุงเทพฯ :
 สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2537.
- อากรณ์ เก่งพล และโอชาณุ นิชิโนะ. เครื่องมือวัดและการวัดทางไฟฟ้า. กรุงเทพฯ:สมาคม
 ส่งเสริมความรู้และเทคโนโลยีระหว่างประเทศ, 2519.
- Boylestad, Robert. and Louis. Nashelsky, Electronic Devices and Circuit Theory. 5 th ed.
 New Jersey : Prentice-Hall. Inc, 1992.
- Phillips. ECG Semiconductors Master replacement Guide. 1995.
- Tektronix. measurement Products catalog. Tektronix, Inc, 1994.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้งานชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

คำนำ

คู่มือการใช้งานชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้ท่านได้ทำความเข้าใจกับชิ้นส่วนต่างๆของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ รวมทั้งการใช้งาน และการบำรุงรักษา เพื่อให้การใช้งานชุดเครื่องมือวัดนี้เป็นไปอย่างถูกต้อง ปลอดภัย และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

ดังนั้นผู้สร้างจึงมั่นใจว่าคู่มือฉบับนี้จะทำให้ท่านใช้งานชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

ยงยุทธ วิฑูรย์รสานต์

สารบัญ

	หน้า
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	113
ส่วนประกอบที่สำคัญของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	113
1. ส่วนประกอบด้านหน้า.....	113
2. ส่วนประกอบด้านหลัง.....	114
3. ส่วนประกอบภายในเครื่อง.....	115
วิธีใช้งานชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	125
การบำรุงรักษาชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์.....	126

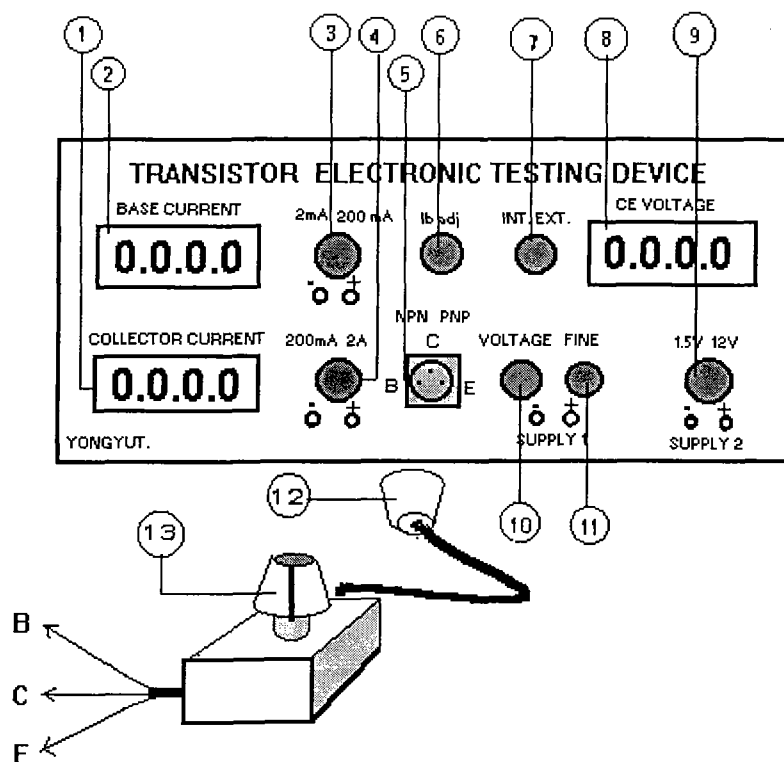
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

ชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์นี้ ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ 2 ลักษณะกล่าวคือ

1. ใช้เป็นเครื่องมือวัดหาค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ ณ ตำแหน่งแรงดัน คอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ค่าต่างๆ โดยกำหนดค่า กระแสเบสคงที่ เพื่อนำค่าต่างๆที่วัดได้ไปเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์
2. ใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อการทดลองเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ
3. ใช้เป็นเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบที่สำคัญของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

1. ส่วนประกอบด้านหน้าของเครื่อง มีดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 51 แสดงภาพด้านหน้าของเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

หมายเลข 1. เครื่องแสดงผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงชุดที่ 1

หมายเลข 2. เครื่องแสดงผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงชุดที่ 2

หมายเลข 3. ปุ่มเลือกพิสัยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าชุดที่ 2

หมายเลข 4. ปุ่มเลือกพิสัยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าชุดที่ 1

หมายเลข 5. ตำแหน่งที่ต่อสายเข้าไปยังทรานซิสเตอร์ที่ต้องการวัด

หมายเลข 6. ปุ่มปรับค่ากระแส เบส

หมายเลข 7. ปุ่มเลือก ให้เครื่องทำงานภายใน เพื่อการวัดค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้า
ที่ใช้ในการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

หมายเลข 8. เครื่องแสดงผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

หมายเลข 9. ปุ่มเลือกค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดที่ 2

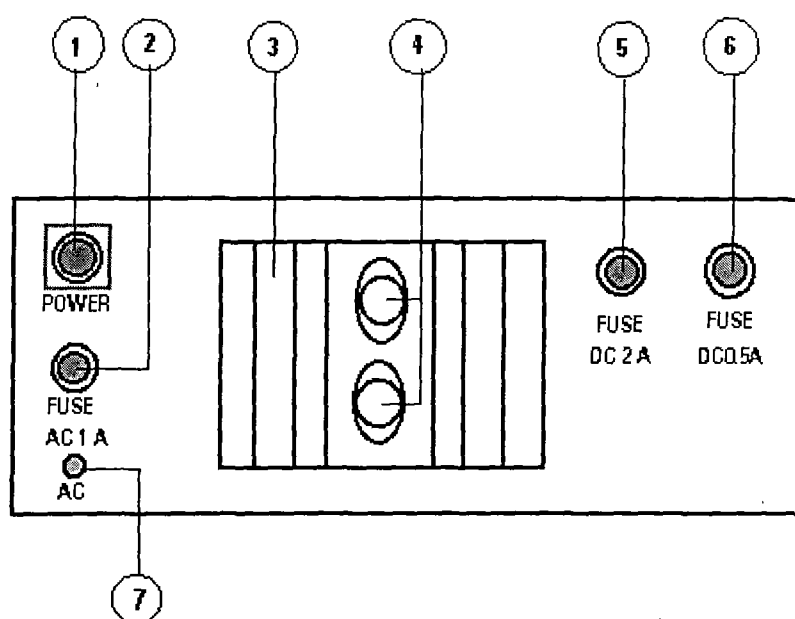
หมายเลข 10. ปุ่มปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดที่ 1

หมายเลข 11. ปุ่มปรับละเอียดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดที่ 1

หมายเลข 12. ปลั๊กเสียบสำหรับการวัดทรานซิสเตอร์

หมายเลข 13. ปุ่มปรับละเอียด ค่ากระแส เบส

2. ส่วนประกอบด้านหลังของเครื่อง มีดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 52 แสดงภาพด้านหลังของเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

หมายเลข 1 สวิตช์เปิด ปิดเครื่อง

หมายเลข 2 ฟิวส์ไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาด 1แอมแปร์

หมายเลข 3 แผ่นระบายความร้อนของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดที่ 1

หมายเลข 4 ทรานซิสเตอร์กำลัง ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดที่ 1

หมายเลข 5 ฟิวส์ ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 2 แอมแปร์ ของชุดจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดที่ 1

หมายเลข 6 ฟิวส์ ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 0.5 แอมแปร์ ของชุดจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดที่ 2

หมายเลข 7 ตำแหน่งสายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าเครื่อง

3.ส่วนประกอบภายในเครื่อง

ภายในเครื่องวัดทรานซิสเตอร์จะประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ที่สำคัญดังต่อไปนี้

3.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ 0-30 โวลต์ กระแสสูงสุด 2 แอมแปร์ จำนวน 1ชุด มีลักษณะของวงจร ลายแผ่นทองแดง และตำแหน่งการวางอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพประกอบ 53, 54, และ 55 ตามลำดับ

3.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดเลือกค่าแรงดันขาออกได้ 1.5 โวลต์ และ 12 โวลต์ กระแสสูงสุด 0.5 แอมแปร์ จำนวน 1 ชุด มีลักษณะของวงจร ลายแผ่นทองแดง และตำแหน่งการวางอุปกรณ์ ดังภาพประกอบ 56, 57, และ 58 ตามลำดับ

3.3 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ สำหรับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง และเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 3 ชุด มีลักษณะของวงจร ลายแผ่นทองแดง และตำแหน่งการวางอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพประกอบ 59, 60, และ 61 ตามลำดับ

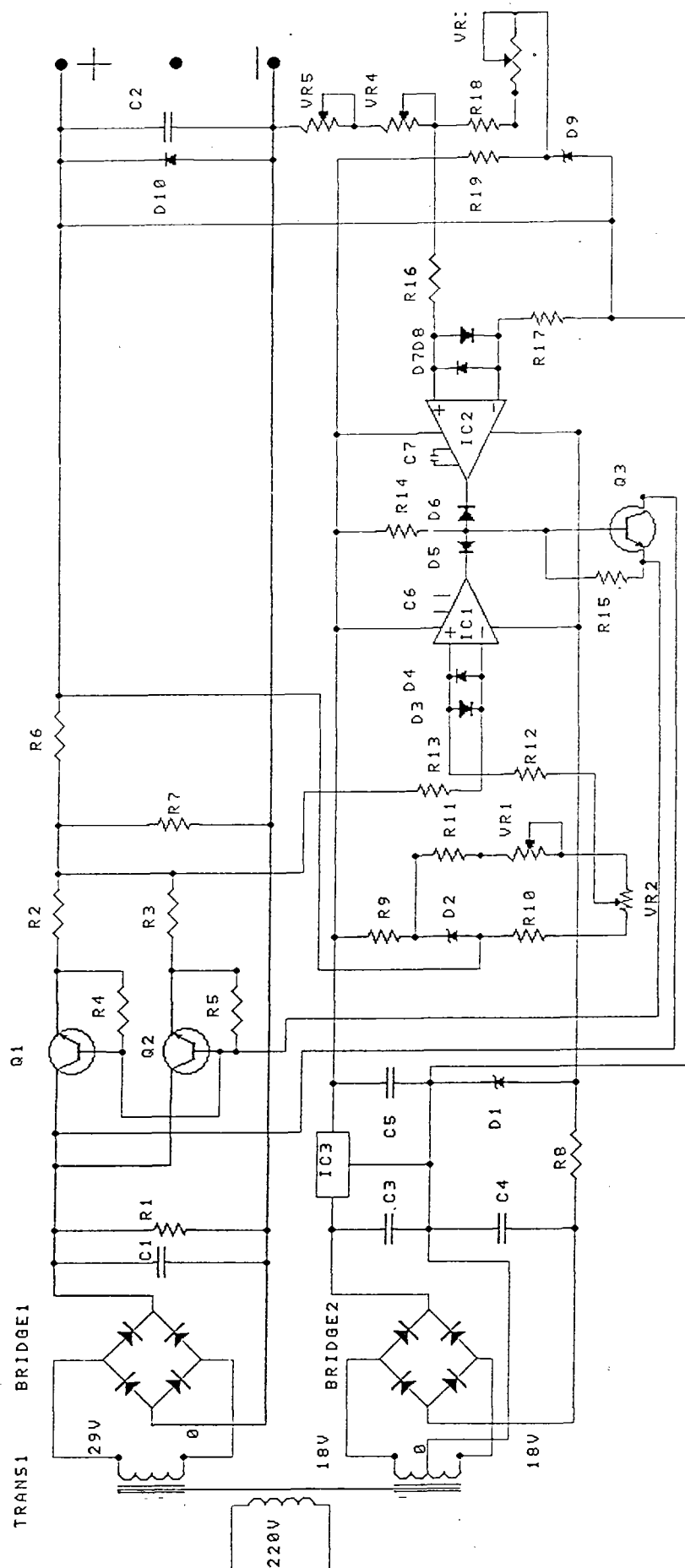
3.4 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงระบบตัวเลข วัดกระแสได้สูงสุด 200 มิลลิแอมแปร์จำนวน 1 ชุด และวัดกระแสสูงสุด 2 แอมแปร์ จำนวน 1 ชุด มีการต่อวงจรใช้งานดังภาพประกอบ 62 และ 63 ตามลำดับ

3.5 เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงระบบตัวเลข วัดแรงดันได้สูงสุด 30 โวลต์ มีการต่อวงจรใช้งานดังภาพประกอบ 64 และมีวงจรภายในดังภาพประกอบ 65

3.6 สวิตช์เลือกการทำงาน 5 ชุด

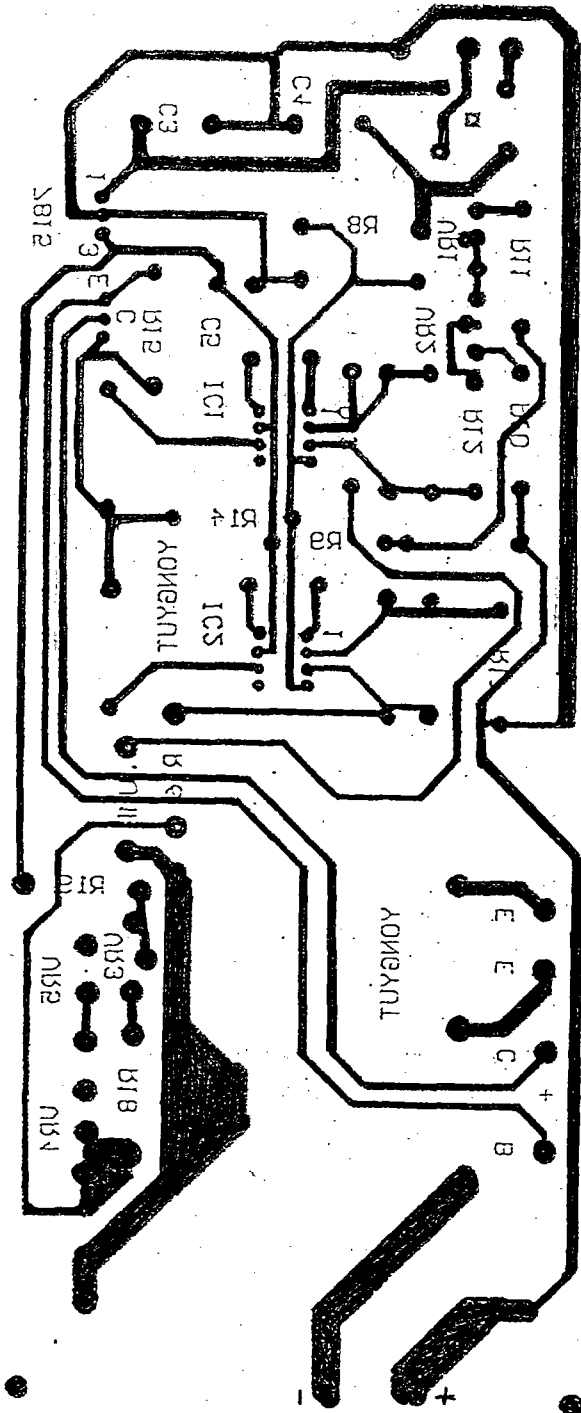
3.7 ตัวต้านทานปรับค่าได้ ชนิดลวดพัน 2 ตัว

การประกอบวงจรเข้าเป็นชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ ศึกษาได้จากวงจรรวมดังภาพประกอบ 66

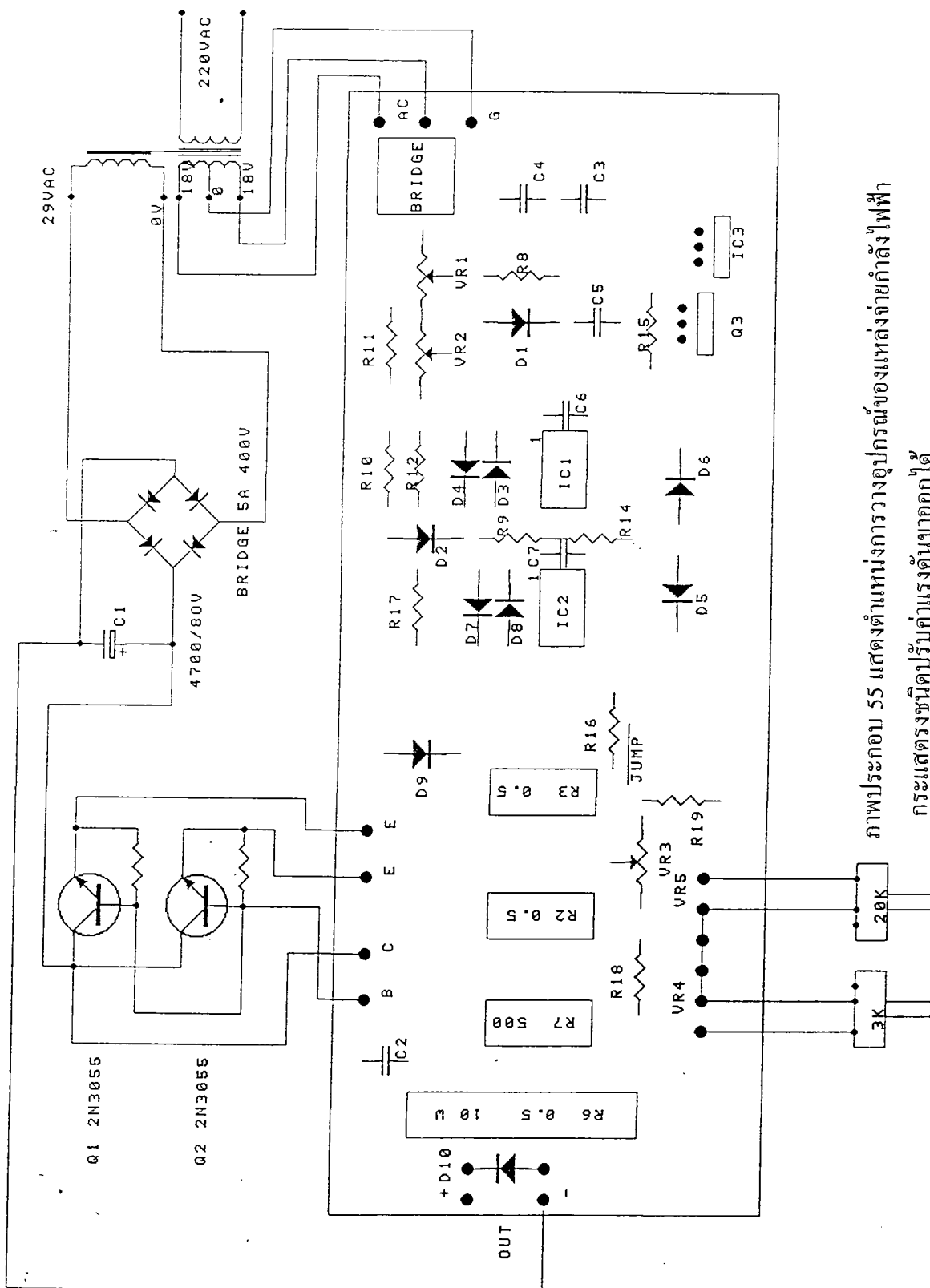


ภาพประกอบ 53 แสดงวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

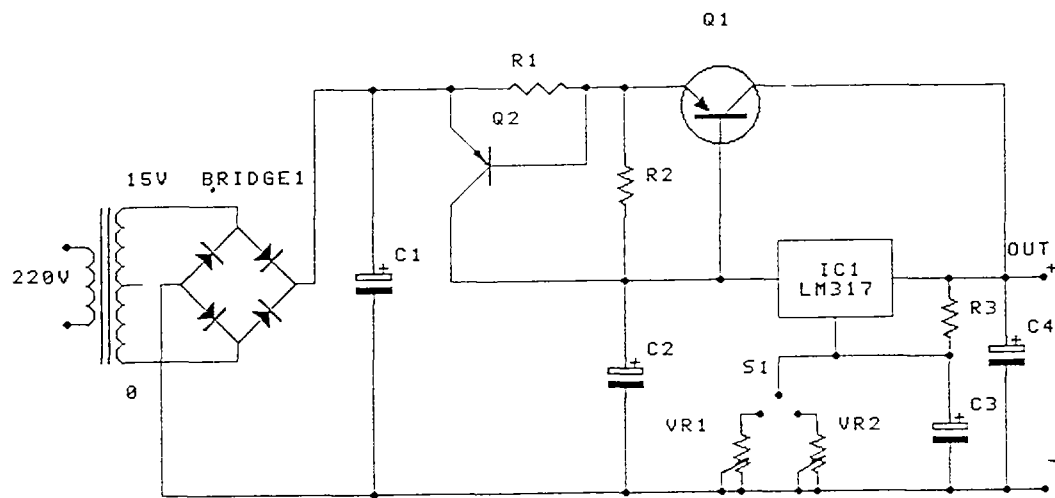
ชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ 0 - 30 โวลต์



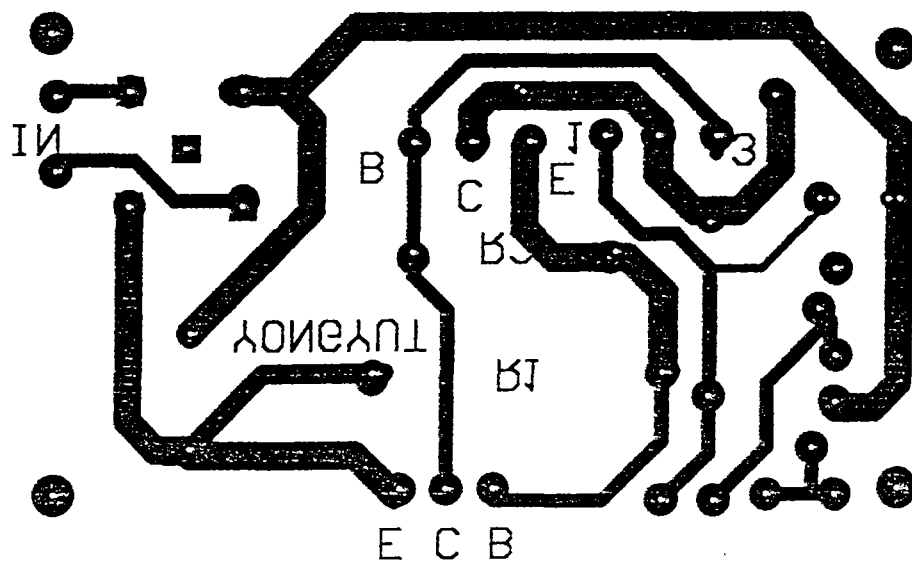
ภาพประกอบ 54 แสดงลายแผ่นทองแดงด้านล่างของแผงง่ายกำลังไฟฟ้า
กระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ 0 - 30 โวลต์



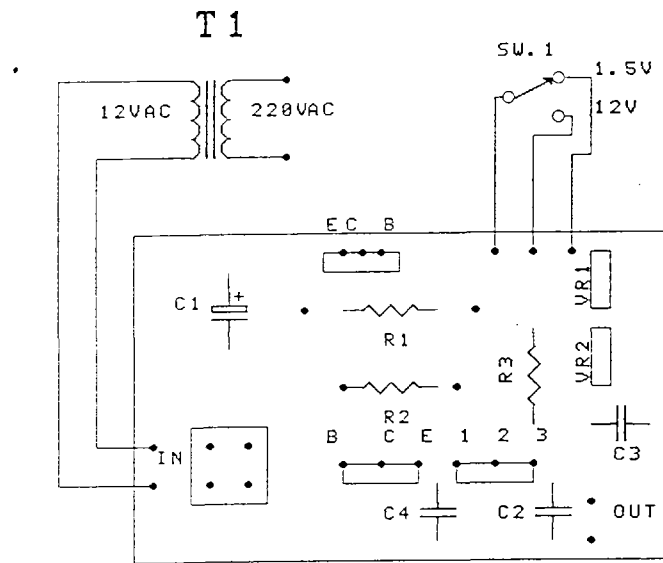
ภาพประกอบ 55 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์หลังจากรับไฟฟ้า
กระแสตรงชนิดปรับค่าแรงดันได้ออกได้



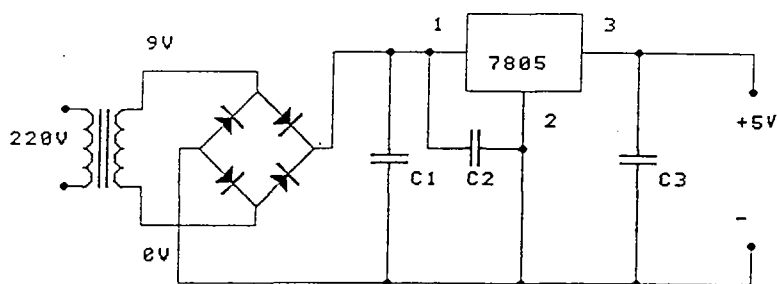
ภาพประกอบ 56 แสดงวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
กระแสดรงชนิดเลือกค่าแรงดันขาออกได้



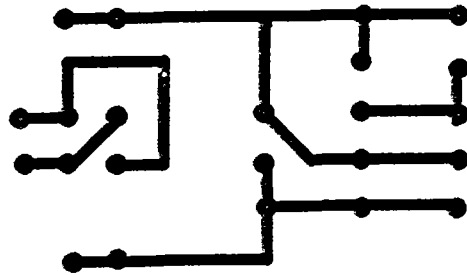
ภาพประกอบ 57 แสดงลายแผ่นทองแดงด้านล่างของแหล่งจ่าย
กำลังไฟฟ้ากระแสดรงชนิดเลือกค่าแรงดันขาออกได้



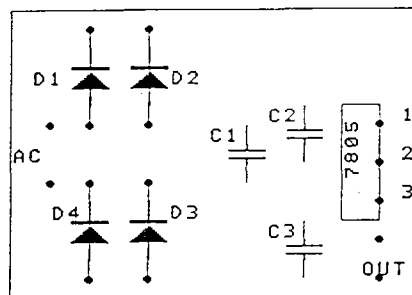
ภาพประกอบ 58 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของแหล่งจ่าย
กำลังไฟฟ้านิตเลือกค่าแรงดันขาออกได้



ภาพประกอบ 59 แสดงวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ชุดเครื่องมือวัด

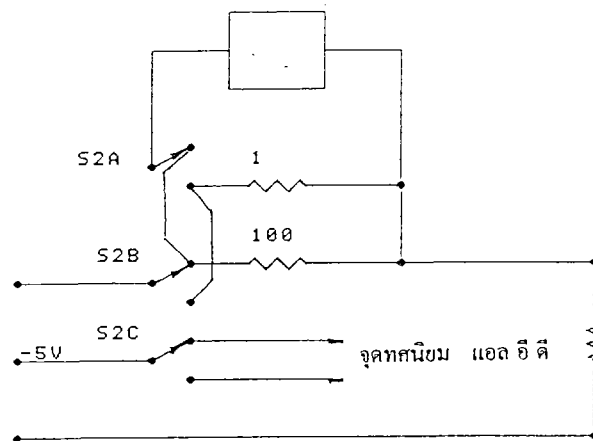


ภาพประกอบ 60 แสดงลายแผ่นทองแดงด้านล่างของแหล่งจ่าย
กำลังไฟฟ้าให้แก่ชุดเครื่องมือวัด



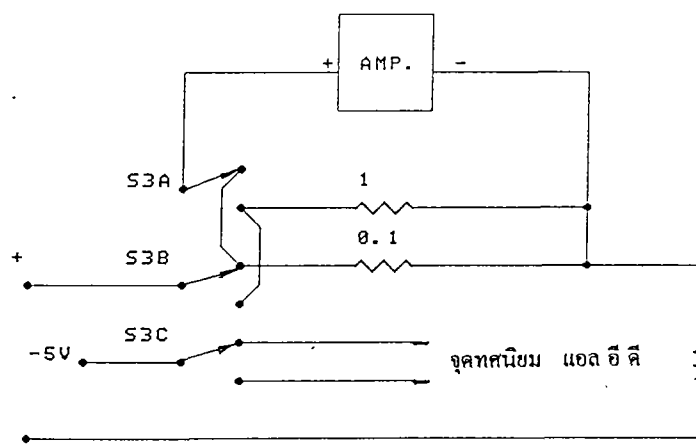
ภาพประกอบ 61 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของแหล่งจ่าย
กำลังไฟฟ้าให้แก่ชุดเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

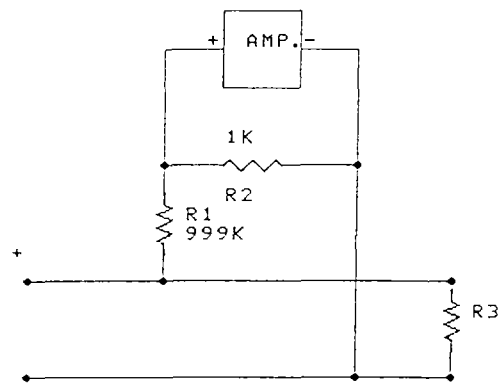


ภาพประกอบ 62 แสดงการต่อวงจรเพิ่มให้แก่ชุดเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าเพื่อวัดค่าได้สูงสุด 200 มิลลิแอมแปร์

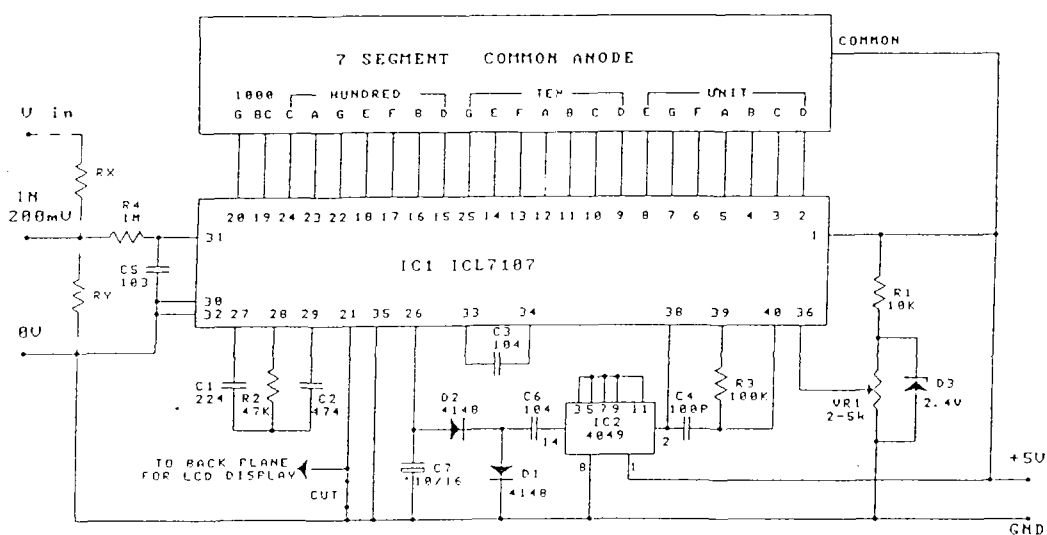
เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง



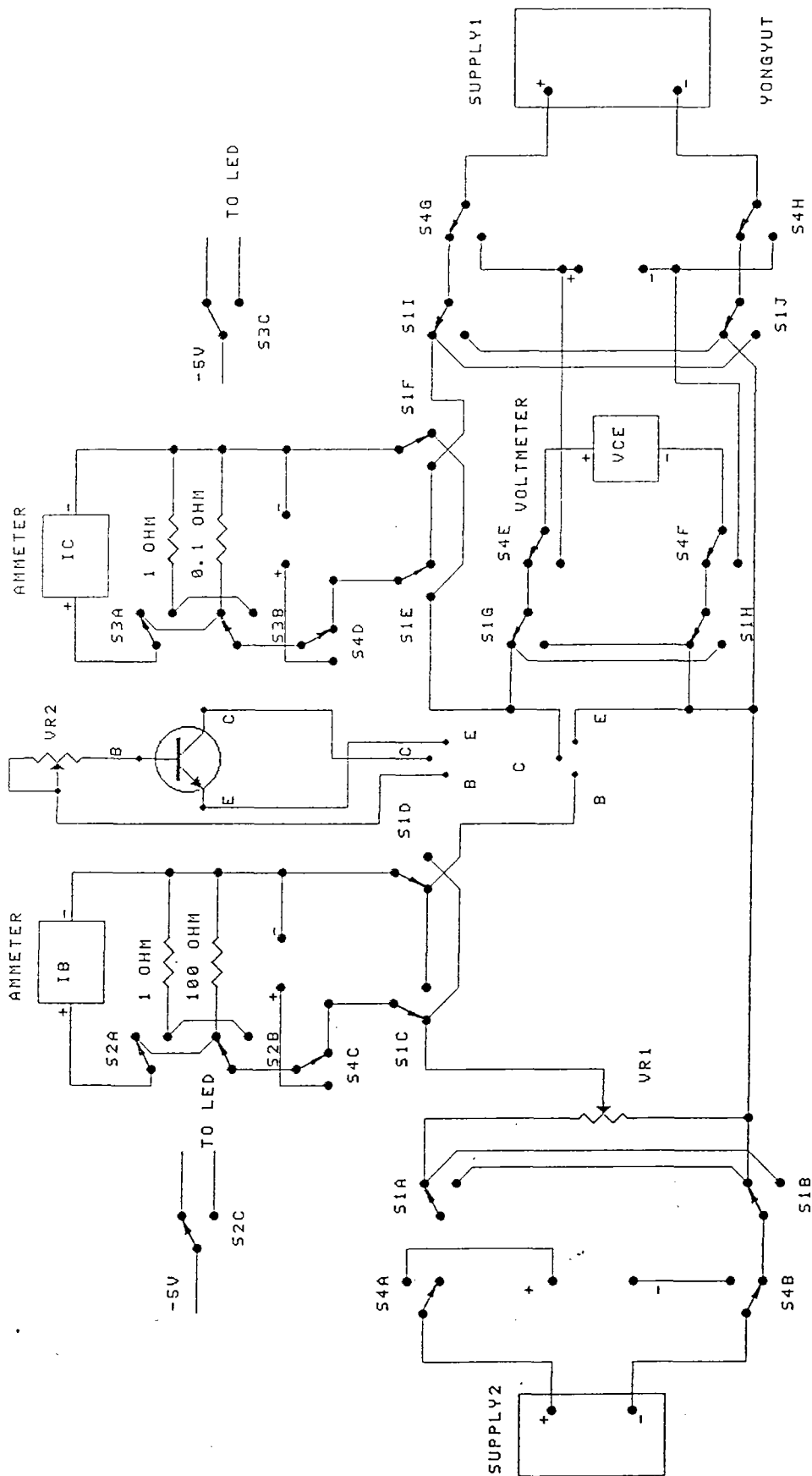
ภาพประกอบ 63 แสดงการต่อวงจรเพิ่มให้แก่ชุดเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าเพื่อให้วัดค่าได้สูงสุด 200 มิลลิแอมแปร์ และ 2 แอมแปร์



ภาพประกอบ 64 แสดงการต่อวงจรเพิ่มให้แก่ชุดเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า



ภาพประกอบ 65 แสดงวงจรของเครื่องมือวัดระบบตัวเลข



ภาพประกอบ 66 แสดงวงจรรวมของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

วิธีใช้งานชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

การเตรียมเครื่องก่อนใช้งาน

1. ตั้งสวิตช์หมายเลข 7 ให้อยู่ที่ตำแหน่ง EXT.
2. ตั้งปุ่มปรับแรงดันของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดปรับค่าแรงดันขาออกได้ (supply1) ให้อยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด ทั้งสองปุ่ม
3. ตั้งปุ่มเลือกแรงดันของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดที่ 2 (supply 2) ให้อยู่ที่ตำแหน่ง 1.5 โวลต์
4. ต่อสายไฟ AC เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์

วิธีใช้งาน

1. การวัดหาค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าเพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์มีลำดับขั้นตอนการวัดดังนี้
 - 1.1 เตรียมเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ ตามรายการเตรียมเครื่อง ก่อนใช้งาน
 - 1.2 เสียบสายวัดทรานซิสเตอร์ เข้าที่ เต้าเสียบ หมายเลข 5
 - 1.3 ต่อสายเข้า ขาของทรานซิสเตอร์ให้ถูกต้อง ประกอบด้วย ขา B, C, และ E
 - 1.4 เปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน (หมายเลข 2 ด้านหลัง)
 - 1.5 เลือกพิสัยการวัดของแอมมิเตอร์ที่ต้องการวัด ทั้งของ กระแส เบส และ กระแส คอลเล็กเตอร์ตามต้องการ
 - 1.6 ปรับปุ่มควบคุมแรงดัน ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดที่ 1 ให้ได้แรงดัน 1 โวลต์ (หมายเลข 10, 11)ซึ่งเป็นแรงดันคร่อมขั้ว คอลเล็กเตอร์ และ อิมิตเตอร์
 - 1.7 ปรับค่ากระแส เบส (หมายเลข 6) ให้ได้ค่า กระแส เบส ตามต้องการ (เช่น 100 ไมโครแอมแปร์)
 - 1.8 อ่านค่า กระแสคอลเล็กเตอร์ จดบันทึก
 - 1.9 ปรับปุ่มควบคุมแรงดันของ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชุดที่ 1 ให้ได้ค่าแรงดันเท่ากับ 2, 3, 4, ...n โวลต์ (ในกรณีที่ค่ากระแสเบสเปลี่ยนแปลง ให้ปรับปุ่มปรับกระแสละเอียดหมายเลข 13) ทุกครั้งให้อ่านค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ จดบันทึก
 - 1.10 นำค่าที่อ่านได้ไปเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์
 - 1.11 ทำซ้ำ ข้อที่ 1.7 ถึง 1.10 โดยเพิ่มค่า กระแสเบสตามต้องการ
2. การใช้เครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า
 - 2.1 เตรียมเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ตามขั้นตอนการเตรียมเครื่อง
 - 2.2 ตั้งปุ่มเลือกการทำงานภายใน ภายนอก (หมายเลข 7) ให้อยู่ที่ตำแหน่ง ภายนอก

ในลักษณะนี้ เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าจะต่อเชื่อมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชุดที่ 1 โดยอัตโนมัติ

2.3 ต่อสายไฟฟ้าจากขั้วขาออก เพื่อใช้งานได้ตามต้องการ

2.4 ขั้วขาเข้าของเครื่องมือวัดกระแสจะเชื่อมต่อกับเครื่องมือวัดกระแสโดยอัตโนมัติ สามารถต่อกระแสไฟฟ้าเข้าเพื่อวัดกระแสได้

2.5 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดที่ 2 สามารถเลือกค่าแรงดันได้ 2 ระดับ คือ 1.5 โวลต์ และ 12 โวลต์ (ปุ่มหมายเลข 9) โดยต่อสายออกจากขั้วขาออกเดียวกัน

การบำรุงรักษาชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

โดยปกติเครื่องมือวัดจะมีความคลาดเคลื่อนได้ง่าย การใช้งานจึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ กล่าวคือ

1. ไม่ควรตั้งอยู่ใกล้แหล่งความร้อนสูง หรืออยู่กลางแจ้งนาน ๆ
2. ห้ามใช้เครื่องมือวัด วัดงานเกินพิกัดของเครื่อง
3. อย่าให้เครื่องถูกน้ำหรืออยู่ในที่เปียกชื้น
4. ไม่ควรทำเครื่องตกกระแทกโดยแรง
5. ควรเก็บให้ห่างมือเด็กเล็ก

ภาคผนวก ข

รายการประมาณราคาของเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

การประมาณราคาวัสดุ อุปกรณ์ของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตาราง 18 รายการประมาณราคาวัสดุ อุปกรณ์ของชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

จำนวน	รายการ	ราคา หน่วยละ	รวมเงิน
1ตัว	หม้อแปลง 0- 29 โวลต์ กระแส 3 แอมแปร์	350	250
1ตัว	หม้อแปลง 0- 12 โวลต์ กระแส 1 แอมแปร์	100	100
3ตัว	หม้อแปลง 0 - 9 โวลต์ กระแส 800 มิลลิแอมแปร์	80	240
3 ชุด	ชุดกิต เครื่องมือวัด ระบบตัวเลข	450	1,350
2ตัว	ทรานซิสเตอร์ เบอร์ 2N 3055	35	70
1ตัว	ทรานซิสเตอร์ เบอร์ MJ 2955	35	35
1ตัว	ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BD 139	15	15
1 ตัว	ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BD 140	15	15
2ตัว	ไอซี LM 301	20	40
3ตัว	ไอซี 7805	20	60
1ตัว	ไอซี LM 317 T	25	25
1ตัว	ไอซี 7815	25	25
1ตัว	ตัวเก็บประจุ 6300 / 80 โวลต์	120	120
3ตัว	ตัวเก็บประจุ 2200 / 50 โวลต์	35	105
2ตัว	ตัวเก็บประจุ 100 /50 โวลต์	10	20
1ตัว	ตัวเก็บประจุ 470 / 50 โวลต์	15	15
2ตัว	ตัวเก็บประจุ 220 / 50 โวลต์	12	24
2ตัว	ตัวเก็บประจุ 10 / 50 โวลต์	6	12
5ตัว	ตัวเก็บประจุ 0.01/50 โวลต์	5	25
3ตัว	บริดจ์เรกติไฟเออร์ 5 A 400 V	35	105
1ตัว	ไดโอด 5 A 400 V	10	10
6 ตัว	ไดโอด 1N 4148	5	30
12 ตัว	ไดโอด 3 A 100 V	8	96
1 ตัว	ซีเนอร์ไดโอด 13 โวลต์ 1 วัตต์	15	15
1ตัว	ซีเนอร์ ไดโอด 8 โวลต์ 1 วัตต์	15	15

ตาราง 18 (ต่อ)

จำนวน	รายการ	ราคา หน่วยละ	รวมเงิน
29 ตัว	ตัวต้านทาน 0.5 วัตต์	1	29
4 ตัว	ตัวต้านทาน 1 วัตต์	2	8
4 ตัว	ตัวต้านทานขนาด 5 วัตต์	5	20
1 ตัว	ตัวต้านทานขนาด 10 วัตต์	10	10
6 ตัว	ตัวต้านทานชนิดเกือกม้า	12	72
2 ตัว	ตัวต้านทานชนิด ไวลลุ่ม	25	50
2ตัว	ตัวต้านทานชนิด ไวลลุ่ม แบบลวดพัน	150	300
5ตัว	สวิตช์เลือกแบบหมุน	30	150
1ชุด	เต้ารับและเต้าเสียบ Cannon	250	250
1ชุด	สวิตช์ เปิด ปิด	20	20
3ชุด	กล่องฟิวส์	25	75
1กล่อง	กล่องอลูมิเนียม	450	450
8ตัว	ลูกบิด	5	40
5 เมตร	สายไฟฟ้าขนาด 0.5 ตารางมิลลิเมตร	3	15
3 เมตร	สายไฟฟ้าขนาด 1 ตารางมิลลิเมตร	8	24
2 เมตร	สายไฟฟ้าขนาด 1.5 ตารางมิลลิเมตร	12	24
10เมตร	ตะกั่วบัดกรี	8	80
40ตัว	ตะปูเกลียว	1	40
1 เส้น	สายไฟ AC	20	20
2 แผ่น	แผ่นระบายความร้อนอลูมิเนียม	100	200
5 แผ่น	แผ่นลายทองแดงวงจร		210
	รวมราคาวัสดุทั้งหมด		4,904

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นาย ขงยุทธ วิฑูรธีรสานต์
เกิดวันที่	9 เดือน กรกฎาคม พุทธศักราช 2495
สถานที่เกิด	ตำบลเขาวิ้ว อำเภอบ้านใหม่ จังหวัดจันทบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	234/26 ถนนเลข - เชียงคาน อำเภอมะนัง จังหวัดเลย
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	อาจารย์ 2 ระดับ 7
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันราชภัฏเลย
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2512 มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี พ.ศ. 2516 ป.กศ.ต้น จากวิทยาลัยครูฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา พ.ศ. 2520 ก.บ.(อุตสาหกรรมศิลป์) จากวิทยาลัยครูพระนคร เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2541 กศ.ม.(อุตสาหกรรมศึกษา) จากมหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร กรุงเทพมหานคร

การออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์

บทคัดย่อ

โดย

ยงยุทธ วิฑูริศานต์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

มีนาคม 2541

จุดมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัด
ทรานซิสเตอร์เพื่อการเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ โดยนำค่ากระแสคอลเล็ก
เตอร์ที่วัดได้ ณ ตำแหน่งแรงดัน 1 - 15 โวลต์ ที่กระแส เบส 100, 200, 300, 400, 500, 600,
700, 800, 900, 1000 ไมโครแอมแปร์ มาทำการเปรียบเทียบกับค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้
จากเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ที่ตำแหน่งการวัดเดียวกัน ซึ่งผลการ
เปรียบเทียบปรากฏว่าค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองไม่แตกต่างกันในช่วง
กระแสเบส 100, 200, 300, และ 500 ไมโครแอมแปร์

A DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TRANSISTOR CHARACTERISTIC TESTING

AN ABSTRACT

BY

YONGYUT WITOTEERASAN

presented in partial fulfillment of the requirements for the

Master of Education degree in Industrial Education

at Srinakharinwirot University

March 1998

The purposes of this study were to design and to develop a device to measure characteristics of a transistor and then to compare the measurement values with those from the curve tracer. The instrument was then used to measure ampere and voltage collector of a transistor at the base current of 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 900 and 1000 miliampere. These results were then depicted in graphic forms and after that a comparison with values derived from a curve tracer was done. The result of comparison on collector values did not differ at the range of 100, 200, 300 and 500 microampere.