การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

DEVELOPMENT AND EFFICIENCY OF EXPERIMENTAL SET OF THE BASIC ELECTRONIC CIRCUIT

อภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์

APICHET MEKSUWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-ED-M-231-138

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

DEVELOPMENT AND EFFICIENCY OF EXPERIMENTAL SET OF THE BASIC ELECTRONIC CIRCUIT

อภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์

APICHET MEKSUWAN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 105083
วัน.เดือน.ปี 16 พ.ย. 2552

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-ED-M-231-138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT AND EFFICIENCY OF EXPERIMENTAL SET OF THE BASIC ELECTRONIC CIRCUIT

APICHET MEKSUWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION
IN ELECTRICAL COMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2009

KMITL-2009-ED-M-231-138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

Development and Efficiency of Experimental Set of the Basic Electronic Circuit

นักศึกษา นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์

รหัสประจำตัว 47065464

ปริญญา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.วิสุทธิ์	สุนทรกนิกพงศ์	
ผศ.ดร.ธีระพล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	
ดร.สมชาย	หมื่นสายญาติ	
รศ.พีระวุฒิ	สุวรรณจันทร์	
นอ.ดร.วีระชัย	เชาว์กำเนิด	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 21 พฤษภาคม 2552 **เวลา** 11.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้องสัมมาคมศิษย์เก่าบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)

คณบดี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

วันที่ 29 **เดือน** พฤษภาคม **พ.ศ.** 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์
ชื่อนักศึกษา	อภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์
รหัสประจำตัว	47065464
ปริญญา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี

ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมใบงานจำนวน 9 ใบงาน ในการวิจัยได้เลือกปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน และแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการทดลองครบ 1 ใบงาน โดยนำชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2551 จำนวน 20 คน ระหว่างการทดลองให้นักเรียนปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน และนำความรู้ที่ได้จากการปฏิบัติมาทำแบบทดสอบใบงานรวม นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพในเกณฑ์ดีมาก โดยคุณภาพของชุดทดลองได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.76 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.33 และใบงานการทดลองมีคุณภาพในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.66 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.46 ซึ่งชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 83.16/81.17 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development and Efficiency of Experimental Set of the Basic Electronic Circuit
Student	Mr. Apichet Meksuwan
Student ID	47065464
Degree	Master of Science in Industrial Education
Programme	Electrical Communication Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assistance Professor Dr. Threraphon Thephasadin Na Ayuthya
Thesis Co-Advisor	Dr. Somchai Maunsaiyat

ABSTRACT

The purposes of this research were to develop and find the efficiency of the experimental set of the basic electronic circuit with nine jobsheets to cover the course outline. Twenty students of certificate vocational Electronic program in the second semester of the 2008 academic year at Prachinburi Technical College were selected as the sample. During the experiment, twenty students were asked to complete all jobsheets. Researcher selected an extra practical jobsheet for final examination after completion of all nine jobsheets. The experimental data were analyzed in term of descriptive statistic to find the efficiency of experimental set of the basic electronic circuit

The results of this research showed that the quality of experimental set of the basic electronic circuit was high with the mean of 4.76 and a standard deviation of 0.33. The quality of practical jobsheets was very good with the mean of 4.66 and a standard deviation of 0.46. That the efficiency of experimental set of the basic electronic circuit was 83.16/81.17 which was higher than the setting criteria 80/80.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำวิจัย รวมทั้งแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ รศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร และ น.อ. ดร.วีระชัย เชาว์กำเนิด คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่อง เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิดังรายนามต่อไปนี้ ผศ.วรวิทย์ สมหา ผศ.สุชิน อาจหาญ ผศ.โกศล ตราชู อาจารย์บรรพต จันทร์แดง อาจารย์สัญญา โพธิ์วงษ์ และอาจารย์อขนิษฐ เครืออนันต์ ที่ได้กรุณาสละเวลาในการประเมินคุณภาพแบบประเมินต่าง ๆ รวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างดียิ่งต่อการปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพสูงสุด

ขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนข้อคิดต่างๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้า และเป็นแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์ จนประสบความสำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ได้กำหนดไว้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ผู้เป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่ได้ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในการศึกษาตลอดมา และตลอดจน ญาติ พี่ – น้อง ที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี

ขอบขอบพระคุณเพื่อน ๆ และบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุนตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยจนผลงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ใด ๆ ที่เป็นผลจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ และครู – อาจารย์ ทุกท่าน ด้วยความเคารพยิ่ง

อภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 3

1.4 กรอบแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย 3

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 การวิเคราะห์หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพและคำอธิบายรายวิชา 5

2.2 เนื้อหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 8

2.3 วิธีการสอนภาคปฏิบัติ 60

2.4 การสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดทดลอง 69

2.5 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง 71

2.6 การหาประสิทธิภาพชุดทดลอง 73

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 75

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 77

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 77

3.2 การเตรียมการวิจัย 77

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 78

3.4 ขั้นตอนในการสร้างเครื่องมือ 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล 86
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล 87
3.7 สถิติที่ใช้ในการวิจัย 88

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 89
4.1 ผลการวิเคราะห์การหาคุณภาพด้านชุดทดลอง 89
4.2 ผลการวิเคราะห์การหาคุณภาพด้านใบงาน 90
4.3 ผลการวิเคราะห์การหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง 91

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 92
5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 92
5.2 สมมุติฐานของการวิจัย 92
5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 92
5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล 93
5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 94
5.6 สรุปผลการวิจัย 94
5.7 อภิปรายผลการวิจัย 95
5.8 ข้อเสนอแนะ 96

บรรณานุกรม 98

ภาคผนวก 100
ภาคผนวก ก หนังสือราชการ 101
ภาคผนวก ข รูปภาพชุดทดลองและตัวอย่างใบงานการทดลอง 111
ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 184
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 200

ประวัติผู้เขียน 209

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 การหาคุณภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 89
4.2 การหาคุณภาพใบงานวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 90
4.2 การหาประสิทธิภาพของชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์..... 91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ลักษณะของไดโอด 8
2.2 วงจรและรูปร่างไดโอดในรูป IC 9
2.3 การต่อชนกันของสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N 9
2.4 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด 10
2.5 แสดงกราฟลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอด 11
2.6 การจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอด ไดโอดเกิดการทำงาน 11
2.7 การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด ไดโอดไม่ทำงาน 13
2.8 วงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงของไดโอด 14
2.9 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น 15
2.10 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น 16
2.11 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 17
2.12 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ 17
2.13 คุณสมบัติตรงรอยต่อของทรานซิสเตอร์ 19
2.14 การจัดวงจรไบอัสเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP 20
2.15 การจัดวงจรไบอัสเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN 20
2.16 การจ่ายไบอัสตรงให้เฉพาะขา E กับขา B ของทรานซิสเตอร์ 21
2.17 การจ่ายไบอัสกลับให้เฉพาะขา C กับขา B ของทรานซิสเตอร์ 22
2.18 การจ่ายไบอัสถูกต้องตามที่ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ต้องการ 22
2.19 การจ่ายไบอัสถูกต้องตามที่ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต้องการ 24
2.20 ลักษณะการจัดวงจรทำงานให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 25
2.21 วงจรเบสร่วมแบบพื้นฐาน 26
2.22 วงจรคอลเลกเตอร์ร่วมแบบพื้นฐาน 28
2.23 วงจรอิมิตเตอร์ร่วมแบบพื้นฐาน 30
2.24 การหากราฟคุณสมบัติของ NPN ทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม 32
2.25 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SCR 33
2.26 โครงสร้างเทียบเท่าและวงจรสมมูลของ SCR 34
2.27 การจ่ายไบอัสเฉพาะขา A และขา K ทำให้ SCR ไม่นำกระแส 35
2.28 การจ่ายไบอัสตรงให้ครบทุกขา ทำให้ SCR นำกระแส 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2.29	การจ่ายแรงดันพัลส์กระตุ้นขา G ให้ SCR ทำงาน	37
2.30	การทำให้ SCR หยุดนำกระแสด้วยวิธีการขัดขวางกระแสแอโนด	38
2.31	การทำให้ SCR หยุดนำกระแสด้วยวิธีใช้พลังงานมาเปลี่ยนทิศทางกระแสไฟฟ้า	39
2.32	กราฟคุณสมบัติของ SCR ขณะที่เปิดขาเกตลอยไว้	40
2.33	กราฟคุณสมบัติของ SCR ขณะควบคุมแรงดันที่ขาเกต	41
2.34	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไตรแอก	43
2.35	สัญลักษณ์ไตรแอกเทียบเท่ากับสัญลักษณ์ SCR ต่อร่วมกัน 2 ตัว	44
2.36	โครงสร้างและวงจรสมมูลของไตรแอก	44
2.37	ไตรแอกทำงานในสภาวะที่ 1	45
2.38	ไตรแอกทำงานในสภาวะที่ 2	46
2.39	ไตรแอกทำงานในสภาวะที่ 3	47
2.40	ไตรแอกทำงานในสภาวะที่ 4	47
2.41	สภาวะทำงานของไตรแอกจัดเรียงลำดับตามควอแดรนต์	48
2.42	ตัดแหล่งจ่ายแรงดัน V_{AA} ออกชั่วขณะ	50
2.43	ลดกระแสไหลผ่านไตรแอกให้น้อยกว่ากระแส I_H	50
2.44	กราฟคุณสมบัติไตรแอกขณะที่เปิดขา G ลอยไว้	51
2.45	กราฟคุณสมบัติของไตรแอกขณะที่จ่ายแรงดันกระตุ้นขา G	52
2.46	รูปร่างลักษณะไดแอกแบบต่าง ๆ	53
2.47	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดแอก	54
2.48	โครงสร้างเทียบเท่าและวงจรสมมูลของไดแอก	55
2.49	การทำงานของไดแอกขณะจ่ายศักย์บวกให้ A_1 ศักย์ลบให้ A_2	56
2.50	การทำงานของไดแอกขณะจ่ายศักย์ลบให้ A_1 ศักย์บวกให้ A_2	56
2.51	กราฟคุณสมบัติของไดแอก	57
2.52	สัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์	58
2.53	โครงสร้างเบื้องต้นของโฟโตทรานซิสเตอร์	59
2.54	การต่อวงจรใช้งานและการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์	59
3.1	ขั้นตอนการสร้างชุดทดลอง	79
3.2	ขั้นตอนการสร้างใบงาน	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.3	ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	82
3.4	ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินความคิดเห็นผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและสื่อชุดทดลอง	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผู้วิจัยได้ทำการสอนในวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พบปัญหาที่สำคัญ คือ ในการสอนวิชานี้จำเป็นที่จะต้องใช้สื่อการเรียนการสอน เช่น ใบงาน ชุดทดลอง มาประกอบการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนได้พิสูจน์หลักการต่าง ๆ ทางทฤษฎีด้วย และได้ประสบการณ์ตรงในการค้นคว้าหาข้อเท็จจริงจากการลงมือปฏิบัติ แต่การจัดหาชุดทดลองที่มีประสิทธิภาพต่อการเรียนการสอนในปัจจุบันนั้นได้ประสบปัญหาที่สำคัญ คือ ชุดทดลองมีราคาแพง เพราะส่วนใหญ่เป็นชุดทดลองจากต่างประเทศและไม่สอดคล้องกับหลักสูตรที่ใช้ทำการสอนอันเนื่องมาจากภาษาที่ใช้ ความเหมาะสมกับหลักสูตร และวิธีการสอนเวลาสอนในวิชาภาคปฏิบัติ เพื่อประหยัดเวลาในการเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือ และในการจัดซื้อถ้าเป็นครุภัณฑ์จะมีการพิจารณาในการจัดซื้อตามลำดับซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับเงินงบประมาณ เพราะว่าทุกแผนกก็มีความจำเป็นที่ต้องการชุดทดลองหรือเครื่องจักรในการสอน เช่นเดียวกัน เพราะฉะนั้นในการพัฒนาชุดทดลองในครั้งนี้ก็เพื่อแก้ปัญหาในการขาดแคลนชุดทดลองและจะได้สอดคล้องกับเนื้อหารายวิชาอีกด้วย

การเรียนการสอนของกรมอาชีวศึกษาเป็นการเรียนการสอนในสาขาช่างอุตสาหกรรม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีสื่อเพื่อใช้ประกอบการเรียนภาคปฏิบัติ โดยผู้เรียนใช้สื่อทำการทดลองเพื่อหาผลเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้เรียนจากภาพทฤษฎี เช่น ชุดสาธิต ชุดปฏิบัติการ เป็นต้น การมีสื่อการเรียนการสอนที่ดีสอดคล้องกับหลักสูตรของรายวิชาและครูผู้สอนนำไปใช้อย่างถูกต้องจะเป็นผลทำให้กระบวนการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพ

การฝึกภาคปฏิบัติเป็นการสอนอีกรูปแบบหนึ่ง ที่เน้นการเรียนการสอนเพื่อทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาทฤษฎีที่เรียนมา โดยที่ผู้เรียนจะได้พิสูจน์หลักการทางทฤษฎีด้วยการทดลองจริง ช่วยให้เกิดประสบการณ์ตรง เกิดทักษะ และสามารถพิสูจน์หาข้อเท็จจริงได้ การปฏิบัติจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการเรียนการสอนด้านอาชีวศึกษา ในทุกสาขาวิชาชีพ (ไพโรจน์ ตีรณธนากุล. 2541 : 2)

การพัฒนาที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การพัฒนาการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติ ดังที่ วัลลภ จันทร์ตระกูล (2543 : 107) ได้เสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อทางด้านการศึกษาเกี่ยวกับการจัดซื้อจัดหาชุดทดลองมาใช้ในการเรียนการสอนไว้ว่า ชุดทดลองหรืออุปกรณ์ช่วยสอนจากต่างประเทศ มักมีราคาสูง นอกจากนั้นยังอาจไม่สอดคล้องต่อการนำมาใช้งาน อันเนื่องมาจากภาษาที่ใช้ ความเหมาะสมกับหลักสูตร และวิธีการสอน เป็นต้น จึงได้เสนอแนะว่าควรมีการสนับสนุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ครูผู้สอนมีการพัฒนาชุดทดลองและอุปกรณ์ช่วยสอนขึ้นมาใช้เองในสถานศึกษา ซึ่งจะก่อประโยชน์ได้หลายประการด้วยกัน คือ เป็นการประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อ ชุดทดลองสามารถพัฒนาชุดทดลองและอุปกรณ์ช่วยสอนขึ้นมาให้มีความสอดคล้องกับหลักสูตรที่ใช้ ให้มีภาษาที่เข้าใจง่าย และเป็นการส่งเสริมให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นมาใช้เอง โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

ในหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ได้กำหนดให้นักศึกษาเรียน วิชาพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยวิชานี้จำเป็นที่จะต้องใช้สื่อการเรียนการสอน เช่น ใบงาน ชุดทดลอง มาประกอบการเรียนเพื่อให้ผู้เรียนได้พิสูจน์หลักการต่าง ๆ ทางทฤษฎีด้วยการทดลอง และได้รับประสบการณ์ตรงในการค้นคว้าหาข้อเท็จจริงจากการลงมือปฏิบัติ นอกจากนี้ยังมุ่งให้ผู้เรียนได้คุ้นเคยกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม แต่การจัดหาชุดทดลองที่มีประสิทธิภาพต่อการเรียนการสอนในปัจจุบันนั้นได้ประสบปัญหาที่สำคัญ คือไม่มีชุดทดลอง เวลาสอนในภาคปฏิบัตินั้นจะใช้วิธีทดลองด้วยการประกอบวงจรลงบนบอร์ดพื้นฐาน จะต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ ทำการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านต่าง ๆ ของวงจร ตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของแต่ละใบงาน ทำให้ต้องใช้เวลาในการทดลองมาก เนื่องจากการต่อวงจรมักผิดพลาดได้ง่าย มีการวัดค่าต่าง ๆ ผิดตำแหน่งและตรวจสอบค่อนข้างยาก บางครั้งทำให้อุปกรณ์เกิดการเสียหาย อีกทั้งวิชาพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นวิชาพื้นฐานที่สำคัญที่ใช้สำหรับการศึกษาในรายวิชาต่าง ๆ อีกต่อไป ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยมีความต้องการที่จะพัฒนาชุดทดลอง วิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ให้นักเรียนได้ฝึกทักษะตรงตามมาตรฐานรายวิชา มีความแข็งแรง ใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน สะดวกในการทดลอง ช่วยประหยัดงบประมาณ และเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนการสอนให้ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ให้มีคุณภาพดีขึ้น

2. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพระดับดีขึ้นไป

2. ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ 80/80

1.4 กรอบแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การสอนวิชาปฏิบัติเป็นการศึกษาหาความรู้ ด้วยวิธีการทดลองในสาขาต่าง ๆ ซึ่งต้องอาศัยเครื่องมือและวัสดุมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาข้อเท็จจริงด้วยตนเอง ผู้วิจัยได้ใช้แนวทางนี้เป็นกรอบแนวความคิดของ วัลลภ จันทร์ตระกูล (2543:110-128) มาใช้ในการพัฒนาชุดทดลองเป็น 5 ขั้นตอน คือ

1. การกำหนดเนื้อหาและวัตถุประสงค์
2. การออกแบบและสร้างชุดสื่อการเรียนการสอน
3. การวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกอุปกรณ์
4. การทดลองใช้ชุดสื่อการเรียนการสอน
5. การหาประสิทธิภาพ

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.5.1.1 ประชากร คือ นักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ชั้นปีที่ 1 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี จำนวน 35 คน

1.5.1.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ชั้นปีที่ 1 จำนวน 20 คน เลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย

1.5.2 เนื้อหาวิชาที่ใช้ในการทดลอง

ประกอบด้วยใบงาน 9 ใบงาน โดยมีเนื้อหาครอบคลุมใบงานดังนี้

ใบงานที่ 1 การหาคุณสมบัติของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด

ใบงานที่ 2 วงจรเรียงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3 ไดโอดในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง
ใบงานที่ 4 การหาคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์
ใบงานที่ 5 การหาคุณสมบัติของเฟท
ใบงานที่ 6 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของเอสซีอาร์
ใบงานที่ 7 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไตรแอค
ใบงานที่ 8 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไดแอค
ใบงานที่ 9 ลักษณะสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1. ชุดทดลอง หมายถึง ชุดฝึกปฏิบัติวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย ชุดปฏิบัติการพร้อมใบงาน

2. ใบงาน หมายถึง ใบสั่งงานที่ให้นักศึกษาปฏิบัติการทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

3. แบบทดสอบ หมายถึง แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

4. ประสิทธิภาพของชุดทดลอง หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนทั้งหมด จากการปฏิบัติการทดลองในใบงาน 9 ใบงานระหว่าการเรียนและแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวม หลังปฏิบัติการทดลอง

5. เกณฑ์กำหนด 80/80 หมายถึง

80 ตัวแรก คือ ค่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนทั้งหมด ที่ทำการทดสอบทางปฏิบัติถูก คิดเป็นร้อยละ 80 จากการปฏิบัติ ใบงานระหว่างการเรียน 9 ใบงาน

80 ตัวหลัง คือ ค่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนทั้งหมด ที่ทำการทดสอบถูก คิดเป็นร้อยละ 80 จากแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการปฏิบัติทดลอง

6. ผู้ทรงคุณวุฒิ หมายถึง ผู้ที่มีประสบการณ์ในการสอนไม่น้อยกว่า 2 ปี ด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มีวุฒิทางการศึกษาระดับปริญญาตรี หรือสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเพื่อพัฒนาและทดลองหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง วิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยได้ลำดับหัวข้อการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพและคำอธิบายรายวิชา

2.2 เนื้อหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

2.3 วิธีการสอนภาคปฏิบัติ

2.4 การสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดทดลอง

2.5 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

2.6 การหาประสิทธิภาพชุดทดลอง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพและคำอธิบายรายวิชา

หลักสูตรเป็นการจัดประสบการณ์ และเนื้อหาวิชาให้แก่ผู้เรียน เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนให้เป็นไปตามที่ต้องการ หลักสูตรของวิชาหนึ่ง ๆ มิใช่สิ่งตีพิมพ์ที่ทำไว้เป็นเล่มเท่านั้น การวิเคราะห์หลักสูตรเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องใช้ผลการวิเคราะห์หลักสูตรเป็นแนวทางวางแผนการสอนและการสอบให้ได้ถูกต้อง ตามความต้องการของหลักสูตร (วิรัติ อัศวานุวัตร. 2531 : 49) จากที่กล่าวมา การวิเคราะห์หลักสูตรจึงเป็นแนวทางเพื่อพิจารณาว่าหลักสูตรที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอะไรที่ดีอยู่แล้ว และน่าจะปรับปรุงส่วนใดให้ดีขึ้น ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับสภาพการณ์ที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

การศึกษา หมายความว่า กระบวนการเรียนการเรียนรู้เพื่อความเจริญงอกงามของบุคคลและสังคม โดยการถ่ายทอดความรู้ การฝึก การอบรมการสืบสานทางวัฒนธรรม การสร้างจรรโลงความก้าวหน้าทางวิชาการ การสร้างองค์ความรู้อันเกิดจากการจัดสภาพแวดล้อม สังคมการเรียนรู้และปัจจัยเกื้อหนุนให้บุคคลเรียนรู้ได้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต (พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเป็นตัวแปรสำคัญที่ช่วยให้สังคม เศรษฐกิจและการเมืองพัฒนา กล่าวง่าย ๆ ว่า หากการจัดการศึกษาเข้มแข็งสมบูรณ์ ผลที่ตามมา คือ สังคม เศรษฐกิจการเมือง จะอยู่ในสภาพที่เรียบร้อยราบรื่น เนื่องจากการมีผู้คนที่ได้รับการฝึกฝนมาดี จะมีส่วนร่วมในการพัฒนาสังคม เศรษฐกิจ การเมือง (แผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 พ.ศ. 2545-2549)

การศึกษาเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยให้มนุษย์สามารถปรับเปลี่ยนวิถีดำเนินชีวิตได้ ซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปแล้วว่าการศึกษาเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญยิ่งต่อการพัฒนาในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง สิ่งแวดล้อม รวมถึงเทคโนโลยีใหม่ต่าง ๆ ดังนั้นการจัดการศึกษาให้แก่ประชาชนได้อย่างทั่วถึง จึงเป็นการวางรากฐานการพัฒนาประเทศให้มั่นคง เพื่อก้าวไปสู่ความเจริญก้าวหน้าตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามการศึกษาไม่ใช่เป็นการเรียนรู้ในเนื้อหาและเพื่อให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ (กรมวิชาการ. 2542 : 17) การศึกษาจึงเป็นกระบวนการที่ต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและต้องปรับปรุงอยู่เสมอ เพื่อให้เหมาะสมกับสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

การจัดการศึกษาพัฒนาทรัพยากรมนุษย์นั้นต้องยึดหลักว่าผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติเต็มศักยภาพ และการจัดกระบวนการเรียนรู้ก็คือการฝึกทักษะ กระบวนความคิด การจัดการ การเผชิญสถานการณ์และประยุกต์ความรู้มาเพื่อป้องกันและแก้ปัญหา การจัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริงฝึกการปฏิบัติให้ ทำได้ คิดเป็น รักการอ่านและเกิดการใฝ่รู้อย่างต่อเนื่อง เพื่อการประกอบอาชีพ (พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2542)

กระบวนการเรียนการสอนก็เป็นหัวใจสำคัญที่จะบ่งชี้ประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของการศึกษา สำหรับอาชีวศึกษาได้ให้ความสำคัญต่อกระบวนการเรียนการสอนซึ่งได้กำหนดเป็นเป้าหมายหลัก และส่งเสริมการสร้างทักษะวิชาชีพด้วยการเรียนรู้จากการปฏิบัติงานจริง เพื่อผลิตกำลังคนตั้งแต่ระดับกึ่งฝีมือ ระดับเทคนิค ระดับเทคโนโลยี ให้มีคุณภาพตามมาตรฐานสากลสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ สังคมวัฒนธรรม สิ่งแวดล้อม ความต้องการของตลาดแรงงาน ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี (กรมอาชีวศึกษา. 2545)

การวิเคราะห์หลักสูตรเป็นขบวนการที่จะช่วยให้ ผู้ที่ทำการสอนทราบว่าในรายวิชานั้น ๆ มีจุดประสงค์ที่จะต้องสอนให้ผู้เรียนเกิดพฤติกรรมอะไร มีเนื้อหาอะไรบ้าง และจะออกข้อสอบอย่างไร จึงจะสอดคล้องกับการสอน และสัมพันธ์กับจุดประสงค์ของหลักสูตร (นิภา เมธาวีชัย. 2536 : 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิภา เมธาวีชัย (2536 : 50) กล่าวว่า หลักสูตร หมายถึง กิจกรรม และประสบการณ์ทั้งหมด ที่จัดให้กับผู้เรียน ซึ่งประกอบด้วยสิ่งสำคัญ 3 ประการคือ

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
2. กิจกรรมด้านการสอน
3. การประเมินผล

โดยงานทั้ง 3 ส่วนนี้ต้องมีความสอดคล้องซึ่งกัน และปฏิบัติไปในแนวทางอันเดียวกัน นั่นคือ เมื่อกำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมให้เกิดแก่นักเรียนอย่างไร ต้องจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนเกิดพฤติกรรมนั้น การวัดผลและประเมินผล ก็จะต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมด้วย

วิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติโครงสร้างสัญลักษณ์, คุณลักษณะทางไฟฟ้า, การวัด, ทดสอบและวงจรใช้งานเบื้องต้นของอุปกรณ์โซลิดสเตตต่าง ๆ เช่น ไดโอด ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ เฟต ไอซี ออปแอมป์ อุปกรณ์ไธริสเตอร์ เช่น SCR, TRIAC, DIAC และอุปกรณ์ OPTOELECTRONICS การใช้คู่มืออุปกรณ์

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จากการวิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา วิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ให้เกิดความสอดคล้องและเหมาะสมกับผู้เรียน ซึ่งประกอบด้วย 1. การกำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม 2. กิจกรรมด้านการสอน 3. การประเมินผล สามารถแบ่งใบงานออกเป็น 9 ใบงานดังนี้

ใบงานที่ 1 การหาคุณสมบัติของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด
ใบงานที่ 2 วงจรเรียงกระแส
ใบงานที่ 3 การหาคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์
ใบงานที่ 4 ไดโอดในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง
ใบงานที่ 5 การหาคุณสมบัติของเฟต
ใบงานที่ 6 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของเอสซีอาร์
ใบงานที่ 7 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไตรแอค
ใบงานที่ 8 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไดแอค
ใบงานที่ 9 ลักษณะสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์

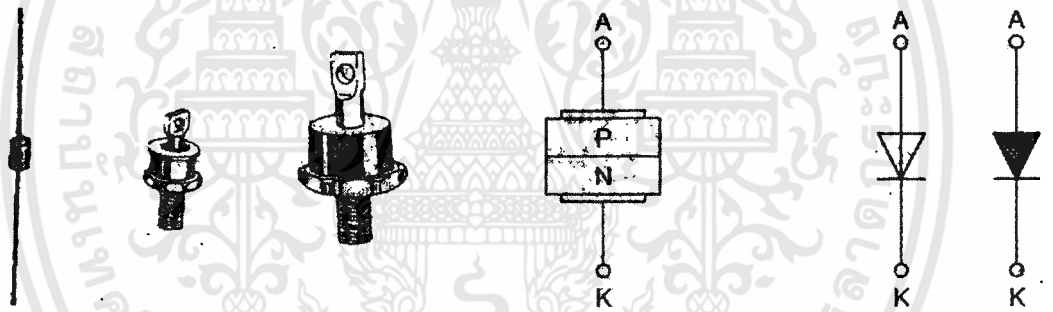
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เนื้อหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

2.2.1 รูปร่างและสัญลักษณ์ของไดโอด

ไดโอด (Diode) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกพัฒนาเรื่อยมาตั้งแต่สมัยเริ่มแรกใช้หลอดสุญญากาศ จนมาเป็นไดโอดโดยใช้สารกึ่งตัวนำทำให้ขนาดของไดโอดเล็กลงแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น ทนกระแสและทนแรงดันได้มากขึ้น ไดโอดยังถูกพัฒนาเรื่อยมา โดยเลือกชนิดของสารที่นำมาใช้ผลิตให้มีคุณภาพและประสิทธิภาพสูงขึ้น นำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในการผลิต ช่วยทำให้ไดโอดมีขนาดเล็กลงไปอีกแต่มีความทนทานทั้งทนกระแสและทนแรงดันเพิ่มมากขึ้น

ไดโอดประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 2 ตอนต่อชนกัน คือสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N มีขาต่อออกมาใช้งาน 2 ขาที่ต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิด P เรียกว่าขาแอโนด (Anode) ใช้ตัวย่อ A ขาที่ต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิด N เรียกว่าขาแคโทด (Cathode) ใช้ตัวย่อ K ลักษณะรูปร่างโครงสร้าง และสัญลักษณ์ของไดโอดแสดงดังภาพที่ 2.1



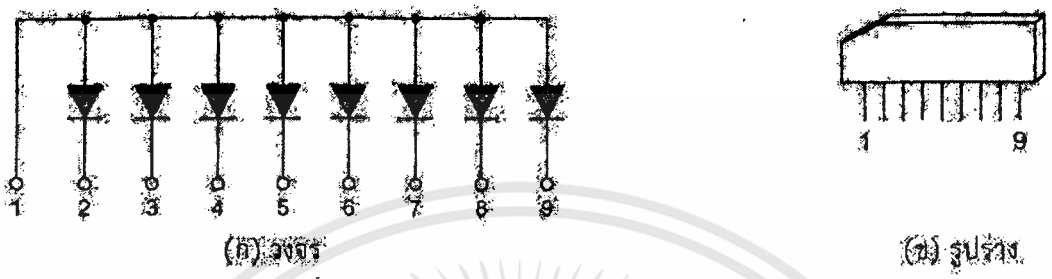
(ก) รูปร่าง (ข)โครงสร้าง (ค)สัญลักษณ์

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของไดโอด

จากภาพที่ 2.1 เป็นลักษณะของไดโอด แสดงให้เห็นรูปร่างจริง โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด ในภาพที่ 2.1 (ค)แสดงสัญลักษณ์ของไดโอด ส่วนที่เป็นสามเหลี่ยมเป็นขาแอโนด (A) โครงสร้างเป็นสารชนิด P และส่วนที่เป็นด้านขีดเป็นขาแคโทด (K) โครงสร้างเป็นสารชนิด N รูปร่างของไดโอดที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้งานมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าทนแรงดัน และทนกระแสของตัวไดโอดตลอดจนหน้าที่ในการทำงาน แต่สามารถทราบขาของไดโอดได้ว่าเป็นขา A หรือขา K โดยดูตำหนิเครื่องหมาย หรือสัญลักษณ์ที่กำกับไว้ ด้านที่มีขีดเครื่องหมายกำกับไว้ ด้านนั้นจะเป็นขา K เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

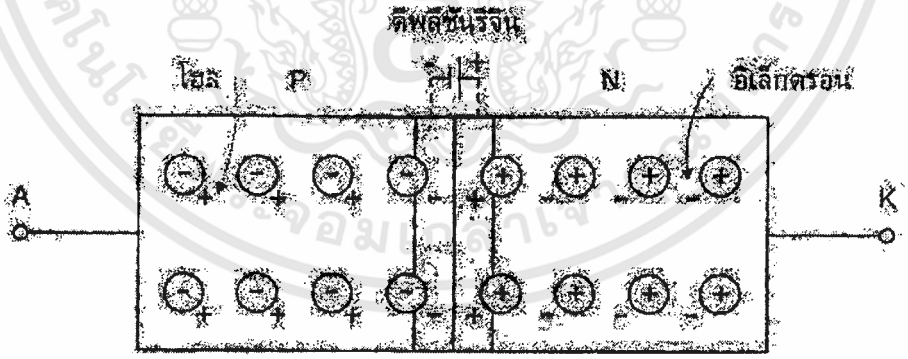
ไดโอดนอกจากสร้างขึ้นมาเป็นตัวแล้วยังถูกสร้างรวมกันไว้ในรูปของ IC (Integrated Circuit) มีไดโอดถูกสร้างเก็บไว้ในตัว IC หลายตัวต่อเป็นวงจรร่วมกัน บางขาถูกต่อเข้าด้วยกันภายในตัว IC บางขาถูกต่อออกมาภายนอก IC ลักษณะการต่อวงจรมีความแตกต่างกันแล้วแต่ความต้องการของการนำไปใช้งาน ลักษณะวงจรไดโอดในรูป IC แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 วงจรและรูปร่างไดโอดในรูป IC

2.2.2 โครงสร้างของไดโอด

ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สร้างขึ้นมาจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N อย่างละตอนมาต่อชนกัน การต่อชนของสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าขึ้นระหว่างสารกึ่งตัวนำทั้ง 2 ตอน บริเวณรอยต่อเกิดขึ้นมาเพราะสารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดที่นำมาต่อชนกันมีความไม่สมดุลของศักย์ไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำนั้น การถ่ายเทประจุไฟฟ้านี้ทำให้เกิดแบตเตอรี่สมมติขึ้นระหว่างรอยต่อ เรียกว่าดีพลีชันริจิน (Depletion Region) แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การต่อชนกันของสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N

จากภาพที่ 2.3 เป็นการต่อชนกันของสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ของไดโอด การต่อชนกันนี้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนบริเวณรอยต่อสารชนิด N ไปรวมตัวกับโฮลบริเวณรอยต่อสารชนิด P ทำให้บริเวณรอยต่อสารชนิด N ขาดอิเล็กตรอนไปเกิดโฮลขึ้นมา ส่วนรอยต่อสารชนิด P มีอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นมา เป็นผลให้รอยต่อ PN เกิดเป็นแบตเตอรี่สมมติหรือดีพลีชันริจินขึ้น ด้านสารชนิด P มีขั้วเป็นลบ ด้านสารชนิด N มีขั้วเป็นบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีพลีชันริจินตรงรอยต่อจะคงสภาพเช่นนี้ตลอดเวลา เกิดขึ้นเพราะอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่มาบริเวณรอยต่อสารชนิด P แล้วมีพลังงานไม่พอที่จะเคลื่อนที่ต่อไป จึงหยุดอยู่ในบริเวณรอยต่อนั้น ส่วนรอยต่อสารชนิด N เมื่ออิเล็กตรอนหลุดออกไปเกิดเป็นโฮลขึ้นมาโดยไม่มีอิเล็กตรอนตัวอื่นๆ เข้ามาแทนที่เพราะอิเล็กตรอนตัวที่อยู่ถัดเข้าไปด้านในสารชนิด N มีพลังงานไม่พอไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปยังรอยต่อ เกิดเป็นดีพลีชันริจินขึ้นตรงรอยต่อหรือเกิดค่าความต้านทานขึ้นระหว่างรอยต่อของตัวไดโอด

ค่าดีพลีชันริจินระหว่างรอยต่อมีค่าต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ผลิตไดโอด สารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์เมเนียม (Germanium; Ge) มีค่าดีพลีชันริจินหรือค่าแบตเตอรี่สมมติตรงรอยต่อประมาณ 0.2 V ถึง 0.4 V สารกึ่งตัวนำชนิดซิลิคอน (Silicon; Si) มีค่าดีพลีชันริจินตรงรอยต่อประมาณ 0.5 V ถึง 0.8 V

การนำไดโอดไปใช้งานต้องมีการจ่ายแรงดันไบอัสให้ตัวไดโอดเพื่อควบคุมการนำกระแสและหยุดนำกระแสในตัวไดโอด วิธีจ่ายไบอัสให้ตัวไดโอดมี 2 วิธีคือ การจ่ายไบอัสตรง (Forward Bias) และการจ่ายไบอัสกลับ (Reverse Bias)

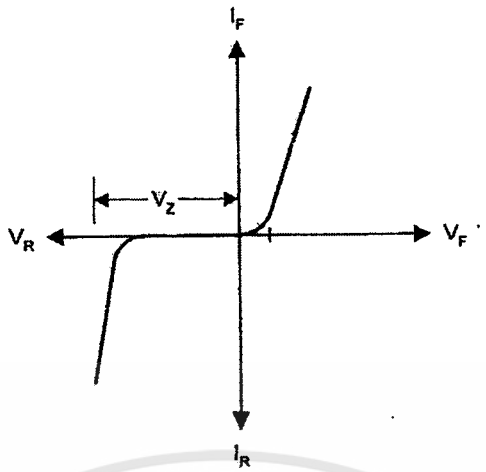
2.2.3 โครงสร้างและสัญลักษณ์ ซีเนอร์ไดโอด

ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) เป็นไดโอดชนิดพิเศษที่สร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่รักษาแรงดันให้คงที่ มีโครงสร้างเหมือนไดโอดธรรมดาทั่ว ๆ ไป แต่ไดโอดธรรมดาทั่วไปเมื่อทำการไบอัสกลับจนถึงค่าแรงดันเบรคดาวน์จะทำให้เกิดเสียหายได้ ซีเนอร์ไดโอดเป็นไดโอดที่ผลิตจากสารซิลิคอนที่มีปริมาณความหนาแน่นของสารเจือปนในส่วนทั้งสองของสารพีและเอ็นมีค่าสูงกว่าปกติ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะทำให้ค่าแรงดันเบรคดาวน์สูง และค่าแรงดันเบรคดาวน์หรือแรงดันซีเนอร์สามารถกำหนดได้ด้วยการควบคุมความหนาแน่นของสารเจือปน และเมื่อให้ไบอัสกลับจะสามารถทนกระแสย้อนกลับได้สูงโดยไดโอดไม่เสียหาย แรงดันที่ตกคร่อมตัวซีเนอร์ไดโอดเองจะเป็นตัวควบคุมและรักษาแรงดันให้คงที่

ก. โครงสร้าง ข. สัญลักษณ์

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

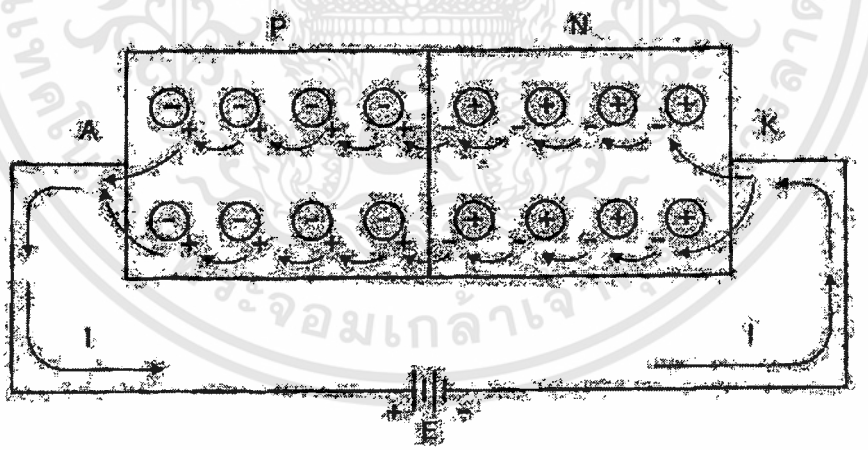
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 กราฟลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอด

2.2.4 การจ่ายไบอัสตรง

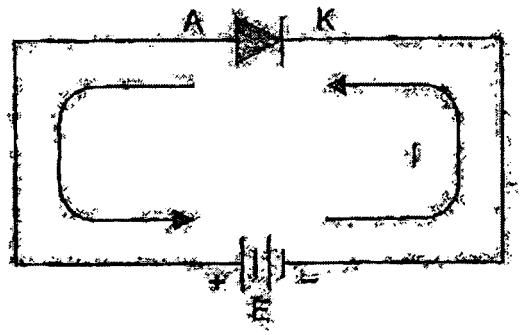
การจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอดเป็นการจ่ายแรงดันไบอัสให้ตัวไดโอดแบบถูกขั้วถูกขา โดยจ่ายศักย์บวกให้สารชนิด P (P=Positive หรือบวก) และจ่ายศักย์ลบให้สารชนิด N (N = Negative หรือลบ) การจ่ายไบอัสตรงทำให้ไดโอดนำกระแส มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอด ไดโอดทำงาน ลักษณะการจ่ายไบอัสตรงแสดงดังภาพที่ 2.6



(ก) โครงสร้าง

ภาพที่ 2.6 การจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอด ไดโอดเกิดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) สัญลักษณ์

ภาพที่ 2.6 การจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอด ไดโอดเกิดการทำงาน (ต่อ)

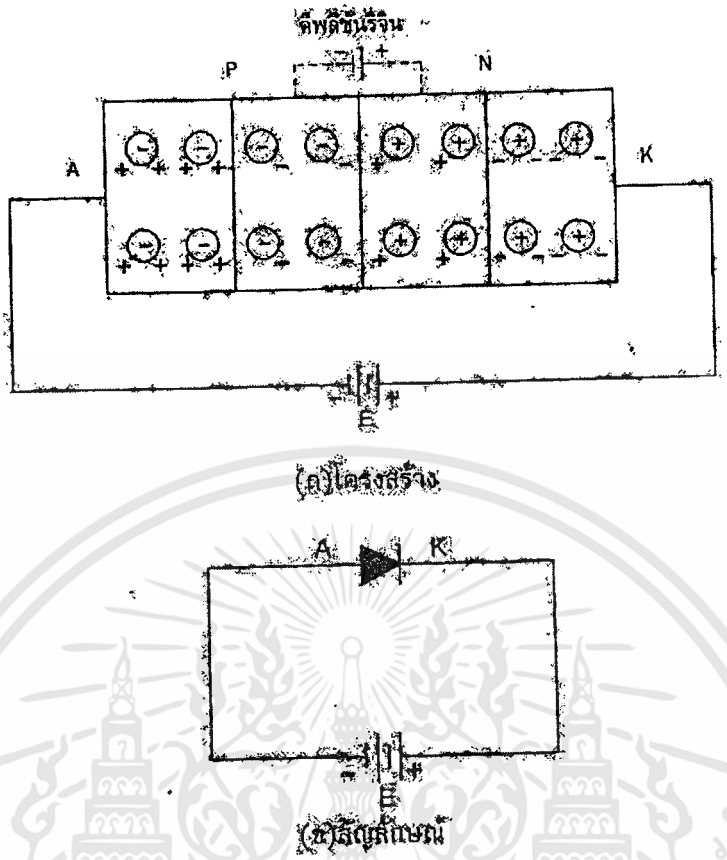
จากภาพที่ 2.6 เป็นการจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอดแบบวงจรเบื้องต้น โดยจ่ายบวกให้สารชนิด P ขา A จ่ายลบให้สารชนิด N ขา K ศักย์ลบจากแบตเตอรี่ E ที่จ่ายให้ขา K สารชนิด N เกิดการผลักอิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ให้วิ่งเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในเวลาเดียวกัน ศักย์บวกที่จ่ายให้ขา A สารชนิด P เกิดการดึงดูดอิเล็กตรอนให้วิ่งเคลื่อนที่เข้ามาหา ผลักโฮลให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า อิเล็กตรอนและโฮล มีพลังงานมากพอสามารถวิ่งเคลื่อนที่ได้ อิเล็กตอรนถูกศักย์ลบจากแหล่งจ่ายผลักให้เคลื่อนที่ตลอดเวลา ไปรวมตัวกับโฮลในสารชนิด P จนวิ่งเคลื่อนที่หลุดจากขา A ไปเข้าขั้วบวกแบตเตอรี่ E วิ่งเลยไปขั้วลบเข้าขา K ของสารชนิด N เกิดการเคลื่อนที่ครบวงจร ไดโอดมีกระแสไหลผ่านตลอดเวลา

ค่ากระแสไหลผ่านรอยต่อสาร PN ของไดโอดมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดันไบอัสที่จ่ายให้ไดโอด จ่ายแรงดันไบอัสให้น้อยกระแสไหลน้อย จ่ายแรงดันไบอัสให้มากกระแสไหลมาก แรงดันไบอัสตรงที่จ่ายให้ไดโอดนำกระแสต้องจ่ายแรงดันไบอัสให้มากกว่าค่าดีพลีบันริจินของตัวไดโอดนั้น ไดโอดชนิด Ge มีค่าประมาณ 0.3 V ไดโอดชนิด Si มีค่าประมาณ 0.7 V

2.2.5 การจ่ายไบอัสกลับ

การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอดเป็นการจ่ายแรงดันไบอัสให้ตัวไดโอดแบบกลับขั้วกลับขา โดยจ่ายศักย์ลบให้สารชนิด P และจ่ายศักย์บวกให้สารชนิด N การจ่ายไบอัสกลับให้ตัวไดโอดทำให้ไดโอดไม่นำกระแส ไม่มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอด ไดโอดไม่ทำงาน ลักษณะการจ่ายไบอัสกลับแสดงดังภาพที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด ไดโอดไม่ทำงาน

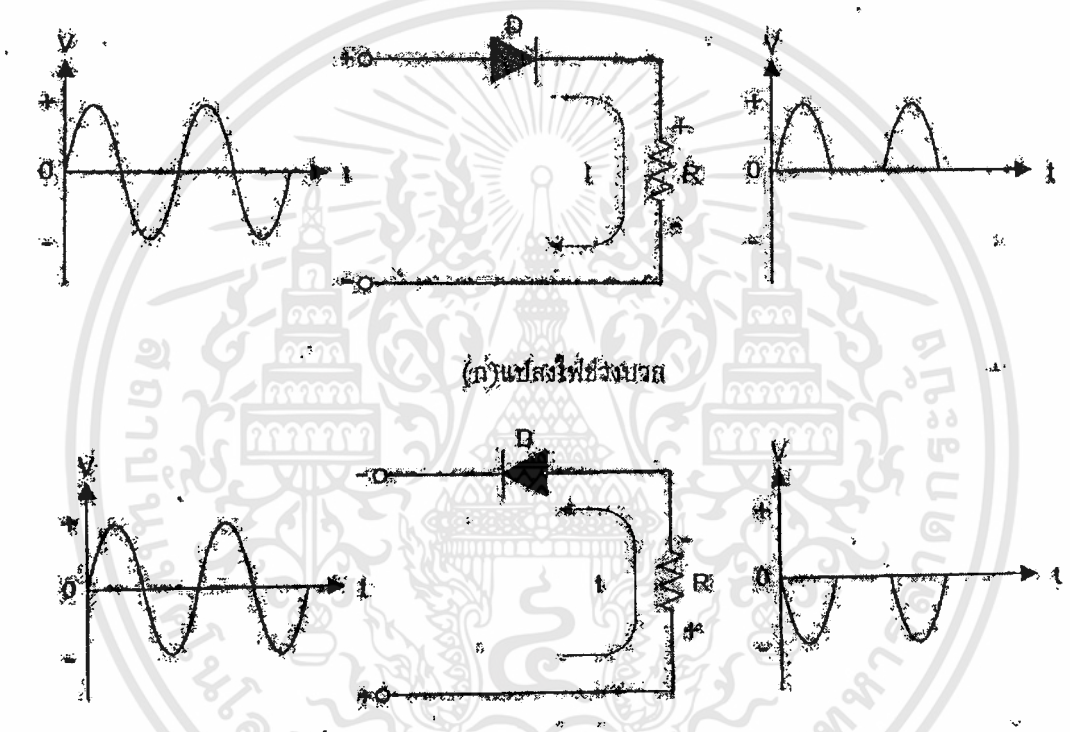
จากภาพที่ 2.7 เป็นการจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอดแบบวงจรเบื้องต้น โดยจ่ายบวกให้สารชนิด N ขา K จ่ายลบให้สารชนิด P ขา A ศักย์บวกที่จ่ายให้สารชนิด N ขา K ดึงดูดให้อิเล็กตรอนอิสระในการชนิด N เคลื่อนตัวออกห่างจากรอยต่อมารวมกันอยู่ทางด้านขา K ผลักโฮลไปรวมตัวอยู่แถวรอยต่อ PN ส่วนศักย์ลบที่จ่ายให้สารชนิด P ขา A ผลักอิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด P ไปออกันอยู่ที่รอยต่อ PN ดึงโฮล ให้มารวมกันอยู่ด้านขา A ทำให้บริเวณรอยต่อสาร PN เกิดดีพลีชันริจินกว้างมากขึ้น บริเวณรอยต่อสารชนิด P มีอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้น บริเวณรอยต่อสารชนิด N มีโฮลมากขึ้น ไม่มีกระแสไหลในตัวไดโอด

การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอดมีผลทำให้ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อเพิ่มมากขึ้น ต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวไดโอดแต่อาจมีกระแสรั่วไหล (Leakage Current) เกิดขึ้นในตัวไดโอดกระแสรั่วไหลนี้ไม่ใช่กระแสที่เกิดจากการทำงานของตัวไดโอด แต่เกิดจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ด้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนได้ไม่ดี ค่ากระแสรั่วไหลเกิดขึ้นมามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ผลิตไดโอด สารกึ่งตัวนำชนิด Si มีค่ากระแสรั่วไหลน้อย ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิด Ge มีค่ากระแสรั่วไหลมาก นอกจากนั้นค่ากระแสรั่วไหลยังขึ้นอยู่กับแรงดันไบอัสกลับที่จ่ายให้ตัวไดโอด จ่ายไบอัสกลับมากกระแสรั่วไหลมาก จ่ายไบอัสกลับน้อยกระแสรั่วไหลน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 วงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรง

วงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรง หรือวงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟตรงโดยใช้ไดโอด การทำงานอาศัยคุณสมบัติการจ่ายไบอัสตรงและจ่ายไบอัสกลับให้ตัวไดโอด เพื่อทำให้ไดโอดนำกระแสและหยุดนำกระแส ตามสภาวะการจ่ายไบอัสจะได้แรงดันออกมาเป็นไฟตรง สามารถทำได้ทั้งแรงดันไฟตรงช่วงบวก หรือแรงดันไฟตรงช่วงลบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการจัดขาออกเอาร์พุตของตัวไดโอด ใช้ขาแคโทด (K) ออกเอาร์พุต ได้แรงดันช่วงบวกออกมาใช้ขาแอโนด (A) ออกเอาร์พุตได้แรงดันช่วงลบออกมา ไดโอดจะทำงานและหยุดทำงานสลับกันไปตลอดเวลา ลักษณะการทำงานแสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 วงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงของไดโอด

จากภาพที่ 2.8 เป็นการแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงของไดโอด ซึ่งจะได้เอาต์พุตออกมาต่างกัน ภาพที่ 2.8 (ก) ใช้ขาแคโทด (K) ของไดโอดออกเอาต์พุต ไดโอดจะได้ไบอัสตรงเมื่ออินพุตเป็นบวกด้านบน เป็นลบด้านล่าง มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R เกิดศักย์ตกคร่อมด้านบนบวก ด้านล่างลบได้แรงดันไฟสลับช่วงบวกทั้งช่วงออกเอาต์พุต ถ้าขณะอินพุตป้อนเข้ามาด้านบนเป็นลบ ด้านล่างเป็นบวกไดโอดได้รับไบอัสกลับไม่นำกระแส ไม่มีแรงดันออกเอาต์พุต

ส่วนภาพที่ 2.8 (ข) ใช้ขาแอโนด (A) ของไดโอดออกเอาต์พุต ไดโอดจะได้ไบอัสตรงเมื่ออินพุตเป็นลบด้านบน เป็นบวกด้านล่าง มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R เกิดศักย์ตกคร่อมด้านบนลบด้านล่างบวก ได้แรงดันไฟสลับช่วงลบทั้งช่วงออกเอาต์พุต ถ้าขณะอินพุตป้อนเข้ามาด้านบนเป็นบวกด้านล่างเป็นลบ ไดโอดได้รับไบอัสกลับไม่นำกระแส ไม่มีแรงดันออกเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเรียงกระแสที่สร้างขึ้นมาใช้งานแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

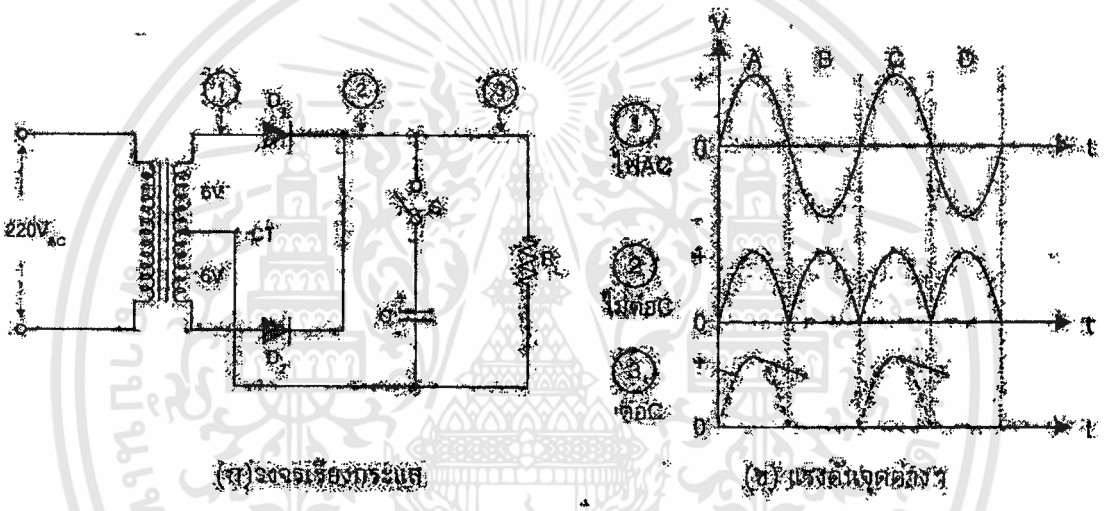
1) เรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifiers)

2) เรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifiers)

3) เรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifiers)

1) วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จะทำการตัดแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามาออกไปซีกหนึ่งอาจเป็นซีกบวกหรือซีกลบ ซึ่งขึ้นอยู่กับการกำหนดให้ขาใดของไดโอดออกเอาต์พุต วงจรเรียงกระแสแบบนี้ใช้ไดโอดในการทำงานเพียงตัวเดียว แรงดันที่ได้ออกเอาต์พุตจึงถูกตัดหายไปเป็นช่วง ๆ ลักษณะวงจรและแรงดันที่ได้แสดงดังภาพที่ 2.9



(ก) วงจรเรียงกระแส (ข) แรงดันจุดต่างๆ

ภาพที่ 2.9 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

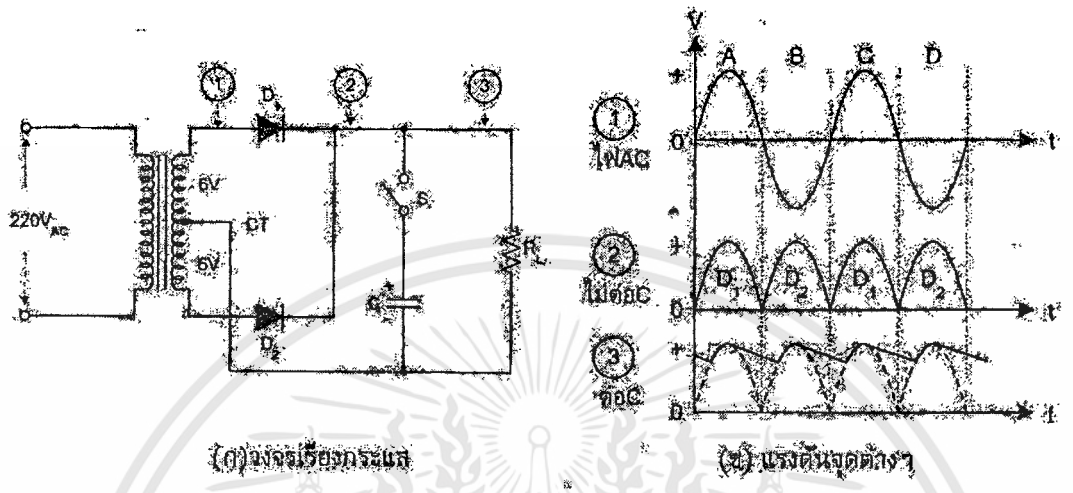
จากภาพที่ 2.9 เป็นวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ในภาพที่ 2.9 (ข) แรงดันที่แสดงไว้ที่จุด ❶, ❷, ❸ ของวงจรภาพที่ 2.9 (ก) เป็นดังนี้ จุดที่ ❶ เป็นสลับที่ป้อนออกมายังขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ของหม้อแปลง จุดที่ ❷ เป็นแรงดันไฟสลับที่ถูกไดโอดเรียงกระแสตัดคลื่นช่วงลบทิ้งไป ตรงจุดนี้ตัวเก็บประจุ C ยังไม่ต่อเข้าวงจร จุดที่ ❸ เป็นจุดที่ตัวเก็บประจุ C ถูกต่อเข้าวงจรเพื่อทำหน้าที่ฟิลเตอร์ (Filter) หรือกรองสัญญาณ ทำให้แรงดันที่ได้ออกเอาต์พุตมีคุณสมบัติใกล้เคียงแรงดันไฟตรงมากที่สุด

2) วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เป็นวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่สัญญาณออกเอาต์พุตไม่ถูกตัดหายไปเป็นช่วง ๆ เหมือนแบบครึ่งคลื่น สัญญาณไฟสลับทั้งช่วงบวกและช่วงลบสามารถแปลงเป็นไฟตรงออกเอาต์พุตได้หมด ซึ่งออกเป็นไฟตรงช่วงบวก หรือไฟตรงช่วงลบก็ได้ ขึ้นอยู่กับการกำหนดให้ขาใดของไดโอดออกเอาต์พุต วงจรเรียงกระแสแบบนี้ใช้ไดโอดใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานสองตัว และหม้อแปลงทางด้านขดทุติยภูมิต้องมี 3 ขั้ว ขากลางของหม้อแปลงเป็นขาแทปกลาง (Center Tep) แรงดันไฟสลับที่ป้อนออกขดทุติยภูมิ จะมีแรงดันไฟสลับเทียบกับแทปกลางเสมอ ลักษณะวงจรและแรงดันที่ได้แสดงดังภาพที่ 2.10



(ก) วงจรเรียงกระแส (ข) แรงดันจุดต่างๆ

ภาพที่ 2.10 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

จากภาพที่ 2.10 เป็นวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นในภาพที่ 2.10 (ข) แรงดันที่แสดงไว้ที่จุด ❶, ❷, ❸ ของวงจรภาพที่ 2.10 (ก) เป็นดังนี้จุดที่ ❶ เป็นแรงดันไฟสลับที่ป้อนออกมายังขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงเทียบกับจุดแทปกลาง (CT) แรงดันไฟสลับที่จ่ายออกมาจากแทปกลาง (CT) เป็นได้ทั้งแรงดันไฟบวกและแรงดันไฟลบ แทปกลาง (CT) จะเป็นลบเมื่อเทียบบวกด้านบน และแทปกลาง (CT) ก็จะเป็นบวกเมื่อเทียบลบด้านล่าง ถ้าแรงดันไฟสลับที่ป้อนให้ขดทุติยภูมิสลับขั้วแทปกลาง (CT) ก็จะเทียบได้ในทำนองเดียวกัน

จุดที่ ❷ เป็นแรงดันไฟสลับที่ถูกไดโอดทำการเรียงกระแสแล้ว ไดโอดในวงจรทำงานสลับกันตัวละครึ่งคลื่นในขณะไดโอด D_1 ทำงาน ไดโอด D_2 ไม่ทำงานและขณะไดโอด D_2 ทำงาน ไดโอด D_1 ไม่ทำงาน ตรงจุดนี้ตัวเก็บประจุ C ยังไม่ต่อเข้าวงจร จุดที่ ❸ เป็นจุดที่ตัวเก็บประจุ C ถูกต่อเข้าวงจรเพื่อทำหน้าที่ฟิลเตอร์ ทำให้แรงดันที่ได้ออกเอาต์พุตมีคุณสมบัติใกล้เคียงแรงดันไฟตรงมากที่สุด

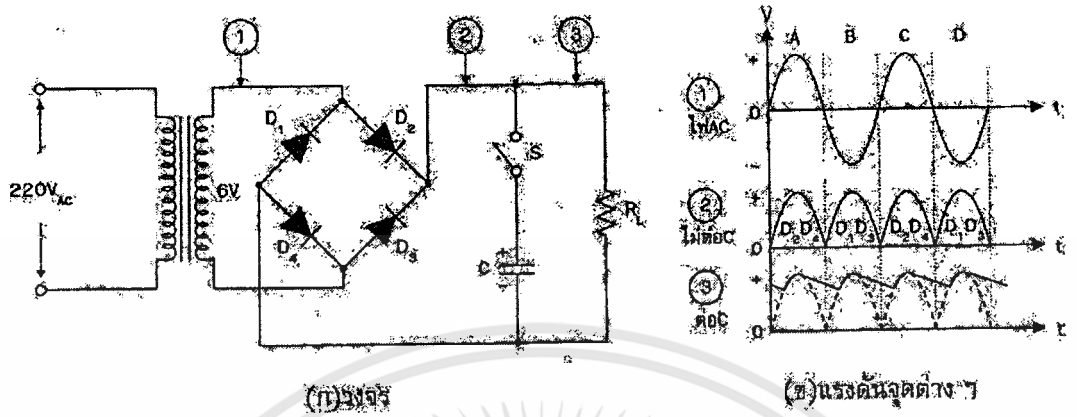
3) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ เป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นนั่นเอง ส่วนที่แตกต่างกันของเรียงกระแสแบบบริดจ์และแบบเต็มคลื่นต่างกันตรงการต่อวงจร แบบบริดจ์การเรียงกระแสใช้ไดโอด 4 ตัว โดยทำงานครั้งละ 2 ตัว หม้อแปลงทางด้านขดทุติภูมิมี 2 ขั้ว ไม่ต้องมีแทปกลาง (CT) การต่อแบบบริดจ์สามารถจัดวงจรเรียงกระแส เป็นแบบบวก-ลบ-กราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ได้ นำไปใช้จ่ายแรงดันชนิด 3 ขั้ว ให้กับวงจรออปแอมป์ หรือวงจรขยายเสียงได้ ลักษณะวงจรและแรงดันที่ได้ แสดงดังภาพที่ 2.11

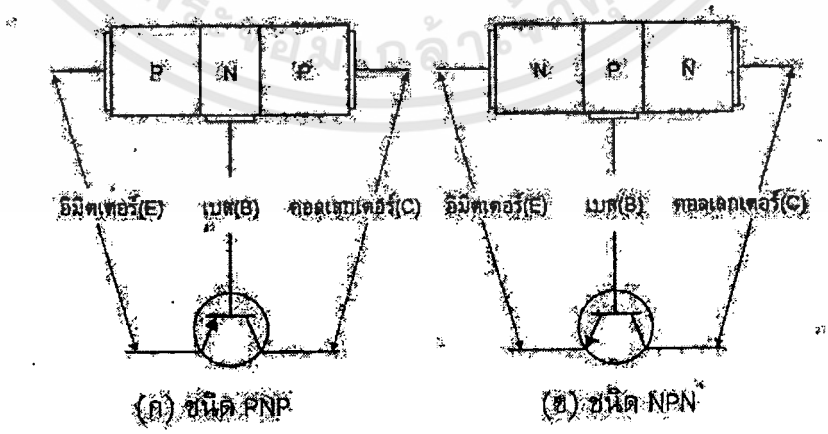


ภาพที่ 2.11 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

จากภาพที่ 2.11 เป็นวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ในภาพที่ 2.11 (ข) แรงดันที่จุดต่าง ๆ ของวงจรมีลักษณะของแรงดันเหมือนกับแบบเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทุกประการ เพียงแต่ในจุดที่ ❷ แรงดันไฟสลับครึ่งบวกที่ได้ต้องผ่านไดโอดเรียงกระแสครั้งละ 2 ตัว หรือ D_2, D_4 ครั้งหนึ่ง และ D_1, D_3 อีกครั้งหนึ่งสลับกันไป

2.2.7 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่โครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 3 ตอนต่อชนกันสามารถสร้างเป็นทรานซิสเตอร์ขึ้นมาได้ 2 ชนิดคือ ชนิด PNP และชนิด NPN มีขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขาคือ ขาอิมิตเตอร์ (E) ขาคอลเลกเตอร์ (C) และขาเบส (B) โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ แสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

105083

ในการเติมธาตุเจือปนลงไปเพื่อให้เกิดเป็นสารตอนกลางหรือตอนเบส (B) มีความสำคัญต่อขบวนการผลิตทรานซิสเตอร์ สารกึ่งตัวนำตอนกลางหรือตอนเบส (B) นี้ต้องเติมธาตุเจือปนลงไปในอัตราส่วนที่น้อยกว่าสารกึ่งตัวนำตอนนอกทั้งสองตอน ในอัตราส่วนประมาณ 10:1 หรือน้อยกว่านี้ การเติมธาตุเจือปนน้อยลงดังกล่าวเป็นการช่วยลดความเป็นตัวนำของเบสลง และเพิ่มค่าความต้านทานตอนเบส (B) ให้มากขึ้น ผลที่ได้คือ ตอนเบส (B) สามารถจำกัดจำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่จะไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์ได้

ทรานซิสเตอร์ที่กล่าวมานี้มักถูกเรียกว่า ทรานซิสเตอร์รอยต่อ 2 ขั้ว (Bipolar Junction Transistor) เรียกสั้นๆ ว่า BJT คำว่า 2 ขั้ว (Bipolar) หมายถึง ในการทำงานของทรานซิสเตอร์จะมีทั้งโอล (Hole) และอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ขณะที่ทรานซิสเตอร์ทำงานทั้งโฮลและอิเล็กตรอนอิสระเป็นพาหะเคลื่อนที่ทำงานร่วมกันมีผลเกี่ยวข้องกัน

สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชนิด ที่ขา E มีหัวลูกศรชี้กับค่าไว้ มีทั้งหัวลูกศรชี้เข้า และหัว ลูกศรชี้ออก หัวลูกศรที่กำกับไว้นี้เป็นสัญลักษณ์บอกถึงชนิดของทรานซิสเตอร์ว่าเป็นชนิด PNP หรือชนิด NPN การดูสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์แล้วสามารถบอกได้ว่าเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดใด ต้องใช้หลักการจำจากทิศทางชี้ของหัวลูกศรดังนี้คือ บวกเพิ่มเข้าไป ลบหักออก หรือท่องจำสั้น ๆ ว่า บวกเข้าลบออก ความหมายเป็นดังนี้

หัวลูกศรชี้เข้าหมายถึง บวก (Positive) หรือ P คือที่ขา E เป็นสารชนิด P และขา C เป็นสารชนิด P ส่วนขา B เป็นสารชนิด N นั่นคือสัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์ หัวลูกศรชี้เข้าหมายถึงทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

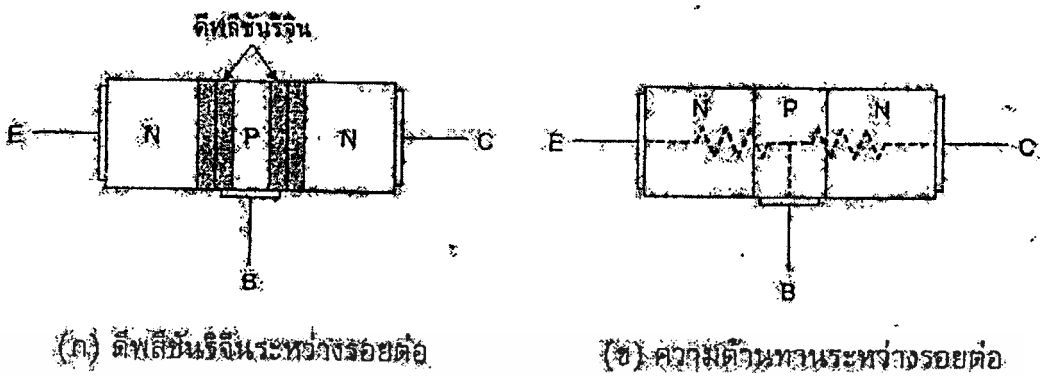
หัวลูกศรชี้ออกหมายถึงลบ (Negative) หรือ N คือที่ขา E เป็นสารชนิด N และขา C เป็นสารชนิด N ส่วนขา B เป็นสารชนิด P นั่นคือสัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์ หัวลูกศรชี้ออกหมายถึง ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

2.2.8 การจ่ายไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน

การที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ สิ่งสำคัญอยู่ที่การจ่ายแรงดันไบอัสให้ขาต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์ ถูกต้องตามที่ทรานซิสเตอร์ต้องการ ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และชนิด NPN ต้องจ่ายแรงดันไบอัสที่ถูกต้องโดยเฉพาะแต่ละชนิดให้ทรานซิสเตอร์จึงสามารถทำงานได้

สิ่งที่เหมือนกันในคุณสมบัติของตัวทรานซิสเตอร์คือ การจ่ายไบอัสให้ขาต่าง ๆ มีผลต่อการเกิดค่าแบตเตอรี่สมมติระหว่างรอยต่อหรือดีพลีชันริจิน ระหว่างรอยต่อเปลี่ยนแปลงไป โดยอาจกว้างขึ้นหรืออาจแคบลง ค่าดีพลีชันริจินระหว่างรอยต่อนี้เปรียบเสมือนค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อของตัวทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าในตัวทรานซิสเตอร์ ลักษณะดีพลีชันริจินตรงรอยต่อและค่าความต้านทานตรงรอยต่อ แสดงดังภาพที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ดีพลีชันริจินระหว่างรอยต่อ (ข) ความต้านทานระหว่างรอยต่อ

ภาพที่ 2.13 คุณสมบัติตรงรอยต่อของทรานซิสเตอร์

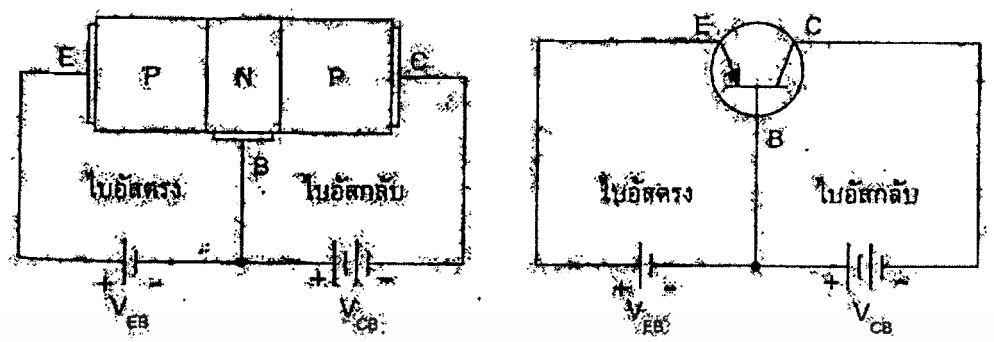
ทรานซิสเตอร์สามารถนำกระแสและทำงานได้อยู่ที่การจัดแรงดันไบอัสให้ที่ขาต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์ ต้องเป็นแรงดันไบอัสที่ถูกต้องตามความต้องการของขาต่าง ๆ บนตัวทรานซิสเตอร์แต่ละชนิด วิธีจ่ายแรงดันไบอัสที่ถูกต้องให้ตัวทรานซิสเตอร์ทำงานนำกระแสทำได้วิธีเดียว ทั้งทรานซิสเตอร์ชนิด PNP และทรานซิสเตอร์ชนิด NPN การจ่ายแรงดันไบอัสที่ถูกต้องทำได้ดังนี้

1) จ่ายแรงดันไบอัสตรง ให้ขา E เทียบกับขา B คือแรงดันไบอัสที่ขาทั้งสองได้รับต้องเป็นไบอัสตรงทั้งคู่

2) จ่ายแรงดันไบอัสกลับ ให้ขา C อาจเทียบกับขา B หรืออาจเทียบกับขา E ก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดวงจรขาร่วม (Common Circuit) ให้กับวงจรทรานซิสเตอร์ทำงาน เรื่องนี้จะกล่าวในบทที่ 3 ต่อไป

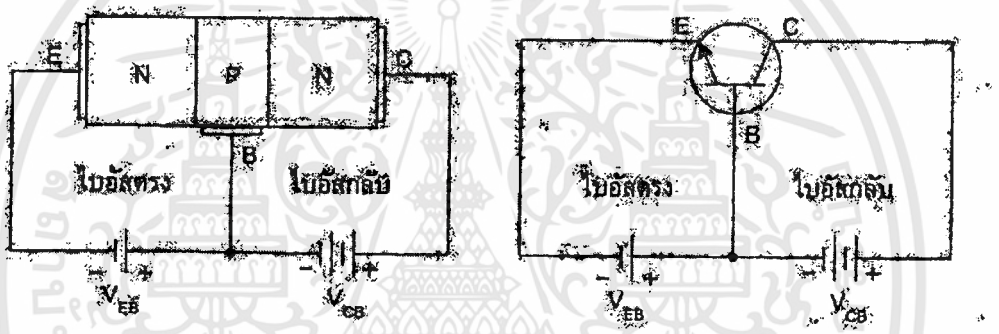
3) การจัดวงจรไบอัสให้ทรานซิสเตอร์หากผิดไปจากข้อ 1 และข้อ 2 หรือจัดแรงดันไบอัสให้ผิดไปเพียงขาเดียว หรือจัดแรงดันไบอัสให้สลับขา ทรานซิสเตอร์จะไม่สามารถทำงานได้ หรือทำงานผิดปกติ ลักษณะการจัดวงจรไบอัสที่ถูกต้องให้ทรานซิสเตอร์ แสดงดังภาพที่ 2.14 และภาพที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

ภาพที่ 2.14 การจัดวงจรไบอัสเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP



(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

ภาพที่ 2.15 การจัดวงจรไบอัสเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

จากภาพที่ 2.14 และภาพที่ 2.15 เป็นการจัดวงจรไบอัสแบบเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด PNP และชนิด NPN เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานนำกระแสได้ จากรูปจะเห็นว่าที่ขา E กับขา B ได้รับไบอัสตรงเสมอ และที่ขา C กับขา B ได้รับไบอัสกลับเสมอ เป็นการจ่ายไบอัสที่ถูกต้องให้ทรานซิสเตอร์

ความหมายของไบอัสตรงคือ ต้องจ่ายแรงดันให้ตรงตามชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ต่อ ถ้าเป็นสารชนิด P แรงดันไบอัสตรงคือศักย์บวก (+) ถ้าเป็นสารชนิด N แรงดันไบอัสตรงคือศักย์ลบ (-)

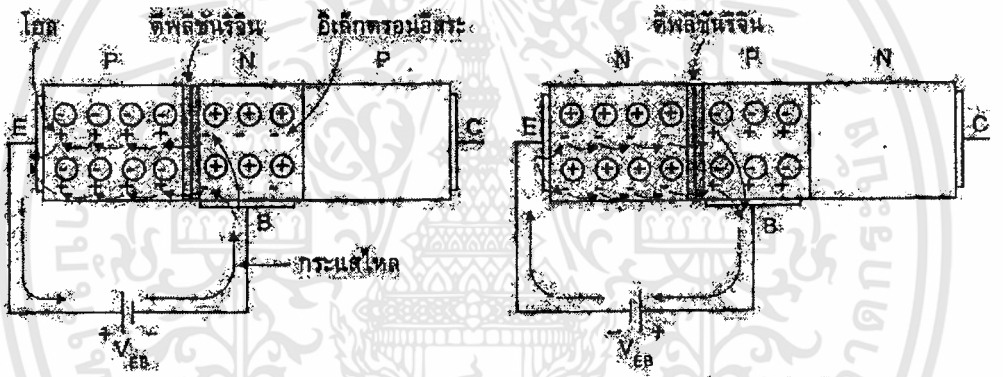
ความหมายของไบอัสกลับคือ ต้องจ่ายแรงดันให้ตรงข้ามกับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ต่อ ถ้าเป็นสารชนิด P แรงดันไบอัสกลับคือศักย์ลบ (-) ถ้าเป็นสารชนิด N แรงดันไบอัสกลับคือศักย์บวก (+)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9 สภาวะดีพลีชันริจินตรงรอยต่อ

จากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ เมื่อนำสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันต่อชนกัน (สารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ต่อชนกัน) ได้ไดโอดขึ้นมา ระหว่างรอยต่อสารชนิด P และชนิด N เกิดแบตเตอรี่สมมติหรือดีพลีชันริจินขึ้นมา และทุก ๆ รอยต่อของสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิดต่อชนกัน ก็จะเกิดดีพลีชันริจินขึ้นทุกครั้งทุกตอน ค่าดีพลีชันริจินนี้เปลี่ยนแปลงค่าได้ตามการจ่ายแรงดันไบอัสให้รอยต่อ ส่วนที่ถูกต่อด้วยไบอัสตรงค่าดีพลีชันริจินจะลดค่าต่ำลงมาก ๆ และส่วนที่ถูกต่อด้วยไบอัสกลับค่าดีพลีชันริจินจะเพิ่มค่าสูงขึ้นมาก ๆ

ทาการพิจารณาการจ่ายไบอัสเฉพาะขาอิมิตเตอร์ E และขาเบส B ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นการจ่ายไบอัสตรง ผลที่เกิดขึ้นดีพลีชันริจินระหว่างรอยต่อลดลง คือค่าความต้านทานตรงรอยต่อลดลงเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อ เสมือนเป็นการจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้ตัวไดโอด ลักษณะการจ่ายไบอัสตรงให้ขา E และขา B แสดงดังภาพที่ 2.16

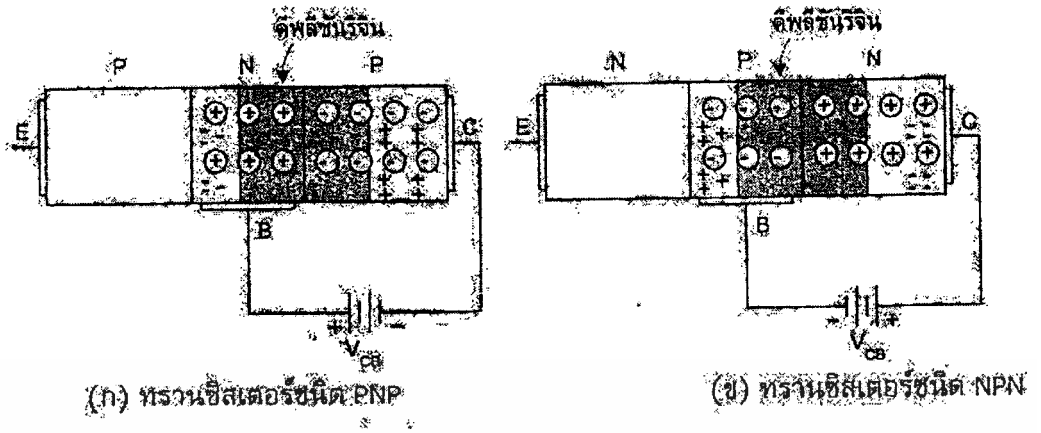


(ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP (ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ภาพที่ 2.16 การจ่ายไบอัสตรงให้เฉพาะขา E กับขา B ของทรานซิสเตอร์

ทำการพิจารณาการจ่ายแรงดันไบอัสเฉพาะขา C เทียบกับขา B ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นการจ่ายไบอัสกลับ ผลที่เกิดขึ้นดีพลีชันริจินระหว่างรอยต่อเพิ่มขึ้น คือค่าความต้านทานตรงรอยต่อเพิ่มขึ้นต้านการไหลของกระแสไม่ให้ไหลผ่านรอยต่อเสมือนเป็นการจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด ลักษณะการจ่ายไบอัสกลับให้ขา C กับขา B แสดงดังภาพที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

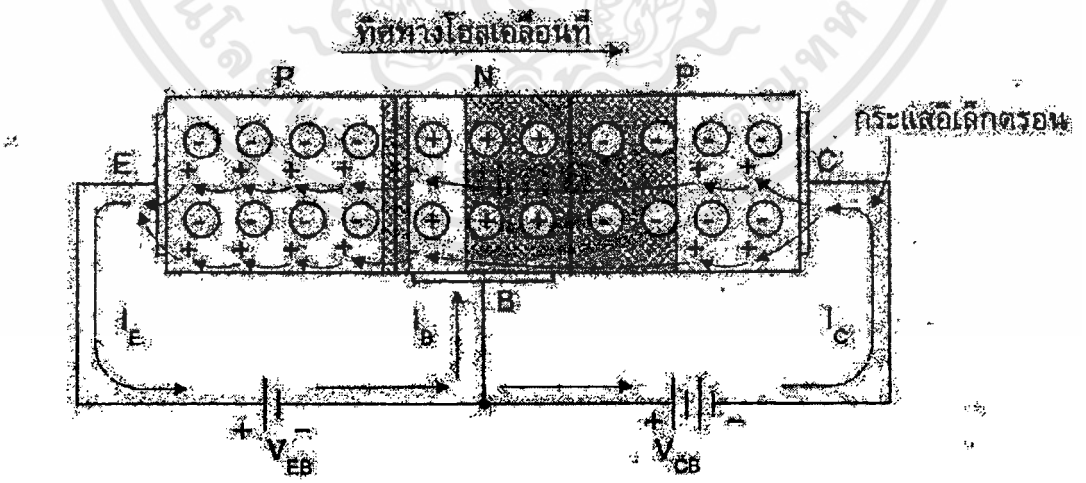


ภาพที่ 2.17 การจ่ายไบอัสกลับให้เฉพาะขา C กับขา B ของทรานซิสเตอร์

เมื่อนำการจ่ายไบอัสจากภาพที่ 2.16 และภาพที่ 2.17 นำมาจ่ายไบอัสให้ตัวทรานซิสเตอร์ ส่งผลต่อค่าดีพลีชันริจินตรงรอยต่อของทรานซิสเตอร์เกิดขึ้นแตกต่างกันคือ ส่วนขา E กับขา B มีค่าดีพลีชันริจินตรงรอยต่อต่ำ และส่วนขา C กับขา B มีค่าพลีชันริจินตรงรอยต่อสูง

2.2.10 การทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

ทรานซิสเตอร์ที่จ่ายไบอัสให้ถูกต้องเท่านั้น จึงสามารถทำงานนำกระแสได้ ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ต้องจ่ายแรงดันบวกให้ขา E เทียบกับแรงดันลบที่จ่ายให้ขา B และต้องจ่ายแรงดันลบให้ขา C เทียบกับแรงดันบวกที่จ่ายให้ขา B ผลการจ่ายแรงดันไบอัสที่ถูกต้องนี้ ทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์แสดงดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 การจ่ายไบอัสถูกต้องตามที่ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.18 เป็นการจ่ายไบอัสถูกต้องตามที่ทรานซิสเตอร์ ชนิด PNP ต้องการเกิดการทำงานนำกระแสขึ้นมาในตัวทรานซิสเตอร์ สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ เมื่อจ่ายแรงดันไบอัสตรง V_{EB} ให้ขา E กับขา B และจ่ายแรงดันไบอัสกลับ V_{CB} ให้ขา C กับขา B อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา B ถูกผลักโดยศักย์ลบ V_{EB} และถูกดูดโดยศักย์บวก V_{EB} อิเล็กตรอนอิสระจะเคลื่อนที่จากสารชนิด N ขา B เข้ารวมตัวกับโฮลในสารชนิด P ขา E และเคลื่อนที่ไปรวมตัวกับโฮลตัวถัดไป จนเคลื่อนที่หลุดออกจากขา E มาแหล่งจ่าย V_{EB} วิ่งเลยไปถึงจุดต่อขา B อิเล็กตรอนอิสระส่วนใหญ่วิ่งไปยังแหล่งจ่าย V_{CB} และอิเล็กตรอนอิสระส่วนน้อยจะวิ่งไปเข้าขา B เพราะแหล่งจ่าย V_{CB} มีแรงดันสูง อิเล็กตรอนอิสระส่วนมากจึงวิ่งเข้าหาขั้วบวกของ V_{CB} วิ่งเลยไปขา C เข้ารวมตัวกับโฮลในสารชนิด P และวิ่งไปหาโฮลตัวถัดไปเรื่อย ๆ เนื่องจากอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว สารชนิด N ที่เป็นเบส (B) แคบ และถูกผลักโดยศักย์ลบที่แหล่งจ่าย V_{CB} รวมกับแหล่งจ่าย V_{EB} ถูกดูดโดยศักย์บวกที่แหล่งจ่าย V_{EB} รวมกับแหล่งจ่าย V_{CB} อิเล็กตรอนอิสระจึงวิ่งผ่านดีพลีชันริจินตรงรอยต่อ PN ขา C และขา B ไปได้ เข้าแทนที่อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา B ที่หลุดออกไป และวิ่งเลยไปรวมตัวกับโฮลในสารชนิด P ขา E เกิดกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ครบวงจร

การทำงานของทรานซิสเตอร์จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์ และไหลผ่านขาทั้ง 3 ด้วย ชื่อกระแสที่ไหลผ่านแต่ละขาของทรานซิสเตอร์ เรียกชื่อตามขาของทรานซิสเตอร์มีดังนี้ กระแสอิมิตเตอร์ (Emitter Current) หรือ I_E กระแสคอลเล็กเตอร์ (Collector Current) หรือ I_C และกระแสเบส (Base Current) หรือ I_B ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าตัวทรานซิสเตอร์ในแต่ละขามีค่าไม่เท่ากัน ค่าโดยประมาณเป็นดังนี้ $I_E = 100\%$, $I_C = 95\%$ ถึง 98% และ $I_B = 2\%$ ถึง 5% ความสัมพันธ์ของกระแสทั้ง 3 เขียนรูปสมการได้เป็น

$$I_E = I_C + I_B$$

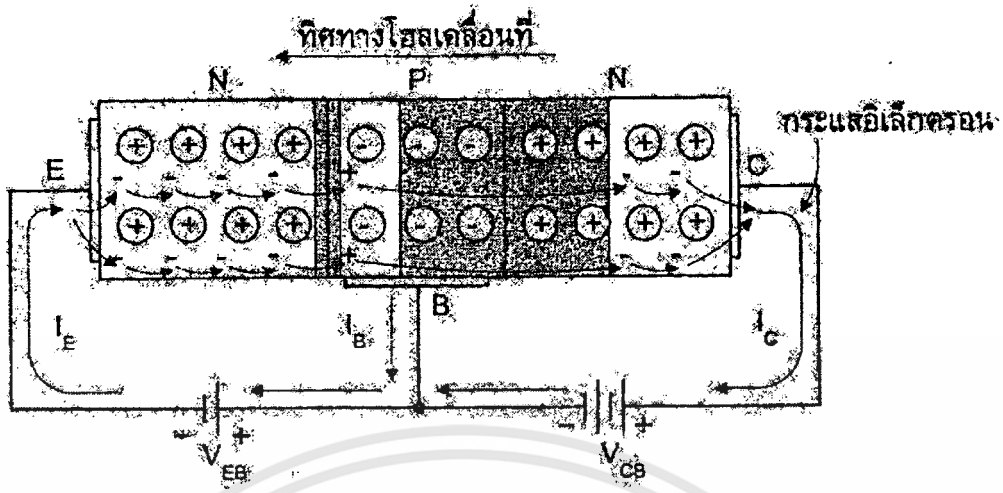
หรือ $$I_C = I_E - I_B$$

หรือ $$I_B = I_E - I_C$$

2.2.11 การทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ในการทำนองเดียวกันทรานซิสเตอร์ชนิด NPN จะทำงานนำกระแสได้ ต้องจ่ายไบอัสให้ถูกต้องตามที่ทรานซิสเตอร์ต้องการ โดยต้องจ่ายแรงดันลบให้ขา E เทียบกับแรงดันบวกที่จ่ายให้ขา B และต้องจ่ายแรงดันบวกให้ขา C เทียบกับแรงดันลบที่จ่ายให้ขา B ผลการจ่ายแรงดันไบอัสที่ถูกต้องนี้ ทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์ แสดงดังภาพที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.19 การจ่ายไบอัสถูกต้องตามที่ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต้องการ

จากภาพที่ 2.19 เป็นการจ่ายไบอัสถูกต้องตามที่ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต้องการเกิดการทำงานนำกระแสขึ้นมาในตัวทรานซิสเตอร์สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ เมื่อจ่ายแรงดันไบอัสตรง V_{EB} ให้ขา E กับขา B และจ่ายแรงดันไบอัสกลับ V_{CB} ให้ขา C กับขา B อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา E ถูกผลักดันโดยศักย์ลบ V_{EB} และถูกดูดโดยศักย์บวก V_{EB} อิเล็กตรอนอิสระจะเคลื่อนที่จากสารชนิด N ขา E เข้ารวมตัวกับโฮลในสารชนิด P ขา B และเคลื่อนที่ไปรวมตัวกับโฮลตัวถัดไป ในเวลาเดียวกันนี้อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา C ถูกดูดโดยศักย์บวกของแหล่งจ่าย V_{CB} รวมกับแหล่งจ่าย V_{CB} อิเล็กตรอนอิสระในชนิด N ขา C เคลื่อนที่เข้าหาบวกแหล่งจ่าย V_{CB} และเลยไปแหล่งจ่าย V_{EB} วิ่งเข้าแทนที่อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา E ที่ หลุดไปรวมกับโฮลในสารชนิด P ขา B ส่วนอิเล็กตรอนอิสระที่วิ่งเข้าหาขา B ก็เลยวิ่งเลยไปเข้าแทนที่อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา C ที่หลุดไปแหล่งจ่าย V_{CB} เนื่องจากสารชนิด P ที่ทำเป็นเบส (B) แคบ อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และถูกผลักโดยศักย์ลบของแหล่งจ่าย V_{CB} รวมกับแหล่งจ่าย V_{EB} ถูกดูดโดยศักย์บวกที่แหล่งจ่าย V_{EB} รวมกับแหล่งจ่าย V_{CB} อิเล็กตรอนอิสระจึงวิ่งผ่านดีพลีชันริจินตรงรอยต่อ PN ขา C และขา B ไปได้ เกิดกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ครบวงจร

การนำกระแสของตัวทรานซิสเตอร์มากขึ้นหรือน้อยลง สามารถควบคุมได้ด้วยสารกึ่งตัวนำตอนเบส (B) ทรานซิสเตอร์นำกระแสได้เมื่อมีกระแส I_B ไหลขึ้นอยู่กับ V_{EB} ที่จ่ายให้ตัวทรานซิสเตอร์ จ่ายแรงดัน V_{EB} มากหรือน้อยทำให้กระแส I_B ไหลมากหรือน้อย

การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน V_{EB} และกระแส I_B มีผลต่อความต้านทานระหว่างรอยต่อในตัวทรานซิสเตอร์ดังนี้ จ่ายแรงดัน V_{EB} ให้น้อยกระแส I_B ไหลน้อย ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อในตัวทรานซิสเตอร์มากขึ้น ส่งผลต่อกระแส I_C และ I_E ไหลน้อยลง และถ้าจ่ายแรงดัน V_{EB} ให้มากขึ้นกระแส I_B ไหลมากขึ้น ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อในตัวทรานซิสเตอร์น้อยลง ส่งผลต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

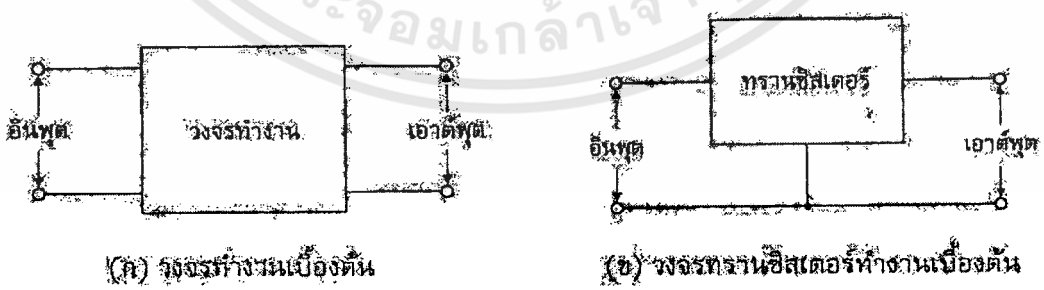
กระแส I_C และ I_E ไหลมากขึ้น การทำงานของทรานซิสเตอร์อาศัยการควบคุมการไหลของกระแส I_B , I_C และ I_E ให้มากขึ้น หรือน้อยลงไหลผ่านภาระหรือโหลด (Load) เกิดเป็นสัญญาณไฟสลับนำไปใช้งาน

2.2.12 วงจรทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์นับเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้งานมากในอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง และแพร่หลายนับจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ด้วยเหตุผลที่ว่า ทรานซิสเตอร์นำไปใช้งานได้หลายหน้าที่ เช่น วงจรขยายสัญญาณ วงจรกำเนิดความถี่ วงจรสวิตช์ วงจรกลับสัญญาณ และวงจรแปลงสัญญาณ เป็นต้น การควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ทำงานทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก และสามารถต่อร่วมใช้งานกับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆ ได้

การนำตัวทรานซิสเตอร์ไปใช้งาน ต้องจัดวงจรทำงานให้ตัวทรานซิสเตอร์ โดยจัดให้มีวงจรส่วนทางเข้าหรืออินพุต (Input) และวงจรส่วนทางออกหรือเอาต์พุต (Output) วงจรส่วนอินพุตนั้นทำหน้าที่รับสัญญาณเข้ามารับแรงดันควบคุมเข้ามา ตลอดจนรับสภาวะการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นเข้ามา ส่วนวงจรเอาต์พุต ทำหน้าที่จ่ายสัญญาณที่รับไว้ออกไป โดยอาจควบคุมให้สัญญาณจ่ายออกไปแรงขึ้นหรือเบาลงก็ได้ อาจทำการเปลี่ยนรูปร่างสัญญาณก่อนส่งออก และอาจกลับขั้วสัญญาณก่อนส่งออกทั้งหลายทั้งปวงดังกล่าวนี้ ถือเป็นหน้าที่ทำงานของตัวทรานซิสเตอร์

วงจรอินพุตต้องมี 2 ขั้วต่อ เพื่อให้สัญญาณที่ป้อนเข้ามา สามารถไหลครบวงจรได้ และวงจรเอาต์พุตก็ต้องมี 2 ขั้วต่อ เพื่อให้สัญญาณสามารถผ่านไปภาระหรือโหลด แล้วย้อนกลับมาที่เอาต์พุตได้แต่เนื่องจากว่าตัวทรานซิสเตอร์มีขาต่อใช้งานเพียง 3 ขา การจะต่อให้ได้ขั้วอินพุต 2 ขั้วและขั้วเอาต์พุต 2 ขั้ว ทำได้โดยการจัดขาร่วม (Common) ขึ้นมาในตัวทรานซิสเตอร์ ขาร่วมนี้ทำหน้าที่เป็นทั้งขาอินพุตและขาเอาต์พุต ลักษณะวงจรทำงานเบื้องต้น แสดงดังภาพที่ 2.20



(ก) วงจรทำงานเบื้องต้น (ข) วงจรทรานซิสเตอร์ทำงานเบื้องต้น

ภาพที่ 2.20 ลักษณะการจัดวงจรทำงานให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์มี 3 ขา ดังนั้นการจัดวงจรทำงานให้ตัวทรานซิสเตอร์ โดยกำหนดจากขาร่วมของทรานซิสเตอร์ สามารถแบ่งวงจรขาร่วมของทรานซิสเตอร์ได้เป็น 3 แบบดังนี้

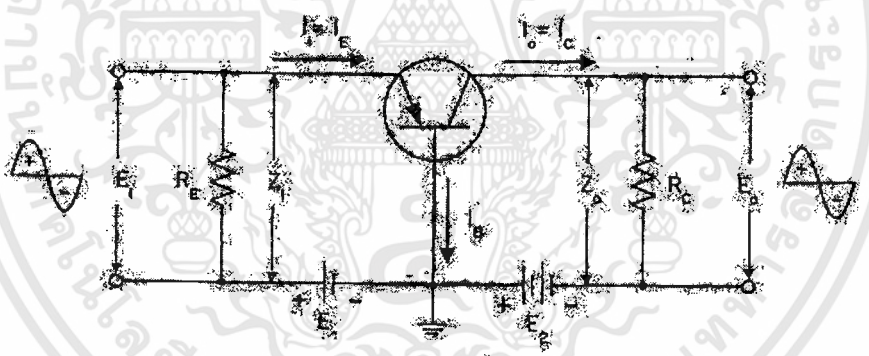
1) วงจรเบสร่วม (Common Base Circuit)

2) วงจรคอลเลกเตอร์ร่วม (Common Collector Circuit) หรืออาจเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า วงจรอิมิเตอร์ตาม (Emitter Follower Circuit)

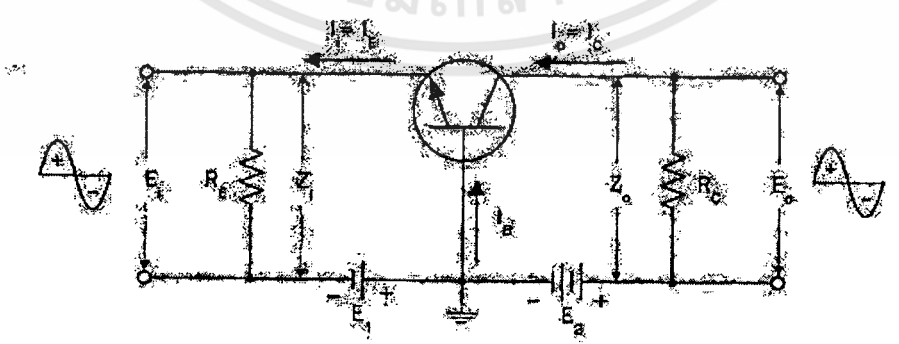
3) วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common Emitter Circuit)

2.2.13 วงจรเบสร่วม

วงจรเบสร่วมเป็นวงจรที่ขา B ถูกจัดเป็นขาร่วมระหว่างอินพุตและเอาต์พุต ส่วนอินพุตถูกป้อนเข้าที่ขา E และส่วนเอาต์พุตถูกป้อนออกที่ขา C การป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ขา E มีผลต่อกระแส I_E ไหลเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา ส่งผลให้กระแส I_C เป็นกระแสเอาต์พุตเกิดการไหลเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย กระแสที่ไหลเปลี่ยนแปลงทำให้แรงดันทางอินพุต (Output Voltage) หรือ E_0 เกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย สภาวะดังกล่าวคือสภาวะการทำงานของวงจรทรานซิสเตอร์ สัญญาณที่เกิดขึ้นทั้งทางอินพุตและทางเอาต์พุตมีความสัมพันธ์กัน ลักษณะการจัดวงจรเบสร่วมแบบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 2.21



(ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP



(ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ภาพที่ 2.21 วงจรเบสร่วมแบบพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายอักษรย่อต่าง ๆ ในวงจร

E_i = แรงดันอินพุต

E_o = แรงดันเอาต์พุต

I_E = กระแสอินพุต (Input Current)

I_o = กระแสเอาต์พุต (Output Current)

Z_i = อิมพีแดนซ์ทางอินพุต (Input Impedance)

Z_o = อิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุต (Output Impedance)

คุณสมบัติของวงจรเบสร่วมเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว การวิเคราะห์คุณสมบัติพิจารณาได้จากการจัดรูปแบบของวงจร และจากการจัดไบอัสให้วงจร สรุปได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1) อิมพีแดนซ์ทางอินพุต (Z_i) มีค่าต่ำมากประมาณ 30Ω-50Ω เพราะขาอิมิตเตอร์ (E) ของทรานซิสเตอร์ ได้รับแรงดันไบอัสตรง

2) อิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุต (Z_0) มีค่าสูงมากประมาณ 300kΩ-1MΩ เพราะที่ขาคอลเลกเตอร์ (C) ของทรานซิสเตอร์ ได้รับแรงดันไบอัสกลับ

3) สัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตมีเฟสเหมือนกัน (Inphase) คือป้อนสัญญาณอินพุตให้บวก เอาต์พุตก็ออกบวก หรือป้อนสัญญาณอินพุตให้ลบ เอาต์พุตก็ออกลบ

4) อัตราขยายกระแส (Current Gain) ใช้สัญลักษณ์ตัวแอลฟา (α) เป็นอัตราส่วนของกระแสระหว่างกระแสเอาต์พุต (I_o) กับกระแสอินพุต (I_i) มีค่าน้อยกว่า 1 คือไม่ขยายกระแส เป็นเพราะกระแส I_o ไหลน้อยกว่ากระแส I_i อัตราขยายกระแสเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$\alpha = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_C}{I_E}$$

5) อัตราขยายแรงดัน (Voltage Gain) ใช้สัญลักษณ์ A_V เป็นอัตราส่วนของแรงดันระหว่างแรงดันเอาต์พุต (E_o) กับแรงดันอินพุต (E_i) มีค่าสูงมากประมาณ 300 ถึง 1,000 เท่า อัตราขยายกระแสเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$A_V = \frac{E_o}{E_i} = \frac{I_C R_C}{I_E R_E}$$

6) อัตราขยายกำลัง (Power Gain) ใช้สัญลักษณ์ P_G เป็นอัตราขยายที่เกิดจากอัตราขยายกระแส (α) คูณกับอัตราขยายแรงดัน (A_V) มีค่าประมาณ 20dB ถึง 30dB อัตราขยายกำลังเขียนเป็นสมการได้เป็น

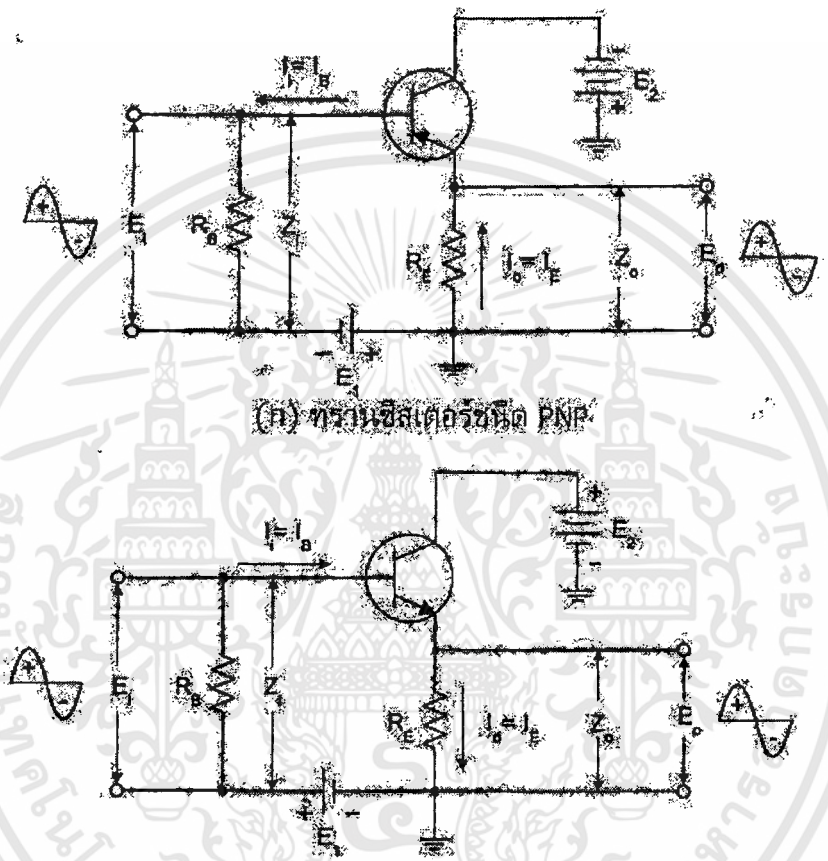
$$P_G = \alpha \times A_V$$

2.2.14 วงจรคอลเลกเตอร์ร่วม

วงจรคอลเลกเตอร์ร่วมเป็นวงจรที่ขา C ถูกจัดเป็นขาร่วมระหว่างอินพุตและเอาต์พุต ส่วนอินพุตถูกป้อนเข้าที่ขา B และส่วนเอาต์พุตถูกป้อนออกที่ขา E การป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา B ทำให้กระแส IB ไหลเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่ป้อนเข้ามา ส่งผลให้กระแส IE เป็นกระแสเอาต์พุตไหลเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย กระแสที่ไหลเปลี่ยนแปลงมีผลต่อแรงดันทั้งทางอินพุต (Ei) และทางเอาต์พุต (Eo) เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่เกิดขึ้นทั้งทางอินพุตและทางเอาต์พุตมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันลักษณะการจัดวงจรคอลเลกเตอร์ร่วมแบบพื้นฐานแสดงดังภาพที่ 2.22



(ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

(ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ภาพที่ 2.22 วงจรคอลเลกเตอร์ร่วมแบบพื้นฐาน

คุณสมบัติของวงจรคอลเลกเตอร์ร่วมเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว การวิเคราะห์คุณสมบัติพิจารณาได้จากการจัดรูปแบบของวงจรและการจัดไบอัสให้วงจร สรุปได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1) อิมพีแดนซ์ทางอินพุต (Z_i) มีค่าสูงมากรประมาณ 100kΩ-500kΩ เพราะขา B ของทรานซิสเตอร์ได้รับแรงดันไบอัสกลับเมื่อเทียบกับขา C

2) อิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุต (Z_o) มีค่าต่ำประมาณ 100Ω-1kΩ เพราะขา E ของทรานซิสเตอร์ได้รับไบอัสตรง เมื่อเทียบขา C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตมีเฟสเหมือนกัน คือป้อนสัญญาณอินพุตให้บวกเอาต์พุตก็ออกบวก หรือป้อนสัญญาณอินพุตให้ลบ เอาต์พุตก็ออกลบ

4) อัตราขยายกระแสใช้สัญลักษณ์ตัวแกมมา (γ) เป็นอัตราส่วนของกระแสระหว่างกระแสเอาต์พุต (I_o) เป็นกระแส I_E กับกระแสอินพุต (I_i) เป็นกระแส IB มีค่ามากประมาณ 20 เท่าถึง 50 เท่า เป็นเพราะกระแส Io ไหลมากกว่ากระแส Ii อัตราขยายกระแสเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$\gamma = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_E}{I_B}$$

5) อัตราขยายแรงดัน ใช้สัญลักษณ์ AV เป็นอัตราส่วนแรงดันระหว่างแรงดันเอาต์พุต (Eo) กับแรงดันอินพุต (Ei) มีค่าน้อยกว่า 1 คือไม่ขยายแรงดัน เป็นเพราะอิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุตต่ำเกิดแรงดันตกคร่อมต่ำ ส่วนอิมพีแดนซ์ทางอินพุตสูง เกิดแรงดันตกคร่อมสูง อัตราขยายแรงดันเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$A_V = \frac{E_o}{E_i} = \frac{I_E R_E}{I_B R_B}$$

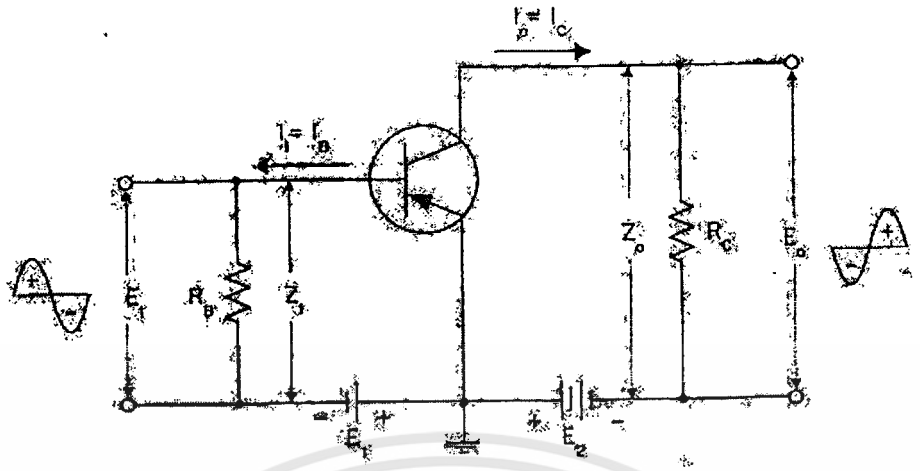
6) อัตราขยายกำลังใช้สัญลักษณ์ PG เป็นอัตราขยายที่เกิดจากอัตราขยายกระแส (γ) คูณกับอัตราขยายแรงดัน (AV) มีค่าประมาณ 15 dB ถึง 30 dB อัตราขยายกำลังเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$P_V = \gamma \times A_V$$

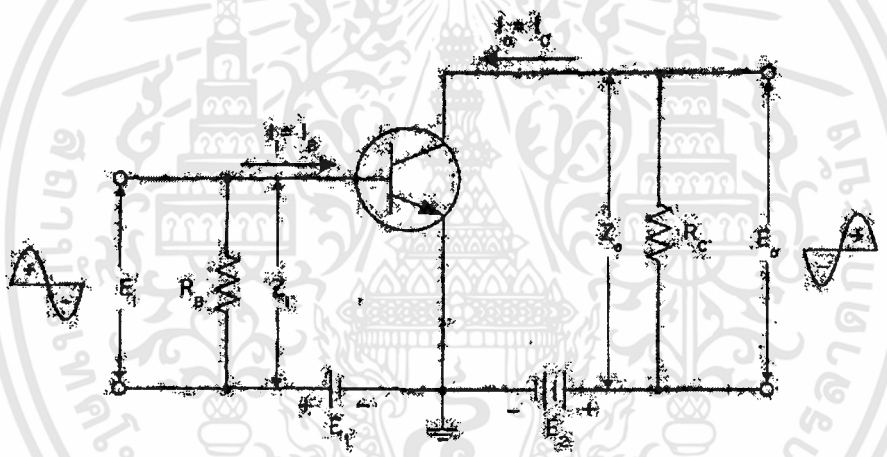
2.2.15 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม

วงจรอิมิตเตอร์ร่วมเป็นวงจรที่ขา E ถูกจัดเป็นขาร่วมระหว่างอินพุตและเอาต์พุต ส่วนอินพุตถูกป้อนเข้าที่ขา B และส่วนเอาต์พุตถูกป้อนออกที่ขา C การป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ขา B ทำให้กระแส I_B ไหลเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่ป้อนเข้ามา ส่งผลให้กระแส I_C เป็นกระแสเอาต์พุตไหลเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย กระแสที่ไหลเปลี่ยนแปลงมีผลต่อแรงดันทั้งทางอินพุตและทางเอาต์พุตมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ลักษณะการจัดวงจรอิมิตเตอร์ร่วมแบบพื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP



(ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ภาพที่ 2.23 วงจรอิมิตเตอร์ร่วมแบบพื้นฐาน

คุณสมบัติของวงจรอิมิตเตอร์ร่วมเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว การวิเคราะห์คุณสมบัติพิจารณาได้จากการจัดรูปแบบของวงจรและการจัดไบอัสให้วงจร สรุปได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1) อิมพีแดนซ์ทางอินพุต (Z_i) มีค่าต่ำประมาณ 500Ω-1kΩ เพราะขา B ของทรานซิสเตอร์ได้รับแรงดันไบอัสตรงเมื่อเทียบกับขา E

2) อิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุต (Z_o) มีค่าสูงประมาณ 50kΩ-100kΩ เพราะขา C ของทรานซิสเตอร์ได้รับแรงดันไบอัสกลับเมื่อเทียบกับขา E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สัญญาณอินพุตมีเฟสต่างจากสัญญาณเอาต์พุต 180 องศา หรือมีเฟสเป็นตรงข้าม (Out Off Phase) คือป้อนสัญญาณอินพุตให้บวก เอาต์พุตจะออกลบ หรือป้อนสัญญาณอินพุตให้ลบเอาต์พุตจะออกบวก

4) อัตราขยายกระแสใช้สัญลักษณ์ตัวเบตา (β) เป็นอัตราส่วนของกระแสระหว่างกระแสเอาต์พุต (I_o) เป็นกระแส I_C กับกระแสอินพุต (I_i) เป็นกระแส I_B มีค่าประมาณ 19 เท่า ถึง 49 เท่า เป็นเพราะกระแส I_o ไหลมากกว่ากระแส I_i อัตราขยายกระแสเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$\beta = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_C}{I_B}$$

5) อัตราขยายแรงดัน ใช้สัญลักษณ์ A_V เป็นอัตราส่วนของแรงดันระหว่างแรงดันเอาต์พุต (E_o) กับแรงดันอินพุต (E_i) มีค่าประมาณ 250 เท่า ถึง 300 เท่า เป็นเพราะอิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุตสูงเกิดแรงดันตกคร่อมสูง ส่วนอิมพีแดนซ์ทางอินพุตต่ำเกิดแรงดันตกคร่อมต่ำ อัตราขยายแรงดันเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$A_V = \frac{E_o}{E_i} = \frac{I_C R_C}{I_B R_B}$$

6) อัตราขยายกำลังใช้สัญลักษณ์ P_G เป็นอัตราขยายที่เกิดจากอัตราขยายกระแส (β) คูณกับอัตราขยายแรงดัน (A_V) มีค่าประมาณ 40dB อัตราขยายกำลังเขียนเป็นสมการได้เป็น

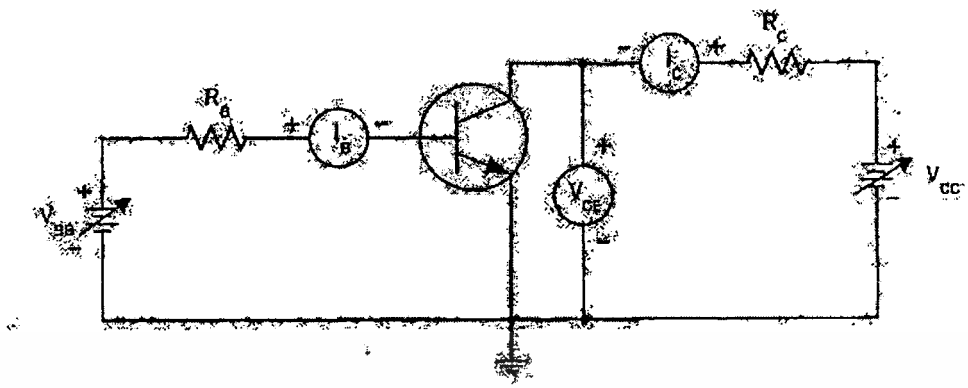
$$P_G = \beta \times A_V$$

2.2.16 กราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

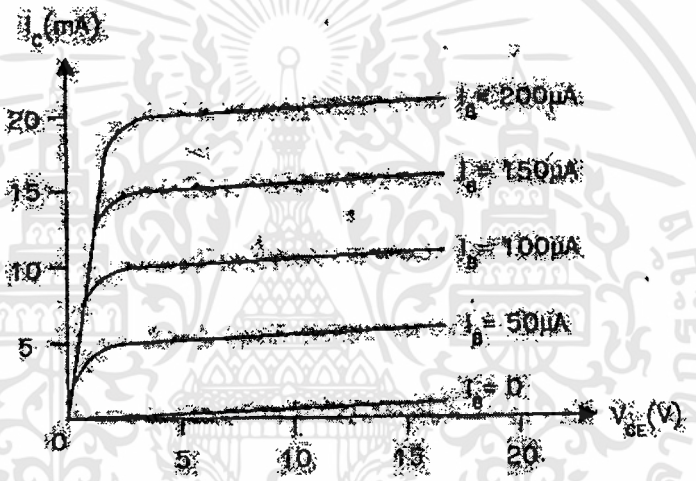
ทรานซิสเตอร์จะทำงานได้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ แรงดันไบอัสและกระแสไบอัส ค่าทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน โดยที่ค่าใดค่าหนึ่งเปลี่ยนแปลงส่งผลให้อีกค่าหนึ่งเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ทำงานมากหรือน้อย ทำได้โดยการควบคุมการจ่ายแรงดันไบอัสและกระแสไบอัสให้ตัวทรานซิสเตอร์มากหรือน้อย ผลของการทำงานดังกล่าวนี้สามารถนำค่าการเปลี่ยนแปลงทั้งแรงดันไบอัสและกระแสไบอัสไปกำหนดเป็นกราฟคุณสมบัติแสดงสภาวะการทำงานของทรานซิสเตอร์ได้

กราฟที่เขียนออกมาได้นี้ เขียนขึ้นมาจากสภาวะการทำงานของตัวทรานซิสเตอร์ที่ตำแหน่งแรงดันไบอัสและกระแสไบอัสแตกต่างกัน ทำให้ได้เส้นกราฟที่ตำแหน่งต่าง ๆ ออกมา ดังนั้นในการวิเคราะห์การทำงานของตัวทรานซิสเตอร์ในการหาค่าตำแหน่งการทำงาน ในการหาจุดทำงาน ตลอดจนเลือกตำแหน่งและจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ สามารถพิจารณาได้จากกราฟคุณสมบัติ ช่วยให้เกิดความสะดวกในการทำงานและการใช้งานตัวทรานซิสเตอร์ วงจรทดลองเพื่อหากราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ และกราฟคุณสมบัติที่ได้ แสดงดังภาพที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรทดลองหาคุณสมบัติ



(ข) กราฟคุณสมบัติ

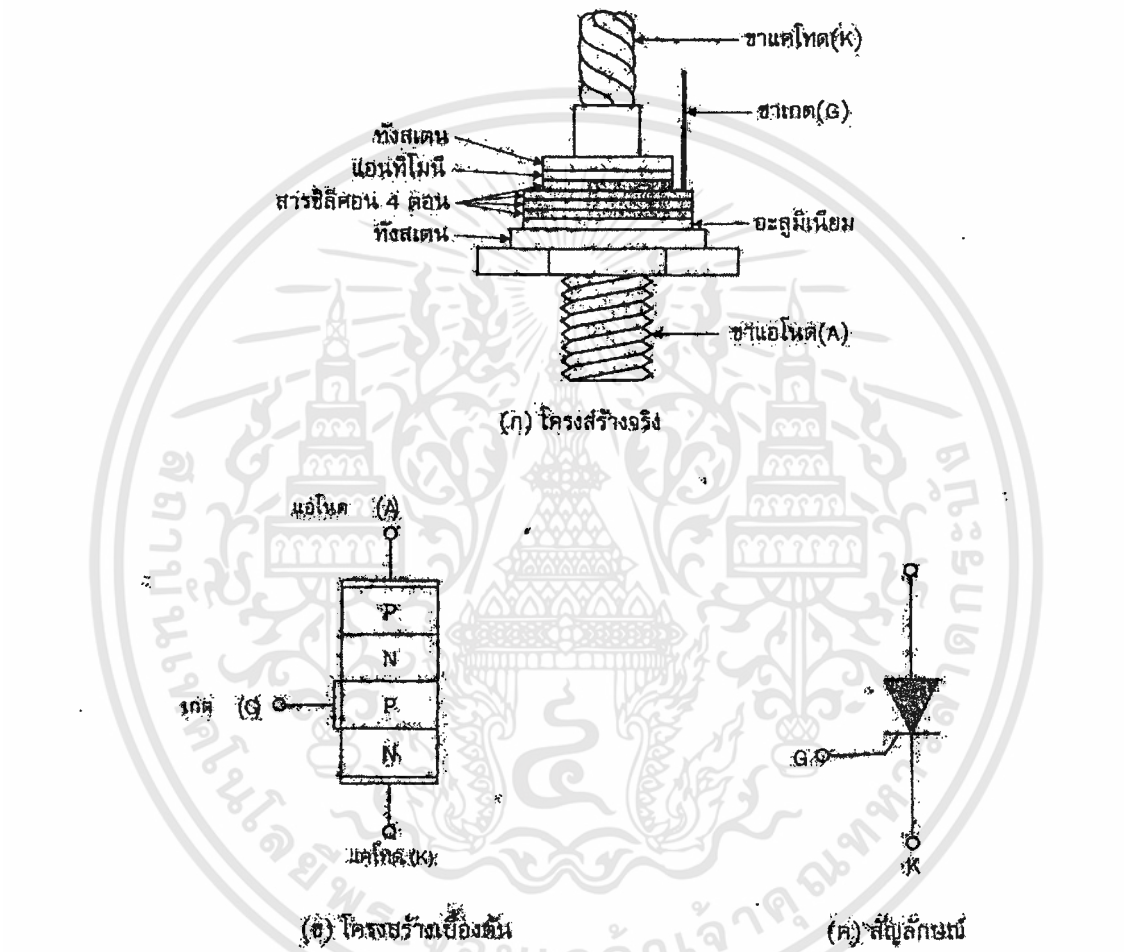
ภาพที่ 2.24 กราฟคุณสมบัติของ NPN ทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม

จากภาพที่ 2.24(ก) เป็นวงจรทดลองหากราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN แบบวงจรอิมิตเตอร์ร่วม การหาทำได้โดยปรับแหล่งจ่ายแรงดัน V_{BB} ให้มีกระแส I_B ไหลคงที่ค่าหนึ่งเช่น I_B = 50μA และทำการปรับเปลี่ยนค่าแหล่งจ่ายแรงดัน V_{CC} จากน้อยไปหามากทำให้ได้แรงดัน V_{CE} เปลี่ยนแปลงค่าจากน้อยไปหามากเช่นเดียวกัน มีผลต่อค่ากระแส I_C ไหลในวงจร ค่ากระแส I_C จะไหลเพิ่มขึ้นตามค่ากระแส I_B แต่ละค่า ค่ากระแส I_B น้อยกระแส I_C ก็ไหลน้อย ค่ากระแส I_B มากกระแส I_C ก็ไหลมาก การเปลี่ยนระดับกระแส I_B คงที่หลายค่า ก็จะได้เส้นกราฟออกมาหลายเส้น แสดงได้ดังภาพที่ 2.24(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.17 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SCR

SCR ถูกผลิตขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิคอน (Si) มีสารกึ่งตัวนำต่อชนกันเป็นชั้น ๆ รวม 4 ชั้น แต่ละชั้นถูกต่อชนด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N เรียงสลับกันไปชนิดละ 2 ชั้น ขาต่อออกมาใช้งานของ SCR มี 3 ขาคือขาแอโนด (Anode) ขาแคโทด (Cathode) และขาเกต (Gate) โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SCR แสดงดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.25 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SCR

จากภาพที่ 2.25(ก) แสดงโครงสร้างจริงของ SCR ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 4 ตอน PNPN ต่อชนกัน ตอนบนสุดของสารกึ่งตัวนำเป็นชนิด N ต่อออกมาเป็นขาแคโทด (K) ตอนที่สองของสารกึ่งตัวนำเป็นชนิด P ต่อออกมาเป็นขาเกต (G) และตอนล่างสุดของสารกึ่งตัวนำเป็นชนิด P ต่อออกมาเป็นขาแอโนด (A) โครงสร้าง SCR แบบนี้เป็นแบบออลอย ดิฟฟิวส์ (Alloy-Diffused) วิธีการผลิตใช้ธาตุเจือปนเคลือบที่ผิวของธาตุเดิม ให้ความร้อนผ่านเข้าไป จะเกิดการเปลี่ยนสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

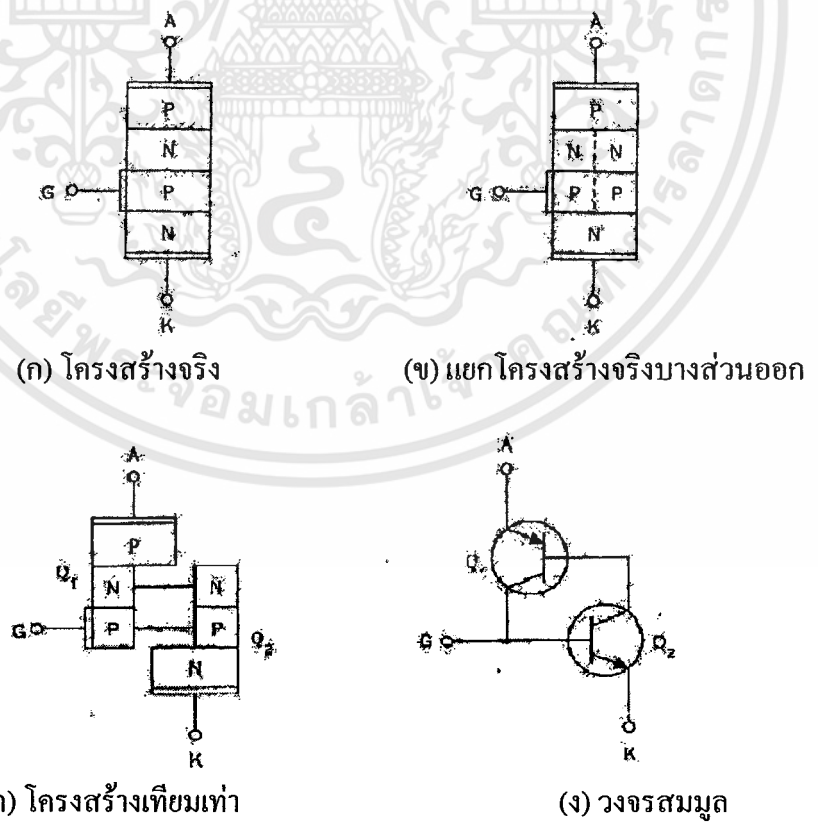
ของสารกึ่งตัวนำเป็นสารชนิด N และสารชนิด P ขึ้นมา ผลิตจนครบสารกึ่งตัวนำ 4 ตอน นำไปต่อเชื่อมขาออกมาใช้งาน

ในภาพที่ 2.25(ข) แสดงโครงสร้างเบื้องต้นของ SCR ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 4 ตอน PNPN ต่อชนกัน ต่อขาออกมาใช้งาน 3 ขาคือ ขาแอโนด (A) ต่อออกมาจากสารชนิด P ตอนนอก ขาแคโทด (K) ต่อออกมาจากสารชนิด N ตอนนอก และขาเกต (G) ต่อออกมาจากสารชนิด P ตอนใน

และภาพที่ 2.25(ค) แสดงสัญลักษณ์ของ SCR มีด้านสามเหลี่ยมต่อขาออกมาเป็นแอโนด (A) ด้านขีดต่อขาออกมาเป็นขาแคโทด (K) ส่วนขาเกต (G) ต่อออกมาจากด้านข้างขีดของขาแคโทด (K) สัญลักษณ์ของ SCR มีลักษณะคล้ายสัญลักษณ์ของไดโอด ทำหน้าที่เป็นตัวเรียงกระแสได้แปลงไฟสลับเป็นไฟตรงเหมือนไดโอด และมีขาเกต (G) เป็นขาควบคุมการทำงานของ SCR

2.2.18 วงจรสมมูลของ SCR

โครงสร้างจริงของ SCR ในลักษณะเบื้องต้น ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ต่อชนกัน 4 ตอน การพิจารณาหลักการทำงานของ SCR ตามโครงสร้างจริง สามารถทำความเข้าใจได้ยากและการอธิบายหลักการทำงานของตัว SCR ก็ทำได้ยากเช่นกัน เพื่อให้การอธิบายการทำงานและการทำความเข้าใจทำได้ง่ายขึ้น มักเขียนโครงสร้างเบื้องต้นของ SCR เป็นโครงสร้างเทียบเท่าและวงจรสมมูล ลักษณะโครงสร้างเทียบเท่าและวงจรสมมูลของ SCR แสดงดังภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.26 โครงสร้างเทียบเท่าและวงจรสมมูลของ SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.26 แสดงโครงสร้างเทียบเท่าและวงจรสมมูลของ SCR โดยเสมือนตัดสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ตอนในออกเป็น 2 ส่วน แยกการต่อสารกึ่งตัวนำเป็นตัวละ 3 ตอน ได้ 2 ตัว เหมือนเป็นทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่ออยู่ด้วยกัน ดังภาพที่ 2.26ค มี Q_1 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มี Q_2 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต่อวงจรร่วมกันดังภาพที่ 2.26ง ดังนี้ สารชนิด P ตอนนอกเป็นขาอิมิตเตอร์ (E) ของ Q_1 ต่อออกมาเป็นขาแอโนด (A) ขาเบส (B) ของ Q_1 ต่อร่วมกับขาคอลเลกเตอร์ (C) ของ Q_2 เป็นสารชนิด N ทั้งคู่ ขาของคอลเลกเตอร์ของ Q_1 ต่อร่วมขาเบสของ Q_2 เป็นสารชนิด P ทั้งคู่ต่อออกมาเป็นขาเกต (G) และสารชนิด N ตอนนอก เป็นขาอิมิตเตอร์ของ Q_2 ต่อออกมาเป็นขาแคโทด (K) ลักษณะโครงสร้างของ SCR เมื่อมองในรูปวงจรสมมูลเป็นทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อวงจรร่วมกัน สามารถอธิบายหลักการทำงานได้ชัดเจน และทำความใจได้ง่ายขึ้น

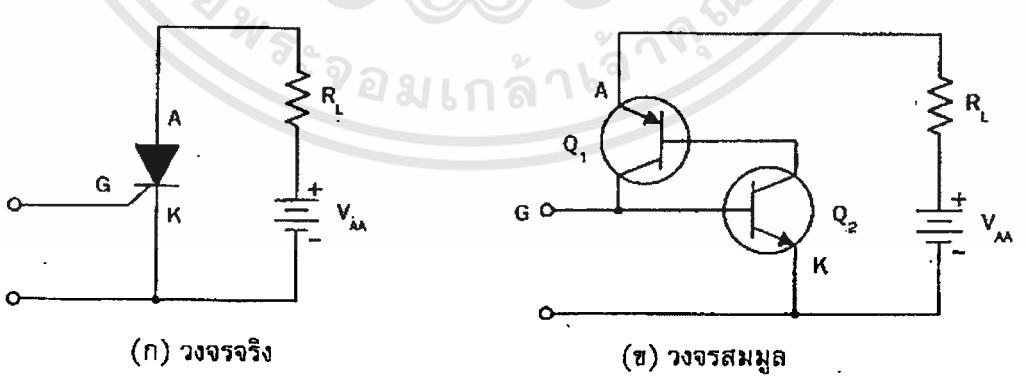
2.2.19 การจ่ายแรงดันให้ SCR ทำงาน

การพิจารณาการทำงานของ SCR ต้องพิจารณาจากการทำงานของวงจรเทียบเท่าของ SCR ที่อยู่ในรูปทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อวงจรร่วมกัน สามารถมองเห็นสภาวะการทำงานได้ชัดเจน ด้วยการใช้หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์ และหลักการจ่ายแรงดันไบอัสที่ถูกต้องตามที่ SCR ต้องการ

แรงดันไบอัสที่ SCR ต้องการคือ ต้องจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้ทุกขาของตัว SCR ดังนี้ ขา A จ่ายศักย์บวก (+) ให้ ขา K จ่ายศักย์ลบ (-) ให้ และขา G จ่ายศักย์บวก (+) เทียบกับขา K สภาวะการทำงานของ SCR อธิบายเป็นลำดับขั้นได้ดังนี้

1. สภาวะไม่นำกระแสของ SCR

กรณีที่จ่ายแรงดันไบอัสให้ตัว SCR เฉพาะขา A กับขา K โดยขา G เปิดลอยไว้หรือต่อลงกราวด์ตัว SCR จะไม่นำกระแส ลักษณะวงจรไบอัสแสดงดังภาพที่ 2.27



ภาพที่ 2.27 การจ่ายไบอัสเฉพาะขา A และขา K ทำให้ SCR ไม่นำกระแส

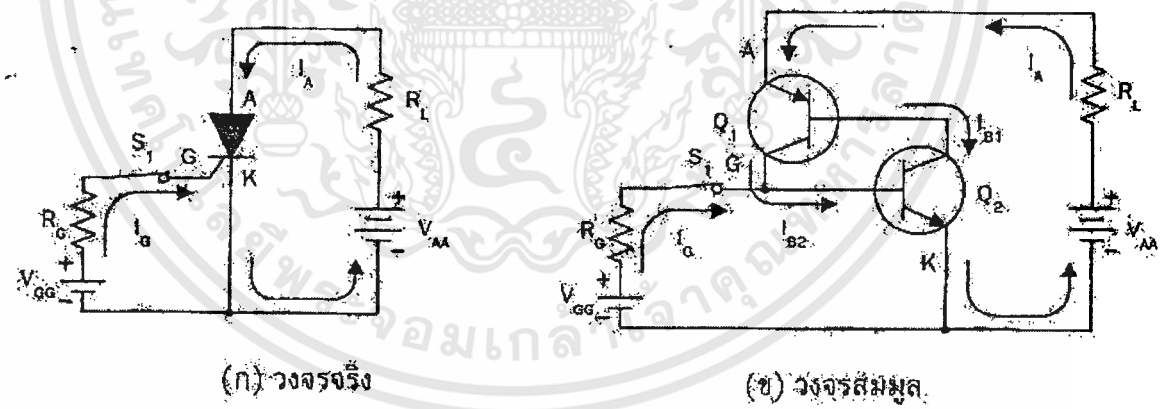
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.27 แสดงการจ่ายแรงดันไบอัสให้เฉพาะขา A และขา K ส่วนขา G เปิดลอยไว้ ทำให้ SCR ไม่นำกระแส เพราะการที่ขา G เปิดลอยนั้น ทำให้ไบอัสจ่ายให้ตัว SCR ไม่ครบ เปรียบเสมือนกับการจ่ายไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ไม่ครบ พิจารณาภาพที่ 2.27ข พบว่าขา B ของ Q_2 เปิดลอยไม่มีไบอัสจ่ายให้ Q_2 ไม่นำกระแส ไม่มีแรงดันไบอัสจ่ายไปให้ขา B ของ Q_1 ทำให้ Q_1 ไม่นำกระแสด้วย SCR ไม่นำกระแส ไม่มีกระแสไหลในวงจร

การจ่ายไบอัสตรงเฉพาะขา A และขา K โดยที่ขา G เปิดลอยไว้นั้น ตัว SCR มีโอกาสนำกระแสได้การทำให้ SCR นำกระแสโดยวิธีนี้ต้องปรับเพิ่มแรงดันไบอัสให้ขา A และ K ของ SCR มาก ๆ แรงดันไบอัสเมื่อเพิ่มขึ้นถึงจุด ๆ หนึ่ง SCR จะยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมัน กระแสที่ไหลผ่านตัว SCR มีปริมาณสูงมาก หากปริมาณกระแสที่ไหลผ่านนี้มากเกินกว่าค่าทนกระแสได้ของตัว SCR ทำให้ SCR เกิดการชำรุดเสียหายทันที การจ่ายไบอัสให้ SCR ทำงานวิธีนี้มีอันตราย ไม่นิยมใช้งาน มีวิธีจ่ายแรงดันไบอัสที่ดีและปลอดภัย สามารถทำให้ SCR ทำงานได้อย่างปลอดภัย โดยการจ่ายแรงดันไบอัสตรงเพิ่มให้ขา G ของ SCR

2. สภาวะนำกระแสของ SCR

ตัว SCR สามารถนำกระแสได้เมื่อจ่ายแรงดันไบอัสให้ครบขา และมีค่าแรงดันไบอัสถูกต้องไบอัสตรงที่จ่ายให้ SCR มี 2 ส่วนด้วยกันคือ แรงดันไบอัสตรงจ่ายให้ขา A และขา K เรียกว่าแรงดัน V_{AA} โดยจ่ายบวก (+) ให้ขา A จ่ายลบ (-) ให้ขา K อีกส่วนหนึ่งเรียกว่าแรงดัน V_{GG} โดยจ่ายบวก (+) ให้ขา G จ่ายลบ (-) ให้ขา K ลักษณะวงจรไบอัสแสดงดังภาพที่ 2.28



(ก) วงจรจริง (ข) วงจรสมมูล

ภาพที่ 2.28 การจ่ายไบอัสตรงให้ครบทุกขา ทำให้ SCR นำกระแส

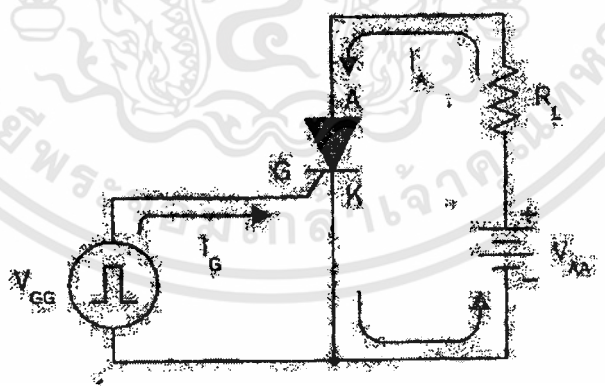
จากภาพที่ 2.28 แสดงการจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้ครบทุกขา ทำให้ SCR นำกระแสได้ การทำงานของวงจรอธิบายได้จากภาพที่ 2.28ข ดังนี้ เมื่อจ่ายแรงดัน V_{AA} ให้ขา A เป็นบวก (+) ให้ขา K เป็นลบ (-) และจ่ายแรงดัน V_{GG} ให้ขา G เป็น (+) เทียบกับขา K เกิดกระแสเกต (I_G) ไหล และกระแสแอโนด (I_A) ไหลคือ SCR นำกระแส เพราะการจ่ายแรงดันบวกให้ขา G ของ SCR เป็นการจ่ายไบอัสตรงให้ขา B ของ Q_2 ทรานซิสเตอร์ของ Q_2 นำกระแส ความต้านทานระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยต่อขา C และขา E ของ Q_1 ต่ำลง มีแรงดันลบ (-) จาก V_{AA} จ่ายผ่านไปให้ขา B ของ Q_1 ทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแสเช่นเดียวกัน ความต้านทานระหว่างรอยต่อขา C และขา E ของ Q_1 ต่ำลง มีแรงดันบวก (+) จาก V_{AA} จ่ายผ่านไปให้ขา B ของ Q_2 เกิดกระแส I_{B1} และ I_{B2} ไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 คือมีกระแส I_A ไหลผ่านตัว SCR กระแส I_A นี้จะถูกจำกัดค่าโดยความต้านทาน R_L ขณะตัว SCR นำกระแส ค่าความต้านทานภายในตัว SCR ต่ำมาก เหมือนสวิตช์ที่ต่อวงจร (ON)

SCR เมื่อนำกระแสแล้วคือ ตัวทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 นำกระแส ทำให้ค่าความต้านทานในตัวทานซิสเตอร์ทั้งสองลดต่ำลงมา แรงดันลบ (-) จาก V_{AA} สามารถจ่ายผ่านไปให้ขา B ของ Q_1 ได้และแรงดันบวก (+) จาก V_{AA} สามารถจ่ายผ่านไปให้ขา B ของ Q_2 ได้ ดังนั้นขาเบส B ของ Q_1 มีแรงดันลบ (-) จ่ายให้ตลอดเวลา และขา B ของ Q_2 มีแรงดันบวก (+) จ่ายให้ตลอดเวลา ทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้ง Q_1 และ Q_2 นำกระแสได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งแรงดันไบอัสของ V_{GG} ที่จ่ายให้ขา G อีกจึงสามารถตัดแรงดันไบอัสที่จ่ายให้ขา G ออกได้

แรงดันไบอัสตรงที่จ่ายให้ขา G ของ SCR ไม่จำเป็นต้องจ่ายค้างไว้ตลอดเวลา จ่ายเพียงชั่วขณะเพื่อทำให้ SCR นำกระแสเท่านั้น เมื่อ SCR นำกระแสแล้วสามารถตัดแรงดัน V_{GG} ที่จ่ายให้ขา G ออกได้ SCR ที่นำกระแสอยู่แล้วยังคงนำกระแสได้ต่อไปเป็นปกติ แรงดันไบอัสตรง V_{GG} ที่จ่ายให้ขา G ของ SCR มีชื่อเรียกว่าแรงดันกระตุ้น (Trigger Voltage) แรงดันกระตุ้นที่ขา G อาจอยู่ในรูปแรงดันไฟกระแสตรง หรือแรงดันพัลส์ (Pulse Voltage) ก็ได้ การใช้แรงดันพัลส์กระตุ้นวงจร SCR แสดงดังภาพที่ 2.29



ภาพที่ 2.29 การจ่ายแรงดันพัลส์กระตุ้นขา G ให้ SCR ทำงาน

3. การควบคุมให้ SCR หยุดทำงาน

การนำ SCR ไปใช้งานกับแรงดันไฟกระแสตรงทางขา A และขา K เมื่อมีแรงดันไบอัสตรงกระตุ้นที่ขา G มีผลทำให้ SCR นำกระแส เกิดกระแส I_A ไหลในวงจร SCR ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้จะตัดแรงดันไบอัสตรงกระตุ้นขา G ออกแล้วก็ตาม SCR ยังคงนำกระแสอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ตามคุณสมบัติในการทำงานของตัว SCR ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.2.17 การทำให้ SCR ที่นำกระแสอยู่หยุดนำกระแสทำได้ 2 วิธีการดังนี้

1) ตัดแหล่งจ่ายแรงดันไฟกระแสตรง V_{AA} ที่ป้อนให้ขา A และขา K ออกจากวงจรชั่วขณะ

2) ลดกระแสที่ไหลผ่านขา A และขา K ของ SCR ให้ต่ำกว่าค่ากระแสโฮลดิ้ง (Holding Current) กระแสโฮลดิ้ง (I_H) คือค่ากระแสต่ำสุดที่ไหลผ่านตัว SCR แล้วยังคงทำให้ SCR นำกระแสอยู่ได้

การทำให้ SCR ที่นำกระแสอยู่หยุดนำกระแสด้วยหลักการ 2 วิธีหยุดนำกระแสของ SCR ดังกล่าวมา สามารถสร้างวงจรควบคุมด้วยหลักการควบคุม 2 ลักษณะคือ ใช้การขัดขวางกระแสแอโนด (Anode Current Interruption) และใช้พลังงานมาเปลี่ยนทิศทางกระแสไฟฟ้า (Forced Commutation)

4. วิธีการขัดขวางกระแสแอโนด

วิธีการขัดขวางกระแสแอโนดทำได้โดยต่อเพิ่มสวิตช์ เข้าวงจรที่ขา A และขา K ของ SCR โดยต่อสวิตช์แบบอนุกรมหรือแบบขนาน ลักษณะวงจรแสดงดังภาพที่ 2.30

(ก) สวิตช์ต่ออนุกรมเพื่อตัดแหล่งจ่าย (ข) สวิตช์ต่อขนานเพื่อลดกระแสไหลผ่าน SCR

ภาพที่ 2.30 การทำให้ SCR หยุดนำกระแสด้วยวิธีการขัดขวางกระแสแอโนด

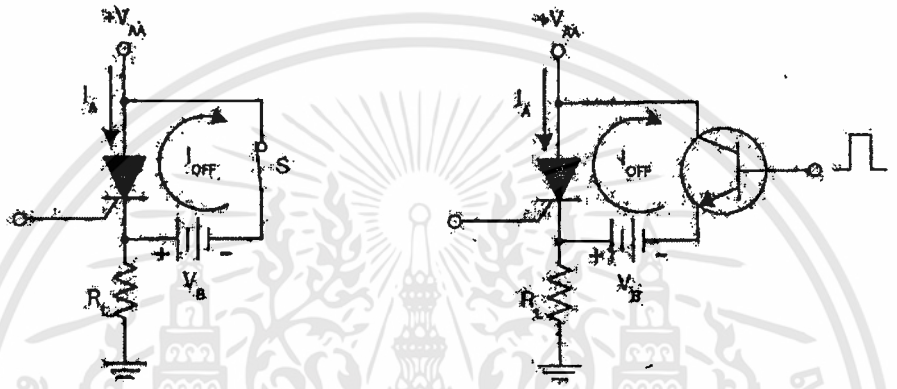
จากภาพที่ 2.30ก แสดงการทำให้ SCR หยุดนำกระแสด้วยการตัดแหล่งจ่าย V_{AA} ออกจากวงจรโดยใช้สวิตช์ S ทำให้กระแสแอโนด (I_A) ไหลผ่าน SCR เป็นศูนย์ ($I_A = 0$) SCR หยุดนำกระแสทันที ส่วนภาพที่ 2.30ข แสดงการทำให้ SCR หยุดนำกระแสด้วยการลดขนาดกระแสไหลผ่าน SCR ให้ต่ำกว่าค่ากระแสโฮลดิ้ง ($I_A < I_H$) เมื่อต่อสวิตช์ S กระแสส่วนมากจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลผ่านสวิตช์ S ลงกราวด์ กระแสไหลผ่าน SCR จึงลดลงต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง (I_H) SCR หยุดนำกระแสทันที

5. วิธีใช้พลังงานมาเปลี่ยนทิศทางกระแสไฟฟ้า

วิธีใช้พลังงานมาเปลี่ยนทิศทางกระแสไฟฟ้าทำได้โดยต่อเพิ่มสวิตช์และแบตเตอรี่หรือทรานซิสเตอร์และแบตเตอรี่คร่อมขนานขา A และขา K ของ SCR โดยแบตเตอรี่ต่ออนุกรมกับสวิตช์หรือทรานซิสเตอร์ในลักษณะจ่ายเป็นไบอัสกลับให้ SCR เพื่อให้เกิดกระแสไหลสวนทางกับกระแสแอโนด (I_A) ชั่วขณะ ลักษณะวงจรแสดงดังภาพที่ 2.31



(ก)ใช้สวิตช์ต่อแรงดันไบอัสกลับให้ SCR (ข)ใช้ทรานซิสเตอร์ต่อแรงดันไบอัสกลับให้ SCR

ภาพที่ 2.31 การทำให้ SCR หยุดนำกระแสด้วยวิธีใช้พลังงานมาเปลี่ยนทิศทางกระแสไฟฟ้า

จากภาพที่ 2.31 แสดงการทำให้ SCR หยุดนำกระแสด้วยวิธีใช้พลังงานมาเปลี่ยนทิศทางกระแสไฟฟ้า โดยต่อเพิ่มแบตเตอรี่ (V_B) เข้าวงจรอีกชุดหนึ่ง จ่ายแรงดันให้ขา A และขา K ของ SCR เป็นไบอัสกลับร่วมกับสวิตช์ S (ภาพที่ 2.31ก) หรือต่อร่วมกับทรานซิสเตอร์ (ภาพที่ 2.31 ข) เมื่อต่อสวิตช์ S หรือจ่ายพัลส์บวก (+) กระตุ้นขา B ของทรานซิสเตอร์ ทำให้เกิดกระแสไหลย้อนกลับ (I_{OFF}) ไหลสวนทางกับกระแสแอโนด มีผลทำให้กระแสแอโนด ไหลน้อยลงจน SCR หยุดนำกระแสช่วงเวลาที่ SCR หยุดนำกระแสประมาณ 5-30 μs

นอกจากวิธีการดังกล่าวมาในข้อ 1 และข้อ 2 แล้ว จะไม่สามารถทำให้ SCR ที่นำกระแสอยู่แล้วหยุดนำกระแสได้ เช่น ลัดวงจรขา G ลงกราวด์ จ่ายแรงดันลบ (-) ให้ขา G เทียบกับขา K เป็นต้นและเมื่อ SCR หยุดนำกระแสแล้ว ถึงแม้จะจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้ขา A และขา K ของ SCR อีก SCR ก็ยังคงหยุดนำกระแสเช่นเดิม จนกว่าจะมีแรงดันบวก (+) มากระตุ้นที่ขา G ของ SCR อีกครั้ง SCR จึงนำกระแส

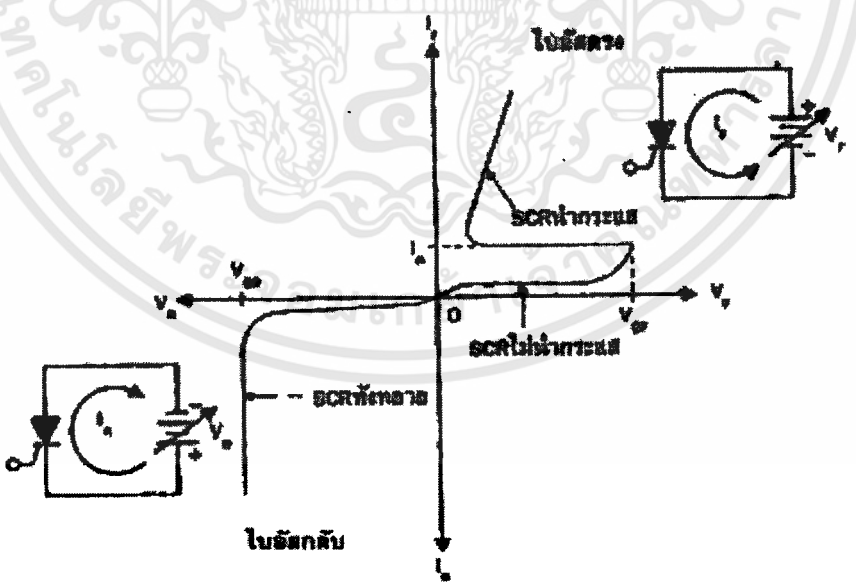
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.20 กราฟคุณสมบัติของ SCR

SCR จัดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) ชนิดหนึ่ง นำไปใช้งานร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ และอุปกรณ์อื่น ๆ ได้อย่างกว้างขวางมากมาย ทำให้ SCR ถูกพัฒนาเรื่อยมาทั้งด้านประสิทธิภาพที่สูงขึ้น การทำงานที่รวดเร็ว มีความผิดพลาดต่ำ ใช้งานได้ทั้งแรงดันและกระแสสูงมากขึ้น การใช้งานในด้านอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม (Industrial Electronics) SCR ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัวหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการทำงาน

ในการทดสอบการทำงานของ SCR นั้นจะพบว่าตัว SCR ต้องมีแรงดันไบอัสจ่ายให้ถูกต้องตามความต้องการ SCR จึงสามารถนำกระแสได้ แต่ตามความเป็นจริงนั้นตัว SCR สามารถนำกระแสได้ถึงแม้การจ่ายแรงดันไบอัสจะไม่ถูกต้อง หรือไม่ครบตามความต้องการของตัว SCR เพราะ SCR เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการทำงานคล้ายกับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดอื่น ๆ ที่ขณะใช้งานต้องมีกระแสรั่วไหล (Leakage Current) ต้องมีการพังทลาย (Breakdown) และในสภาวะการจ่ายแรงดันให้แตกต่างกัน ตัว SCR มีการทำงานที่ไม่เท่ากัน ทั้งหมดดังกล่าวนี้สามารถมองเห็นสภาวะการทำงานของตัว SCR ได้ด้วยกราฟคุณสมบัติแสดงสภาวะการทำงานที่จุดต่าง ๆ ของ SCR กราฟคุณสมบัติของ SCR แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ ลักษณะแรกกราฟแสดงสภาวะการทำงานของ SCR ขณะเปิดขาเกตลอยไว้ ลักษณะที่สอง กราฟแสดงสภาวะการทำงานของ SCR ด้วยการควบคุมแรงดันที่ขาเกต

1. กราฟคุณสมบัติของ SCR ขณะเปิดขาเกตลอยไว้



ภาพที่ 2.32 กราฟคุณสมบัติของ SCR ขณะที่เปิดขาเกตลอยไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

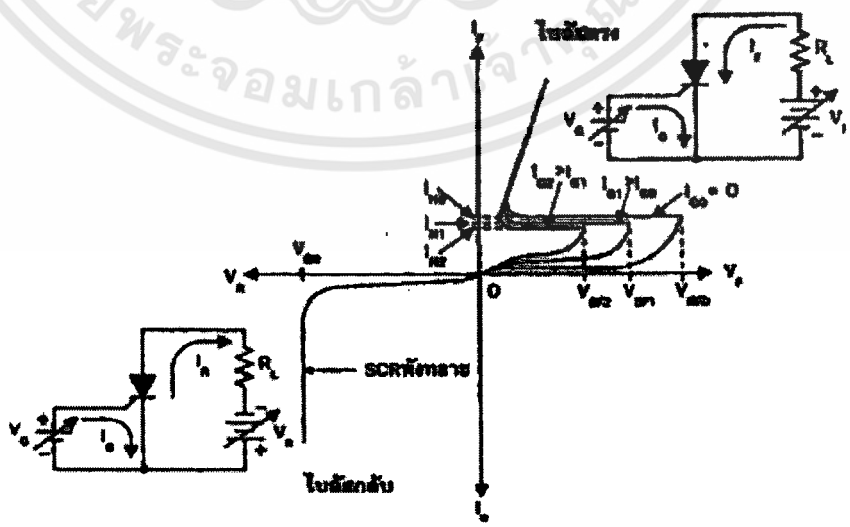
จากภาพที่ 2.32 เป็นกราฟคุณสมบัติของ SCR ขณะที่เปิดขาเกตลอยไว้ กราฟคุณสมบัติแสดงสภาวะการทำงานของ SCR เป็น 2 ย่านคือย่านไบอัสตรง และย่านไบอัสกลับ แต่ละย่านมีการทำงานแตกต่างกันอธิบายาการทำงานได้ดังนี้

กราฟย่านไบอัสตรง แรงดันไบอัสที่จ่ายให้ขา A และขา K เป็นแรงดันไบอัสตรง คือจ่ายบวกให้ขา A จ่ายลบให้ขา K ครั้งแรกจ่ายแรงดันให้ค่าต่ำ ๆ SCR ยังไม่นำกระแส มีเพียงกระแสรั่วไหลไหลผ่านตัว SCR เพียงเล็กน้อย เมื่อค่อย ๆ ปรับแรงดันให้ขา A และขา K ของ SCR เพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ กระแสรั่วไหลจะไหลผ่าน SCR ค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ขณะที่เพิ่มแรงดันให้ถึงค่า ๆ หนึ่ง กระแสรั่วไหลมีค่าเพิ่มขึ้นถึงค่ากระแสโฮลดิ้ง (I_H) ทำให้ SCR นำกระแส ค่าความต้านทานในตัว SCR ต่ำลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีกระแสไหลผ่านตัว SCR สูงขึ้นทันทีอย่างรวดเร็ว ถ้าไม่สามารถจำกัดค่ากระแสที่ไหลผ่านตัว SCR ได้ กระแสไหลผ่านตัว SCR เกินกว่าค่าทนกระแสสูงสุดของตัว SCR ตัวนั้น SCR จะชำรุดเสียหายทันที

กราฟย่านไบอัสกลับ แรงดันไบอัสที่จ่ายให้ขา A และขา K เป็นแรงดันไบอัสกลับ คือจ่ายลบให้ขา A จ่ายบวกให้ขา K ครั้งแรกจ่ายแรงดันให้ค่าต่ำ ๆ SCR ยังไม่นำกระแส มีเพียงกระแสรั่วไหลจำนวนน้อย ๆ ไหลผ่านตัว SCR เมื่อค่อย ๆ ปรับแรงดันให้ขา A และขา K ของ SCR เพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ก็ยังคงมีกระแสรั่วไหลจำนวนน้อย ๆ ไหลผ่านตัว SCR เช่นเดิม เมื่อปรับแรงดันไบอัสกลับให้มากกว่าค่าสูงสุดที่ SCR ตัวนั้นทนได้ (V_{BR}) SCR จะลัดวงจรทันทีเกิดกระแสไหลผ่านตัว SCR สูงมาก SCR ชำรุดเสียหาย

การใช้วิธีการนี้ควบคุมให้ SCR ทำงานในย่านจ่ายแรงดันไบอัสตรง มีความเสี่ยงต่อการชำรุดเสียหายของตัว SCR และต้องใช้แรงดันไบอัสที่สูงมาก ซึ่งอาจส่งผลให้อุปกรณ์ที่ต่อร่วมในวงจรชำรุดเสียหายตามไปด้วย วิธีนี้จึงไม่นิยมใช้งาน

2. กราฟคุณสมบัติของ SCR ขณะควบคุมแรงดันที่ขาเกต



ภาพที่ 2.33 กราฟคุณสมบัติของ SCR ขณะควบคุมแรงดันที่ขาเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.33 เป็นกราฟคุณสมบัติของ SCR ขณะควบคุมแรงดันที่ขาเกต (G) กราฟคุณสมบัติแสดงสภาวะการทำงานของ SCR เป็น 2 ย่านคือ ย่านไบอัสตรง และย่านไบอัสกลับ แต่ละย่านมีการทำงานแตกต่างกันอธิบายการทำงานได้ดังนี้

กราฟย่านไบอัสตรง เป็นการจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้ครบขาทุกขาของ SCR คือ จ่ายบวกให้ขา A จ่ายลบให้ขา K และจ่ายแรงดันกระตุ้นเป็นบวกให้ขา G กราฟเส้นนอกสุดที่ $I_{GO} = 0$ เป็นกราฟเส้นที่ได้จากการงดจ่ายแรงดันกระตุ้นเป็นบวกให้ขา G ไม่มีกระแสเกตไหล ($I_{GO} = 0$) การนำกระแสของ SCR ในกราฟเส้นนี้เหมือนกับกราฟช่วงไบอัสตรงของรูปที่ 1.1 คือ ต้องปรับเพิ่มแรงดันจ่ายให้ขา A และขา K ของ SCR สูงขึ้นถึงค่าแรงดันเบรกโอเวอร์ไบอัสตรง (Forward Breakover Voltage) หรือ V_{BF} ที่ตำแหน่ง V_{BFO} ต้องจ่ายแรงดันไบอัสให้ตัว SCR ถึงค่ากระแสโฮลดิ้ง (I_H) ตัว SCR จึงนำกระแส ทันทีที่ SCR นำกระแสจะต้องควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัว SCR ไม่ให้เกินค่ากระแสสูงสุดที่ SCR ทนได้ มิเช่นนั้น SCR จะชำรุดเสียหายทันที เมื่อเริ่มจ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G ของ SCR ทำให้มีกระแส I_{G1} หรือ I_{G2} ไหล SCR สามารถนำกระแสได้ถึงค่ากระแสโฮลดิ้งทันที โดยไม่จำเป็นต้องจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้ขา A และขา K ของ SCR ถึงค่าแรงดัน V_{BFO} อาจจ่ายแรงดันเพียงเล็กน้อยก็ได้เช่นที่ V_{BF1} V_{BF2} วิธีนี้สามารถจำกัดกระแสที่ไหลผ่าน SCR ได้ไม่เกินค่ากระแสสูงสุดที่ SCR ทนได้ SCR ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่ชำรุดเสียหาย

กราฟย่านไบอัสกลับ เป็นการจ่ายแรงดันไบอัสกลับให้ขา A และขา K ของ SCR คือจ่ายลบให้ขา A จ่ายบวกให้ขา K ส่วนขา G ยังคงจ่ายแรงดันกระตุ้นเป็นบวกให้คงเดิม SCR ไม่นำกระแสมีเพียงกระแสรั่วไหลไหลผ่าน SCR ไม่ว่าจะเพิ่มแรงดันให้ขา A และขา K มากขึ้นเท่าไรก็ตามก็มีเพียงกระแสรั่วไหลไหลผ่าน SCR เล็กน้อยตามเดิม หากเพิ่มแรงดันกลับที่ขา A และขา K ถึงค่าแรงดันพังไบอัสกลับ (Reverse Breakdown Voltage) หรือ V_{BR} ของ SCR ตัวนั้น SCR จะลัดวงจรชำรุดเสียหายทันที

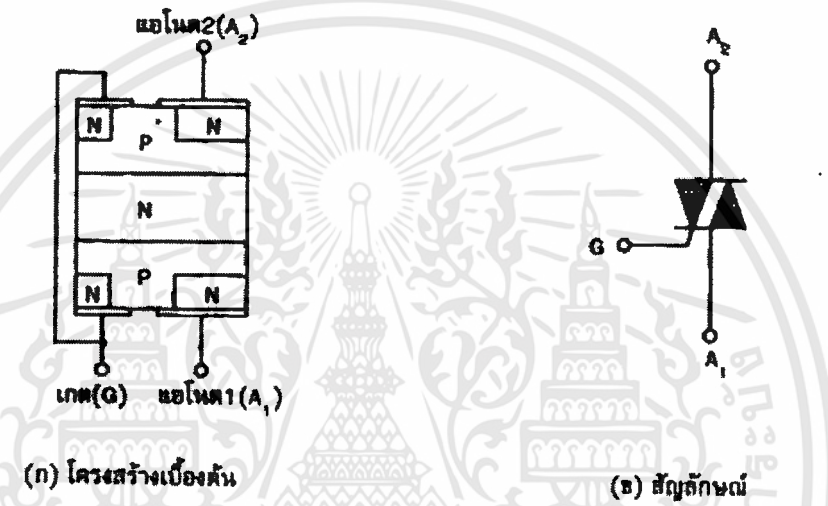
วิธีการควบคุมให้ SCR ทำงานในวงจรทั่วไป นิยมใช้วิธีการควบคุมการทำงานของ SCR ในลักษณะนี้ เพราะเกิดความปลอดภัยต่อการทำงานทั้งตัว SCR และอุปกรณ์ประกอบร่วมในวงจร การควบคุมการทำงานในวงจรใช้ SCR ทำได้ง่ายและถูกต้องมีประสิทธิภาพ

2.2.21 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไตรแอก

ไตรแอกและ SCR เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจำพวกไธริสเตอร์เหมือนกัน มีคุณสมบัติในการทำงานเป็นลักษณะสวิตช์เหมือนกัน มีรูปร่างตัวถึงคล้ายกัน ทำงานในหน้าที่ต่าง ๆ คล้ายกัน แต่การผลิตไตรแอกขึ้นมาใช้งานมีจุดประสงค์ต่อการใช้งานแตกต่างกันบ้าง ทำให้โครงสร้างของไตรแอก แตกต่างไปจาก SCR บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไตรแอกผลิตมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิคอน (Si) โครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่ 3 ตอนคือ PNP ในสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่ทั้ง 3 นี้มีส่วนประกอบของสารกึ่งตัวนำตอนย่อยชนิด N อีก 4 ตอน ต่ออยู่ในส่วนของสารชนิด P ตอนใหญ่ทั้งสอง มีขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขา เหมือน SCR แต่ละขาเรียกชื่อดังนี้ ขาแอโนด1 (Anode1) ใช้อักษรย่อ A_1 หรืออาจเรียกว่าขาเมนเทอร์มินอน 1 (Main Terminal1) ใช้อักษรย่อ MT_1 ขาแอโนด2 (Anode2) ใช้อักษรย่อ A_2 หรืออาจเรียกว่าขาเมนเทอร์มินอน 2 (Main Terminal2) ใช้อักษรย่อ MT_2 และขาเกต (Gate) ใช้อักษรย่อ G ลักษณะโครงสร้างเบื้องต้นและสัญลักษณ์แสดงดังภาพที่ 2.34

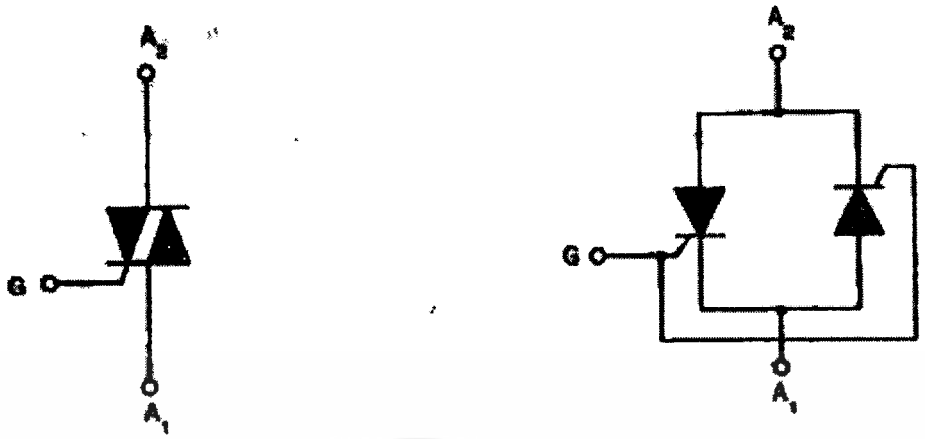


ภาพที่ 2.34 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไตรแอก

จากภาพที่ 2.34ก แสดงโครงสร้างเบื้องต้นของไตรแอก ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่ชนิด P สองตอน ชนิด N หนึ่งตอนต่อชนกัน สารชนิด P ตอนบนมีสารชนิด N ตอนย่อยต่ออยู่สองตอนต่อออกมาเป็นขาแอโนด (A_2) หนึ่งขา และขาเกต (G) หนึ่งขา สารชนิด P ตอนล่างมีสารชนิด N ตอนย่อยต่ออยู่สองตอนเช่นกัน ต่อออกมาเป็นขาแอโนด 1 (A_1) และขาเกต (G) ขาเกต (G) ทั้งตอนบนและตอนล่างต่อร่วมกัน การต่อขา A_2, A_1 และ G ออกมาใช้งานแผ่นโลหะที่สัมผัสสารกึ่งตัวนำของทุกขาสัมผัสทั้งสารชนิด N และสารชนิด P

ส่วนภาพที่ 2.34ข เป็นสัญลักษณ์ของไตรแอก ประกอบด้วยรูปสามเหลี่ยมและขีด 2 รูปต่อกลับด้านกัน มีขั้วต่อออกมาเป็นขา A_2 และขา A_1 ส่วนขา G ถูกต่อออกมาจากตอนปลายแหลมของสามเหลี่ยมด้านขา A_1 สัญลักษณ์ของไตรแอกเกิดจากสัญลักษณ์ของ SCR ต่อกลับทางกัน 2 ตัว โดยนำขา G ของ SCR มาต่อรวมกันเพราะคุณสมบัติของไตรแอกยอมให้สัญญาณไฟกระแสสลับผ่านไปได้ทั้ง 2 ทาง คือ ทั้งไฟบวกและไฟลบ สัญลักษณ์ของไตรแอก เขียนเปรียบเทียบกับสัญลักษณ์ของ SCR แสดงดังภาพที่ 2.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

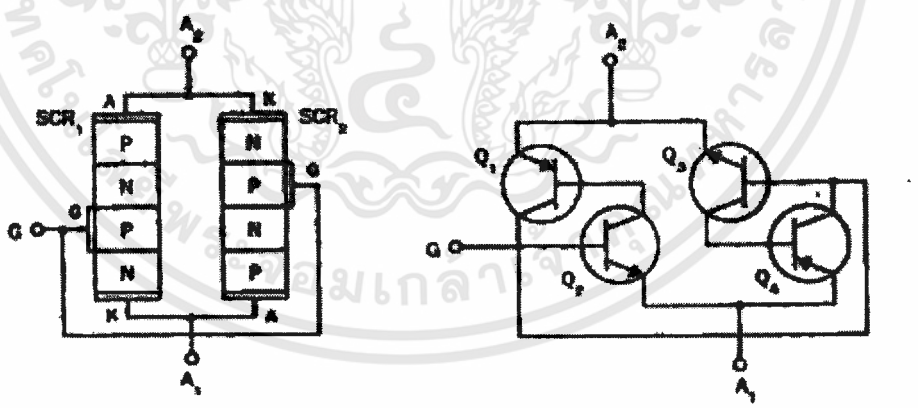


(ก) สัญลักษณ์ไตรแอก (ข) สัญลักษณ์ SCR ต่อร่วมกัน 2 ตัว

ภาพที่ 2.35 สัญลักษณ์ไตรแอกเทียบเท่ากับสัญลักษณ์ SCR ต่อร่วมกัน 2 ตัว

2.2.22 วงจรสมมูลของไตรแอก

โครงสร้างของไตรแอกเปรียบได้กับการนำโครงสร้างของ SCR สองตัวมาต่อขนานกันแบบกลับทิศทางกัน นั่นคือไตรแอกเกิดจากการรวมโครงสร้างของ SCR สองตัวสร้างไว้รวมเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำตัวเดียว ดังนั้นวงจรสมมูลของไตรแอกจึงเขียนได้เหมือนกับวงจรสมมูลของ SCR ต่อร่วมกัน 2 ตัวแบบกลับทิศทาง ลักษณะวงจรสมมูลของไตรแอก แสดงดังภาพที่ 2.36



(ก) โครงสร้างเทียบเท่า (ข) วงจรสมมูล

ภาพที่ 2.36 โครงสร้างและวงจรสมมูลของไตรแอก

จากภาพที่ 2.36ก แสดงโครงสร้างเทียบเท่าของไตรแอก สามารถเขียนได้เป็นโครงสร้างของ SCR ต่อขนานกลับทางกัน 2 ตัว ขา A ของ SCR_1 ต่อกับขา K ของ SCR_2 ขา K ของ SCR_1 ต่อกับขา A ของ SCR_2 และขา G ของ SCR ทั้งสองตัวต่อร่วมกัน เมื่อนำ SCR แยกออกเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อร่วมกัน สามารถเขียนวงจรสมมูลของ SCR ทั้ง 2 ตัวได้เป็นวงจรดังภาพที่ 2.34ข ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_4 เป็นชนิด PNP ส่วน Q_2 และ Q_3 เป็นชนิด NPN

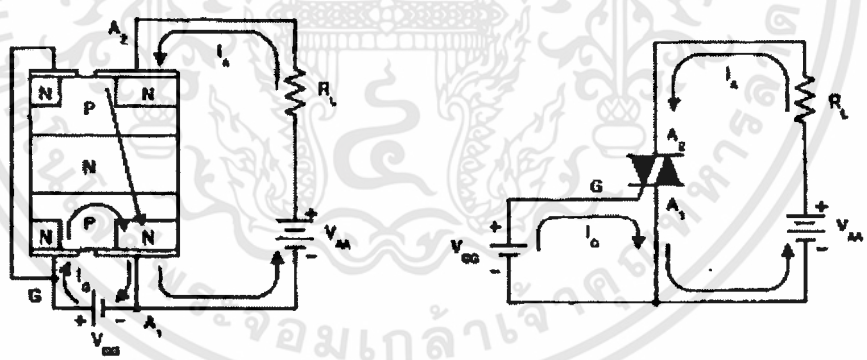
ในภาพที่ 2.36ข วงจรต่อกันดังนี้ ขา E ของ Q_1 ต่อกับขา E ของ Q_3 ต่อออกมาเป็นขา A_2 ขา E ของ Q_2 ต่อกับขา E ของ Q_4 ต่อออกมาเป็นขา A_1 ขา C ของ Q_1 ต่อกับขา B ของ Q_2 ต่อกับขา B ของ Q_3 ต่อกับขา C ของ Q_4 ทั้งหมดต่อออกมาเป็นขา G ในการอธิบายหลักการทำงานของไตรแอกอธิบายได้โดยใช้หลักการเดียวกับการอธิบายหลักการทำงานของ SCR

2.2.23 การจ่ายแรงดันให้ไตรแอกทำงาน

คุณสมบัติของไตรแอกคือ สามารถทำงานได้ทั้งไฟกระแสตรง (DC) และไฟกระแสสลับ (AC) ขณะทำงานต่อไฟกระแสสลับจะยอมให้สัญญาณไฟกระแสสลับทั้งช่วงบวกและช่วงลบผ่านได้ทั้ง 2 ทิศทาง การนำกระแสของไตรแอก ขึ้นอยู่กับการควบคุมแรงดันกระตุ้นที่ขา G โดยต้องจัดแรงดันกระตุ้นขา G ให้เหมาะสมถูกต้องกับแรงดันไบอัสที่จ่ายให้ขา A_2 และ A_1 ไตรแอกจึงจะทำงานได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ การจ่ายแรงดันไบอัสควบคุมให้ไตรแอกทำงาน สามารถกระทำได้ทั้งหมด 4 สภาวะดังนี้

1. สภาวะที่ 1 จ่ายบวกให้ A_2 จ่ายบวกให้ G

การจ่ายแรงดันไบอัสในสภาวะนี้คือจ่ายแรงดันบวกให้ขา A_2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A_1 และจ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G ไตรแอกเกิดการนำกระแสได้ แสดงดังภาพที่ 2.37



(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

ภาพที่ 2.37 ไตรแอกทำงานในสภาวะที่ 1

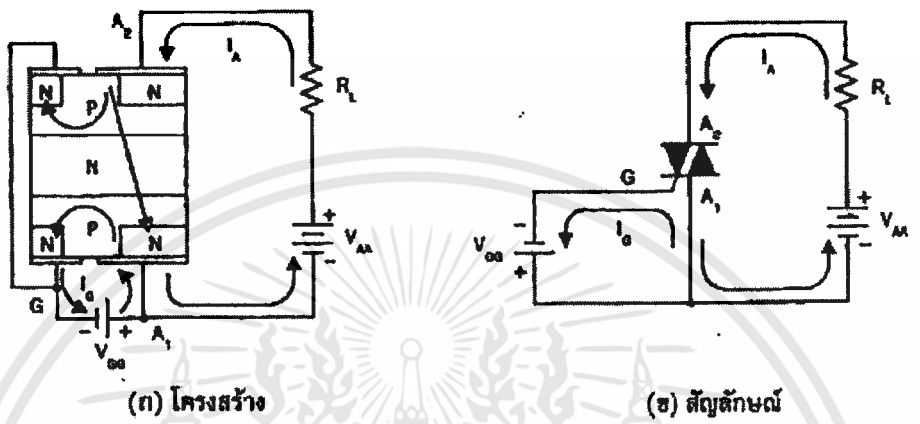
จากภาพที่ 2.37 แสดงการนำกระแสของไตรแอกในสภาวะที่ 1 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A_2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A_1 ขณะยังไม่มีแรงดันกระตุ้นขา G ไตรแอกยังไม่นำกระแส เมื่อจ่ายแรงดันบวกเป็นแรงดันกระตุ้นขา G ไตรแอกเริ่มนำกระแส มีกระแสไหลจากบวกของแหล่งจ่าย V_{AA} ไปขา A_2 ผ่านรอยต่อไตรแอกไปออกขา A_1 ครบวงจรที่ขั้วลบของแหล่งจ่าย V_{AA} การจ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G ทำให้มีกระแสบวกไหลผ่านจากแหล่งจ่าย V_{GG} ไปขา G ไหลออกที่ขา A_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครบวงจรที่ขั้วลบแหล่งจ่าย V_{GG} สังเกตทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน เป็นลักษณะกระแสไหลเสริมกัน มีผลให้กระแส I_A ไหลผ่านตัวไตรแอกมากขึ้น

2. สภาวะที่ 2 จ่ายบวกให้ A_2 จ่ายลบให้ G

การจ่ายแรงดันไบอัสในสภาวะนี้คือ จ่ายแรงดันบวกให้ขา A_2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A_1 และจ่ายแรงดันลบกระตุ้นขา G ไตรแอกเกิดการนำกระแสได้ แสดงดังภาพที่ 2.36



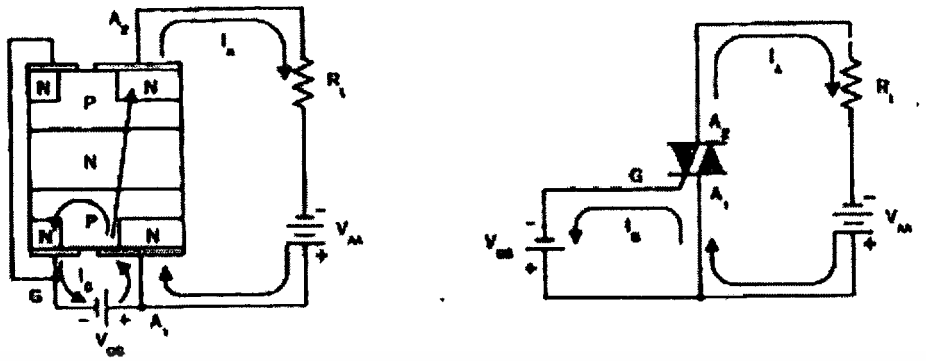
ภาพที่ 2.38 ไตรแอกทำงานในสภาวะที่ 2

จากรภาพที่ 2.38 แสดงการนำกระแสของไตรแอกในสภาวะที่ 2 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A_2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A_1 ขณะยังไม่มีแรงดันกระตุ้นขา G ไตรแอกยังไม่นำกระแส เมื่อจ่ายแรงดันลบเป็นแรงดันกระตุ้นขา G ไตรแอกเริ่มนำกระแส มีกระแสไหลจากบวกของแหล่งจ่าย V_{AA} ไปขา A_2 ผ่านรอยต่อไตรแอกไปออกขา A_1 ครบวงจรที่ขั้วลบของแหล่งจ่าย V_{AA} การจ่ายแรงดันลบกระตุ้นขา G ทำให้มีกระแสบวกไหลผ่านจากแหล่งจ่าย V_{GG} ไปขา A_1 ไหลออกที่ขา G ครบวงจรที่ขั้วลบแหล่งจ่าย V_{GG} สังเกตทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองมีทิศทางสวนทางกัน เป็นลักษณะกระแสไหลหักล้างกัน และมีกระแสไหลไปทางขา G ได้มากขึ้น มีผลให้กระแส I_A ไหลผ่านตัวไตรแอกลดลง

3. สภาวะที่ 3 จ่ายลบให้ A_2 จ่ายลบให้ G

การจ่ายแรงดันไบอัสในสภาวะนี้ คือจ่ายแรงดันลบให้ขา A_2 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A_1 และจ่ายแรงดันลบกระตุ้นขา G ไตรแอกเกิดการนำกระแสได้ แสดงดังภาพที่ 2.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



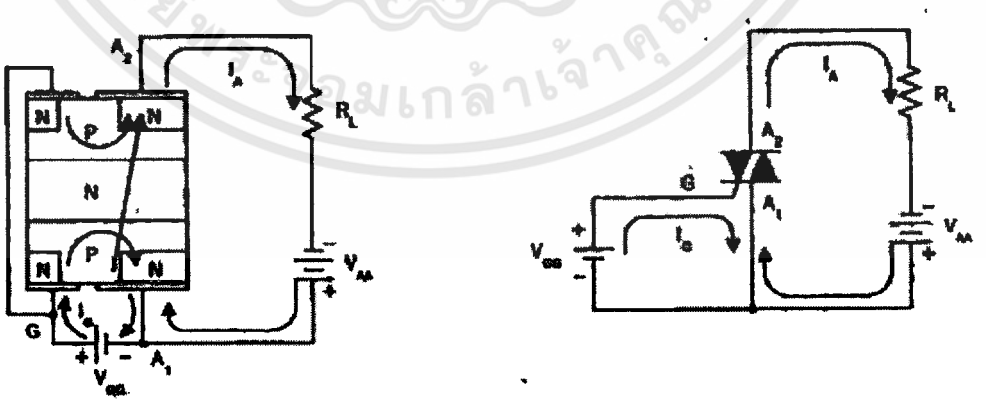
(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

ภาพที่ 2.39 ไตรแอกทำงานในสภาวะที่ 3

จากภาพที่ 2.39 แสดงการนำกระแสของไตรแอกในสภาวะที่ 3 จ่ายแรงดันลบให้ขา A_2 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A_1 ขณะยังไม่มีแรงดันกระตุ้นขา G ไตรแอกยังไม่นำกระแส เมื่อจ่ายแรงดันลบเป็นแรงดันกระตุ้นขา G ไตรแอกเริ่มนำกระแส มีกระแสไหลจากบวกของแหล่งจ่าย V_{AA} ไปขา A_1 ผ่านรอยต่อไตรแอกไปออกขา A_2 ครบวงจรที่ขั้วลบของแหล่งจ่าย V_{AA} การจ่ายแรงดันลบกระตุ้นขา G ทำให้มีกระแสบวกไหลผ่านจากแหล่งจ่าย V_{GG} ไปขา A_1 ไหลออกที่ขา G ครบวงจรที่ขั้วลบแหล่งจ่าย V_{GG} สังเกตทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน เป็นลักษณะกระแสไหลเสริมกัน มีผลให้กระแส I_A ไหลผ่านตัวไตรแอกมากขึ้น

4. สภาวะที่ 3 จ่ายลบให้ A_2 จ่ายบวกให้ G

การจ่ายแรงดันไบอัสในสภาวะนี้คือ จ่ายแรงดันลบให้ขา A_2 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A_1 และจ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G ไตรแอกเกิดการนำกระแสได้ แสดงดังภาพที่ 2.38



(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

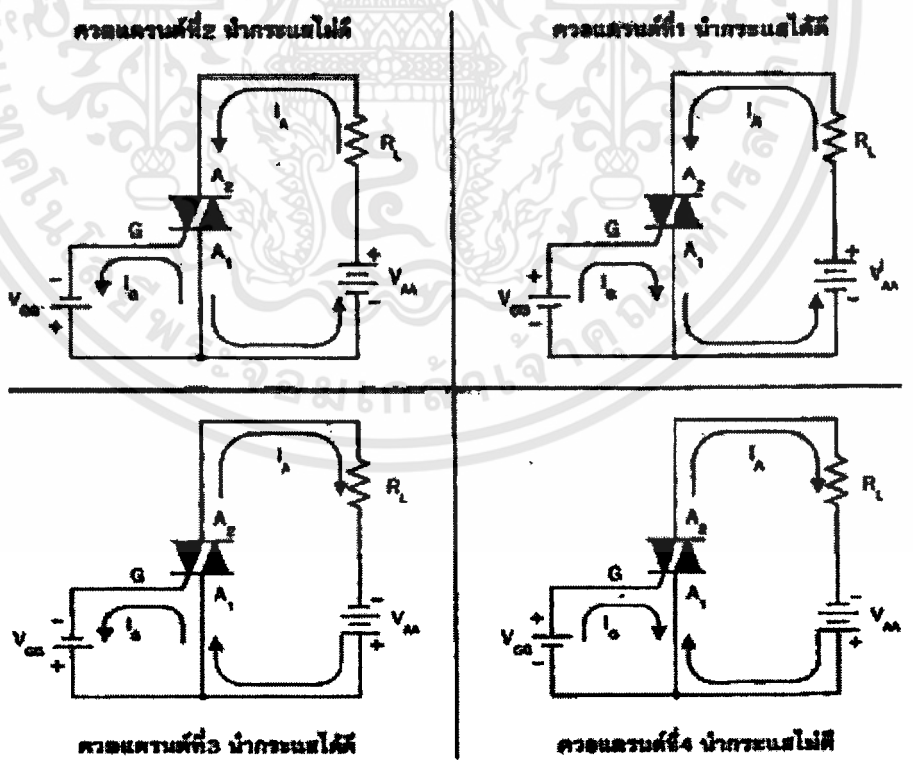
ภาพที่ 2.40 ไตรแอกทำงานในสภาวะที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.40 แสดงการนำกระแสของไตรแอกในสภาวะที่ 4 จ่ายแรงดันลบให้ขา A_2 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A_1 ขณะยังไม่มีแรงดันกระตุ้นขา G ไตรแอกยังไม่นำกระแส เมื่อจ่ายแรงดันบวกเป็นแรงดันกระตุ้นขา G ไตรแอกเริ่มนำกระแส มีกระแสไหลจากบวกของแหล่งจ่าย V_{AA} ไปขา A_1 ผ่านรอยต่อไตรแอกไปออกขา A_2 ครบวงจรที่ขั้วลบของแหล่งจ่าย V_{AA} การจ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G ทำให้มีกระแสบวกไหลผ่านจากแหล่งจ่าย V_{GG} ไปขา G ไหลออกที่ขา A_1 ครบวงจรที่ขั้วลบแหล่งจ่าย V_{GG} สังเกตทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองมีทิศทางสวนทางกันเป็นลักษณะกระแสไหลหักล้างกัน และมีกระแสไหลไปทางขา G ได้มากขึ้น มีผลให้กระแส I_A ไหลผ่านตัวไตรแอกลดลง

2.2.24 การเลือกสภาวะทำงานของวงจรไตรแอก

การจ่ายแรงดันไบอัสให้ไตรแอกทำงานในหัวข้อที่ 2.2.23 นั้น สามารถจัดวงจรไบอัสให้ตัวไตรแอกได้ทั้งหมด 4 สภาวะหรือ 4 ควอแดรนต์ (Quadrant) แต่ละสภาวะไตรแอกสามารถนำกระแสได้เหมือนกัน เป็นการบอกให้ทราบว่าทุกขาของไตรแอกทำงานได้กับแรงดันทั้งบวกและลบ แต่ลักษณะการนำกระแสของตัวไตรแอกในแต่ละสภาวะมีความแตกต่างกันอยู่ บางสภาวะนำกระแสได้ดี บางสภาวะนำกระแสได้ไม่ดี การเลือกใช้งานของวงจรไตรแอก ควรเลือกสภาวะที่ดีและเหมาะสมมาใช้งาน สภาวะทำงานของไตรแอกจัดเรียงลำดับตามควอแดรนต์ได้ดังภาพที่ 2.41



ภาพที่ 2.41 สภาวะทำงานของไตรแอกจัดเรียงลำดับตามควอแดรนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.41 แสดงสภาวะทำงานของไตรแอกจัดเรียงลำดับตามควอแดรนต์ ไตรแอกสามารถนำกระแสได้ในทุกควอแดรนต์ เมื่อสังเกตการนำกระแสในแต่ละควอแดรนต์จะพบว่าบางควอแดรนต์ไตรแอกนำกระแสได้ดี และบางควอแดรนต์ไตรแอกนำกระแสได้ไม่ดี ตามภาพที่ 2.39 เมื่อพิจารณาพบว่าในควอแดรนต์ที่ 1 และ 3 กระแสดแอโนด I_A และกระแสเกต I_G ไหลในทิศทางเสริมกันจึงนำกระแสได้ดีทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ส่วนในควอแดรนต์ที่ 2 และ 4 กระแสแอโนด I_A และกระแสเกต I_G ไหลไปในทิศทางหักล้างกัน จึงนำกระแสได้ไม่ดี ทำงานช้าและไม่แน่นอน

การจัดวงจรให้ไตรแอกทำงาน จำเป็นต้องเลือกสภาวะการทำงานของไตรแอก ในสภาวะที่ทำงานได้ดี มีวามรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ คือต้องเลือกการทำงานในสภาวะกระแสไหลในตัวไตรแอกเสริมกัน ในควอแดรนต์ที่ 1 และ 3 หลักการสังเกตการจ่ายแรงดันไบอัสแบบกระแสเสริมคือ ต้องจ่ายแรงดันให้ขา A_2 มีขั้วเหมือนกับการจ่ายแรงดันในขา G เช่นถ้าขา A_2 ได้รับแรงดันบวกขา G ก็ต้องได้รับแรงดันบวก หรือถ้าขา A_2 ได้รับแรงดันลบขา G ก็ต้องได้แรงดันลบ ส่วนในควอแดรนต์ที่ 2 และ 4 เป็นสภาวะกระแสไหลในตัวไตรแอกหักล้างกัน ไม่ใช่สภาวะการนำกระแสที่ดี สังเกตได้ว่าแรงดันจ่ายให้ขา A_2 มีขั้วแตกต่างจากแรงดันจ่ายให้ขา G เสมอ

2.2.25 การหยุดนำกระแสของไตรแอกต่อแรงดันไฟตรง

ไตรแอกเมื่อนำมาใช้งานกับแรงดันไฟกระแสตรงจะทำงานเหมือนกับ SCR คือ เมื่อนำกระแสแล้ว ไม่จำเป็นต้องจ่ายแรงดันกระตุ้นให้ที่ขา G อีก สามารถตัดแรงดันกระตุ้นขา G ออกได้ ไตรแอกยังคงนำกระแสได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนขั้วของแรงดันไบอัสที่จ่ายให้แต่ละขาของไตรแอกไม่ถูกกำหนดตายตัวเหมือน SCR จ่ายขั้วแรงดันได้ในทุกควอแดรนต์ตามหัวข้อที่ 6.4 ไตรแอกที่นำกระแสแล้วสามารถทำให้หยุดนำกระแสได้ 2 วิธี เหมือนกับ SCR คือ

1. ตัดแหล่งจ่ายแรงดัน V_{AA} ที่ป้อนให้ขา A_2 และขา A_1 ของไตรแอกออกชั่วขณะ
2. ลดกระแสที่ไหลผ่านขา A_2 และขา A_1 ลงให้ต่ำกล่าวกระแสโฮลดิ้ง (I_H) ของไตรแอกตัวที่ใช้งาน การควบคุมให้ไตรแอกหยุดนำกระแสทำได้ดังภาพที่ 2.42 และภาพที่ 2.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) แรงดัน V_{AA} เป็นบวก (ข) แรงดัน V_{AA} เป็นลบ

ภาพที่ 2.42 ตัดแหล่งจ่ายแรงดัน V_{AA} ออกชั่วขณะ

(ก) แรงดัน V_{AA} เป็นบวก (ข) แรงดัน V_{AA} เป็นลบ

ภาพที่ 2.43 ลดกระแสไหลผ่านไตรแอกให้น้อยกว่ากระแส I_H

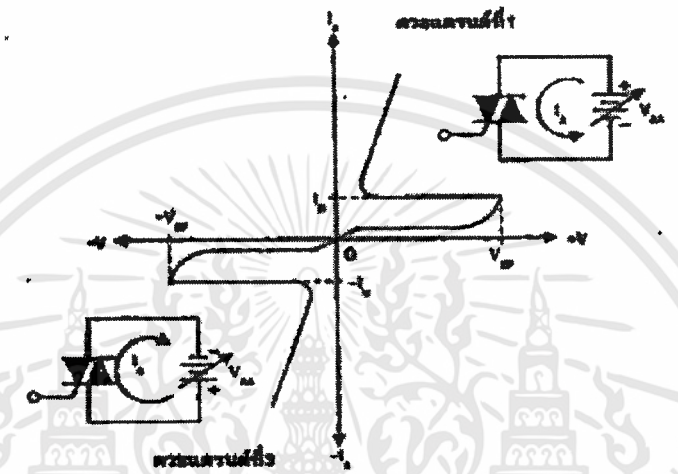
2.2.26 กราฟคุณสมบัติของไตรแอก

ไตรแอกและ SCR จัดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทเดียวกัน สามารถทำงานร่วมกันและทำงานแทนกันได้ ใช้งานเป็นพวกอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้ดีเหมือนกัน แต่ไตรแอกให้ข้อดีกว่า SCR ตรงที่ไตรแอกถูกพัฒนาขึ้นมาจากข้อบกพร่องของ SCR ทำให้สามารถทำงานได้ดีทั้งแรงดันไฟกระแสตรง V_{DC} และแรงดันไฟกระแสสลับ V_{AC} เมื่อนำไตรแอกไปใช้งานกับแรงดันไฟกระแสตรง ไตรแอกทำงานได้เหมือน SCR ทุกประการ และเมื่อนำไตรแอกไปใช้งานกับแรงดันไฟกระแสสลับ ไตรแอกจะยอมให้ไฟกระแสสลับผ่านได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบ พร้อมกับการควบคุมเฟสในการทำงานได้ด้วย ด้วยความสะดวกและข้อดีดังกล่าว ไตรแอกจึงนิยมใช้งานต่อแรงดันไฟกระแสสลับ สามารถใช้แทน SCR ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาสภาวะการทำงานของไตรแอก สามารถมองเห็นได้จากกราฟคุณสมบัติแสดงสภาวะการทำงานที่จุดต่าง ๆ ของไตรแอก กราฟคุณสมบัติของไตรแอกแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ลักษณะแรกกราฟแสดงสภาวะการทำงานของไตรแอกขณะเปิดขาเกต (G) ลอยไว้ ลักษณะที่สอง กราฟแสดงสภาวะการทำงานของไตรแอกด้วยการควบคุมแรงดันที่ขาเกต (G)

2.2.27 กราฟแสดงคุณสมบัติของไตรแอกขณะเปิดขาเกตลอยไว้



ภาพที่ 2.44 กราฟคุณสมบัติไตรแอกขณะที่เปิดขา G ลอยไว้

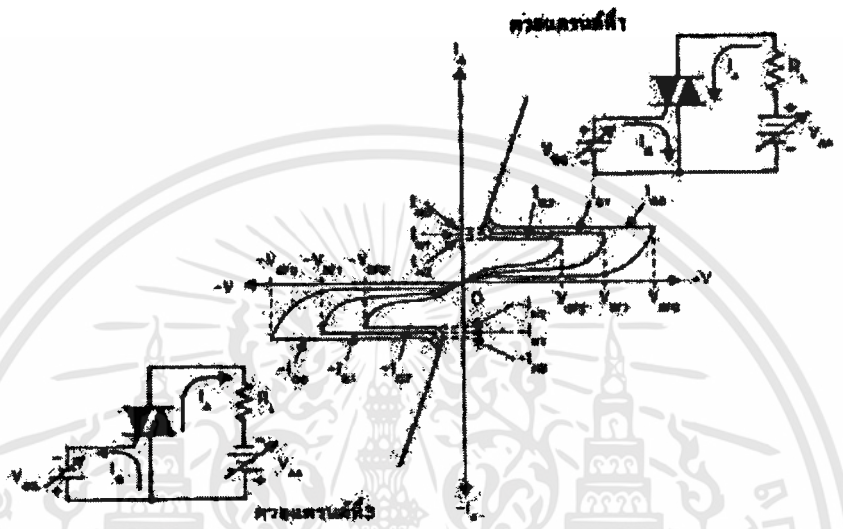
จากภาพที่ 2.44 เป็นกราฟคุณสมบัติของไตรแอกขณะที่เปิดขา G ลอยไว้ ไม่ว่าจะจ่ายแรงดันบวกให้ขา A_2 จ่ายลบให้ขา A_1 หรือจ่ายลบให้ขา A_2 จ่ายบวกให้ขา A_1 ไตรแอกสามารถนำกระแสได้เมื่อกระแสไหลผ่านตัวไตรแอกถึงค่ากระแสโฮลดิ้ง (I_H) ควอแดรนต์ที่นิยมใช้ในการทำงานคือ ควอแดรนต์ที่ 1 และควอแดรนต์ที่ 3 การทำงานแต่ละควอแดรนต์อธิบายได้ดังนี้

การทำงานของไตรแอกในควอแดรนต์ที่ 1 และควอแดรนต์ที่ 3 เหมือนกัน แตกต่างกันเพียงแรงดันไฟกระแสตรงที่จ่ายให้ขา A_2 และขา A_1 ตรงข้ามกัน การจ่ายแรงดันไฟกระแสตรงต่ำๆ ครั้งแรกให้ไตรแอก ไตรแอกยังไม่นำกระแส มีเพียงกระแสรั่วไหลไหลผ่านเล็กน้อย เมื่อค่อย ๆ ปรับเพิ่มแรงดัน V_{AA} ให้ตัวไตรแอกมากขึ้นทีละน้อย กระแสรั่วไหลไหลผ่านตัวไตรแอกค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ถ้ากระแสรั่วไหลไหลผ่านตัวไตรแอกถึงค่ากระแสโฮลดิ้ง I_H ไตรแอกนำกระแสทันที ค่าความต้านทานในตัวไตรแอกลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดกระแสไหลผ่านตัวไตรแอกสูงขึ้นทันทีอย่างรวดเร็ว ถ้าไม่สามารถจำกัดค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวไตรแอกได้ มีกระแสไหลผ่านตัวไตรแอกมากเกินกว่าค่าทนกระแสสูงสุดของไตรแอกตัวนั้น ตัวไตรแอกเกิดการชำรุดเสียหายทันที การทำงานเหมือนกันทั้งควอแดรนต์ที่ 1 และควอแดรนต์ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมให้ไตรแอกทำงานวิธีนี้ไม่นิยมใช้งาน เพราะมีความเสี่ยงต่อการชำรุดเสียกายของตัวไตรแอกสูง ต้องระมัดระวังควบคุมค่ากระแสไหลผ่านตัวไตรแอกให้มีขนาดไม่มากเกินกว่าค่ากระแสสูงสุดของไตรแอกตัวนั้น ๆ และการควบคุมให้ไตรแอกทำงานต้องจ่ายแรงดันไบอัสสูงมาก ๆ

2.2.28 กราฟคุณสมบัติของไตรแอกขณะควบคุมแรดันที่ขาเกต



ภาพที่ 2.45 กราฟคุณสมบัติของไตรแอกขณะที่จ่ายแรงดันกระตุ้นขา G

จากภาพที่ 2.45 เป็นกราฟคุณสมบัติของไตรแอกขณะที่จ่ายแรงดันกระตุ้นขาเกต ไตรแอกสามารถนำกระแสได้โดยแรงดันที่ป้อนให้ขา A_2 และขา A_1 ไม่จำเป็นต้องสูงมาก ใช้แรงดันกระตุ้นขา G เข้าช่วย ไตรแอกสามารถนำกระแสได้ถึงค่ากระแสโฮลดิ้ง (I_H) ควอแดรนต์ที่นิยมใช้ในการทำงานคือ ควอแดรนต์ที่ 1 และควอแดรนต์ที่ 3 การทำงานแต่ละควอแดรนต์อธิบายได้ดังนี้

กราฟในควอแดรนต์ที่ 1 จ่ายแรงดันไบอัสให้ขา A_2 เป็นบวก ขา A_1 เป็นลบ ถ้าในครั้งแรกยังไม่จ่ายแรงดันกระตุ้นที่ขา G($I_{GO} = 0$) ไตรแอกยังไม่นำกระแส จนกว่าแรงดันที่ป้อนให้ขา A_2 และขา A_1 ถึงค่าแรงดันเบรกโอเวอร์ที่ V_{BFO} ไตรแอกนำกระแสเพราะมีกระแสไหลผ่านไตรแอกถึงค่ากระแสโฮลดิ้ง (I_{H0}) เกิดกระแสไหลผ่านตัวไตรแอกสูง ถ้ากระแสไหลผ่านเกินกว่าค่ากระแสสูงสุดที่ตัวไตรแอกทนได้ไตรแอกจะชำรุดเสียหายทันที

ถ้าหากแรงดันไบอัสที่จ่ายให้ขา A_2 และขา A_1 ต่ำกว่าแรงดันเบรกโอเวอร์ที่ V_{BFO} การนำกระแสของตัวไตรแอกต้องอาศัยแรงดันกระตุ้นที่ขา G เป็นแรงดันบวก มีกระแสเกต I_{G1} หรือ I_{G2} ไหล มีกระแสไหลผ่านตัวไตรแอกถึงค่ากระแสโฮลดิ้ง I_{H1} หรือ I_{H2} ทันทีไตรแอกนำกระแส แรงดันที่จ่ายให้ขา A_2 และขา A_1 สามารถเปลี่ยนค่าได้ตามต้องการ ไตรแอกทำงานได้โดยไม่ชำรุดเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟในควอแดรนต์ที่ 3 จ่ายแรงดันไบอัสให้ขา A_2 เป็นลบเป็นขา A_1 เป็นบวก ถ้าในครั้งแรกยังไม่จ่ายแรงดันกระตุ้นที่ขา G($-I_{GO}=0$) ไตรแอกยังไม่นำกระแสจนกว่าแรงดันที่ป้อนให้ขา A_2 และขา A_1 ถึงค่าแรงดันเบรกโอเวอร์ที่ $-V_{BFO}$ ไตรแอกนำกระแสเพราะมีกระแสไหลผ่านตัวไตรแอกถึงค่ากระแสโฮลดิ้ง ($-I_{H0}$) มีกระแสไหลผ่านตัวไตรแอกสูง ไตรแอกอาจชำรุดเสียหายได้ ถ้ากระแสไหลผ่านตัวไตรแอกเกินกว่าค่ากระแสสูงสุดที่ตัวไตรแอกทนได้ และหากจ่ายแรงดันไบอัสที่ขา A_2 และขา A_1 ต่ำกว่าแรงดันเบรกโอเวอร์ การนำกระแสของตัวไตรแอกต้องอาศัยแรงดันกระตุ้นที่ขา G เป็นแรงดันลบ มีกระแส I_{G1} หรือ I_{G2} ไหล ไตรแอกนำกระแสทันที ได้กราฟคุณสมบัติเหมือนกันทั้ง ควอแดรนต์ที่ 1 และควอแดรนต์ที่ 3

วิธีการควบคุมให้ไตรแอกทำงานในวงจรทั่ว ๆ ไป นิยมใช้วิธีการควบคุมการทำงานของไตรแอกในลักษณะนี้ เพราะให้ความปลอดภัยในการทำงานทั้งตัวไตรแอกและอุปกรณ์ประกอบร่วมในวงจร การควบคุมการทำงานในวงจรทำได้ง่าย ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

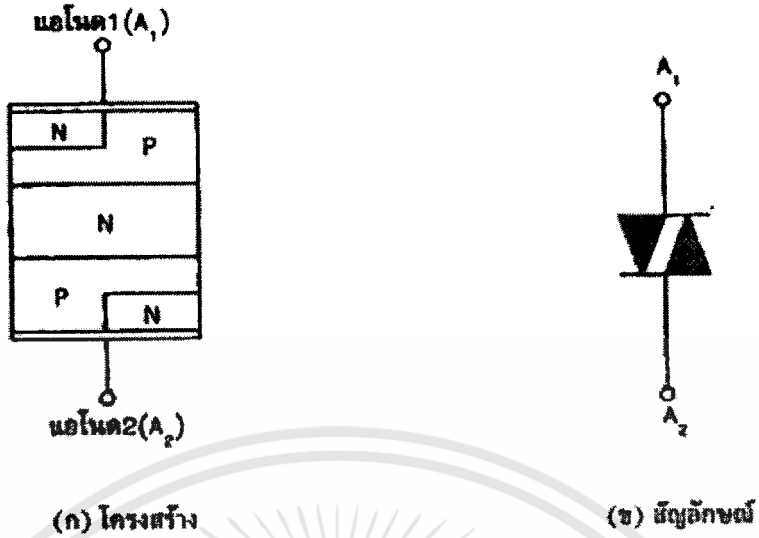
2.2.29 ไดแอก

ไดแอก (Diac) จัดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทไธริสเตอร์เช่นเดียวกับ SCR และไตรแอก แตกต่างจาก SCR และไตรแอกตรงขาต่อออกใช้งาน โดยที่ไตรแอกมีขาต่อใช้งานเพียง 2 ขา มีโครงสร้างคล้ายไตรแอก สามารถนำไปใช้งานได้กับแรงดันไฟกระแสสลับ แรงดันไฟกระแสสลับสามารถผ่านตัวไดแอกทั้งช่วงบวกและช่วงลบ ไดแอกถูกสร้างขึ้นมาให้เป็นอุปกรณ์ประเภทตัวกระตุ้น (Trigger) การทำงาน ต้องนำไปใช้งานร่วมกับไตรแอกหรือ SCR การต่อไดแอกใช้งานต้องต่อเป็นตัวกระตุ้นเข้าที่ขา G ของไตรแอกหรือ SCR ช่วยป้องกันแรงดันกระโชกจำนวนมาที่อาจทำให้ขา G ของไตรแอกหรือ SCR ชำรุดเสียหายได้ ลักษณะไดแอก แสดงดังภาพที่ 2.46

ภาพที่ 2.46 รูปร่างลักษณะไดแอกแบบต่าง ๆ

โครงสร้างของไดแอกประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่ 3 ตอน คือ PNP และในสารกึ่งตัวตอนใหญ่มีสารกึ่งตัวนำตอนย่อยชนิด N อีก 2 ตอน ต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด P ทั้ง 2 ด้านมีขาต่อออกมาใช้งาน 2 ขาคือ ขาแอโนด 1 A_1 หรืออาจเรียกว่าขาเมนเทอร์มินอน 1 (MT_1) และขาแอโนด 2 A_2 หรือขาเมนเทอร์มินอน 2 (MT_2) โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดแอก แสดงดังภาพที่ 2.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

ภาพที่ 2.47 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดแอก

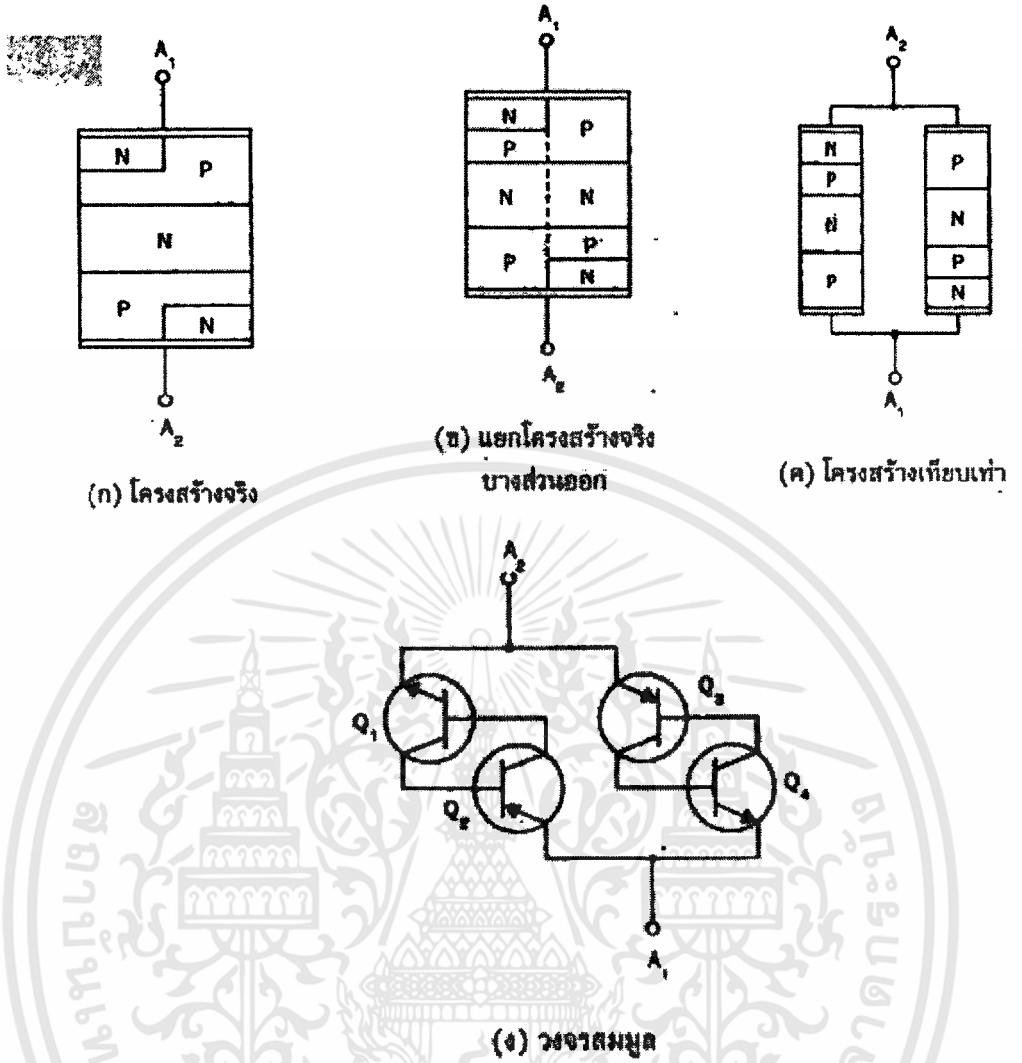
จากภาพที่ 2.45ก แสดงโครงสร้างเบื้องต้นของไดแอก พิจารณาโครงสร้างแล้วเห็นได้ว่ามีลักษณะโครงสร้างคล้ายไตรแอก คือประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่ 3 ตอน PNP ในสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่ชนิด P มีสารกึ่งตัวนำตอนย่อยชนิด N ต่ออยู่ด้านละตอน ต่อขาออกมาเป็นขาใช้งาน A_1 และ A_2 ส่วนที่หายไปคือขา G ทำให้ไดแอกมีขาต่อออกมาใช้งานเพียง 2 ขา

ขาทั้งสองของไดแอกต่ออยู่กับสารชนิด P และชนิด N ทำให้ไดแอกสามารถทำงานได้กับแรงดันไฟกระแสสลับ ไม่ว่าจะจ่ายบวกหรือจ่ายลบให้ขาทั้งสอง ไดแอกสามารถนำกระแสได้เหมือนกันจากโครงสร้างที่คล้ายกับไตรแอกจึงทำให้สัญลักษณ์ของไดแอกคล้ายกับไตรแอกคือเขียนเป็นรูปสามเหลี่ยม 2 รูปต่อหันหัวกลับทางกัน แสดงดังภาพที่ 2.45ข โดยไม่มีขา G ต่อออกมาเท่านั้น

2.2.30 วงจรสมมูลของไดแอก

เมื่อพิจารณาโครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดแอก จะพบว่าคล้ายกับไตรแอก จึงทำให้สามารถเขียนโครงสร้างเทียบเท่าและวงจรสมมูลของไดแอกคล้ายกับ SCR สองตัวต่อขนานกันแบบหันหัวกลับทางกัน โดยตัดขาเกต (G) ทิ้งไม่ต่อใช้งาน ลักษณะโครงสร้างเทียบเท่าและวงจรสมมูลของไดแอก แสดงดังภาพที่ 2.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.48 โครงสร้างเทียบเท่าและวงจรสมมูลของไดแอก

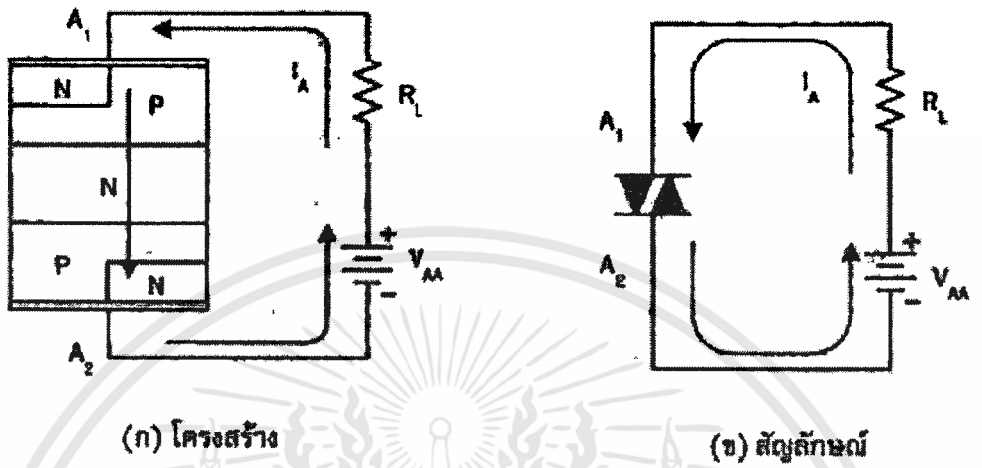
จากภาพที่ 2.48 เป็นโครงสร้างเทียบเท่าและวงจรสมมูลของไดแอก เมื่อแยกไดแอกออกเป็น 2 ส่วนทำให้มองเห็นไดแอกเป็นสารกึ่งตัวนำ 4 ตอน 2 ชุดต่อร่วมกันแบบขนาน แสดงดังภาพที่ 2.48ค นำมาเขียนเป็นวงจรสมมูลตามภาพที่ 2.48ง ได้ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ต่อร่วมกันเป็นสารกึ่งตัวนำ 4 ตอนชุดที่หนึ่ง และมีทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 ต่อร่วมกันเป็นสารกึ่งตัวนำ 4 ตอนชุดที่สอง ขา E ของ Q_1 เป็นสารชนิด N และขา E ของ Q_3 เป็นสารชนิด P ต่อร่วมกันต่อออกมาเป็นขา A_1 ขา E ของ Q_2 เป็นสารชนิด P และขา E ของ Q_4 เป็นสารชนิด N ต่อร่วมออกมาเป็นขา A_2 คล้ายกับวงจรเทียบเท่าของไตรแอก เพียงแต่ไม่มีขา G เท่านั้น

2.2.31 การจ่ายแรงดันไบอัสให้ไดแอกทำงาน

ไดแอกสามารถทำงานนำกระแสได้ดีกับแรงดันไฟกระแสสลับ จึงนำกระแสได้เหมือนกันและเท่ากันทั้งแรงดันช่วงบวกและแรงดันช่วงลบ ทั้งสองขาของไดแอกทำงานได้ดีเหมือนกัน

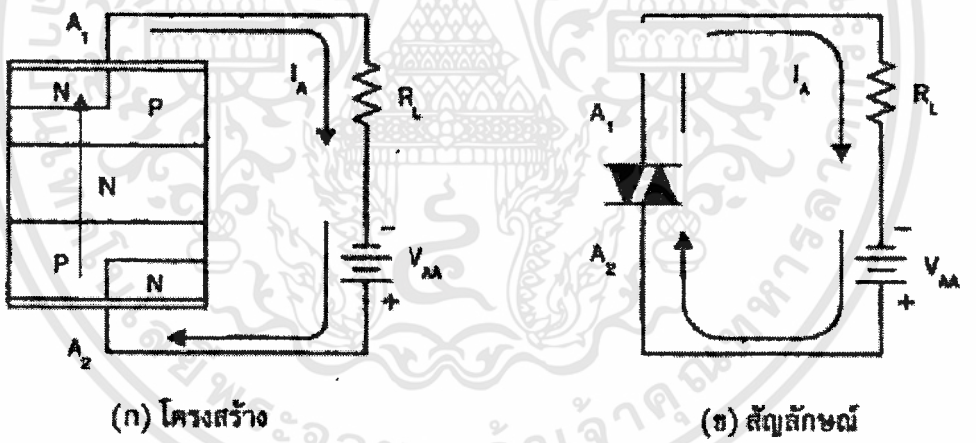
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการนำไดแอกไปใช้งานไม่จำเป็นต้องเลือกขาในการต่อใช้งาน สามารถใช้ขาใดต่อเข้าวงจรใช้งานก็ได้ โดยที่คุณสมบัติในการทำงานของไดแอกไม่ว่าจะจ่ายศักย์บวกหรือจ่ายศักย์ลบมีลักษณะเหมือนกัน การทดสอบสภาวะการนำกระแสของไดแอกแสดงดังภาพที่ 2.49 และภาพที่ 2.50



(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

ภาพที่ 2.49 การทำงานของไดแอกขณะจ่ายศักย์บวกให้ A_1 ศักย์ลบให้ A_2



(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

ภาพที่ 2.50 การทำงานของไดแอกขณะจ่ายศักย์ลบให้ A_1 ศักย์บวกให้ A_2

จากภาพที่ 2.49 และภาพที่ 2.50 เป็นการทำงานของไดแอกเมื่อจ่ายแรงดันไบอัสให้ตัวไดแอกถึงค่าแรงดันเบรกโอเวอร์ของตัวไดแอก ไดแอกตัวนั้นจึงจะนำกระแสยอมให้กระแสไหลผ่าน ถ้าแรงดันไบอัสที่จ่ายให้ตัวไดแอกไม่ถึงค่าแรงดันเบรกโอเวอร์ไดแอกไม่นำกระแส ศักย์ของแรงดันไบอัสที่จ่ายให้ขา A_1 และขา A_2 ไม่ว่าจะเป็นศักย์บวกหรือศักย์ลบ ไดแอกสามารถทำงานนำกรแสได้เหมือนกัน ค่าแรงดันเบรกโอเวอร์ของไดแอกแต่ละตัวมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเบอร์ของตัวไดแอก

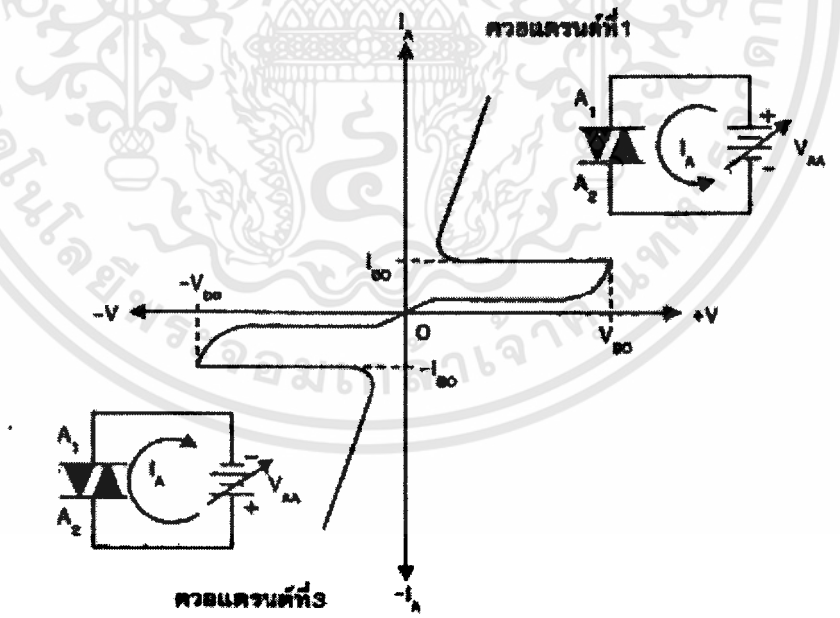
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 2.49 จ่ายแรงดันไฟกระแสตรงศักย์บวกให้ขา A_1 และศักย์ลบให้ขา A_2 ไดแอกจะนำกระแสเมื่อแรงดันไฟกระแสตรงที่จ่ายให้มีค่าแรงดันถึงแรงดันเบรกโอเวอร์ของตัวไดแอก ไดแอกเริ่มนำกระแส ค่าความต้านทานในตัวไดแอกต่ำลง มีกระแสไหลผ่านตัวไดแอกค่าหนึ่ง ค่ากระแสไหลผ่านตัวไดแอกเปลี่ยนแปลงไปตามค่าแรงดันที่ป้อน และตามค่าภาระ R_L ที่ต่อในวงจร เมื่อไดแอกนำกระแสทำให้แรงดันตกคร่อมตัวไดแอกลดลงอย่างมาก แรงดันส่วนมากไปตกคร่อมภาระแทน

ส่วนภาพที่ 2.50 เป็นการจ่ายแรงดันไฟกระแสตรงเป็นตรงข้ามกับภาพที่ 2.49 คือจ่ายศักย์ลบให้ขา A_1 และศักย์บวกให้ขา A_2 ไดแอกสามารถทำงานนำกระแสได้เหมือนกับการทำงานในภาพที่ 2.49 ทุกประการเพียงแต่มีทิศทางการไหลของกระแสเป็นทิศทางตรงข้าม

2.2.32 กราฟคุณสมบัติของไดแอก

การทำงานนำกระแสของตัวไดแอกจากที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.2.31 จะทราบได้ว่าตัวไดแอกสามารถทำงานนำกระแสได้ทั้งแรงดันศักย์บวกและแรงดันศักย์ลบ คือนำกระแสได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบของแรงดันไฟกระแสสลับ ตัวไดแอกจะยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันไปได้เมื่อแรงดันไบอัสที่จ่ายให้ถึงค่าแรงดันเบรกโอเวอร์ และกระแสเบรกโอเวอร์เท่านั้น กราฟคุณสมบัติในการทำงานของไดแอกแสดงได้ดังภาพที่ 2.51



ภาพที่ 2.51 กราฟคุณสมบัติของไดแอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

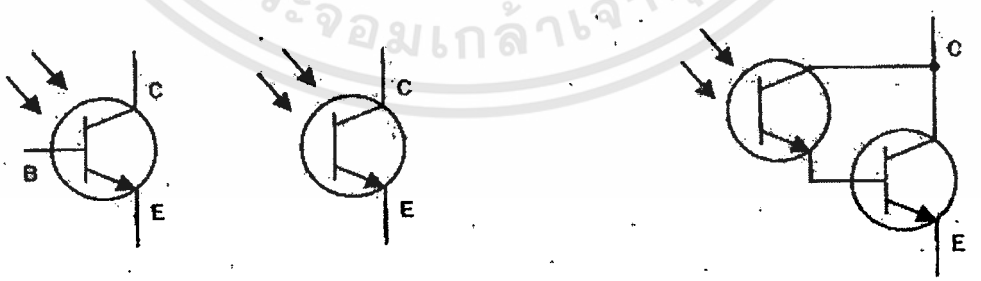
จากภาพที่ 2.51 กราฟคุณสมบัติของไดแอก ตัวไดแอกทำงานนำกระแสได้เหมือนกันทั้งช่วงบวกและช่วงลบของแรงดันที่ป้อนให้ (ควอแดรนต์ที่ 1 และ 3) ในครั้งแรกจ่ายแรงดันไบอัสให้ต่ำ ๆ ไดแอกยังไม่นำกระแส มีเพียงกระแสรั่วไหลไหลผ่านตัวไดแอกเล็กน้อย เมื่อค่อย ๆ ปรับเพิ่มแรงดัน V_{AA} ให้ตัวไดแอกมากขึ้นทีละน้อย กระแสรั่วไหลผ่านตัวไดแอกค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จนค่าแรงดัน V_{AA} จ่ายให้ตัวไดแอกถึงค่าแรงดันเบรกโอเวอร์ (V_{BO}) ทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวไดแอกถึงค่าแรงดันเบรกโอเวอร์ (V_{BO}) ไดแอกเริ่มนำกระแสยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากขึ้น ค่าความต้านทานในตัวไดแอกลดลงอย่างมาก มีกระแสไหลผ่านตัวไดแอกสูงเพิ่มขึ้น

กระแสที่ไหลผ่านตัวไดแอกต้องถูกจำกัดด้วยตัวต้านทานจากภายนอก เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายของตัวไดแอกเอง และป้องกันการชำรุดเสียหายของอุปกรณ์ที่นำไดแอกไปต่อร่วมด้วย

2.2.33 โฟโตทรานซิสเตอร์

โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถใช้แสงสว่างควบคุมการทำงานได้ คือโฟโตทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้ด้วยแสงสว่างที่มาตกกระทบรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ เหมือนกับโฟโตไดโอด โฟโตทรานซิสเตอร์ดีกว่าโฟโตไดโอดตรงที่เวลาทำงานสามารถขยายสัญญาณที่ส่งออกเอาต์พุตได้ มีความไวต่อแสงที่มาตกระทบมาก

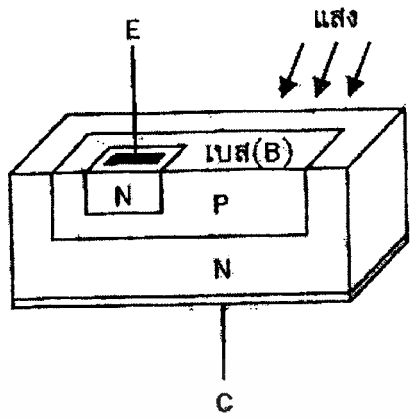
โครงสร้างของโฟโตทรานซิสเตอร์เหมือนกับทรานซิสเตอร์แบบธรรมดา (BJT) แตกต่างกันบ้างตรงการต่อขาออกมาใช้งานภายนอก อาจมีขาปกติเหมือนทรานซิสเตอร์ธรรมดา หรืออาจมีเพียง 2 ขาเฉพาะขาคอลเลกเตอร์ (C) และขาอิมิตเตอร์ (E) ส่วนขาเบส (B) ไม่ต่อออกมาใช้งาน และบริเวณสารกึ่งตัวนำของโฟโตทรานซิสเตอร์ต้องเปิดออกให้แสงสามารถส่องมาตกกระทบได้ สภาวะแสงที่ตกกระทบบนตัวโฟโตทรานซิสเตอร์เพื่อควบคุมการทำงาน แสงต้องตกกระทบบนรอยต่อระหว่างคอล เลกเตอร์ และเบส สัญลักษณ์และโครงสร้างของโฟโตทรานซิสเตอร์ แสดงดังภาพที่ 2.52



(ก)โฟโตทรานซิสเตอร์ (ข)โฟโตดาร์ลิงตัน

ภาพที่ 2.52 สัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์

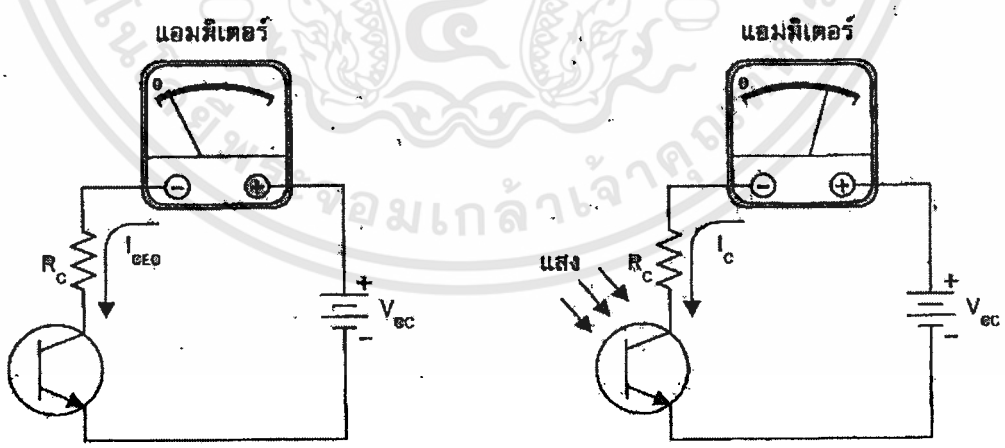
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.53 โครงสร้างเบื้องต้นของโฟโตทรานซิสเตอร์

จากภาพที่ 2.53 แสดงโครงสร้างเบื้องต้นของโฟโตทรานซิสเตอร์ เป็นชนิด NPN ทรานซิสเตอร์ มีขาต่อออกใช้งานเพียง 2 ขาคือขา E และขา C ส่วนขา B อาจต่อออกมาใช้งานหรือไม่ต่อก็ได้ ส่วนรับแสงเพื่อให้เกิดการทำงานของตัวโฟโตทรานซิสเตอร์อยู่ที่สารชนิด PN ของขา B และขา C แสงค่อนกระทบรอยต่อ PN ของโฟโตทรานซิสเตอร์มักผ่านเลนส์รวมแสงก่อนเสมอ ทำให้แสงมีความเข้มมากพอต่อการควบคุมให้โฟโตทรานซิสเตอร์ทำงาน

การจ่ายไบอัสให้โฟโตทรานซิสเตอร์ทำงาน เหมือนกับการจ่ายไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ ธรรมดาคือการจ่ายไบอัสตรงให้ขา E จ่ายไบอัสกลับขา C ส่วนขา B ไม่ได้ต่อออกใช้งานจึงไม่ต้องจ่ายไบอัสให้การต่อวงจรใช้และการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์ แสดงดังภาพที่ 2.54



(ก) ขณะไม่มีแสงตกกระทบ (ข) ขณะมีแสงตกกระทบ

ภาพที่ 2.54 การต่อวงจรใช้งานและการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.54 แสดงการต่อวงจรใช้งาน และการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์ โฟโตทรานซิสเตอร์เป็นชนิด NPN ดังนั้นแรงดันไบอัสตรงจ่ายให้ขา E คือแรงดันลบ และจ่ายแรงดันไบอัสให้ขา C คือจ่ายแรงดันบวก ภาพที่ 2.54ก เป็นขณะไม่มีแสงตกกระทบรอยต่อ PN ที่ขา B และขา C ถึงแม้ว่าได้จ่ายแรงดันไบอัสให้โฟโตทรานซิสเตอร์แล้วก็ตาม โฟโตทรานซิสเตอร์ยังไม่นำกระแสไม่มีกระแสไหลในวงจร เพราะค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อขา C และขา E สูงมาก มีเพียงกระแสรั่วไหล (I_{CEO}) ไหลในวงจรเล็กน้อย เรียกว่ากระแสมืด ค่ากระแสมืดนี้น้อยมากไม่ถือว่าโฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแส

ส่วนภาพที่ 2.54ข เป็นขณะที่มีแสงตกกระทบรอยต่อ PN ที่ขา B และขา C เกิดกระแสเบส (I_B) ไหลโดยกำหนดให้ I_λ เป็นกระแสเบสไหลในโฟโตทรานซิสเตอร์เนื่องจากแสงที่ส่องมากระทบรอยต่อ PN กระแส I_λ นี้ทำให้ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อขา C และขา E ลดลงมาก เกิดกระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) ไหล ค่ากระแส I_C หาได้จากสมการดังนี้

$$I_C = \beta_{DC} I_\lambda$$

เมื่อ I_C = กระแสคอลเลกเตอร์

β_{DC} = อัตราขยายกระแสไฟตรงของโฟโตทรานซิสเตอร์

I_λ = กระแสเบสเกิดจากแสง

ค่ากระแส I_C ที่เกิดขึ้นในโฟโตทรานซิสเตอร์ มีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความเข้มของแสงสว่าง ที่ส่งมากระทบรอยต่อ PN แสดงมีความเข้มน้อยกระแส I_λ ไหลน้อย เกิดกระแส I_C น้อย แสงมีความเข้มมากกระแส I_λ ไหลมาก เกิดกระแส I_C มาก

2.3 วิธีการสอนภาคปฏิบัติ

การสอนในโรงฝึกงาน (workshop teaching) มีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นการเสริมสร้างทักษะในการทำงานโดยตรง ซึ่งจะทำให้เข้าใจว่าวิธีสอนที่ใช้อยู่มีเพียงวิธีสอนแบบปฏิบัติงานวิธีเดียว แต่เมื่อแจกแจงให้ละเอียดแล้ว พบว่ามีแบบแผนการสอนหลายรูปแบบรวมทั้งเทคนิค และการใช้สื่อต่าง ๆ ประกอบอีกมาก ดังนั้นก่อนจะลงมือสอนในโรงฝึกงานควรจะทำความเข้าใจ และเลือกรูปแบบการสอนให้เหมะสมกับเนื้อหา และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ด้วย (ไพโรจน์ ตีรณธนากุล. 2541 : 39)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดรูปแบบวิธีสอนภาคปฏิบัติสามารถจัดแบ่งออกเป็น 8 วิธีการสอน ดังนี้

1. วิธีสอนแบบควบคุมทุกขั้นตอน

การสอนภาคปฏิบัติในโรงฝึกงานภายใต้การควบคุมทุกขั้นตอนคือ การสอนโดยให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติงานโดยตรง โดยต้องทำงานเป็นขั้น ๆ ตามที่ผู้สอนกำหนดให้ภายใต้การดูแลและให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด

การให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติหรือทำงานในโรงงานภายใต้สภาพที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมการกระทำ การเคลื่อนไหว และทักษะ เป็นต้น การเรียนแบบนี้มีสำคัญต่อการสอนภาคปฏิบัติในโรงฝึกงานอย่างมาก ซึ่งมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1. สอนสิ่งที่จะต้องกระทำด้วยมือ เพื่อให้เกิดทักษะ
2. สอนควบคุม และการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ
3. สอนทักษะในการทำงานร่วมกัน
4. สอนขั้นตอนในการรักษาความปลอดภัย

ข้อดี ของวิธีสอนแบบควบคุมทุกขั้นตอน

1. เพิ่มพูนความเข้าใจ และการเรียนรู้ เพราะเป็นการนำทฤษฎีมาปฏิบัติทำให้เกิดความสนใจและตั้งใจเรียนดี

2. ติดตามผลการเรียนได้ คือ ผู้สอนสามารถติดตามความก้าวหน้าของการเรียนของผู้เรียนได้ทุกขณะและสามารถแก้ไขข้อบกพร่องนั้น

3. ลดความเสียหาย เพราะนักเรียนจะต้องดำเนินการฝึก ตามที่ผู้สอนกำหนดไว้ด้วยความระมัดระวัง

4. ส่งเสริมความปลอดภัยในโรงงาน เพราะการควบคุมการฝึกจากผู้สอนอย่างใกล้ชิดและถูกต้องทำให้การปฏิบัติงานของผู้เรียนเป็นไปอย่างถูกต้อง และปลอดภัยซึ่งสามารถป้องกันอุบัติเหตุได้

ข้อเสีย ของวิธีสอนแบบควบคุมทุกขั้นตอน

1. ต้องใช้เครื่องจักร เครื่องมือมาก เพราะจะต้องให้นักเรียนทุกคนให้มีโอกาสในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์เท่ากัน

2. ต้องใช้เวลามาก เพราะจะต้องจัดตั้งเครื่องมือ ช่วงเวลาทำงานของเครื่องมือ เช่น การฝึกกลึง เป็นต้น

3. ต้องใช้ผู้สอนหลายคน เพราะในการควบคุมการปฏิบัตินั้น ผู้สอนคนหนึ่งๆ ไม่สามารถจะดูแลได้หลายกลุ่มเนื่องจากต้องคอยดูแลอย่างใกล้ชิดตลอดเวลา เพื่อลดความเสียหายและต้องติดตามความก้าวหน้าของนักเรียนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีสอนแบบสาธิตก่อนปฏิบัติ

การสอนสาธิตการทำงานก่อนการปฏิบัติ เป็นการสาธิตขบวนการทำงานให้ผู้เรียนได้เข้าใจและสามารถปฏิบัติตามได้ แล้วจึงให้ลงมือปฏิบัติต่อไป

ในการสาธิตนั้น ผู้สอนจะต้องทำการศึกษาคู่มือครูให้เข้าใจ และต้องศึกษาเอกสารเนื้อหาด้วยในกรณีที่ผู้สอนไม่มีความมั่นใจเนื้อหาที่จะทำการฝึกนี้ให้กับผู้เรียนก่อนทำการสาธิต และผู้เรียนก็สามารถที่จะกระทำการทบทวนหรือศึกษาเพิ่มเติมจากที่เรียนมาแล้ว เพื่อให้แม่นยำในเนื้อหายิ่งขึ้น ซึ่งจะมีผลในการทำงานต่อผู้ที่ทำการฝึกให้มีการทำงานได้อย่างถูกต้องปลอดภัย

ข้อดี ของวิธีสอนแบบสาธิตก่อนปฏิบัติ

1. ผู้เรียนสามารถเห็นจริงในงานที่จะทำการฝึกว่ามีขั้นตอนในการทำงานอย่างไรบ้าง
2. ทำให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจในขั้นตอนการทำงานที่ไม่สามารถทำให้เข้าใจด้วยวิธีการอื่น ๆ ซึ่งไม่สามารถทำให้เข้าใจได้
3. สามารถใช้ฝึกทักษะเบื้องต้นได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ
4. ผู้เรียนสามารถทำความเข้าในได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากได้เห็นจริง จึงทำให้ไม่เสียเวลาในการบรรยายมากมายให้ผู้เรียนเข้าใจ

ข้อเสีย ของวิธีสอนแบบสาธิตก่อนปฏิบัติ

1. ใช้เวลาในการสอนมาก
2. ไม่สามารถสอนให้กับผู้เรียนกลุ่มใหญ่ ๆ ได้
3. ในการควบคุมผู้เรียนในระหว่างการสาธิตทำได้ลำบาก ทำให้ผู้เรียนขาดความสนใจได้
4. ในบางครั้งอาจจะไม่เหมาะกับทักษาที่จะทำการสอนให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ได้

3. วิธีสอนแบบบรรยายก่อนปฏิบัติ

การสอนบรรยายย่อก่อนการปฏิบัติ เป็นการสอนโดยการอธิบายทฤษฎี หลักการและวิธีการที่เกี่ยวกับงานที่จะปฏิบัติให้ฟังพอสังเขปแล้วจึงให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติจริงผู้สอนควรปฏิบัติดังนี้

1. คู่มือครู : ผู้สอนควรจะศึกษาวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้ก่อนการสอนเสร็จแล้วจึงค่อยศึกษาเนื้อหาในเอกสารประกอบการสอน
2. คู่มือผู้เรียน : ผู้สอนอาจจะมอบคู่มือผู้เรียนให้แก่นักศึกษาก่อน หรือหลังการบรรยายก็ได้ แต่ถ้าจุให้ได้ผลดีจริง ๆ ควรจะมอบคู่มือผู้เรียนหลังจากบรรยายเสร็จแล้ว ทั้งนี้ก็เพื่อให้ผู้เรียนมีความตั้งใจฟังกับการบรรยายมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ควรจะมอบเอกสารเนื้อหาให้พร้อม ๆ กับคู่มือผู้เรียนให้กับผู้เรียน แต่ถ้าจะให้ได้ผลดีควรจะมอบให้ไปอ่านมาก่อน 1 สัปดาห์

4. แบบฟอร์มการตรวจสอบ และประเมินผล : จะเป็นแบบฟอร์มสำหรับผู้สอนที่จะใช้ในการตรวจสอบและประเมินผล ผู้สอนควรทำความเข้าใจวิธีการใช้แบบฟอร์มนี้ก่อนที่จะนำไปใช้ในการตรวจสอบและประ เมินผล

ข้อดี ของวิธีสอนแบบบรรยายก่อนปฏิบัติ

1. ประหยัดเวลา เพราะสามารถบรรยายเนื้อหาได้มากกว่าวิธีอื่นในระยะเวลาที่เท่ากัน

2. มีความเหมาะสมสำหรับกลุ่มผู้เรียนทุกขนาด

3. ไม่จำกัดสถานที่ คืออาจจะนอก shop หรือใน shop ก็ได้

4. มีความคล่องตัวในการเปลี่ยนแปลง ปรับปรุงเนื้อหา และชิ้นงานได้ง่าย

5. มีความคล่องตัวในการเน้นจุดสำคัญของเนื้อเรื่องได้ทุกขณะ โดยที่ผู้สอนสามารถชี้แนะข้อความที่สำคัญ ๆ ได้ง่าย

4. วิธีสอนแบบปฏิบัติตามใบงาน

การสอนแบบปฏิบัติตามใบงาน เป็นการสอนให้ปฏิบัติโดยตรง มักจะใช้กับผู้เรียนที่มีประสบการณ์เรียนปฏิบัติมาแล้ว และเป็นการเรียนที่ต่อเนื่องจากการเรียนที่ผ่านมาแล้ว ในการเรียนแบบนี้ผู้ควบคุมหรือผู้สอนจะต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับคู่มือครูให้เข้าใจว่าสิ่งต่าง ๆ ที่กำหนดลงไปนั้นมีความเหมาะกับทักษะหรือผลงานของนักเรียนหรือไม่ (ความยากง่ายที่จะฝึก) เพราะสิ่งเหล่านี้คู่มือจะเป็นผู้กำหนด

การใช้คู่มือผู้เรียน คู่มือนี้ (ใบงาน) ให้นักเรียนดูขั้นตอนการปฏิบัติและอุปกรณ์ที่ใช้อย่างละเอียดพร้อมทั้งลักษณะของชิ้นงานที่จะปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงาน

การใช้เอกสารเนื้อหา เป็นสิ่งเพิ่มเติมให้ผู้เรียนทบทวนสิ่งที่เรียนมาแล้วให้แม่นยำ ซึ่งจะมีผลต่อการปฏิบัติด้วย และครูผู้สอนก็ควรจะศึกษาคู่มือผู้สอนให้ละเอียดเช่นกัน

ข้อดี ของวิธีสอนแบบปฏิบัติตามใบงาน

1. นักศึกษาเรียนได้เร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับความสามารถของนักเรียน

2. เป็นการสร้างความมั่นใจให้ผู้เรียน เพราะผู้เรียนสามารถมองของจริงแลปฏิบัติงานจริงรู้แน่ชัดว่าจะทำอย่างไรจึงจะรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

3. เพิ่มความสนใจให้กับผู้เรียน เพราะเป็นการนำเอาทฤษฎีที่เรียนมาใช้ในการปฏิบัติงาน

4. ครูผู้สอนสามารถติดตามผู้เรียนได้ทุกระยะในเวลาปฏิบัติงาน(นักเรียนประมาณ 15 คน)

5. ช่วยลดความเสียหาย เพราะว่านักเรียนได้ฝึกขั้นตอนการปฏิบัติตามใบงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ผู้สอนใช้เวลาสอนน้อยลง เพียงแต่ให้คำปรึกษาในขณะนักเรียนไม่เข้าใจในขั้นตอนการปฏิบัติงานนั้น

ข้อเสีย ของวิธีสอนแบบปฏิบัติตามใบงาน

1. ต้องใช้เครื่องมือเป็นจำนวนมาก (เท่ากับจำนวนที่เรียน)
2. ต้องใช้พื้นที่มาก เพราะต้องติดตั้งเครื่องมือจำนวนมาก
3. นักเรียนที่เกิดความชำนาญแล้ว จะข้ามขั้นตอนและไม่ทำตามขั้นตอนตามใบงาน แต่งานก็ออกมาเช่นกัน
4. ทำให้นักเรียนขาดความคิดริเริ่มในขณะปฏิบัติงาน เพราะว่าขั้นตอนต่างๆ ของการปฏิบัติงานได้กำหนดมาให้แล้ว
5. จะทำให้ผู้เรียนแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงานนั้นไม่ค่อยถูกต้อง ถ้าหากไม่มีความชำนาญ

5. วิธีสอนแบบปฏิบัติแล้วอภิปรายกลุ่ม

การสอนแบบปฏิบัติแล้วอภิปรายกลุ่ม เป็นการติดตามผลจากผู้เรียนและเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แสดงออกถึงข้อเสียของทักษะที่ฝึก รวมทั้งการวิจารณ์เสนอแนะในแนวทางการประยุกต์ต่อไปด้วย การสอนแบบนี้ควรมีการเตรียมการอย่างดี โดยศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน ดังนี้

1. การใช้คู่มือผู้สอน

ผู้สอนต้องทำการศึกษาขั้นตอนการสอนในเอกสารเสียก่อนที่จะทำการสอน

ผู้สอนต้องตรวจสอบทักษะต่างๆในเอกสารว่าทุกทักษะที่ระบุไว้มีทักษะอะไรบ้างที่สอนมาแล้ว และทักษะใหม่ที่ไม่เคยสอน

ถ้าทักษะที่ระบุไว้เคยสอนมาหมดแล้วก็ทำการสอนทักษะนี้ได้

ถ้าทักษะที่ระบุไว้ไม่เคยสอนมาก่อนก็ให้ระงับการสอนนี้ไว้ก่อน ให้ทำการสอนทักษะที่ระบุไว้ให้หมดเสียก่อนแล้วจึงทำการสอนทักษะนี้

ผู้สอนต้องตรวจดูว่าเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในเอกสารทางมีพร้อมหรือไม่ ถ้าไม่มีก็ทำการจัดหาให้พร้อม

ทำการมอบหมายงานให้นักเรียน

2. การใช้เอกสารนักเรียน

2.1 นักเรียนต้องทำการศึกษาขั้นตอนการทำงานในเอกสาร

2.2 นักเรียนต้องทำการศึกษาดูว่าที่เรามีอยู่ตรงกับที่ระบุในเอกสารหรือไม่

2.3 นักเรียนต้องทำการศึกษาดูว่า สิ่งใดหรือความรู้ใดที่เราต้องทบทวนหรือค้นคว้าเพิ่มเติมก็ทำการทบทวนและค้นคว้าเพิ่มเติมอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เมื่อนักเรียนเข้าใจแล้ว ก็ลงมือปฏิบัติงาน

ข้อดี ของวิธีสอนแบบปฏิบัติแล้วอภิปรายกลุ่ม

1. เป็นพื้นฐานในการให้นักเรียนทำงานโดยโครงงาน
2. ทำให้นักเรียนมีความรับผิดชอบในการทำงานมากขึ้น
3. ทำให้นักเรียนมีความกล้าในการแสดงออกในการอภิปราย
4. ทำให้นักเรียนมีความสามารถปฏิบัติงานควบคู่กับการใช้ทฤษฎีผสมผสานกันไป
5. ทำให้นักเรียนทำงานเป็นระบบและรับผิดชอบต่อการค้นคว้าหาความรู้มากยิ่งขึ้น
6. ทำให้นักเรียนสามารถทบทวนความรู้เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือต่าง ๆ

ข้อเสีย ของวิธีสอนแบบปฏิบัติแล้วอภิปรายกลุ่ม

1. ความสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้สอนมีน้อย
2. เป็นผลเสียกับนักเรียนที่ไม่ค่อยกล้าแสดงออกทางคำพูด
3. ยากต่อการให้คะแนนของผู้สอน
4. เกิดความลำเอียงในการให้คะแนนของผู้สอน
5. ผู้สอนไม่สามารถตรวจสอบทุกขั้นตอนได้ ในขณะที่นักเรียนปฏิบัติงาน

6. วิธีสอนแบบปฏิบัติแล้วเขียนรายงาน

การสอนแบบปฏิบัติแล้วเขียนรายงาน เป็นการติดตามผลการปฏิบัติในรูปแบบของลายลักษณ์อักษรซึ่งสามารถเก็บไว้อ้างอิงต่อไปในภาพหลังได้ ในการใช้การสอนแบบนี้จะต้องใช้เอกสารประสานกันดังนี้

1. ผู้สอนจะแจกเอกสารสำหรับผู้เรียน และเอกสารเนื้อหาให้ผู้เรียนก่อนโดยอาจจะแจกล่วงหน้า 2-3 วัน เพื่อให้นักเรียนได้ทราบถึงแนวทางปฏิบัติ และสามารถหาความรู้ด้านเนื้อหาเพิ่มเติม
2. เมื่อถึงเวลาปฏิบัติงานผู้สอนจะใช้เอกสารของผู้สอนในการที่จะบรรยายเน้น หรือบอกกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ในการปฏิบัติงาน และการวัดผล
3. ผู้เรียนจะปฏิบัติตามเอกสารของผู้เรียน และจากการแนะนำของผู้สอนการส่งรายงาน การปฏิบัติงานนั้นจะส่งตามที่ผู้สอนกำหนด
4. ผู้สอนจะใช้แบบฟอร์มการประเมินผลในการประเมินรายงานของผู้เรียน

ข้อดี ของวิธีสอนแบบปฏิบัติแล้วเขียนรายงาน

1. สามารถครอบคลุมเนื้อหาได้มาก โดยอาจจะมอบหมายให้อ่านเพิ่มเติมในสิ่งที่ผู้เรียนสามารถศึกษาด้วยตนเองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลดเวลาในห้องเรียน โดยการมอบหมายงานที่ถูกต้องและรัดกุม ทำให้ผู้สอนในสิ่งที่จำเป็นเพิ่มเติมเท่านั้น

3. เพิ่มพูนการเรียนรู้ เพราะผู้เรียนจะต้องทำการค้นคว้าและฝึกฝนด้วยตนเอง

4. เป็นการสนองความตั้งใจและสนใจของแต่ละบุคคล

ข้อเสีย ของวิธีสอนแบบปฏิบัติแล้วเขียนรายงาน

1. ต้องมีการวางแผนล่วงหน้าไว้อย่างดีเพราะถ้าผู้เรียนขาดความสนใจแล้วทุกอย่างจะล้มเหลว

2. การวัดผลมีปัญหามากเพราะการทำงานของผู้เรียนแต่ละคนมีความแตกต่างกัน

3. รักษามาตรฐานการเรียนยากเพราะทุกอย่างขึ้นกับความสามารถของแต่ละบุคคล เช่น ความเอาใจใส่ความสามารถในการวิเคราะห์ เป็นต้น

7. วิธีสอนแบบปฏิบัติตามชุดการสอนสำเร็จรูป

การสอนแบบปฏิบัติตามชุดการสอนสำเร็จรูปเป็นการติดตามผลการปฏิบัติด้วยตนเอง ซึ่งนับวันจะมีจำนวนมากขึ้น การสอนแบบนี้ เอกสารต่าง ๆ ที่ใช้จะมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง ควรจะดำเนินการดังนี้

คู่มือผู้เรียน (รวมเอกสารเนื้อหา)

ให้ผู้เรียนไปอ่านบทเรียนสำเร็จรูป (อยู่ในคู่มือ) นี้มาก่อน แล้วถ้ามีปัญหาอะไรสงสัยให้ไปถามอาจารย์ผู้สอน เมื่อเข้าใจดีแล้วก็ให้ปฏิบัติตามข้อควรปฏิบัติก่อนใช้บทเรียนซึ่งอยู่ภายในคู่มืออย่างเคร่งครัด โดยให้ปฏิบัติตามบทเรียนที่ได้วางไว้ เมื่อมีความมั่นใจว่าสามารถปฏิบัติการใช้เครื่องได้ถูกต้องแล้วก็ให้ไปบอกอาจารย์ผู้สอนแล้ว ปฏิบัติการใช้เครื่องให้ผู้สอนดู

คู่มือผู้สอน

ให้ผู้สอนอ่านและทำความเข้าใจในคู่มือ ตลอดจนให้ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ได้วางไว้ในคู่มือและเมื่อนักเรียนมีความมั่นใจที่จะทดสอบปฏิบัติการใช้เครื่องให้ดู ผู้สอนจะใช้แบบฟอร์มการประเมินผลเพื่อพิจารณาว่ารักเรียนผู้นั้นสามารถผ่านได้หรือไม่แบบฟอร์มการประเมินผล

ให้ผู้สอนอ่านและทำความเข้าใจกับจุดหลักใหญ่ที่จะวัดทักษะในเรื่องปฏิบัติการใช้เครื่องและทำความเข้าใจกับแบบประเมินผลผู้เรียน โดยดูได้จากแบบขยายความประเมินผล และให้ใช้แบบประเมินผลเพื่อพิจารณาความสามารถผู้เรียนโดยให้กากบาทในช่องเกรดที่ให้ที่มีตั้งแต่เลข 0-5 ให้ผู้ประเมินผลพิจารณาว่าสมควรให้ในระดับไหนแล้วนำไปคูณกับน้ำหนักที่ให้ไว้ก็จะเป็นคะแนนที่ได้แล้ว ทำการรวบรวมคะแนนที่ได้ทั้งหมดโดยจะถือที่ 50 คะแนนขึ้นไปเป็นเกณฑ์ตัดสินให้ผ่านการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี ของวิธีสอนแบบปฏิบัติตามชุดการสอนสำเร็จรูป

1. สามารถให้นักเรียนลงมือปฏิบัติตามบทเรียนได้ทุกเวลา
2. สร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้เรียนก่อนที่จะได้ลงมือปฏิบัติจริง ๆ
3. เหมาะสมกับกรณีที่มีนักเรียนลงปฏิบัติงานที่มีจำนวนมาก

ข้อเสีย ของวิธีสอนแบบปฏิบัติตามชุดการสอนสำเร็จรูป

1. หากผู้เรียนไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในบทเรียนอาจเกิดความเสียหายแก่เครื่องจักรและคนได้
2. ไม่ได้อยู่ในการควบคุมดูแลของผู้สอนในขณะที่ลงมือปฏิบัติตามบทเรียน
3. ต้องอาศัยการตัดสินใจ ในบางครั้งขณะปฏิบัติตามบทเรียน

8. วิธีสอนแบบปฏิบัติตามโครงงาน

การสอนแบบปฏิบัติในรูปของโครงงานใช้ในการแก้ปัญหาเรื่องนักเรียนขาดความสามารถในการสร้างสรรค์ ขาดความสามารถในแจกแจงปัญหาและรู้คุณค่าในการแก้ปัญหาหลาย ๆ ด้าน ขาดทักษะในการติดต่อประสานงานและขาดความร่วมมือไม่ยอมรับฟังความเห็นผู้อื่น ทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้เสนอให้ใช้วิธีการสอนแบบ project method เพื่อแก้ปัญหาการจัดการสอนแบบ project method จะเป็นการสอนแบบ independent study ซึ่งเป็นการศึกษาด้วยตนเองรับผิดชอบการเรียนของตนเอง จุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนแบบนี้ก็เพื่อพัฒนาให้ผู้เรียนมีความเชื่อมั่นสามารถใช้ความคิดริเริ่มของตนเอง แต่อย่างไรก็ดีผู้เรียนมักจะเข้าใจจุดมุ่งหมายผิด กล่าวคือ สนใจผลที่ได้มากกว่าขบวนการแก้ปัญหาและสนใจคะแนนมากกว่าความรู้

การเรียนแบบ project method ผู้สอนจะมีหน้าที่คอยกระตุ้นให้ผู้เรียนรับผิดชอบงานด้วยตนเอง มีความเชื่อมั่นรู้จักรับผิดชอบในหมู่คณะ ไม่ใช่ครอบงำความคิดทั้งหมดผู้สอนจะต้องเปิดโอกาสให้ผู้เรียนรู้จักคิดและเป็นตัวของตัวเอง สำหรับด้านการประเมินผลจะดูจากความสามารถในการทำงานและการที่นักเรียนมีส่วนร่วมโครงการนั้น ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ครูผู้สอนต้องทำความเข้าใจเอกสารคู่มือครูก่อน เมื่อทำการสอนต้องพยายามดำเนินตามการแผนการสอน
2. เมื่อการสอนในสัปดาห์ที่ 1 ต้องทำการแจกเอกสารคู่มือนักเรียนให้กับนักศึกษาทุก ๆ ครั้ง ๆ ละ 1 ชุด ทำการแจกในเวลาที่ได้กำหนดไว้แล้วในคู่มือครู
3. ทำการแจกเอกสารเนื้อหาให้นักเรียนไปทำการค้นคว้าเพิ่มเติม กำหนดเวลาที่มีไว้แล้วในคู่มือครูคือในท้ายชั่วโมงที่ทำการมอบหมายงานแก่นักเรียนในสัปดาห์แรก
4. เอกสารทุกชิ้นที่แจกนักเรียนไปจะต้องทำการเก็บคืนให้ครบเมื่อจบการเรียนการสอนในโครงงานนี้ คือ ในสัปดาห์ที่ 7
5. แบบฟอร์มประเมินผลจะเริ่มใช้ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เมื่อนักศึกษาเริ่มลงมือปฏิบัติงานโดยใช้ในส่วนประเมินผลการทำงานของนักเรียน โดยทำการประเมินผลนักเรียนแต่ละคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้คนละ 1 แบบฟอร์มทำการประเมินไปเรื่อย ๆ จนนักเรียนปฏิบัติงานเสร็จเรียบร้อยในสัปดาห์ที่ 6

6. หลังจากนักเรียนส่งมอบชิ้นงาน และรายงานหมดแล้วให้ไปใช้แบบฟอร์มประเมินผลชิ้นงาน และรายงานของนักเรียนแต่ละคน

ข้อดี ของวิธีสอนแบบปฏิบัติตามโครงงาน

1. การสอนแบบปฏิบัติตามโครงงาน สามารถทำให้เกิดการเรียนรู้ตามหลักการเรียนรู้ psychomotor ของ boom ได้ถึงระดับ 4 คือ การกระทำงานจนเกิดเป็นความเคยชินหรือทักษะ (ไพโรจน์ ตีรณธนากุล. 2541 : 46)

2. เนื่องจากการปฏิบัติงานตามโครงงานนี้ นักศึกษาต้องปฏิบัติเองรวมถึงการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเอง ทำให้นักเรียนสามารถจะเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง นักเรียนเองทำให้เกิดความภูมิใจในการเรียนรู้นั้น ๆ ทำให้เกิดกำลังใจในการที่จะปฏิบัติงานต่าง ๆ ต่อไป ซึ่งเป็นการเสริมแรงจูงใจอย่างหนึ่ง

3. ผลงานที่ออกมานั้น เป็นผลงานที่เกิดจากความสามารถของนักเรียนเองตั้งแต่ต้นจนกระทั่งได้ชิ้นงานสำเร็จมา ดังนั้นนักเรียนจะทำให้เกิดความเข้าใจในขบวนการต่าง ๆ ได้อย่างถ่องแท้และทำให้สามารถจดจำนำไปปฏิบัติได้เอง

4. การสอนแบบปฏิบัติตามโครงงานนี้สามารถใช้กับนักเรียนทั้งกลุ่มใหญ่หรือรายบุคคลได้โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาในการที่จะต้องเปลี่ยนวิธีการสอนใหม่ เนื่องจากสามารถใช้วิธีการสอนแบบเดิมได้ทั้งกลุ่มใหญ่หรือรายบุคคล รวมทั้งการวัดและประเมินผลใช้ได้เหมือนเดิม

ข้อเสีย ของวิธีสอนแบบปฏิบัติตามโครงงาน

1. การเรียนรู้กระทำโทษนักเรียนเอง อาจทำให้เกิดความเข้าใจที่ว่าครูผู้สอนนั้นไม่มีบทบาทและไม่เอาใจใส่ในการให้ความรู้แก่นักเรียน ทำให้เกิดความคิดที่เป็นอคติต่อครูผู้สอน ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเรียนการสอนแบบนี้อาจจะประสบความล้มเหลวได้ เนื่องจากนักเรียนไม่ได้ความร่วมมือในการเรียนการสอน

2. ในการสอนแบบปฏิบัติตามโครงงานนี้เป็นการสอนแบบให้นักเรียนปฏิบัติงานเองโดยตลอด ซึ่งถ้าครูผู้สอนควบคุมดูแลไม่ทั่วถึงก็อาจทำให้เกิดเหตุการณ์ ที่ไม่ได้ลงมือปฏิบัติเองแต่กลับไปให้ผู้อื่นปฏิบัติหรือทำให้เป็นผลเสียกับนักเรียนผู้นั้นไม่ได้รับความรู้จากการเรียน

3. การวัดผลประเมินผลงานของนักเรียน จะพิจารณาจากชิ้นงานและรายงาน ซึ่งโดยปกติแล้วการที่มอบหมายงานให้นักเรียนแต่ละคนทำนั้นจะมีความอิสระมากพอสมควร ในการที่นักศึกษาจะเลือกทำงานตามแบบที่นักเรียนต้องการ ซึ่งจะทำให้ยากแก่การวัดผล ดังนั้นจะต้องมีขอบเขตและขีดจำกัดต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้งานของนักเรียนมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ทำให้การวัดผลง่ายยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ในระหว่างเวลาที่มีการเรียนการสอน ครูผู้สอนควรจะอยู่ดูแลนักศึกษาให้สามารถปฏิบัติงานด้วยความเรียบร้อยและทำการสอดส่องประเมินผลนักเรียน แต่ละคนไปในตัว เพื่อป้องกันนักเรียนไม่ได้ปฏิบัติงานด้วยตนเองแต่ให้ผู้อื่นทำแทน (ไพโรจน์ ตีรณธนากุล. 2541 : 39-48)

สำหรับการประเมินผลการเรียนของนักศึกษาในสายอาชีวศึกษานั้นจะมีรายวิชาที่เป็นภาคปฏิบัติ เพื่อให้นักศึกษามีทักษะในวิชาชีพที่มีการปฏิบัติ ดังนั้นการประเมินผลการเรียนเป็นรายวิชาให้มีการวัดผล หรือผลตามสภาพจริงระหว่างการเรียน และเมื่อสิ้นสุดการเรียน ทั้งภาคทฤษฎี ภาคปฏิบัติ และงานที่มอบหมายให้นักศึกษาทำให้ครอบคลุมจุดประสงค์และเนื้อหาที่เรียน โดยใช้วิธีวัดผล วิธีหนึ่งวิธีใด หรือหลายๆ วิธีผสมกัน อัตราส่วนของการวัดผลหรือประเมินผลระหว่างเรียนและเมื่อสิ้นภาคเรียนหรือเมื่อสิ้นสุดการเรียน ให้ประเมินความรู้ทางทฤษฎีคิดเป็นร้อยละ 30 และประเมินความรู้ทางปฏิบัติงานคิดเป็นร้อยละ 70 (คู่มืองานทะเบียนกรมอาชีวศึกษา : 168)

การศึกษาเรื่องการเรียนรู้และการจำการลืม มีการทดลองเกี่ยวกับส่วนของร่างกายที่ทำหน้าที่ด้านความจำดังกล่าว เป็นการศึกษาทางสรีระ แต่ในสภาพการเรียนการสอนจริงๆ ในห้องเรียนหรือในชีวิตประจำวัน มีปัญหาที่ศึกษากันคือ การเรียนอ่าน การเขียน เรียนการควบคุมอารมณ์ หรือเรียนวิธีการคิดแต่ละอย่างนั้น บุคคลเรียนได้อย่างไร เรียนแล้วเอาออกมาใช้ได้อย่างไร ทำอย่างไรจึงจะทำให้สิ่งที่เรียนได้ดี ปัญหาเหล่านี้เป็นที่มาให้มีการวิจัยค้นคว้าในระดับพฤติกรรมคือในสภาพการเรียนรู้จริงๆ ที่ไม่ใช่ทางสรีระ

นักจิตวิทยาที่ศึกษาเกี่ยวกับการจำและการลืมเป็นคนแรก ได้แก่ เอบบิงเฮาส์ ชาวเยอรมัน เขากล่าวว่า ความจำของเราไม่คงที่ เขาได้ทดลองโดยให้ผู้ถูกทดลองจำคำที่ไม่มีความหมาย พบว่าเวลาผ่านไป 20 นาที จำได้ 58% ผ่านไป 1 ชั่วโมง ความจำเหลือ 42% ผ่านไป 9 ชั่วโมง เหลือ 35% นานออกไปมีผลต่อการจำของบุคคล คือ ยิ่งระยะเวลามากขึ้นความจำจะเหลือน้อยลง แต่อัตราส่วนระหว่างความจำและเวลามิได้แปรผันเป็นสัดส่วนคงที่ตายตัว

นักจิตวิทยาต่อๆ มาศึกษาเรื่องการจำ และการลืมอีกมาก พบคล้ายแอบบิงเฮาส์ แต่เพิ่มเติมบางส่วน เช่น พบว่าอัตราการลืมขึ้นกับลักษณะวิชาที่เรียน บางวิชาลืมเร็ว บางวิชาลืมช้า และศึกษาเพิ่มเติม ส่วนของตัวรบกวนความจำที่เนื่องมาจากการเรียนรู้ เช่น พบว่าวิชาที่เรียนก่อนรบกวนความจำวิชาที่เรียนที่หลัง และวิชาที่เรียนที่หลังก็รบกวนความจำวิชาที่เรียนไปก่อนหน้านี้ (ปราณี รามสูต. 2531 : 227-228)

2.4 การสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดทดลอง

แนวทางการออกแบบการสร้างมีลำดับขั้นตอนดังนี้ (วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2543)

1. กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดทดลองไปใช้ในการสอน จากการตัดสินใจที่จะใช้ชุดทดลองสำหรับการใช้ในการสอนเรื่องใดแล้ว จะทำให้ทราบได้ว่าชุดทดลองจะนำไปใช้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักศึกษากลุ่มใด และต้องทราบรายการวัตถุประสงค์ของเรื่องนั้น เพราะข้อมูลดังกล่าวจะนำมาใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินงานออกแบบ เพื่อสร้างชุดทดลอง เพื่อกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง ขั้นตอนนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นขั้นตอนการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้การออกแบบสร้างชุดทดลองเกิดความเป็นจริง สำเร็จผลตามเป้าหมาย ควรศึกษาสภาพในการเรียนการสอน ศึกษาข้อมูลด้านวิชาการในเรื่องนั้นด้วย ในบางครั้ง ถ้าหากได้มีการพัฒนามาแล้วโดยผู้อื่น ควรที่จะศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ด้วย เมื่อศึกษาข้อมูลต่าง ๆ แล้วจึงนำมาใช้เขียนจุดประสงค์ของอุปกรณ์ และจะไม่ระบุรูปร่างทางเทคนิคเฉพาะเจาะจง สุดท้ายตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง ประสงค์ของอุปกรณ์ และจะไม่ระบุรูปร่างทางเทคนิคเฉพาะเจาะจง สุดท้ายตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง

2. วิเคราะห์และตัดสินในเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์ เป้าหมายที่สำคัญ คือ ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการเลือกอุปกรณ์ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาด รูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น

3. การสร้างต้นแบบและตรวจสอบ เป็นการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์และชิ้นส่วนแล้วนำมาร่างเป็นภาพประกอบคร่าว หรือร่างเป็นแบบง่าย ๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างต้นแบบ ในขั้นตอนนี้อาจจะมีการทดลองหน้าที่ของอุปกรณ์บางอย่าง เพื่อให้การสร้างแบบประสบผลสำเร็จ อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ

4. การเขียนแบบ ในกรณีที่ออกแบบสร้างเพียงเดียวก็ไม่จำเป็น แต่หากจะทำการผลิตหรือต้องการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการดำเนินการต่อไป งานเขียนแบบนับว่ามีความสำคัญอย่างมาก แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับดำเนินการผลิตหรือการสร้าง ดังนั้น แบบงานจะต้องเป็นแบบแยกชิ้นเดี่ยวที่มีข้อมูลอย่างครบถ้วนสำหรับช่างที่จะทำการผลิตได้ งานเขียนแบบจะต้องมีการกำหนดเป็น 4 กลุ่ม คือ แบบรวม แบบประกอบกลุ่มหลัก แบบประกอบกลุ่มย่อย และแบบชิ้นเดี่ยว การเขียนแบบมีความสำคัญต่อการกำหนดราคา การวางแผนการผลิต และเก็บข้อมูลทางด้านชิ้นส่วนวัสดุของหน่วยงาน

5. เตรียมเอกสารประกอบหรือคู่มือการใช้งาน อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไปต้องเตรียมเอกสารประกอบหรือคู่มือ การใช้งานเพื่อผู้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องปลอดภัย และสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์นั้น โดยเฉพาะกลุ่มที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเรียนการสอนต้องมีเอกสารประกอบสำหรับใช้ในการเรียนการสอน เอกสารที่ต้องจัดเตรียมอาจจะมีลักษณะที่แตกต่างกันตามจุดมุ่งหมายของงานเช่น คู่มือการใช้ เอกสารประกอบการศึกษาทดลอง ตำรา ใบงาน แบบฝึกหัดและแบบทดสอบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จัดทำใบงาน ใบงานเป็นใบสั่งงานให้กับศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติซึ่งจะบอกลำดับขั้นตอนในการทดลองและแนวทางที่ใช้ในการค้นคว้าเพิ่มเติมในการปฏิบัติการ นับเป็นสื่อชนิดหนึ่ง ดังนั้นจะพบว่าใบงานมีความสำคัญต่อการเรียนการสอนภาคปฏิบัติอย่างมากและสิ่งที่จะต้องมีไว้ในใบงานดังนี้

6.1 วัตถุประสงค์ของการปฏิบัติที่ชัดเจน

6.2 มีรายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการปฏิบัติ

6.3 มีลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง

6.4 มีวงจรที่ใช้ในการปฏิบัติ

6.5 มีข้อควรระวังในการปฏิบัติงาน

6.6 คำถามที่กระตุ้นความคิดของผู้เรียน

7. วิเคราะห์เนื้อหาวิชาปฏิบัติโดยศึกษา เพื่อวางโครงร่างลำดับ ความสัมพันธ์และแบ่งระดับความยาก-ง่ายของเนื้อหาวิชา ที่จะทำการออกแบบสื่อการเรียนการสอนซึ่งศึกษาจากตำรา เอกสารการสัมมนา ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา

8. การทดลองใช้ การทดลองจะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษา โดยผู้วิจัยเพื่อค้นหาข้อบกพร่องต่าง ๆ เช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน ความสะดวกในการลอกเลียนแบบขึ้นมาใหม่ เป็นต้น

9. การปรับปรุงข้อมูล และประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นจะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดทดลอง และใบงานที่มีคุณภาพจนเป็นที่ยอมรับ

สรุปการพัฒนาชุดทดลองขึ้นอยู่กับเนื้อหาสาระที่ใช้ทำการทดลอง พฤติกรรมที่ต้องการพัฒนาและข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต้องให้กับผู้เรียน โดยคำนึงถึงลักษณะของเนื้อหา วัตถุประสงค์ กิจกรรมที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว จะเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างชุดทดลอง ใบเนื้อหาและใบงาน

2.5 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

วัลลภ จันทร์ตระกูล (2543 : 110-128) ได้เสนอแนวทางในการสร้างชุดทดลอง และอุปกรณ์ช่วยสอนเป็นลำดับขั้นไว้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดทดลองไปใช้ในการสอน

จากการตัดสินใจในการทีจะใช้ชุดทดลองสำหรับการสอนในหัวข้อเรื่องใด หรือเนื้อหาเรื่องใดแล้ว จะทำให้ทราบว่าชุดทดลองจะนำไปใช้กับนักศึกษากลุ่มใดแล้วก็ควรจะทราบวัตถุประสงค์ของบทเรียนนั้นด้วย ข้อมูลดังกล่าวจะนำมาใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการดำเนินงานพัฒนาออกแบบสร้างชุดทดลอง โดยกำหนดจุดประสงค์ของอุปกรณ์ เพื่อกำหนดคุณลักษณะของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ให้สอดคล้องวัตถุประสงค์ของบทเรียน ในขั้นตอนนี้อาจกล่าวได้ว่า เป็นขั้นตอนที่จะต้องศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้การออกแบบชุดทดลองเกิดความเป็นจริงสำเร็จผลตามเป้าหมาย ควรศึกษาสภาพในการเรียนการสอน ศึกษาข้อมูลด้านวิชาการในเรื่องนั้น ๆ หรือถ้าหากเรื่องนั้นได้มีการพัฒนามาแล้วโดยผู้อื่น ก็ควรที่จะศึกษารายละเอียดด้วย เมื่อศึกษารายละเอียดต่าง ๆ แล้วจึงนำมาเขียนจุดประสงค์ของอุปกรณ์ ในลักษณะคำบรรยายแต่ไม่ระบุรูปร่างทางเทคนิคเฉพาะเจาะจงข้อมูลต่าง ๆ อาจกล่าวได้ว่าเป็นขอบเขต คุณลักษณะของอุปกรณ์ที่จะออกแบบสร้าง อาจกำหนดเป็นข้อ ๆ ได้ และตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของบทเรียนอีกครั้ง จนกระทั่งได้ผลครอบคลุมตามเป้าหมาย

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดหน้าที่ของอุปกรณ์

คำบรรยายลักษณะของอุปกรณ์ ที่กำหนดขึ้นในขั้นตอนที่ 1 จะนำมาดำเนินการในขั้นตอนที่ 2 โดยวิเคราะห์คำบรรยายเพื่อหาคำพื้นฐาน (Basic Term) จากคำพื้นฐาน ทำให้ทราบหน้าที่ (Term Element) ของอุปกรณ์ อย่างไรก็ตามเฉพาะคำพื้นฐานอาจไม่ใช่รายการหน้าที่ครอบคลุมลักษณะอุปกรณ์ จึงต้องมาวิเคราะห์ค่าประกอบสัมพันธ์ (Relation Term) ด้วย

สรุปได้ว่า ในขั้นตอนที่ 2 นี้ จะทำให้ได้หน้าที่ของอุปกรณ์ และสามารถกำหนดตัวรายการอุปกรณ์หน้าที่เป็นกลางทั่วไป โดยไม่ระบุเฉพาะเจาะจงว่าต้องใช้ชิ้นส่วนอุปกรณ์แบบใดรูปร่างแบบใด

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาพิจารณาปัจจัยที่ทำให้อุปกรณ์นั้นทำงานได้ตามหน้าที่

ในขั้นตอนนี้ เป็นการคิดค้นสิ่งที่จะทำให้อุปกรณ์นั้นทำงานได้ตามหน้าที่ที่กำหนด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในรูปของวัสดุ พลังงาน และสัญญาณ วิทยาการที่สำคัญเกี่ยวข้องในขั้นนี้ คือ วิชาฟิสิกส์ ได้แก่ ด้านกลไก เคมี ไฟฟ้า แสงเสียง และความร้อน เป็นต้น สิ่งที่กำหนดอาจจุเป็นคำเขียนสั้นๆ หรือภาพสเก็ตง่าย ๆ เพื่อจะใช้เป็นชิ้นส่วนประกอบอุปกรณ์ จะต้องพยายามเขียนกำหนดให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ สำหรับเป็นทางเลือกต่าง ๆ ที่จะทำการตัดสินใจเลือกในลำดับต่อไป แนวทางที่จะได้ทางเลือก คือ การศึกษาพิจารณาในลักษณะรูปทรงต่าง ๆ และลักษณะของการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบนั้น ๆ อาจต้องมีการระดมสมองร่วมกับนักศึกษา รวมทั้งข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่แม้กระทั่งผลงานผู้อื่น ชิ้นส่วนที่คิดค้นขึ้น ควรจะต้องพิจารณาเงื่อนไขบางประการ เช่นการใช้ชิ้นส่วนสำเร็จ ความยากง่ายในการผลิต และค่าใช้จ่าย เป็นต้น นอกจากนั้นควรใช้ชิ้นส่วนประกอบบางชิ้นทำหน้าที่ได้หลายหน้าที่ สิ่งสำคัญในจุดนี้ คือ พยายามใช้ชิ้นส่วน หรืออุปกรณ์บางอย่างที่มีอยู่แล้วให้มากที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนของอุปกรณ์

ขั้นตอนนี้มีเป้าหมายที่สำคัญ คือ ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากทางเลือกหลายๆ ทางโดยการวิเคราะห์ และตัดสินใจเลือก ซึ่งอาจจะมีวิธีการแตกต่างกันไป การตัดสินใจเลือกมีสิ่งสำคัญ คือ แนวทางในการตัดสินใจเลือกเกณฑ์ โดยทั่วไปเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่เรื่องของขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่าง ประสิทธิภาพในการทำงาน การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น ส่วนน้ำหนักของเกณฑ์จะแตกต่างไปตามความสำคัญ หรือจะเน้นหนักในเรื่องใด เช่น เน้นหนักทางด้านเทคนิค หรือทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น การตัดสินใจจะต้องมีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ ในการตัดสินใจเลือกจึงควรประกอบด้วยบุคคลหลายฝ่าย เช่น ฝ่ายออกแบบ ฝ่ายผลิต ฝ่ายจัดการ เป็นต้น การพัฒนาอุปกรณ์ซึ่งมีอุปกรณ์ประกอบต่างๆ จำนวนมาก อาจต้องตัดสินใจเลือกส่วนประกอบแต่ละชิ้น ขั้นตอนนี้ต้องนำมาวิเคราะห์ความเข้ากันได้ หรือการประกอบกันได้ของชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ได้เลือกมาแล้ว จึงทำการตัดสินใจเลือกชุดประกอบแต่ละชุด

ขั้นตอนที่ 5 การสร้างต้นแบบและตรวจสอบ

จากผลการตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบ ในขั้นตอนที่ 4 จะต้องนำมาสเก็ตเป็นภาพประกอบคร่าว ๆ หรือสเก็ตเป็นแบบง่าย ๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างเป็นต้นแบบ บางครั้งขั้นตอนนี้อาจจะต้องทำการทดลอง หรือทดสอบกลไกหน้าที่ของอุปกรณ์บางอย่างเพื่อให้การสร้างต้นแบบประสบความสำเร็จ อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถ ทำงานได้ตามต้องการ

ขั้นตอนที่ 6 การเขียนแบบ

ในกรณีที่ออกแบบสร้างเพียงชิ้นเดียว งานเขียนแบบก็ไม่จำเป็น แต่ถ้าหากจะทำการผลิตหรือต้องการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในการดำเนินการต่อไป งานเขียนแบบนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง แบบงานจะเป็นข้อมูลในการดำเนินการผลิต ดังนั้น แบบงานจะต้องมีแบบชิ้นแยกแบบชิ้นเดียว ที่มีข้อมูลอย่างครบถ้วนสำหรับช่างที่ทำการผลิตได้ งานเขียนแบบจะต้องกำหนดเลขหมายแบบ ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ แบบรวม แบบประกอบกลุ่มหลัก แบบประกอบกลุ่มย่อย และแบบชิ้นเดียว ระบบการเขียนแบบมีความสำคัญต่อการกำหนดราคา การวางแผนการผลิตและการเก็บข้อมูลทางด้านชิ้นส่วน และวัสดุของหน่วยงาน

ขั้นตอนที่ 7 การเตรียมเอกสารประกอบ

อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไปควรจะต้องเตรียมเอกสารประกอบในการทดลอง เช่น ตำรา ใบงาน แบบทดสอบ เพื่อให้ผู้ใช้จะได้ทำการทดลองใช้งานได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัย และสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์ชิ้นนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเรียนการสอนจะต้องเตรียม เอกสารประกอบสำหรับใช้ในการเรียนการสอนด้วย

2.6 การหาประสิทธิภาพชุดทดลอง

อรพันธ์ ประสิทธิรัตน์. (2530 : 80-84) กล่าวไว้ว่า ในกรณีที่ได้ชุดทดลองที่สมบูรณ์แล้ว ก่อนนำชุดทดลองไปใช้กับผู้เรียน ควรนำชุดทดลองไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน แล้วอาจต้องปรับปรุงแก้ไขจนเป็นที่พอใจแล้วนำไปทดลอง โดยหากลุ่มตัวอย่างเล็ก ๆ ประมาณ 2-3 คนก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อจะได้ตรวจสอบในด้านการใช้ถ้อยคำสำนวน หรือคำสั่งว่าเหมาะสมหรือไม่ ถ้าไม่เหมาะสมจะต้องทำการปรับปรุงแก้ไขใหม่ หลังจากนั้นจึงนำไปทดลองใช้กลับกลุ่มตัวอย่างประมาณ 20 คน เพื่อหาประสิทธิภาพตามกระบวนการหาประสิทธิภาพของสื่อการสอนโดยใช้สูตรดังนี้ (เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต. 2528 : 295)

$$E_1 = \left[\frac{\frac{\sum \chi}{N}}{A} \right] \times 100$$

$$E_2 = \left[\frac{\frac{\sum Y}{N}}{B} \right] \times 100$$

เมื่อ E_1 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์คิดเป็นร้อยละจากการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน 9 ใบงาน

E_2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์คิดเป็นร้อยละจากการทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการปฏิบัติทดลอง

$\sum \chi$ คือ คะแนนรวมของผู้เรียนจากการปฏิบัติระหว่างการทดลอง

$\sum Y$ คือ คะแนนรวมของผู้เรียนจากการปฏิบัติในแบบทดสอบรวม

A คือ คะแนนรวมของผู้เรียนจากการปฏิบัติระหว่างการทดลอง

B คือ คะแนนรวมของผู้เรียนจากการปฏิบัติในแบบทดสอบรวม

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

การกำหนดเกณฑ์การหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง การกำหนดเกณฑ์ E_1 / E_2 ให้มีค่าใดนั้นผู้สร้างชุดทดลองเป็นผู้พิจารณาตั้งเกณฑ์เอง โดยยึดเกณฑ์ในการพิจารณากำหนดเกณฑ์มาตรฐานดังนี้

1. เนื้อหาวิชาที่เป็นความรู้ ความจำ ควรตั้งเกณฑ์ให้ไว้ คือ 80/80, 85/85 และ 90/90

2. เนื้อหาวิชาที่เป็นทักษะหรือเจตคติ ควรตั้งเกณฑ์ต่ำลงมาเล็กน้อย คือ 70/70, 75/75 แต่ผู้สร้างชุดทดลองอาจตั้งเกณฑ์สูงกว่านี้ก็ได้

การยอมรับประสิทธิภาพของบทเรียนสำเร็จรูป

1. สูงกว่าเกณฑ์ คือ ตั้งเกณฑ์ E_1 / E_2 ไว้แล้วได้ค่าประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เช่น ตั้งเกณฑ์มาตรฐานไว้ 90/90 แล้วคำนวณค่าประสิทธิภาพชุดทดลองได้ 95/95

2. เท่าเกณฑ์ คือ ตั้งเกณฑ์ E_1 / E_2 ไว้แล้วได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับเกณฑ์ที่ตั้งไว้พอดี เช่น ตั้งเกณฑ์มาตรฐานไว้ 90/90 แล้วคำนวณค่าประสิทธิภาพชุดทดลองได้ 90/90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. น้อยกว่า คือ ตั้งเกณฑ์ E_1 / E_2 ไว้แล้วได้ค่าประภาพต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้พอดี เช่น ตั้งเกณฑ์มาตรฐานไว้ 90/90 แล้วคำนวณค่าประสิทธิภาพชุดทดลองได้ 80/80

ในกรณีที่การหาประสิทธิภาพของชุดทดลองแล้วผลออกมาต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เช่น ตั้งเกณฑ์มาตรฐานไว้ 90/90 แล้วคำนวณค่าประสิทธิภาพชุดทดลองได้ 80/80 ซึ่งเราสามารถยอมรับได้ว่าเป็นนวัตกรรมที่ได้มาตรฐานเนื่องจากประสิทธิภาพที่คำนวณได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ไม่เกิน ±2.5%

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง และการหาประสิทธิภาพหรือการหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของชุดประลองหลายเรื่องด้วยกัน สรุปได้ดังนี้

พิพิธ ตันเจริญ (2546 : 68-75) ทำการพัฒนาชุดฝึกโทรทัศน์สี วิชาปฏิบัติโทรทัศน์ 2 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษากระทรวงศึกษาธิการใช้เกณฑ์กำหนดร้อยละ 80/80 เป็นการวิจัยเชิงทดลองกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพนวมินทราชูทิศ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2546 จำนวน 15 คน จากการวิจัยพบว่าชุดฝึกโทรทัศน์สีวิชาปฏิบัติโทรทัศน์ 2 มีประสิทธิภาพ 84.53/81.67 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด

พิพัฒน์ สมใจ (2546 : 27-34) ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์ วิชาปฏิบัติอิเล็กทรอนิกส์ 1 โปรแกรมวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรอนุปริญญา สถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ ใช้เกณฑ์กำหนดร้อยละ 80/80 กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับอนุปริญญา ชั้นปีที่ 1 โปรแกรมวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2544 สถาบันราชภัฏบุรีรัมย์ จำนวน 20 คน จากผลการวิจัยพบว่า ชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.17/83.27 สูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด

สถาพร จำรัสเลิศลักษณ์ (2543 : 66-74) ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองประกอบการฝึกอบรมเรื่องวงจรชุดอุปกรณ์แฮนด์ฟรี ใช้เกณฑ์กำหนดการวิจัยของการหาประสิทธิภาพไว้ที่ 80/80 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นพนักงานฝ่ายช่างซ่อมบริการของบริษัทบลิสเทล จำกัด ที่สำเร็จการศึกษาระดับ ปวส. สาขาวิชาไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 15 คน ผลการวิจัยพบว่าคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบท้ายการทดลองคิดเป็นร้อยละ 81.93 และผลคะแนนจากการทำแบบทดสอบรวมคิดเป็นร้อยละ 80.66 ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานของการวิจัย

พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์ (2540 : 41-42) ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองวิชาการออกแบบวงจรขยายเชิงเส้น ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง (ปท.ส.) ของกรมอาชีวศึกษา ใช้เกณฑ์กำหนดในการวิจัยร้อยละ 80/80 กลุ่มทดลองที่ใช้เป็นนักศึกษาระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาไฟฟ้า วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน จำนวน 21 คน ผลการวิจัยพบว่าคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบท้ายการประลอง ร้อยละ 83.33 และผลคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบรวม ร้อยละ 84.33 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ผลความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับชุดประลองและใบประลองมีความเห็นว่า มีคุณค่าและมีประโยชน์เหมาะสมนำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน มีข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไปว่า ควรทำการวิจัยเพิ่มเติมในวิชาอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในด้านชุดประลอง ถือว่ามีส่วนสำคัญอย่างมากที่จะทำให้เกิดทักษะและสัมฤทธิ์ผลทางการเรียน

พุธทอง โพธิปัญญา (2540 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง วิธีการ โดยสร้างชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยการวิเคราะห์หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้ชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ที่สร้างขึ้นเพื่อประกอบการเรียนการสอน วิชาหลักการเบื้องต้นของระบบรับส่ง ด้วยเส้นใยแก้วนำแสง แผนกวิชามัลติเพล็กซ์ มีป้าหมายเพื่อลดปัญหาการขาดแคลนชุดประลอง และช่วยส่งเสริมทักษะการเรียนให้ดียิ่งขึ้น วิธีดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและสร้างชุดประลองให้ตรงตามหลักสูตร ครอบคลุมเนื้อหาจำนวน 6 เรื่อง โดยการเลือกใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อง่ายในประเทศราคาประหยัดจากนั้นนำไปทดลองใช้เพื่อหาประสิทธิภาพ เครื่องมือที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพ ได้แก่ ใบประลอง แบบทดสอบหลังการประลอง และแบบทดสอบรวมทุกการประลอง กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย คือผู้ที่ได้เข้ารับการอบรมของแผนกวิชามัลติเพล็กซ์ จำนวน 20 คน ผลการวิจัยพบว่า ชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพ 84.42/85.57 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยนักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เมื่อใช้ชุดทดลองใหม่คิดเป็นคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 25.22 เมื่อใช้ชุดทดลองเดิม มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 21.94 ไม่แตกต่างกันที่ความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยชุดทดลองใหม่เหมาะสมในการใช้งาน ด้านเอื้ออำนวยความสะดวก และสอดคล้องกับหลักสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 การเตรียมการวิจัย

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4 ขั้นตอนในการสร้างเครื่องมือ

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.7 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร คือ นักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ชั้นปีที่ 1 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี จำนวน 35 คน

3.1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ชั้นปีที่ 1 จำนวน 20 คน เลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย

3.2 การเตรียมการวิจัย

การเตรียมการวิจัย ผู้วิจัยได้ศึกษาเนื้อหาวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จากตำราที่ใช้ในการสอน และลักษณะของชุดทดลองอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งระเบียบและวิธีการวิจัยจากวิทยานิพนธ์ และคู่มือต่างๆ การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขตของการวิจัย โดยกำหนดที่จะพัฒนาชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์พร้อมใบงาน และแบบทดสอบ สามารถแยกแยะและกำหนดเป็นหัวข้อการทดลองไว้ทั้งหมด 9 เรื่อง ดังต่อไปนี้

ใบงานที่ 1 การหาคุณสมบัติของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด

ใบงานที่ 2 วงจรเรียงกระแส

ใบงานที่ 3 ไดโอดในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4 การหาคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

ใบงานที่ 5 การหาคุณสมบัติของเฟท

ใบงานที่ 6 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของเอสซีอาร์

ใบงานที่ 7 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไตรแอค

ใบงานที่ 8 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไดแอค

ใบงานที่ 9 ลักษณะสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์
2. ใบงาน เป็นใบงานที่ให้นักศึกษาปฏิบัติการทดลองมี 9 ใบงาน ในใบงานจะประกอบด้วย
   2.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง
   2.2 ทฤษฎีและคำแนะนำที่เกี่ยวข้อง
   2.3 รายการอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้
   2.4 ลำดับขั้นในการทดลอง ซึ่งจะมีรายละเอียดในการทดลองเป็นลำดับขั้นวงจรที่ทำการทดลอง ตารางบันทึกค่า และกราฟสำหรับการบันทึกผลการทดลอง ตอนท้ายมีสรุปผลการทดลอง และคำถามท้ายการทดลอง
3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในทางปฏิบัติ
4. แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองและใบงาน

3.4 ขั้นตอนในการสร้างเครื่องมือ

3.4.1 ชุดทดลอง

1. ศึกษารายละเอียดและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รูปแบบการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแบบต่างๆ ทั้งตัวชุดทดลอง ใบงานการทดลอง เพื่อวางแนวทางในรายละเอียดของหัวข้อเนื้อหาต่างๆ ของชุดทดลอง ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับหลักและวิธีการสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดทดลอง ค้นคว้าเอกสาร และตำราต่างๆ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของวงจรการทดลอง และการคำนวณออกแบบวงจร

2. ออกแบบและสร้างชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

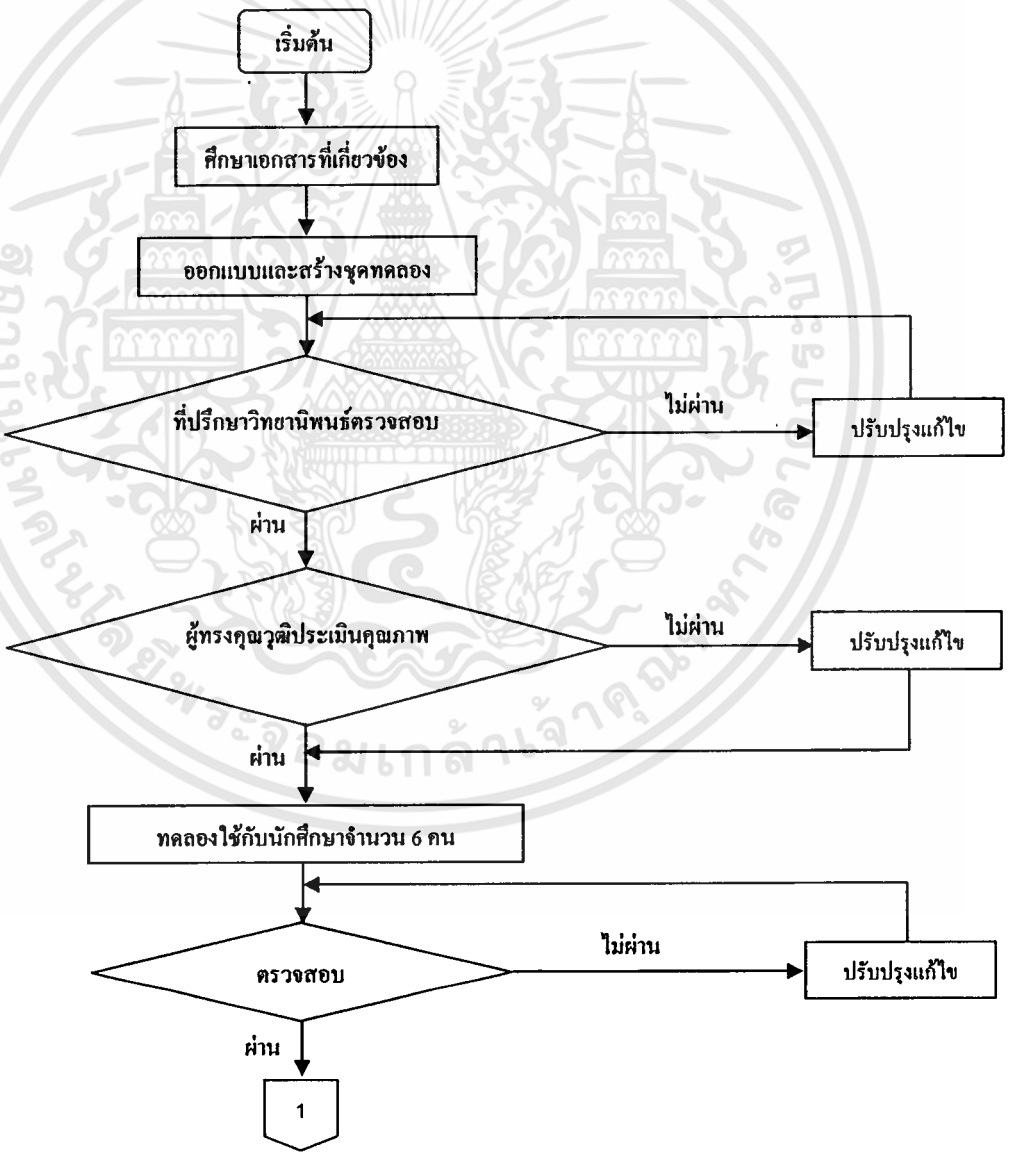
3. นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบหากมีข้อบกพร่องทำการปรับปรุงแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านสื่อตรวจสอบ และประเมินคุณภาพหากมีข้อบกพร่องทำการปรับปรุงแก้ไข

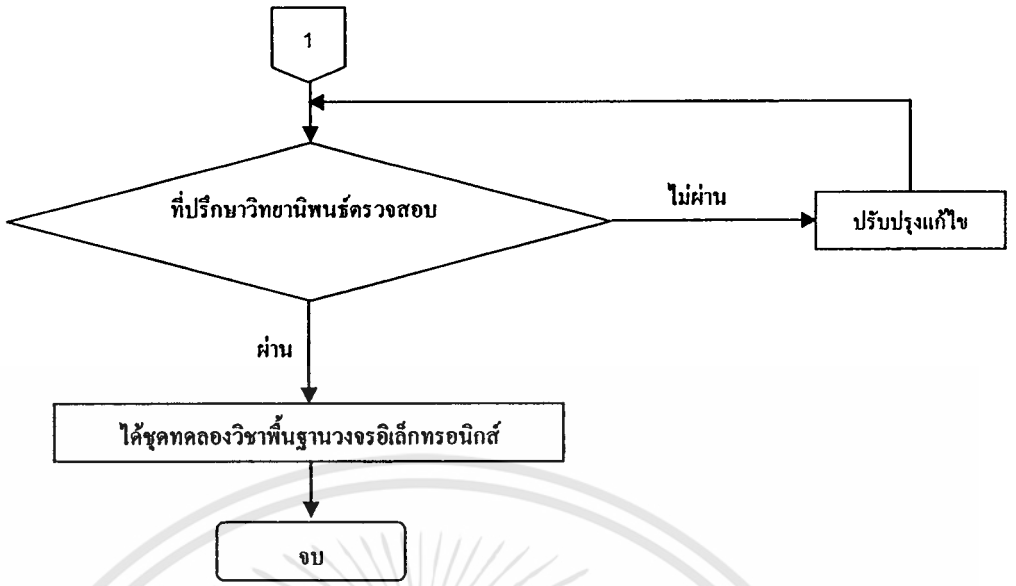
5. นำไปทดลองใช้กับ กลุ่มทดลองจำนวน 6 คน นักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง โดยนำผลการเรียนของนักเรียนมาคัดเลือกออกเป็นกลุ่ม เก่ง ปานกลาง และอ่อน กลุ่มละ 2 คน รวม 6 คน นำชุดทดลอง ที่สร้างขึ้นไปใช้ทดลองกับนักเรียนดังกล่าว เพื่อหาข้อบกพร่องของชุดทดลองแล้วนำมาแก้ไขปรับปรุง

6. นำข้อมูลที่ได้ให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบซึ่งพอจะสรุปขั้นตอนในการสร้างดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการสร้างชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการสร้างชุดทดลอง (ต่อ)

3.4.2 ใบงาน

1. ผู้วิจัยได้ทำการสร้างใบงานให้มีความสัมพันธ์กับชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยศึกษาเนื้อหาเอกสารที่เกี่ยวข้องในใบงานของแต่ละเรื่อง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารตำรา เพื่อใช้เป็นส่วนอ้างอิงของการเขียนเนื้อหาทฤษฎี การสร้างใบงานประกอบด้วยหัวเรื่องเรื่องของการทดลอง วัตถุประสงค์ของการทดลอง เนื้อหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยสรุป อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วงจรการทดลอง ตารางบันทึกค่า และรวมทั้งคำถามท้ายการทดลอง

2. สร้างใบงานการทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

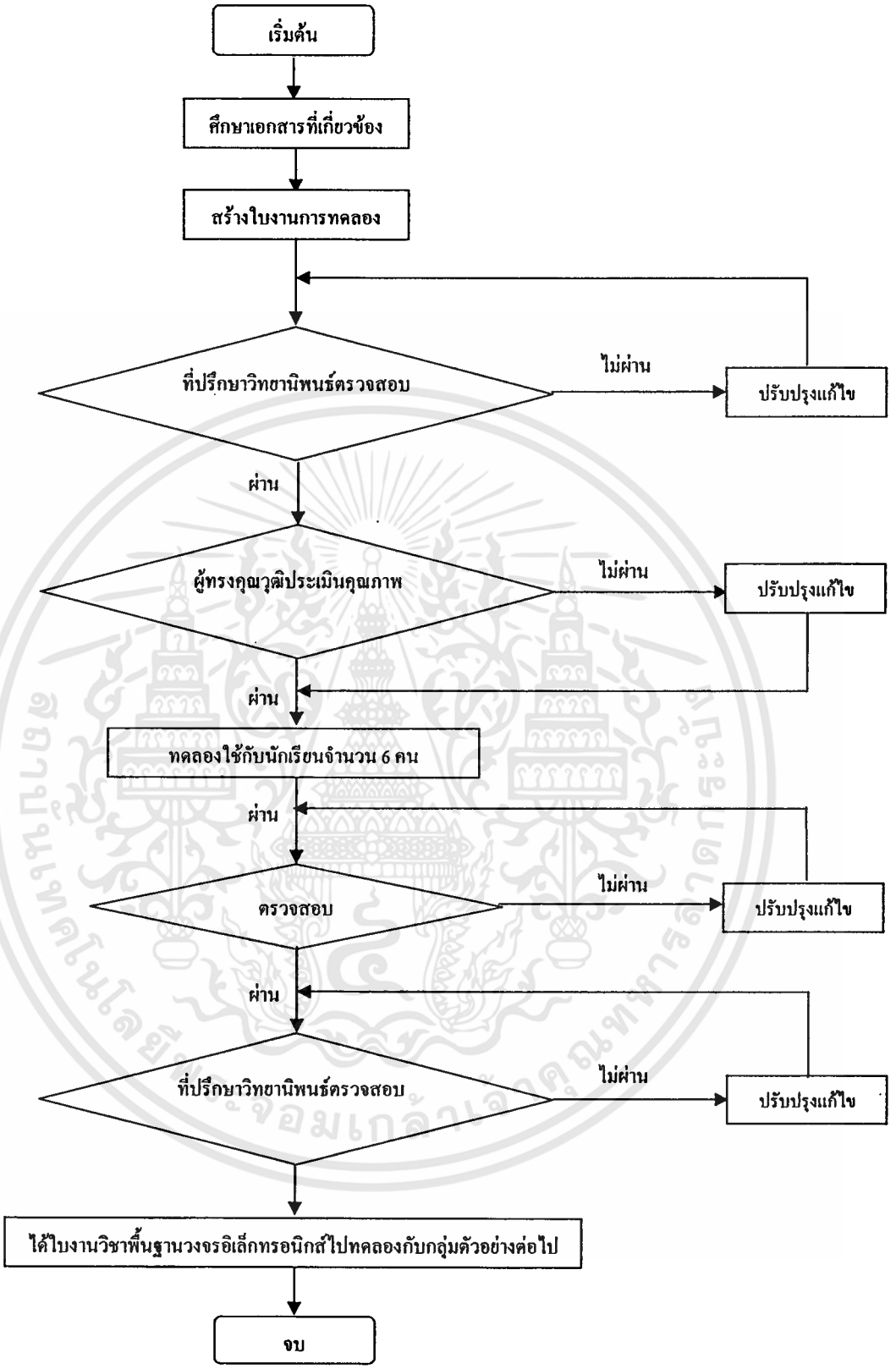
3. นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบ หากมีข้อบกพร่องทำการปรับปรุงแก้ไข

4. นำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาตรวจสอบ และประเมินคุณภาพ หากมีข้อบกพร่องทำการปรับปรุงแก้ไข

5. นำไปทดลองใช้กับ กลุ่มทดลองจำนวน 6 คน นักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง โดยนำผลการเรียนของนักเรียนมาคัดเลือกออกเป็นกลุ่ม เก่ง ปานกลาง และอ่อน กลุ่มละ 2 คน รวม 6 คน นำชุดทดลอง และแบบทดสอบที่สร้างขึ้นไปใช้ทดลองกับนักเรียนดังกล่าว เพื่อหาข้อบกพร่องของชุดทดลองแล้วนำมาแก้ไขปรับปรุง

6. นำข้อมูลที่ได้ให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบซึ่งพอจะสรุปขั้นตอนในการสร้างดังแสดงในภาพที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างใบงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

1. โดยทำการศึกษาเอกสารเรื่องที่เกี่ยวข้อง และรายละเอียดต่าง ๆ จากใบงานที่สร้างขึ้นจากวงจรที่ใช้ในการทดลอง จากผลการทดลองที่ได้ นำมาสร้างแบบทดสอบ โดยสร้างแบบทดสอบในแนวทางปฏิบัติ

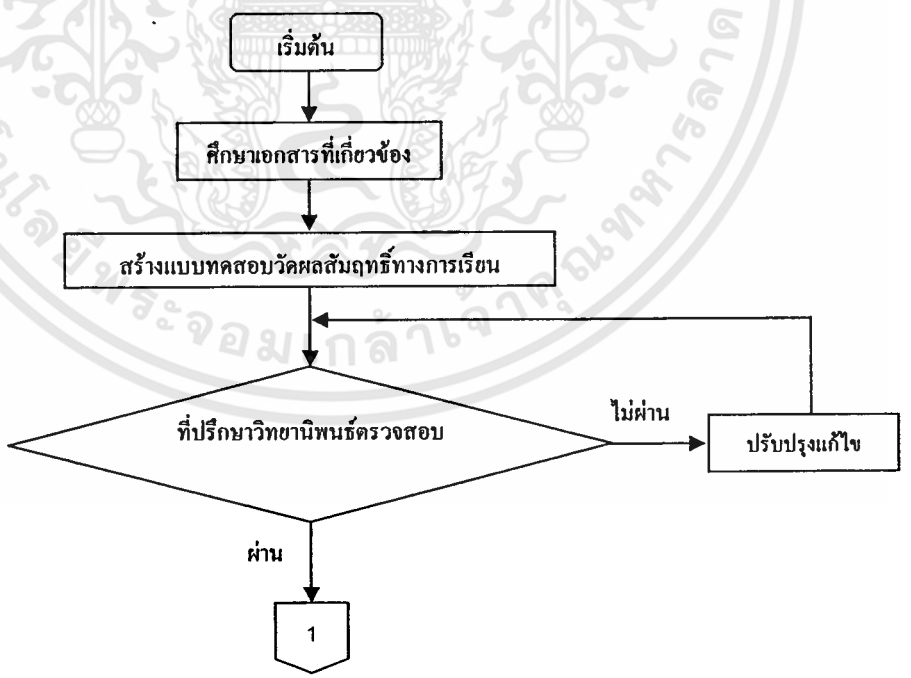
2. สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3. ขั้นตอนต่อไปนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบ หากมีข้อบกพร่องทำการปรับปรุงแก้ไข

4. นำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาหากมีข้อบกพร่องทำการปรับปรุงแก้ไข

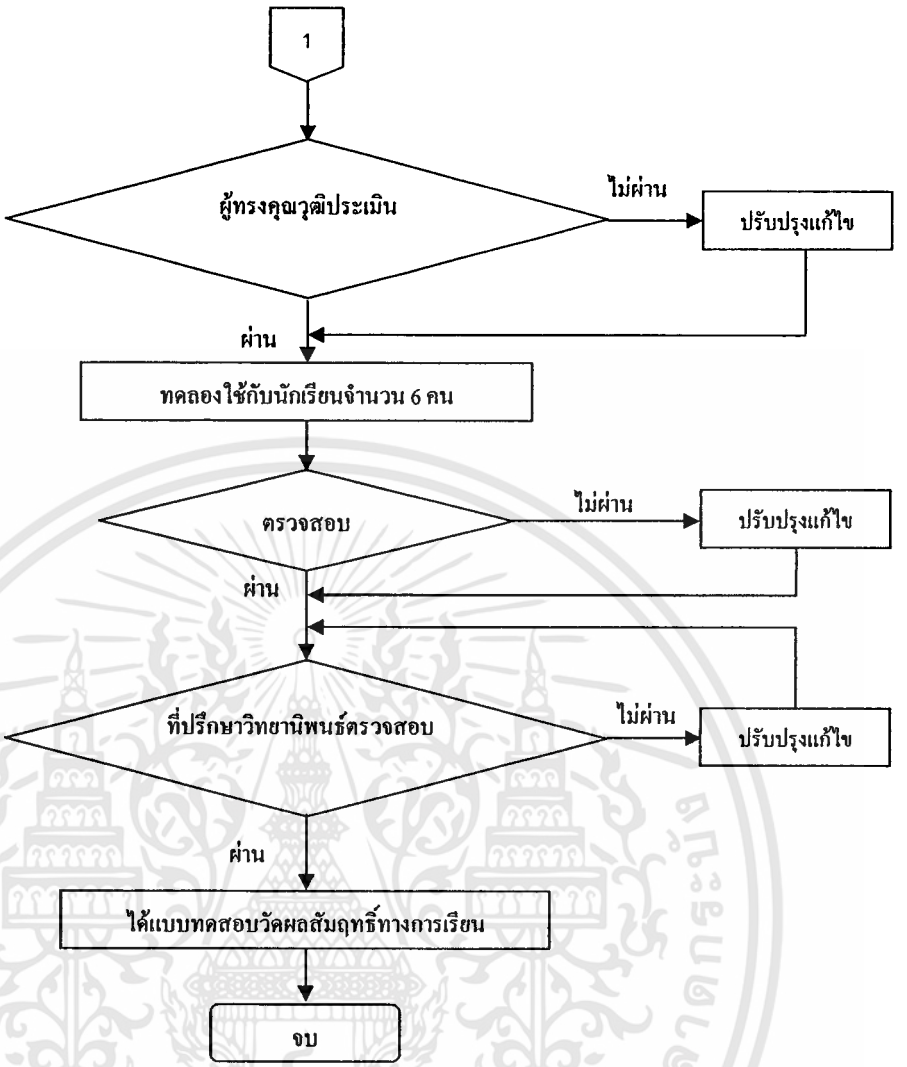
5. นำไปทดลองใช้กับ กลุ่มทดลองจำนวน 6 คน นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี โดยนำผลการเรียนของนักศึกษามาคัดเลือกออกเป็นกลุ่ม เก่ง ปานกลาง และอ่อน กลุ่มละ 2 คน รวม 6 คน นำชุดทดลอง และแบบทดสอบที่สร้างขึ้นไปใช้ทดลองกับนักศึกษากลุ่มนี้ เพื่อหาข้อบกพร่องของชุดทดลองแล้วนำมาแก้ไขปรับปรุง

6. นำข้อมูลที่ได้ให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบซึ่งพอจะสรุปขั้นตอนในการสร้างดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (ต่อ)

หาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาเป็นผู้ตรวจสอบประเมิน พิจารณาความสอดคล้องของคำถามกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

+1 คะแนน สำหรับข้อคำถามที่สอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

0 คะแนน สำหรับข้อคำถามที่ไม่แน่ใจว่าสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

-1 คะแนน สำหรับข้อคำถามที่ไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

บันทึกผลการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละข้อแล้วนำไปหาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ใช้ข้อที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์ (บุญเชิด ภิญโญอนันต์พงษ์. 2538 : 88-89) ใช้สูตรดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

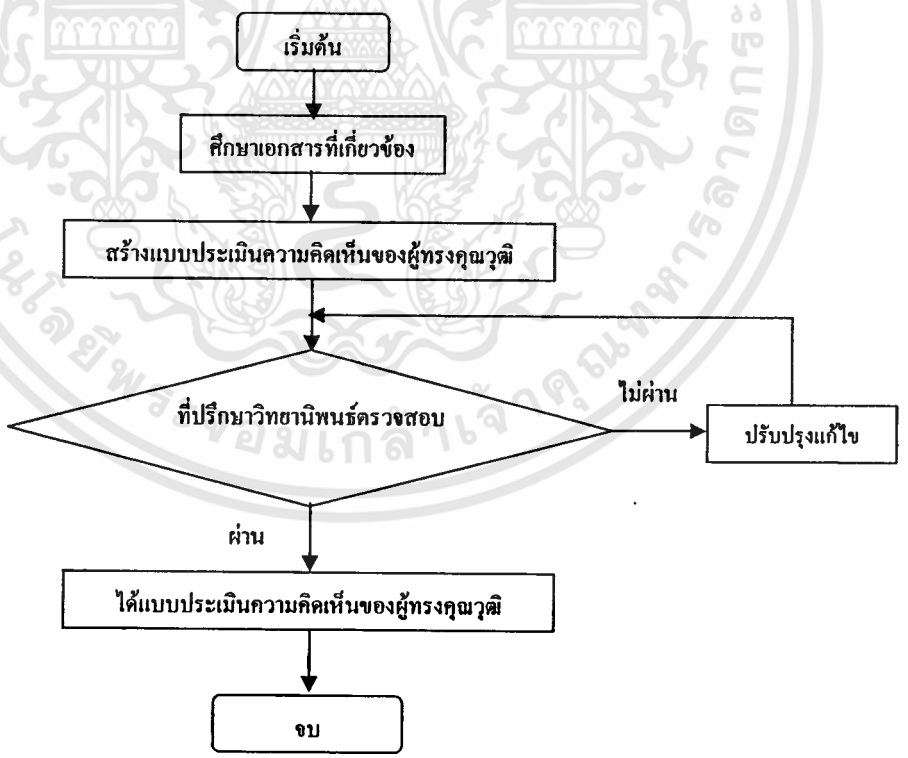
เมื่อ IOC คือ ดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

$\sum R$ คือ ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด

N คือ จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

3.4.4 การสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

โดยทำการศึกษาเอกสารในเรื่องที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดต่าง ๆ จากใบงานและชุดทดลองที่สร้างขึ้น นำส่วนต่างๆ เหล่านี้มาทำการสร้างแบบประเมินความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ นำไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบแก้ไข นำมาปรับปรุงจนถูกต้องเหมาะสม จึงนำไปใช้ประเมินความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและสื่อชุดทดลอง ขั้นตอนในการสร้างแบบประเมินความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินความคิดเห็นผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและสื่อชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ข้อมูลด้านแบบประเมินคุณภาพชุดทดลอง ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ได้กำหนดระดับความคิดเห็นเป็นค่าน้ำหนักคะแนน 5 ระดับ คือ (Best John W. 1970 : 187)

5 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก

4 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี

3 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

2 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

1 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

เกณฑ์การประเมินคุณภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จัดระดับค่าเฉลี่ย 5 ระดับ ดังนี้

4.50 – 5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก

3.50 – 4.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี

2.50 – 3.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

1.50 – 2.49 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

1.00 – 1.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

โดยเกณฑ์การประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือใช้ในการวิจัย ต้องมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 3.5 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีคุณภาพ

3.4.5 การตรวจสอบคุณภาพของชุดทดลอง

ชุดทดลองผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพของชุดทดลอง ด้วยการสร้างแบบประเมินผลความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิด้านสื่อที่มีต่อชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยผู้ทรงคุณวุฒิประกอบด้วย

(1) ผศ.สุชิน อาจหาญ อาจารย์ประจำสาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(2) ผศ.วรวิทย์ สมหา อาจารย์ประจำสาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(3) ผศ.โกศล ตราชู อาจารย์ประจำสาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานการทดลอง และแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพของใบงานการทดลองและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยการสร้างแบบประเมินความเหมาะสมของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อใบงานการทดลองและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยผู้ทรงคุณวุฒิประกอบด้วย

(1) อาจารย์อขนิษฐ เครืออนันต์ อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี

(2) อาจารย์บรรพต จันทร์แดง อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

(3) อาจารย์สัญญา โพธิ์วงษ์ อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนครนายก

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในขั้นตอนการทดลองใช้ใบงานและชุดทดลองที่สร้างขึ้น และการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ มีลำดับขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. บันทึกเสนอขอความอนุเคราะห์ให้งานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ออกหนังสือขอความร่วมมือไปยังวิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ในการนำเอาชุดทดลองการที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนำไปใช้ กับกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้

2. นำชุดทดลองและใบงานที่พัฒนาขึ้น ไปดำเนินการวิจัยกับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย ซึ่งเป็นประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ชั้นปีที่ 1 จำนวน 35 คนโดยการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายจำนวน 20 คน

แนะนำชุดทดลองและใบงาน วิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แก่นักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้งหมดก่อน โดยให้ทราบถึงขอบข่ายการใช้งาน หลักการในการทำงาน ส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง วิธีการปฏิบัติก่อนการทดลอง และอธิบายทฤษฎีพร้อมคำแนะนำในการทดลองทุกครั้งก่อนลงมือทำการทดลอง ใช้เวลาในการทดลองตามใบงาน 100 นาที

3. การวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 9 ใบงาน แล้วทำการทดลองจากจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 20 คน

นำคะแนนที่ได้ระหว่างการทดลองมาหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน หลังจากเรียนจบครบ 9 ใบงาน แล้วทำการทดสอบอีกครั้งโดยให้นักเรียนแต่ละคนทำการทดลองแบบทดสอบรวม นำข้อมูลที่ได้มาหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนรวมทุกเรื่อง นำคะแนนที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านแบบประเมินคุณภาพชุดทดลอง ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ได้กำหนดระดับความคิดเห็นเป็นค่าน้ำหนักคะแนน 5 ระดับ คือ(Best John W. 1970 : 187)

5 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก

4 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี

3 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

2 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

1 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

เกณฑ์การประเมินคุณภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จัดระดับค่าเฉลี่ย 5 ระดับ ดังนี้

4.50 – 5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก

3.50 – 4.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี

2.50 – 3.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

1.50 – 2.49 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

1.00 – 1.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

โดยเกณฑ์การประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือใช้ในการวิจัย ต้องมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 3.5 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีคุณภาพ

3.6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ต้องมีเกณฑ์ไม่ต่ำกว่า 80/80

3.6.3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) หมายถึง การกระจายของข้อมูลชุดนั้นในลักษณะที่ว่าข้อมูลแต่ละค่ากระจายหรือแตกต่างจากค่าเฉลี่ยโดยเฉลี่ยเท่าไร ถ้าข้อมูลแต่ละตัวแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมาก จะทำให้ได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากถ้าข้อมูลแต่ละตัวมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยน้อย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณได้จะมีค่าน้อย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยแสดงว่าค่าเฉลี่ยจะเป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูล สำหรับข้อมูลชุดที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากเป็นข้อมูลที่การกระจายมาก (สุวิมล ว่องวานิช. 2546 : 296)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.6.1 การหาคะแนนเฉลี่ยในการสอบ ($\overline{X}$) ใช้สูตรดังนี้ (ล้วน และอังคณา สายยศ. 2540 : 53)

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

เมื่อ $\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนน

$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N คือ จำนวนผู้สอบทั้งหมด

3.6.2 หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ล้วน และอังคณา สายยศ. 2540 : 103)

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - \left(\sum X\right)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ $S.D.$ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X หมายถึง คะแนนแต่ละจำนวนที่ประเมิน

N หมายถึง จำนวนคนที่ประเมิน

$N-1$ หมายถึง ค่าของชั้นแห่งความอิสระ

3.6.3 การหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง (เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต. 2528 : 295)

$$E_1 = \left(\frac{\frac{\sum X}{N}}{A}\right) \times 100$$

$$E_2 = \left(\frac{\frac{\sum Y}{N}}{B}\right) \times 100$$

เมื่อ E_1 คือ ประสิทธิภาพของแบบทดสอบระหว่างการทดลอง

E_2 คือ ประสิทธิภาพของแบบทดสอบรวมหลังการทดลอง

$\sum X$ คือ คะแนนรวมของแบบทดสอบระหว่างการทดลอง

$\sum Y$ คือ คะแนนรวมของแบบทดสอบรวม

A คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบระหว่างการทดลอง

B คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบรวม

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อการพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง ได้ไปทดลองใช้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ เพื่อหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 เสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์การหาคุณภาพด้านชุดทดลอง

4.2 ผลการวิเคราะห์การหาคุณภาพด้านใบงาน

4.3 ผลการวิเคราะห์การหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์การหาคุณภาพด้านชุดทดลอง

การประเมินคุณภาพด้านชุดทดลองทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ซึ่งผลการประเมิน มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การหาคุณภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. การเตรียมอุปกรณ์และชุดทดลองสะดวกเร็วขึ้น	4.67	0.58	ดีมาก
2. ความปลอดภัยในขณะทำการทดลอง	5.00	0.00	ดีมาก
3. ความแข็งแรง คงทนของชุดทดลอง	4.33	0.58	ดี
4. ความเหมาะสมในการจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์	5.00	0.00	ดีมาก
5. รูปร่างและขนาดมีความเหมาะสม	4.67	0.58	ดีมาก
6. มีวิธีการใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน	5.00	0.00	ดีมาก
7. ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและเก็บรักษา	4.67	0.58	ดีมาก
เฉลี่ย	4.76	0.33	ดีมาก

จากตารางที่ 4.1 การหาคุณภาพด้านชุดทดลองจากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละรายการ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน พบว่า จากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิโดยรวมจัดอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.76, S.D. = 0.33) รายการประเมินที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ ความปลอดภัยในขณะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง และมีวิธีการใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ($\overline{X}$ = 5.00, S.D. = 0.00) และรายการประเมินที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ ความแข็งแรง คงทนของชุดทดลอง ($\overline{X}$ = 4.33, S.D. = 0.58) ซึ่งคุณภาพของชุดทดลองในแต่ละรายการจัดอยู่ในระดับดี ($\overline{X} \geq 4.33$) ขึ้นไป

4.2 ผลการวิเคราะห์การหาคุณภาพด้านใบงาน

การประเมินคุณภาพด้านใบงานทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ซึ่งผลการประเมินมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การหาคุณภาพใบงานวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 9 ใบงาน

รายการประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง	4.93	0.27	ดีมาก
2. มีความครอบคลุมเพียงพอ เหมาะสมต่อการให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลอง	4.67	0.48	ดีมาก
3. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	4.48	0.51	ดี
4. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองของแต่ละขั้นตอน	4.59	0.51	ดีมาก
5. ความเหมาะสมของตารางบันทึกผลการทดลอง	4.74	0.45	ดีมาก
6. ความเหมาะสมของคำถามท้ายการทดลอง	4.63	0.49	ดีมาก
7. มีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้	4.48	0.51	ดี
8. ส่งเสริมให้เกิดทักษะในการทดลองอย่างชัดเจน	4.70	0.47	ดีมาก
9. มีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์และกระบวนการทางความคิด	4.74	0.45	ดีมาก
10. สามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนได้จริง	4.67	0.48	ดีมาก
เฉลี่ย	4.66	0.46	ดีมาก

จากตารางที่ 4.2 การหาคุณภาพด้านใบงานจากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละรายการจำนวน 9 ใบงาน โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน พบว่า จากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิโดยรวมจัดอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.66, S.D. = 0.46) รายการประเมินที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ($\overline{X}$ = 4.93, S.D. = 0.27) และรายการประเมินที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง และมีลักษณะจูงใจและน่าสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสำหรับการเรียนรู้ ($\overline{X} = 4.48$, S.D. = 0.51) ซึ่งคุณภาพของใบงานในแต่ละรายการจัดอยู่ในระดับดี ($\overline{X} \geq 4.48$) ขึ้นไป

4.3 ผลการวิเคราะห์การหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง

การทดลองใช้ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี เป็นการทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง ตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การหาประสิทธิภาพของชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

รายการ	จำนวนผู้เรียน	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ยที่ได้	เฉลี่ย	เกณฑ์ร้อยละ
คะแนนการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียนแต่ละใบงาน	20	70	58.21	83.16	80
คะแนนแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการทดลอง	20	30	24.35	81.17	80

จากตารางที่ 4.3 ผลปรากฏว่า ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ นักเรียนปฏิบัติใบงานระหว่างเรียนแต่ละใบงาน การทดลองเฉลี่ยได้คะแนน 58.21 คะแนน จากคะแนนเต็ม 70 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 83.16 และทำแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการทดลอง แล้วเฉลี่ยได้คะแนน 24.35 คะแนน จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 81.17 ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 83.16/81.17 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เรื่องการพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ได้สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

5.2 สมมุติฐานของการวิจัย

5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.6 สรุปผลการวิจัย

5.7 อภิปรายผลการวิจัย

5.8 ข้อเสนอแนะ

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

5.1.1 เพื่อพัฒนาชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ให้มีคุณภาพสูงขึ้น

5.1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

5.2 สมมุติฐานของการวิจัย

5.2.1 ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพระดับดีขึ้นไป

5.2.2 ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ 80/80

5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทอลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์
2. ใบงาน เป็นใบงานที่ให้นักศึกษาปฏิบัติการทดลองมี 9 ใบงาน ในใบงานจะประกอบด้วย
   2.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง
   2.2 ทฤษฎีและคำแนะนำที่เกี่ยวข้อง
   2.3 รายการอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้
   2.4 ลำดับขั้นในการทดลอง ซึ่งจะมีรายละเอียดในการทดลองเป็นลำดับขั้นวงจรที่ทำการทดลอง ตารางบันทึกค่า และกราฟสำหรับการบันทึกผลการทดลอง ตอนท้ายมีสรุปผลการทดลอง และคำถามท้ายการทดลอง
3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในทางปฏิบัติ
4. แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองและใบงาน

5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในขั้นตอนการทดลองใช้ใบงานและชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น และการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ มีลำดับขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. บันทึกเสนอขอความอนุเคราะห์ให้งานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ออกหนังสือขอความร่วมมือไปยังวิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ในการนำเอาชุดทดลองการที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนำไปใช้ กับกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้

2. นำชุดทดลองและใบงานที่พัฒนาขึ้น ไปดำเนินการวิจัยกับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย ซึ่งเป็นประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ชั้นปีที่ 1 จำนวน 35 คน โดยการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายจำนวน 20 คน

แนะนำชุดทดลองและใบงาน วิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แก่นักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้งหมดก่อน โดยให้ทราบถึงขอบข่ายการใช้งาน หลักการในการทำงาน ส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง วิธีการปฏิบัติก่อนการทดลอง และอธิบายทฤษฎีพร้อมคำแนะนำในการทดลองทุกครั้งก่อนลงมือทำการทดลอง ใช้เวลาในการทดลองตามใบงาน 100 นาที

3. การวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 9 ใบงาน แล้วทำการทดลองจากจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 20 คน

นำคะแนนที่ได้ระหว่างการทดลองมาหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน หลังจากเรียนจบครบ 9 ใบงาน แล้วทำการทดสอบอีกครั้งโดยให้นักเรียนแต่ละคนทำการทดลองแบบทดสอบรวม นำข้อมูลที่ได้มาหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนรวมทุกเรื่อง นำคะแนนที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านแบบประเมินคุณภาพชุดทดลอง ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ได้กำหนดระดับความคิดเห็นเป็นค่าน้ำหนักคะแนน 5 ระดับ คือ (Best John W. 19970 : 187)

5 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก

4 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี

3 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

2 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

1 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

เกณฑ์การประเมินคุณภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จัดระดับค่าเฉลี่ย 5 ระดับ ดังนี้

4.50 – 5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก

3.50 – 4.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี

2.50 – 3.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

1.50 – 2.49 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

1.00 – 1.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

โดยเกณฑ์การประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือใช้ในการวิจัย ต้องมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 3.5 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีคุณภาพ

5.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ต้องมีเกณฑ์ไม่ต่ำกว่า 80/80

5.6 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

2. คุณภาพของแบบทดสอบที่ใช้ในการวิจัย โดยการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียนแต่ละใบงานและแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการทดลอง

3. คุณภาพของชุดทดลองจากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ มีความคิดเห็นเกี่ยวกับชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับดีมาก ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.76 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คุณภาพของใบงานการทดลองจากการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ มีความคิดเห็นเกี่ยวกับใบงานการทดลองที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดีมาก ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.66 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46

5. ทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน ผลการวิจัยซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 83.16/81.17 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยมีประสิทธิภาพของกระบวนการวัดผลจากคะแนนการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน 9 ใบงาน ได้ค่าเท่ากับ 83.16 และมีประสิทธิภาพแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการทดลอง ได้ค่าเท่ากับ 81.17

5.6 อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยการพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลอง วิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2546 ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัย โดยค่าประสิทธิภาพตัวแรกได้จากการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน 9 ใบงาน ของนักเรียนมีค่าคะแนนคิดเป็นร้อยละ 83.16 ตามเกณฑ์ที่กำหนดร้อยละ 80 และค่าประสิทธิภาพตัวหลังซึ่งเป็นคะแนนจากการปฏิบัติในแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการทดลอง มีค่าคะแนนคิดเป็นร้อยละ 81.17 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดและยอมรับว่ามีประสิทธิภาพ

ผลการวิจัยค่าประสิทธิภาพของชุดทดลอง ที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้มีค่าตามเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ ดังต่อไปนี้

1. การทดลองเป็นการฝึกปฏิบัติที่มุ่งให้นักเรียนได้เรียนรู้หลักการ และข้อเท็จจริงเป็นการทบทวน และย้ำว่าข้อเท็จจริงนั้นเป็นไปตามผู้ศึกษาไว้แล้วอย่างไรบ้าง เป็นการพิสูจน์ทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้วในชั้นเรียน (พันศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. 2540 : 12)

2. ผลการวิเคราะห์จากแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองด้านใบงาน จากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ย 4.66 มีความหมายของระดับคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก และแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองด้านชุดทดลอง จากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ย 4.76 มีความหมายของระดับคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก แสดงว่า ชุดทดลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบด้วย ชุดทดลองและใบงาน มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. การทดลองหาประสิทธิภาพของชุดทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 คน เมื่อพิจารณาแล้วปรากฏว่า ผลการเรียนรู้ของนักเรียนจากการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน 9 ใบงาน และทำแบบทดสอบปฏิบัติรวมหลังการทดลอง ได้ค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 83.16/81.17 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กำหนด 80/80 การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ชุดทดลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาใช้ในการเรียนการสอนวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยชุดทดลองเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนมีความสนใจในการปฏิบัติแต่ละใบงาน และนักเรียนจะเกิดการเรียนรู้จากการทดลองด้วยตนเอง จึงทำให้ผลการเรียนรู้ของการปฏิบัติครั้งนี้สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

4. ผลของประสิทธิภาพของชุดทดลอง โดยวัดผลจากคะแนนการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน 9 ใบงานมีคะแนนคิดเป็นร้อยละ 83.16 สูงกว่าคะแนนจากการทำแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการทดลอง ซึ่งมีค่าคะแนนคิดเป็นร้อยละ 81.17 เนื่องมาจากการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน 9 ใบงานนั้น นักเรียนปฏิบัติครั้งละใบงาน และเนื้อหาในใบงานเป็นหัวข้อการทดลองเพียงเรื่องเดียว ทำให้นักเรียนปฏิบัติได้อย่างเป็นลำดับโดยไม่สับสน แต่เมื่อนักเรียนทำแบบทดสอบปฏิบัติงานรวมหลังการทดลอง ทำให้ผลคะแนนของแบบทดสอบมีค่าต่ำลง เนื่องจากแบบทดสอบเป็นใบงานรวมหลายหัวข้อการทดลองเข้าด้วยกันส่งผลโดยตรงต่อการปฏิบัติใบงานของนักเรียน ทำให้การทำใบงานเกิดความสับสนในรายละเอียดของหัวข้อการทดลองเนื่องจากมีขั้นตอนที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น ต้องอาศัยทฤษฎีของเนื้อหามากยิ่งขึ้นจึงทำให้นักเรียนไม่สามารถจำหรือนำมาใช้ได้ทั้งหมด เนื่องจากความคงทนในการจำจึงมีผลคะแนนของแบบทดสอบรวมน้อยลง แต่ผลจากการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของชุดทดลอง จากการเรียนรู้ของผู้เรียนด้วยการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด สอดคล้องกับงานวิจัยของ พิพัฒน์ สมใจ (2546 : บทคัดย่อ) ทำการวิจัย “การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์” มีประสิทธิภาพ 84.17/83.27 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สถาพร จำรัสเลิศลักษณ์ (2542 : บทคัดย่อ) ทำการวิจัย “การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองประกอบการฝึกอบรมเรื่องวงจรชุดอุปกรณ์แฮนด์ฟรี” มีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.86/82.16 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

5.7 ข้อเสนอแนะ

5.7.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. จากผลการวิจัยที่ได้จากชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีประสิทธิภาพ 83.16/81.17 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 จึงสามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติจึงควรสนับสนุนให้ครูผู้สอนมีการพัฒนาชุดทดลอง และอุปกรณ์ช่วยสอนขึ้นมาใช้เองในสถานศึกษา ซึ่งจะก่อประโยชน์หลายประการคือ เป็นการประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อชุดทดลอง และเป็นการส่งเสริมให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นมาใช้เอง

2. ในการจัดการเรียนการสอน ก่อนการปฏิบัติการทดลองควรมีการสาธิตและให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้งานชุดทดลอง ข้อควรระมัดระวังในขณะปฏิบัติการทดลองเพื่อความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และควรมีการอธิบายหลักการทำงานของวงจรในชุดทดลอง เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ก่อนการปฏิบัติในใบงาน ช่วยให้นักศึกษาปฏิบัติใบงานได้อย่างถูกต้อง อันเป็นผลไปถึงความตั้งใจในการทดลอง

5.7.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการวิจัยเพื่อพัฒนาชุดทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ให้สามารถทำการทดลองเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่เกี่ยวกับวงจรรวมใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์

2. ควรมีการวิจัยเพื่อพัฒนาชุดปฏิบัติการที่ใช้ในการเรียนการสอน การทดลองต่างๆ และพัฒนาจนเป็นที่ยอมรับว่าชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพและราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมวิชาการ. 2542. **พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542.** กรุงเทพฯ : กรมวิชาการ.

กรมอาชีวศึกษา. 2545. **วิสัยทัศน์กรมอาชีวศึกษา พ.ศ.2545–2549.** กรุงเทพฯ : กระทรวงศึกษาธิการ.

นิภา เมธธาวิชัย. 2536. **การประเมินผลการเรียน.** กรุงเทพฯ : ฝ่ายเอกสารตำราสำนักส่งเสริมวิชาการ สถาบันราชภัฏธนบุรี.

บุญเชิด ภิญโญอนันต์พงษ์. 2538. **การประเมินผลการศึกษา.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาพื้นฐานการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

ปราณี รวมสูต. 2531. **จิตวิทยาการเรียนการสอน.** กรุงเทพฯ : วิทยาลัยครูธนบุรี.

พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. 2540. **การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองวิชา การออกแบบวงจรขยายเชิงเส้น ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. 2545. **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.

พิพัฒน์ สมใจ. 2546. **การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์ วิชาปฏิบัติอิเล็กทรอนิกส์ 1 โปรแกรมวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรอนุปริญญา สถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พิพิธ ตันเจริญ. 2546. **การพัฒนาชุดฝึกโทรทัศน์สี วิชาปฏิบัติโทรทัศน์ 2 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พุธทอง โพธิปัญญา. 2540. **การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ไพโรจน์ ตรีรณธนากุล. 2541. **วิธีการสอนภาคปฏิบัติ.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยุทธพิชัย กล้าหาญ. 2547. **การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่วิชาออปแอมป์และลิเนียไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2540. **สถิติวิทยาทางการวิจัย.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สุวีริยาสาส์น จำกัด.

วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2543. **สื่อการเรียนการสอน.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วิรัติ อัศวานุวัตร. 2531. **สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

สถาพร จำรัสเลิศลักษณ์. 2543. **การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองประกอบการฝึกอบรมเรื่องวงจรชุดอุปกรณ์แฮนด์ฟรี.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี. 2545. **แผนการศึกษาแห่งชาติ (พ.ศ. 2545-2559).** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ บริษัทพริกหวานกราฟฟิก จำกัด.

สุชาติ ศิริสุขไพบูรณ์. 2526. **การสอนทักษะปฏิบัติ.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุชาติ หัตถ์สุวรรณ. 2547. **การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชาการออกแบบวงจรพัลส์และสวิตชิ่งหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สถาบันราชภัฏธนบุรี.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุรพล ปุ้นต้นทอง. 2536. **การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลอง การปฏิบัติการเครื่องมือวัดดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุวิมล ว่องวานิช. 2546. **การวัดทักษะการปฏิบัติ.** กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต. 2528. **เทคโนโลยีการศึกษา.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อรพันธ์ ประสิทธิรัตน์. 2530. **คอมพิวเตอร์เพื่อการเรียนการสอน.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : กราฟแมนเพรส.

Best John W. 1970. **Research in Education.** Englewood Cliffs, Ns : Prentice Hall.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
หนังสือราชการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศบัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

.....

บัณฑิตวิทยาลัย โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการดังนี้

นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ รหัสประจำตัว 47065464 ให้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชาการพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Construct and Efficiency Define of the Electronic Circuit Laboratory)" โดยมี ผศ.ดร.กีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ซึ่งได้รับอนุมัติเมื่อวันที่ 5 กันยายน 2550

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของบัณฑิตวิทยาลัย

ประกาศ ณ วันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2551

(รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด)
รองคณบดี ปฏิบัติราชการแทน
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ 0354

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

23 มกราคม 2551

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้กับนักศึกษา

เรียน ผู้จัดการบริษัท แอนนาดิจิท กรุ๊ป จำกัด

ด้วย นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์จะขอยืมคุปกรณ์และเครื่องมือ Base unit Module :Bu2 Board AL-1100B เพื่อประกอบการจัดเตรียมทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดทดลองวิชาการพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์"

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ให้กับนักศึกษาดังกล่าว และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณ มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิระเสกข์ ตรีเมฆสุนทร)
ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 0-2737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 0-2326-4325
ติดต่อนักศึกษา โทร.086-3665-792

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ 0523

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

20 กุมภาพันธ์ 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินใบงานเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์สัญญา โพธิ์วงษ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินใบงานเพื่อการวิจัย

ด้วย นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินใบงานนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความกรุณาจากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิระเสกข์ ตรีเมธสุนทร)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 326-4325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ 0513

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๔ กุมภาพันธ์ 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินใบงานเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์อภินิษฐ เครืออานันต์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินใบงานเพื่อการวิจัย

ด้วย นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินใบงานนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิระเสกข์ ตรีมรรธสุนทร)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 326-4325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ 0533

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๔๐ กุมภาพันธ์ 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินใบงานเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์บรรพต จันทร์แดง

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินใบงานเพื่อการวิจัย

ด้วย นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพทัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินใบงานนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความกรุณาจากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิระเสกข์ ศรีมงธสุนทร)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02-326-4325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร.3692

ที่ ศธ 0524.04 / 05773 วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินชุดทดลองเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.วรวิทย์ สมมา

ด้วย นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพทัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินชุดทดลองนี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินชุดทดลองเพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิระเสกข์ ตรีเมธสุนทร)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร.3692

ที่ ศธ 0524.04 / 05223 วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินชุดทดลองเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.สุชิน อาจหาญ

ด้วย นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพทัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินชุดทดลองนี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินชุดทดลองเพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิระเสกข์ ตรีเมฆสุนทร)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร.3692

ที่ ศธ 0524.04 / 0533 วันที่ ๒๐ กุมภาพันธ์ 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินชุดทดลองเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.โกศล ตราชู

ด้วย นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพาสัดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินชุดทดลองนี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินชุดทดลองเพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิระเสกข์ ตรีเมธสุนทร)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี
เลขรับ 110
วันที่ 19 พ.ค. 2552
เวลา 13.00

ที่ ศธ 0524.04/ 1307

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

15 พฤษภาคม 2552

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี
(นายอนันต์ สิทธิไชยากุล)

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. ประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ฉบับ
2. แบบทดสอบเพื่อการวิจัย

ด้วย นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชาการพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์แล้ว เมื่อวันที่ 5 กันยายน 2550 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านโปรดอนุญาตให้นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบทดสอบเพื่อการวิจัยภายในสถานศึกษาท่านได้

ทั้งนี้ จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิระเสกข์ ตรีเมธสุนทร)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

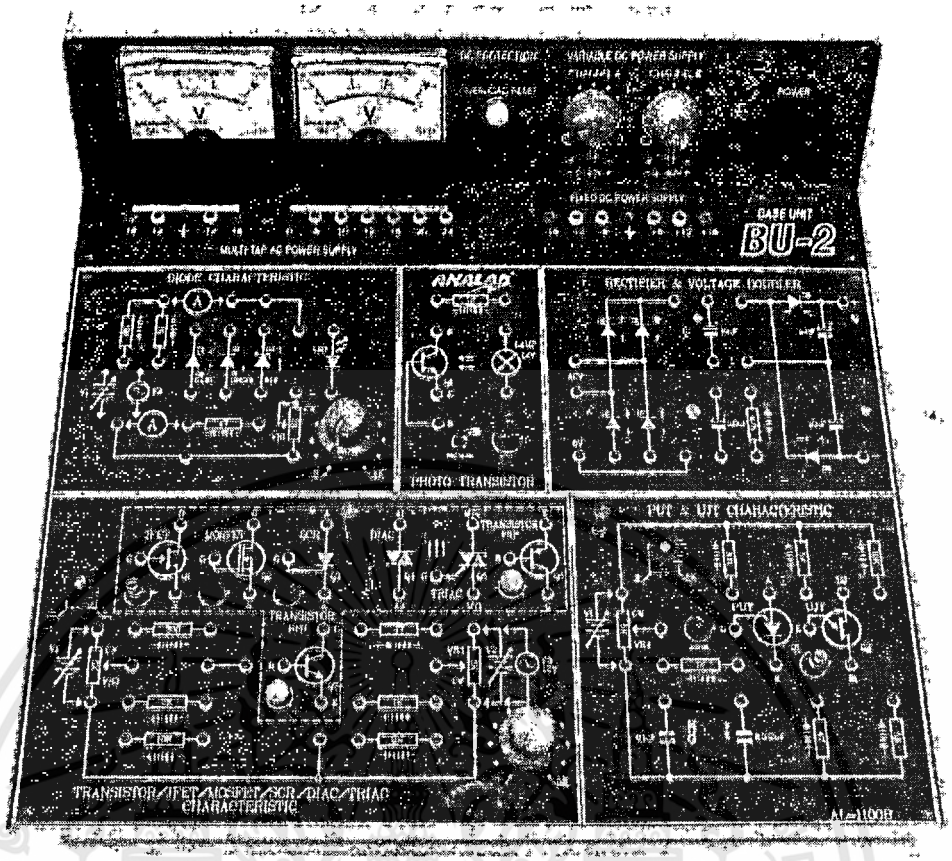
งานบริการวิชาการและบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 326-4325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

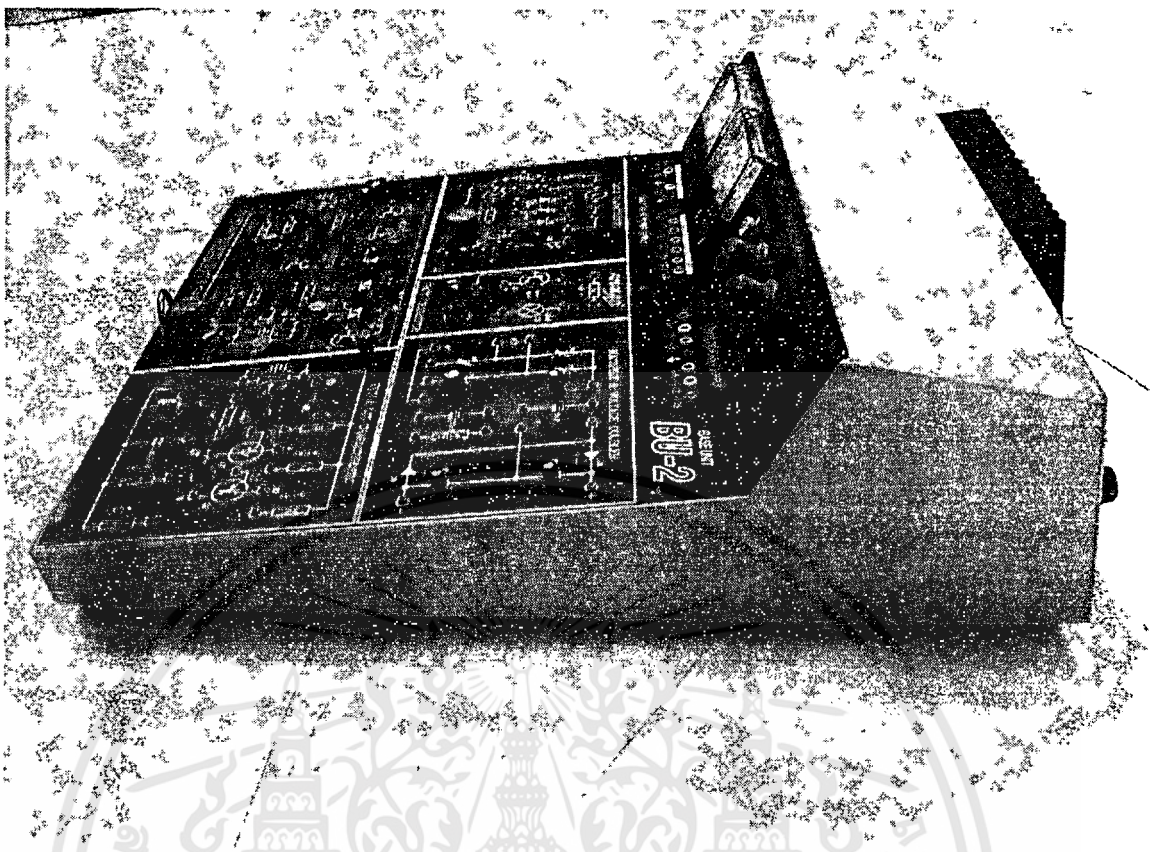
- รูปภาพของชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- ตัวอย่างใบงานการทดลอง
- ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



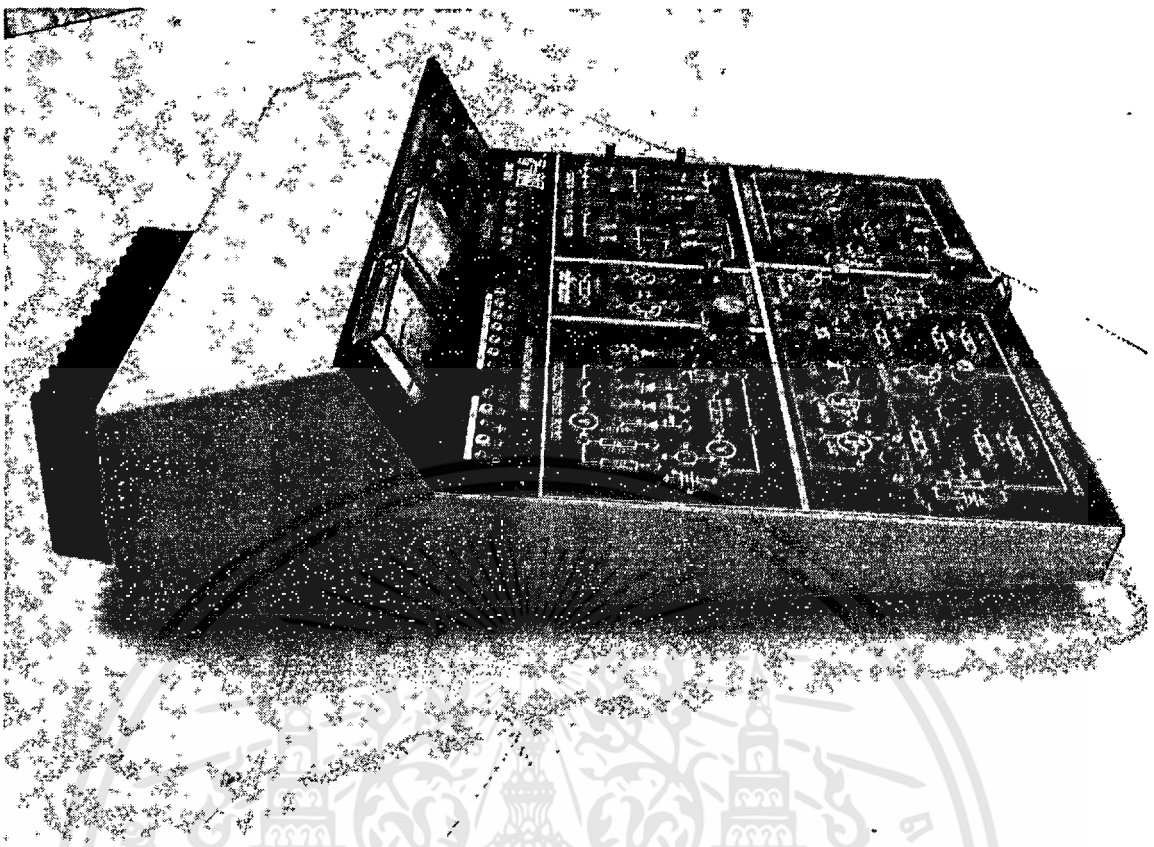
ภาพที่ ข1 ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



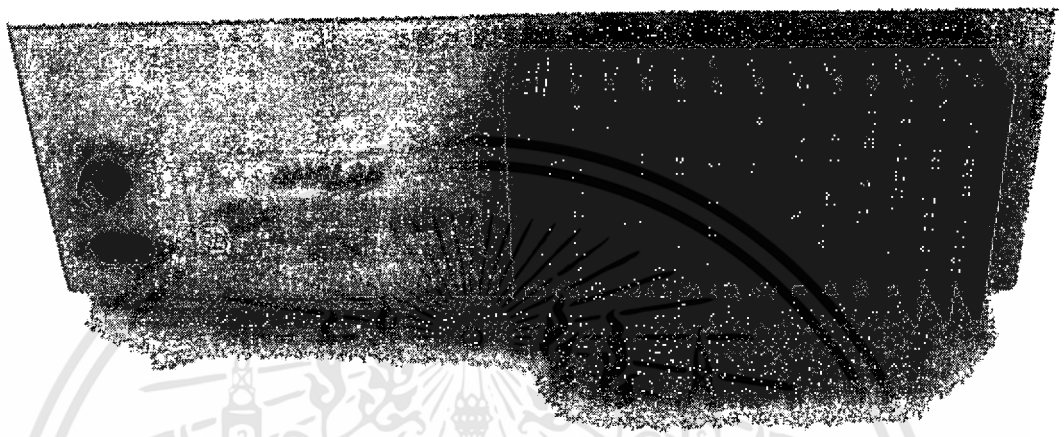
ภาพที่ ข2 ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



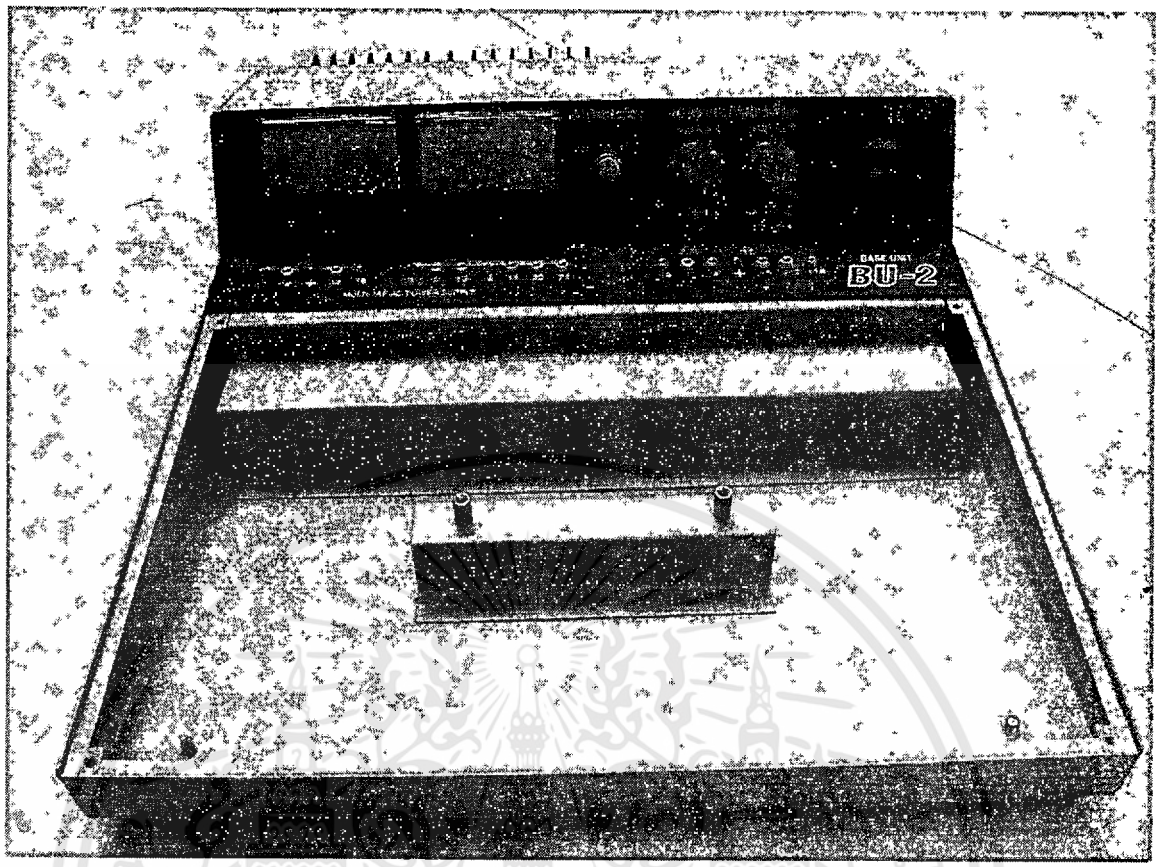
ภาพที่ ข3 ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



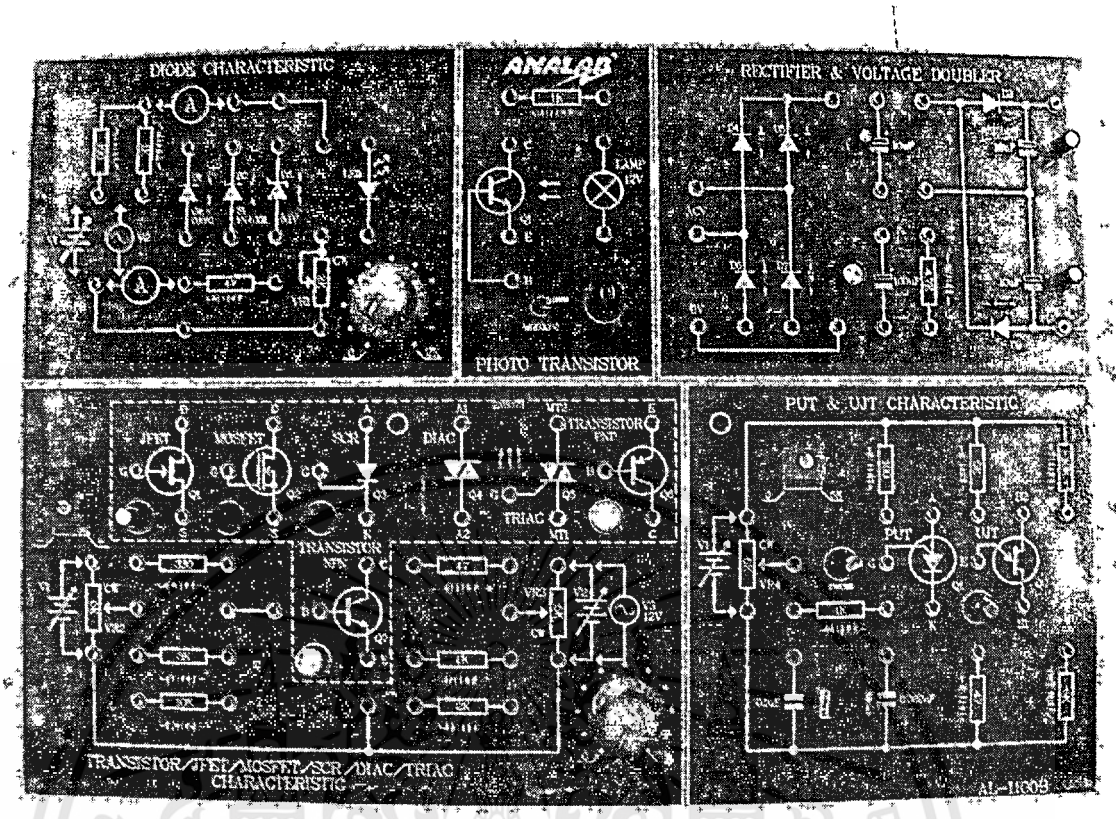
ภาพที่ ข4 ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ด้านหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข5 ชุดทดลองหลัก BASE UNIT (BU-2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข6 แผงโมดูลการทดลอง AL-1100B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1

การหาคุณสมบัติของไดโอด และซีเนอร์ไดโอด

(Diode)

วัตถุประสงค์

1. ทดลองหาขั้วของไดโอดได้อย่างถูกต้อง
2. ทดลองหาคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของไดโอด เมื่อได้รับไบอัสตรง และไบอัสกลับ
3. เข้าใจการทำงานของไดโอด ในวงจรกระแสไฟฟ้ากระตรง
4. ทดลองหาลักษณะสมบัติของซีเนอร์ไดโอดเมื่อได้รับไบอัสตรงและไบอัสกลับได้
5. เข้าใจการทำงานของซีเนอร์ไดโอด ในวงจรรักษาระดับแรงดันไฟตรงคงที่
6. ตรวจสอบและวัดหาขั้วของซีเนอร์ไดโอดได้ถูกต้อง

ทฤษฎี

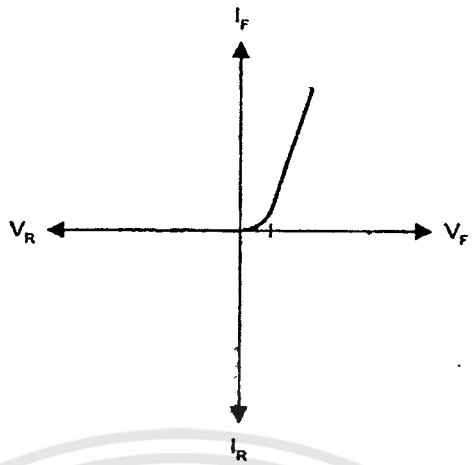
ไดโอด (Diode) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ในอุปกรณ์กึ่งตัวนำ (Semiconductor) มี 1 รอยต่อ โครงสร้างภายในประกอบด้วย ชั้นสารกึ่งตัวนำ ซิลิกอน(เยอรมันเนี่ยม) ชนิดพีและชนิดเอ็นต่อกันโดยขบวนการทางการผลิต และบรรจุอยู่ในตัวถังแบบต่างๆ ไดโอดมี 2 ขั้ว คือ ขั้วอะโนด (A, Anode) และขั้วคาโทด (K, Cathode) ดังแสดงในรูปที่ 1-1

(a) ลักษณะภายนอกของไดโอด (b) สัญลักษณ์ของไดโอด

รูปที่ 1-1 ลักษณะภายนอกและสัญลักษณ์ของไดโอด

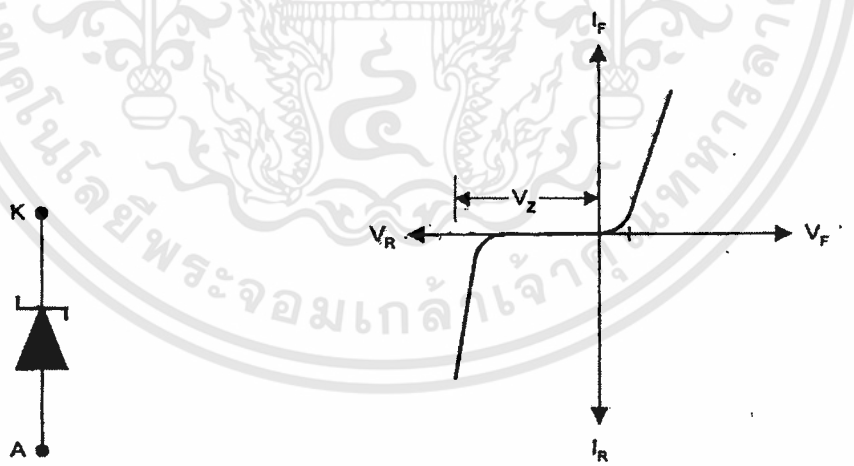
คุณลักษณะของไดโอดเมื่อได้รับไบอัสกลับแสดงในรูปที่ 2. นั่นคือ ไดโอดสามารถนำกระแสได้ทางเดียวเมื่อได้รับไบอัสตรงเท่านั้น ในขณะที่ไดโอดได้รับไบอัสกลับไม่สามารถนำกระแสได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1-2 กราฟคุณลักษณะการทำงานของไดโอด

ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่มี 2 ขั้ว เหมือนไดโอด แต่ซีเนอร์ไดโอดนั้นมีลักษณะพิเศษแตกต่างจากไดโอดทั่วไปคือ เมื่อได้รับไบอัสกลับจนถึงจุดพังทลายจะทำให้แรงดันร่อมซีเนอร์ไดโอดนั้นมีค่าคงที่ นั่นคือคุณสมบัติที่ดีเด่นของซีเนอร์ไดโอด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากมาย สัญลักษณ์และลักษณะสมบัติของซีเนอร์ไดโอดแสดงในรูปที่ 1-3

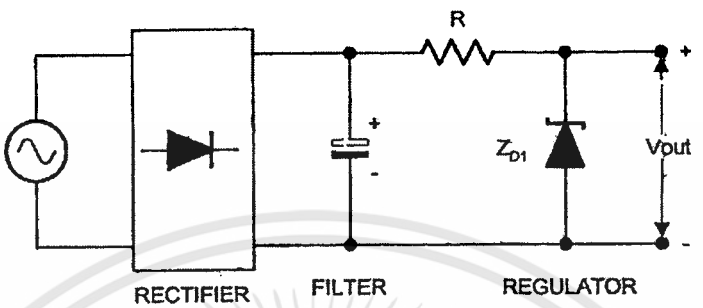


(a) สัญลักษณ์ (b) กราฟลักษณะสมบัติของซีเนอร์ไดโอด

รูปที่ 1-3 แสดงสัญลักษณ์และกราฟลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเนอร์ไดโอดถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในวงจรแรงดันไฟตรงให้คงที่ (DC Voltage gulator) ดังแสดงในรูปที่ 1-4 โดยทั่วไปซีเนอร์ไดโอดที่ผลิตขึ้นในทางการค้าจะมีค่าแรงดันซีเนอร์ให้เลือกใช้อยู่ระหว่าง 2.4 โวลท์ จนถึง 200 โวลท์



รูปที่ 1-4 วงจร Zener diode Voltage Regulato

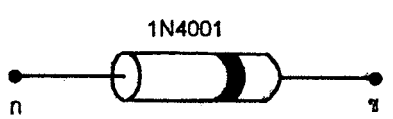
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มัลติมิเตอร์ 2 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 2 แชนแนล 1 เครื่อง
3. ชุดทดลองหลัก BASE UNIT (BU-2) 1 เครื่อง
4. แผงโมดูลการทดลอง AL-1100B 1 แผ่น
   - 4.1 ไดโอดเบอร์ IN4001
   - 4.2 ซีเนอร์ไดโอดขนาด 5.1V
   - 4.3 ตัวต้านทาน 1KΩ , 47Ω , 100Ω
   - 4.4 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 2KΩ
5. สายต่อวงจรไฟฟ้า 1 ชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การทดลองขั้วของไดโอด

1.1 การกำหนดขาของไดโอดที่ใช้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของไดโอดที่ย่านวัด Rx10K บันทึกผล ในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1

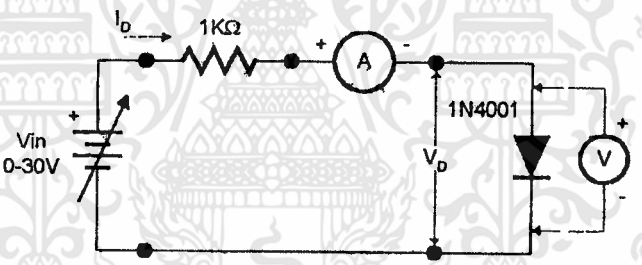
สายมิเตอร์สีแดง	สายมิเตอร์สีดำ	ค่าความต้านทาน(Ω)
ก	ข	
ข	ก	

1.3 จากผลการวัดค่าความต้านทานให้สรุปว่าขา ก. และขา ข. คือขาใดของไดโอด

ขา ก. คือ..... ขา ข. คือ.....

2. ลักษณะสมบัติของไดโอดชนิดซิลิกอน

2.1 ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 1-5



รูปที่ 1-5

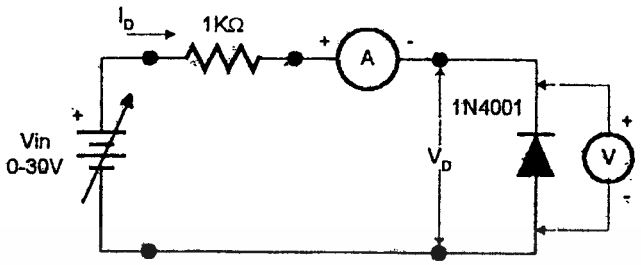
2.2 ปรับค่าแรงดัน Vin ตามตารางที่ 1-2 แล้ววัดค่า V_D และ I_D บันทึกผลการวัดลงในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2

Vin (Volts)	0	0.4	0.8	1	2	3	4	5	6	7
V_D (Volts)										
I_D (mA)										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ต่อวงจรการทดลองใหม่ตามรูปที่ 1-6 โดยกลับขั้วไดโอด เพื่อให้ได้รับไบอัสกลับ



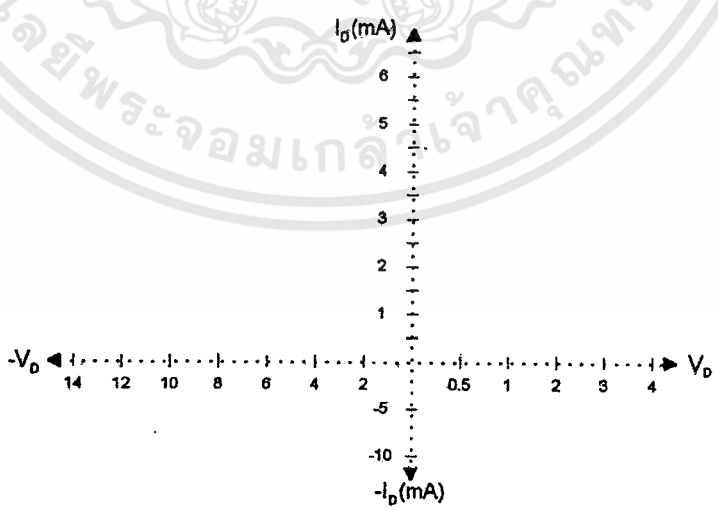
รูปที่ 1-6

2.4 ปรับค่าแรงดัน Vin อีกครั้งตามตารางที่ 1-3 แล้ววัดค่า V_D และ I_D บันทึกผลการวัดลงในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3

Vin (Volts)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
V_D (Volts)										
I_D (mA)										

2.5 นำข้อมูลจากตารางที่ 1-2 และตารางที่ 1-3 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ $V_D = f(I_D)$ ของซิลิกอนไดโอด เบอร์ IN 4001



กราฟที่ 1-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาลักษณะสมบัติเมื่อได้รับไบอัสตรงของเยอรมันเนียมไดโอด

3.1 ต่อวงจรเหมือนรูปที่ 1-5 เพื่อให้ไดโอดได้รับไบอัสตรง แต่ใช้เยอรมันเนียมไดโอดเบอร์ OA 90 แทน

3.2 ปรับค่าแรงดัน Vin ตามตารางที่ 1-4 แล้ววัดค่า V_D และ I_D บันทึกผลลงในตารางที่ 1-4

ตารางที่ 1-4

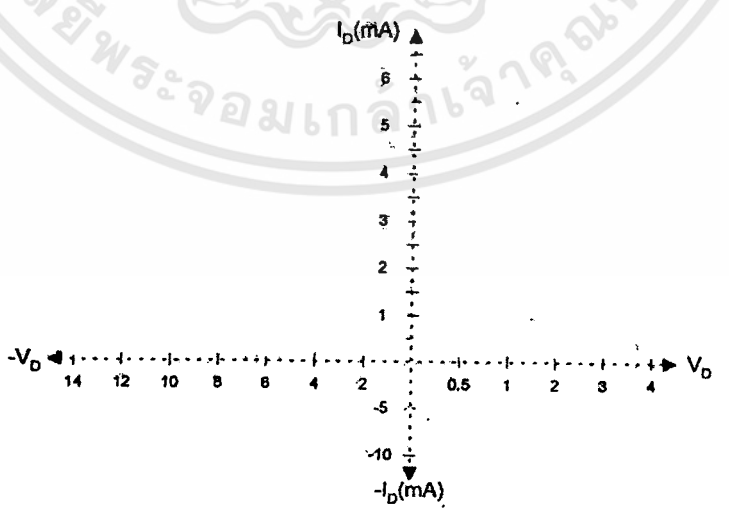
Vin (Volts)	0	0.4	0.8	1	2	3	4	5	6	7
V_D (Volts)										
I_D (mA)										

3.3 กลับขั้วไดโอดในข้อ 3.1 และทดลองใหม่บันทึกผลในตารางที่ 1-5

ตารางที่ 1-5

Vin (Volts)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
V_D (Volts)										
I_D (mA)										

3.4 นำข้อมูลจากตารางที่ 1-4 และตารางที่ 1-5 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ $V_D = f(I_D)$ ของ Ge เบอร์ OA 90



กราฟที่ 1-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทดสอบขาของซีเนอร์ไดโอด

4.1 การกำหนดขาของซีเนอร์ไดโอดที่ใช้ในการทดลอง

4.2 ใช้มัลติมิเลอร์วัดค่าความต้านทานของซีเนอร์ไดโอดที่ย่านวัด Rx10K หรือ Rx100 แล้วแต่กรณี บันทึกผลในตารางที่ 1-6

ตารางที่ 1-6

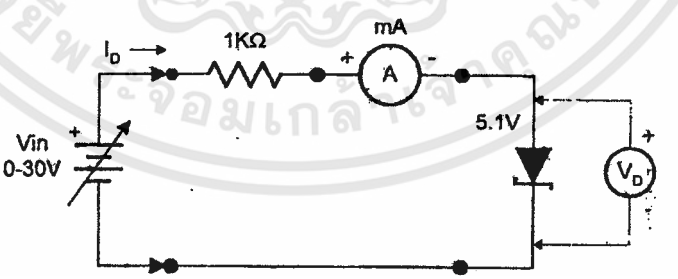
สายมิเตอร์สีแดง	สายมิเตอร์สีดำ	ค่าความต้านทาน (Ω)

4.3 จากผลการวัดค่าความต้านทานให้สรุปว่าขา ก.และ ข. คือขาใดของซีเนอร์ไดโอด

ขา ก. คือ..... ขา ข. คือ.....

5. ลักษณะสมบัติและการใช้งานซีเนอร์ไดโอด

5.1 ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 1-7 หาลักษณะสมบัติเมื่อได้รับไบอัสตรงของซีเนอร์ไดโอด



รูปที่ 1-7

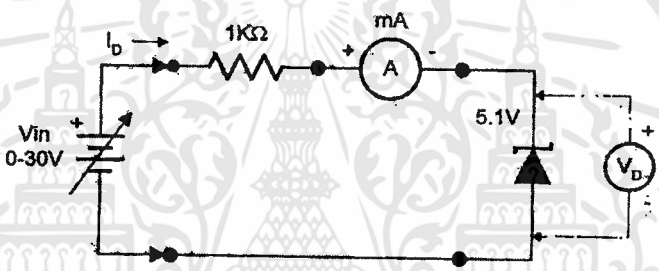
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปรับค่าแรงดัน Vin ตามตารางที่ 1-7 บันทึกค่าแรงดัน V_D และกระแส I_D ลงในตารางที่ 1-7

ตารางที่ 1-7

Vin (Volts)	0	0.4	0.8	1	2	3	4	5	6	7
V_D (Volts)										
I_D (Volts)										

5.3 ต่อวงจรใหม่ตามรูปที่ 1-8 การหาลักษณะสมบัติเมื่อได้รับไบอัสกลับของซีเนอร์ไดโอด



รูปที่ 1-8

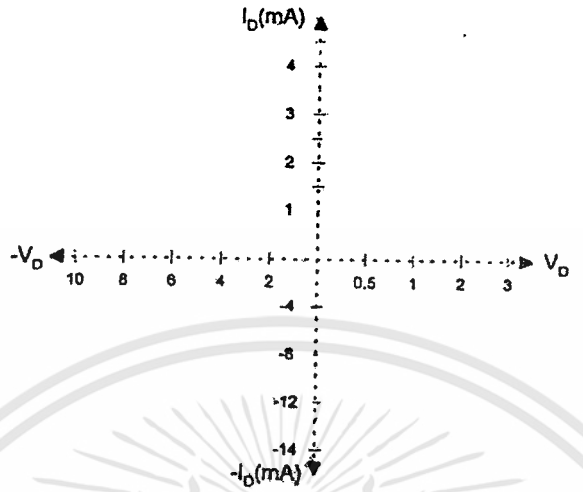
5.4 ปรับค่าแรงดัน Vin อีกครั้งตามตารางที่ 1-8 บันทึกค่าแรงดัน V_D และกระแส I_D ลงในตารางที่ 1-8

ตารางที่ 1-8

Vin (Volts)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
V_D (Volts)										
I_D (mA)										

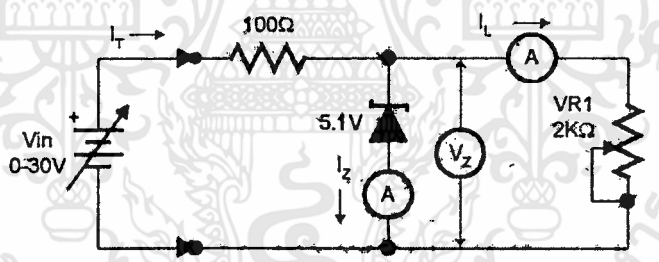
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 นำข้อมูลจากตารางที่ 1-7 และตารางที่ 1-8 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ $V_D = f(I_D)$ ของซีเนอร์ 5.1 V



6. การใช้ซีเนอร์ไดโอดในวงจร Voltage Regulator

6.1 ต่อวงจรดังรูปที่ 1-10 แล้วปรับแรงดัน Vin ให้มีค่าเท่ากับ 10 โวลท์และปรับค่า VR1 ให้มีค่าสูงสุด



รูปที่ 1-10

6.2 ปรับค่า VR1 ให้ลดลงตามตารางที่ 1-9 วัดค่ากระแสซีเนอร์ (I_Z) แรงดันซีเนอร์ (V_Z) กระแสโหลด (I_L) และกระแสที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าจ่ายออกมา (I_T) บันทึกค่าต่างๆ ลงในตารางที่ 1-9

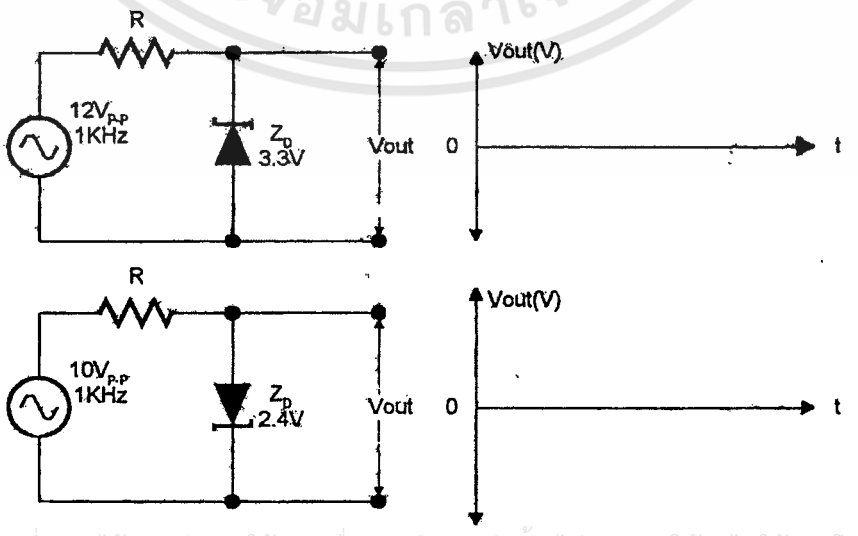
ตารางที่ 1-9

VR1 (Ω)	2,000	1,500	1,000	500	200	100
V_Z (Volts)						
I_Z (mA)						
I_L (mA)						
I_T (mA)						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. เมื่อดูลักษณะภายนอกของไดโอดจะบอกขาของไดโอดได้อย่างไร
2. ค่าความต้านทานของไดโอดซิลิกอนที่ทดลองเมื่อได้รับไบอัสตรงมีค่าเท่ากับ R_F =.....Ω ค่าความต้านทานของซิลิกอนไดโอดที่ทำการทดลองเมื่อได้รับไบอัสกลับมีค่าเท่ากับ R_R =.....Ω
3. ขาอาโนดของไดโอดคือสารกึ่งตัวนำชนิด.....และขาคาโทดของไดโอดคือสารกึ่งตัวนำชนิด.....
4. ไดโอดสามารถนำกระแสใดเมื่อได้รับไบอัส.....
5. จงเขียนวงจรไดโอดเมื่อได้รับไบอัสตรงและเมื่อได้รับไบอัสกลับ
6. แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงของซิลิกอนไดโอดและของเยอรมันเมี่ยมไดโอด มีค่าเท่าไร และแตกต่างกันอย่างไร
7. ไดโอดในวงจรนี้ต้องการให้กระแส I_F ผ่าน = 100mA ในขณะที่แรงดันตกคร่อมไดโอดคือ V_F = 0.7V จงหาค่า R ที่เหมาะสม
8. เมื่อไดโอดได้รับไบอัสกลับจนถึงจุดพังทลาย (Brake down)ไดโอดจะเป็นอย่างไร
9. ซีเนอร์ไดโอดจะพังทลายและมีแรงดันคงที่เมื่อได้รับแรงดันไบอัสแบบใด
10. ในขณะที่ซีเนอร์ไดโอดได้รับไบอัสตรงจะมีแรงดันตกคร่อมรอยต่อ พี-เอ็น เท่ากับ.....V
11. จงหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่ออธิบายความหมายของ IZM และ IZT ซึ่งปรากฏอยู่ในคู่มือของซีเนอร์ไดโอด
12. จากวงจรต่อไปนี้จงเขียนรูปคลื่นแรงดันขาออกของวงจร
13. จงอธิบายการทำงานของซีเนอร์ไดโอดในการทดลองที่ 6 เมื่อทำหน้าที่เป็นวงจร Voltage Regulator วงจรดังรูปที่ 1-11 แล้วปรับแรงดัน Vin ให้มีค่าเท่ากับ 10 โวลท์และปรับค่า VR1 ให้มีค่าสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2

วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuits)

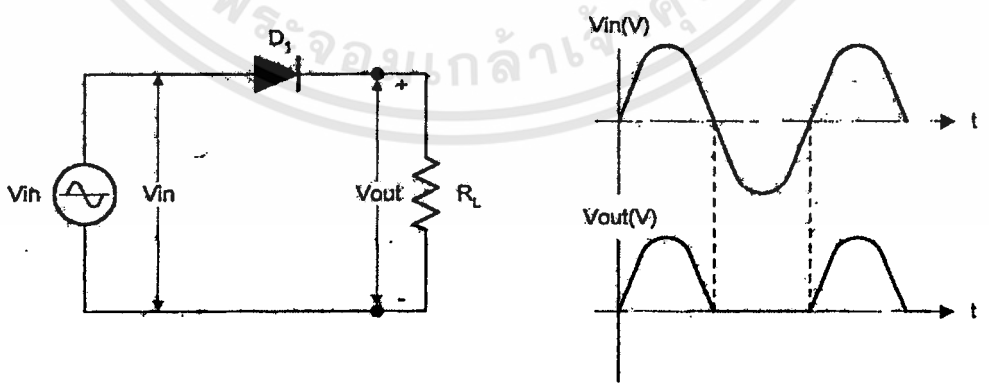
วัตถุประสงค์

1. ทดลองวัดรูปคลื่นของแรงดันขาเข้าและขาออกได้
2. ทดลองวัดรูปคลื่นแรงดันที่ส่วนต่าง ๆ ของวงจรได้
3. เลือกวงจรกรองกระแสไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม
4. ต่อวงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีเทปได้ถูกต้อง
5. ต่อวงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นที่ใช้ในวงจรบริดจ์ได้ถูกต้อง
6. เข้าใจการทำงานของวงจรกรองกระแสที่ใช้ตัวเก็บประจุ
7. เข้าใจหลักการใช้ตัวเก็บประจุในการกรองแรงดัน
8. เข้าใจวิธีการใช้วงจรกับวงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นที่ใช้วงจรบริดจ์

ทฤษฎี

1. วงจรกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่น (Hafe Wave Rectifier Circuits)

วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuits) คือวงจรที่ใช้ไดโอดเป็นตัวแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง วงจรเรียงกระแสพื้นฐานที่ง่ายต่อการใช้งานคือ ดังแสดงในรูปที่ 2-1 (a)แต่ข้อเสียของวงจรนี้คือ ค่าแรงดันริปเปิล (Ripple) ที่ขาออกขิงวงจรมีค่าสูงมาก ต้องใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ช่วยในการกรองแรงดันให้เรียบ ลักษณะของรูปคลื่นดังแสดงในรูปที่ 2-1 (b)

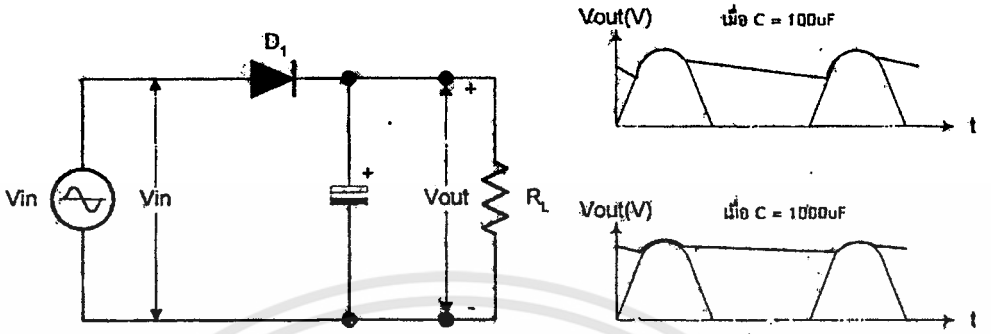


(a) วงจรเรียงกระแสเฟสครึ่งคลื่น (b) รูปคลื่นแรงดันขาออกของวงจร

รูปที่ 2-1 วงจรเรียงกระแส 1 เฟส ครึ่งคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

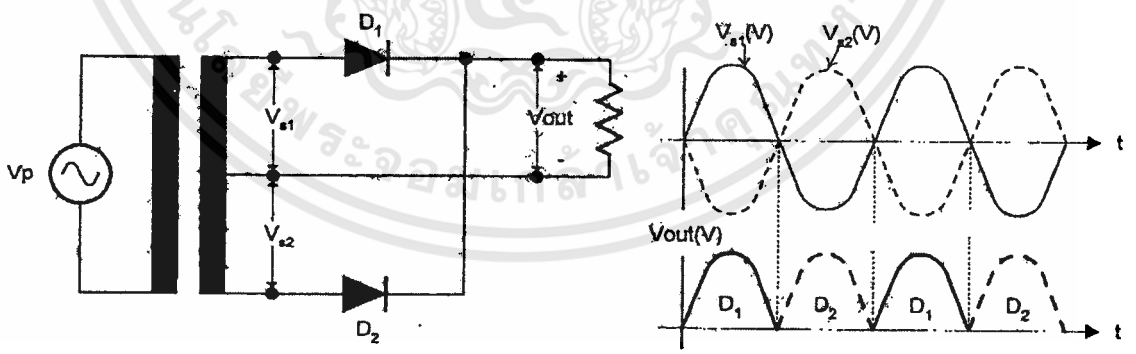
เมื่อต้องการต่อวงจรกรองกระแสที่ใช้ตัวเก็บประจุ เพื่อกำจัดค่าแรงดันริปเปิล ที่รูปคลื่นขาออกวงจรให้ลดลงทำได้ดังนี้



รูปที่ 2-2 วงจรกระแสแสดงผลของตัวเก็บประจุในวงจรกรองกระแส

2. วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแทป (Full Wave Rectifier Circuits With Center Taped)

วงจรเรียงแระแส 1 เฟส เต็มคลื่น ที่ใช้หม้อแปลงมีแปะใช้ไดโอดเรียงกระแส 2 ตัว แต่ละตัวทำหน้าที่เรียงกระแสสลับเฉพาะด้านบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟสลับมาเรียงเป็นแรงดันไฟตรงแบบเต็มคลื่น จึงมีรูปคลื่น 2 รูปคลื่นใน 1 ไซเคิลไฟสลับของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ดังรูปที่ 2-3 ขนาดของแรงดันไฟตรงที่ขาออกของวงจรจะมีค่ามากกว่าวงจรเรียงกระแส 1 เฟส ครึ่งคลื่น 2 เท่าแต่ค่าแรงดัน PIV มีค่าเท่ากับ 2 เท่าของค่าแรงดันสูงสุดที่แหล่งจ่าย (Vin)

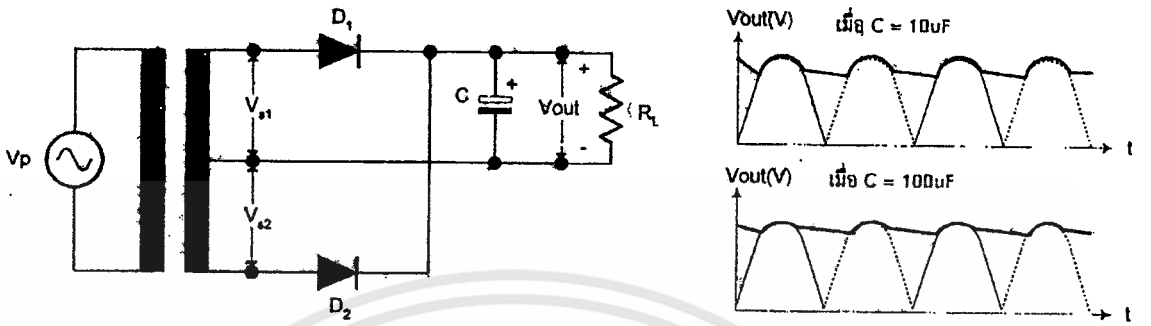


(a) วงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแทป (b) รูปคลื่นของแรงดันขาออกของวงจร

รูปที่ 2-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

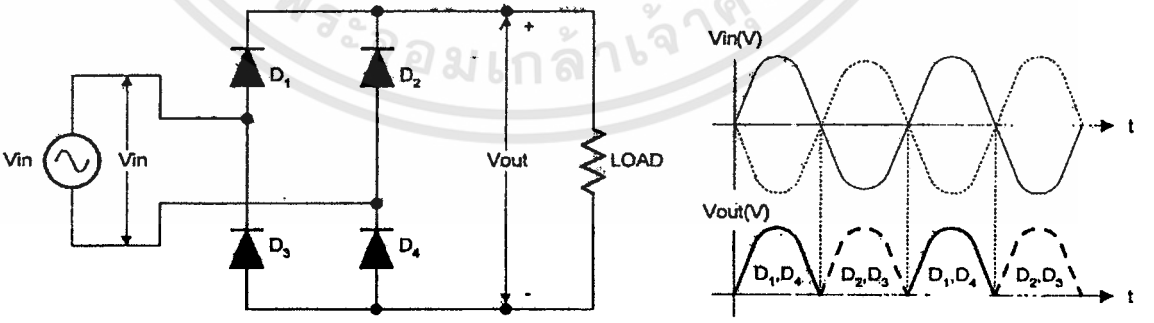
ตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่กรองกระแส จะเป็นผลให้วงจรกำเนิดแรงดันไฟตรงที่โหลดได้เรียบมากขึ้น มีค่าแรงดันริปเปิลน้อยกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น



รูปที่ 2-4

3. วงจรรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuits)

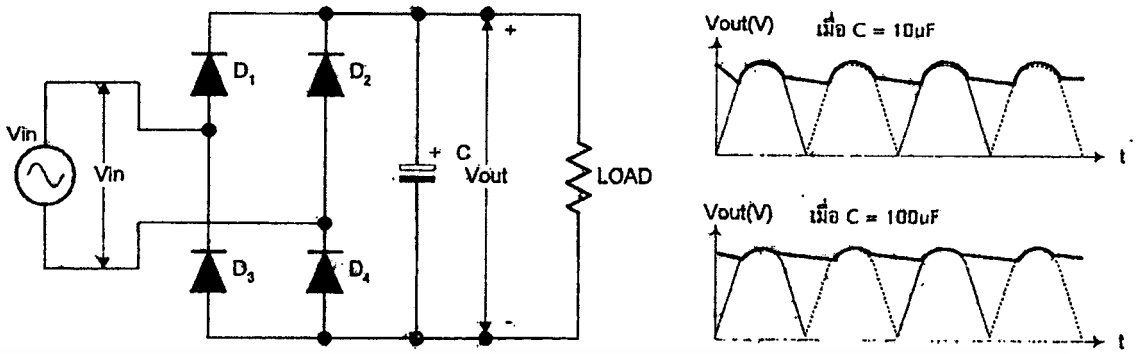
วงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่น ที่ใช้ในวงจรบริดจ์จะต้องใช้ได้โดย 4 ตัว แต่ไม่ต้องใช้หม้อแปลงมีแทปมาช่วยทางด้านแรงดันขาข้าวของวงจร ทำให้สามารถใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์นี้จ่ายกระแสไฟตรง ขนาดกำลังไฟฟ้าสูง ๆ มากได้ เพราะแรงดันขาเข้าไม่ต้องผ่านหม้อแปลง แต่ลักษณะรูปคลื่นแรงดันขาออกจะเหมือนกับวงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแทป และอีกข้อหนึ่งคือ ขนาดพิกัดแรงดันไบอัสกับสูงสุด (PIV, Peak inverse Voltage) มีค่าเท่ากับ แรงดันสูงสุดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ป้อนเข้ากับวงจร ลักษณะของวงจรเรียงกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นแบบบริดจ์และรูปคลื่นแรงดันขาออกแสดงในรูปที่6-1 ตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่กรองแสจะเป็นผลให้รูปคลื่นแรงดันขาออกเรียบขึ้น นั้นคือทำให้ค่าแรงดันริปเปิล (Ripple) ลดลงแสดงในรูป



(a) วงจรกระแส 1 เฟส เต็มคลื่นแบบบริดจ์ (b) รูปคลื่นของแรงดันขาออกของวงจร

รูปที่ 2-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-6

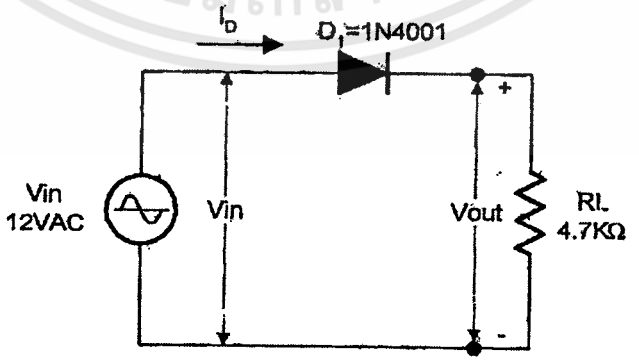
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ออสซิลโลสโคป 2 แชนแนล	1	เครื่อง
2. ชุดทดลองหลัก BASE UNIT (BU-2)	1	เครื่อง
3. แผงโมดูลการทดลอง AL-1100B	1	แผ่น
3.1 ไดโอดเบอร์ 1N4001×4		
3.2 ตัวต้านทาน 47KΩ		
3.3 ตัวเก็บประจุค่า $10\mu F$, $100\mu F$		
4. สายต่อวงจรไฟฟ้า	1	ชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. วงจรเรียงกระแส 1 เฟสครึ่งคลื่น

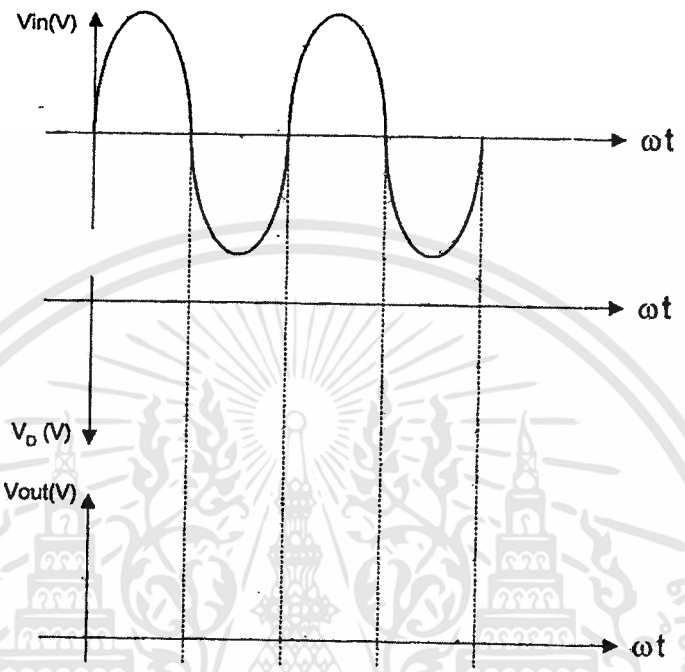
1.1 ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

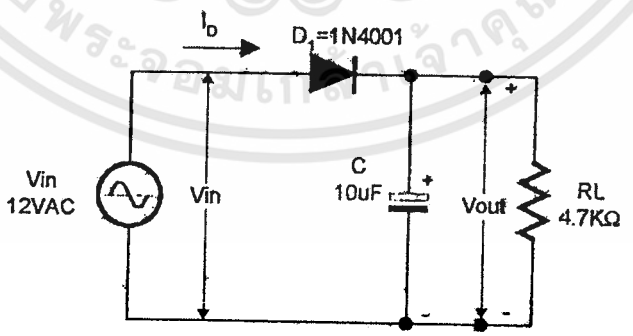
1.2 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นแรงดัน แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Vin),แรงดันตกคร่อมไดโอด (VD) ,และแรงดันตกคร่อม โหลด (Vout)บันทึกรูปคลื่นแรงดัน Vin,VD และVoutลงในกราฟรูปที่ 2-1



กราฟที่ 2-1

2. ผลของตัวเก็บประจุกับวงจรเรียงกระแส 1 เฟส ครึ่งคลื่น

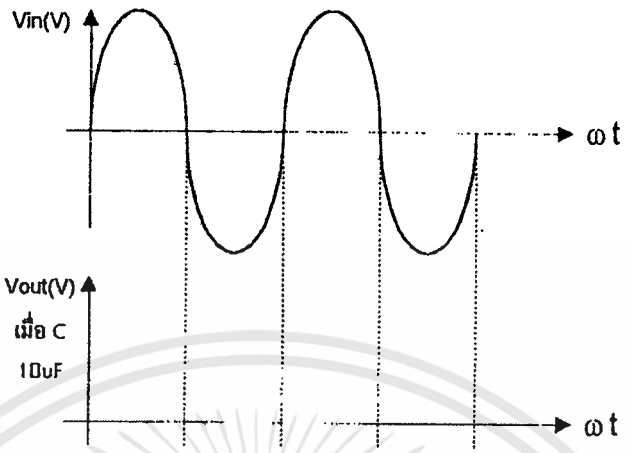
2.1 ต่อวงจรการทดลองใหม่ดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8

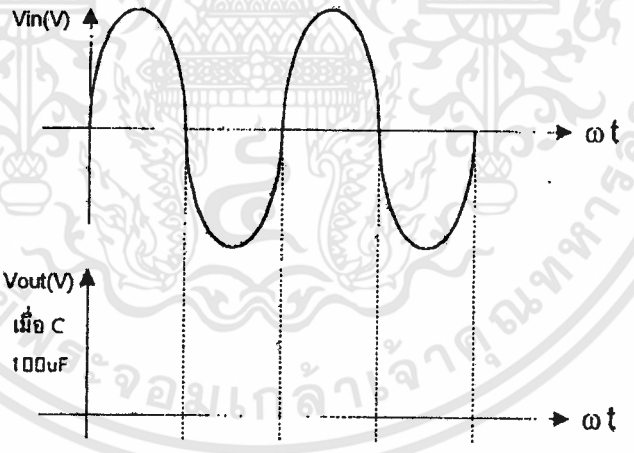
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดและบันทึกรูปคลื่นแรงดัน Vin และ Volt ลงในกราฟรูปที่ 2-2



กราฟที่ 2-2

2.3 เปลี่ยนค่า $C = 10\mu F$ ในวงจรรูปที่ 2-8 ใหม่เป็น $C = 100\mu F$ สังเกตรูปคลื่นของ Vout ที่เปลี่ยนแปลงไปบนจอออสซิลโลสโคปและบันทึกรูปคลื่นแรงดัน Volt ลงในกราฟรูปที่ 2-3

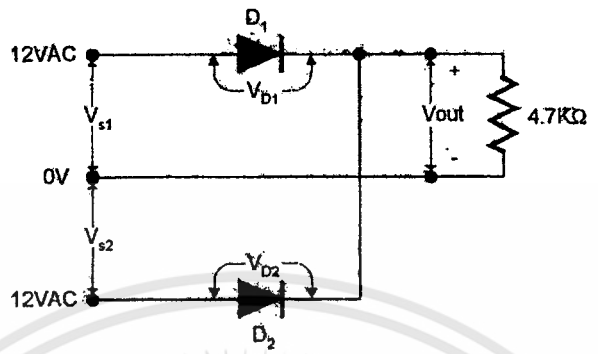


กราฟที่ 2-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

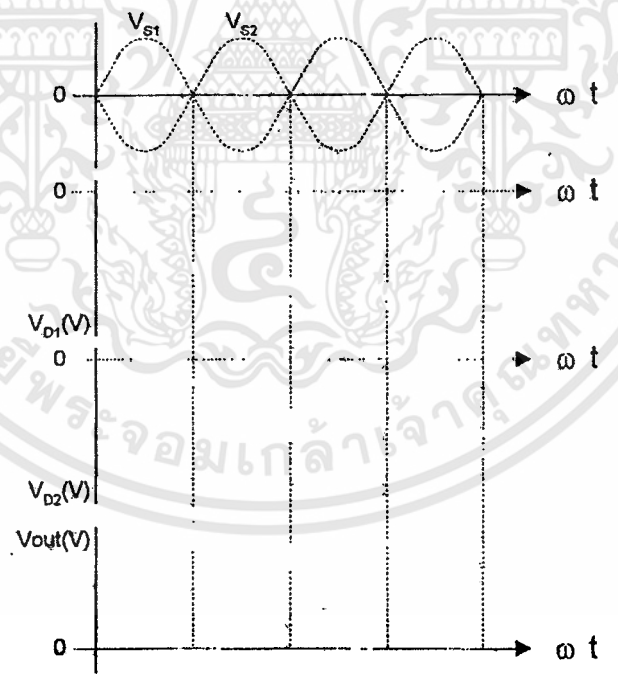
3. วงจรกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแทป

3.1 ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9

3.2 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นแรงดันที่ส่วนต่างๆ ของวงจรคือ แรงดัน V_{S1} , V_{S2} , V_{D1} , V_{D2} และ Vout บันทึกรูปคลื่นลงในกราฟรูปที่ 2-4

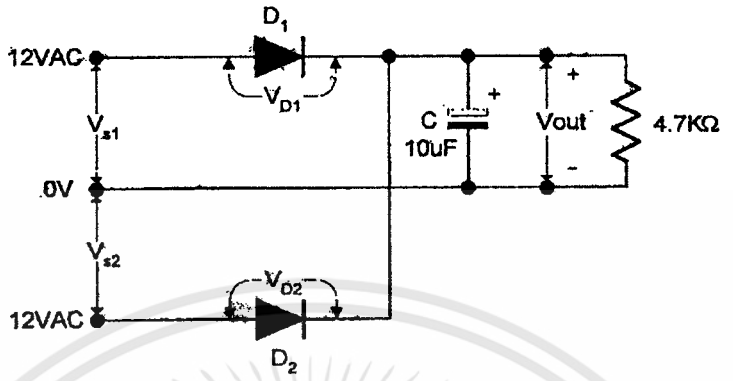


กราฟที่ 2-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

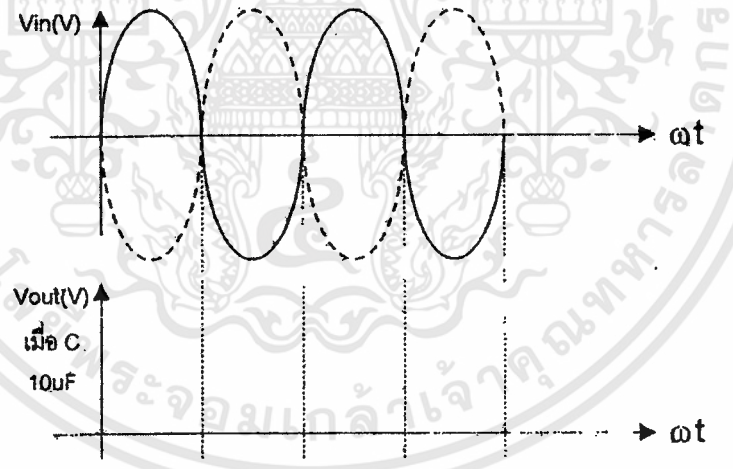
4. วงจรกรองกระแสที่ใช้ตัวเก็บประจุ

4.1 ต่อวงจรทดลองใหม่โดยเพิ่มตัวเก็บประจุ $10\mu F$ ดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10

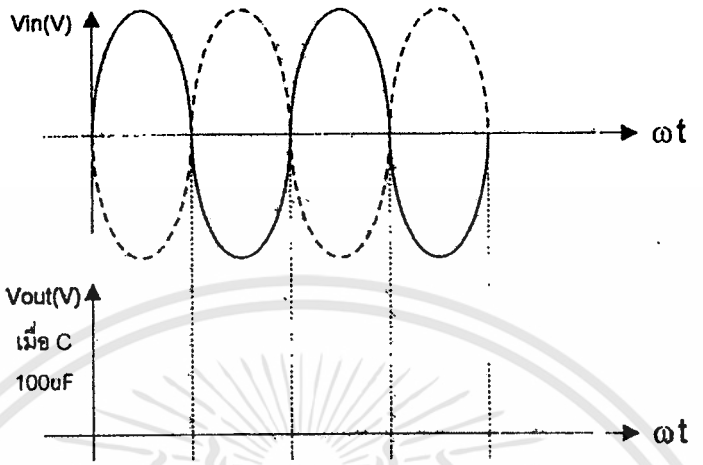
4.2 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดและบันทึกรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด บันทึกรูปคลื่นลงในกราฟที่ 2-5



กราฟที่ 2-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

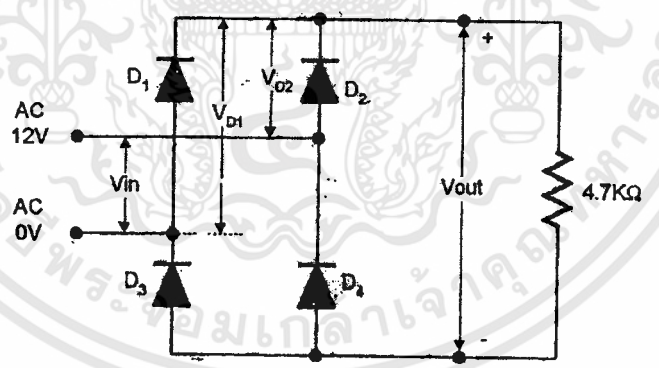
4.3 เปลี่ยนค่า C = 10μF ในวงจรรูปที่ 2-10 ใหม่เป็น C = 100μF บันทึกรูปคลื่นของ Vout อีกครั้งหนึ่งลงในกราฟรูปที่ 2-6



กราฟที่ 2-6

5. วงจรกระแส 1 ฟส เต็มคลื่นแบบบริดจ์

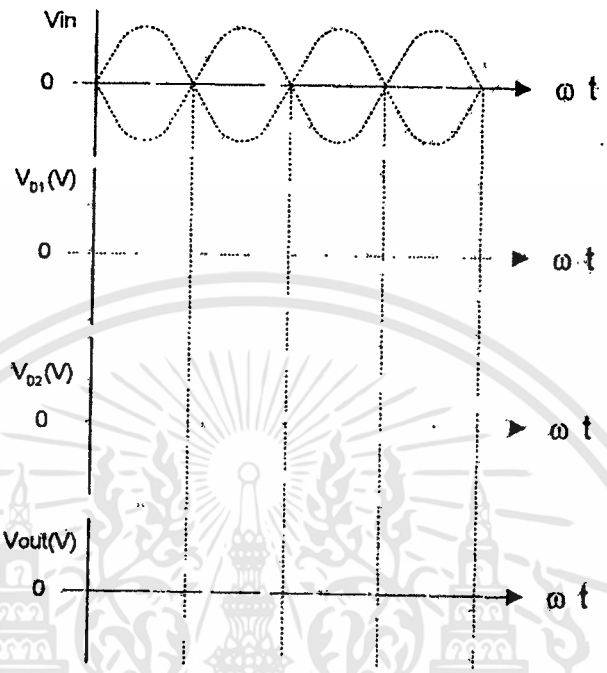
5.1 ต่อวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ตามรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

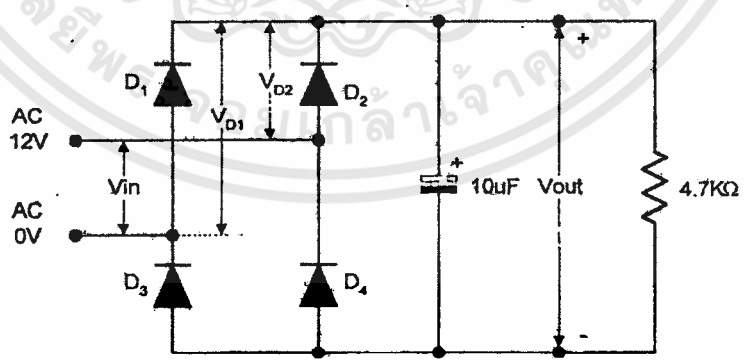
5.2 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นแรงดัน Vin ,V_{D1} , V_{D2} , Vout บันทึกรูปคลื่นลงในกราฟที่ 2-7



กราฟที่ 2-7

6. วงจรเรียงกระแสที่มีวงจรกรอง(Filter)ด้วยตัวเก็บประจุ

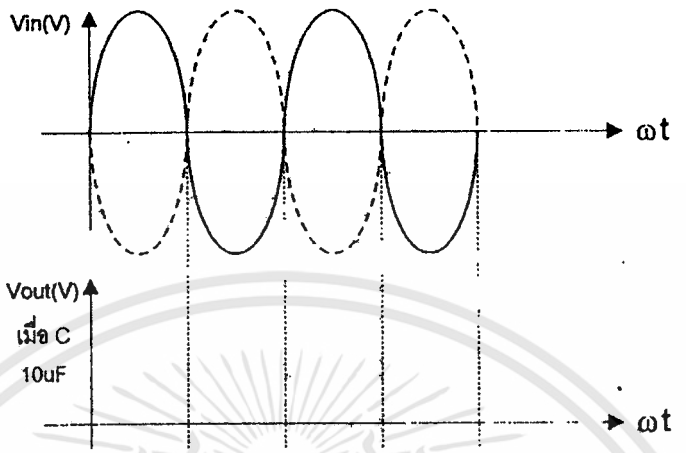
6.1 ต่อวงจรทดลองใหม่โดยเพิ่มตัวเก็บประจุ $10\mu F$ ดังรูปที่ 2-12



รูปที่ 2-12

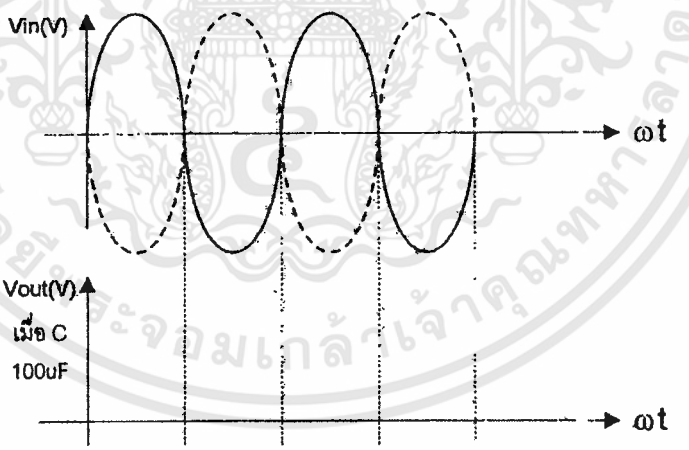
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดและบันทึกรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (Vout) ลงในกราฟที่ 2-8



กราฟที่ 2-8

6.3 ในวงจรรูปที่6.4 เปลี่ยนค่า C=10μF ให้เป็น C=100μF บันทึกรูปคลื่น Vout อีกครั้งหนึ่งลงในกราฟที่ 2-9

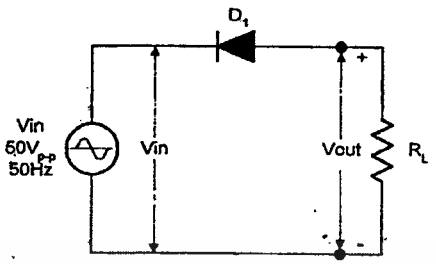


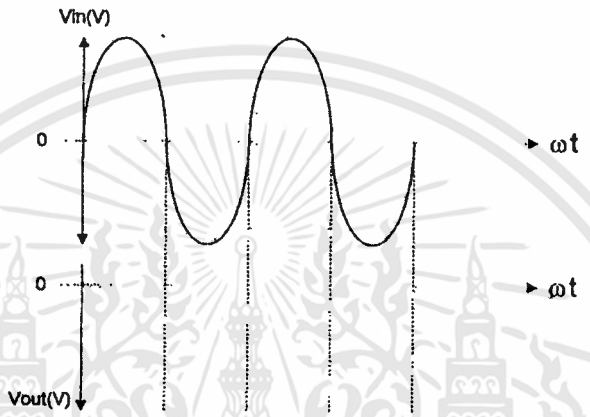
กราฟที่ 2-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

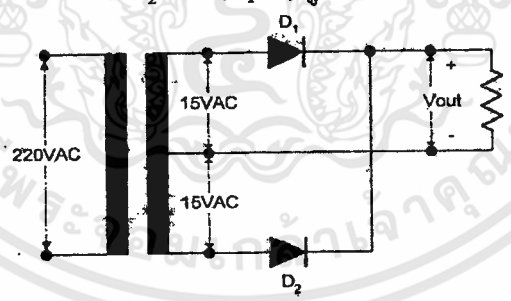
คำถามท้ายการทดลอง

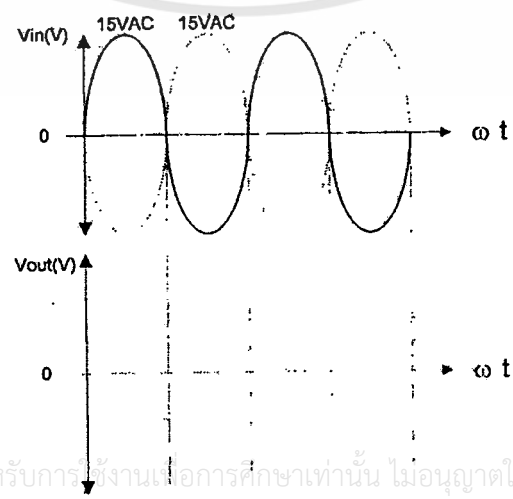
1. จากวงจรต่อไปนี้ จงวาดรูปคลื่นของ Vout





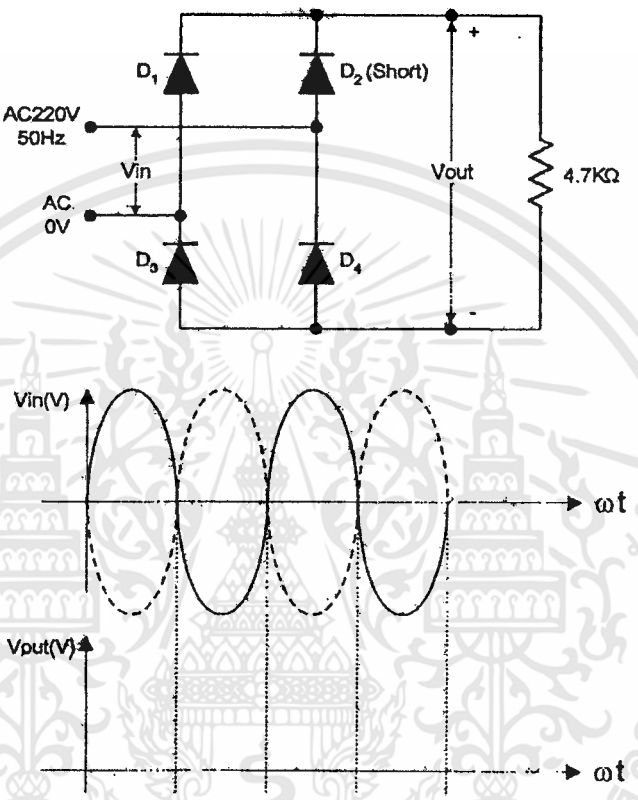
2. จากผลการทดลองเรื่องวงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุเป็นตัวกรองกระแสนั้น ค่าของตัวเก็บประจุมีผลอย่างไรกับรูปคลื่นแรงดันขาออกของวงจร
3. วงจรเรียงกระแส จำเป็นต้องมีวงจรกรองกระแสหรือไม่เพราะเหตุใด
4. จากวงจรต่อไปนี้ถ้าไดโอด D_2 ขาด (Open) รูปคลื่น แรงดันขาออกจะเป็นอย่างไร





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อธิบายและให้เหตุผลถึงความสำคัญของวงจรกรองกระแส และยกตัวอย่างชนิดของวงจรกรองกระแสมาสัก 2 วงจร
6. จากการทดลองที่ 5. จงคำนวณหาค่าแรงดัน PIV ที่เกิดขึ้นกับไดโอด D_1
7. จากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ต่อไปนี้ถ้าไดโอด D_2 ลัดวงจร รูปคลื่นแรงดัน Vout จะเป็นอย่างไร



8. จงแสดงสมการการคำนวณค่ากระแสเฉลี่ยตกคร่อมโหลดวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ เมื่อโหลดในวงจรบริดจ์คือ R

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3

ไดโอดในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

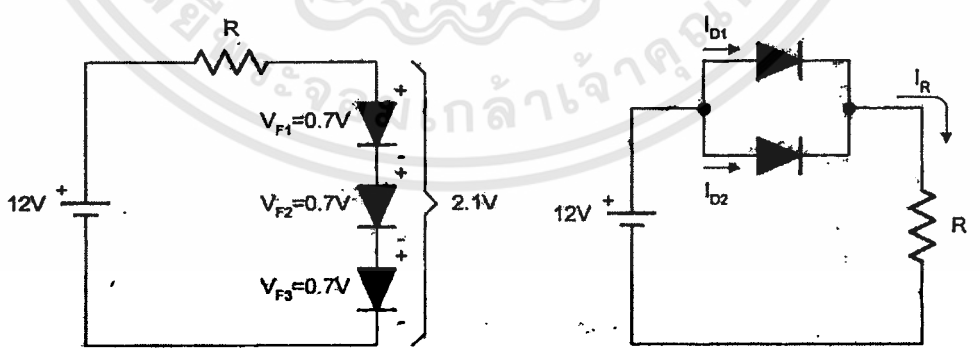
(DC Diode)

วัตถุประสงค์

1. เข้าใจคุณลักษณะของไดโอด ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อต่อไดโอดอนุกรมและขนาด
2. เข้าใจการทำงานของไดโอด เมื่อทำหน้าที่เป็นสวิตช์ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง
3. ทดลองวัดค่ากระแส และแรงดันในวงจรไดโอดเมื่อต่อวงจรอนุกรม และขนานได้อย่างถูกต้อง

ทฤษฎี

การนำไดโอดไปใช้งานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงนั้นนิยมใช้ไดโอดทำหน้าที่เป็นสวิตช์ (Switch) เนื่องจากไดโอดนำกระแสได้ทางเดียวเมื่อได้รับไบอัสตรงเท่านั้น นอกจากนี้แล้วในการสร้างแรงดันอ้างอิงที่มีค่าคงที่ นิยมใช้ไดโอดหลาย ๆ ตัวต่ออนุกรมกัน เนื่องจากแรงดันตกคร่อมไดโอด เมื่อได้รับไบอัสตรงมีค่าคงที่ที่ 0.7 V (ซิลิกอนไดโอด) ดังนั้นถ้าต้องการแรงดันอ้างอิงคงที่ 2.1 V อาจาทำได้โดยต่อวงจรไดโอดอนุกรม 3 ตัว เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3-1 สำหรับการต่อไดโอดขนาน ก็เอให้ได้กระแสโหลดจำนวนมากในกรณีที่ไดโอดแต่ละตัวมีขนาด ทนกระแสได้น้อย จากรูปที่ 3-1(b) กระแสโหลด I_R มีค่าเท่ากับ $I_{D1} + I_{D2}$ เป็นต้น



(a) การต่อไดโอดอนุกรม (b) การต่อไดโอดขนาน

รูปที่ 3-1 การต่อไดโอดอนุกรมและขนานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

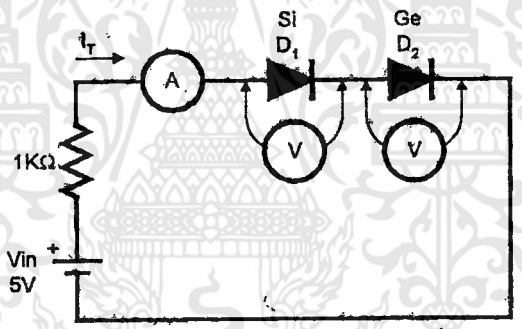
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มัลติมิเตอร์	2	เครื่อง
2. ชุดทดลองหลัก BASE UNIT (BU-2)	1	เครื่อง
3. แผงโมดูลการทดลอง AL-1100B	1	แผ่น
3.1 ไดโอดชนิดซิลิกอน 1N4001 , เยอรมันเนี่ยม OA90		
3.2 ไดโอด LED		
3.3 ตัวต้านทาน 1KΩ		
4. สายต่อวงจรไฟฟ้า	1	ชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. วงจรอนุกรมไดโอด

1.1 ต่อวงจรการทดลองดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2

1.2 บันทึกกระแสและแรงดันตกคร่อมไดโอดทั้งสอง

I_1 =.....mA; V_{D1} =.....mA; V_{D2} =.....mA

1.3 จากการทดลองในข้อ 1.2 ผลปรากฏว่าไดโอด D1 และไดโอด D2 นำกระแสหรือไม่นำกระแสอย่างไร

1.4 กลับขั้วไดโอด D_1 ใหม่ตามรูปที่ 3-3 ทำการทดลองอีกครั้ง

1.5 วัดค่าและบันทึกค่ากระแสและแรงดันตกคร่อมไดโอดในวงจร

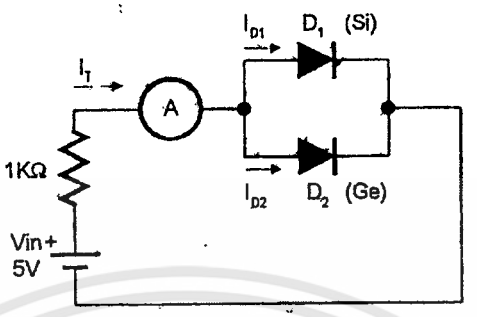
I_1 =.....mA; V_{D1} =.....mA; V_{D2} =.....mA

1.6 จากการทดลองในข้อ 1.5 ผลปรากฏว่าไดโอด D_1 และไดโอด D_2 นำกระแสหรือไม่นำกระแสอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การต่อไดโอดขนานในวงจร DC

2.1 ต่อวงจรการทดลองดังรูปที่ 3-4



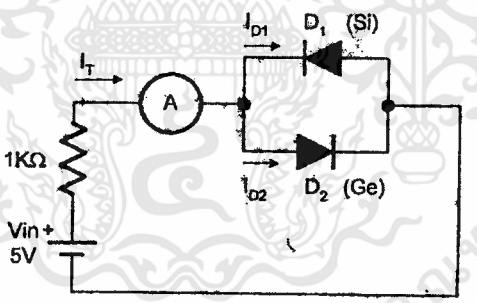
รูปที่ 3-4

2.2 ทำการวัดและบันทึกค่ากระแสและแรงดันในส่วนต่าง ๆ ของวงจร

I_I =.....mA; I_{D1} =.....mA; I_{D2} =.....mA;

V_{D1} =.....mA; V_{D2} =.....mA

2.3 กลับขั้วไดโอด D_1 จะได้วงจรทดลองตามรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5

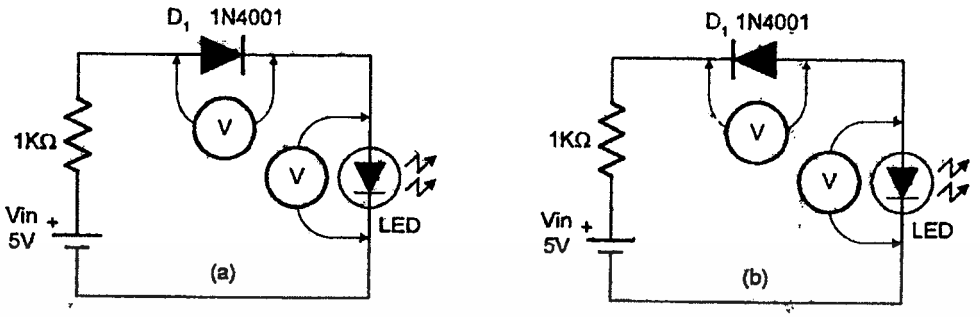
2.4 ทำการวัดและบันทึกค่ากระแสและแรงดันในส่วนต่าง ๆ ของวงจร

I_I =.....mA; I_{D1} =.....mA; I_{D2} =.....mA;

V_{D1} =.....mA; V_{D2} =.....mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การใช้ไดโอดเป็นสวิตช์



รูปที่ 3-6

3.1 ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 3-6 (a) สังเกตการ ติด-ดับ ของ LED และวัดค่าแรงดันตกคร่อมไดโอด (D_1) และ LED บันทึกผลลงใจตารางที่ 3-1

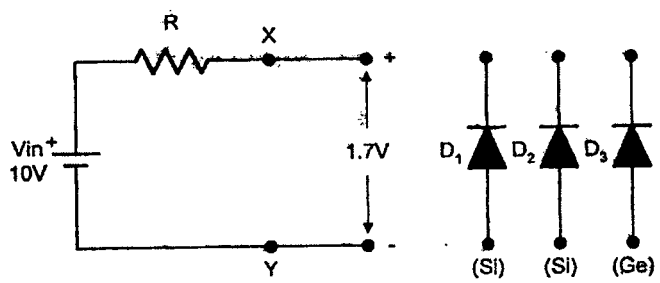
3.2 ต่อวงจรใหม่อีกครั้งโดยต่อตามรูปที่ 3-6 (b) แล้วสังเกตการ ติด-ดับ ของ LED อีกครั้งและวัดค่าแรงดันตกคร่อมไดโอด (D_1) และ LED บันทึกผลลงใจตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1

วงจร	แรงดันตกคร่อม D1 (V)	แรงดันตกคร่อม LED (V)
(a)		
(b)		

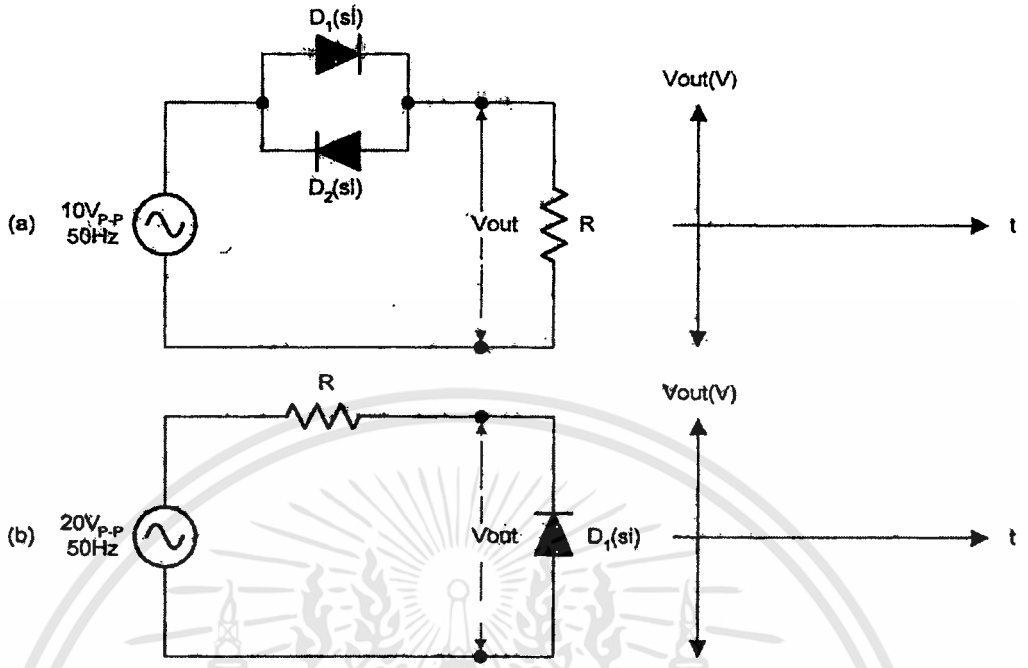
คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองที่ 3. วงจรในรูปที่ 3-6 (a) หรือรูปที่ 3-6 (b) ที่ไดโอดทำงานเหมือนสวิตช์ปิด (Closed) เพราะเหตุใด
2. ถ้าต้องการแรงดันอ้างอิงขนาด 1.7V ที่จุด XY ของวงจรต่อไปนี้ ควรต่อไดโอดที่จุด XY อย่างไร กำหนดให้เลือกใช้ไดโอด D_1, D_2 และ D_3 ตามที่กำหนดได้

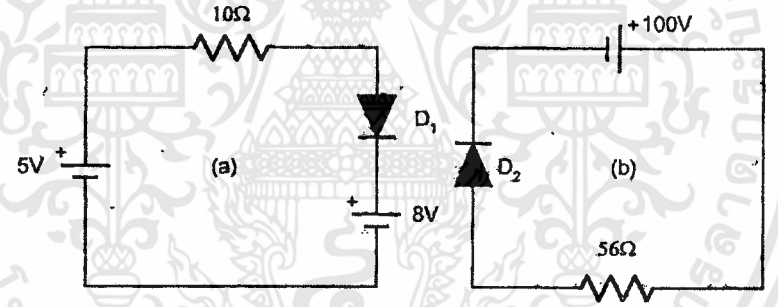


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จงเขียนรูปคลื่นแรงดันขาออกของวงจรต่อไปนี้



4. อยากทราบว่าไดโอดวงจรต่อไปนี้ได้รับไบอัสตรงหรือไบอัสกลับ



(a) D_1 ได้รับไบอัส.....

(b) D_2 ได้รับไบอัส.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4

การหาคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

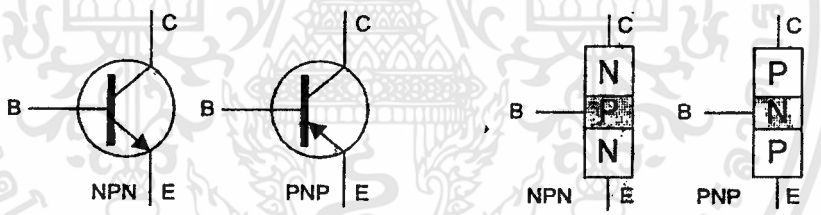
(Bipolar Junction Transistor)

วัตถุประสงค์

1. ตรวจสอบขั้วของทรานซิสเตอร์ได้ด้วยมัลติมิเตอร์
2. ต่อวงจรทรานวิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
3. ศึกษาคุณลักษณะทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ได้

ทฤษฎี

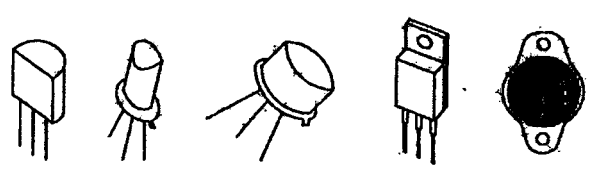
ทรานซิสเตอร์ชนิด 2 รอยต่อ เรียกชื่อว่า BJT (Bipolar Junction Transistor) แบ่งตามโครงสร้างของรอยต่อ พี-เอ็น ภายในตัวทรานซิสเตอร์ได้ 2 แบบ คือ ทรานซิสเตอร์ NPN และทรานซิสเตอร์ PNP ดังแสดงในรูปที่ 4-1



(a) สัญลักษณ์ (b) โครงสร้าง

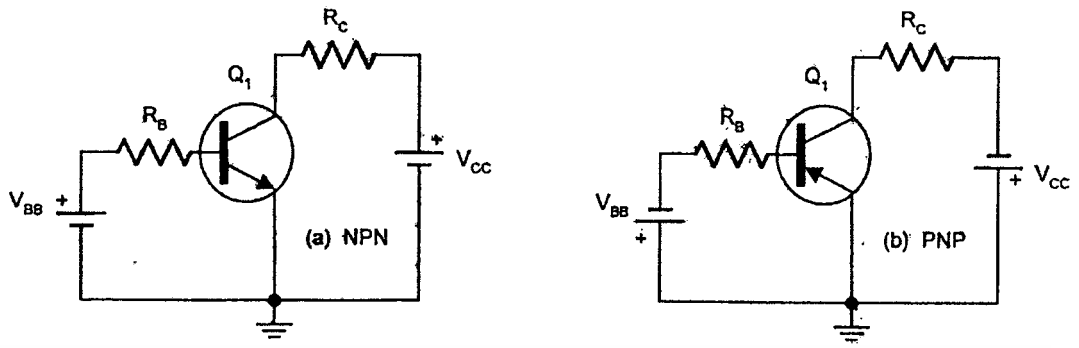
รูปที่ 4-1 สัญลักษณ์และโครงสร้างภายในของทรานซิสเตอร์ชนิดต่าง ๆ

ทรานซิสเตอร์เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) แสดงวงจรสวิตซ์ (Switching) ทรานซิสเตอร์มีหลายขนาดและบรรจุในหลาย ๆ รูปแบบที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 สัญลักษณ์ภายนอกของทรานซิสเตอร์แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ PNP

การใช้ไบอัสทรานซิสเตอร์นั้นทำได้โดยยึดหลักการไบอัสต่อไปนี้

1. ให้ไบอัสตรงกับรอยต่อระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์
2. ให้ไบอัสกลับกับรอยต่อระหว่างคอลเลคเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4-3

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มัลติมิเตอร์ 2 เครื่อง
2. ชุดทดลองหลัก BASE UNIT (BU-2) 1 เครื่อง
3. แผงโมดูลการทดลอง AL-1100B 1 แผ่น
   - 3.1 ทรานซิสเตอร์ 2N3053
   - 3.2 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5KΩ×2
   - 3.3 ตัวต้านทานค่า 10KΩ,1KΩ
4. สายต่อวงจรไฟฟ้า 1 ชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

1.1 สมมุติขา ก. ข. และ ค. ที่ทรานซิสเตอร์ 2N3053 ตามรูปที่ 4-4

รูปที่ 4-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ใช้มัลติมิเตอร์ ตั้งย่านการวัด R×10KΩ วัดค่าความต้านทานระหว่างขาต่าง ๆ ทั้ง 3 ขาของทรานซิสเตอร์บันทึกค่าที่วัดได้ลงในตารางที่ 4-1

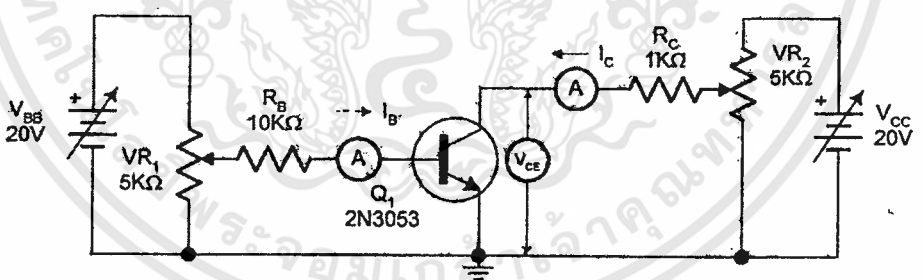
ตารางที่ 4-1

สายมิเตอร์สีแดง	สายมิเตอร์สีดำ	ค่าความต้านทาน(Ω)
ก	ข	
ก	ค	
ข	ก	
ข	ค	
ค	ก	
ค	ข	

1.3 จากผลการวัดค่าความต้านทานให้สรุปว่าขา ก. ข. และ ค. คือขาใดของทรานซิสเตอร์

ขา ก. คือ..... ขา ข. คือ..... ขา ค. คือ.....

2. การหาลักษณะสมบัติทางด้านเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ในวงจร Common Emitter



รูปที่ 4-5

2.1 ต่อวงจรทดลองตามรูปที่ 4-5 ปรับV_{BB}=20V และ V_{CC}=20V ปรับค่า VR_1 ให้ได้ I_B=0 μA, ปรับค่า VR_2 ให้ได้ค่าแรงดัน V_{CE} ตามตารางที่ 4-2 บันทึกค่ากระแส I_C ที่เปลี่ยนแปลงไปลงในตารางที่ 4-2

2.2 ปรับค่า I_B ใหม่ให้ได้ 20 μA โดยการปรับค่าVR_1ให้คงที่ตลอดการทดลองและปรับค่า VR_2 เพื่อให้ได้แรงดัน V_{CE} ตามตารางที่ 4-2 บันทึกค่ากระแส I_C และทำขั้นตอนเดิมนี้ เมื่อ I_B=40 μA และ I_B=60 μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-2

V_{CE} (Volts)		0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	4	6	8	10
I_B = 0 μA	I_C (mA)										
I_B = 20 μA	I_C (mA)										
I_B = 40 μA	I_C (mA)										
I_B = 60 μA	I_C (mA)										

2.3 นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4-2 มาเขียนกราฟลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ตามสมการ $I_C = f(V_{CE})$ ที่ I_B ช 0, 20, 40 และ 60 (μA)

3. การหาค่าลักษณะสมบัติทางด้านอินพุตของทรานซิสเตอร์ในวงจร Common Emitter

3.1 ต่อวงจรทดลองตามรูป 4-5 ปรับค่า V_{BB} = 20V, V_{CC} = 20V

3.2 ปรับค่า I_B = 0 μA ตามตารางที่ 4-3 ค่อย ๆ ปรับ VR_2 ให้ได้ V_{CE} ตามตารางบันทึกค่าแรงดัน V_{CE} ลงในตารางที่ 4-3

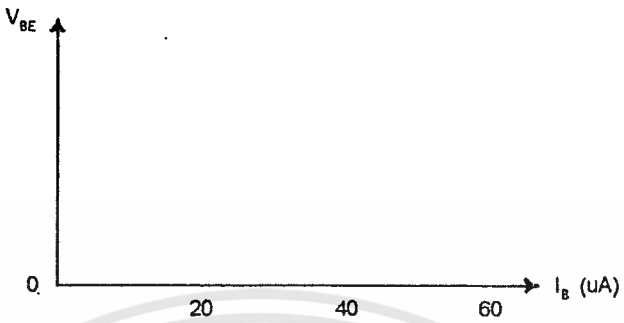
3.3 เปลี่ยนค่า I_B ใหม่ให้เป็น 20, 40, 60 (μA) ทำการทดลองข้อ 4-2 อีกครั้ง

ตารางที่ 4-3

I_B (μA)		0	20	40	60
V_{CE} = 0 V	V_{BE} (V)				
V_{CE} = 5 V	V_{BE} (V)				
V_{CE} = 10 V	V_{BE} (V)				

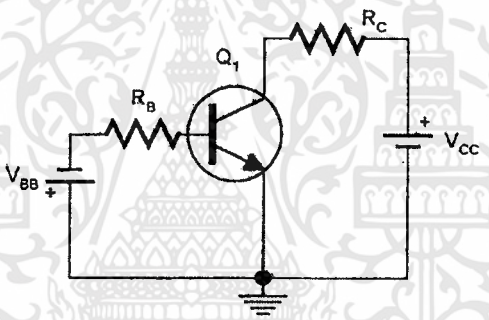
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4-3 มาเขียนลักษณะสมบัติทางอินพุตลงในกราฟ ตามสมการ $I_B = f(V_{BE})$



คำถามท้ายการทดลอง

1. วงจรทรานซิสเตอร์ในรูปข้างร่างนี้ อยากทราบว่าทรานซิสเตอร์ทำงานหรือไม่เพราะเหตุใด

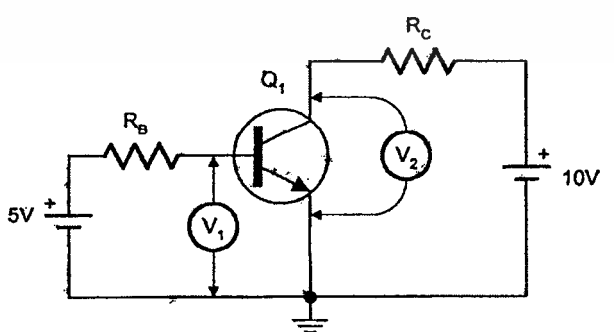


2. จงวาดภาพตัวถังของทรานซิสเตอร์และระบุขั้วของทรานซิสเตอร์ ตามรหัสที่กำหนดให้ต่อไปนี้

2.1 TO-3 2.2 TO-218

2.3 TO-220AB 2.4 TO-225AA

3. จากวงจรต่อไปนี้ถ้าตัวต้านทาน R_B ขาด (Open) อยากทราบว่ามิเตอร์แต่ละตัวจะแสดงค่าแรงดันเทาไร



V_1 = ...V V_2 = ...V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากวงจรในข้อ (3) ถ้าตัวต้านทาน R_C ขาด อยากทราบว่าแรงดัน V_1 และ V_2 มีค่าเท่าไร

V_1 =……..V V_2 =……..V

สรุปผลการทดลอง

……..

……

……

……

……

……

……

……

……

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5

การหาคุณสมบัติของเฟท

(Field-Effect Transistor)

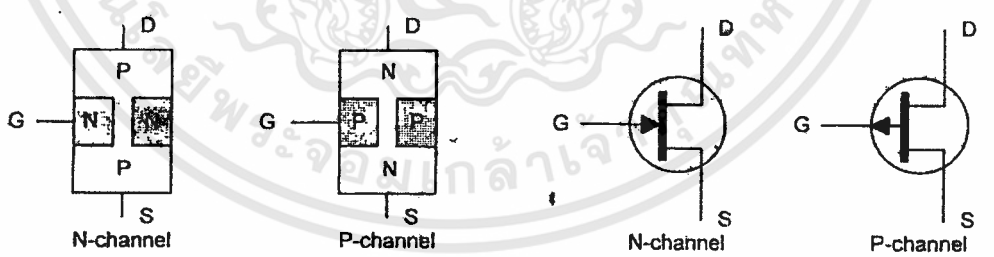
วัตถุประสงค์

1. ทดลองหาคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของมอสเฟทและเจเฟทได้
2. ทดลองหาคุณลักษณะการถ่ายโอนของเจเฟทได้
3. ทดลองหาคุณลักษณะของเครนจากเจเฟทได้
4. เข้าใจการควบคุมการทำงานของเจเฟทและมอสเฟท

ทฤษฎี

ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าหรือเฟท (Field-Effect Transistor, FET) เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดพิเศษ มีรอบต่อเดียวต่างจากทรานซิสเตอร์ชนิด 2 รอยต่อ (BJT) ที่การควบคุมกระแสให้ไหลผ่านเฟท ควบคุมโดยการควบคุมแรงดันอินพุตของเฟท คือแรงดันที่เกทแต่ทรานซิสเตอร์ควบคุมที่กระแสเบส เฟทแบ่งออกตามลักษณะโครงสร้างใหญ่ๆ ได้ 2 แบบคือ

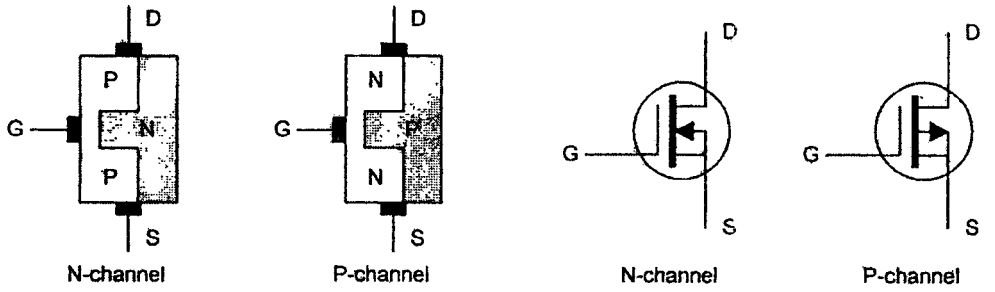
1. JFET (Junction Field-Effect Transistor) เจเฟท
2. MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor)



(a) โครงสร้างเจเฟท (b) สัญลักษณ์ของเจเฟท

รูปที่ 5-1 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของเจเฟททั้ง 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-2 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟททั้ง 2 ชนิด

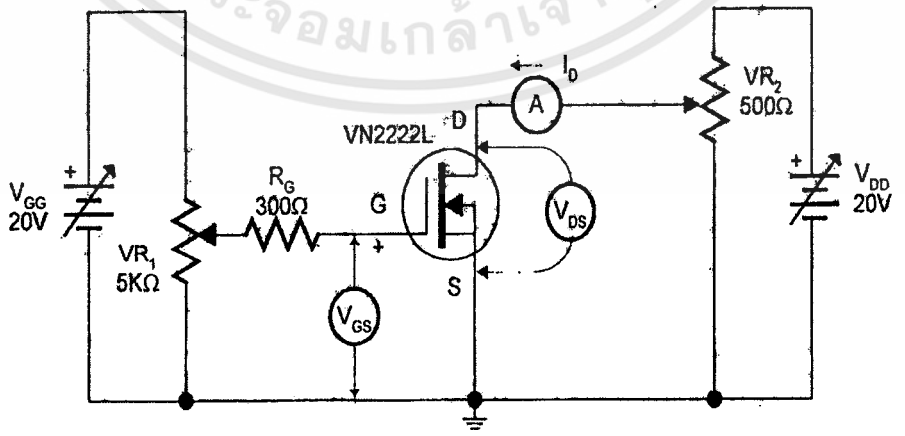
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.	มัลติมิเตอร์	2	เครื่อง
2.	ชุดทดลองหลัก BASE UNIT (BU-2)	1	เครื่อง
3.	แผงโมดูลการทดลอง AL-1100B	1	แผ่น
	5.มอสเฟทเบอร์ VN2222L		
	6.เจเฟทเบอร์ 2N4391		
	7.ตัวต้านทานปรับค่าได้ 500Ω , 5KΩx2		
	8.ตัวต้านทานค่า 10KΩ , 300Ω		
4.	สายต่อวงจรไฟฟ้า	1	ชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ลักษณะสมบัติของมอสเฟส

1.1 ต่อวงจรทดลองตามรูปที่ 5-3



รูปที่ 5-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ปรับค่า $V_{DD} = 20V$, $V_{GG} = 20V$ ปรับ VR_1 ให้ได้ค่า $V_{GS} = 2V$ และปรับ VR_2 ให้ได้ค่า V_{DS} ตามตารางที่ 5-1 บันทึกค่า I_D ลงในตารางที่ 5-1

1.3 ปรับ VR_1 ให้ได้ค่า V_{GS} ใหม่ คือ $V_{GS} = 2.5$ V และ 3 V ทำการทดลองตามข้อ 1.2 อีกครั้ง บันทึกผลลงในตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1

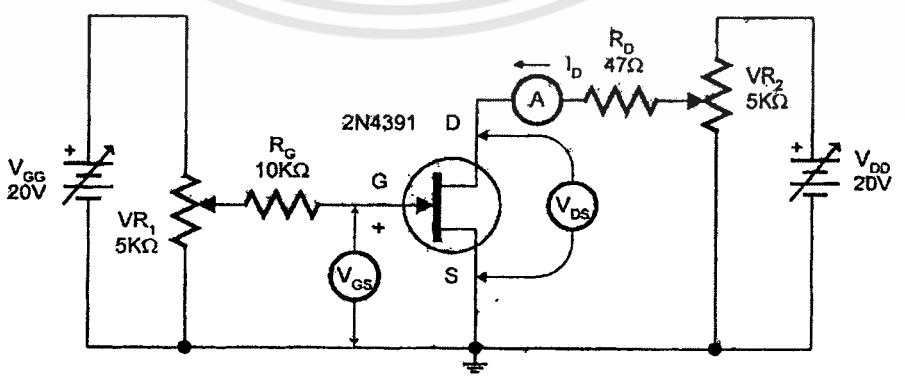
V_{DS} (Volts)		1	1.5	2	2.5	3
$V_{GS} = 2$ V	I_D (mA)					
$V_{GS} = 2.5$ V	I_D (mA)					
$V_{GS} = 3$ V	I_D (mA)					

1.4 ปรับ VR_1 ให้ได้ค่า V_{GS} ที่ 3.2V และ 3.4V ทดลองซ้ำตามข้อ 1.2 อีกครั้ง และบันทึกผลการวัดค่า I_D ลงในตารางที่ 5-1

1.5 นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 5-1 มาเขียนกราฟลักษณะสมบัติของ MOSFET เบอร์ VN2222L จากการทดลองข้อ 1.2 ลงในกราฟตามสมการ ID = $f(V_{DS})$

2. ลักษณะสมบัติของ JFET แบบ N – Channel เบอร์ 2N4391

2.1 ต่อวงจรทดลองตามรูปที่ 5-4



รูปที่ 5-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หาลักษณะสมบัติการถ่ายโอนของเจเฟท (Transfer Characteristic ของ JFET) โดยปรับ VR_1 ให้แรงดัน $V_{GS} = 0V$ และปรับ VR_2 ให้ได้ $I_D = 10mA$ ตามตารางที่ 5-2

2.3 ค่อย ๆ ปรับ VR_1 ให้แรงดัน V_{GS} เป็นลบ (--) มากขึ้น จนกระทั่ง I_D เท่ากับ 0 mA โดยปรับแรงดัน V_{GS} ขั้นละ 1 V บันทึกค่าของกระแส I_D ลงในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2

V_{GS} (Volts)	-2	-3	-4	-5	-6	-7
I_D (mA)						

2.4 ทดลองหา DRAIN CLARACTERSTIC ของเจเฟท โดยใช้วงจรทดลองในรูปที่ 5-4 ปรับค่า VR_1 ให้ได้ค่า $V_{GS} = 0V$ และปรับค่า VR_2 ให้ได้ค่า V_{DS} ตามตารางที่ 5-3 บันทึกค่ากระแส I_D ลงในตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3

V_{DS} (Volts)		0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	4	8	10
$V_{GS} = 2$ V	I_D (mA)									
$V_{GS} = 2.5$ V	I_D (mA)									
$V_{GS} = 3$ V	I_D (mA)									

2.5 ทดลองใหม่โดยปรับค่า $V_{GS} = -0.25V, -0.5V, -0.75V$ และทำตามการทดลองที่ 2.4 บันทึกค่ากระแส I_D แต่ละครั้งลงในตารางที่ 5-3

2.6 นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 5-2 มาเขียนกราฟ Transfer Characteristic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 5-3 มาเขียนกราฟ Drain Characteristic

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกชื่อขั้วทั้งสามของ เจเฟท และมอสเฟท
2. จงบอกถึงข้อแตกต่างที่ชัดเจนระหว่าง เฟทกับทรานซิสเตอร์ โดยแยกทีละข้อ
3. มอสเฟทที่ใช้ในการทดลองคือ เบอร์ VN2222L เป็นชนิดใด
4. เจเฟทที่ใช้ในการทดลองคือ เบอร์ 2N4391 เป็นชนิดใด
5. กราฟ Transfer Characteristic ของเฟทจะบอกถึงคุณสมบัติใดบ้างจงอธิบาย

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6

การหาคุณสมบัติและการใช้งานของเอสซีอาร์

(Silicon Controlled Rectifier)

วัตถุประสงค์

1. ตรวจหาขั้ว เอส.ซี.อาร์. ได้อย่างถูกต้อง
2. ทดลองหาคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของ เอส.ซี.อาร์.เมื่อได้รับไบอัสตรงและไบอัสกลับได้
3. ทดลองหาค่ากระแสยึดได้ถูกต้อง
4. เข้าใจการทำงานของเอส.ซี.อาร์.ในวงจรไฟตรง

ทฤษฎี

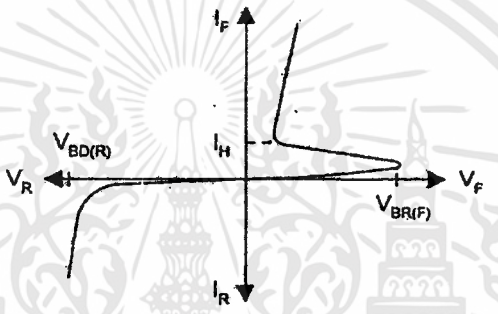
เอส.ซี.อาร์. ย่อมาจากคำว่า(Silicon Controlled Rectifier,SCR) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มี 3 รอยต่อ อาโนด(A), คาโทด(K) และเกต(G) เอส.ซี.อาร์. นำไปใช้ในงานสวิตช์เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปสู่โหลด และให้กระแสเกตบวกโครงสร้างภายในและสัญลักษณ์ของ เอส.ซี.อาร์. แสดงในรูปที่ 6-1

(a) โครงสร้าง SCR (b) สัญลักษณ์ SCR

รูปที่ 6-1 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะกระแสและแรงดันของ เอส.ซี.อาร์. แสดงในรูปที่ 6-2 เอส.ซี.อาร์. นั้น นำกระแสได้ (Turn on) เมื่อป้อนกระแสเข้าสู่เกตของมัน ในขณะที่แรงดันที่อาโนดเป็นบวกมากกว่าคาโทด และกระแสที่ผ่าน เอส.ซี.อาร์. จะต้องมีค่ามากกว่าค่ากระแสค้าง ($l_L = LatchingCurrent$) เอส.ซี.อาร์. จึงนำกระแสได้สมบูรณ์ $I_A > I_L$) เมื่อ เอส.ซี.อาร์. นำกระแสไปแล้ว สามารถนำกระแสเกตออกได้ เอส.ซี.อาร์. ก็ยังคงนำกระแสต่อไป ถ้าต้องการบังคับให้ เอส.ซี.อาร์. หยุดนำกระแส (Turn off) มีวิธีเดียวคือบังคับให้กระแสที่ผ่าน เอส.ซี.อาร์. ลดลงให้ต่ำกว่าค่ากระแสยึด (I_H =Holing Current) เอส.ซี.อาร์. จึงจะหยุดนำกระแสได้ ($I_A < I_H$)



รูปที่ 6-2 แสดงกราฟคุณลักษณะของ SCR

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.	มัลติมิเตอร์	2	เครื่อง
2.	ชุดทดลองหลัก BASE UNIT (BU-2)	1	เครื่อง
3.	แผงโมดูลการทดลอง AL-1100B	1	แผ่น
	3.1 เอส.ซี.อาร์.เบอร์ 2N5062		
	3.2 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5K×2		
	3.3 ตัวต้านทานค่า 1KΩ, 3KΩ, 10KΩ		
4.	สายต่อวงจรไฟฟ้า	1	ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การตรวจหาขาของ เอส.ซี.อาร์.

1.1 การตรวจสอบ SCR ด้วยมัลติมิเตอร์ โดยระบุ ขา ก. ขา ข. และ ขา ค. ลงในรูปที่ 6-3

รูปที่ 6-3

1.2 ใช้มัลติมิเตอร์ ตั้งย่านวัดโอห์มที่ R ×10K วัดค่าความต้านทานระหว่าง ขา ทั้ง 3 บันทึกผลที่วัดได้ลงในตารางที่ 6-1

ตารางที่ 6-1

สายมิเตอร์สีแดง	สายมิเตอร์สีดำ	ค่าความต้านทาน(Ω)
ก	ข	
ก	ค	
ข	ก	
ข	ค	
ค	ก	
ค	ข	
ก	ค	
ค	ก	

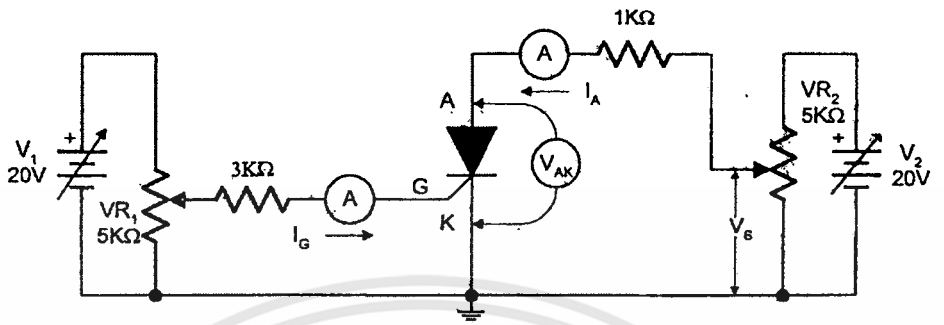
1.3 จากผลการทดลองในตารางที่ 6-1 ให้ท่านระบุ ขา ของ เอส.ซี.อาร์. ดังนี้

ขา ก. คือ..... ขา ข. คือ..... ขา ค. คือ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลักษณะสมบัติของ SCR เมื่อได้รับไบอัสตรง

2.1 ต่อวงจรทดลองตามรูปที่ 6-4 ปรับค่า $V_1 = V_2 = 20V$



รูปที่ 6-4

2.2 ปรับ VR_1 ให้ได้กระแส $I_G = \text{Im}\,A$ แล้วค่อย ๆ ปรับ VR_2 ให้ได้ค่าแรงดัน V_S ตามตารางที่ 6-2 บันทึกค่า I_A และ V_{AK} ลงในตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-2

V_S (Volts)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V_{AK} (Volts)										
I_A (mA)										

2.3 ปรับ VR_1 อีกครั้งแต่ปรับกระแส $I_G = 6mA$ บันทึกผลการวัดค่า I_A และ V_{AK} ลงในตารางที่ 6-3

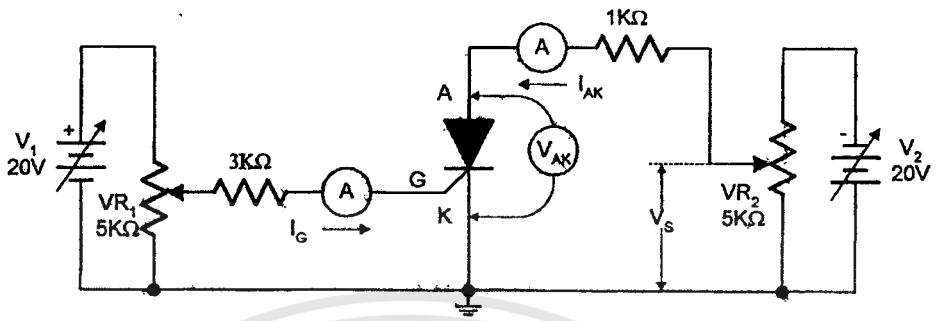
ตารางที่ 6-3

V_S (Volts)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V_{AK} (Volts)										
I_A (mA)										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ลักษณะสมบัติของ SCR เมื่อได้รับไบอัสกลับ

3.1 ต่อวงจรทดลองใหม่กลับขั้วแรงดัน V_S ดังรูปที่ 6-5



รูปที่ 6-5

3.2 ปรับ VR_1 ให้ได้กระแส $I_G = 1mA$ แล้วค่อย ๆ ปรับค่า VR_2 ให้ได้แรงดันV ตามตารางที่ 6-4 บันทึกค่า I_A และ V_{AK} ลงในตารางที่ 6-4

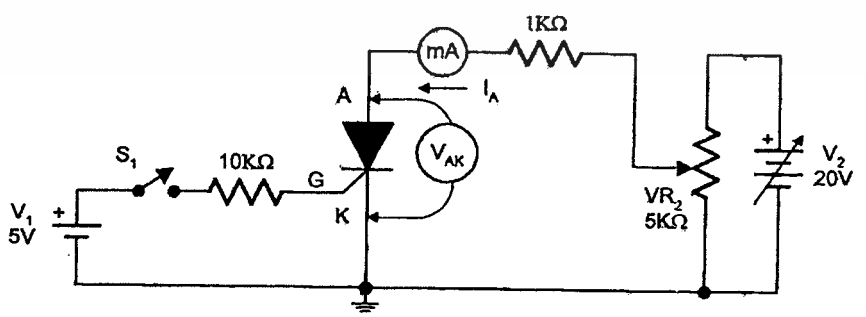
ตารางที่ 6-4

V_S (Volts)	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
V_{AK} (Volts)										
I_A (mA)										

3.3 นำผลจากตารางที่ 6-2 , ตารางที่ 6-3 และตารางที่ 6-4 มาเขียนกราฟลักษณะสมบัติของ เอส.ซี.อาร์. เมื่อได้รับไบอัสตรงและไบอัสกลับ ลงในกราฟข้างล่างนี้

4. การหาค่ากระแสยึด (Holding Current) ของ เอส.ซี.อาร์.

4.1 ต่อวงจรทดลองตามรูปที่ 6-6



รูปที่ 6-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เปิดสวิตช์ S_1 และปรับค่า VR_2 ให้กับ 20V วัดค่าแรงดันและกระแสต่อไปนี้

V_{AK} =.....V, I_A =.....mA ขณะนี้ เอส.ซี.อาร์. นำกระแสหรือไม่.....

4.3 ปิดสวิตช์ S_1 สังเกตการณ์ทำงานของ เอส.ซี.อาร์. จากค่ากระแสและแรงดันในข้อ 4.2 ว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงหรือไม่.....และบันทึกค่านั้น V_{AK} =.....V, I_A =.....mA ขณะนี้ เอส.ซี.อาร์. นำกระแสหรือไม่.....

4.4 เมื่อ เอส.ซี.อาร์. นำกระแสแล้วให้เปิดสวิตช์ S_1 และปรับค่า VR_2 ให้ค่อย ๆ ลดลงช้า ๆ สังเกตว่าค่าลดลงด้วย จนกระทั่ง เอส.ซี.อาร์. หยุดนำกระแส ให้สังเกตค่า I_A ที่น้อยที่สุดก่อนที่ เอส.ซี.อาร์. จะหยุดนำกระแส กระแสนั้นคือกระแสยึด (I_H) $I_{H(1)}$ =.....mA

4.5 ทำการทดลองข้อ 4.4 ซ้ำอีก 2 ครั้ง เพื่อให้ได้ค่ากระแส $I_{H(2)}$, $I_{H(3)}$

$I_{H(2)}$=.....mA $I_{H(3)}$ =.....mA

4.6 หาค่ากระแสยึด (เฉลี่ย) $I_H = \{ I_{H(1)} + I_{H(2)} + I_{H(3)} \} / 3$

I_H =.....mA

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองแรงดันตกคร่อม อาโนดและคาโทด ของ เอส.ซี.อาร์. ขณะที่นำกระแส (Turn on) มีค่าเท่าไร
2. จากการทดลอง กระแสรั่วไหลเมื่อ เอส.ซี.อาร์. ได้รับไบอัสกลับมีค่าเท่าไร
3. จงแสดงความคิดเห็นวิธีการทดลอง เพื่อหาค่ากระแสค้าง (I_L)(Latching Current) ของ เอส.ซี.อาร์. โดยระบุขั้นตอนและวงจรที่ใช้ในการหาค่า I_L
4. จาก เอส.ซี.อาร์. ที่ใช้ในการทดลองคือเบอร์ 2N5062 จงค้นคว้าค่าในคู่มือ เพื่อหาค่าต่อไปนี้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 7

การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไตรแอก

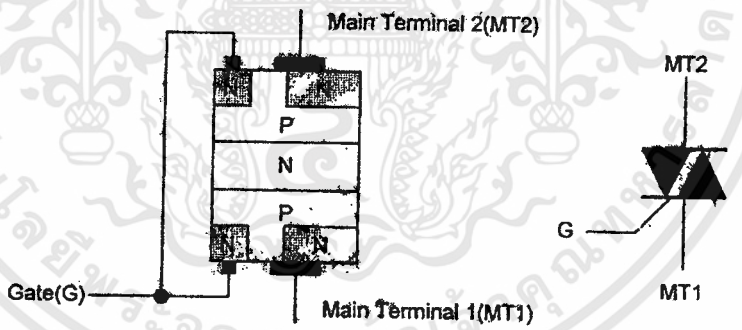
(Triac)

วัตถุประสงค์

1. ตรวจสอบหาขั้วของไตรแอกได้
2. ทดลองหาคุณลักษณะของไตรแอกได้
3. เข้าใจการทำงานของไตรแอก

ทฤษฎี

ไตรแอก (TRIAC) มีโครงสร้างภายในเหมือนไดแอก สามารถนำกระแสได้ 2 ทาง แต่มีขั้วเกต(G) เหมือน เอส.ซี.อาร์. ซึ่งต้องมีการป้อนกระแสเกตด้วยจึงจะนำกระแสได้ ถ้าจะเปรียบเทียบการทำงานแล้ว ไตรแอกคือ เอส.ซี.อาร์ 2 ตัว ต่อกลับหัวกัน ลักษณะโครงสร้างและสัญลักษณ์ของไตรแอกแสดงในรูปที่ 7-1

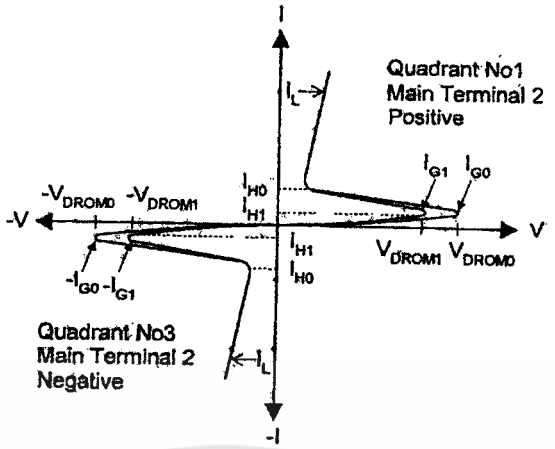


(a) โครงสร้าง (b) สัญลักษณ์

รูปที่ 7-1 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของไตรแอก

กราฟลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของไตรแอก แสดงในรูปที่ 15-2 จะเห็นว่ากระแสที่ไตรแอกทำงานได้ มีทั้งกระแสบวก ($+I_G$) และกระแสลบ ($-I_G$) รวมทั้งแรงดันไบอัสที่ MT1 และ MT2 ของไตรแอก ก็สามารถไบอัสได้ 2 วิธีเช่นกัน คือทำงานได้ทั้งไบอัสตรงและไบอัสกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-2 แสดงกราฟลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของไตรแอก

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.	มัลติเตอร์	2	เครื่อง
2.	ชุดทดลอง Base Unit (BU-2)	1	เครื่อง
3.	แผงโมดูลการทดลอง AL-1100B	1	แผ่น
	3.1 ไตรแอกเบอร์ 2N6073		
	3.2 ตัวต้านทานปรับค่าได้ $5k\Omega \times 2$		
	3.3 ตัวต้านทานค่า $1k\Omega$, $3k\Omega$		
4.	สายต่อวงจรไฟฟ้า	1	ชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. การตรวจสอบขาของไตรแอก

1.1 การตรวจสอบไตรแอก ด้วยมัลติมิเตอร์ โดยกำหนดชื่อขา ก. ขา ข.และขา ค. ลงในรูปที่ 7-3

รูปที่ 7-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ใช้มัลติมิเตอร์ ตั้งย่านวัดโอห์มที่ R×10 วัดค่าความต้านทานระหว่างขาต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 7-1 บันทึกผลการวัดลงในตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-1

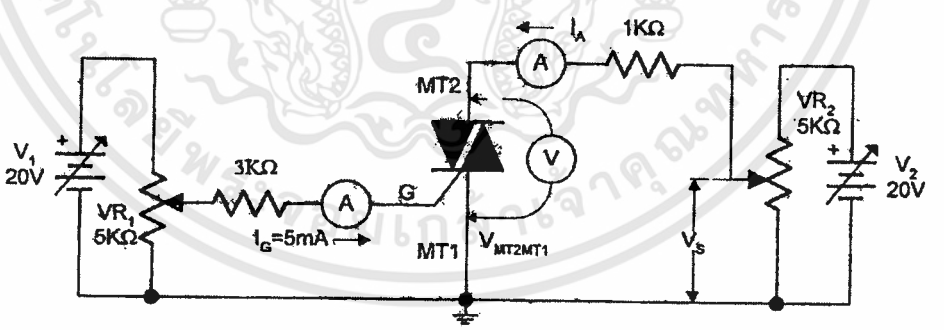
สายมิเตอร์สีแดง	สายมิเตอร์สีดำ	ค่าความต้านทาน(Ω)
ก	ข	
ก	ค	
ข	ก	
ข	ค	
ค	ก	
ค	ข	

1.3 นำข้อมูลที่วัดได้จากตารางที่ 7-1 มาสรุปตรวจสอบชื่อขาของไตรแอกได้ดังนี้

ขั้ว ก. คือขา..... ขั้ว ข. คือขา..... ขั้ว ค. คือ ขา.....

2. การหาคุณลักษณะของไตรแอกเมื่อได้รับไบอัสตรง (Quadrant No 1,V_G= (+) , V_{MT2MT1} (+))

2.1 ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 7-4 ปรับแรงดัน V_1=V_2=20v



รูปที่ 7-4

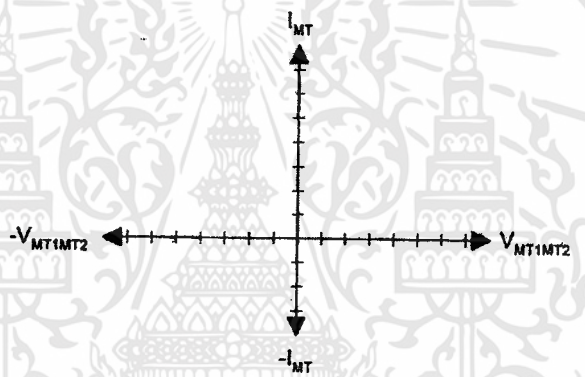
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ปรับ VR_1 ให้ได้กระแสเกต (I_G =5 mA) แล้วค่อย ๆ ปรับVR_2 ให้ได้ค่าแรง ดัน V_S ตามตารางที่ 7-2 บันทึกค่าแรงดัน V_{MT2MT1} และกระแส I_{MT} ลงในตารางที่ 7-2

ตารางที่ 7-2

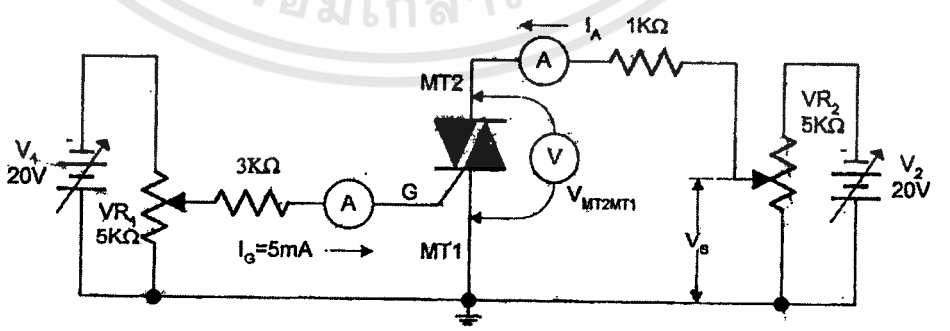
V_S (volts)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
V_{MT2MT1} (volts)											
I_{MT} (mA)											

2.3 จากข้อมูลในตารางที่ 7-2 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ของ $I_{MT} = f(V_{MT2MT1})$ ลงในกราฟข้างล่างนี้



3. การหาคุณลักษณะของไตรแอกเมื่อได้รับไบอัสกลับ (Quadrant N03, VG=(-), VMT2MT1=(-))

3.1 ต่อวงจรทดลองใหม่ดังรูปที่ 7-5



รูปที่ 7-5

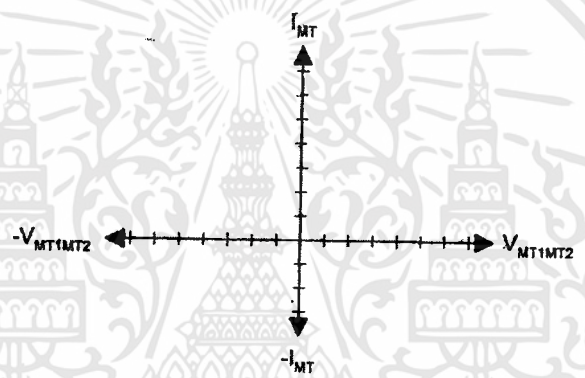
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ปรับVR$_1$ ให้ได้ I_G= - -5mA ค่อย ๆ ปรับVR$_2$ให้ได้ค่าแรงดัน V_S ตารางที่15-3 บันทึกค่า V_{MT2MT1}และ I_{MT} ลงในตารางที่ 15-3

ตารางที่ 7-3

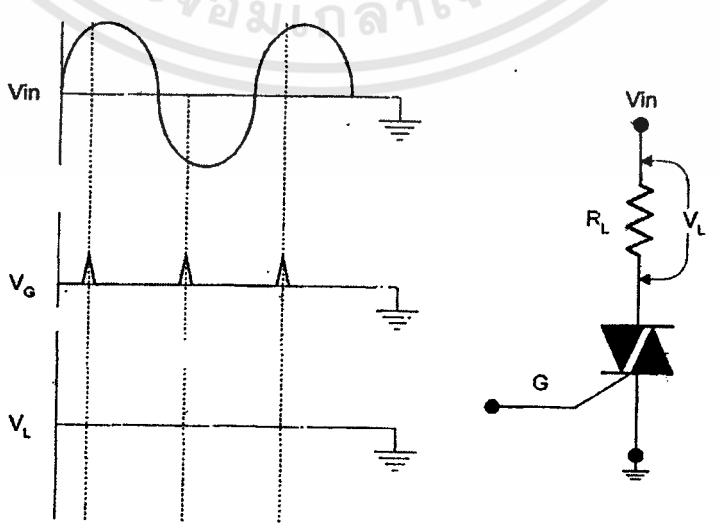
V_S (volts)	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-16	-18	-20
V_{MT2MT1} (volts)											
I_{MT} (mA)											

3.3 จากข้อมูลในตารางที่15-3มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ของ $-I_{MT} = f(-V_{MT2MT1})$ ลงในกราฟข้างล่างนี้



คำถามท้ายการทดลอง

1. จงยกตัวอย่างการนำไตรแอกไปใช้งานในวงจร Phase Control พร้อมทั้งเขียนวงจร และวาดรูปคลื่นตกคร่อมโหลดของวงจร
2. จงวาดรูปคลื่น V_L ของวงจรต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 8

การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไดแอก

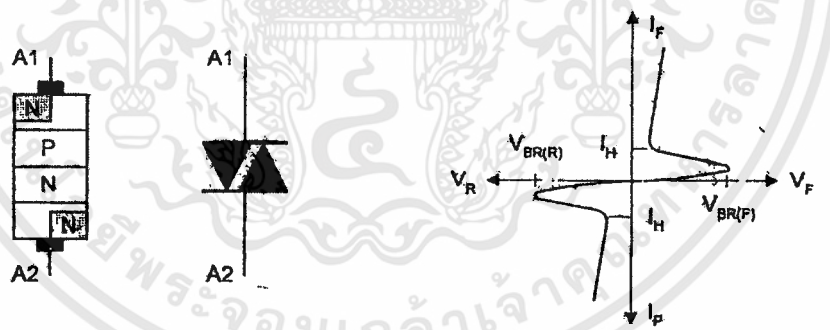
(Diac)

วัตถุประสงค์

1. หาค่าแรงดันพังทลายของไดแอก
2. ทดลองหากราฟลักษณะสมบัติของไดแอกได้
3. เข้าใจการทำงานของไดแอก เมื่อได้รับไบอัสกลับ

ทฤษฎี

ไดแอก (Diac) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่อยู่ในกลุ่มของไธรีสเตอร์มี 2 ขั้ว มี 3 ขั้ว รอยต่อ คือขั้วแอนโนด1 (A_1) และแอโนด (A_2) เพราะว่าไดแอกนำกระแสได้ 2 ทาง เมื่อได้รับแรงดันไบอัส สูงกว่าค่าแรงดันพังทะลายของไดแอก ลักษณะและโครงสร้างของไดแอกดังแสดงในรูปที่ 8 – 1 (a),(b) และกราฟลักษณะของไดแอกแสดงในรูปที่ 8 – 1 (c)



(a) โครงสร้าง (b) สัญลักษณ์ (c) ลักษณะสมบัติ

รูปที่ 8-1 แสดงโครงสร้าง, สัญลักษณ์, และลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของไดแอก

ไดแอกนั้นเมื่อได้รับแรงดันไบอัสตรงถึงแรงดันพังทลายด้านบวก VBR (F) ไดแอกจะนำกระแสได้ มีกระแสไหลจากขั้ว A_1 ไป A_2 และเมื่อไดแอกได้รับไบอัสกลับถึงแรงดันพังทะลายด้านลบ VBR (R) ไดแอกก็จะนำกระในทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในกราฟลักษณะสมบัติไดแอกในรูปที่ 8 – 1 (C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

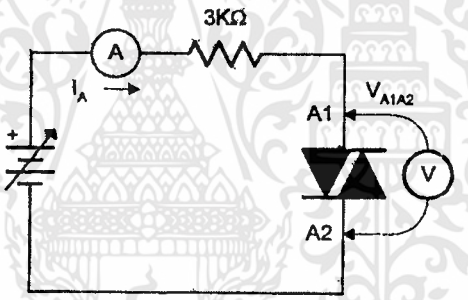
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.	มัลติมิเตอร์	2	เครื่อง
2.	ชุดทดลองหลักBASE UNIT(BU-2)	1	เครื่อง
3.	แผงโมดูลการทดลองAL -1100B	1	แผ่น
	3.1 ไดแอกเบอร์HT-32		
	3.2 ตัวต้านทานค่า3KΩ		
4.	สายต่อวงจรไฟฟ้า	1	ชุด

ลำดับขั้นตอนของการทดลอง

1. การหาลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของ

1.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 8-2 หาลักษณะสมบัติเมื่อได้รับไบอัสตรง โดยปรับค่าแรงดัน Vin ไปที่ 10 โวลท์ (ปรับก่อนจ่ายให้กับวงจร) บันทึกค่าแรงดัน V_{A1A2} และกระแส I_A ลงในตารางที่ 8-1



รูปที่ 8-2

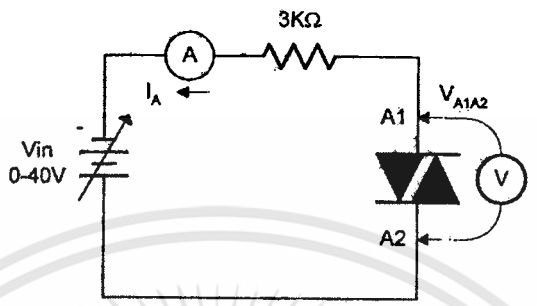
1.2 ปรับค่าVin ตามตารางที่ 8-1 บันทึกค่าแรงดัน V_{A1A2} และกระแส I_A ลงในตารางที่ 8-1 (หมายเหตุ ! ต้องการมากกว่า 30 โวลต์ให้ต่อแหล่งจ่าย CHANNELA อนุกรมกับ CHANNELB)

ตารางที่ 8 -1

Vin (V)	10	20	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
V_{AIA} (V)													
I_A (mA)													

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ต่อวงจรใหม่ดังรูปที่ 8 – 3 หาลักษณะของสมบัติของ DIAC เมื่อได้รับไบอัสกลับ โดยทำการปรับค่าแรงดัน Vin ไปที่ -10 โวลท์ (ปรับก่อนจ่ายให้กับวงจร) บันทึกค่าแรงดัน V_{A1A2} และ I_A ลงในตารางที่ 8-2



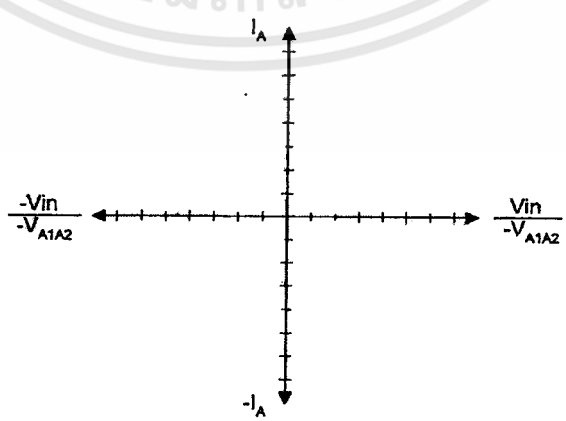
รูปที่ 8-3

1.4 ปรับค่าVin ตามตารางที่ 8-2 บันทึกค่าแรงดัน V_{A1A2} และ I_A ลงในตารางที่ 8-2

ตารางที่ 8-2

V_{in} (V)	-10	-20	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40
V_{AIA2} (V)													
I_A (mA)													

1.5 นำข้อมูลในตารางที่ 8-1 และตารางที่ 8-2 มาเขียนกราฟลักษณะสมบัติของไดแอกลงในกราฟข้างล่างนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. ไดแอกเบอร์ HT-32 จะมีค่าแรงดันพัง เมื่อได้รับไบอัสตรงและไบอัสกลับเท่ากับเท่าไร

   $V_{BR(F)}$ =.....V +$V_{BR(F)}$ =.....V

2. จงยกตัวอย่างการนำไดแอกไปใช้งานร่วมกับ เอส.ซี.อาร์. และไตรแอกมาอย่างละ 1 วงจร พร้อมทั้งอธิบายการทำงานของวงจร

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 9

การหาคุณสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์

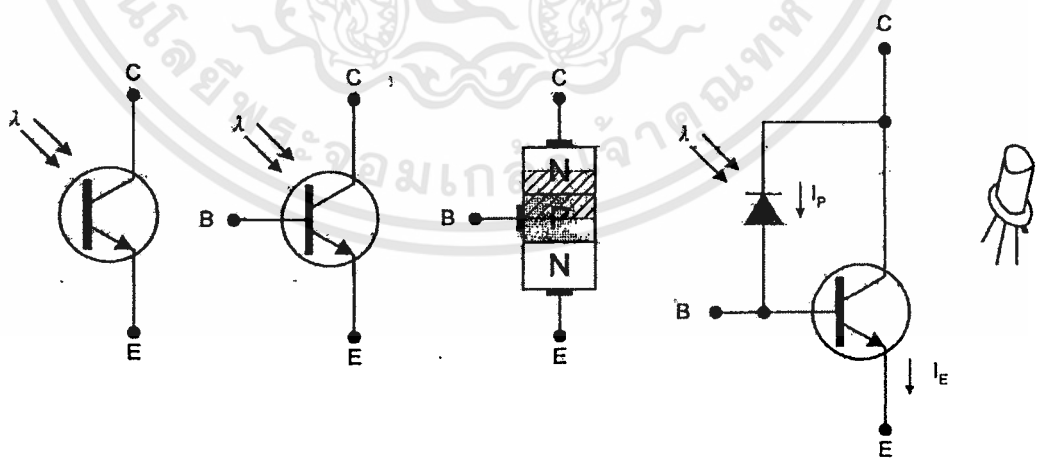
(Phototransistor)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาคุณลักษณะสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์
2. เข้าใจการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์
3. สามารถนำโฟโตทรานซิสเตอร์ไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง

ทฤษฎี

โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เป็นอุปกรณ์ไวแสงชนิดหนึ่ง ที่อาศัยหลักการเดียวกับโฟโตไดโอด (โฟโตไดโอดถูกสร้างจากรอยต่อพี-เอ็น อิมพีแดนซ์ของรอยต่อพี-เอ็น นี้มีความไวต่อแสง คือจะมีอิมพีแดนซ์สูงเมื่ออยู่ในที่มืด และอิมพีแดนซ์ ต่ำเมื่ออยู่ในที่สว่าง) การทำงานของโฟโตไดโอดมีดังนี้ เมื่อแสงตกกระทบบริเวณรอยต่อจะทำให้เกิดกระแส โดยปกติค่ากระแสนี้มีค่อนข้างต่ำมากอยู่ช่วง 1-10 μA เนื่องจากไดโอดให้ค่าเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อแสงต่ำ การใช้งานต้องมีตัวขยายกระแสเพิ่มเติม ผู้ผลิตจึงหันมาผลิตโฟโตทรานซิสเตอร์แทน สัญลักษณ์และโครงสร้างของโฟโตทรานซิสเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 9-1

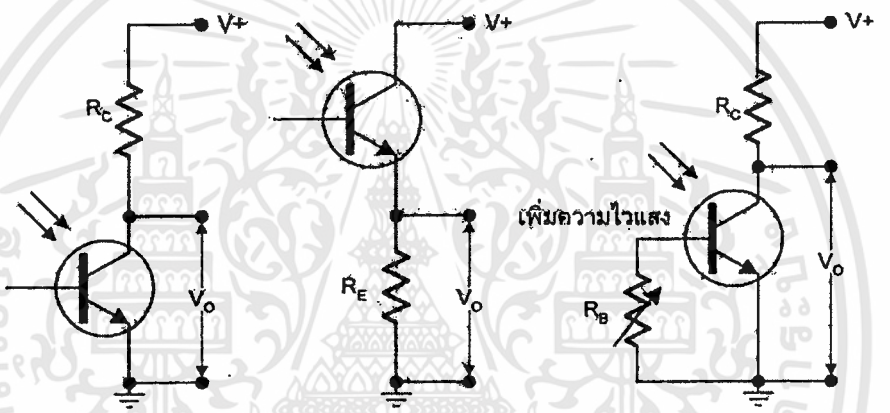


รูปที่ 9-1 แสดงสัญลักษณ์และโครงสร้างของโฟโตทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยต่อระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์ของโฟโตทรานซิสเตอร์จะต่อไบอัสตรง ส่วนรอยต่อระหว่างเบสกับคอลเลคเตอร์จะต่อไบอัสกลับ ที่รอยต่อนี้เป็นส่วนที่ทำให้เกิดค่ากระแสนั้น เนื่องจากแสง (I_P) กับกระแสเบสที่มาจากภายนอก (I_B) กระแสทั้งสองนี้จะถูกขยายด้วยอัตราการขยายของทรานซิสเตอร์เป็นกระแสอิมิตเตอร์จากสมการเราจะได้ $I_E = (I_P \pm I_B)(h_{FE}+1)$

เมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตไดโอด โฟโตทรานซิสเตอร์จะมีความไวต่อแสงมากกว่าประมาณ 100 เท่า ในด้านความถี่ใช้งานได้สูงสุดประมาณ 200-300 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งต่ำกว่าโฟโตไดโอดหลายสิบเมกะเฮิรตซ์ ในการใช้งานอาจจะต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ระหว่างขาเบสและอิมิเตอร์ของโฟโตทรานซิสเตอร์ด้วยก็ได้ เพื่อใช้งานที่มีความไวต่อแสงมากๆ หรือต้องการใช้งานที่มีความถี่สูงๆ ดังรูปที่ 9-2



รูปที่ 9-2 วงจรที่ใช้งานแบบลักษณะต่าง ๆ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

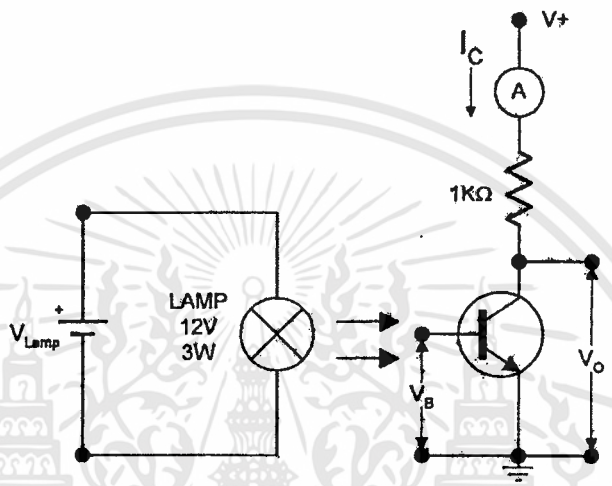
1. มัลติมิเตอร์ 2 เครื่อง
2. ชุดทดลองหลัก BASE UNIT (BU-2) 1 เครื่อง
3. แผงโมดูลการทดลอง AL-1100B 1 แผ่น
   - 3.1 Phototransistor เบอร์ MRD 3050
   - 3.2 ตัวต้านทานค่า 1KΩ
4. สายต่อวงจรไฟฟ้า 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 9-3 จ่ายไฟให้กับวงจรปรับค่าแรงดัน V+ = 12 โวลท์ ส่วนหลอดไฟยังไม่ต้องจ่ายไฟ (V_{LAMP} = 0V) ให้วัดแรงดันที่ตกคร่อมโฟโตทรานซิสเตอร์แล้วบันทึกผลดังต่อไปนี้ ขณะไม่มีแสงสว่าง

V_B =.....V V_B =.....V V_B =.....V



รูปที่ 9-3

2. ต่อวงจรตามรูปที่ 9-3 จ่ายแรงดันไฟ V+ = 12 โวลท์คงที่ให้กับโฟโตทรานซิสเตอร์ แล้วปรับค่าแรงดัน V_{LAMP} ตามตารางที่ 9-1 บันทึกค่าแรงดัน V_B, V_O และ I_C ลงในตารางที่ 9-1

ตารางที่ 9-1

V_{LAMP} (Volts)	2	4	6	8	10	12
V_B (Volts)						
V_O (Volts)						
I_C (mA)						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ต่อวงจรตามรูปที่ 9-3 จ่ายแรงดันไฟ $V_{LAMP} = 12$ โวลท์คงที่ให้กับหลอดไฟ แล้วปรับค่าแรงดัน V+ ตามตารางที่ 9-2 บันทึกค่าแรงดัน V_B, V_O และ I_C ลงในตารางที่ 9-2

ตารางที่ 9-2

V_{LAMP} (Volts)	2	4	6	8	10	12
V_B (Volts)						
V_O (Volts)						
I_C (mA)						

คำถามท้ายการทดลอง

1. ให้เขียนรายละเอียดต่าง ๆ ของโฟโตทรานซิสเตอร์เบอร์ MRD 3050 เฉพาะที่สำคัญและจำเป็นต้องรู้ เพื่อสามารถนำไปออกแบบใช้งานได้อย่างถูกต้อง
2. จงยกตัวอย่างการนำโฟโตทรานซิสเตอร์ไปใช้งานมาอย่างละ 1 วงจร พร้อมทั้งอธิบายการทำงานของวงจร

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

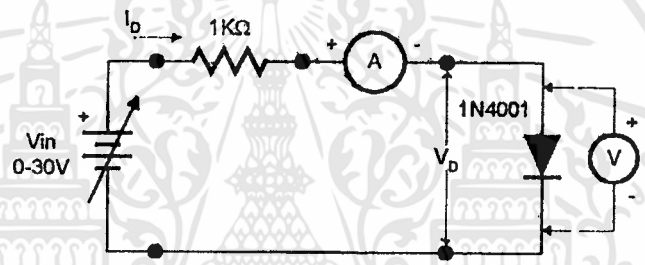
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มัลติมิเตอร์ 2 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 2 แชนแนล 1 เครื่อง
3. ชุดทดลองหลัก BASE UNIT (BU-2) 1 เครื่อง
4. แผงโมดูลการทดลอง AL-1100B 1 แผ่น

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 1



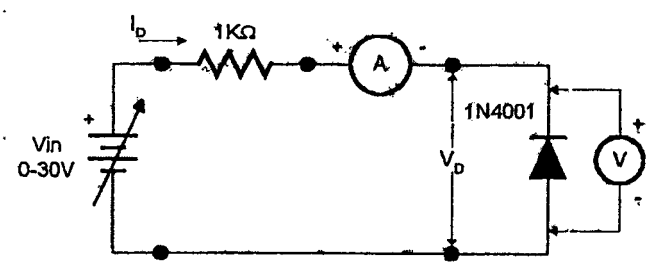
รูปที่ 1 ลักษณะสมบัติของไดโอดชนิดซิลิกอน

2. ปรับค่าแรงดัน Vin ตามตารางที่ 1 แล้ววัดค่า V_D และ I_D บันทึกผลการวัดลงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

Vin (Volts)	0	0.4	0.8	1	2	3	4	5	6	7
V_D (Volts)										
I_D (mA)										

3. ต่อวงจรการทดลองใหม่ตามรูปที่ 2 โดยกลับขั้วไดโอด เพื่อให้ได้รับไบอัสกลับ



รูปที่ 2 ลักษณะสมบัติของไดโอดชนิดซิลิกอน

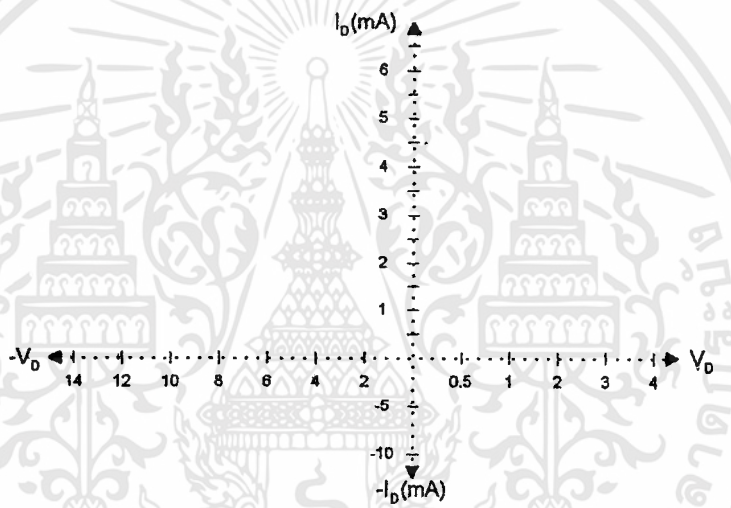
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปรับค่าแรงดัน Vin อีกครั้งตามตารางที่ 2 แล้ววัดค่า V_D และ I_D บันทึกผลการวัดลงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2

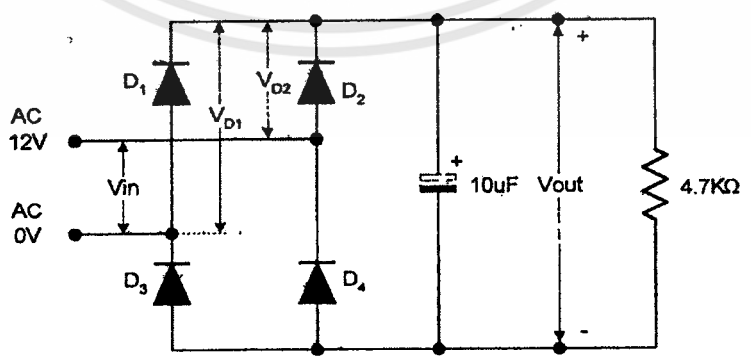
Vin (Volts)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
V_D (Volts)										
I_D (mA)										

5. นำข้อมูลจากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ $V_D = f(I_D)$ ของซิลิกอนไดโอด เบอร์ IN 4001



กราฟที่ 1 ความสัมพันธ์ $V_D = f(I_D)$ ของซิลิกอนไดโอด

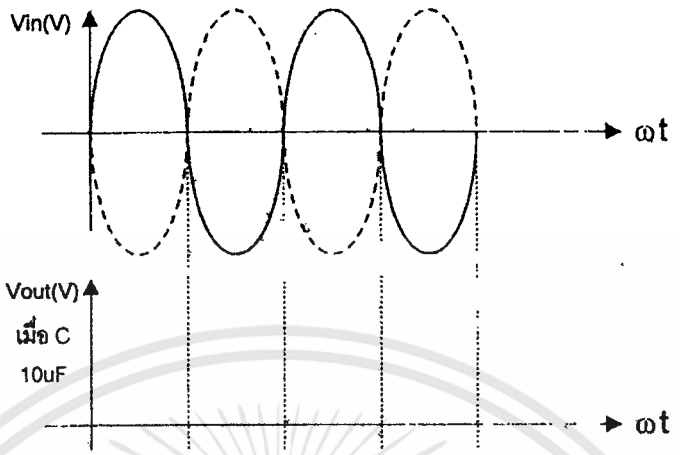
6. ต่อวงจรทดลองใหม่โดยเพิ่มตัวเก็บประจุ $10\mu F$ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรเรียงกระแสที่มีวงจรกรอง (Filter) ด้วยตัวเก็บประจุ

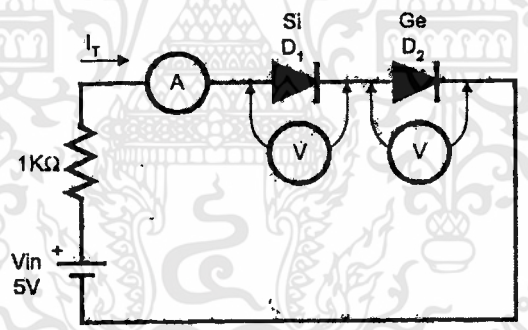
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดและบันทึกรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (Vout) ลงในกราฟที่ 2



กราฟที่ 2 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (Vout)

8. ต่อวงจรการทดลองดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรอนุกรมไดโอด

9. บันทึกกระแสและแรงดันตกคร่อมไดโอดทั้งสอง

I_1 =.....mA; V_{D1} =.....mA; V_{D2} =.....mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. สมมุติขา ก. ข. และ ค. ที่ทรานซิสเตอร์ 2N3053 ตามรูปที่ 5

รูปที่ 5 ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์

11. ใช้มัลติมิเตอร์ ตั้งย่านการวัด R×10KΩ วัดค่าความต้านทานระหว่างขาต่าง ๆ ทั้ง 3 ขาของทรานซิสเตอร์บันทึกค่าที่วัดได้ลงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3

สายมิเตอร์สีแดง	สายมิเตอร์สีดำ	ค่าความต้านทาน(Ω)
ก	ข	
ก	ค	
ข	ก	
ข	ค	
ค	ก	
ค	ข	

12. จากผลการวัดค่าความต้านทานให้สรุปว่าขา ก. ข. และ ค. คือขาใดของทรานซิสเตอร์
ขา ก. คือ..... ขา ข. คือ..... ขา ค. คือ.....

13. การตรวจสอบ SCR ด้วยมัลติมิเตอร์ โดยระบุ ขา ก. ขา ข. และ ขา ค. ลงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 ขาของ เอส.ซี.อาร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ใช้มัลติมิเตอร์ ตั้งย่านวัดโอห์มที่ R ×10K วัดค่าความต้านทานระหว่าง ขา ทั้ง 3 บันทึกผลที่วัดได้ลงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4

สายมิเตอร์สีแดง	สายมิเตอร์สีดำ	ค่าความต้านทาน(Ω)
ก	ข	
ก	ค	
ข	ก	
ข	ค	
ค	ก	
ค	ข	
ก	ค	
ค	ก	

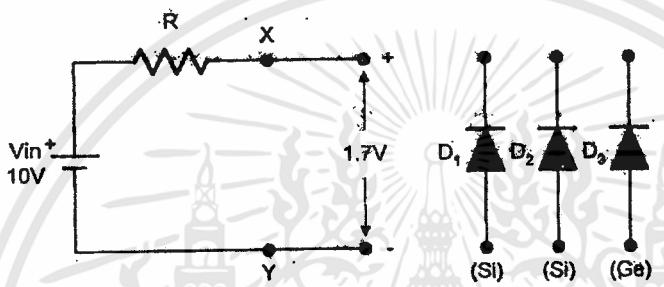
15. จากผลการทดลองในตารางที่ 4 ให้ท่านระบุ ขา ของ เอส.ซี.อาร์. ดังนี้

ขา ก. คือ..... ขา ข. คือ..... ขา ค. คือ.....

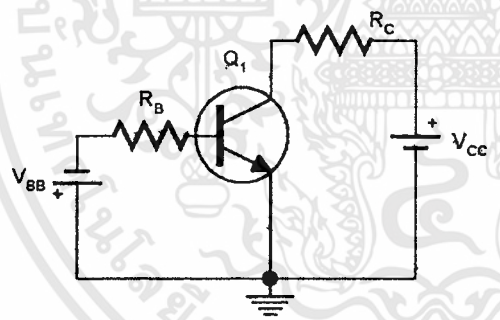
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. เมื่อดูลักษณะภายนอกของไดโอดจะบอกขาของไดโอดได้อย่างไร
2. ไดโอดสามารถนำกระแสใดเมื่อได้รับไบอัส.....
3. จากผลการทดลองเรื่องวงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุเป็นตัวกรองกระแสนั้น ค่าของตัวเก็บประจุมีผลอย่างไรกับรูปคลื่นแรงดันขาออกของวงจร
4. วงจรเรียงกระแส จำเป็นต้องมีวงจรกรองกระแสหรือไม่เพราะเหตุใด
5. ถ้าต้องการแรงดันอ้างอิงขนาด 1.7V ที่จุด XY ของวงจรต่อไปนี้ ควรต่อไดโอดที่จุด XY อย่างไร กำหนดให้เลือกใช้ไดโอด D_1, D_2 และ D_3 ตามที่กำหนดได้



6. วงจรทรานซิสเตอร์ในรูปข้างร่างนี้ อยากทราบว่าทรานซิสเตอร์ทำงานหรือไม่เพราะเหตุใด



7. อธิบายวิธีการตรวจหาขาของ เอส. ซี. อาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

- แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อใบงาน
- แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อชุดทดลอง
- แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ
- การประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อใบงาน
เกี่ยวกับการใช้ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

<u>คำชี้แจง</u>

กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความหมายดังนี้

5	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับมากที่สุด
4	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับมาก
3	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับปานกลาง
2	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับน้อย
1	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อยที่สุด

ใบงานที่ใช้ในการประเมินชุดนี้มีจำนวนทั้งหมด 9 ใบงาน ซึ่งประกอบด้วย

- ใบงานที่ 1 การหาคุณสมบัติของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด
- ใบงานที่ 2 วงจรเรียงกระแส
- ใบงานที่ 3 ไดโอดในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง
- ใบงานที่ 4 การหาคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์
- ใบงานที่ 5 การหาคุณสมบัติของเฟท
- ใบงานที่ 6 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของเอสซีอาร์
- ใบงานที่ 7 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไตรแอค
- ใบงานที่ 8 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไดแอค
- ใบงานที่ 9 ลักษณะสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความกรุณากรอกแบบแสดงความคิดเห็น

ลงนามชื่อ.....

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อ **ใบงานการทดลอง**

คำชี้แจง : กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใส่ช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
1	สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง					
2	มีความครอบคลุมเพียงพอ เหมาะสมต่อการให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลอง					
3	ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง					
4	ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองของแต่ละขั้นตอน					
5	ความเหมาะสมของตารางบันทึกผลการทดลอง					
6	ความเหมาะสมของคำถามท้ายการทดลอง					
7	มีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้					
8	ส่งเสริมให้เกิดทักษะในการทดลองอย่างชัดเจน					
9	มีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์และกระบวนการทางความคิด					
10	สามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนได้จริง					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อชุดทดลอง
เกี่ยวกับการใช้ชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

<u>คำชี้แจง</u>

ใบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

<u>ตอนที่ 1</u> ความคิดเห็นเกี่ยวกับชุดทดลองที่สร้างขึ้น

<u>ตอนที่ 2</u> ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

<u>การประเมิน</u>

<u>ตอนที่ 1</u> กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความหมายดังนี้

5	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับมากที่สุด
4	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับมาก
3	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับปานกลาง
2	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับน้อย
1	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อยที่สุด

<u>ตอนที่ 2</u> โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความกรุณากรอกแบบแสดงความคิดเห็น

ลงนามชื่อ.....

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตอนที่ 1</u> ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อชุดทดลอง

คำชี้แจง : กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใส่ช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
1	การเตรียมอุปกรณ์และชุดทดลองสะดวกเร็วขึ้น					
2	ความปลอดภัยในขณะทำการทดลอง					
3	ความแข็งแรง คงทนของชุดทดลอง					
4	ความเหมาะสมในการจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์					
5	รูปร่างและขนาดมีความเหมาะสม					
6	มีวิธีการใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน					
7	ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและเก็บรักษา					

<u>ตอนที่ 2</u> ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

โปรดแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆลงในแบบฟอร์ม

1. ความคิดเห็นอื่น ๆ และข้อเสนอแนะโดยทั่วไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ

คำชี้แจง

กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง "ระดับความสอดคล้อง" ในแบบประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ตามที่ท่านพิจารณาแล้วมีความคิดเห็นว่าแบบทดสอบแต่ละข้อมีโจทย์หรือคำถาม และคำเฉลย สามารถวัดความรู้ความเข้าใจได้ถูกต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยพิจารณาดังนี้

+1 ท่านคิดว่าแบบทดสอบข้อนั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

0 ท่านไม่แน่ใจว่าแบบทดสอบข้อนั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

-1 ท่านคิดว่าแบบทดสอบข้อนั้นไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

หมายเหตุ

หากท่านทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง -1 ขอความกรุณาท่านช่วยให้ข้อเสนอแนะเพื่อให้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงต่อไป

รายการประเมิน	ระดับความสอดคล้อง		
	+1	0	-1
1. เตรียมอุปกรณ์ได้ถูกต้องตามทฤษฎีในงาน			
2. ทำการทดลองได้ตามขั้นตอนของใบงาน			
3. การต่อวงจรถูกต้องตามหลักการ			
4. เข้าใจขั้นตอนในการต่อวงจรตามใบงาน			
5. ตอบคำถามได้ตามทฤษฎีในใบงาน			
6. ทำใบงานเสร็จตามเวลา			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบบันทึกการให้คะแนนการปฏิบัติงานแต่ละใบงาน

ใบงานที่ 1 การหาคุณสมบัติของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด (Diode)

ชื่อผู้ถูกประเมิน..... รหัสประจำตัว.....

หัวข้อให้คะแนน	**ความสามารถในการทดลอง**				
	ควรปรับปรุง	**พอใช้**	**ปานกลาง**	**ดี**	**ดีมาก**
(1) การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด	2	4	6	8	10
(2) การประกอบวงจรของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด (20 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	2	4	6	8	10
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	2	4	6	8	10
(3) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง การหาคุณสมบัติของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด (20 คะแนน)					
3.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	4	8	12	16	20
(4) เวลาในการปฏิบัติงานการหาคุณสมบัติของไดโอดและซีเนอร์ไดโอด (20 คะแนน)					
4.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					20
4.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				16	
4.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			12		
4.4 เสร็จช้าไม่เกิน 30 นาที		8			
4.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	4				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบบันทึกการให้คะแนนการปฏิบัติงานแต่ละใบงาน

ใบงานที่ 2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuits)

ชื่อผู้ถูกประเมิน..... รหัสประจำตัว.....

หัวข้อให้คะแนน	ความสามารถในการทดลอง				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ วัดและทดสอบวงจรเรียงกระแส (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบของวงจรเรียงกระแส	2	4	6	8	10
(2) การประกอบวงจรของวงจรเรียงกระแส (20 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	2	4	6	8	10
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	2	4	6	8	10
(3) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง วงจรเรียงกระแส (20 คะแนน)					
3.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	4	8	12	16	20
(4) เวลาในการปฏิบัติงานวงจรเรียงกระแส (20 คะแนน)					
4.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					20
4.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				16	
4.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			12		
4.4 เสร็จช้าไม่เกิน 30 นาที		8			
4.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	4				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน..... **วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....**

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบบันทึกการให้คะแนนการปฏิบัติงานแต่ละใบงาน
ใบงานที่ 3 ไดโอดในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (DC Diode)

ชื่อผู้ถูกประเมิน..... **รหัสประจำตัว**.....

หัวข้อให้คะแนน	ความสามารถในการทดลอง				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ วัดและทดสอบไดโอดในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบไดโอดในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง	2	4	6	8	10
(2) การประกอบวงจรของไดโอดในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (20 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	2	4	6	8	10
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	2	4	6	8	10
(3) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง ไดโอดในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (20 คะแนน)					
3.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	4	8	12	16	20
(4) เวลาในการปฏิบัติงานไดโอดในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (20 คะแนน)					
4.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					20
4.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				16	
4.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			12		
4.4 เสร็จช้าไม่เกิน 30 นาที		8			
4.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	4				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน..... **วันที่**.....**เดือน**.....**พ.ศ**.....

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบบันทึกการให้คะแนนการปฏิบัติงานแต่ละใบงาน

ใบงานที่ 4 ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Transistor)

ชื่อผู้ถูกประเมิน..... **รหัสประจำตัว**.....

หัวข้อให้คะแนน	ความสามารถในการทดลอง				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ วัดและทดสอบลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์	2	4	6	8	10
(2) การประกอบวงจรของทรานซิสเตอร์ (20 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	2	4	6	8	10
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	2	4	6	8	10
(3) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง ลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ (20 คะแนน)					
3.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	4	8	12	16	20
(4) เวลาในการปฏิบัติงานของทรานซิสเตอร์ (20 คะแนน)					
4.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					20
4.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				16	
4.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			12		
4.4 เสร็จช้าไม่เกิน 30 นาที		8			
4.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	4				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบบันทึกการให้คะแนนการปฏิบัติงานแต่ละใบงาน

ใบงานที่ 5 การหาคุณสมบัติของเฟท (Field-Effect Transistor)

ชื่อผู้ถูกประเมิน..... รหัสประจำตัว.....

หัวข้อให้คะแนน	ความสามารถในการทดลอง				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติของเฟท (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติของเฟท	2	4	6	8	10
(2) การประกอบวงจรของเฟท (20 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	2	4	6	8	10
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	2	4	6	8	10
(3) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง การหาคุณสมบัติของเฟท (20 คะแนน)					
3.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	4	8	12	16	20
(4) เวลาในการปฏิบัติงานของเฟท (20 คะแนน)					
4.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					20
4.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				16	
4.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			12		
4.4 เสร็จช้าไม่เกิน 30 นาที		8			
4.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	4				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบบันทึกการให้คะแนนการปฏิบัติงานแต่ละใบงาน

ใบงานที่ 6 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของเอสซีอาร์ (Silicon Controlled Rectifier)

ชื่อผู้ถูกประเมิน..... รหัสประจำตัว.....

หัวข้อให้คะแนน	ความสามารถในการทดลอง				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติและการใช้งานของเอสซีอาร์ (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติและการใช้งานของเอศซีอาร์	2	4	6	8	10
(2) การประกอบวงจรของเอสซีอาร์ (20 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	2	4	6	8	10
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	2	4	6	8	10
(3) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง การหาคุณสมบัติและการใช้งานของเอสซีอาร์ (20 คะแนน)					
3.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	4	8	12	16	20
(4) เวลาในการปฏิบัติงานของเอสซีอาร์ (20 คะแนน)					
4.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					20
4.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				16	
4.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			12		
4.4 เสร็จช้าไม่เกิน 30 นาที		8			
4.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	4				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบบันทึกการให้คะแนนการปฏิบัติงานแต่ละใบงาน

ใบงานที่ 7 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไตรแอก (Triac)

ชื่อผู้ถูกประเมิน..... รหัสประจำตัว.....

หัวข้อให้คะแนน	ความสามารถในการทดลอง				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติและการใช้งานของไตรแอก (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติและการใช้งานของไตรแอก	2	4	6	8	10
(2) การประกอบวงจรของไตรแอก (20 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	2	4	6	8	10
2.3 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	2	4	6	8	10
(3) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไตรแอก (20 คะแนน)					
3.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	4	8	12	16	20
(4) เวลาในการปฏิบัติงานของไตรแอก (20 คะแนน)					
4.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					20
4.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				16	
4.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			12		
4.4 เสร็จช้าไม่เกิน 30 นาที		8			
4.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	4				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบบันทึกการให้คะแนนการปฏิบัติงานแต่ละใบงาน

ใบงานที่ 8 การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไดแอค (Diac)

ชื่อผู้ถูกประเมิน..... **รหัสประจำตัว**.....

หัวข้อให้คะแนน	ความสามารถในการทดลอง				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติและการใช้งานของไดแอค (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติและการใช้งานของไดแอค	2	4	6	8	10
(2) การประกอบวงจรของไดแอค (20 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	2	4	6	8	10
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	2	4	6	8	10
(3) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง การหาคุณสมบัติและการใช้งานของไดแอค (20 คะแนน)					
3.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	4	8	12	16	20
(4) เวลาในการปฏิบัติงานของไดแอค (20 คะแนน)					
4.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					20
4.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				16	
4.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			12		
4.4 เสร็จช้าไม่เกิน 30 นาที		8			
4.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	4				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน..... **วันที่**.....**เดือน**.....**พ.ศ**.....

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบบันทึกการให้คะแนนการปฏิบัติงานแต่ละใบงาน

ใบงานที่ 9 การหาคุณสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor)

ชื่อผู้ถูกประเมิน..... รหัสประจำตัว.....

หัวข้อให้คะแนน	ความสามารถในการทดลอง				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
(1) การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์ (10 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วัดและทดสอบคุณสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์	2	4	6	8	10
(2) การประกอบวงจรของโฟโตทรานซิสเตอร์ (20 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการประกอบวงจรตามกำหนด	2	4	6	8	10
2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจร	2	4	6	8	10
(3) ความเข้าใจในหัวข้อเรื่อง การหาคุณสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์ (20 คะแนน)					
3.1 การสรุปผลการทดลองและการนำไปใช้	4	8	12	16	20
(4) เวลาในการปฏิบัติงานของโฟโตทรานซิสเตอร์ (20 คะแนน)					
4.1 เสร็จตามเวลาที่กำหนด					20
4.2 เสร็จช้าไม่เกิน 10 นาที				16	
4.3 เสร็จช้าไม่เกิน 20 นาที			12		
4.4 เสร็จช้าไม่เกิน 30 นาที		8			
4.5 เสร็จช้าเกิน 30 นาที	4				
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะ					
รวมคะแนน การปฏิบัติและทักษะทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ชื่อผู้ถูกประเมิน..... รหัสประจำตัว.....

หัวข้อให้คะแนน	ความสามารถในการทดลอง				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
1. เตรียมอุปกรณ์ได้ถูกต้องตามทฤษฎีใบงาน	1	2	3	4	5
2. ทำการทดลองได้ตามขั้นตอนของใบงาน	1	2	3	4	5
3. การต่อวงจรถูกต้องตามหลักการ	1	2	3	4	5
4. เข้าใจขั้นตอนในการต่อวงจรตามใบงาน	1	2	3	4	5
5. ตอบคำถามได้ตามทฤษฎีในใบงาน	1	2	3	4	5
6. ทำใบงานเสร็จตามเวลา	1	2	3	4	5
รวมคะแนน					
รวมคะแนนทั้งสิ้น					

ผู้ประเมิน..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

- ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ
- การหาคุณภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- คะแนนของการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน และคะแนนแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง1 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ

ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ			ผลการวิเคราะห์		ความหมาย
	1	2	3	$\sum R$	IOC	
1	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
2	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
3	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
4	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
5	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
6	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้

ตารางที่ ง2 การหาคุณภาพชุดทดลองวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ข้อที่	ผู้ทรงคุณวุฒิ			ผลการวิเคราะห์		
	1	2	3	$\sum X$	$\overline{X}$	S.D.
1	5	4	5	14	4.67	0.58
2	5	5	5	14	5.00	0.00
3	5	4	4	14	4.33	0.58
4	5	5	5	13	5.00	0.00
5	5	5	4	14	4.67	0.58
6	5	5	5	13	5.00	0.00
7	5	5	4	14	4.67	0.58
โดยเฉลี่ย					4.76	0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง3 คะแนนการวิเคราะห์คุณภาพของใบงานปฏิบัติการวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ใบงานที่ 1 – 5

รายการประเมิน	ใบงานที่ 1			ใบงานที่ 2			ใบงานที่ 3			ใบงานที่ 4			ใบงานที่ 5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2. มีความครอบคลุมเพียงพอ เหมาะสมต่อการให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลอง	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5
3. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	4	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4	4	5	5
4. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองของแต่ละขั้นตอน	4	5	5	5	5	4	4	5	4	4	5	4	5	5	5
5. ความเหมาะสมของตารางบันทึกผลการทดลอง	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5
6. ความเหมาะสมของคำถามท้ายการทดลอง	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	4
7. มีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	5	5	4	4
8. ส่งเสริมให้เกิดทักษะในการทดลองอย่างชัดเจน	4	5	5	4	5	4	4	5	5	4	5	5	5	5	5
9. มีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์และกระบวนการทางความคิด	4	4	4	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	4
10. สามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนได้จริง	5	5	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4

ตารางที่ ง4 คะแนนการวิเคราะห์คุณภาพของใบงานปฏิบัติการวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ใบงานที่ 6 – 9

รายการประเมิน	ใบงานที่ 6			ใบงานที่ 7			ใบงานที่ 8			ใบงานที่ 9		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
2. มีความครอบคลุมเพียงพอ เหมาะสมต่อการให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลอง	5	5	4	4	5	5	4	5	4	4	5	4
3. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4	5	4
4. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองของแต่ละขั้นตอน	4	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	4
5. ความเหมาะสมของตารางบันทึกผลการทดลอง	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5	4
6. ความเหมาะสมของคำถามท้ายการทดลอง	5	5	4	4	5	5	4	5	4	5	5	4
7. มีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้	4	5	4	5	4	5	5	5	4	4	5	5
8. ส่งเสริมให้เกิดทักษะในการทดลองอย่างชัดเจน	4	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5
9. มีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์และกระบวนการทางความคิด	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
10. สามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนได้จริง	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5

ตารางที่ ง5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของใบงานปฏิบัติการวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ใบงานที่ 1 – 3

รายการประเมิน	ใบงานที่ 1			ใบงานที่ 2			ใบงานที่ 3		
	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1. สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก
2. มีความครอบคลุมเพียงพอ เหมาะสมต่อการให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก
3. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
4. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองของแต่ละขั้นตอน	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก	4.33	0.58	ดี
5. ความเหมาะสมของตารางบันทึกผลการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก
6. ความเหมาะสมของคำถามท้ายการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
7. มีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้	4.33	0.58	ดี	4.33	0.58	ดี	4.33	0.58	ดี
8. ส่งเสริมให้เกิดทักษะในการทดลองอย่างชัดเจน	4.67	0.58	ดีมาก	4.33	0.58	ดี	4.67	0.58	ดีมาก
9. มีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์และกระบวนการทางความคิด	4.00	0.00	ดี	4.67	0.58	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก
10. สามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนได้จริง	5.00	0.00	ดีมาก	4.33	0.58	ดี	4.33	0.58	ดี
รวม	4.60	0.46	ดีมาก	4.67	0.41	ดีมาก	4.70	0.35	ดีมาก

ตารางที่ ง6 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของใบงานปฏิบัติการวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ใบงานที่ 4 – 6

รายการประเมิน	ใบงานที่ 4			ใบงานที่ 5			ใบงานที่ 6		
	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1. สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง	5.00	0.00	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก
2. มีความครอบคลุมเพียงพอ เหมาะสมต่อการให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
3. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	4.33	0.58	ดี	4.67	0.58	ดีมาก	4.00	0.00	ดี
4. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองของแต่ละขั้นตอน	4.33	0.58	ดี	5.00	0.00	ดีมาก	4.33	0.58	ดี
5. ความเหมาะสมของตารางบันทึกผลการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
6. ความเหมาะสมของคำถามท้ายการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
7. มีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้	4.67	0.58	ดีมาก	4.33	0.58	ดี	4.33	0.58	ดี
8. ส่งเสริมให้เกิดทักษะในการทดลองอย่างชัดเจน	4.67	0.58	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
9. มีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์และกระบวนการทางความคิด	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก
10. สามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนได้จริง	4.33	0.58	ดี	4.33	0.58	ดี	4.67	0.58	ดีมาก
รวม	4.60	0.52	ดีมาก	4.73	0.35	ดีมาก	4.60	0.41	ดีมาก

ตารางที่ ง7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของใบงานปฏิบัติการวิชางานพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ใบงานที่ 7 – 9

รายการประเมิน	ใบงานที่ 7			ใบงานที่ 8			ใบงานที่ 9		
	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1. สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง	5.00	0.00	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
2. มีความครอบคลุมเพียงพอ เหมาะสมต่อการให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก	4.33	0.58	ดี	4.33	0.58	ดี
3. ความเหมาะสมของลำดับขั้นตอนการทดลอง	4.33	0.58	ดี	4.33	0.58	ดี	4.33	0.58	ดี
4. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองของแต่ละขั้นตอน	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
5. ความเหมาะสมของตารางบันทึกผลการทดลอง	5.00	0.00	ดีมาก	4.33	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
6. ความเหมาะสมของคำถามท้ายการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก	4.33	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
7. มีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
8. ส่งเสริมให้เกิดทักษะในการทดลองอย่างชัดเจน	5.00	0.00	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก	4.67	0.58	ดีมาก
9. มีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์และกระบวนการทางความคิด	4.67	0.58	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก
10. สามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนได้จริง	5.00	0.00	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก	5.00	0.00	ดีมาก
รวม	4.77	0.35	ดีมาก	4.63	0.41	ดีมาก	4.67	0.47	ดีมาก

ตารางที่ ง8 คะแนนของการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน และคะแนนแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการทดลอง

คนที่	คะแนนของการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียน (70 คะแนน)	คะแนนแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการทดลอง (30 คะแนน)
1	52	22
2	54	26
3	55	23
4	58	25
5	57	25
6	59	24
7	58	23
8	62	24
9	58	25
10	60	23
11	62	26
12	59	21
13	58	24
14	59	25
15	57	25
16	59	27
17	59	26
18	59	24
19	60	25
20	58	25
	$\sum X$ = 1164.22	$\sum Y$ = 487.00
	$\overline{X}$ = 58.21	$\overline{X}$ = 24.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของการปฏิบัติใบงานระหว่างเรียนแต่ละใบงาน

$$E_1 = \left[\frac{1164.22}{\frac{20}{70}} \right] \times 100$$

$$= 83.16$$

ประสิทธิภาพของแบบทดสอบปฏิบัติใบงานรวมหลังการทดลอง

$$E_2 = \left[\frac{487.00}{\frac{20}{30}} \right] \times 100$$

$$= 81.17$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายอภิเชษฐ เมฆสุวรรณ์
วัน เดือน ปีเกิด	20 สิงหาคม 2517
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	12 หมู่ที่ 4 ต.ท่าทราย อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก 26000
สถานที่ทำงาน	วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี 908 ถนนปราจีนอนุสรณ์ ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี 25000
ตำแหน่ง	ครู
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2535 สำเร็จการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนครนายก
	พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนครนายก
	พ.ศ. 2547 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	พ.ศ. 2552 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้