

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบปริเลย์

ปริญญานิพนธ์

ของ

ชัยวุฒิ ธงเงิน

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

เมษายน 2550

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบปริเลย์

บทคัดย่อ  
ของ  
ชัยวุฒิ ธงเงิน

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา  
เมษายน 2550

ชัยวุฒิชัย ธิงเงิน. (2550). *การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์*. ปริญญาโท กศ.ม.

(อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

คณะกรรมการควบคุม : อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา.

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบวงจร 5 วงจร คือ 1 วงจรแหล่งจ่ายไฟ 2 วงจรทดสอบหน้าสัมผัสรีเลย์ 3 วงจรควบคุมการทำงานคอล์ยรีเลย์ 4 วงจรควบคุมการนับและหยุดการนับการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ 5 วงจรแสดงผล ผู้วิจัยทำการทดสอบโดยอ้างอิงวงจรจากมาตรฐาน IEC 255-15 ผู้วิจัยทำการประเมินประสิทธิภาพและผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยทำการวัดค่าจากมิเตอร์มาตรฐานและทดสอบกับรีเลย์มาตรฐานจำนวน 25 ตัว เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพด้านค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบ กระแสไฟฟ้าทดสอบ ความต้านทานไฟฟ้าทดสอบ จำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ ค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์ นำข้อมูลที่ได้ไปบันทึกในรูปแบบประเมิน การวิเคราะห์ข้อมูลจากการประเมินและการวัดค่าทดสอบต่าง ๆ โดยหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและทดสอบนัยสำคัญโดยอาศัยการแจกแจงของที

ผลการวิจัย พบว่า เครื่องทดสอบรีเลย์ที่สร้างขึ้นมีสมรรถนะด้านกายภาพ ด้านการใช้งาน ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม อยู่ในระดับดี และมีประสิทธิภาพผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทุกด้าน คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบ กระแสไฟฟ้าทดสอบ ความต้านทานไฟฟ้าทดสอบ จำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์และค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์

DESIGN AND CONSTRUCTION OF RELAY TESTING DEVICE

AN ABSTRACT

BY

CHAIWUT THONGNGOEN

Presented in partial fulfillment of the requirements  
for the Master of Education degree in industrial education  
at Srinakharinwirot University

April 2007

Chaiwut Thongngoen. (2007). *Design and Construction of Relay Testing Device*.

Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School,  
Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr. Pairust Vongyuttakrai  
Asst. Prof. Dr. Threraphon Thephasadin Na Ayuthya

The objectives of this research were to Design and Construction of Relay Testing Device. The researcher design 5 circuits for constructing this relay testing device. First is the power supply circuit. Second is the contact testing circuit. Third is the relay control circuit. Forth is the start and stop relay contact counting control circuit. Fifth is the out put showing circuit. This experiment the researcher using International Electrotechnical Commission : IEC 255-15 as a standard reference. The researcher measure efficiency and the five expert were testing the performance of the constructed relay testing device. The researcher using twenty five relay to measure the efficiency of the constructed relay testing device. To measure, voltage, current, load resistance, contact tip, contact resistance relay failures. The statistical tools were used to analyzed the efficiency of the relay testing device are mean, standard deviation, and t-test.

The result of this research showed that the Design and Construction of Relay Testing Device that constructed is good in physical performance, usage performance and maintenance performance, and have the good efficiency in all position such as voltage, current, load resistance, contact tip, contact resistance relay failures.

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบปริเลย์

ปริญญานิพนธ์

ของ

ชัยวุฒิ ธงเงิน

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

เมษายน 2550

ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญานิพนธ์  
เรื่อง  
การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์  
ของ  
ชัยวุฒิ ธงเงิน

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา  
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)  
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 25.....

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน  
(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

..... ประธาน  
(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ โอบาส สุขหวาน)

## ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงด้วยดีจากความเมตตาของอาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ประธานกรรมการควบคุมและ ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา กรรมการควบคุม อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุลและอาจารย์โสภาส สุขหวาน กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่เสียสละเวลา พร้อมทั้งให้คำแนะนำ แก้ไข ดูแลให้กำลังใจและให้ข้อเสนอแนะ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สันติ หวังนิพนพานโต อาจารย์รัชชัย จิตต์สนธิ์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน อาจารย์พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์และอาจารย์สุชาติ ยอดเกลี้ยง วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์อุทัย มั่นวงศ์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน อาจารย์ว่าที่ร้อยตรีอนุวัฒน์ ทองสกุล วิทยาลัยเทคนิคพังงา อาจารย์พงษ์ศิลป์ แก้วรัตนศรีโพธิ์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจแบบประเมินประสิทธิภาพและแบบประเมินสมรรถนะ

ผู้วิจัยน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ อันเป็นที่เคารพรักอย่างสูง ที่ท่านได้ให้ความรู้ กำลังใจ กำลังทรัพย์ และให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลงได้

ชัยวุฒิ ธงเงิน

## เค้าโครงปริญญานิพนธ์

ผู้วิจัย นายชัยวุฒิ ธงเงิน

รหัสประจำตัว 451998416

กรรมการ

คณะกรรมการควบคุม

อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร

ประธาน

ปริญญา การศึกษามหาบัณฑิต

ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา กรรมการ

สาขาวิชา อุตสาหกรรมศึกษา

ปีการศึกษา 2547

ชื่อเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์

TITLE DESIGN AND CONSTRUCTION OF RELAY TESTING DEVICE

## สารบัญ

| บทที่                                                          | หน้า |
|----------------------------------------------------------------|------|
| 1 บทนำ.....                                                    | 1    |
| ภูมิหลัง.....                                                  | 1    |
| ความมุ่งหมายของการวิจัย.....                                   | 3    |
| ความสำคัญของการวิจัย.....                                      | 3    |
| ขอบเขตของการวิจัย.....                                         | 3    |
| นิยามศัพท์เฉพาะ.....                                           | 5    |
| กรอบแนวความคิดในการวิจัย.....                                  | 7    |
| สมมุติฐานในการวิจัย.....                                       | 7    |
| 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                          | 8    |
| พื้นฐานทางไฟฟ้า.....                                           | 8    |
| การกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าและวงจรกำเนิดสัญญาณ.....                   | 10   |
| อุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการออกแบบ.....               | 14   |
| รีเลย์ไฟฟ้า.....                                               | 31   |
| ประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์ตามมาตรฐาน IEC 255-23.....     | 33   |
| สมรรถนะการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์.....                      | 35   |
| เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                            | 36   |
| 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....                                      | 39   |
| การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์และวัสดุอุปกรณ์.....        | 39   |
| การหาประสิทธิภาพและการประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์..... | 50   |
| เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....                  | 59   |
| การวิเคราะห์ข้อมูล.....                                        | 59   |
| 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....                                    | 62   |
| ผลการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์.....                     | 62   |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่                                                              | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------|------|
| 4 (ต่อ)                                                            |      |
| ผลการหาประสิทธิภาพและประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบปริเลย์.....     | 63   |
| 5 สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ .....                                  | 72   |
| ความมุ่งหมายของการวิจัย.....                                       | 72   |
| การดำเนินการวิจัย.....                                             | 72   |
| สรุปผลการวิจัย.....                                                | 73   |
| อภิปรายผลการวิจัย.....                                             | 75   |
| ข้อเสนอแนะ.....                                                    | 78   |
| ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป.....                                | 78   |
| บรรณานุกรม.....                                                    | 79   |
| ภาคผนวก.....                                                       | 82   |
| ภาคผนวก ก หนังสือขอความร่วมมือในการวิจัย.....                      | 83   |
| ภาคผนวก ข รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในงานวิจัย.....                       | 89   |
| ภาคผนวก ค แบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องทดสอบปริเลย์.....  | 92   |
| ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งานเครื่องทดสอบปริเลย์.....                  | 126  |
| ภาคผนวก จ วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์.....                                | 141  |
| ภาคผนวก ฉ เอกสารอ้างอิงคุณสมบัติของอุปกรณ์เครื่องทดสอบปริเลย์..... | 148  |
| ภาคผนวก ช รายการวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....    | 178  |
| ประวัติย่อผู้วิจัย.....                                            | 182  |

## บัญชีตาราง

| ตาราง                                                                            | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 แสดงดิจิทัลไอซีตระกูลต่าง ๆ.....                                               | 30   |
| 2 แสดงส่วนอ้างอิงการทดสอบของมาตรฐาน IEC 255-23.....                              | 34   |
| 3 แสดงแผนการดำเนินงานการทดลอง.....                                               | 50   |
| 4 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบ.....                                | 51   |
| 5 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าความต้านทานที่ใช้ทดสอบ.....                          | 52   |
| 6 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบ.....                                 | 52   |
| 7 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัส.....                      | 53   |
| 8 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์.....                     | 54   |
| 9 แบบประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบรีเลย์.....                                       | 56   |
| 10 แสดงผลการทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าทดสอบ.....                                        | 64   |
| 11 แสดงผลการทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าทดสอบ.....                                         | 64   |
| 12 แสดงผลการทดสอบวัดค่าความต้านทานทดสอบ.....                                     | 65   |
| 13 แสดงผลการทดสอบจำนวนครั้งการนับและหยุดนับการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์.....        | 65   |
| 14 แสดงผลการทดสอบค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์.....                             | 66   |
| 15 แสดงผลการประเมินสมรรถนะด้านกายภาพเครื่องทดสอบรีเลย์.....                      | 67   |
| 16 แสดงผลการประเมินสมรรถนะด้านการใช้งานเครื่องทดสอบรีเลย์.....                   | 68   |
| 17 แสดงผลการประเมินสมรรถนะด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซมเครื่องทดสอบ<br>รีเลย์..... | 69   |
| 18 แสดงผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์.....                             | 70   |
| 19 แสดงผลการทดสอบค่าของเครื่องทดสอบรีเลย์.....                                   | 74   |

## บัญชีภาพประกอบ

| ภาพประกอบ                                                 | หน้า |
|-----------------------------------------------------------|------|
| 1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....                                 | 7    |
| 2 แสดงรูปทรงและลักษณะของคลื่นไฟฟ้า (แรงดันหรือกระแส)..... | 10   |
| 3 แสดงรูปคลื่นลักษณะต่าง ๆ.....                           | 11   |
| 4 แสดงสัญลักษณ์และโครงสร้างของทรานซิสเตอร์.....           | 14   |
| 5 แสดงการจัดไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์.....                  | 15   |
| 6 แสดงทิศทางการไหลของกระแสหลังการจัดไบอัส.....            | 16   |
| 7 แสดงวงจรเบสร่วม.....                                    | 17   |
| 8 แสดงวงจรอิมิตเตอร์ร่วม.....                             | 19   |
| 9 แสดงวงจรคอลเลคเตอร์ร่วม.....                            | 20   |
| 10 แสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์ในสภาวะสวิตช์เปิด.....      | 21   |
| 11 แสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์ในสภาวะสวิตช์ปิด.....       | 21   |
| 12 แสดงรูปสัญลักษณ์วงจรของออปแอมป์เบอร์ 741.....          | 22   |
| 13 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส.....                             | 23   |
| 14 วงจรขยายแบบกลับเฟส.....                                | 25   |
| 15 วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่.....                       | 27   |
| 16 แสดงองค์ประกอบภายในไอซี 555.....                       | 29   |
| 17 สัญลักษณ์เกทพื้นฐาน.....                               | 31   |
| 18 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบความทนทานของอุปกรณ์.....          | 39   |
| 19 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....                        | 40   |
| 20 วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับเครื่องทดสอบปริเลย์.....          | 42   |
| 21 วงจรการทดสอบหน้าสัมผัสปริเลย์.....                     | 43   |
| 22 วงจรควบคุมการทำงานของคอลลิยรีเลย์.....                 | 43   |
| 23 วงจรตรวจจับสัญญาณ.....                                 | 44   |
| 24 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน.....                             | 45   |
| 25 วงจรอะอสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์.....                   | 46   |
| 26 วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์.....                  | 46   |
| 27 วงจรนับและแสดงผล.....                                  | 47   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ภูมิหลัง

ความเสียเปรียบในฐานะเป็นผู้บริโภคด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ความก้าวหน้าในการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศไทย เป็นไปอย่างเชื่องช้า ไม่ทันต่อเทคโนโลยีของโลกที่ก้าวหน้าและเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว สถาบันนานาชาติจัดอันดับความสามารถในการแข่งขันระดับสากลหรือไอเอ็มดี (IMD; International Institute for Management Development) ได้จัดลำดับความสามารถในการแข่งขันด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศไทยอยู่ในลำดับที่ 38 จากจำนวนทั้งหมด 49 ประเทศ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2544:7) ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ผลิตคิดค้นโดยคนไทยและใช้ในภาคอุตสาหกรรมมีน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวเลขการนำเข้าอุปกรณ์และเครื่องจักรในการผลิตจากต่างประเทศ ซึ่งมีจำนวนสูงถึง 2.5 ล้านล้านบาทต่อปี ([www.ops2.moc.go.th](http://www.ops2.moc.go.th))

วิสาหกิจขนาดกลางและย่อมหรือเอสเอ็มอี (SMEs; Small and Medium Enterprises) เป็นวิสาหกิจที่ช่วยรองรับแรงงานจากภาคเกษตรป้องกันการอพยพแรงงานเข้าสู่เมืองหลวง ช่วยกระจายการกระจุกตัวของโรงงานกิจการวิสาหกิจในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ไปสู่ภูมิภาค ช่วยการสร้างงาน สร้างมูลค่าเพิ่ม สร้างเงินตราต่างประเทศ ช่วยประหยัดเงินตราต่างประเทศโดยการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ เป็นจุดเริ่มต้นในการลงทุนและสร้างเสริมประสบการณ์ ช่วยเชื่อมโยงกับกิจการขนาดใหญ่ และภาคการผลิตอื่น เช่น ภาคการเกษตรกรรมและเป็นแหล่งพัฒนาทักษะฝีมือ ก่อให้เกิดการพัฒนาความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน แต่วิสาหกิจขนาดกลางและย่อมก็มีปัญหาและข้อจำกัดหลายประการ หนึ่งในปัญหาเหล่านั้นคือปัญหาข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีการผลิต ซึ่งกลุ่มผู้ประกอบการวิสาหกิจ ได้กำหนดแนวทางการดำเนินงานเพื่อพัฒนา เอสเอ็มอีที่ดำเนินการอยู่แล้วให้ขยายตัวเจริญเติบโตและสามารถแข่งขันได้ทั้งในระดับประเทศและในระดับโลก โดยมีความสามารถเทียบได้กับวิสาหกิจเอสเอ็มอีต่างชาติ สามารถออกไปแข่งขันในต่างประเทศ ซึ่งหนึ่งในแนวทางดำเนินการคือปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตและนวัตกรรมใหม่ให้เกิดขึ้นเสมอ ([www.ismed.or.th/intro-imsed](http://www.ismed.or.th/intro-imsed))

การพัฒนารากฐานอุตสาหกรรม จำต้องเริ่มต้นจากการพัฒนาและใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่ภายใน ประเทศให้ได้ประโยชน์สูงสุด ซึ่งมีเหตุผลมาจากรากฐานเศรษฐกิจของประเทศให้ใช้งานได้อย่างมีคุณภาพประสิทธิภาพเทียบเท่ากับเทคโนโลยีชั้นนำที่มีราคาแพงจะลดการนำเข้าเทคโนโลยี

ในการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์เมื่อเข้าสู่ระบบอุตสาหกรรมไม่ว่าอุตสาหกรรมระดับใดเกือบทุกประเภทต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าเป็นต้นกำเนิดพลังงานทั้งสิ้น เพราะพลังงานไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนรูปแบบพลังงานได้ง่ายที่สุด ทำให้เกิดการผลิตรวดเร็ว สะดวก ควบคุมได้ง่าย ดังนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตจึงต้องมีคุณภาพและประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด เพราะถ้าเกิดความผิดพลาดขึ้นก็จะมีผลต่อด้านทุนการผลิตที่จะสูงขึ้น โอกาสที่จะประสบความสำเร็จก็จะน้อยลง ในกระบวนการผลิตนอกจากอุปกรณ์ป้องกันวงจรแล้วก็จะมีสวิตช์ที่จะควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งในระบบอัตโนมัติแล้วจะไม่นิยมใช้คนควบคุมปิดเปิดอยู่ตลอดเวลา จึงต้องหาอุปกรณ์ที่จะทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ และอุปกรณ์มาควบคุมแทนคนที่จะเป็นสวิตช์แบบอัตโนมัติได้นั้น ก็คือ รีเลย์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลัง สำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ต้องลงทุนมาก อาจต้องพึ่งอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาควบคุมอัตโนมัติ แต่ข้อเสียของอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลังมักมีข้อเสียในด้านค่าใช้จ่ายการลงทุนสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายการควบคุมทั้งอุณหภูมิและฝุ่นละอองสูง ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษามาก อีกทั้งต้องประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่นและต้องเปลี่ยนทั้งแผงวงจรเมื่อวงจรมีปัญหา ถ้าไม่ได้รับการดูแลอย่างดียอายุการใช้งานจะลดลง

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ทำงานด้วยการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำหน้าสัมผัส (Contact) โดยการควบคุมที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Coil) ให้ตัดต่อควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร ถึงแม้ว่าจะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตมานาน แต่ก็มีปัญหาในการใช้งานน้อย จึงได้รับความนิยมมาจนถึงปัจจุบัน คุณสมบัติที่ดีของรีเลย์คือต้นทุนต่ำ เสียค่าใช้จ่ายในการควบคุมและโดยเฉพาะไม่ต้องมีวงจรที่ซับซ้อนมาควบคุม ทำให้เป็นที่ได้รับความนิยมเชื่อถือและนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดกลางและย่อม มากเพราะต้นทุนมากกว่า แต่ข้อเสียของอุปกรณ์ประเภทรีเลย์ไฟฟ้าคือไม่สามารถทราบได้ว่าอายุการใช้งานที่แท้จริงได้ โดยเฉพาะในส่วนของหน้าสัมผัสจะมีปัญหาการเกาะทางไฟฟ้าที่ทำงานไปแล้วก็ครั้ง ทั้งในส่วนของภาระทางไฟฟ้าประเภทกระแสคงที่และไม่คงที่ ซึ่งมีความสำคัญมากเพราะถ้าภาระทาง ไฟฟ้ามีปัญหา ก็อาจทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายมากขึ้นและอาจมีปัญหากับระบบการผลิตได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการที่จะออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบบริเลย์ พร้อมคู่มือการใช้งาน เพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพการทำงานของรีเลย์และนำไปใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการระบบควบคุม โดยเป็นเครื่องทดสอบที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์แบบง่าย ใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายจากท้องตลาดทั่วไป

### ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบบริเลย์
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบบริเลย์

### ความสำคัญของการวิจัย

ได้เครื่องทดสอบบริเลย์ ที่สามารถนำไปใช้ทดสอบการติดต่อของหน้าสัมผัสรีเลย์ได้ โดยอ้างอิงวงจรการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60255-15 สามารถนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบการทำงานของรีเลย์ควบคุม

### ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบบริเลย์ ประเภทรีเลย์ควบคุม จากนั้นนำเครื่องทดสอบบริเลย์ไปทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องโดยการทดสอบกับรีเลย์ควบคุมมาตรฐาน เพื่อให้การวิจัยบรรลุตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ได้กำหนดขอบเขตในการวิจัย ดังนี้

1. เครื่องทดสอบบริเลย์เป็นเครื่องทดสอบที่ทำงานด้วยแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ จากนั้นแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ เพื่อใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานและวงจรการทดสอบรีเลย์ซึ่งอ้างอิงวงจรการทดสอบจากมาตรฐาน IEC 255-15 ลักษณะการใช้งานแบบตั้งโต๊ะมีขนาดกะทัดรัดเหมาะกับการทดสอบในทุกสถานที่ได้ดี สามารถทดสอบรีเลย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีระบบการทำงานและอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- 1.1 ระบบภาคจ่ายไฟ ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์และ 5 โวลต์ สำหรับจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรการทดสอบ วงจรกำเนิดสัญญาณเพื่อควบคุมการติดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในระบบต่าง ๆ

- 1.2 ระบบวงจรการทดสอบ อ้างอิงวงจรการทดสอบจากมาตรฐาน IEC 255-15 โดยใช้แรงดันทดสอบเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ความต้านทานทดสอบชนิดคงค่าแบบเซรามิก 12 โอห์ม เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าทดสอบหน้าสัมผัสรีเลย์ 1 แอมแปร์

1.3 ระบบการนับจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ ประกอบด้วย วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ 2 วงจร คือ วงจรชุดที่ 1 เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันอ้างอิงกับแรงดันที่ตกคร่อมหน้าสัมผัสรีเลย์ทดสอบ วงจรชุดที่ 2 เป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่หน้าสัมผัสรีเลย์ ซึ่งวงจรเปรียบเทียบชุดที่ 1 ประกอบด้วยไอซีคอมพาราเตอร์ เบอร์ LM311, ไอซี TTL 74LS08, 74LS32 และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบ ส่วนวงจรเปรียบเทียบสัญญาณชุดที่ 2 ประกอบด้วยไอซี TTL เบอร์ 74LS125A, 74LS00, 74LS11 และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบ วงจรเปรียบเทียบชุดที่ 1 จะทำการเปรียบเทียบแรงดันอ้างอิงกับแรงดันที่ตกคร่อมหน้าสัมผัสรีเลย์ทดสอบและสั่งในวงจรนับเริ่มการนับ ส่วนวงจรเปรียบเทียบชุดที่ 2 นั้นจะสั่งให้วงจรทดสอบหยุดการทำงานเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่หน้าสัมผัส วงจรนับจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ อันจะประกอบด้วยไอซีเบอร์ ICM7217AIP และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบ ซึ่งวงจรนับจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์จะเริ่มนับเมื่อได้รับสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบชุดที่ 1 และหยุดการนับเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น แล้วจะส่งสัญญาณไปยังวงจรเปรียบเทียบสัญญาณชุดที่ 2 สั่งให้วงจรหยุดทำงานและคงค้างการนับไว้จนกว่าจะมีการรีเซ็ตเครื่อง

1.4 ระบบการแสดงผล แสดงผลเป็นตัวเลขแบบดิจิตอลโดยหลอด LED 7 SEGMENT แบบ COMMON CATHOD และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบ เป็นการแสดงผลที่แสดงให้เห็นตัวเลขที่ได้จากการนับเหมาะสมกับการมองเห็นอย่างชัดเจน

## 2. ตัวแปรที่ศึกษาดังนี้

### 1. ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์ซึ่งประกอบด้วย

- 1.1 ค่าแรงดันทดสอบ
- 1.2 ค่ากระแสทดสอบ
- 1.3 ค่าความต้านทานทดสอบ
- 1.4 จำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัส
- 1.5 ค่าความต้านทานของหน้าสัมผัส

### 2. สมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์ 3 ด้านดังนี้

- 2.1 สมรรถนะด้านกายภาพ
- 2.2 สมรรถนะด้านการใช้งาน
- 2.3 สมรรถนะด้านการบำรุงรักษา

## นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การออกแบบเครื่องทดสอบรีเลย์ หมายถึง การกำหนดคุณลักษณะวงจรของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีความสัมพันธ์กับการใช้ของวัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้สามารถใช้ในการทดสอบการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์
2. การสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ หมายถึง การประกอบวัสดุ, อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การบรรจุชิ้นส่วนลงในโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ โดยจัดให้มีความสัมพันธ์กันตามแบบที่ออกแบบไว้
3. เครื่องทดสอบรีเลย์ หมายถึง เครื่องมือที่สามารถใช้นับจำนวนครั้งการตัดต่อของหน้าสัมผัสรีเลย์และทดสอบค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสซึ่งเป็นค่าที่ไม่สามารถยอมรับได้
4. รีเลย์ หมายถึง รีเลย์ควบคุม (Control relay) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นสวิตช์ตัดต่อกระแสไฟฟ้าด้วยหน้าสัมผัสโดยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
5. ฟอลต์ (Fault) หมายถึง การเกิดค่าความต้านทานขึ้นที่หน้าสัมผัสรีเลย์ที่นำมาทดสอบซึ่งมีค่ามากกว่า 1 โอห์ม อันจะเกิดแรงดันตกคร่อมขึ้นบริเวณหน้าสัมผัสอันจะก่อให้เกิดความร้อนและทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของหน้าสัมผัสลดลง
6. จำนวนครั้งทดสอบการตัดต่อ หมายถึง การนับจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสของรีเลย์ที่นำมาทดสอบจากการทดสอบของเครื่องทดสอบรีเลย์ และหยุดนับพร้อมกับคงค่าจำนวนการนับไว้เมื่อจำนวนฟอลต์ที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐาน
7. ระบบการนับจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัส หมายถึง การประกอบวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อตรวจนับจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์และจะหยุดนับเมื่อไว้เมื่อจำนวนฟอลต์ที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐาน พร้อมทั้งแสดงผลจำนวนครั้งการนับทางระบบการแสดงผล
8. ระบบการแสดงผล หมายถึง การประกอบวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำผลการนับจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสของรีเลย์ขนาดที่ทดสอบและจำนวนครั้งการเกิดฟอลต์ มาแสดงผลเป็นตัวเลขด้วย LED (Light Dependent Diode) 7 Segment และคงค้างจำนวนการนับของระบบการนับจำนวนการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ครั้งหลังสุดไว้จนกว่าจะมีการรีเซ็ต (Reset)
9. ประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์ หมายถึง ผลที่ได้จากการวัดค่าโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ผ่านเกณฑ์ประเมินที่กำหนดไว้ ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

9.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบ หมายถึง การตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ที่จะนำมาทดสอบประสิทธิภาพที่ชั่วทดสอบของเครื่องทดสอบประสิทธิภาพ เกณฑ์ประเมินผ่าน คือ มีค่าแรงดันทดสอบอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าเกณฑ์มาตรฐาน

9.2 ค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบ หมายถึง การตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหน้าสัมผัสและตัวต้านทานทดสอบระหว่างการทดสอบ 1 แอมแปร์ เกณฑ์ประเมินผ่าน คือ มีค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าเกณฑ์มาตรฐาน

9.3 ค่าความต้านทานที่นำมาทดสอบ หมายถึง การตรวจวัดค่าความต้านทานบริสุทธิ์ 12 โอห์ม ชนิดคงค่าแบบเซรามิกที่นำมาเป็นภาระทางไฟฟ้าในการทดสอบตามวงจรอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 255-15 เกณฑ์ประเมินผ่าน คือ มีค่าความต้านทานทดสอบอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าที่ระบุจากบริษัทผู้ผลิต

9.4 จำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัส หมายถึง การตรวจสอบตัวเลขที่ปรากฏบนจอแสดงผลของระบบการแสดงผลเริ่มจากเลข 1 เป็นต้นไป มีความชัดเจนและหยุดค้างการนับไว้เมื่อวงจรสั่งให้หยุดการนับเนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมหน้าสัมผัสมากกว่ามาตรฐาน และจะทำงานอีกครั้งเมื่อมีการรีเซ็ตการทำงานหรือปิดเครื่องทดสอบ เกณฑ์ประเมินผ่าน คือ มีจำนวนครั้งการตัดต่ออยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการตัดต่อ ของวิธีมาตรฐานทุกตัวที่นำมาทดสอบ

9.5 ค่าความต้านทานของหน้าสัมผัส หมายถึง การตรวจวัดค่าตัวเลขที่ได้จากวัดหน้าสัมผัสสรีเลย์เมื่อเครื่องหยุดการทดสอบรีเลย์ ด้วยโอห์มมิเตอร์มาตรฐานแบบดิจิตอล มีเกณฑ์ประเมินผ่าน คือ มีค่าความต้านทานอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานหน้าสัมผัสที่วัดได้ทั้งหมด

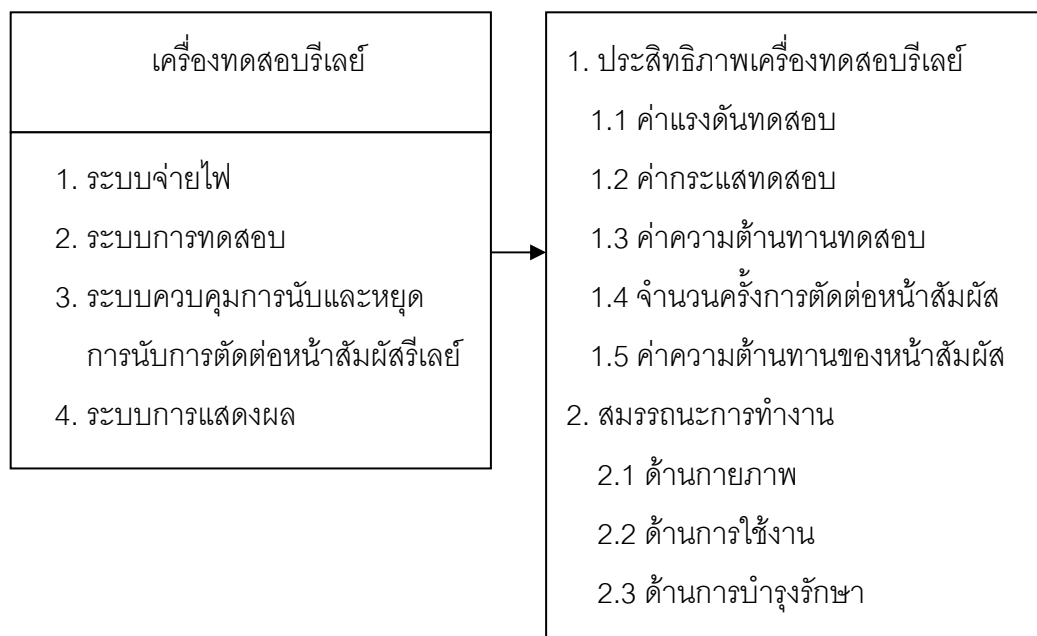
10. สมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์ หมายถึง ความสามารถในการทำงานของเครื่องทดสอบที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น โดยทำการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ใน 3 ด้าน ดังนี้

10.1 ด้านกายภาพ หมายถึง ความแข็งแรงของโครงสร้าง การจัดวางวัสดุอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างเหมาะสม สามารถถอดและแยกอุปกรณ์ของเครื่องได้

10.2 ด้านการใช้งาน หมายถึง มีขั้นตอนการใช้งานของเครื่องได้อย่างเหมาะสม มีความสะดวก, การเคลื่อนย้ายทำได้สะดวก

10.3 ด้านการซ่อมแซมและบำรุงรักษา หมายถึง อุปกรณ์ที่ต้องได้รับบำรุงรักษาหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป มีราคาถูก มีจุดซ่อมบำรุงน้อย

## กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

## สมมุติฐานการวิจัย

เครื่องทดสอบปริเลย์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น โดยอ้างอิงวงจรการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 255-15 มีประสิทธิภาพผ่านเกณฑ์และมีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. พื้นฐานทางไฟฟ้า
2. แหล่งกำเนิดไฟฟ้า การกำเนิดสัญญาณและวงจรกำเนิดสัญญาณ
3. อุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการออกแบบ
4. รีเลย์ไฟฟ้า
5. ประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์ตามมาตรฐาน IEC 255-23
6. สมรรถนะการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์
7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. พื้นฐานทางไฟฟ้า

น.ต.มงคล พรหมเทศ (2546:20-24) ได้อธิบายความหมายของคำศัพท์พื้นฐานทางไฟฟ้าดังนี้

1. **ตัวนำไฟฟ้า** (Conductors) หมายถึง วัสดุที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้โดยง่ายหรือวัสดุที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ

2. **ฉนวนไฟฟ้า** (Insulators) หมายถึง วัสดุที่ซึ่งไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้หรือวัสดุที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูงซึ่งสามารถต้านการไหลของกระแสไฟฟ้า

3. **กระแสไฟฟ้า** (Current) เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายในตัวนำไฟฟ้า การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเกิดจากการนำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าต่างกันมาวางไว้ใกล้กัน แยกเป็น 2 ชนิด คือ ไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ

4. **แรงดันไฟฟ้า** (Voltage) หมายถึง แรงที่ทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่ หรือแรงที่ทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า

5. **ความต้านทานไฟฟ้า** (Resistance) หมายถึง การต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าของวัตถุซึ่งมีค่ามากขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุนั้น ๆ

โสภณ เสือพันธ์ (2540:83) ได้กล่าวไว้ว่าชนิดของไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. **ไฟฟ้าสถิต** เป็นไฟฟ้าที่เกิดจากการขัดสีของวัตถุ ไฟฟ้าสถิตจะไม่มีกระแสไหลหรือเคลื่อนที่จึงไม่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้

2. **ไฟฟ้ากระแส** เป็นไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลไปตามตัวนำ ไฟฟ้ากระแสแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าเดินทางเดียว ขั้วบวกและขั้วลบของไฟฟ้าไม่

ไฟฟ้ากระแสเป็นไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไป ส่ง สุขदानนท์และคณะ (2538:55-61) ได้สรุปผลการกำเนิดไฟฟ้ากระแสหรือเป็นวิธีการให้พลังงานแก่อิเล็กตรอนเพื่อทำให้เกิดประจุไฟฟ้าได้ 6 วิธี ดังนี้

1. การเกิดประจุไฟฟ้าจากการเสียดสี ประจุนี้เรียกว่า ประจุไฟฟ้าสถิต (Electrostatic charge) เกิดขึ้นจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากวัตถุชิ้นหนึ่งไปสู่วัตถุอีกชิ้นหนึ่งที่ผ่านการขัดสี

2. การเกิดประจุไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมี ประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นได้โดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemistry) ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาของสารเคมีกับโลหะบางชนิด ซึ่งจะเกิดถ่ายเทอิเล็กตรอนแล้วเกิดประจุไฟฟ้าขึ้น

3. การเกิดประจุไฟฟ้าจากแรงกดอัด เรียกปฏิกิริยานี้ว่า เพียโซอิเล็กทริซิตี (Piezo electricity) เกิดจากการออกแรงกดลงบนสารบางชนิด แรงที่กดจะผ่านเนื้อสารเข้าถึงอะตอมและได้อิเล็กตรอนหลุดจากวงโคจรไปตามทิศทางของแรงอิเล็กตรอนจะวิ่งจากผิวด้านหนึ่งไปอยู่ที่ผิวด้านหนึ่ง ดังนั้นประจุลบประจุบวกจะเกิดขึ้นที่ผิวทั้งสองด้าน เมื่อคลายแรงกดลงอิเล็กตรอนก็จะวิ่งกลับเข้าสู่วงโคจรตามเดิม การตัดชิ้นสารจำพวกนี้จะสามารถที่จะควบคุมผิวที่เกิดประจุได้ ซึ่งสารบางอย่างจะมีปฏิกิริยาเมื่อได้รับแรงกดให้โค้งงอ สารบางอย่างก็มีปฏิกิริยากับแรงบิด

4. การเกิดประจุไฟฟ้าจากความร้อน อุปกรณ์ที่ใช้หลักการนี้โดยทั่วไปเรียกว่า เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เกิดขึ้นจากการนำคุณสมบัติการเป็นตัวให้และตัวรับอิเล็กตรอนของสารบางประเภทมาเชื่อมต่อกัน แล้วให้ความร้อนบริเวณรอยต่อการส่งผ่านอิเล็กตรอนก็จะเกิดขึ้นซึ่งโลหะบางชนิดมีความไวเป็นพิเศษเพียงแต่รับพลังงานความร้อนจากอุณหภูมิห้องก็สามารถทำให้โลหะคายอิเล็กตรอนออกมาได้ เช่น ทองแดงและสังกะสี ประจุที่เกิดจากอุณหภูมิห้องมีปริมาณน้อย การให้ความร้อนจะทำให้เกิดพลังงานเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดเป็นอิสระได้เป็นจำนวนมากพอ

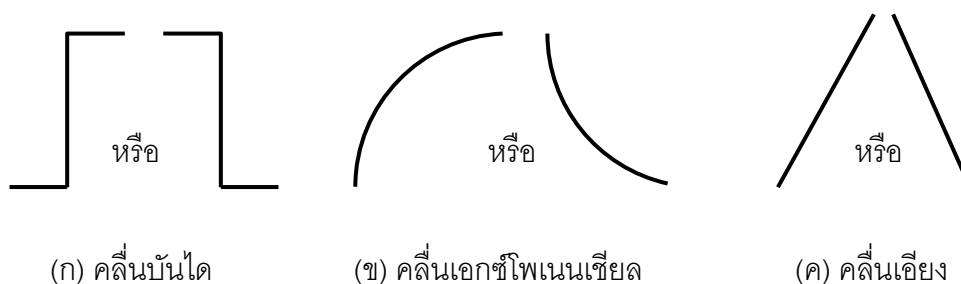
5. การเกิดประจุไฟฟ้าจากแสง เมื่อลำแสงโฟตอนกระทบถูกสารบางประเภท เช่น โปแตสเซียม ซีเซียม ลิเทียม ซีเลเนียม ออยอร์มันเนียม แคดเมียมและตะกั่วซัลไฟด์ จะสามารถทำให้อะตอมของสารนั้นปล่อยอิเล็กตรอนออกมาได้ ซึ่งเป็นหลักการของการสร้างเซลล์สุริยะ (Solar cell)

6. ประจุไฟฟ้าเกิดจากตัวนำตัดเส้นแรงแม่เหล็ก เป็นหลักการเบื้องต้นของการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generators) เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้า กล่าวคือเมื่อตัวนำเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก แรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กกระทำต่ออะตอมของตัวนำจะมีขนาดมากพอที่จะทำให้วาเลนซ์อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมของตัวนำนี้ได้กลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

ในหัวข้อพื้นฐานทางไฟฟ้านั้นผู้วิจัยสรุปได้ว่า ค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นส่วนกลับของ กระแสไฟฟ้าที่สามารถไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าได้ง่าย โดยมีแรงดันไฟฟ้าเป็นตัวผลักดันให้เกิดการเคลื่อนที่ ของกระแสไฟฟ้า ตัวกำเนิดกระแสเรียกว่า แหล่งกำเนิดไฟฟ้า เกิดขึ้นจาก 6 วิธีการ

## 2. การกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าและวงจรกำเนิดสัญญาณ

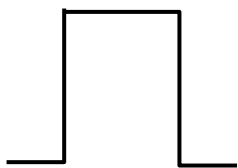
2.1 การกำเนิดสัญญาณ การกำเนิดสัญญาณเกิดขึ้นโดยการนำสิ่งประดิษฐ์ประเภทสวิตช์กึ่ง ตัวนำประกอบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เรียกว่า วงจรสวิตชิง (Switching circuit) จะทำหน้าที่ เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์สร้างพัลส์ (Pulse) ของกระแสหรือแรงดันขึ้น ซึ่งสัญญาณพัลส์เหล่านี้จะถูก นำไปใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบควบคุม (Control system) และใน งานดิจิทัลคอมพิวเตอร์ (Digital computer) พัลส์ซึ่งมีหลายรูปลักษณะเกิดจากรูปคลื่นย่อย ๆ ประกอบกันขึ้นมาจากคลื่นขั้นบันได (Step), คลื่นเอียง (Ramp), คลื่นเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential)



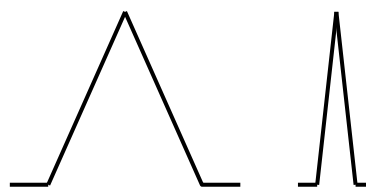
ภาพประกอบ 2 แสดงรูปทรงและลักษณะของคลื่นไฟฟ้า (แรงดันหรือกระแส)

(มนัส สังวรศิลป์. 2526:2)

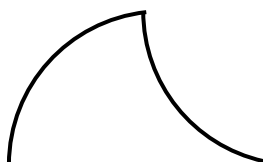
คลื่นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular wave) เกิดจากการรวมตัวของคลื่นขั้นบันได (Step) 2 ส่วน นิยมเรียกว่าพัลส์ (Pulse) คลื่นรูปฟันเลื่อย (Sawtooth wave) เกิดมาจากการรวมตัวของรูปคลื่น เอียง (Ramp) 2 ส่วน คลื่นอินทิเกรตเตด (Integrated) เกิดจากการรวมตัวของคลื่นเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) 2 รูป และคลื่นแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differentiated) เกิดขึ้นมาจากการรวม ของคลื่นขั้นบันไดกับเอกซ์โพเนนเชียล การสร้างพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือคลื่นจัตุรัส (Square wave) จะเป็นที่ยอมรับและใช้งานกันแพร่หลายมากที่สุดเนื่องจากเป็นพัลส์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด (มนัส สังวรศิลป์และคณะ. 2526:105)



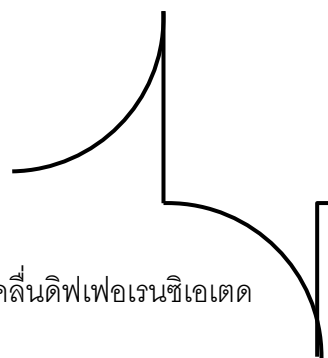
(ก) คลื่นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก



(ข) คลื่นรูปฟันเลื่อย



(ค) คลื่นอินดิเคอร์ทเตด



(ง) คลื่นดิฟเฟอเรนเชียล

ภาพประกอบ 3 แสดงรูปคลื่นลักษณะต่าง ๆ

(มนัส สังวรศิลป์. 2526:3)

สมเกียรติ ศุภเดช (2526:8-9) กล่าวว่า การสร้างพัลส์อาจถูกสร้างขึ้นหลาย ๆ วิธี แต่ที่นิยมใช้คือ

1. การสร้างพัลส์โดยการป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ผ่านเข้าไปในวงจรขยายประเภท A (Class A amplifier) โดยให้สัญญาณกระตุ้นให้วงจรขยายทำงานเกินขอบเขต (Overdriving)

2. การสร้างพัลส์โดยการใช้วงจรมัลติไวเบรเตอร์ (Multivibrator) แบบใดแบบหนึ่ง ซึ่งก็คือ วงจรขยาย 2 ภาควัดต่อรวมกันโดยมีตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเป็นตัวคัปปลิง (Coupling) ผลที่ได้จากวงจรขยายภาคแรกจะถูกป้อนให้เป็นอินพุตของวงจรขยายภาคที่สอง และเอาต์พุตของวงจรขยายภาคที่สองจะถูกนำไปป้อนเป็นอินพุตของวงจรขยายภาคแรกอีก การทำงานของวงจรขยายนี้อยู่ในลักษณะทำงานเกินขอบเขต

3. การสร้างพัลส์โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันคลื่นรูปไซน์ ซึ่งมีความถี่หลักค่าหนึ่ง (Fundamental frequency) ต่อกันร่วมกับแหล่งจ่ายแรงดันคลื่นรูปไซน์อื่น ๆ ซึ่งมีความถี่เท่ากับค่าความถี่หลักคูณกับเลขชี้ของจำนวนใด ๆ ที่เรียกว่า ความถี่ฮาร์โมนิก (Odd Harmonic frequencies) ทั้งนี้ต้องทำให้คลื่นรูปไซน์ของแหล่งจ่ายแรงดันต่าง ๆ มีขนาด (Amplitude) และเฟส (Phase) ที่ถูกต้อง

ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีการสร้างพัลส์โดยการสร้างจากวงจรมัลติไวเบรเตอร์ เพราะมีเสถียรภาพมากที่สุด จึงขอกล่าวเฉพาะวงจรมัลติไวเบรเตอร์เท่านั้น

**2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณ** เรียกว่า วงจรมัลติไวเบรเตอร์ (Multivibrator Circuit) จัดว่าเป็น วงจรสวิตช์แบบหนึ่งซึ่งสามารถผลิตพัลส์ ความถี่ต่าง ๆ ออกมาได้ ซึ่งสามารถจัดแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท ได้แก่ วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (Monostable Multivibrator) วงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (Bistable Multivibrator) วงจรแอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) วงจรมัลติไวเบรเตอร์สามารถสร้างขึ้นได้จากอุปกรณ์หลาย ๆ ประเภท เช่น หลอดสุญญากาศ ทรานซิสเตอร์ เฟท ออปแอมป์หรือไอซีสำเร็จรูป แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือการสร้างจากทรานซิสเตอร์ เฟทและไอซีสำเร็จรูป ในการวิจัยครั้งนี้จะกล่าวถึงวงจรมัลติไวเบรเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นจากไอซี 555 ซึ่งเป็นไอซีสำเร็จรูป

**2.2.1 วงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์** เป็นวงจรที่มีเสถียรภาพได้สองสถานะ แต่ นิยมเรียกว่า วงจรฟลิปฟลอป (หรือวงจรไบนารี สามารถนำไปใช้ในด้านดิจิตอลและลอจิก เช่น เป็น วงจรนับเลขไบนารีในวงจรนับ เป็นวงจรหารความถี่ เป็นวงจรเกี่ยวกับหน่วยความจำที่ใช้ในทาง คอมพิวเตอร์ (เย็น ภูสุวรรณ. 2538:67) ซึ่งจะไม่กล่าวถึงวงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ในงานวิจัยใน ครั้งนี้

**2.2.2 วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์** เป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์ที่มี สถานะเสถียรภาพได้เพียงสถานะเดียว โดยจะมีการเปลี่ยนสถานะไปชั่วขณะหลังจากที่มีการทรigger เกิดขึ้นและจะเปลี่ยนแปลงกลับเข้าสู่สถานะเสถียรอย่างเดิม ในวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์จะ ประกอบด้วย วงจรกลับสัญญาณ (Inverter Circuit) สองวงจร ซึ่งเอาต์พุตของวงจรแรกจะนำมาเป็น อินพุตของวงจรที่สอง โดยวิธีอาร์ซีคัปปลิง (RC coupling) และเอาต์พุตของวงจรที่สองจะถูกนำมาเป็น อินพุตของวงจรแรกโดยวิธีซีเอสทีคัปปลิง (Resistive coupling) โดยมีชื่อเรียกวงจรนี้หลาย ๆ ชื่อ เช่น วงจรวันช็อต(One shot), วงจรซิงเกิลไซเคิล (Single cycle), วงจรยูนิไวเบรเตอร์ (Univibrator) บางครั้งเรียกตามสัญญาณเอาต์พุตที่ออกว่าเป็นวงจรถ่วงสัญญาณ (Delay circuit) สัญญาณแรงดันที่ใช้เป็นสัญญาณทรigger (Trigger) โดยทั่วไปมักมีลักษณะเป็นแบบสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล (Differentiated) ที่มีครึ่งล่างเพียงครึ่งเดียวและจะทำให้เอาต์พุตของวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ มีลักษณะรูปแรงดันที่วงจรสร้างขึ้นมีลักษณะเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular) ซึ่ง มักจะถูกนำไปใช้ในการควบคุมวงจรพัลส์อื่น ๆ เช่น วงจรเกต (Gate circuit) เป็นต้น (ผ.ศ.มนัส สังวร ศิลป์และคณะ. 2526:148)

ก่อนการออกแบบวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์นั้น ต้องทราบความต้องการในการสร้าง วงจรเสียก่อนว่าต้องการความกว้างของพัลส์เอาต์พุตเท่าใด แรงดันไฟเลี้ยงเท่าใด โหลดของวงจรที่จะ สร้างขึ้นเป็นประเภทไหน เพื่อจะได้คำนวณหาค่าอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้และเลือกอุปกรณ์ให้เหมาะสม กับความต้องการนั้นได้

ยื่น ภูสุวรรณ (2538:69-82) กล่าวสรุปไว้ว่าวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ สามารถสร้าง ขึ้นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายชนิด แยกเป็นวงจรที่นิยมใช้งานได้ดังนี้ ชนิดหลอดสุญญากาศหรือ ทรานซิสเตอร์แบบคอลเลคเตอร์คัปปลิง (Collector coupling) ชนิดหลอดสุญญากาศหรือ ทรานซิสเตอร์ แบบอิมิตเตอร์คัปปลิง (Emitter coupling) ชนิดออปแอมป์ (Op-amp) และชนิดไอซีเช่น ไอซีเบอร์ MC951 MC851 เป็นต้น ส่วนใหญ่อาศัยวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์เป็นวงจรตั้งเวลา ส่วนประกอบวงจรเครื่องมือแสดงผลเป็นตัวเลขต่าง ๆ เครื่องจ่ายไฟตรงชนิดสวิตชิ่งเรกูเลเตอร์ วงจร มอดูเลทสัญญาณพัลส์

**2.2.3 วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์** เป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์อย่าง หนึ่งที่ไม่มีส่วนที่เสถียร จะเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างคัทออฟและอิมิตัวเป็นจังหวะตลอดเวลา บางครั้งนิยมเรียกว่า ฟรีรันนิ่งค์ มัลติไวเบรเตอร์ (Free running multivibrator) โดยปกติมักถูกนำไปใช้ เป็นวงจรผลิตคลื่นจัตุรัส (Square wave) วงจรชนิดประกอบด้วยวงจรกลับสัญญาณสองวงจร เอาท์พุท ของวงจรแรกถูกนำไปเป็นอินพุทของวงจรที่สอง เอาท์พุทที่ได้จากวงจรที่สองกลับมาเป็นอินพุทของ วงจรที่หนึ่ง การป้อนสัญญาณจากเอาท์พุทกลับไปเป็นอินพุทใช้วิธีการซีคัปปลิง

ยื่น ภูสุวรรณ (2538:69-82) ได้กล่าวสรุปไว้ว่าวงจร อะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ คือวงจร ออสซิลเลเตอร์ชนิดหนึ่งแต่ออสซิลเลทให้สัญญาณเอาท์พุทมีรูปร่างเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ความถี่ ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์แบบนี้ควบคุมได้ง่ายโดยใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเท่านั้น ความถี่ที่ ได้สามารถกำหนดให้มีค่าได้ต่ำมาก ๆ ซึ่งผิดกับวงจรออสซิลเลเตอร์แบบอื่น ๆ ที่ไม่สามารถทำให้ ความถี่ที่ได้มีค่าต่ำ ซึ่งวงจร อะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์สามารถสร้างขึ้นจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หลายชนิดแยกเป็นวงจรที่นิยมใช้งานได้ดังนี้ ชนิดหลอดสุญญากาศหรือทรานซิสเตอร์ แบบ คอลเลคเตอร์คัปปลิง (Collector coupling) ชนิดออปแอมป์ (Op-amp) และชนิดไอซีโดยไอซีที่รู้จักกัน แพร่หลายคือ ไอซีเบอร์ 555 ส่วนใหญ่การใช้งานวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ มักถูกใช้เป็นวงจรสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม สัญญาณนาฬิกา สัญญาณกำหนดฐานเวลาที่ใช้ในวงจร ดิจิตอล

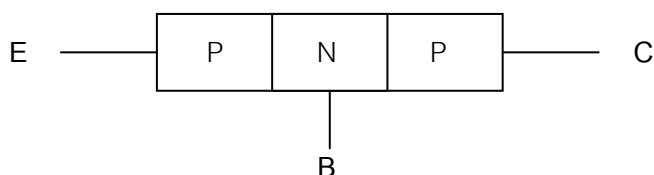
จากข้อมูลที่ได้กล่าวถึงการกำเนิดสัญญาณและวงจรกำเนิดสัญญาณ ซึ่งจะเป็นส่วนสำคัญใน การสร้างสัญญาณขึ้นเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงในงานวิจัยนี้ พอสรุปได้ดังนี้ การกำเนิด สัญญาณซึ่งมีพื้นฐานมาจากรูปสัญญาณ 3 รูป คือ คลื่นรูปบันได คลื่นเอียงและคลื่นเอกซ์โพเนนเชียล รูปคลื่นที่ได้รับความนิยมมากที่สุดแบบสี่เหลี่ยมหรือคลื่นจัตุรัส ซึ่งเรียกว่า พัลส์ วงจรที่สามารถกำเนิด พัลส์ได้เรียกว่า วงจรมัลติไวเบรเตอร์ สามารถกำเนิดพัลส์ได้หลายรูปแบบ ประกอบด้วยวงจร 3 วงจร หลัก คือ วงจรไบสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์และวงจรโมโนสเตเบิล มัลติ ไวเบรเตอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกำเนิดสัญญาณแบบ โมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

### 3. อุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการออกแบบ

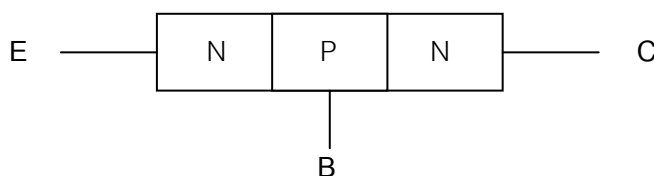
อุปกรณ์หลักที่ใช้ในวงจรในการออกแบบเครื่องทดสอบการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ศึกษาคุณสมบัติการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในเครื่องทดสอบการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ไฟฟ้า ได้แก่ ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์, ออปแอมป์, ไอซีเรกูเลเตอร์, ไอซี 555 รวมถึงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวงจรของเครื่องทดสอบการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ไฟฟ้าเพื่อให้วงจรทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

**3.1 ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์** บางครั้งเรียกว่าทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อหรือบีเจที (Bipolar junction transistor) ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น วงจรขยายในเครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์ หรือทำหน้าที่เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น การสวิตซ์เปิด-ปิดรีเลย์เพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ (นัทธ วัจนเทพินทร. 2541:122)

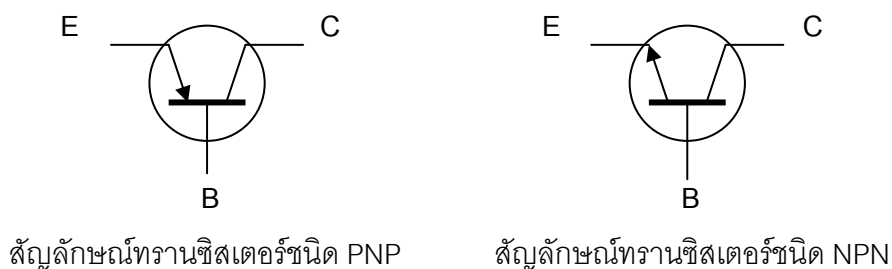
**3.1.1 โครงสร้างทรานซิสเตอร์** ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N มารวมกัน โดยทำให้เกิดรอยต่อระหว่างเนื้อสารนี้สองรอยต่อ ถ้าตัวทรานซิสเตอร์ที่มีสาร P อยู่สองหัวท้ายและชนิด N อยู่ตรงกลางเรียกว่า ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ในทำนองกลับกันถ้าสารชนิด P อยู่ตรงกลางและสารชนิด N อยู่หัวท้าย เรียกว่า ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN รอยต่อจากเนื้อสารทั้งสามนี้มีจุดต่อเป็นขาของทรานซิสเตอร์เพื่อเชื่อมต่อหรือยึดติดกับขาอุปกรณ์อื่น ดังนั้นทรานซิสเตอร์จึงมี 3 ขา มีชื่อเรียกขาต่าง ๆ ได้แก่ ขาคอนเลคเตอร์ (Collector) ใช้สัญลักษณ์ C ขาอีมิเตอร์ (Emitter) ใช้สัญลักษณ์ E ขาเบส (Base) ใช้สัญลักษณ์ B รูปร่างและโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ แสดงดังภาพประกอบ 2.3



โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP



โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

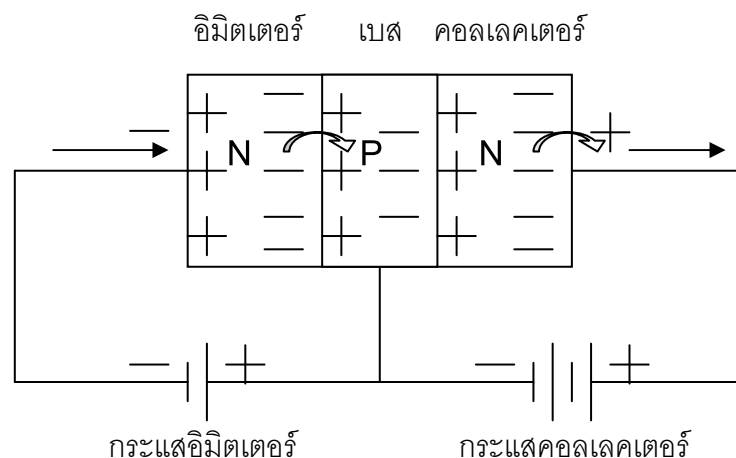


ภาพประกอบ 4 แสดงสัญลักษณ์และโครงสร้างของทรานซิสเตอร์

(เย็น ภูสุวรรณ. 2538:172)

**3.1.2 การทำงานของทรานซิสเตอร์** การจัดสภาพให้ทรานซิสเตอร์พร้อมที่จะทำงานเรียกว่า การไบอัส (Bias) หรืออีกนัยหนึ่งการไบอัสคือการป้อนแรงดันให้กับขาต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์ จนกว่ามีช่วงทำงานที่เหมาะสม เรียกว่าการจัดไบอัสให้ถูกต้อง ซึ่งจะช่วยให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (เย็น ภูสุวรรณ. 2538:173)

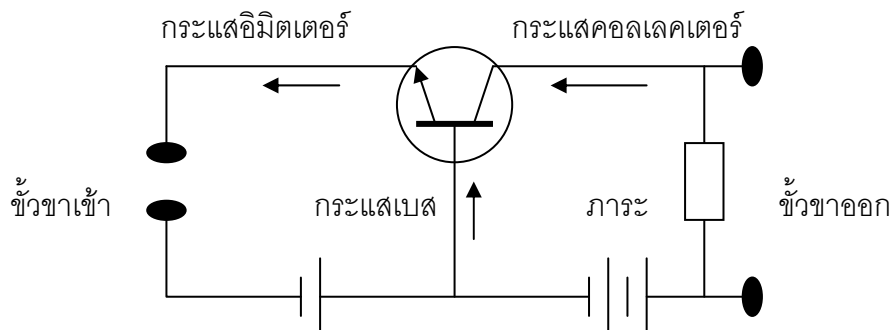
**3.1.2.1 การจัดไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์** แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ การไบอัสตรง (Forward Bias) และการไบอัสกลับ (Reverse Bias) การไบอัสตรง คือ การต่อขั้วบวกแหล่งจ่ายไฟตรงให้กับสารชนิด P และการจ่ายขั้วลบให้กับสารชนิด N ซึ่งจะทำให้กระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์มาก การไบอัสกลับ คือ การต่อขั้วบวกแหล่งจ่ายไฟตรงให้กับสารชนิด N และการจ่ายขั้วลบให้กับสารชนิด P ในทางอุดมคติจะไม่มีกระแสไหลในวงจร แต่ทางปฏิบัติอาจจะมีกระแสรั่วไหลบ้าง การจัดไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์จะต้องจัดให้ทั้งไบอัสตรงและไบอัสกลับ



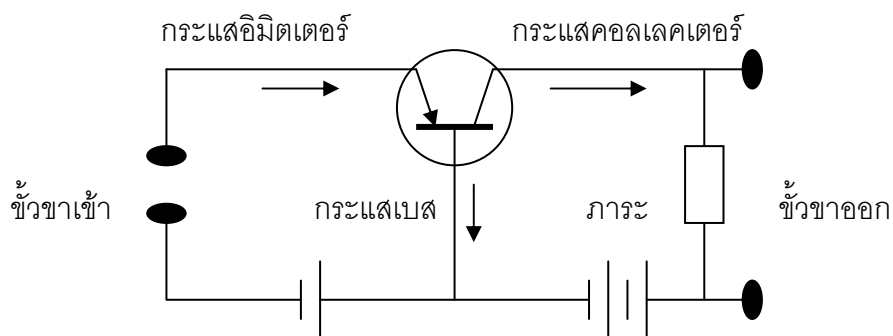
ภาพประกอบ 5 แสดงการจัดไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์

(เย็น ภูสุวรรณ. 2538:177)

โดยจัดไบอัสตรงระหว่างขาเบสและขาอิมิตเตอร์ ให้ไบอัสกลับระหว่างขาเบสและขาคอลเลคเตอร์ ดังภาพประกอบ 5 ซึ่งเมื่อจัดไบอัสแล้ว จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อ ดังภาพประกอบ 6



(ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



(ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

ภาพประกอบ 6 แสดงทิศทางการไหลของกระแสหลังการจัดไบอัส

(เย็น ภูสุวรรณ. 2538:178)

ทิศทางการไหลของกระแสจะเป็นอย่างไรก็ตาม กระแสอิมิตเตอร์จะมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสเบสและกระแสคอลเลคเตอร์เสมอ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_E = I_B + I_C$$

หรือ

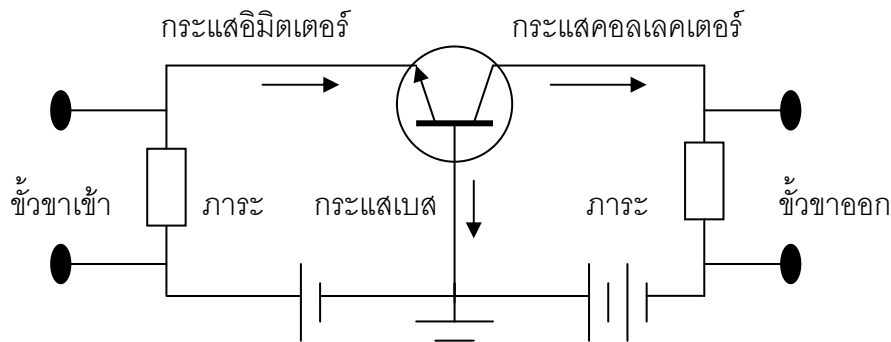
$$I_C = I_E - I_B$$

หรือ

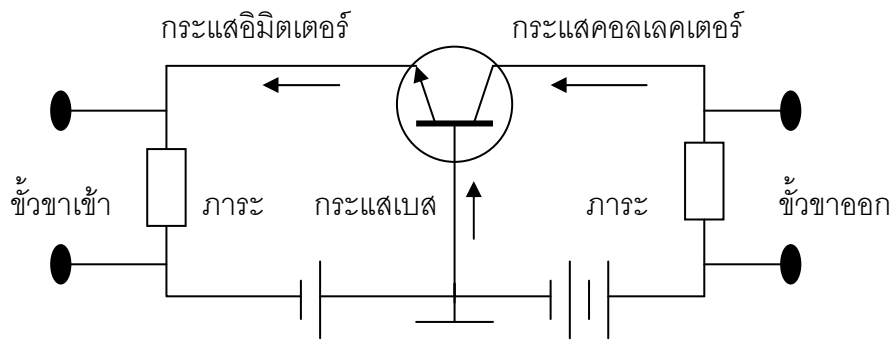
$$I_B = I_E - I_C$$

3.1.2.2 การจัดวงจรทรานซิสเตอร์ แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะได้แก่

3.1.2.2.1 วงจรเบสร่วม (Common base circuit) ในวงจรขยายเบสร่วมสัญญาณขาเข้าจะถูกป้อนเข้าทางด้านอิมิตเตอร์และสัญญาณขาออกจะปรากฏคร่อมตัวต้านทาน  $R_L$  ที่คอลเลคเตอร์ เมื่อป้อนสัญญาณขาเข้า จะทำให้กระแสอิมิตเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยการต่อวงจรเบสร่วม แสดงดังภาพประกอบ 7



(ก) วงจรเบสร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP



(ข) วงจรเบสร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ภาพประกอบ 7 แสดงวงจรเบสร่วม

(ยีน ฐสุวรรณ. 2538:183)

อัตราขยายกระแสของวงจรเบสร่วม ( $\beta$ ) = กระแสขาออก/กระแสขาเข้า

$$= \frac{I_C}{I_E}$$

เมื่อ  $I_C$  = กระแสคอลเลคเตอร์

$I_E$  = กระแสอิมิตเตอร์

$$\text{อัตราขยายแรงดันของวงจรเบสร่วม} (A_v) = \frac{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาออก}}{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาเข้า}}$$

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

หรือ

$$= A_v = \frac{\Delta I_C R_L}{\Delta I_E R_i}$$

หรือ

$$= A_v = a \frac{R_L}{R_i}$$

$$\text{อัตราขยายกำลังงานของวงจรเบสร่วม} (P_G) = \text{อัตราขยายกระแส} \times \text{อัตราขยายแรงดัน}$$

$$= \beta \cdot A_v$$

### 3.1.2.2.2 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common emitter circuit) ในวงจร

อิมิตเตอร์ร่วม ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะต่ออยู่ระหว่างทางขาเข้าและขาออก สัญญาณขาเข้าจะป้อนเข้าทางด้านขาเบส และสัญญาณขาออกจะปรากฏคร่อม  $R_L$  ที่ขาคอลเลคเตอร์

$$\text{อัตราการไหลของกระแสของวงจร} (\beta) = \text{กระแสขาออก/กระแสไหลเข้า}$$

$$= \frac{I_C}{I_B}$$

$$\text{เมื่อ } I_C = \text{กระแสคอลเลคเตอร์}$$

$$I_B = \text{กระแสเบส}$$

$$\text{อัตราขยายแรงดันของวงจร} (A_v) = \frac{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาคอลเลคเตอร์}}{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาเบส}}$$

$$= \frac{\Delta V_C}{\Delta V_B}$$

หรือ

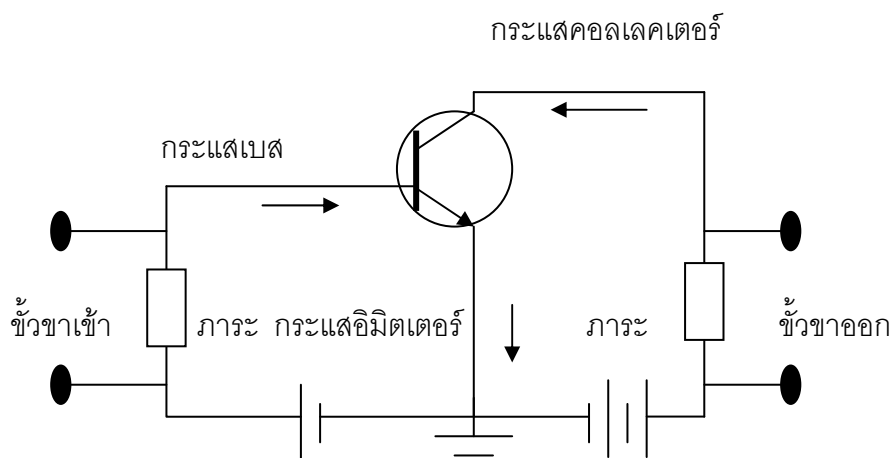
$$= A_v = \frac{\Delta I_C R_C}{\Delta I_B R_B}$$

หรือ

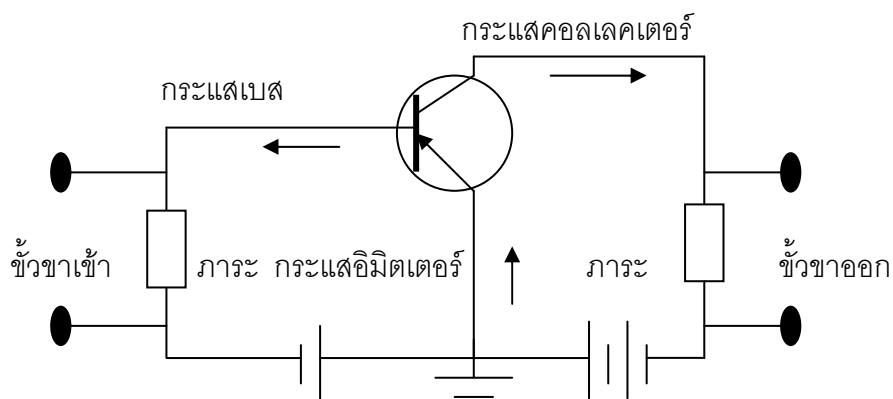
$$= A_v = \beta \frac{R_L}{R_B}$$

$$\text{อัตราขยายกำลังงานของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม} (P) = E \times I$$

$$= \frac{\Delta V_C I_C}{\Delta V_B I_B} = \beta \cdot A_v$$



(ก) วงจรมิตเตอร์ร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



(ข) วงจรมิตเตอร์ร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

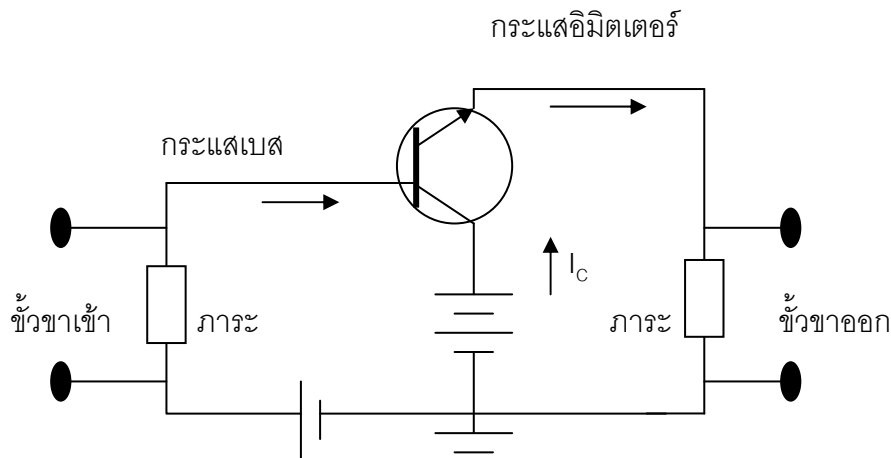
ภาพประกอบ 8 แสดงวงจรมิตเตอร์ร่วม

(ยี่น ภูสุวรรณ. 2538:185)

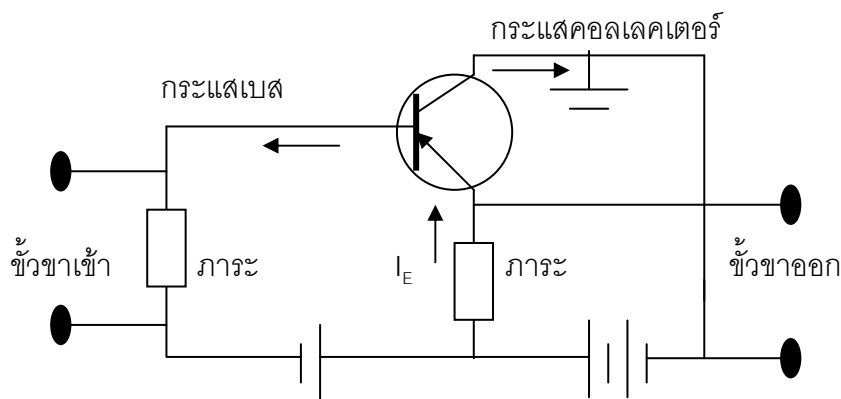
**3.1.2.2.3 วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม (Common collector circuit)** ในวงจรคอลเลคเตอร์ร่วมนั้น ขั้วคอลเลคเตอร์จะอยู่ระหว่างขาเข้าและขาออก โดยปกติแล้ว ขั้วคอลเลคเตอร์จะไม่ต่อลงดินโดยตรง แต่จะต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร ดังนั้น วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมก็คือ วงจรมิตเตอร์ร่วมที่นำเอาแรงดันขาออกคร่อมตัวต้านทานอิมิตอร์ไปใช้งาน แสดงดังภาพประกอบ 9

วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมมีข้อแตกต่างจากวงจรมิตเตอร์ร่วมและวงจรเบสร่วม คือ มีความต้านทานทางขาเข้าสูง ความต้านทานทางขาออกต่ำ ดังนั้น อัตราการขยายทางแรงดันจึงมีค่าต่ำ โดยทั่วไปน้อยกว่าหนึ่ง ส่วนอัตราขยายกระแสของวงจรมีค่าสูงที่สุด

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



(ก) วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

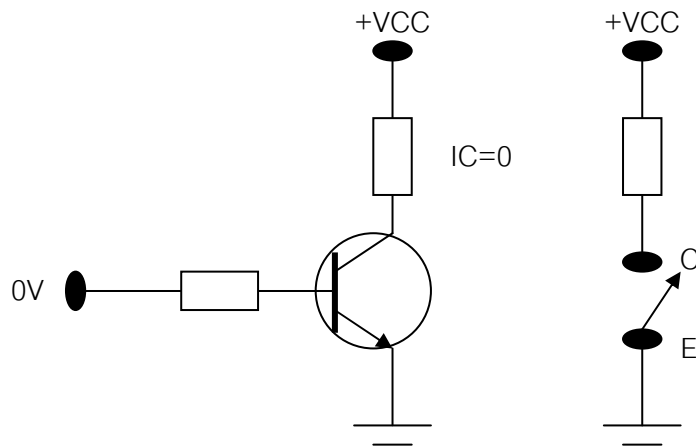


(ข) วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

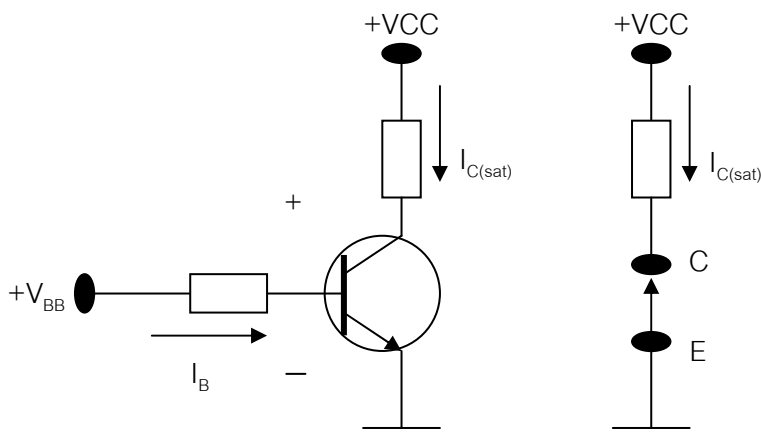
ภาพประกอบ 9 แสดงวงจรคอลเลคเตอร์ร่วม

(ยีน ภูสุวรรณ. 2538:189)

**3.1.3 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์** ทรานซิสเตอร์นอกจากจะใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณแล้วยังสามารถนำมาสร้างเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ได้ โดยการป้อนกระแสเบส ( $I_B$ ) ให้กับเบสของทรานซิสเตอร์ เพื่อให้รอยต่อระหว่างคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์นำกระแสได้ และต้องจ่ายกระแสเบสให้กับทรานซิสเตอร์นำกระแสจนอิ่มตัว (Saturation) จะเกิดกระแสไหลผ่านรอยต่อคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์  $I_{C(Sat)}$  เปรียบได้ว่าสวิตช์ระหว่างจุด C และ E ทำงานได้ดังภาพประกอบ 10 และหยุดปล่อยกระแสเบสให้กับเบสของทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์จะไม่สามารถทำงานเป็นสวิตช์ได้ กระแสคอลเลคเตอร์จะไม่ไหลผ่านรอยต่ออิมิตเตอร์ ( $I_C=0$ ) ขณะนี้ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในสภาวะจุดคัตออฟ



ภาพประกอบ 10 แสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์ในสภาวะสวิตช์เปิด



ภาพประกอบ 11 แสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์ในสภาวะสวิตช์ปิด

ตำแหน่งสวิตช์เปิด      หาค่าแรงดันตกคร่อมรอยต่อระหว่างคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ได้จาก  
สูตร

$$V_{CE(Cutoff)} = V_{CC}$$

ตำแหน่งสวิตช์ปิด      หาค่ากระแสคอลเลคเตอร์ขณะอิ่มตัวระหว่าง C กับ E คือ  
 $V_{CE(Sat)} \cong 0.2V$  เมื่อเป็นซิลิกอนทรานซิสเตอร์

$$I_{C(Sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(Sat)}}{R_C}$$

ถ้าละทิ้งค่า  $V_{CE(Sat)}$  ซึ่งมีค่าน้อยมากออกไปจะได้

$$I_{C(Sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

ค่ากระแสเบสน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดค่ากระแสคอลเลคเตอร์อิ่มตัวได้จาก

$$I_{B(min)} = \frac{I_{C(Sat)}}{\beta_{CE}}$$

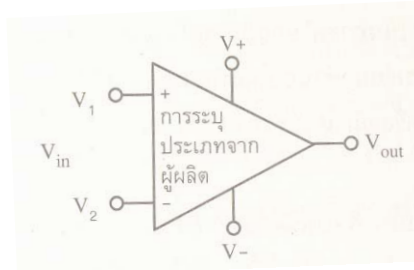
ข้อดีของการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ได้แก่ ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวสูง ดังนั้นจึงเป็นสวิตช์ปิดเปิดได้รวดเร็วมากและมีความคงทนเพราะไม่มีหน้าสัมผัสที่จะทำให้เกิดประกายไฟ (เย็น ภูสุวรรณ. 2534:39)

**3.2 ออปแอมป์ (Operational amplifier)** คือวงจรรขยายกระแสตรงที่มีอัตราขยายสูงสุด พิศมัย สุภัทธานนท์ได้กล่าวว่า คุณสมบัติที่ดีเลิศของออปแอมป์ คือ

1. อัตราขยายแบบเปิดสูงอนันต์
2. อิมพีแดนซ์อินพุต (Input impedance) เท่ากับอนันต์
3. อิมพีแดนซ์เอาต์พุต (Output impedance) เท่ากับศูนย์
4. แบนด์วิดท์ เท่ากับอนันต์
5. ออฟเซตเท่ากับศูนย์ หมายถึง แรงดันเอาต์พุตศูนย์เมื่อแรงดันอินพุตศูนย์
6. การขยับเลื่อนศูนย์เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน

โครงสร้างภายในของออปแอมป์เบอร์ 741 ประกอบด้วยไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ 17 ตัว ตัวต้านทาน 12 ตัว ตัวเก็บประจุ 1 ตัวและไดโอด 4 ตัว โดยมีสัญลักษณ์ ดังภาพประกอบ 2.11 ตัวถังของออปแอมป์ มี 2 แบบ คือตัวถังแบบโลหะกลม (TO-5) ซึ่งจะมีขา 8, 10 หรือ 12 ขา และแบบดิป (Dip dual in line) มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขาออกมาทางด้านข้าง จะมีขาตั้งแต่ 8, 14, 16, 18, 24, 28, 40 จนถึง 64 ขา แต่ที่พบมากที่สุดคือแบบ 8 ขา ซึ่งจะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมดังภาพประกอบ 12 หมายถึง วงจรรขยายทั้งหมดเครื่องหมายลบ (-) หมายถึงอินพุตกลับเฟส (Inverting input) ซึ่งสัญญาณ ac หรือ dc ที่ใช้กับทางอินพุตจะมีเอาต์พุต



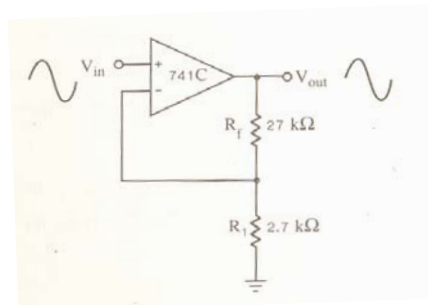
ภาพประกอบ 12 แสดงรูปสัญลักษณ์วงจรของออปแอมป์เบอร์ 741

(พิศมัย สุภัทธานนท์. 2545:36)

ต่างเฟส  $180^\circ$  ส่วนเครื่องหมายบวก (+) หมายถึงอินพุตไม่กลับเฟส (Noninverting input) คือสัญญาณ ac หรือ dc ที่ใช้อินพุตจะมีเอาต์พุตอยู่ในเฟสตรงกัน ส่วนที่เป็น  $V_+$  และ  $V_-$  เป็นส่วนที่รับแหล่งจ่ายไฟของออปแอมป์ แรงดันสูงสุดที่สามารถจ่ายเข้าระหว่างขา  $V_+$  และ  $V_-$  ของออปแอมป์โดยที่ออปแอมป์ไม่พังประมาณ 36 โวลต์ ซึ่งเกิดจากการจ่ายไฟที่ขั้วบวกและลบด้วย  $\pm 18$  โวลต์นั่นเอง

รูปแบบพื้นฐานของวงจรออปแอมป์ ซึ่งเป็นวงจรขยายสัญญาณนั้น สามารถนำมาประกอบกับวัสดุประกอบวงจรภายนอกเกิดเป็นวงจรขยายสัญญาณใหม่ ซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ กันหลายรูปแบบ ในจำนวนรูปแบบต่าง ๆ นี้ หรือกล่าวอีกทางคือวงจรที่รับสัญญาณทางด้านอินพุตแล้วขยายสัญญาณเดิมนั้นให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและไม่มีการผิดปกติ โดยสัญญาณที่ได้รับการขยายแล้วนี้จะถูกขับออกทางเอาต์พุต มีสองรูปแบบที่เป็นรูปแบบพื้นฐาน คือ วงจรขยายสัญญาณชนิดกลับเฟส และวงจรขยายสัญญาณชนิดไม่กลับเฟส

**วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting amplifier)** สัญญาณเอาต์พุตจะเป็นเพียงรูปแบบหนึ่งของสัญญาณอินพุตที่ถูกขยาย สัญญาณเอาต์พุตมีเครื่องหมายหรือขั้วเหมือนกับแรงดันทางด้านอินพุต และให้ถือว่าความต้านทานด้านอินพุตของออปแอมป์มีขนาดค่ามากเกินไป  $100M\Omega$



ภาพประกอบ 13 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

(พิศมัย สุภัทรานนท์. 2545:71)

เมื่อไม่มีแรงดันระหว่างขาอินพุตบวกกับอินพุตลบ แรงดันที่ตกคร่อม  $R_1$  คือ  $V_{in}$  ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน  $R_1$  และ  $R_2$  หาได้จาก

$$I = \frac{V_{in}}{R_1}$$

ระหว่างขั้วอินพุต (+) กับ (-) ของออปแอมป์จะมีแรงดันเสมือนศูนย์ ดังนั้นทั้งสองขั้วจะอยู่ที่ศักย์เดียวกันคือ ที่  $V_{in}$  และ  $V_{in}$  ตกคร่อม  $R_1$  ทำให้กระแส  $I$  ไหล เมื่อกระแส  $I$  ไหลผ่าน  $R_f$  จะทำให้เกิดแรงดัน  $V_{RF}$  ซึ่งหาค่าได้ดังนี้

$$V_{Rf} = I_{Rf} R_1 = \frac{R_f}{R_1} V_{in}$$

สามารถหาค่า  $V_{out}$  ได้จาก

$$V_{out} = V_{in} + \frac{R_f}{R_1} V_{in}$$

แยกตัวประกอบสมการ

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_{in}$$

อัตราขยายแรงดัน (AV) ของวงจรคืออัตราส่วนของแรงดันเอาต์พุตกับแรงดันอินพุต

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

ดังนั้นอัตราขยายแรงดันของวงจรขยายไม่กลับเฟสมีค่าเท่ากับ

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

ดังนั้นเราสามารถระบุได้ว่าอัตราขยายแรงดันในวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสจะต้องมีค่ามากกว่า 1 เสมอ ไม่ว่าจะกำหนดค่าตัวต้านทาน  $R_1$  และ  $R_f$  เท่าใดก็ตาม ยกเว้นในกรณีที่  $R_f$  เท่ากับ ศูนย์ และ  $R_1$  มีค่าประมาณอนันต์ ในสภาพแบบนี้  $A_v$  จะเท่ากับ 1 คุณสมบัติประจำตัวอย่างหนึ่งของ ออปแอมป์ที่ไม่มีการป้อนกลับ คือ อัตราขยายเปิดลูป ( $A_{OL}$ ) เมื่อการป้อนกลับจะเกิดอัตราขยายปิดลูป ( $A_{CL}$ ) ที่เท่ากับ  $A_v$  ในวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส จะมี

$$A_{CL} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

อัตราขยายลูป (AL) คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราขยายเปิดลูป กับอัตราขยายปิดลูป

$$A_L = \frac{A_{OL}}{A_{CL}}$$

ในทางปฏิบัติทุกกรณี อิมพีแดนซ์อินพุตเปิดลูป  $Z_{in}$  ของวงจรขยายไม่กลับเฟสคือ ความต้านทานอินพุตอินทรีนซิก  $Z_{iin}$  ของออปแอมป์ ในการทำงานแบบปิดลูป ค่าอิมพีแดนซ์นี้เท่ากับ

$$Z_{in} = Z_{iin} \cdot A_L$$

ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดก็ตาม อิมพีแดนซ์นี้จะสูงพอที่จะลดการโหลดวงจรอินพุต

อิมพีแดนซ์เอาต์พุต  $Z_{out}$  คือ อัตราส่วนระหว่างความต้านทานเอาต์พุตอินทรีนซิก  $Z_{iout}$  ของออปแอมป์กับอัตราขยายลูป ( $A_L$ )

$$Z_{out} = \frac{Z_{iout}}{A_L}$$

**วงจรรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส** (Inverting amplifier) สัญญาณเอาต์พุตอยู่ต่างเฟส  $180^\circ$  หรือกลับเฟสเมื่อเทียบกับสัญญาณอินพุต ตัวต้านทาน  $R_1$  เป็นองค์ประกอบอินพุตและตัวต้านทาน  $R_f$  เป็นองค์ประกอบป้อนกลับ

แรงดันเอาต์พุต ( $V_{out}$ ) ของวงจรรขยายแบบกลับเฟส คือ

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)V_{in}$$

เครื่องหมายลบ (-) มีความหมายเพียงแค่ว่าวงจรถัดไปเป็นวงจรรขยายแบบกลับเฟสเท่านั้น แต่ไม่ได้หมายความว่าค่าแรงดันเอาต์พุตลบ ยกเว้นในกรณีของแรงดันอินพุต dc บวก อัตราขยายปิดลูป (Amplifier close loop) เป็นไปตามสมการ

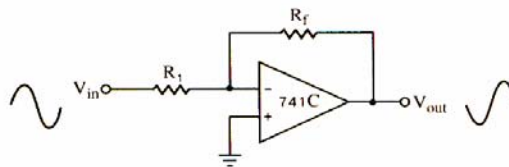
$$A_{CL} = -\frac{R_f}{R_1}$$

อัตราส่วน  $R_f$  กับ  $R_1$  จึงกำหนดว่าอัตราขยายแรงดันจะน้อยกว่า เท่ากับ หรือมากกว่าหนึ่ง ทำให้สามารถหาค่าอัตราขยายลูปได้จากสมการ

$$A_L = \frac{A_{OL}}{A_{CL}} = \frac{A_{OL}}{-\left(R_f / R_1\right)} = A_{OL}\left(-\frac{R_1}{R_f}\right)$$

อิมพีแดนซ์อินพุตของวงจรรขยายแบบกลับเฟสคือค่าองค์ประกอบอินพุตในทางปฏิบัติ ค่านี้จะน้อยกว่าค่าจากวงจรรขยายแบบไม่กลับเฟสมาก อิมพีแดนซ์เอาต์พุตในวงจรรขยายกลับเฟสหาได้

จาก  $Z_{Out} = \frac{Z_{iout}}{A_L}$  (พิศมัย สุภัทรานนท์. 2545:74)



ภาพประกอบ 14 วงจรรขยายกลับเฟส

(พิศมัย สุภัทรานนท์. 2545:74)

**3.3 วงจรคอมพาราเตอร์** (Comparator) หรือวงจรเปรียบเทียบ ใช้สำหรับเปรียบเทียบสองแรงดันอินพุตและไม่ได้ใช้สำหรับขยายสัญญาณ แล้วระบุว่าสัญญาณเหล่านั้นสัมพันธ์กันในทางใดทางหนึ่งหรือไม่ วงจรเปรียบเทียบอาจสร้างเพื่อทดสอบแอมป์ริจูด ความถี่ เฟส แรงดัน กระแส ประเภทของรูปคลื่น หรือค่าเป็นตัวเลข การสร้างอาจสร้างด้วยออปแอมป์ในโหมดเปิดลูป อุปกรณ์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากออปแอมป์มาตรฐาน วงจร

$$V_H = V_{UT} - V_{LT}$$

$$V_H = 13.5V - 10.5V$$

$$V_H = 3.0V$$

$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2}$$

$$V_{ctr} = \frac{13.5V + 10.5V}{2}$$

$$V_{ctr} = 12.0V$$

สังเกตได้ว่า  $V_{ctr}$  เท่ากับ 12 โวลต์ เป็นระดับปกติของแบตเตอรี่ และจะต้องกำหนดให้ R เท่ากับ 10 กิโลโอห์ม จากนั้นเลือก  $V_{ref}$  เท่ากับ -15 โวลต์ เพื่อให้ค่า  $m$  มีค่าเป็นบวก จะหาค่า  $m$  ได้ดังนี้

$$m = -\left(\frac{V_{ref}}{V_{ctr}}\right)$$

$$m = -\left(\frac{-15V}{12V}\right)$$

$$m = 1.25$$

ดังนั้นตัวต้านทาน  $mR = 1.25 \times 10 = 12.5$  กิโลโอห์ม

จากนั้นหาค่า  $n$  ได้จาก

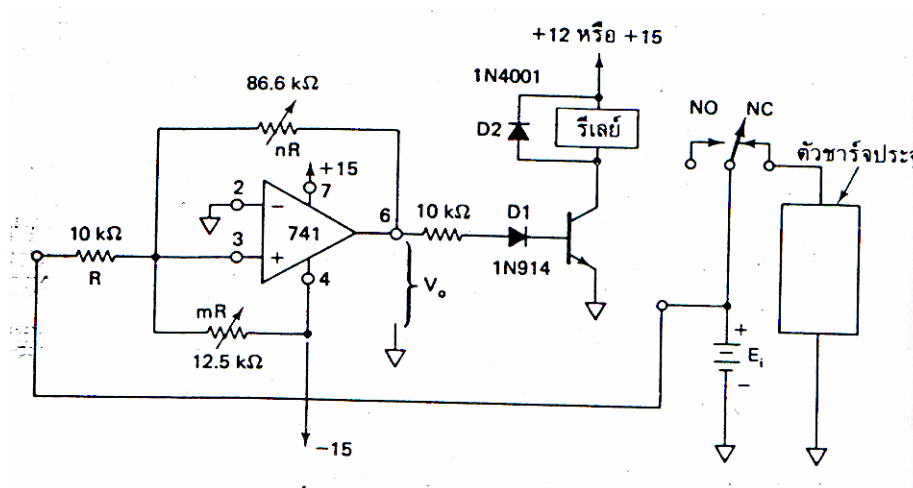
$$n = \frac{+V_{sat} - (-V_{sat})}{V_H}$$

$$n = \frac{13V - (-13V)}{3}$$

$$= 8.66$$

ดังนั้นตัวต้านทาน  $nR = 8.66 \times 10 = 86.6$  กิโลโอห์ม

จากวงจรในภาพประกอบ 2.14 เมื่อ  $E_i$  มีค่าต่ำกว่า 10.5 โวลต์  $V_o$  จะมีค่าเป็นลบ ทำให้รีเลย์อยู่ในตำแหน่งปิด ซึ่งหน้าสัมผัสของมันต่ออยู่กับตัวชาร์จไดโอด  $D_1$  ทำหน้าที่กันไม่ให้ทรานซิสเตอร์รับผลการไบอัสย้อนกลับ ขณะเมื่อ  $V_o$  หรือ  $-V_{sat}$  หลังจากที่ถูกตัวชาร์จจจะมีแรงดันเพิ่มขึ้นสูงกว่า 13.5 โวลต์ แล้ว  $V_o$  จะกลายเป็น  $-V_{sat}$  ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ส่งผลไปยังรีเลย์ หน้าสัมผัส  $Nc$  จะเปิดออกทำให้ไม่เกิดการชาร์จ ไดโอด  $D_2$  มีไว้เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์และออปแอมป์จากกระแสกระชากที่เกิดจากการลดลงของสนามแม่เหล็กของรีเลย์



ภาพประกอบ 15 วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่  
(วิโรจน์ อัครวงษ์และคณะ.2538:118)

ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งคือ วงจรในภาพประกอบ 15 เป็นวงจรแบบไม่กลับขั้ว แต่ที่ต้องการใช้งานเป็นแบบวงจรตรวจจับสนดับสัญญาณแบบกลับขั้ว คือ เมื่อ  $E_i$  ตกลงต่ำกว่า  $V_{LT}$  ต้องการให้  $V_o$  เป็น  $+V_{sat}$  และถ้า  $E_i$  สูงเกินกว่า  $V_{UT}$  ต้องการให้  $V_o$  ตกลงมาเป็น  $-V_{sat}$  ก็สามารถทำได้เพียงแต่นำเอาวงจรขยายแบบกลับขั้วหรือคอมพาราเตอร์แบบกลับขั้วมาต่อเพิ่มทางด้านเอาต์พุตเท่านั้นไม่ต้องออกแบบ วงจรใหม่

ในหัวข้ออุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการออกแบบ ผู้วิจัยได้นำแนวทฤษฎีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้เกี่ยวกับงานวิจัยนี้คือ ทรานซิสเตอร์ในส่วนของวงจรขยายสัญญาณที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณ ใช้ออปแอมป์สำหรับวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ในส่วนของวงจรใช้วงจรคอมพาราเตอร์เป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับสนดับไฟฟ้าและวงจรแรงดันอ้างอิง

**3.4 ไอซีไทเมอร์ 555** กำเนิดขึ้นครั้งแรกโดยบริษัท Signetics company ในปี 1972 เป็นอุปกรณ์ราคาถูกที่นำเชื่อถือและใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน สามารถทำงานจากแรงดันจ่ายในย่านใช้ไฟเลี้ยงตั้งแต่ +5 ถึง +18 โวลต์ สามารถใช้สร้างช่วงเวลาได้นานถึง 15 นาที ภายในไอซี 555 จะ

ขา 1 ขากราวด์ ต่อเข้ากับขากราวด์ของแหล่งจ่าย

ขา 2 เป็นขาจุดชนวนหรือทริกเกอร์ (Trigger) และขา 6 ขาจุดเริ่มเปลี่ยนหรือเทรชโฮลด์ (Threshold) ซึ่งจะต้องพิจารณาร่วมกันทั้งสองขาเพราะไอซี 555 มีสถานะการทำงาน 2 สถานะและมีสถานะการจำอยู่ 2 สถานะ รวมเป็น 4 สถานะ โดยสถานะต่าง ๆ เหล่านี้จะขึ้นอยู่กับขาสองขาและยังเป็นอินพุตไปยังวงจรเปรียบเทียบล่าง ซึ่งอินพุตจะถูกนำไปเทียบกับแรงดันจุดเริ่มเปลี่ยนล่าง  $V_{lth}$  ที่เท่ากับ  $1/3V_{CC}$  ที่กำหนดจากวงจรหารแรงดัน ขานี้ใช้สำหรับตั้งค่าแลตช์ ซึ่งส่งผลให้เอาต์พุต High การจุดชนวนเกิดจากการทำให้ระดับอินพุตที่ขา 2 เปลี่ยนจากสูงกว่าเป็นต่ำกว่า  $V_{lth}$  ขา 6 เป็นอินพุตหนึ่ง (ขา 5 เป็นอีกอินพุตหนึ่ง) ที่ส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบบนเพื่อนำไปเทียบกับแรงดันจุดเริ่มเปลี่ยนที่สูงขึ้น  $V_{uth}$  ซึ่งเท่ากับ  $2/3V_{CC}$  ที่กำหนดจากวงจรหารแรงดัน ขานี้ใช้ในการตั้งค่าแลตช์ใหม่ซึ่งส่งผลให้เอาต์พุต Low การตั้งค่าใหม่เกิดจากการทำให้ระดับอินพุตที่ขา 6 เปลี่ยนจากต่ำกว่าเป็นสูงกว่าเป็นสูงกว่า  $V_{uth}$  ย่านแรงดันที่ใช้ได้อย่างปลอดภัยกับขา 2 และขา 6 จะอยู่ระหว่าง  $V_{CC}$  กับกราวด์

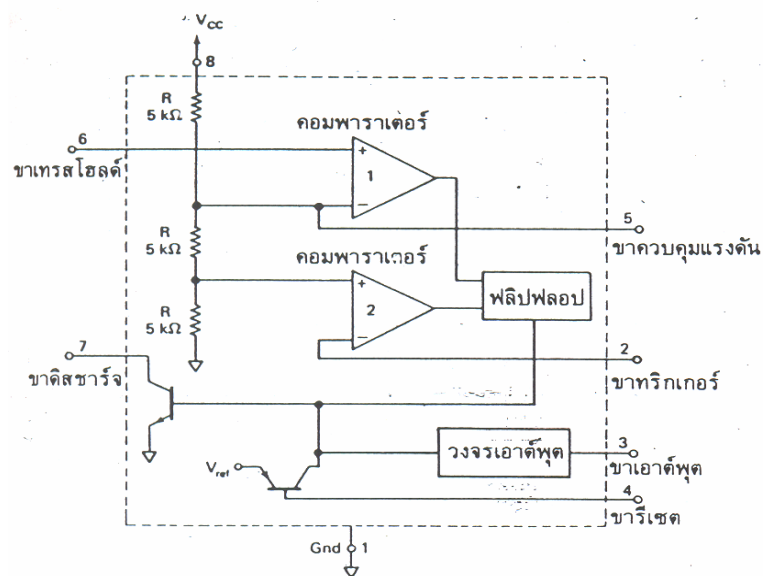
ขา 3 ขาเอาต์พุต จะสามารถเป็นได้ทั้งตัวดึงกระแสเข้า (Sink current) และตัวให้กระแสออก (Source current) โดยเมื่อสัญญาณที่เอาต์พุตมีค่าต่ำไฟเลี้ยงจากวงจรภายนอกจะไหลเข้าสู่ตัวไอซี โดยในขณะนั้น ชับพลายโหลด (Floating supply load) ซึ่งเสมือนถูกต่อลอยอยู่ จะเริ่มทำงานโดยทำหน้าที่เป็นตัวผ่านกระแสจากไฟเลี้ยงภายนอกเข้าสู่ตัวไอซี และเมื่อสัญญาณที่เอาต์พุตมีค่าสูง ไอซีจะทำตัวเป็นผู้ให้กระแสโดยปล่อยกระแสให้ไหลออกไปสู่กราวด์โหลด (Grounded load) หรือโหลดภายนอกที่ต่ออยู่กับขานี้นั่นเอง ข้อสังเกตประการหนึ่ง คือ การทำงานตามปกติ ณ เวลาหนึ่ง ๆ จะเป็นการสวิตช์หรือเลือกให้ระหว่างชับพลายโหลดและกราวด์โหลดอย่างใดอย่างหนึ่งเสมอและไม่ค่อยจะมีวงจรประยุกต์ใดที่ใช้ทั้งกราวด์โหลดและชับพลายโหลดพร้อมกันในเวลาเดียว เมื่อกระแสที่ดึงเข้าและที่จ่ายออกจากไอซีจะมีค่า 200 มิลลิแอมป์ แต่เวลาใช้จริงจะมีค่าประมาณ 40 มิลลิแอมป์ โดยขณะที่เอาต์พุตมีค่าสูงจะได้ค่าแรงดันต่ำกว่าไฟเลี้ยงไอซีประมาณ 0.5 โวลต์ และที่เอาต์พุตมีค่าต่ำจะให้แรงดันประมาณ 0.1 โวลต์ เมื่อเทียบกับกราวด์โดยดึงกระแสเข้าประมาณ 25 มิลลิแอมป์

ขา 4 เป็นขาตั้งค่าใหม่หรือรีเซ็ต (Reset) และมีฟังก์ชันโอเวอร์ไรด์ ขานี้จะทำให้ไอซี 555 ยับยั้งการทำงานและโอเวอร์ไรด์สัญญาณคำสั่งไปที่อินพุตจุดชนวนหรือทริกเกอร์ เมื่อไม่ได้ใช้งาน ขา 4

ขา 5 ขาแรงดันควบคุมหรือ Control voltage แรงดันภายนอกที่ใช้กับขา 5 จะเปลี่ยนทั้งแรงดันจุดชนวนและจุดเริ่มเปลี่ยน เนื่องจากขา 5 นี้ต่อโดยตรงกับวงจรเปรียบเทียบกับขา 5 และต่อโดยอ้อมกับวงจรเปรียบเทียบกับขา 5 โดยผ่านวงจรหารแรงดัน 2:1 ขา 5 นี้เป็นการใช้แบบเผื่อเลือก แต่เป็นขาที่ยืดหยุ่นได้มากในการปรับแต่งคาบเวลาและสามารถใช้มอดูเลทรูปคลื่นเอาต์พุตได้ เมื่อไม่ได้ใช้งานขา 5 นี้จะต้องต่อกับตัวเก็บประจุบายพาส 0.01 ไมโครฟารัด ที่อยู่ระหว่างขา 5 กับกราวด์ การทำเช่นนี้จะเบี่ยงเบนหรือบายพาสสัญญาณเสียงหรือแรงดันกระเพื่อมออกจากการจ่ายกำลัง ฉะนั้นจึงเป็นการลดผลกระทบต่อแรงดันจุดเริ่มเปลี่ยนด้วย

ขา 7 ขาดิสชาร์จหรือ Discharge ทำหน้าที่คายประจุ กล่าวคือเมื่อสัญญาณเอาต์พุตมีค่าต่ำ ขา 7 นี้ก็จะใช้เพื่อการดิสชาร์จกระแสของตัวเก็บประจุ (ตัวเก็บประจุนี้จะทำหน้าที่เกี่ยวกับการหน่วงเวลา) และเมื่อสัญญาณเอาต์พุตมีค่าสูง ขา 7 นี้ก็จะทำหน้าที่เปิดวงจร และอนุญาตให้ตัวเก็บประจุเกิดการชาร์จกระแสจากแหล่งจ่ายไฟภายนอกเข้าตัวเก็บประจุจนกระทั่งแรงดันของตัวเก็บประจุมีค่าหนึ่งที่กำหนดไว้

ขา 8 ขา  $V_{CC}$  เป็นขาต่อเข้ากับแรงดัน  $V_{CC}$  ของแหล่งจ่ายภายนอก



ภาพประกอบ 16 แสดงองค์ประกอบภายในไอซี 555

(วิโรจน์ อัครวงษ์สีและคณะ. 2538:407)

**3.5 ไอซีดิจิตอล** กฤษฎา วิศวธีรานนท์ ได้กล่าวไว้ว่า ไอซีดิจิตอลคือการรวมเอาองค์ประกอบของทรานซิสเตอร์ มอสเฟต ไดโอด ตัวต้านทานเข้าไว้ในชิป (chip) เดียวกัน โดยสามารถแบ่งไอซีดิจิตอลออกเป็น 2 ชนิด คือ TTL และ CMOS ซึ่งมีข้อแตกต่างกัน คือ ไอซีแบบ TTL ต้องใช้กันแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ผลิตพลาดได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซนต์ กินกระแสไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 8-100 มิลลิแอมป์ สามารถใช้กับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงถึง 30 เมกะเฮิร์ตซ์ได้ ส่วนไอซีแบบ CMOS จะใช้กับแหล่งจ่ายไฟ 3-16 โวลต์ กินกระแสน้อยมาก แต่ใช้กับความถี่ได้เพียง 2-5 เมกะเฮิร์ตซ์

ตาราง 1 แสดงดิจิตอลไอซีตระกูลต่าง ๆ

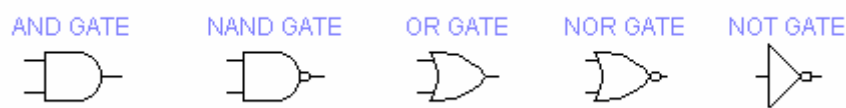
| ชื่อตระกูล                       | ชื่อไอซี  |
|----------------------------------|-----------|
| TTL normal                       | 74 xxx    |
| TTL low power                    | 74 Lxxx   |
| TTL high speed                   | 74 Hxxx   |
| TTL low power Schottky           | 74 LSxxx  |
| TTL Schottky                     | 74 Sxxx   |
| TTL advance low power Schottky   | 74 ALSxxx |
| TTL advance Schottky             | 74 ASxx   |
| TTL Fairchild's advance Schottky | 74 Fxxx   |
| CMOS 4000 series                 | CD 40 xx  |
| CMOS 4500 series                 | CD 45 xx  |
| CMOS 40H series                  | TC 40 Hxx |

(กฤษฎา วิศวธีรานนท์. (2536). ไอซีดิจิตอล : 15)

รูปร่างภายนอกและขาของไอซี จะมีทั้งแบบตัวถังและแบบดิป แต่แบบดิป (DIP) เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด ซึ่งเป็นตัวถังแบบสี่เหลี่ยม มีขาเรียงกันเป็น 2 แถว จำนวนขาของไอซีดิจิตอลจะมีตั้งแต่ 14-40 ขา ตัวถังจะทำด้วยวัสดุที่เป็นพลาสติกหรือเซรามิก

หน้าที่ของขาอินพุตและเอาต์พุต โดยที่วงจรอิเล็กทรอนิกส์จะต้องมีขั้วต่อวงจรอยู่ 3 ชนิด เสมอ คือ ขั้วอินพุตเพื่อรับสัญญาณเข้ามาในวงจร ขั้วเอาต์พุตที่จะส่งสัญญาณออกไปภายนอกไปให้วงจรอื่นต่อไป และขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งจะรับพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟมาเลี้ยงวงจรซึ่งไอซีดิจิตอลก็ต้องมีขั้วต่อทั้ง 3 เหมือนกัน โดยที่ขาที่จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟคือ ขา 7 เป็น GND และขา 14 เป็นขาไฟเลี้ยง VCC เสมอ

ในวงจรไอซีดิจิตอลประกอบด้วยองค์ประกอบที่เรียกว่า เกท (gate) ไม่ว่าจะเป็นวงจรดิจิตอลที่ซับซ้อนหรือเป็นดิจิตอลไอซีที่มีความสามารถสูงเพียงใดก็สามารถทำได้โดยใช้เกทพื้นฐานเหล่านี้นำมาต่อผสมกันได้ทั้งสิ้น เกทเป็นวงจรดิจิตอลที่เล็กที่สุด จะมีอินพุตหลายขั้ว (บางเกทอาจมีขั้วเดียว) และมีเอาต์พุตหนึ่งขั้ว เมื่อป้อนสัญญาณ “1” และ “0” เข้าที่ขั้วอินพุตในแบบต่าง ๆ จะได้ผลลัพธ์เป็น “1” หรือ “0” ที่เอาต์พุตตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ตามคุณสมบัติเกทนั้น เกทจึงทำหน้าที่เหมือนกับเป็นตัวตัดสินใจในวงจรเกทแบ่งเป็นหลายชนิดตามเงื่อนไขการตัดสินใจ ได้แก่ แอนเกท แนนเกท ออเกท นอเกท น็อทเกท เป็นต้น



ภาพประกอบ 17 สัญลักษณ์ของเกทพื้นฐาน

#### 4. รีเลย์ไฟฟ้า (Electrical Relays)

เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์มีหลักการทำงานคล้ายกับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลีนอยด์ (Solenoid) รีเลย์ใช้ในการควบคุมวงจรไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า

**4.1 ประเภทของรีเลย์** ในการใช้งานรีเลย์ทั่วไป มีหลายชนิดประเภททั้งรีเลย์สำหรับไฟฟ้าแรงสูงและไฟฟ้าแรงดันต่ำ นอกจากนั้นในส่วนของรีเลย์ไฟฟ้าแรงดันต่ำก็ยังมีหลายชนิดประเภทที่มีใช้งานกันอยู่ ทั้งนี้ในส่วนของงานวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องถึงรีเลย์ขนาดเล็กที่มีใช้งานในห้องตลาดและอุตสาหกรรมขนาดกลาง ขนาดเล็กและอุตสาหกรรมในครัวเรือนเท่านั้น สามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. รีเลย์กำลัง (Power relay) หรือมักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์ (Contactor or Magnetic Contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา

2. รีเลย์ควบคุม (Control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนักหรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุมบางที่เรียกกันง่าย ๆ ว่ารีเลย์

**4.2 หน้าที่ของรีเลย์** คือ การใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนน้อยเพื่อไปควบคุมการตัดต่อกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก รีเลย์ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งอื่นๆ ของระบบไฟฟ้าได้ สายไฟฟ้าควบคุมให้รีเลย์ทำงานเป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็กต่อเข้ากับสวิทช์ควบคุมและคอยล์ของของรีเลย์ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอยล์อาจจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบการใช้ รีเลย์ แต่ตามท้องตลาดทั่วไปจะเป็นคอยล์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นส่วนใหญ่ ทำให้สามารถควบคุมวงจรจากระยะไกล (Remote) ได้ ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมกำลังไฟฟ้า

#### 4.3 โครงสร้างและส่วนประกอบ ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

4.3.1 ส่วนเคลื่อนที่ ทำหน้าที่ในการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังภาระทางไฟฟ้าเป็นส่วนของการสวิทช์ ซึ่งการคือหน้าสัมผัส (Contact) นั้นเอง มีอยู่ 2 ส่วน คือ หน้าสัมผัสปกติปิด (Normally Close; N.C) และหน้าสัมผัสปกติเปิด (Normally Open; N.O) และมีขาร่วม (Common) อยู่ตรงกลาง ในสภาวะปกติเมื่อไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระตุ้นเข้าคอยล์ สนามแม่เหล็กจะไม่มีการเหนี่ยวนำให้หน้าสัมผัสเกิดการตัดต่อหน้าสัมผัส แบบปกติปิดหน้าสัมผัสจะต่ออยู่กับขาร่วม หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด จะเปิดหน้าสัมผัส แต่เมื่อมีกระแสไฟฟ้ากระตุ้นจะเปลี่ยนสภาวะกันทันที หน้าสัมผัสปกติปิดจะเปิดออก และหน้าสัมผัสปกติเปิดจะต่อเข้ากับขาร่วมทันที ในรีเลย์ 1 ตัว อาจมีหน้าสัมผัสมากกว่า 1 ชุด เช่น 2 ชุด, 4 ชุด ก็ได้แล้วแต่บริษัทผู้ผลิตออกแบบไว้

#### 4.3.2 ส่วนอยู่กับที่ ประกอบด้วยส่วนประกอบ 4 ส่วนสำคัญด้วยกัน คือ

4.3.2.1 คอยล์แม่เหล็ก (Magnetic coil) ประกอบด้วยขดลวดจำนวนหลายรอบพันอยู่รอบ ๆ แกนเหล็ก ทำหน้าที่ในการสร้างสนามแม่เหล็ก มีทั้งชนิดที่ทำงานด้วยไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ

4.3.2.2 แกนเหล็ก (Armature) ผลิตจากแผ่นเหล็กบางซ้อนอัด (Laminated Sheet Steel) เพื่อป้องกันกระแสไหลวนในแกนเหล็กอันเป็นสาเหตุให้เกิดความร้อนขึ้นในแกนเหล็ก และเกิดการสูญเสียพลังงานขึ้น แกนเหล็กนี้เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก แกนเหล็กมีขดลวด (coil) พันอยู่รอบ ๆ เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็ก (flux) อันเนื่องมาจากขดลวดหลักที่สร้างสนามแม่เหล็ก (main coil) ซึ่งเป็นผลมาจากกระแสสลับซึ่งทำให้เส้นแรงแม่เหล็กจากสูงสุดลงไปต่ำสุด และขึ้นไปสู่จุดสูงสุดอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นผลให้อาร์เมเจอร์เกิดการสั่น (Chatter) ไปมาตามจังหวะการขึ้นลงของเส้นแรงแม่เหล็ก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหานี้จึงได้นำขดลวดเงา (shading Ring) จำนวน 1 รอบติดเข้ากับผิวหน้าของขั้วแม่เหล็กอาร์เมเจอร์ ขดลวดเงานี้ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่ต่างเฟสกับเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กหลักจึงช่วยลดการสั่นได้

4.3.2.3 สปริงดันอาร์เมเจอร์และสปริงดันหน้าสัมผัส (Spring) สปริงมี 2 ชุด คือ สปริงดันอาร์เมเจอร์ และสปริงดันหน้าสัมผัส สำหรับสปริงดันอาร์เมเจอร์จะดันอาร์เมเจอร์หรือชุดแกนเหล็กให้แยกออกจากกัน และเป็นผลทำให้หน้าสัมผัสแยกออกจากกัน ส่วนสปริงดันหน้าสัมผัส ทำหน้าที่ดันหน้าสัมผัสส่วนเคลื่อนที่และหน้าสัมผัสส่วนที่อยู่กับที่สัมผัสกันอย่างตึงแน่นสนิท และยังเป็นตัวชั่งรับแรงกระแทก (Shock Absorber) ระหว่างหน้าสัมผัสเพื่อมิให้เกิดความเสียหายต่อหน้าสัมผัสอีกด้วย

4.3.2.4 โครงยึดอุปกรณ์ (Mounting) โครงยึดอุปกรณ์ทำหน้าที่ในการยึดอุปกรณ์ทุกส่วนของรีเลย์ให้ประกอบเข้าด้วยกัน โครงยึดอุปกรณ์จะต้องเป็นฉนวนทนแรงดันสูง

**4.4 ข้อจำกัดของรีเลย์** ถึงแม้ว่ารีเลย์จะเป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานเป็นวงจร H-Bridge switching ได้ง่าย ไม่ยุ่งยากก็ตาม แต่รีเลย์นั้นเป็นอุปกรณ์แม่เหล็กที่มีส่วนเคลื่อนไหวทางกล เพราะฉะนั้นก็มีข้อจำกัดทางกลอยู่บ้างเช่น

4.4.1 ผลกระทบของการตอบสนอง เมื่อรีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่มีความเร็วในการทำงานต่ำ เช่น รีเลย์ชนิดแรงดันต่ำ (กระตุ้นขดลวดไม่เกิน 24v) จะใช้เวลาในการทำงานประมาณ 10 - 50 ms และรีเลย์ขนาดใหญ่ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น อาจใช้เวลาในการทำงานมากกว่า 100 ms

4.4.2 ผลกระทบจากอำนาจแม่เหล็ก เนื่องจากรีเลย์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็ก จะมีการไปรบกวนการทำงานของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ซึ่งการแก้ไขอาจมีหลายวิธี เช่น

1. แยกกราวด์ คือ การแยกกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และแหล่งจ่ายไฟกระตุ้นรีเลย์ ออกจากกันโดยใช้อุปกรณ์ Opto Coupler

2. แยกบอร์ด คือ การแยกการทำงานในส่วนของวงจรรีเลย์ ออกไปจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการชิลด์ให้ดี

3. ลดขนาดแรงดันกระตุ้น คือ การเปลี่ยนตัวรีเลย์ เช่น เปลี่ยนจากรีเลย์ขนาด 24v. มาเป็นขนาด 12v.

ในการวิจัยครั้งนี้มีรีเลย์เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ทดสอบ ซึ่งรีเลย์ที่ใช้ทดสอบเป็นรีเลย์ชนิดรีเลย์กำลังหรือคอนแทคเตอร์ ที่ใช้ควบคุมการทำงานของโหลด และมีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ควบคุม

## 5. ประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์ตามมาตรฐาน IEC 255-23

มาตรฐาน IEC (International Electrotechnical commission) เป็นมาตรฐานนานาชาติที่ได้รับความนิยมมากที่สุดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ใช้สำหรับการอ้างอิงทั่วโลก มาตรฐาน IEC ที่ใช้

ตาราง 2 แสดงส่วนอ้างอิงการทดสอบของมาตรฐาน IEC 255-23

| ข้อมูลอ้างอิง                         | ส่วนอ้างอิง                                          |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Characteristics of test circuit       | Table 1 หน้า 23                                      |
| Standard test circuit                 | Figure A.1 Annex A หน้า 35                           |
| Categories of application of Contacts | B.4 Annex B หน้า 39                                  |
| Assessment of test results            | Table C.1 Annex C หน้า 43                            |
| Rated voltages                        | Standard rated and preferred values 3.1.1<br>หน้า 15 |
| Rated currents                        | Standard rated and preferred values 3.1.2<br>หน้า 16 |
| Frequency of operation                | Standard preferred values 3.2.1 หน้า 17              |
| Contact-circuit resistance            | Standard preferred values 3.2.3 หน้า 17              |

เนื่องจากการทดสอบรีเลย์ไฟฟ้ามีการทดสอบในหลาย ๆ ด้าน แต่ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการทดสอบในด้านความทนทานของหน้าสัมผัส จึงอาศัยค่าแรงดันตกคร่อมหน้าสัมผัสเป็นตัวกำหนดค่ามาตรฐานในการวิจัย ซึ่งปรากฏในมาตรฐาน CEI IEC 61810-7 Part 7: Test and measurement procedures หน้า 75 กล่าวว่า ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจะสามารถกำหนดได้จากค่าแรงดันตกคร่อมหน้าสัมผัสมีค่าน้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันใช้งานปกติก่อนที่หน้าสัมผัสทั้งคู่จะอยู่ในสภาวะเปิดวงจร นั้นหมายความว่า ในสภาวะการทำงานเมื่อมีแรงดันตกคร่อมหน้าสัมผัสมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันปกติจะเกิดข้อบกพร่องที่ยอมรับไม่ได้ขึ้น ผู้วิจัยจึงได้นำเอาแนวคิดนี้มาสร้างเป็นเครื่องทดสอบรีเลย์ในด้านความทนทานของหน้าสัมผัสรีเลย์ไฟฟ้าชนิดรีเลย์ควบคุมขนาดเล็ก พิกัดแรงดันเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ โดยทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ซึ่งต้องใช้ค่าภาระไฟฟ้าในการทดสอบ 12 โอห์ม ตามกฎของโอห์มที่กล่าวไว้ว่า “ในวงจรไฟฟ้าปิดใด ๆ กระแสไฟฟ้าย่อมแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้าและแปรผกผันกับความต้านทานไฟฟ้า”

การหาประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบบรีเลย์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น หาได้จากผลของการวัดค่าโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบ หมายถึง การตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ที่จะนำมาทดสอบบรีเลย์ควบคุมที่ขั้วทดสอบของเครื่องทดสอบบรีเลย์ เกณฑ์ประเมินผ่าน คือ มีค่าแรงดันทดสอบอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าเกณฑ์มาตรฐาน

2. ค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบ หมายถึง การตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหน้าสัมผัสและตัวต้านทานทดสอบระหว่างการทดสอบ 1 แอมแปร์ เกณฑ์ประเมินผ่าน คือ มีค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าเกณฑ์มาตรฐาน

3. ค่าความต้านทานที่นำมาทดสอบ หมายถึง การตรวจวัดค่าความต้านทานบริสุทธิ์ 12 โอห์ม ชนิดคงค่าแบบเซรามิกที่นำมาเป็นภาระทางไฟฟ้าในการทดสอบตามวงจรอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 255-15 เกณฑ์ประเมินผ่าน คือ มีค่าความต้านทานทดสอบอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าที่ระบุจากบริษัทผู้ผลิต

4. จำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัส หมายถึง การตรวจสอบตัวเลขที่ปรากฏบนจอแสดงผลของระบบการแสดงผลเริ่มจากเลข 1 เป็นต้นไป มีความชัดเจนและหยุดค้างการนับไว้เมื่อวงจรสั่งให้หยุดการนับเนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมหน้าสัมผัสมากกว่ามาตรฐาน และจะทำงานอีกครั้งเมื่อมีการรีเซ็ตการทำงานหรือปิดเครื่องทดสอบ เกณฑ์ประเมินผ่าน คือ มีจำนวนครั้งการตัดต่ออยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการตัดต่อ ของบรีเลย์มาตรฐานทุกตัวที่นำมาทดสอบ

5. ค่าความต้านทานของหน้าสัมผัส หมายถึง การตรวจวัดค่าตัวเลขที่ได้จากวัดหน้าสัมผัสบรีเลย์เมื่อเครื่องหยุดการทดสอบบรีเลย์ ด้วยโอห์มมิเตอร์มาตรฐานแบบดิจิตอล มีเกณฑ์ประเมินผ่าน คือ มีค่าความต้านทานอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานหน้าสัมผัสที่วัดได้ทั้งหมด

## 6. สมรรถนะการทำงานของเครื่องทดสอบบรีเลย์

สมรรถนะการทำงาน คือ ความสามารถในการทำงานของเครื่องทดสอบที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น จากการประเมินผลสมรรถนะเครื่องทดสอบบรีเลย์โดยผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ชำนาญการ ที่มีประสบการณ์ในด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ตอบแบบสอบถามและประเมินผลด้านกายภาพ ด้านการใช้งานและด้านการซ่อมแซมและบำรุงรักษา ของเครื่องที่สร้างขึ้น จำนวน 5 คน โดยการประเมินผลแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ซึ่งกำหนดค่าคะแนน (Weight) ออกเป็น 5 ระดับตามวิธีของลิเคอร์ (รวิวรรณ ชินะตระกูล.2538 : 92) ได้ดังนี้

5 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

4 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับ ดี

3 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้

2 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับควรปรับปรุง

1 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

แบบประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบบรีเลย์ มีจำนวน 3 ด้าน คือ

1. ด้านกายภาพ

2. ด้านการใช้งาน

3. ด้านการซ่อมแซมและบำรุงรักษา

โดยผู้เชี่ยวชาญหรือชำนาญการ ได้ประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบบรีเลย์แล้วต้องสรุปผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบบรีเลย์ออกมาได้ผ่านตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้

## 7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฏพล ฉลุทอง. (2546:79-82) ได้ออกแบบวงจรตัวรับปลดล็อก ในขั้นตอนการออกแบบผู้วิจัยได้ออกแบบตัวรับปลดล็อกโดยมีส่วนประกอบของวงจรดังนี้ คือ วงจรตรวจสอบค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า วงจรตรวจสอบไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เกณฑ์ในการประเมินหาประสิทธิภาพ คือ ตัวรับปลดล็อกจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าความต้านทานอยู่ระหว่าง 2.5-900 โอห์ม แล้วนำมาประเมินหาประสิทธิภาพและการประเมินสมรรถนะของตัวรับปลดล็อกโดยผู้เชี่ยวชาญ ในการหาค่าสมภาวะค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ช่วง คือ ช่วงความต้านทาน 0-2.4 โอห์ม, 2.5-900 โอห์มและ901-10,000 โอห์ม ปรากฏผลการใช้งานว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

นราดล โชติวรรณพร (2543:92-96) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบบรีเลย์ควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีหลักการในการออกแบบคือ กำหนดพิกัดของเครื่องทดสอบ กำหนดหลักการทำงานของเครื่องทดสอบ ออกแบบส่วนของวงจรกำลัง ออกแบบชุดควบคุม ออกแบบส่วนของ การแสดงผล การออกแบบและการพิจารณาเลือกใช้สเปกมอเตอร์ ออกแบบลักษณะโครงสร้างของเครื่องทดสอบ กำหนดการสอบเทียบค่ากระแสและเวลา ในขั้นตอนการทดสอบผู้วิจัยได้นำเครื่องทดสอบบรีเลย์ที่สร้างขึ้นไปทดสอบกับบรีเลย์มาตรฐาน ภายใต้มาตรฐาน IEC255-6 ปรากฏว่าได้ผลไม่แตกต่างจากเครื่องทดสอบจากต่างประเทศ

ประสงค์ สืบชาติ. (2545:81-85) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบความเป็นฉนวนของเครื่องใช้ไฟฟ้า. ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้ทดแทนเครื่องตรวจสอบความเป็นฉนวนที่นำเข้า

พนม เสือสืบพันธ์ (2545:85-89) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซี โดยประกอบด้วยชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์ สามารถปรับคลื่นคาบเวลาของรูปคลื่นได้ตั้งแต่ 1-99 มิลลิวินาที ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 0-30 โวลต์ โดยกระบวนการสร้างเริ่มจากการศึกษารายละเอียดของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ในการชุบกรอบขาไอซี ออกแบบวงจรต่าง ๆ ทดลองการใช้งาน และศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องจ่ายสัญญาณพัลส์โดยมีค่าการกระเพื่อมของกระแสไฟฟ้าที่ 5 เปอร์เซ็นต์ของค่าที่ตั้งค่าการกระโดดของกระแสที่ต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ของค่าที่ปรับตั้งเวลาในการตั้งตัวของรูปคลื่นหรือเวลาได้ขึ้นน้อยกว่า 1/10 ของความกว้างพัลส์ต่ำสุด ผลปรากฏว่าเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุปเคลือบผิวกรอบขาไอซีมีประสิทธิภาพในเกณฑ์ดี

พีรเชษฐ์ ศรีชัย (2546:61-65) ได้พัฒนาเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน โดยทำการทดสอบวัดค่าความถี่ทดสอบ 3 ช่วง พบว่าไม่มีค่าความแตกต่างกันในช่วงความถี่ทดสอบ 50-500 เฮิร์ตซ์ และช่วงความถี่ทดสอบ 550-1,000 เฮิร์ตซ์ จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญทดสอบใช้เครื่องตรวจความสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานและประเมินสมรรถนะของเครื่องใน 3 ด้านคือ ด้านกายภาพ ด้านการใช้งานและด้านการบำรุงรักษา ผลปรากฏว่า ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี มีสมรรถนะในด้านกายภาพอยู่ในระดับดี ด้านการใช้งานอยู่ในระดับดีและด้านการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์ดี

#### งานวิจัยต่างประเทศ

จิน เคีย, เจฟรี่ เอช แลง, อเล็กซานเดอร์ เอช สโลคัม, ราฟ สตรัมเพลอร์ (Jin Qiu, Jeffrey H Lang, Alexander H. Slocum, Ralf Strumpler, Massachusetts Institute of Technology, n.d.) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าสูงสุดอันเนื่องมาจากความร้อนจากไฟฟ้าที่เกิดขึ้นชั่วขณะ ของ MEMS รีเลย์ ซึ่งผลอันเกิดจากการเคลื่อนที่ทางกลชั่วขณะจะทำให้เกิดกำลังจริงขึ้นเป็นศูนย์ทั้งในสถานะเปิดและปิดหน้าสัมผัสรีเลย์ แต่ผลอันเกิดจากความร้อนไม่เป็นเช่นนั้น ผลการศึกษาพบว่า ในสถานะเปิดวงจร หน้าสัมผัสรีเลย์จะมีค่ามากกว่า 200 โวลต์และในสถานะปิดวงจร จะมีค่าความต้านทานต่ำสุดรวม 60 มิลลิโอห์ม และมีค่ากระแสสูงสุด 3 แอมแปร์ที่ค่าพิกัดการสวิตช์สูงสุด 5 เฮิร์ตซ์

ลี, เจ บี จุง, ซี เอช คิม, ไอ ดี เบริก. (Lee, J.B. Jung, C.H. Kim, I.D. Baek, Y.K. 1999) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การทดสอบและการวิเคราะห์คุณสมบัติของรีเลย์ป้องกัน ในเรื่องค่าพอลต์อิมพีแดนซ์สูงในสายส่ง โดยได้ทดสอบกับรีเลย์แบบ Mho ชนิด Distance relay, Quadrilateral relay, และรีเลย์แบบ PCM ชนิด Current differential relay ผลจากการศึกษาพบว่า ในการทดสอบรีเลย์จะต้องใช้ 4 วิธีการที่รวมเอาระบบรูปแบบกำลังและระบบกำลังไฟฟ้าจริงมาใช้ ซึ่งได้แก่ PSCAD, EMTDC, RTDS, RTPS การทดสอบและการวิเคราะห์คุณสมบัติของรีเลย์ป้องกันจะต้องเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ คือ ค่าคุณสมบัติอิมพีแดนซ์ผันแปรโดยจะใช้ EMTDC ในโครงสร้างที่อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายและโหลดผันแปรด้วย

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยพบว่ายังไม่มีมีการวิจัยเรื่องการสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ควบคุมซึ่งเป็นรีเลย์ขนาดเล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็ก แต่มีเพียงงานวิจัยของนราดล โชติวรรณพร ได้ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทดสอบกับรีเลย์กระแสเกิน (Over Current Relay) ซึ่งเป็นรีเลย์ในระบบไฟฟ้าแรงสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการสร้างเครื่องทดสอบหน้าสัมผัสรีเลย์ไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยทดสอบกับรีเลย์ชนิดรีเลย์ควบคุมซึ่งเป็นการทดสอบรีเลย์ที่ใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดกลางและย่อม อุตสาหกรรมในครัวเรือน โดยการทดสอบหาค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหน้าสัมผัส กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหน้าสัมผัสและความต้านทานของหน้าสัมผัสเมื่อมีการทำงาน โดยการเปรียบเทียบกับจำนวนครั้งในการทำงาน เพื่อแก้ไขปัญหาที่ไม่สามารถทราบจำนวนครั้งที่แน่นอนในการทำงานของรีเลย์ทำให้ต้องสูญเสียต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์มากยิ่งขึ้น

### บทที่ 3

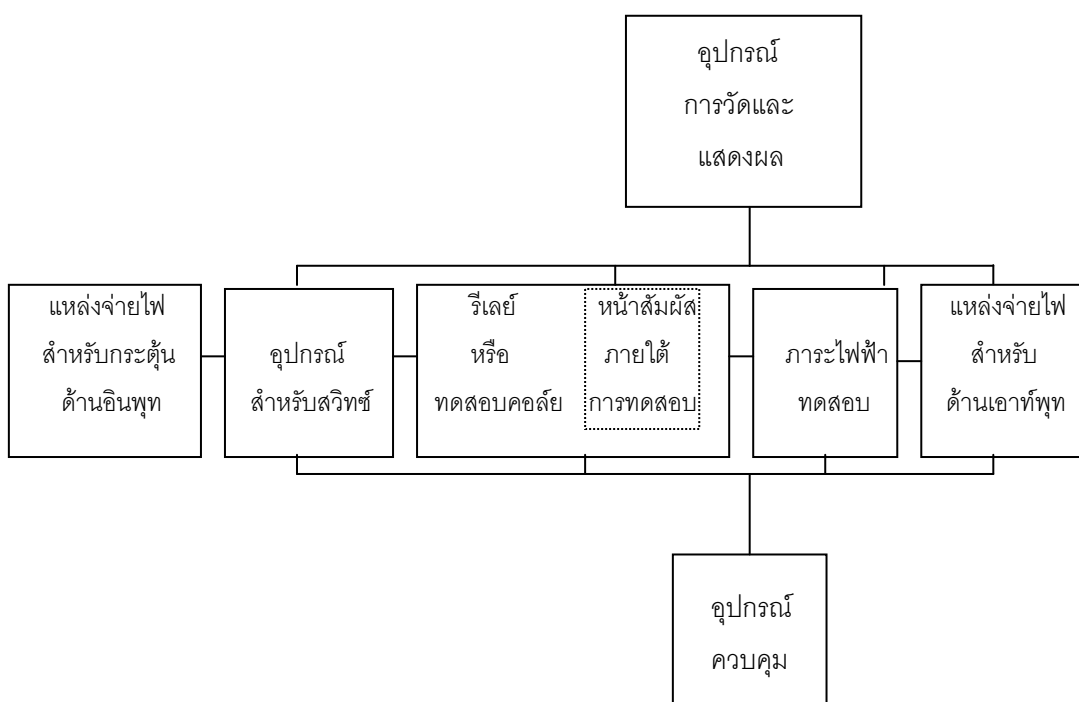
#### วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์และวัสดุอุปกรณ์
2. การหาประสิทธิภาพและประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์
3. เครื่องมือวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

#### 1. การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์และวัสดุอุปกรณ์

เครื่องทดสอบรีเลย์ประกอบด้วยวงจรไฟฟ้า วงจรอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ประกอบ โดยสร้างวงจรสัมพันธ์กับบล็อกไดอะแกรมการทดสอบความทนทานของรีเลย์ไฟฟ้า ตามมาตรฐาน IEC 255-15 ดังภาพประกอบ 17

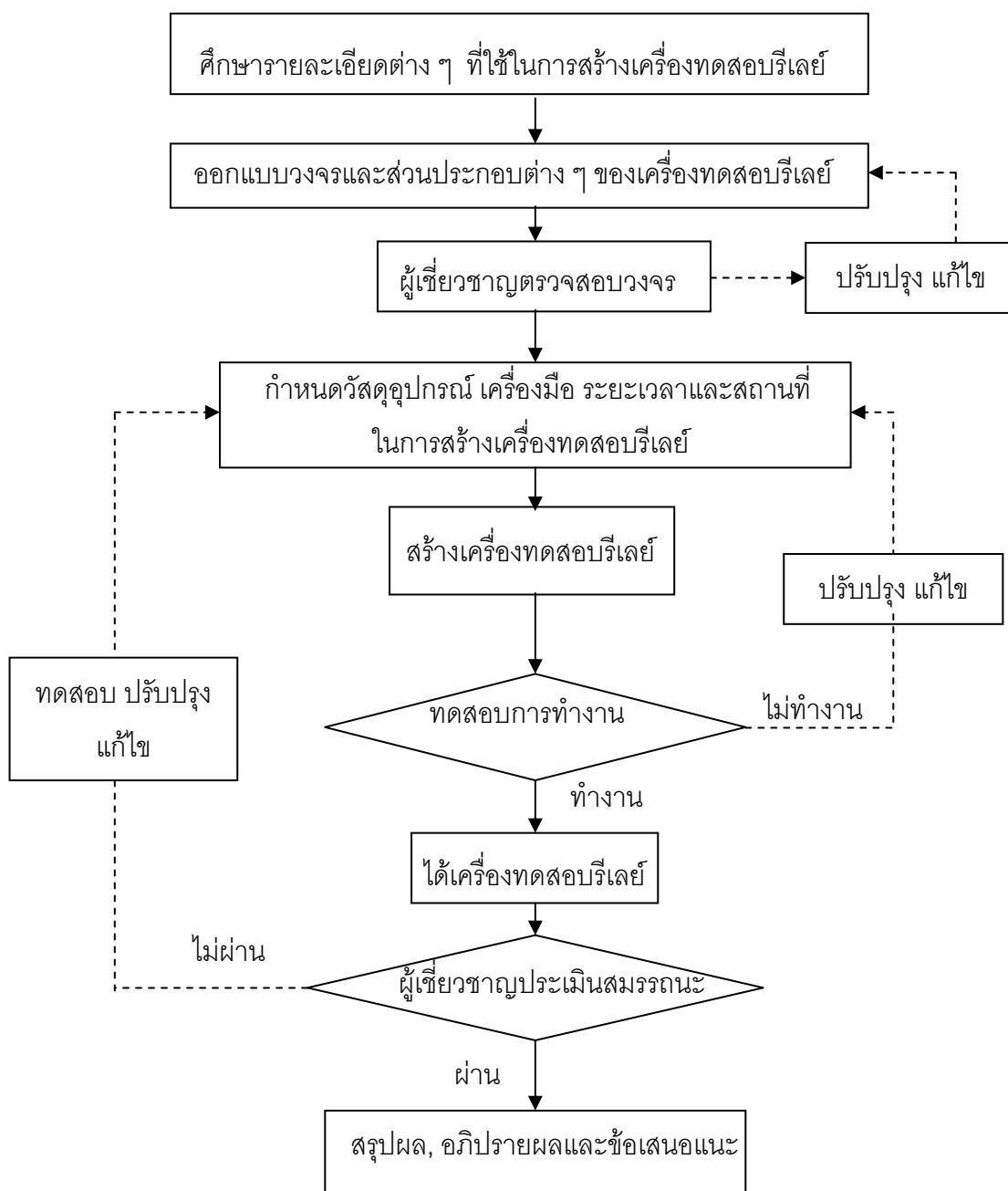


ภาพประกอบ 18 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบความทนทานของอุปกรณ์

(IEC Standard Publication 255-15. 1981:9)

### 1.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

มีแผนงานการปฏิบัติงานดำเนินการวิจัย เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ ตามขั้นตอนดังนี้



ภาพประกอบ 19 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

## 1.2 ศึกษาทฤษฎีและข้อมูล

1.2.1 ศึกษาข้อมูลเครื่องมืออุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ

1.2.2 ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องและส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จะนำมาดำเนินการสร้าง

1.2.3 ศึกษากระบวนการควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์

## 1.3 รวบรวมข้อมูลและออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่าง ๆ

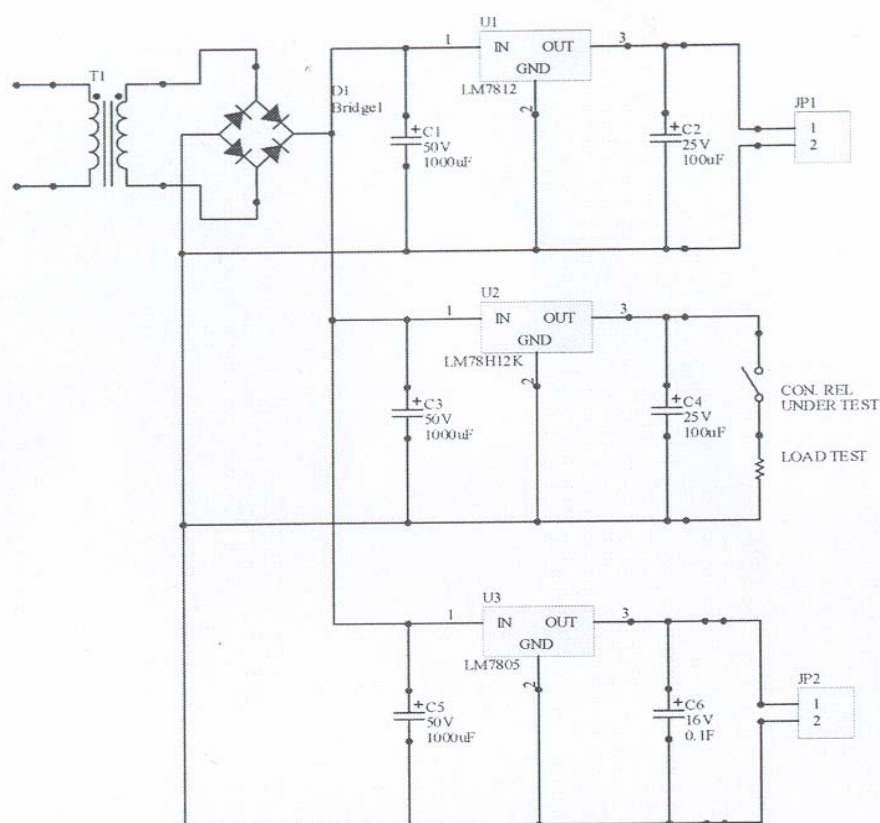
ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหา รวบรวมข้อมูลทฤษฎีต่าง ๆ ของเครื่องทดสอบรีเลย์และนำหลักการที่ได้มาออกแบบตามขั้นตอน ดังนี้

1.3.1 รวบรวมข้อมูลการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ไปใช้งาน ให้เกิดผลตามขอบเขต จากตำรา วารสาร เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.3.2 ออกแบบโครงสร้างและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยการนำข้อสรุปที่ได้จากการศึกษา มาออกแบบโครงสร้างของเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยอาศัยขอบเขตการวิจัยมาทำการออกแบบให้ครอบคลุมและกำหนดวัสดุอุปกรณ์ที่จะทำการสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ขึ้น

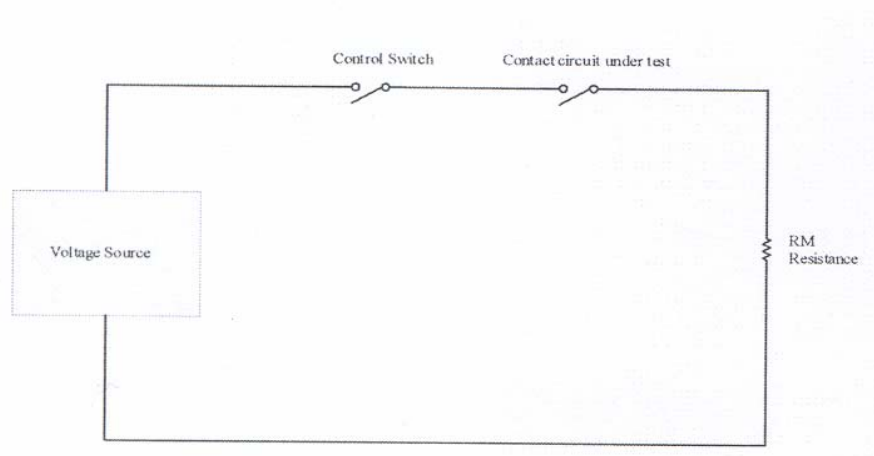
1.3.3 ออกแบบวงจรควบคุมการทำงานทั้งวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

1.3.3.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า ประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับวงจรการทดสอบของเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าหือ EPS ขนาด 220/15 โวลต์ จำนวน 1 ตัว ทางด้านปฐมภูมิรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับพิกัด 220 โวลต์ ผ่านฟิวส์หลอดแก้วพิกัดทนกระแส 10 แอมแปร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร ทางด้านทุติยภูมิจ่ายแรงดันไฟฟ้าพิกัด 15 โวลต์ จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 3 แอมแปร์ผ่านวงจรเรียงกระแสเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้ไดโอดบริดจ์เบอร์ CP606 พิกัดแรงดัน 600 โวลต์ พิกัดกระแสสูงสุด 8 แอมแปร์ จากนั้นแยกจ่ายให้กับวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 3 วงจร โดยแต่ละวงจรจะผ่านไอซีเรกกูเลเตอร์เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ วงจรแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรควบคุมการทำงานของคอล์ยรีเลย์ ซึ่งเลือกใช้รีเลย์กระแสตรง พิกัดแรงดันไฟฟ้าจ่ายให้คอล์ยรีเลย์ 12 โวลต์ ดังนั้นแรงดันของวงจรนี้เท่ากับ 12 โวลต์ รักษาระดับแรงดันให้คงที่ด้วยไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ MC7812CT พิกัดแรงดัน 12 โวลต์ จ่ายกระแสได้สูงสุด 1 แอมแปร์ ซึ่งวงจรที่ต่อใช้งานสามารถทำงานได้สมบูรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้ วงจรแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรทดสอบหน้าสัมผัสรีเลย์ ซึ่งในวงจรทดสอบเลือกใช้ตัวต้านทานขนาด 12 โอห์ม ทดสอบด้วยระดับแรงดัน 12 โวลต์ เพื่อให้ได้กระแสทดสอบจำนวน 1 แอมแปร์ ดังนั้นวงจรแหล่งจ่ายไฟชุด



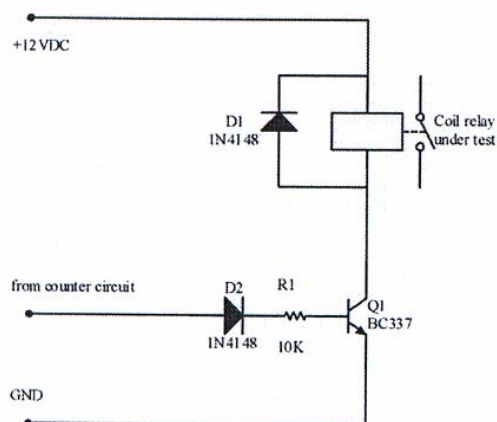
ภาพประกอบ 20 วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับเครื่องทดสอบรีเลย์

1.3.3.2 วงจรทดสอบหน้าสัมผัสรีเลย์ อ้างอิงวงจรการทดสอบจากมาตรฐาน IEC 255-15 ทดสอบความคงทนของหน้าสัมผัสรีเลย์ โดยเลือกใช้ค่าแรงดันทดสอบ 12 โวลต์ ความต้านทานทดสอบ 12 โอห์ม เพื่อให้ได้กระแสทดสอบจำนวน 1 แอมแปร์



ภาพประกอบ 21 วงจรการทดสอบหน้าสัมผัสรีเลย์

1.3.3.3 วงจรควบคุมการทำงานของคอล์ยรีเลย์ เลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC337 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของคอล์ยรีเลย์ ทำงานที่ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ใช้ไดโอดเบอร์ 1N4148 คร่อมที่คอล์ยรีเลย์เนื่องจากป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็ก ในขณะที่คอล์ยรีเลย์ทำงาน สัญญาณควบคุมการทำงานของวงจรนี้มาจากวงจรควบคุมการนับซึ่งผ่านไดโอด 1N4148 ตัวที่ 2 ทางด้านขาแอนโอด จะทำให้มีแต่ไฟบวกเท่านั้นที่ทำการกระตุ้นที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ทำงานในขณะที่กระตุ้นไฟบวกเข้าที่ขาเบสเท่านั้น จากนั้นทำการลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการทำงานของทรานซิสเตอร์ด้วยตัวต้านทานคงที่ขนาด 10 กิโลโอห์ม



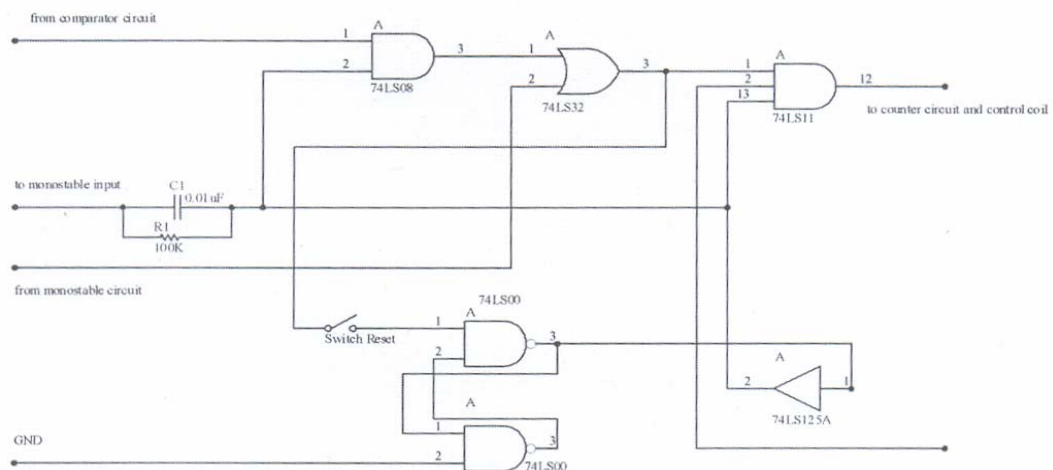
ภาพประกอบ 22 วงจรควบคุมการทำงานของคอล์ยรีเลย์

#### 1.3.3.4 วงจรควบคุมการนับและหยุดนับการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์

(Counter circuit) วงจรจะเริ่มทำการนับเมื่อเกิดสวิตช์จากวงจรสวิตช์ควบคุมการนับ และจะหยุดนับเมื่อวงจรเปรียบเทียบแรงดันทำการส่งสัญญาณไฟฟ้าออกมาที่ขาเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ในวงจรนี้มันจะประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 5 วงจร ซึ่งแต่ละวงจรจะทำงานสัมพันธ์กันโดยแต่ละวงจรมีรายละเอียดดังนี้

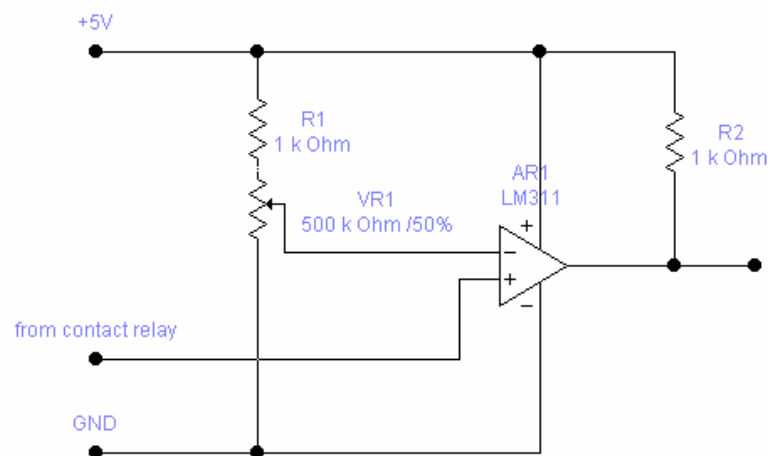
##### 1.3.3.4.1 วงจรตรวจจับสัญญาณ (Signal detector Circuit) ซึ่ง

ใช้ไอซีทีทีแอล (TTL) เบอร์ 74LS11 ซึ่งเป็นไอซี แอนเกต (AND Gate) 3 อินพุต เป็นตัวควบคุมการทำงาน ซึ่งไอซีเบอร์นี้จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณดิจิทัลที่ขาอินพุตทั้ง 3 ขา เมื่อทุกขาอินพุตได้รับสัญญาณดิจิทัลเป็น 1 จะทำให้ขาเอาต์พุตส่งสัญญาณเป็น 1 แต่เมื่อขาอินพุตขาใดขาหนึ่งมีสัญญาณดิจิทัลเป็น 0 เอาต์พุตจากมีสัญญาณเป็น 0 ทันที ขาอินพุตทั้งสามนี้ทำหน้าที่เป็นหัวใจของการควบคุมของวงจรนี้เนื่องจากเป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณแล้วส่งให้คอลย์รีเลย์ทำงานหรือหยุดทำงาน โดยที่อินพุตขาที่ 1 รับสัญญาณมาจากอินเวอร์เตอร์ 3 สถานะซึ่งเป็นไอซีทีทีแอลเบอร์ 74LS125A ซึ่งอินเวอร์เตอร์นี้จะทำหน้าที่กลับสัญญาณที่มาจากวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ เพื่อนำพัลส์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับสัญญาณขาอื่น ๆ อินพุตขาที่ 2 รับสัญญาณมาจากวงจรสวิตช์ควบคุมการทำงาน อินพุตขาที่ 3 รับสัญญาณมาจากไอซีทีทีแอลเบอร์ 74LS32 ซึ่งเป็นไอซี OR GATE ที่จะให้เอาต์พุตเป็น 0 เมื่ออินพุตทั้งสองมีสถานะเป็น 0



ภาพประกอบ 23 วงจรตรวจจับสัญญาณ

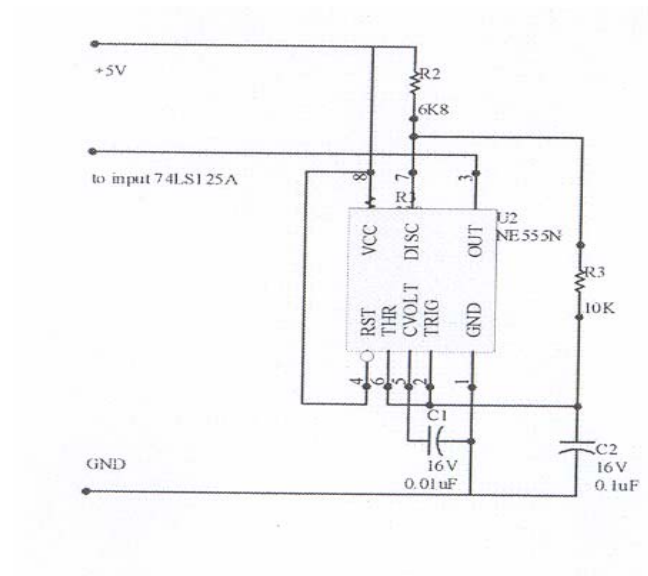
1.3.3.4.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) โดยใช้ไอซีเบอร์ LM311 เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อมหน้าสัมผัส โดยปกติในกรณีไม่มีค่าความต้านทานเกิดขึ้นหน้าสัมผัสสภาวะปิดจะมีค่าความต้านทานเป็น 0 โอห์ม และในสภาวะเปิดจะมีค่าความต้านทานเป็น  $\infty$  (อินฟินิตี้) โอห์ม แต่เมื่อมีค่าความต้านทานเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสจะมีค่าแรงดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นจากศูนย์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ามีค่าความต้านทานมากเพียงใด ในวงจรการทดสอบนี้เลือกใช้ค่าความต้านทานขณะที่หน้าสัมผัสต่อที่ 1 โอห์ม ซึ่งจะมีค่าแรงดันตกคร่อมจำนวน 1.2 โวลต์ จึงวงจรจะทำการเปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อมหน้าสัมผัสกับแรงดันอ้างอิงที่ใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้พิกัด 500 กิโลโอห์ม ปรับแรงดันอ้างอิงไว้ที่ 1.2 โวลต์ ถ้ามีแรงดันเกินพิกัดอ้างอิงไอซี LM311 จะทำให้ขา 7 ซึ่งเป็นขาเอาต์พุตมีค่าแรงดันเป็น 0 โวลต์ ทำให้สัญญาณที่ไปเข้าขา 1 ของไอซีทีทีแอล แอนด์ เกท (AND Gate)



ภาพประกอบ 24 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

1.3.3.4.3 วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (A stable multivibrator circuit) หรือวงจรฟรีรันนิ่งโหมด (Free running mode) เป็นวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ตลอดเวลาเพื่อกำหนดเวลาในการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ กำหนดคาบเวลาโดย กำหนดค่า C2, R2 และ R3 ตามสูตร

$$\begin{aligned}
 t_{high} &= 0.695(R_2 + R_3)C \\
 t_{high} &= 0.695(6.8K + 10K)(10\mu F) \\
 t_{high} &= 116.76mS \\
 t_{low} &= 0.695(10K)(10\mu F) \\
 t_{low} &= 69.5mS
 \end{aligned}$$



ภาพประกอบ 25 วงจรอะอสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์

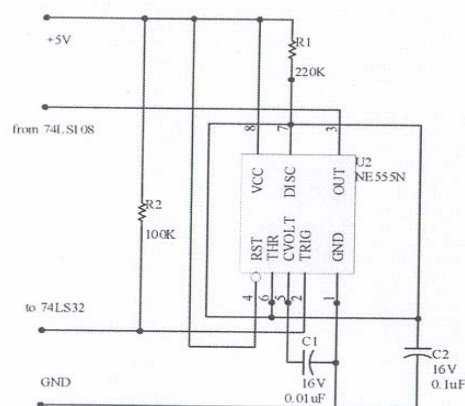
1.3.3.4.4 วงจรโมโนสเตเบิล (Monostable multivibrator) หรือ วงจรวันชอตโหมด (One shot mode) เป็นวงจรสร้างสัญญาณพัลส์เพียงลูกเดียว จากวงจร ต้องการพัลส์ขนาด 2.4 วินาที เมื่อค่า R1 เท่ากับ 229 กิโลโห์ม จะได้ค่า C1 ตามสูตร ดังนี้

$$t_{high} = C(1.1R1)$$

$$\therefore \frac{t_{high}}{(1.1R1)} = C$$

$$C = \frac{2.4S}{(1.1 \times 220K)}$$

$$C = 10\mu F$$

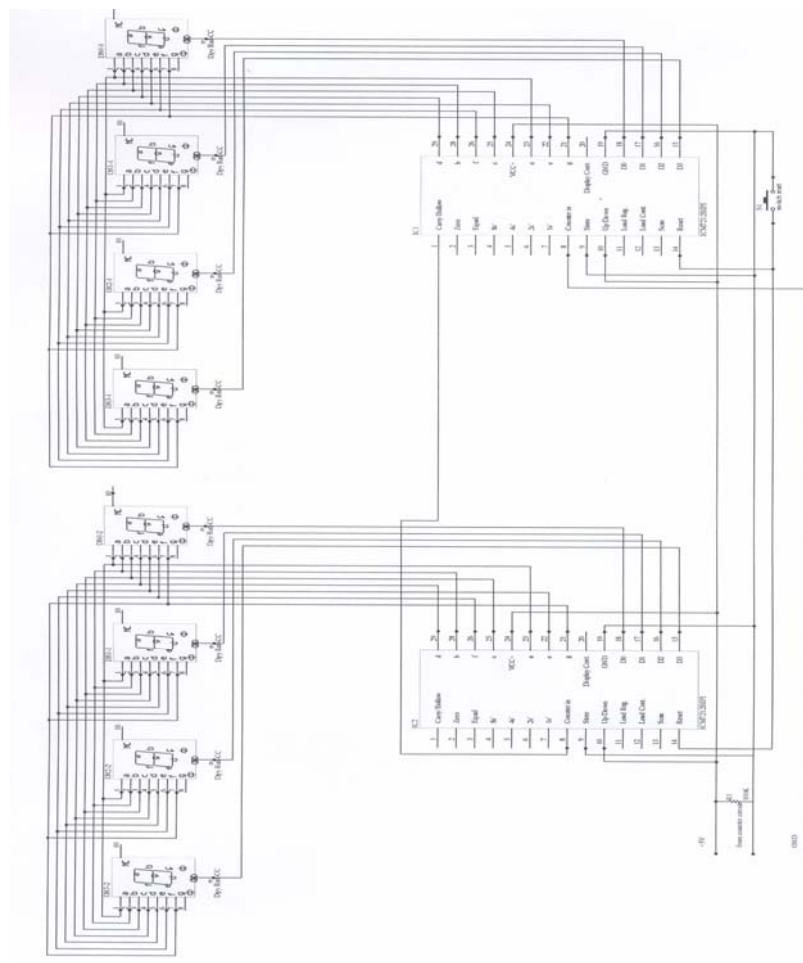


ภาพประกอบ 26 วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์

1.3.3.4.5 วงจรสวิตช์หยุดการทำงาน เป็นวงจรสวิตช์ทำงานร่วมกับอินเวอร์เตอร์ 74LS14 และมีตัวต้านทาน pull up ไว้ 1 ตัว ค่า 100 กิโลโอห์ม

1.3.3.4.6 วงจรนับ (Counter) สร้างขึ้นจากไอซีสำเร็จรูปเบอร์ ICM7217API ยี่ห้อ MAXIM เป็นส่วนนับจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสของรีเลย์ทดสอบ โดยไอซีนี้จะทำงานที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณดิจิทัลที่กำเนิดมาจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ เมื่อได้รับสัญญาณขอบขาขึ้นเข้ามาจะนับขึ้นทุกครั้ง ในวงจรนี้ประกอบด้วยไอซีนับจำนวน 2 ตัว ตัวแรกนับได้จำนวน 4 หลัก และตัวที่สองนับ 4 หลัก จากวงจรถ้าหนดการนับไว้จำนวน 7 หลักจึงต้องใช้ไอซี 2 ตัว

1.3.3.4.7 วงจรแสดงผล แสดงผลเป็นตัวเลข จำนวน 7 หลัก นับค่าได้ตัวเลขได้สูงสุด 9,999,999 ค่า ด้วยหลอด LED 7 SEGMENT



ภาพประกอบ 27 วงจรนับและแสดงผล

#### 1.4 ผู้เชี่ยวชาญและอาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไข

หลังจากการออกแบบโครงสร้างและวงจรการทำงานเรียบร้อยแล้ว นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนพานโตและอาจารย์รัชชัย จิตต์สนธิ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน อาจารย์พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์และอาจารย์สุชาติ ยอดเกลี้ยง วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร อาจารย์วินัย จบเจนไพร โรงเรียนเทคโนโลยีปทุมธานีและอาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบ เพื่อหาข้อบกพร่องและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข

#### 1.5 กำหนดรายการวัสดุและจัดหาวัสดุ อุปกรณ์ที่มีคุณภาพที่ใช้ในการสร้างเครื่อง

ผู้วิจัยทำการกำหนดรายการวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ เพื่อใช้ในการสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยใช้วัสดุที่มีจำหน่ายตามแหล่งขายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ดังได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก รายการอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ

#### 1.6 การดำเนินการสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์

การดำเนินการสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์เพื่อดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ดำเนินการสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ตามวงจรที่ได้ออกแบบไว้แล้ว นำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1.6.1 จัดซื้อวัสดุ อุปกรณ์จากร้านรัฐพงษ์ เซลล์แอนด์เซอร์วิส จำกัด (บ้านหม้อ) 119.119/1 ถนนอัษฎางค์ แขวงวังบูรพาภิรมย์ เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร

1.6.2 ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟ วงจรควบคุมการทำงาน วงจรนับและวงจรแสดงผล

1.6.3 ประกอบอุปกรณ์ลงแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้ออกแบบและสร้างไว้และบัดกรีอุปกรณ์ให้เรียบร้อย

1.6.4 เตรียมกล่องสำหรับบรรจุอุปกรณ์ประกอบและวงจรต่าง ๆ โดยใช้กล่องเอนกประสงค์พลาสติกกลุ่ม B-07 แล้วทำการเจาะสำหรับวางอุปกรณ์ เจาะช่องสำหรับใส่แจ็คหัวต่อสำหรับทดสอบ สวิตช์ควบคุมการทำงาน สวิตช์รีเซ็ต สวิตช์หยุดทดสอบ ช่องแสดงผลหลอด LED 7 SEGMENT จำนวน 7 หลัก ฐานไฟส์และสายไฟฟ้า

1.6.5 ประกอบอุปกรณ์ทุกชิ้นส่วนลงกล่องที่ได้เตรียมไว้

1.6.6 เชื่อมสายต่อวงจร เพื่อเชื่อมโยงวงจรต่าง ๆ ให้ครบสมบูรณ์ตามแบบวงจรที่ได้ออกแบบไว้

1.6.7 ทดลองการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์หาข้อบกพร่องเพื่อนำมาปรับปรุงและแก้ไข

### 1.7 ทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบบริเลย์

หลังจากที่ได้สร้างเครื่องทดสอบบริเลย์แล้ว ทำการทดสอบและแก้ไขข้อบกพร่องการทำงานของเครื่องทดสอบบริเลย์เพื่อให้ทำงานได้ตามกำหนด ก่อนส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะ ซึ่งจะทำการทดสอบการทำงานใน 5 ด้าน ดังนี้

1.7.1 ทดสอบการทำงานของวงจรจ่ายแรงดันทดสอบ โดยได้กำหนดค่าการทดสอบตามมาตรฐาน IEC เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาตรฐาน 12 โวลต์ โดยโวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐาน ซึ่งค่าที่จะทำการทดสอบ ต้องมีค่าได้อยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

1.7.2 ทดสอบค่าความต้านทานที่จะใช้เป็นภาระในการทดสอบ ซึ่งกำหนดเป็นตัวต้านทานขนาด 12 โอห์มตามมาตรฐาน IEC โดยทำการทดสอบโดยใช้โอห์มมิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐาน ซึ่งค่าที่จะนำไปใช้ในการทดสอบจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ ของค่าความต้านทานทดสอบมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

1.7.3 ทดสอบค่ากระแสไฟฟ้าหลังจากต่อภาระทางไฟฟ้า โดยกำหนดค่าทดสอบตามมาตรฐาน IEC ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้ากระแสตรงมาตรฐาน 1 แอมแปร์ โดยใช้แอมป์มิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐาน ซึ่งค่าที่จะทำการทดสอบต้องมีค่าอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ ของค่ากระแสทดสอบมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

1.7.4 ทดสอบจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ โดยค่าจำนวนการทดสอบจะสัมพันธ์กับค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสรีเลย์ ซึ่งจะทดสอบค่าแรงดันตกคร่อมหน้าสัมผัสเมื่อมีค่าความต้านทานเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัส โดยเมื่อมีค่าความต้านทานเกิดขึ้น 1 โอห์มจะมีค่าแรงดันตกคร่อมที่หน้าสัมผัส 1 โวลต์ วงจรจะทำการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีค่า 1 โอห์มขึ้นไปจะต้องทำการตัดการทำงานของวงจรทดสอบบริเลย์ และคงค่าจำนวนครั้งการตัดต่อไว้ แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยที่ได้ทำการทดสอบบริเลย์จำนวน 25 ตัว

1.7.5 ทดสอบค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นที่หน้าสัมผัส เมื่อเครื่องทดสอบบริเลย์ตัดการทำงานของวงจรทดสอบ โดยใช้โอห์มมิเตอร์ดิจิตอลมาตรฐาน ซึ่งค่าความต้านทานที่ได้จากการทดสอบจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ ของค่าเฉลี่ยของรีเลย์ที่ทดสอบจำนวน 25 ตัว

## 2. การหาประสิทธิภาพและการประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์

### 2.1 แผนการดำเนินการวิจัย

ตาราง 3 แสดงแผนการดำเนินงานการทดลอง

| ขั้นตอนการทำวิจัย                             | ระยะเวลา  |           |           |            |            |           |            |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                               | ธ.ค. 2549 | ม.ค. 2549 | ก.พ. 2549 | มี.ค. 2549 | เม.ย. 2549 | พ.ค. 2549 | มิ.ย. 2549 | ก.ค. 2549 | ส.ค. 2549 | ก.ย. 2549 | ต.ค. 2549 | พ.ย. 2549 | ธ.ค. 2549 | ม.ค. 2550 |
| 1. ศึกษารูปแบบและรายละเอียดการสร้าง           |           |           |           |            |            |           |            |           |           |           |           |           |           |           |
| 2. ออกแบบวงจรและส่วนประกอบ                    |           |           |           |            |            |           |            |           |           |           |           |           |           |           |
| 3. กำหนดวัสดุอุปกรณ์                          |           |           |           |            |            |           |            |           |           |           |           |           |           |           |
| 4. สร้างเครื่องทดสอบ                          |           |           |           |            |            |           |            |           |           |           |           |           |           |           |
| 5. ประกอบวัสดุอุปกรณ์ให้สมบูรณ์               |           |           |           |            |            |           |            |           |           |           |           |           |           |           |
| 6. ทดลองการทำงาน                              |           |           |           |            |            |           |            |           |           |           |           |           |           |           |
| 7. เก็บรวบรวมข้อมูล                           |           |           |           |            |            |           |            |           |           |           |           |           |           |           |
| 8. ผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะและหาประสิทธิภาพ |           |           |           |            |            |           |            |           |           |           |           |           |           |           |
| 9. อภิปราย สรุปผล                             |           |           |           |            |            |           |            |           |           |           |           |           |           |           |

### 2.2 การหาประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบ

โดยกำหนดการจัดเก็บข้อมูล กำหนดการทดสอบ บันทึกผลทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยกระทำการทดลองกับรีเลย์มาตรฐานยี่ห้อ OMRON รุ่น LY2-0 โดยการทดสอบจำนวน 5 ครั้ง กับรีเลย์ 5 ตัว ในหนึ่งกระบวนการ ดังนั้นจะทำการทดสอบทั้งหมด 5 กระบวนการ โดยในแต่ละกระบวนการจะทำการบันทึกค่า 5 ส่วน ดังนี้

1. ค่าแรงดันทดสอบ
2. ค่าความต้านทานทดสอบ
3. ค่ากระแสทดสอบ
4. จำนวนครั้งการตัดต่อ
5. ค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสหลังการทดสอบ

ทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 08.00 น. เป็นต้นไป ทำการทดสอบในเสร็จสิ้นทุก ๆ หนึ่งกระบวนการ จากการทดสอบจะใช้เวลาจำนวน 1 วันต่อการทดลองรีเลย์ 1 กระบวนการ ในการทดสอบใช้เวลาในการทดสอบจำนวน 5 วันต่อการทดสอบ 1 ครั้ง และให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ทำการทดสอบกับรีเลย์อีกคนละ 5 กระบวนการ รวมการทดสอบทั้งสิ้น 30 วัน

### 2.2.1 การทดสอบแรงดันทดสอบ

2.2.1.1 เตรียมโวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐาน ที่จะใช้ทำการวัดค่าแรงดัน ไฟฟ้าทดสอบ

2.2.1.2 ตั้งย่านวัดโวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐาน ไปที่ย่านวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.1.3 เปิดเครื่องทดสอบรีเลย์ต่อสายวัดเข้าที่ขั้วต่อแรงดันทดสอบที่ระบุไว้ที่ตัวเครื่องทดสอบ ทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏบนหน้าปัทม์ใช้เวลาวัด 10 วินาทีต่อครั้ง

2.2.1.4 ทำการบันทึกค่าแรงดันทดสอบลงในตาราง 4

ตาราง 4 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

| รีเลย์ | แรงดันทดสอบที่ได้จากการวัด (โวลต์) | เวลาที่ใช้ (วินาที) | เปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด (โวลต์) | ผลการทดสอบ |         |
|--------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|------------|---------|
|        |                                    |                     |                                     | ผ่าน       | ไม่ผ่าน |
| 1      |                                    | 10                  | 12                                  |            |         |
| 2      |                                    | 10                  | 12                                  |            |         |
| 3      |                                    | 10                  | 12                                  |            |         |
| 4      |                                    | 10                  | 12                                  |            |         |
| 5      |                                    | 10                  | 12                                  |            |         |

### 2.2.2 การทดสอบค่าความต้านทานทดสอบ

2.2.2.1 เตรียมโอห์มมิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐาน ที่จะใช้ทำการวัดค่าความต้านทาน

2.2.2.2 ต่อสายวัดเข้าที่ขั้วของตัวต้านทานทดสอบ

### 2.2.2.3 ทำการบันทึกค่าความต้านทานทดสอบลงในตาราง 5

ตาราง 5 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าความต้านทานที่ใช้ทดสอบ

| รีเลย์ | ความต้านทานทดสอบ<br>ที่ได้จากการวัด (โอห์ม) | เปรียบเทียบกับค่าที่ระบุ<br>จากบริษัทผู้ผลิต (โอห์ม) | ผลการทดสอบ |         |
|--------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------|---------|
|        |                                             |                                                      | ผ่าน       | ไม่ผ่าน |
| 1      |                                             | 12                                                   |            |         |
| 2      |                                             | 12                                                   |            |         |
| 3      |                                             | 12                                                   |            |         |
| 4      |                                             | 12                                                   |            |         |
| 5      |                                             | 12                                                   |            |         |

### 2.2.3 การทดสอบกระแสทดสอบ

2.2.3.1 เตรียมแอมป์มิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐาน ที่จะใช้ทำการวัด  
กระแสทดสอบ

2.2.3.2 ตั้งย่านวัดแอมป์มิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐาน ไปที่ย่านวัด  
กระแสไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.3.3 ต่อสายวัดแอมป์มิเตอร์อนุกรมกับวงจรการทดสอบ

2.2.3.4 เปิดเครื่องทดสอบ อ่านค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบที่ได้จาก  
หน้าปัทม์ โดยใช้เวลาทดสอบ 10 วินาทีต่อครั้ง

2.2.3.5 ทำการบันทึกค่ากระแสทดสอบลงในตาราง 6

ตาราง 6 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบ

| รีเลย์ | กระแสทดสอบที่ได้<br>จากการวัด (แอมแปร์) | เวลาที่ใช้<br>(วินาที) | เปรียบเทียบกับเกณฑ์<br>ที่กำหนด (แอมแปร์) | ผลการทดสอบ |         |
|--------|-----------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------|------------|---------|
|        |                                         |                        |                                           | ผ่าน       | ไม่ผ่าน |
| 1      |                                         | 10                     | 1                                         |            |         |
| 2      |                                         | 10                     | 1                                         |            |         |

ตาราง 6 (ต่อ)

| รีเลย์ | กระแสทดสอบที่ได้<br>จากการวัด (แอมแปร์) | เวลาที่ใช้<br>(วินาที) | เปรียบเทียบกับเกณฑ์<br>ที่กำหนด (แอมแปร์) | ผลการทดสอบ |         |
|--------|-----------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------|------------|---------|
|        |                                         |                        |                                           | ผ่าน       | ไม่ผ่าน |
| 3      |                                         | 10                     | 1                                         |            |         |
| 4      |                                         | 10                     | 1                                         |            |         |
| 5      |                                         | 10                     | 1                                         |            |         |

## 2.2.4 การทดสอบการนับจำนวนการตัดต่อหน้าสัมผัส

2.2.4.1 เตรียมเครื่องทดสอบให้พร้อมสำหรับการทดสอบ

2.2.4.2 ทำการต่อวงจรการทดสอบให้สมบูรณ์

2.2.4.3 กดสวิทช์เปิดเครื่องทดสอบรีเลย์

2.2.4.4 กดปุ่มสวิทช์หยุดการนับ

2.2.4.5 กดปุ่มสวิทช์รีเซ็ตภาคแสดงผลให้อยู่ที่ตัวเลข 0

2.2.4.6 กดปุ่มสวิทช์เริ่มทำการนับ

2.2.4.7 เมื่อเครื่องหยุดการนับให้จดบันทึกจำนวนครั้งสุดท้ายที่ค้างค่า

ไว้ ลงในตาราง 7

2.2.4.8 ปิดเครื่องทดสอบเพื่อเตรียมตัวทำกระบวนการต่อไป

ตาราง 7 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัส

| รีเลย์ | จำนวนครั้งการตัดต่อ<br>หน้าสัมผัส (ครั้ง) | ค่าเฉลี่ย<br>(ครั้ง) | เปรียบเทียบกับเกณฑ์<br>ที่กำหนด (เปอร์เซ็นต์) | ผลการทดสอบ |         |
|--------|-------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|------------|---------|
|        |                                           |                      |                                               | ผ่าน       | ไม่ผ่าน |
| 1      |                                           |                      |                                               |            |         |
| 2      |                                           |                      |                                               |            |         |
| 3      |                                           |                      |                                               |            |         |
| 4      |                                           |                      |                                               |            |         |
| 5      |                                           |                      |                                               |            |         |

### 2.2.5 ทดสอบค่าความต้านทานหน้าสัมผัส

- 2.2.5.1 เตรียมโอห์มมิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐาน ที่จะใช้ทำการวัดค่าความต้านทาน
- 2.2.5.2 ต่อสายวัดเข้าที่ขั้วของหน้าสัมผัสรีเลย์ทดสอบ
- 2.2.5.3 ทำการบันทึกค่าความต้านทานทดสอบลงในตาราง 8
- 2.2.5.4 เปลี่ยนรีเลย์ทดสอบเป็นตัวต่อไป ทำการเริ่มต้นใหม่ตั้งแต่ข้อที่

## 2.3

ตาราง 8 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์

| รีเลย์ | ความต้านทานที่ได้จากการวัดหน้าสัมผัส (โอห์ม) | เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย (โอห์ม) | ผลการทดสอบ |         |
|--------|----------------------------------------------|---------------------------------|------------|---------|
|        |                                              |                                 | ผ่าน       | ไม่ผ่าน |
| 1      |                                              |                                 |            |         |
| 2      |                                              |                                 |            |         |
| 3      |                                              |                                 |            |         |
| 4      |                                              |                                 |            |         |
| 5      |                                              |                                 |            |         |

### 2.3 ตรวจสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยผู้เชี่ยวชาญ มีรายละเอียดดังนี้

#### 2.3.1 สร้างแบบประเมินสมรรถนะที่มีการประเมิน 3 ด้าน ดังนี้

##### 2.3.1.1 ด้านกายภาพ

##### 2.3.1.2 ด้านการใช้งาน

##### 2.3.1.3 ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม

#### แบบประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบรีเลย์

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยคำถาม จำนวน 5 ข้อ

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบ

รีเลย์ 3 ด้าน ประกอบด้วย

1. ด้านกายภาพ มีทั้งหมด 6 ข้อ
2. ด้านการใช้งาน มีทั้งหมด 5 ข้อ
3. ด้านการบำรุงรักษา มีทั้งหมด 5 ข้อ

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

วัตถุประสงค์ของการประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจ

ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในกรอบ ☐ นำข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และ/หรือ  
เติมคำหรือข้อความลงในช่องว่างที่กำหนดให้

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ .....ปี

3. ระดับการศึกษา

☐ ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า

☐ ปริญญาโทหรือเทียบเท่า

☐ ปริญญาเอกหรือเทียบเท่า

☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ) .....

4. ประสบการณ์การทำงาน ด้านวงจรไฟฟ้า/การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และวงจร  
ควบคุม /เครื่องทดสอบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์/รีเลย์ .....ปี

5. ตำแหน่งและหน้าที่ในหน่วยงาน

.....

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องทดสอบบรีเลย์

ข้อเสนอแนะในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินสมรรถนะตอนที่ 2 เป็นการประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบบรีเลย์ 3 ด้าน คือ

1.1 ด้านกายภาพ มีทั้งหมด 6 ข้อ

1.2 ด้านการใช้งาน มีทั้งหมด 5 ข้อ

1.3 ด้านการบำรุงรักษา มีทั้งหมด 5 ข้อ

2. กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน หลังจากตรวจสอบวงจรไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์และทดลองใช้งานเครื่องทดสอบบรีเลย์ โดยมีค่าระดับคะแนนที่กำหนดไว้ดังนี้

5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดีมาก

4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดี

3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับพอใช้

2 หมายถึง ผลการประเมินในระดับควรปรับปรุง

1 หมายถึง ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้

ตาราง 9 แบบประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบบรีเลย์

| ข้อที่               | รายละเอียด                         | ระดับการประเมิน |           |              |                    |                  |
|----------------------|------------------------------------|-----------------|-----------|--------------|--------------------|------------------|
|                      |                                    | ดีมาก<br>(5)    | ดี<br>(4) | พอใช้<br>(3) | ควรปรับปรุง<br>(2) | ใช้ไม่ได้<br>(1) |
| 1. <u>ด้านกายภาพ</u> |                                    |                 |           |              |                    |                  |
| 1                    | ความแข็งแรงของโครงสร้าง            |                 |           |              |                    |                  |
| 2                    | รูปทรงเหมาะสมกับการใช้งาน          |                 |           |              |                    |                  |
| 3                    | โทนสีของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน |                 |           |              |                    |                  |
| 4                    | ความเรียบร้อยในการจัดวางวัสดุ      |                 |           |              |                    |                  |
| 5                    | ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง     |                 |           |              |                    |                  |
| 6                    | ความเหมาะสมในการใช้วัสดุและ        |                 |           |              |                    |                  |
|                      | อุปกรณ์ที่นำมาสร้าง                |                 |           |              |                    |                  |

## ตาราง 9 (ต่อ)

| ข้อที่                         | รายละเอียด                                                   | ระดับการประเมิน |           |              |                    |                  |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------|--------------------|------------------|
|                                |                                                              | ดีมาก<br>(5)    | ดี<br>(4) | พอใช้<br>(3) | ควรปรับปรุง<br>(2) | ใช้ไม่ได้<br>(1) |
| 2. ด้านการใช้งาน               |                                                              |                 |           |              |                    |                  |
| 1                              | ขั้นตอนการใช้ทดสอบไม่ยุ่งยาก                                 |                 |           |              |                    |                  |
| 2                              | การเคลื่อนย้ายเครื่อง มีความสะดวก                            |                 |           |              |                    |                  |
| 3                              | การถอดและประกอบเครื่องผู้ใช้งาน<br>สามารถทำได้               |                 |           |              |                    |                  |
| 4                              | ติดตั้งเครื่องได้ง่าย รวดเร็ว                                |                 |           |              |                    |                  |
| 5                              | มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร                                 |                 |           |              |                    |                  |
| 3. ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม |                                                              |                 |           |              |                    |                  |
| 1                              | สามารถเปลี่ยนอะไหล่ ชิ้นส่วนต่าง ๆ<br>ของเครื่องได้          |                 |           |              |                    |                  |
| 2                              | ตรวจสอบแก้ไขข้อเสียจากการใช้งานได้                           |                 |           |              |                    |                  |
| 3                              | สามารถแยกส่วนประกอบต่าง ๆ<br>ภายในเครื่องได้                 |                 |           |              |                    |                  |
| 4                              | การสร้างเครื่องทดสอบใช้อุปกรณ์ที่<br>หาได้ง่ายและราคาประหยัด |                 |           |              |                    |                  |
| 5                              | สะดวกในการแก้ไขข้อบกพร่องและ<br>จุดเสียของเครื่อง            |                 |           |              |                    |                  |

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาแสดงข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับสมรรถนะเครื่องทดสอบรีเลย์ ด้านต่าง ๆ  
ดังนี้

### 3.1 ด้านกายภาพ

.....

.....

.....

### 3.2 ด้านการใช้งาน

.....

.....

.....

### 3.3 ด้านการบำรุงรักษา

.....

.....

.....

### 3.4 อื่น ๆ

.....

.....

.....

2.3.2 แบบประเมินความคิดเห็นเรื่องสมรรถนะ โดยการใช้มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) กำหนดค่าคะแนนเป็น 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคอร์ท์ (พวงรัตน์ ทวีรัตน์ : 2538 : 117) มีรายละเอียดดังนี้

2.3.2.1 ระดับ 5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดีมาก

2.3.2.2 ระดับ 4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดี

2.3.2.3 ระดับ 3 หมายถึง ผลการประเมินระดับพอใช้

2.3.2.4 ระดับ 2 หมายถึง ผลการประเมินระดับต้องปรับปรุง

2.3.2.5 ระดับ 1 หมายถึง ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้

### 2.3.3 การตรวจแบบประเมิน มีวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

2.3.3.1 นำแบบประเมินเสนอต่ออาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและปรับปรุงแก้ไขเบื้องต้น

2.3.3.2 นำแบบประเมินเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน คือ ท่านอาจารย์อุทัย มั่นวงศ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน อาจารย์พงษ์ศิลป์ แก้วรัตนศรีโพธิ์ อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ว่าที่ร้อยตรีอนุวัฒน์ ทองบุญกุล อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคพังงา กำหนดคุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญคุณวุฒิไม่ต่ำกว่าระดับ

2.3.3.3 นำแบบประเมินเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน คือ ผศ.ดร.สันติ หวังนิพนพานโต อาจารย์ภาควิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน อาจารย์ธวัชชัย จิตต์สนธิ อาจารย์ภาควิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน อาจารย์วินัย จบเจนไพร อาจารย์แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ โรงเรียนเทคโนโลยีปทุมธานี อาจารย์พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์ อาจารย์แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร อาจารย์สุชาติ ยอดเกลี้ยง อาจารย์แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร โดยกำหนดคุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญ คุณสมบัติไม่ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ไฟฟ้ากำลัง อิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้าสื่อสารหรือโทรคมนาคม และมีประสบการณ์ในการทำงานที่เกี่ยวข้องไม่ต่ำกว่า 10 ปี เพื่อทดสอบใช้เครื่องทดสอบรีเลย์ เพื่อตรวจประเมินสมรรถนะและแสดงความคิดเห็นต่อเครื่องทดสอบรีเลย์

#### 2.4 ทดลองใช้เครื่องทดสอบรีเลย์

ทำการทดลองใช้เครื่องทดสอบรีเลย์ ที่แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร

### 3. เครื่องมือวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

3.1.1 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง

#### 3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

3.2.1 ตัวต้านทานทดสอบขนาด 12 โอห์มแบบเซรามิค ยี่ห้อ ROYAL ค่าความผิดพลาด 5 เปอร์เซ็นต์ (J) อัตราทนกำลังไฟฟ้าสูงสุด 30 วัตต์

3.2.2 รีเลย์ทดสอบ ยี่ห้อ OMRON รุ่น LY2-0 จำนวน 30 ตัว

3.2.3 สวิตช์รีเลย์ รุ่น 2096H พิกัด 15A 240V

### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะด้านกายภาพ ด้านการใช้งานและด้านบำรุงรักษา และซ่อมแซม จากการทดสอบของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน นำมาคำนวณด้วยวิธีการทางสถิติ ดังนี้

นำคะแนนที่ได้มาคำนวณ

4.1 หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) ใช้สูตร (ล่วน สายยศและคณะ. 2538 : 73)

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

|       |           |                           |
|-------|-----------|---------------------------|
| เมื่อ | $\bar{X}$ | แทน ค่าเฉลี่ยของเลขคณิต   |
|       | $\sum x$  | แทน ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด |
|       | $N$       | แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง    |

4.2 หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้สูตร (ล้วน สายยศและคณะ. 2538 :

105)

$$SD = \sqrt{\frac{N \sum x^2 - (\sum x)^2}{N(N-1)}}$$

|       |     |                                         |
|-------|-----|-----------------------------------------|
| เมื่อ | $S$ | แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง |
|       | $X$ | แทน ข้อมูลแต่ละจำนวน                    |
|       | $N$ | แทน จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง               |

4.3 หาค่า t – test โดยใช้สูตร (วิสาข์ เกษประทุม. 2539 : 229)

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{SD}{\sqrt{N}}}$$

|       |           |                             |
|-------|-----------|-----------------------------|
| เมื่อ | $\bar{X}$ | แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต        |
|       | $\mu$     | แทน ค่าเกณฑ์มาตรฐาน         |
|       | $SD$      | แทน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|       | $N$       | แทน จำนวนประชากร            |

4.4 กำหนดเกณฑ์การแปลความทางด้านสมรรถนะ ดังต่อไปนี้

| คะแนน | แปลความ      |
|-------|--------------|
| 5     | ดีมาก        |
| 4     | ดี           |
| 3     | พอใช้        |
| 2     | ต้องปรับปรุง |
| 1     | ใช้ไม่ได้    |

#### 4.5 กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลทางด้านสมรรถนะ ดังนี้

| คะแนนเฉลี่ยระหว่าง | แปลความ      |   |              |
|--------------------|--------------|---|--------------|
| 4.51 – 5.00        | ดีมาก        | = | ผ่านเกณฑ์    |
| 3.51 – 4.50        | ดี           | = | ผ่านเกณฑ์    |
| 2.51 – 3.50        | พอใช้        | = | ผ่านเกณฑ์    |
| 1.51 – 2.50        | ต้องปรับปรุง | = | ไม่ผ่านเกณฑ์ |
| 1.00 – 1.50        | ใช้ไม่ได้    | = | ไม่ผ่านเกณฑ์ |

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบของเครื่องทดสอบบรีเลย์ นำเสนอตามลำดับดังนี้

1. ผลการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบบรีเลย์ ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ระบบจ่ายไฟ ระบบการทดสอบ ระบบควบคุมการนับและหยุดนับการติดต่อหน้าสัมผัสบรีเลย์และระบบแสดงผล โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 1.1 ระบบจ่ายไฟ

ประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับวงจรการทดสอบของเครื่องทดสอบบรีเลย์ โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 220/15 โวลต์ จำนวน 1 ตัว ทางด้านปฐมภูมิรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับพิกัด 220 โวลต์ ผ่านฟิวส์หลอดแก้วพิกัดทนกระแส 10 แอมแปร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร ทางด้านทุติยภูมิจ่ายแรงดันไฟฟ้าพิกัด 15 โวลต์ จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 3 แอมแปร์ผ่านวงจรเรียงกระแส เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยบริดจ์ไดโอด จากนั้นแยกจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 3 วงจร คือ วงจรควบคุมการทำงานของคอลลีรีเลย์ วงจรการทดสอบวงจรควบคุมการนับและหยุดนับการติดต่อหน้าสัมผัสบรีเลย์และวงจรแสดงผลการนับ โดยแต่ละวงจรจะผ่านไอซีเรกกูเลเตอร์เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ จากการทดสอบการทำงานของแรงดันทดสอบซึ่งวงจรสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ตั้งแต่ 11.29 ถึง 11.86 โวลต์ ซึ่งอยู่ขอบเขตผ่านเกณฑ์การประเมิน

#### 1.2 ระบบการทดสอบ

อ้างอิงวงจรการทดสอบจากมาตรฐาน IEC255-15 โดยเลือกใช้แรงดันทดสอบเป็นไฟฟ้ากระแสตรงพิกัดแรงดัน 12 โวลต์ เลือกใช้กระแสทดสอบจำนวน 1 แอมแปร์ ทดสอบโดยตัวต้านทานบริสุทธ์ เพื่อให้ได้กระแสทดสอบ 1 แอมแปร์ จึงต้องใช้ตัวต้านทานพิกัด 12 โอห์ม โดยอาศัยการคำนวณค่าตามกฎของโอห์ม (Ohm's Law) โดยเลือกใช้ตัวต้านทานยี่ห้อ ROYAL พิกัด 12 โอห์ม แบบเซรามิค ค่าความผิดพลาด  $\pm 5$  เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบของผู้เชี่ยวชาญในการวัดค่ากระแสทดสอบอยู่ในช่วง 0.90 ถึง 0.97 แอมแปร์ ซึ่งอยู่ในขอบเขตผ่านเกณฑ์การประเมิน

### 1.3 ระบบนับและหยุดนับการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์

ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 6 วงจร ดังนี้

1.3.1 วงจรตรวจจับสัญญาณ

1.3.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

1.3.3 วงจรอะอสเตเบิล

1.3.4 วงจรโมโนสเตเบิล

1.3.5 วงจรสวิตช์หยุดการนับ

1.3.6 วงจรนับ (Counter)

จากการทดสอบใช้งานโดยผู้เชี่ยวชาญปรากฏผลเมื่อมีค่าความต้านทานเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสตั้งแต่ 0.79 ถึง 1.05 โอห์ม วงจรจะหยุดการนับ ซึ่งอยู่ในขอบเขตผ่านเกณฑ์การประเมิน

### 1.4 ระบบการแสดงผล

แสดงผลการนับเป็นตัวเลขจำนวน 7 หลัก ด้วยหลอด LED 7 SEGMENT ชนิด COMMON CATHOD ซึ่งแสดงสภาวะการนับได้สูงสุดถึง 9,999,999 ครั้ง จากการตรวจสอบการทำงานโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าวงจรสามารถทำงานได้ตามขอบเขต โดยแสดงผลการนับสัมพันธ์กับสัญญาณที่ส่งมาจากการตัดต่อหน้าสัมผัสและค้างจำนวนครั้งของการนับเมื่อวงจรควบคุมการนับสั่งให้รีเลย์หยุดการตัดต่อหน้าสัมผัส และในขณะก่อนการทดสอบเมื่อกดสวิตช์รีเซ็ตตัวเลขที่ปรากฏจะกลับมาเริ่มต้นที่เลข 0 เสมอ

## 2. ผลการหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์

### 2.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ทำการทดสอบและบันทึกค่าลงในตาราง 4 ถึง 8 นำค่าที่ได้จากการทดสอบและบันทึก มาทำการประเมินผล ประกอบด้วยการหาประสิทธิภาพเครื่องทดสอบรีเลย์ 5 ด้าน คือ

2.1.1 การตรวจสอบผลของแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

2.1.2 การตรวจสอบผลของกระแสไฟฟ้าทดสอบ

2.1.3 การตรวจสอบผลของความต้านทานทดสอบ

2.1.4 การตรวจสอบผลของจำนวนครั้งการนับการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์

2.1.5 การตรวจสอบผลค่าความต้านทานของหน้าสัมผัส

สรุปผลที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์ มีดังนี้

ตาราง 10 แสดงผลการทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าทดสอบ โดยทำเครื่องหมาย / (ถูก) ในช่องผลการ  
วัดแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

| ลำดับ | เกณฑ์ประเมิน                    | ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าทดสอบ |                                |                          | หมายเหตุ |
|-------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------|
|       |                                 | ต่ำกว่า<br>10.8<br>โวลต์ | ระหว่าง<br>10.8 -13.2<br>โวลต์ | สูงกว่า<br>13.2<br>โวลต์ |          |
| 1     | แรงดันทดสอบ 10.8 ถึง 13.2 โวลต์ |                          | /                              |                          |          |

ค่าเฉลี่ยแรงดันทดสอบที่วัดได้ คือ 11.82 โวลต์ จากตาราง 10 แสดงว่าผลการทดสอบในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบ สามารถวัดแรงดันทดสอบจากเครื่องทดสอบรีเลย์อยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่า 12 โวลต์ คืออยู่ในช่วง 10.8 ถึง 13.2 โวลต์ การทดสอบค่าแรงดันทดสอบผ่านเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

ตาราง 11 แสดงผลการทดสอบวัดกระแสไฟฟ้าทดสอบ โดยทำเครื่องหมาย / (ถูก) ในช่องผลการ  
วัดกระแสไฟฟ้าทดสอบ

| ลำดับ | เกณฑ์ประเมิน                      | ผลการวัดกระแสไฟฟ้าทดสอบ |                               |                         | หมายเหตุ |
|-------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|----------|
|       |                                   | ต่ำกว่า<br>0.9<br>แอมป์ | ระหว่าง<br>0.9 – 1.1<br>แอมป์ | สูงกว่า<br>1.1<br>แอมป์ |          |
| 2     | กระแสทดสอบ 0.9 ถึง 1.1<br>แอมแปร์ |                         | /                             |                         |          |

ค่าเฉลี่ยกระแสทดสอบที่วัดได้คือ 0.93 แอมแปร์ จากตาราง 11 แสดงว่าผลการทดสอบในการวัดกระแสไฟฟ้าทดสอบ สามารถวัดกระแสไฟฟ้าทดสอบอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่า 1 แอมแปร์ คืออยู่ในช่วง 0.9 ถึง 1.1 แอมแปร์ การทดสอบผ่านเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

ตาราง 12 แสดงผลการทดสอบวัดความต้านทานทดสอบ โดยทำเครื่องหมาย / (ถูก) ในช่องผลการวัดความต้านทานทดสอบ

| ลำดับ | เกณฑ์ประเมิน                         | ผลการวัดความต้านทานทดสอบ |                                |                          | หมายเหตุ |
|-------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------|
|       |                                      | ต่ำกว่า<br>10.8<br>โอห์ม | ระหว่าง<br>10.8 -13.2<br>โอห์ม | สูงกว่า<br>13.2<br>โอห์ม |          |
| 3     | ความต้านทานทดสอบ 10.8 ถึง 13.2 โอห์ม |                          | /                              |                          |          |

ค่าเฉลี่ยความต้านทานทดสอบที่วัดได้ คือ 12.02 โอห์ม จากตาราง 12 แสดงว่าผลการทดสอบในการวัดความต้านทานทดสอบ สามารถวัดค่าความต้านทานทดสอบอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่า 12 โอห์ม คืออยู่ในช่วง 10.8 ถึง 13.2 โอห์ม การทดสอบผ่านเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

ตาราง 13 แสดงผลการทดสอบจำนวนครั้งการนับและหยุดนับการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ โดยทำเครื่องหมาย / (ถูก) ในช่องผลการนับ

| ลำดับ | เกณฑ์ประเมิน                     | ผลการนับ          |                            |                   | หมายเหตุ |
|-------|----------------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------|
|       |                                  | ต่ำกว่า<br>19,304 | ระหว่าง<br>19,304 – 23,594 | สูงกว่า<br>23,594 |          |
| 4     | ผลการนับ 19,304 ถึง 23,594 ครั้ง |                   | /                          |                   |          |

จากตาราง 13 แสดงว่าผลการทดสอบจำนวนครั้งการนับการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ จำนวนครั้งสูงสุดจนเครื่องทดสอบสั่งหยุดการนับ อันเนื่องมาจากค่าแรงดันต้นทดสอบที่ตกคร่อมหน้าสัมผัสเกิดการเปลี่ยนแปลง อยู่ในช่วง 19,304 ถึง 23,594 เป็นค่าอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยของการทดสอบของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน รวมการทดสอบจำนวน 25 ครั้ง มีค่าเฉลี่ย

ของการทดสอบอยู่ที่ 21,449 ครั้ง การทดสอบผ่านเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

ตาราง 14 แสดงผลการทดสอบค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์ หลังจากวงจรควบคุมสั่งให้วงจรนับหยุดการนับ โดยทำเครื่องหมาย / (ถูก) ในช่องผลวัดค่าความต้านทานหน้าสัมผัส

| ลำดับ | เกณฑ์ประเมิน                 | ผลการวัดค่าความต้านทานหน้าสัมผัส |                        |                 | หมายเหตุ |
|-------|------------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------|----------|
|       |                              | ต่ำกว่า<br>0.81                  | ระหว่าง<br>0.81 – 0.99 | สูงกว่า<br>0.99 |          |
| 5     | ค่าความต้านทาน 0.81 ถึง 0.99 |                                  | /                      |                 |          |

จากตาราง 14 แสดงว่าผลการทดสอบวัดค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์ หลังจากที่ยังวงจรควบคุมการทำงานสั่งให้วงจรหยุดการนับ ค่าความต้านทานที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.81 ถึง 1.05 โอห์ม เป็นค่าอยู่ในช่วง  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยของการทดสอบของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน รวมการทดสอบจำนวน 25 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยของการทดสอบอยู่ที่ 0.9 โอห์ม การทดสอบผ่านเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

## 2.2 ผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์

การประเมินสมรรถนะ เป็นการประเมินจากความคิดเห็นใน 3 ด้านจากเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ดังนี้

2.3.1 ด้านกายภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์ เป็นการประเมินสมรรถนะในเรื่องของความแข็งแรงของโครงสร้าง รูปทรงที่เหมาะสมกับการใช้งาน โทนสีของเครื่องทดสอบ ความเรียบร้อยในการจัดวางวัสดุ ความสะดวกในการใช้งานและความเหมาะสมในการใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาสร้าง

2.3.2 ด้านการใช้งานของเครื่องทดสอบรีเลย์ ประเมินสมรรถนะในเรื่องขั้นตอนการใช้งานไม่ยุ่งยาก การเคลื่อนย้ายเครื่องทำได้สะดวก การถอดและประกอบเครื่อง การติดตั้งเครื่องและด้านความปลอดภัย

2.3.3 ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซมเครื่องทดสอบรีเลย์ ประเมินสมรรถนะในเรื่อง การเปลี่ยนอะไหล่ ชิ้นส่วนต่าง ๆ การตรวจสอบแก้ไข การแยกส่วนประกอบต่าง ๆ การสร้างที่

ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาประหยัด ความสะดวกในการแก้ไขข้อบกพร่องและจุดเสียของเครื่องทดสอบ

สรุปผลที่ได้รับจากการประเมินสมรรถนะทั้ง 3 ด้าน มีดังนี้

ตาราง 15 แสดงผลการประเมินสมรรถนะด้านกายภาพของเครื่องทดสอบบรีเลย์ เมื่อ (n=5)

| สมรรถนะด้านกายภาพของเครื่องทดสอบบรีเลย์                           | $\bar{x}$ | SD   | t - test | แปล<br>ความ |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|------|----------|-------------|
| 1. ความแข็งแรงของโครงสร้าง                                        | 4.60      | 0.49 | 2.74*    | ดีมาก       |
| 2. รูปทรงเหมาะสมกับการใช้งาน                                      | 4.40      | 0.80 | 1.12     | ดี          |
| 3. โทนสีของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน                             | 4.40      | 0.40 | 1.83     | ดี          |
| 4. ความเรียบร้อยในการจัดวางวัสดุ                                  | 4.40      | 0.40 | 1.12     | ดี          |
| 5. ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง                                 | 4.20      | 0.49 | 1.83     | ดี          |
| 6. ความเหมาะสมในการใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาสร้าง                 | 4.20      | 0.40 | 1.12     | ดี          |
| ค่าเฉลี่ยรวมการประเมินสมรรถนะด้าน<br>กายภาพของเครื่องทดสอบบรีเลย์ | 4.33      | 0.16 | 4.61**   | ดี          |

\*p< .05, \*\*p< .01

จากตาราง 15 แสดงว่า ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินสมรรถนะด้านกายภาพของเครื่องทดสอบบรีเลย์ด้านความแข็งแรงของโครงสร้างอยู่ในระดับดีมาก คือ มีค่า  $\bar{x}$  = 4.60, S.D = 0.49, t-test = 2.74 ด้านรูปทรงเหมาะสมกับการใช้งานอยู่ในระดับ ดี คือ มีค่า  $\bar{x}$  = 4.40, S.D = 0.80, t-test = 1.12 ด้านโทนสีของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งานอยู่ในระดับดี คือ มีค่า  $\bar{x}$  = 4.40, S.D = 0.40, t-test = 1.83 ด้านความเรียบร้อยในการจัดวางวัสดุอยู่ในระดับดี คือ มีค่า  $\bar{x}$  = 4.40, S.D = 0.40, t-test = 1.12 ด้านความสะดวกในการใช้งานเครื่องอยู่ในระดับดี คือ มีค่า  $\bar{x}$  = 4.20, S.D = 0.49, t-test = 1.83 ด้านความเหมาะสมในการใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาสร้างอยู่ในระดับดี คือ มีค่า  $\bar{x}$  = 4.20, S.D = 0.40, t-test = 1.12 เมื่อทดสอบกับเกณฑ์คะแนน 4 พบว่า เท่ากัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ระดับดี โดยประเด็นที่มีคะแนนสูงสุดได้แก่ โทนสี

เหมาะสมกับการใช้งาน มีความเรียบร้อยในการจัดวางวัสดุ มีความสะดวกในการใช้งานและใช้วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาสร้างได้อย่างเหมาะสม โดยที่ความแข็งแรงของโครงสร้างมีความสอดคล้องกับสมมุติฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และค่าเฉลี่ยรวมการประเมินสมรรถนะด้านกายภาพของเครื่องทดสอบบรีเลย์ มีความสอดคล้องกับสมมุติฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 16 แสดงผลการประเมินสมรรถนะด้านการใช้งานของเครื่องทดสอบบรีเลย์ (n=5)

| สมรรถนะด้านการใช้งานของเครื่องทดสอบบรีเลย์                       | $\bar{x}$ | SD   | t - test | แปลความ |
|------------------------------------------------------------------|-----------|------|----------|---------|
| 1. ขั้นตอนในการทดสอบไม่ยุ่งยาก                                   | 4.00      | 0.00 | $\infty$ | ดี      |
| 2. การเคลื่อนย้ายเครื่อง มีความสะดวก                             | 4.80      | 0.40 | 4.47**   | ดีมาก   |
| 3. การถอดและประกอบเครื่องผู้ใช้งานสามารถทำได้                    | 4.80      | 0.40 | 4.47**   | ดีมาก   |
| 4. ติดตั้งเครื่องได้ง่าย รวดเร็ว                                 | 4.40      | 0.49 | 1.83     | ดี      |
| 5. มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร                                  | 4.40      | 0.49 | 1.83     | ดี      |
| ค่าเฉลี่ยรวมการประเมินสมรรถนะด้านการใช้งานของเครื่องทดสอบบรีเลย์ | 4.48      | 0.33 | 3.25*    | ดี      |

\*p< .05, \*\*p< .01

จากตาราง 16 แสดงว่า ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินสมรรถนะด้านการใช้งานของเครื่องทดสอบบรีเลย์ด้านขั้นตอนการใช้ทดสอบไม่ยุ่งยากอยู่ในระดับดี คือ มีค่า  $\bar{x}$  = 4.00, S.D = 0.00, t-test =  $\infty$  ด้านการเคลื่อนย้ายเครื่องมีความสะดวกอยู่ในระดับ ดีมาก คือ มีค่า  $\bar{x}$  = 4.80, S.D = 0.40, t-test = 4.47 ด้านการถอดและประกอบเครื่องผู้ใช้งานสามารถทำได้อยู่ในระดับดีมาก คือมีค่า  $\bar{x}$  = 4.80, S.D = 0.40, t-test = 4.47 ด้านการติดตั้งเครื่องได้ง่ายและรวดเร็วอยู่ในระดับดี คือมีค่า  $\bar{x}$  = 4.40, S.D = 0.49, t-test = 1.83 ด้านความปลอดภัยจากไฟฟ้า

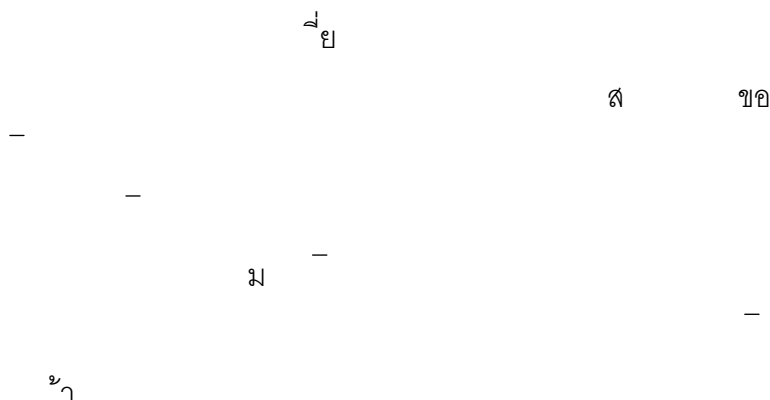
ลัดวงจรอยู่ในระดับดี คือมีค่า  $\bar{x} = 4.40$ , S.D = 0.49, t-test = 1.83 เมื่อทดสอบกับเกณฑ์คะแนน 4 พบว่า เท่ากัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ระดับดี โดยประเด็นที่มีคะแนนสูงสุดได้แก่ การเคลื่อนย้ายเครื่องมีความสะดวกและการถอดและประกอบเครื่องผู้ใช้งานสามารถทำได้ ( $\bar{x} = 4.80$ ) และต่ำสุด ได้แก่ ขั้นตอนในการทดสอบไม่ยุ่งยาก ( $\bar{x} = 4.00$ )

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 16 แสดงว่าผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบปริเลย์ ด้านการใช้งานอยู่ในระดับดี เครื่องทดสอบปริเลย์มีขั้นตอนในการทดสอบไม่ยุ่งยาก มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่อง ผู้ใช้งานสามารถทำการถอดและประกอบเครื่องได้ มีการติดตั้งเครื่องได้ง่ายและรวดเร็ว มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร โดยที่ในด้านการเคลื่อนย้ายเครื่องมีความสะดวกและการถอดและประกอบเครื่องผู้ใช้งานสามารถทำได้ มีความสอดคล้องกับสมมุติฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และค่าเฉลี่ยรวมการประเมินสมรรถนะด้านการใช้งานของเครื่องทดสอบปริเลย์มีความสอดคล้องกับสมมุติฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 17 แสดงผลการประเมินสมรรถนะด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซมของเครื่องทดสอบปริเลย์ เมื่อ n=5

| สมรรถนะด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซมของ<br>เครื่องทดสอบปริเลย์                       | $\bar{x}$ | SD   | t - test | แปล<br>ความ |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|----------|-------------|
| 1. สามารถเปลี่ยนอะไหล่ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของ<br>เครื่องได้                            | 3.80      | 0.40 | -1.12    | ดี          |
| 2. ตรวจสอบแก้ไขข้อเสียจากการใช้งานได้                                              | 4.00      | 0.00 | $\infty$ | ดี          |
| 3. สามารถแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเครื่องได้                                       | 4.20      | 0.75 | 0.60     | ดี          |
| 4. การสร้างเครื่องทดสอบให้อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและ<br>ราคาประหยัด                    | 4.60      | 0.49 | 2.74*    | ดีมาก       |
| 5. สะดวกในการแก้ไขข้อบกพร่องและจุดเสียของ<br>เครื่อง                               | 3.80      | 0.40 | -1.12    | ดี          |
| ค่าเฉลี่ยรวมการประเมินสมรรถนะด้านการ<br>บำรุงรักษาและซ่อมแซมของเครื่องทดสอบปริเลย์ | 4.04      | 0.33 | 0.27     | ดี          |

\*p< .05, \*\*p< .01



ด  $\bar{x} = 3.80$ , S.D = 0.40, t-test = -1.12 เมื่อทดสอบกับเกณฑ์คะแนน 4 พบว่าเท่ากัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ระดับดี โดยประเด็นที่มีคะแนนสูงสุดได้แก่ การสร้างเครื่องทดสอบใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาประหยัด ( $\bar{x} = 4.80$ ) และต่ำสุด ได้แก่ สามารถเปลี่ยนอะไหล่ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องได้และสะดวกในการแก้ไขข้อบกพร่องและจุดเสียของเครื่อง ( $\bar{x} = 3.80$ )

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 17 แสดงว่าผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบปริเลย์ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซมอยู่ในระดับดี เครื่องทดสอบปริเลย์สามารถเปลี่ยนอะไหล่และชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ สามารถตรวจสอบแก้ไขข้อเสียจากการใช้งานและแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ได้ การสร้างเครื่องทดสอบใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาประหยัด มีความสะดวกในการแก้ไขข้อบกพร่องของจุดเสียของเครื่อง โดยที่ในด้านการสร้างเครื่องทดสอบใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาประหยัดมีความสอดคล้องกับสมมุติฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 18 แสดงผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบปริเลย์

| สมรรถนะของเครื่องทดสอบปริเลย์                       | $\bar{x}$ | SD   | t - test |
|-----------------------------------------------------|-----------|------|----------|
| 1. ด้านกายภาพ                                       | 4.33      | 0.16 | 4.61**   |
| 2. ด้านการใช้งาน                                    | 4.48      | 0.33 | 3.25*    |
| 3. ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม                      | 4.04      | 0.33 | 0.27     |
| ค่าเฉลี่ยรวมการประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบปริเลย์ | 4.28      | 0.16 | 3.91*    |

\*p< .05, \*\*p< .01

— .D = 0.16, t-test = 4.61) โดยรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ดี มีความสอดคล้องกับสมมติฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ด้านการใช้งาน ( $\bar{X} = 4.48$ , S.D = 0.33, t-test = 3.25) โดยรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ดี มีความสอดคล้องกับสมมติฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม ( $\bar{X} = 4.04$ , S.D = 0.33, t-test = 0.27) โดยรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ดี

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 18 แสดงว่าสมรรถนะของเครื่องทดสอบบีเลย์ โดยการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ใน 3 ด้าน คือ ด้านกายภาพ ด้านการใช้งานและด้านการบำรุงรักษา และซ่อมแซม มีสมรรถนะโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี ( $\bar{X} = 4.28$ , S.D = 0.16, t-test = 3.91) มีความสอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

## บทที่ 5

### สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบบรีเลย์ เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องทดสอบบรีเลย์ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน เป็นผู้ประเมิน มีรายละเอียดดังนี้

#### ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบบรีเลย์
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบบรีเลย์

#### การดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบบรีเลย์และวัสดุอุปกรณ์ ประกอบด้วย

1. ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย โดยกำหนดเป็นแผนงานการปฏิบัติงานเพื่อดำเนินการวิจัย เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบบรีเลย์ให้เป็นไปตามแผนงานที่กำหนดไว้
2. ศึกษาทฤษฎีและข้อมูล รวมถึงรายละเอียดต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในการสร้างเครื่องทดสอบ โดยได้ศึกษาข้อมูลเครื่องมืออุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องและส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จะนำมาดำเนินการสร้าง ศึกษากระบวนการควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบบรีเลย์
3. รวบรวมข้อมูลและออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่าง ๆ โดยการนำทฤษฎีและข้อมูลที่ได้ทำการศึกษามาออกแบบโครงสร้างและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องทดสอบบรีเลย์ซึ่งจะอาศัยขอบเขตการวิจัยมาทำการออกแบบให้ครอบคลุมและกำหนดวัสดุอุปกรณ์ที่จะทำการสร้างเครื่องทดสอบบรีเลย์ขึ้น ออกแบบวงจรควบคุมการทำงานทั้งวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
4. นำวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พร้อมทั้งโครงสร้างเครื่องที่ได้ทำการออกแบบให้ผู้เชี่ยวชาญและอาจารย์ที่ปรึกษา ตรวจสอบเพื่อหาข้อบกพร่องและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข
5. กำหนดรายการวัสดุและจัดหาวัสดุ อุปกรณ์ที่มีคุณภาพที่ใช้ในการสร้างเครื่องทดสอบ โดยผู้วิจัยทำการกำหนดรายการวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการสร้างเครื่องทดสอบ

รีเลย์ โดยใช้วัสดุที่มีจำหน่ายตามแหล่งขายวัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป

6. ดำเนินการสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์จากวัสดุ อุปกรณ์ที่ได้กำหนดไว้ ตามแบบวงจรที่ได้ออกแบบและนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นต้นแบบ

7. ทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์ ทำการแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดจากการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์เพื่อให้ทำงานได้ตามกำหนด

ขั้นตอนที่ 2 หาประสิทธิภาพและประเมินสมรรถนะ โดยกำหนดเป็นแผนการดำเนินงานวัดค่าหาประสิทธิภาพและประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละกระบวนการโดยการทดสอบหาค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบ กระแสไฟฟ้าทดสอบ ค่าความต้านทานทดสอบ จำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ ค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสรีเลย์กับกลุ่มตัวอย่าง และให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์ จำนวน 5 คน ใน 3 ด้าน ดังนี้

1. ด้านกายภาพ
2. ด้านการใช้งาน
3. ด้านการบำรุงรักษา

ขั้นตอนที่ 3 เครื่องมือวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง กำหนดเครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ ที่จะใช้ทำการทดลองให้ได้สมรรถนะและประสิทธิภาพตามสมมติฐานการวิจัย

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล โดยการนำผลที่ได้จากการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญมาทำการวิเคราะห์ผล ให้ได้ข้อสรุปและผลตรงตามสมมติฐานการวิจัย

### สรุปผลการวิจัย

1. การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ เพื่อใช้ในการทดสอบรีเลย์ควบคุมที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็ก ในด้านความทนทานของหน้าสัมผัส โดยอ้างอิงวงจรการตรวจสอบความทนทานของหน้าสัมผัสรีเลย์จากมาตรฐาน IEC255-15 ทำการกำหนดคุณสมบัติการทดสอบให้ตรงตามมาตรฐาน โดยเลือกใช้แรงดันทดสอบเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ทดสอบกับตัวต้านทานบริสุทธิ์ค่า 12 โอห์ม เพื่อให้ได้กระแสทดสอบตามคุณสมบัติเฉพาะที่ต้องการ 1 แอมแปร์ ในการทดสอบความทนทานของหน้าสัมผัสรีเลย์ จะมีเงื่อนไข (Intermediate contact load test) คือ ต้องมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมหน้าสัมผัสต้องไม่น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันทดสอบ (CEI IEC 61810-7 . 1997:75) นำข้อมูลที่ได้นำมาออกแบบและเครื่องทดสอบโดยกำหนดเงื่อนไขการทดสอบที่ค่าแรงดันตกคร่อมหน้าสัมผัสรีเลย์ขณะมีปัญหาคือ 10.8

## 2. การวัดค่าเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบบรีเลย์ ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตาราง 19 แสดงผลการวัดค่าต่าง ๆ ของเครื่องทดสอบบรีเลย์

| ลำดับ | รายการทดสอบ                       | ค่าเฉลี่ยที่ได้ |
|-------|-----------------------------------|-----------------|
| 1     | แรงดันไฟฟ้าทดสอบ                  | 11.82 โวลต์     |
| 2     | กระแสไฟฟ้าทดสอบ                   | 0.93 แอมแปร์    |
| 3     | ค่าความต้านทานทดสอบ               | 12.02 โอห์ม     |
| 4     | จำนวนครั้งการนับหน้าสัมผัสบรีเลย์ | 21,439 ครั้ง    |
| 5     | ค่าความต้านทานหน้าสัมผัสบรีเลย์   | 0.90 โอห์ม      |

3. การประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบบรีเลย์ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ตอบแบบประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบบรีเลย์ใน 3 ด้าน คือ ด้านกายภาพ ด้านการใช้งาน ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.1 ด้านกายภาพ จากแบบประเมินจำนวน 6 ข้อ คือ ความแข็งแรงของโครงสร้าง รูปทรงเหมาะสมกับการใช้งาน โทนสีของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน ความเรียบร้อยในการจัดวางวัสดุ ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง ความเหมาะสมในการใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาสร้าง มีผลการประเมินสมรรถนะอยู่ในระดับ ดี

3.2 ด้านการใช้งาน จากแบบประเมินจำนวน 5 ข้อ คือ ขั้นตอนการใช้ทดสอบไม่ยุ่งยาก การเคลื่อนย้ายเครื่องมีความสะดวก การถอดและประกอบเครื่องผู้ใช้งานสามารถทำได้

3.3 ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม จากแบบประเมินจำนวน 5 ข้อ คือ สามารถเปลี่ยนอะไหล่ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องได้ ตรวจสอบแก้ไขข้อเสียจากการใช้งานได้ สามารถแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเครื่องได้ การสร้างเครื่องทดสอบให้อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาประหยัด สะดวกในการแก้ไขข้อบกพร่องและจุดเสียของเครื่อง มีผลการประเมินอยู่ในระดับ ดี

### อภิปรายผลการวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบบรีเลย์ ได้ตั้งสมมติฐานไว้คือ เครื่องทดสอบบรีเลย์ที่สร้างขึ้น โดยอ้างอิงวงจรการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 255-15 มีประสิทธิภาพและสมรรถนะในเกณฑ์ดี สามารถอภิปรายผลมีรายละเอียดดังนี้

1. สมรรถนะของเครื่องทดสอบบรีเลย์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนั้น ได้ประเมินด้วยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ทั้งหมด 3 ด้าน คือ ด้านกายภาพ ด้านการใช้งาน ด้านการบำรุงรักษา และซ่อมแซม ผลการประเมินค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในเกณฑ์ ดี ซึ่งจำแนกรายละเอียดของสมรรถนะของเครื่องที่สร้างขึ้นดังต่อไปนี้

1.1 ด้านกายภาพ จากการประเมินจำนวน 6 ข้อ ผลการประเมินอยู่ในระดับดี ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วด้านที่อยู่ในระดับดีมาก คือ โทนสีของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน อันเนื่องมาจากเลือกใช้โทนสีเทา ซึ่งเป็นสีที่สบายตา สะอาด สามารถมองเห็นจุดขึ้นต่อสำหรับเสียบสายทดสอบได้อย่างชัดเจน ตัวอักษรที่ระบุตำแหน่งขั้วต่อเป็นตัวอักษรสีดำเห็นได้ชัดเจนเมื่ออยู่บนพื้นกล่องสีเทา สอดคล้องกับงานวิจัยของพีรเชษฐ์ ศรีชัย (2546) ได้พัฒนาเครื่องตรวจความสิ้นสะท้อนของเครื่องจักร ใช้โครงสร้างเครื่องตรวจเป็นสีที่มองแล้วสบายตา เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน รองลงมาในระดับดี ตามลำดับคือ ความแข็งแรงของโครงสร้าง รูปทรงเหมาะสมกับการใช้งาน ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง ความเรียบร้อยในการจัดวางวัสดุ ความเหมาะสมในการใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาสร้าง

1.2 ด้านการใช้งาน จากการประเมินจำนวน 5 ข้อ ผลการประเมินอยู่ระดับ ดี เมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่า ด้านที่อยู่ในระดับ ดีมาก คือ การเคลื่อนย้ายเครื่องมีความสะดวก สอดคล้องกับงานวิจัยของยงยุทธ วิฑูรย์ศาสตร์ (2541) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ สามารถใช้งานได้สะดวกง่ายต่อการอ่านค่า และรองลงมาอยู่ในระดับ ดี ตามลำดับ

1.3 ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม จากการประเมินจำนวน 5 ข้อ ผลการประเมินอยู่ในระดับ ดี เมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่า ด้านที่อยู่ในระดับ ดีมาก คือ การสร้างเครื่องทดสอบใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาประหยัด สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประสงค์ สืบชาติ (2545) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบความเป็นฉนวนของเครื่องใช้ไฟฟ้า มีจุดซ่อมบำรุงรักษาน้อยและอุปกรณ์หาซื้อได้ง่าย และสอดคล้องกับงานวิจัยของสมชาย สุขพันธ์ (2531) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องวัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์ อุปกรณ์การซ่อมบำรุงหาซื้อได้ง่ายและรองลงมาอยู่ในระดับ ดี ตามลำดับ คือ สามารถเปลี่ยนอะไหล่ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องได้ สามารถแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเครื่องได้ สะดวกในการแก้ไขข้อบกพร่องและจุดเสี่ยงของเครื่อง ตรวจสอบแก้ไขข้อเสียจากการใช้งานได้

สมรรถนะของเครื่องทดสอบปริมาตรทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านกายภาพ ด้านการใช้งาน ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม มีผลการประเมินเฉลี่ยอยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ย 4.28 มีค่า t เท่ากับ 3.91 สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบปริมาตรที่สร้างขึ้น โดยอ้างอิงวงจรการทดสอบตามมาตรฐาน IEC255-15 และอ้างอิงผลการทดสอบความทนทานจากมาตรฐาน CEI IEC 61810-7 ที่กำหนดให้แรงดันตกคร่อมหน้าสัมผัสรีเลย์ขณะรีเลย์มีปัญหาต้องมีแรงดันตกคร่อมไม่ต่ำกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบมาตรฐานเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 12 โวลต์ ดังนั้นค่าแรงดันที่ยอมรับได้ต้องมีค่าแรงดันตกคร่อมหน้าสัมผัสขณะหน้าสัมผัสต่อวงจรไม่เกินค่าแรงดันไฟฟ้า 1.2 โวลต์ หรืออีกนัยหนึ่งค่าแรงดันเปรียบเทียบต้องไม่น้อยกว่า 10.8 โวลต์ นั่นเอง โดยผลการทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญปรากฏค่าเฉลี่ยของแรงดันทดสอบอยู่ที่ 11.82 โวลต์ อยู่ในช่วงขอบเขตที่ยอมรับได้ ค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบมาตรฐานเมื่อเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบมาตรฐาน 12 โวลต์ ทดสอบกับค่าความต้านทานบริสุทธิ์ 12 โอห์ม จะได้กระแสทดสอบมาตรฐาน 1 แอมแปร์ จากผลการทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญปรากฏค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.93 แอมแปร์ อยู่ในช่วงขอบเขตที่ยอมรับได้ ค่าความต้านทานทดสอบมาตรฐานเป็นตัวต้านทานบริสุทธิ์ 12 โอห์ม เพื่อให้ได้กระแสทดสอบมาตรฐาน 1 แอมแปร์ จากการทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญในการวัดค่าความต้านทานปรากฏค่าเฉลี่ยของการวัดอยู่ที่ 12.02 โอห์ม อยู่ในช่วงขอบเขตที่ยอมรับได้ ค่าจำนวนครั้งการนับจะสัมพันธ์กับค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสรีเลย์เมื่อรีเลย์เกิดปัญหาขึ้นที่หน้าสัมผัส ซึ่งค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสที่ทดสอบหลัง

จากการทดสอบปรากฏค่าที่เป็นค่าเฉลี่ยทั้งหมด ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเกิดขึ้นจากเหตุผลหลายประการ ซึ่งอาจเกิดขึ้นมาจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากหม้อแปลงไฟฟ้าหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับนั้นเป็นค่าเฉลี่ย เมื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้ามาทดสอบค่าที่ได้ก็เป็นค่าเฉลี่ยเช่นกัน ซึ่งผู้วิจัยได้นำเอาคาปาซิเตอร์อันจะเป็นตัวช่วยชดเชยแรงดันไฟฟ้าและใช้ไอซีเรกูเลเตอร์รักษาระดับแรงดันให้คงที่ ซึ่งจะมีค่าแรงดันส่วนหนึ่งตกคร่อมภายในตัวไอซีเองจึงทำให้ค่าแรงดันที่ต้องการไม่อยู่ที่ระดับ 12 โวลต์จริงตามมาตรฐาน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปถึงค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบด้วยเช่นกัน ความคลาดเคลื่อนจากการนับและการแสดงผลการนับอันเนื่องมาจากค่าแรงดันเปรียบเทียบและค่าความถี่ที่เกิดขึ้นในระหว่างการนับ เนื่องด้วยไอซีควบคุมการนับทำงานได้ที่ความถี่สูง ๆ เมื่อเกิดการตัดต่อของหน้าสัมผัสย่อมเกิดความถี่อันเป็นสัญญาณรวมกวนตามปกติ เข้ามารบกวนการทำงานของไอซีควบคุมการนับ ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์คาปาซิเตอร์เป็นตัวกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นแต่ก็สามารถกำจัดสัญญาณลงกราวด์ได้จำนวนหนึ่งเท่านั้น เป็นผลให้วงจรการนับเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นมาได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณรงค์ อย่างสกุล (2540) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องวัดความถี่ ซึ่งระบุว่าค่าความผิดพลาดจากการทำงานของเครื่องวัดความถี่ มีความสำคัญมากในการสร้างเครื่องวัดความถี่ เนื่องจากเมื่อมีความถี่รบกวนจะทำให้ผลการวัดผิดพลาดไปมาก

ประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์ที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน ใน 5 ด้าน คือ

1. ค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบ มีค่าเฉลี่ย 11.82 โวลต์ อยู่ภายในขอบเขต  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าทดสอบมาตรฐาน ผ่านเกณฑ์การประเมินและสอดคล้องกับสมมติฐาน
2. ค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบ มีค่าเฉลี่ย 0.93 อยู่ภายในขอบเขต  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของกระแสไฟฟ้าทดสอบมาตรฐาน ผ่านเกณฑ์การประเมินและสอดคล้องกับสมมติฐาน
3. ค่าความต้านทานไฟฟ้าทดสอบ มีค่าเฉลี่ย 12.02 อยู่ภายในขอบเขต  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าความต้านทานทดสอบมาตรฐาน ผ่านเกณฑ์การประเมินและสอดคล้องกับสมมติฐาน
4. การนับจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ มีค่าเฉลี่ย 21,439 ครั้ง อยู่ภายในขอบเขต  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งเฉลี่ย ผ่านเกณฑ์การประเมินและสอดคล้องกับสมมติฐาน
5. ค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์เมื่อวงจรตรวจจับสั่งให้วงจรหยุดการนับเมื่อมีแรงดันเกินค่ามาตรฐาน มีค่าเฉลี่ยในขณะรีเลย์มีปัญญา 0.90 อยู่ภายในขอบเขต  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ของค่าความต้านทานเฉลี่ย ผ่านเกณฑ์การประเมินและสอดคล้องกับสมมติฐาน

### ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การศึกษาค้นคว้านี้สมบูรณ์ ผู้วิจัยได้เสนอแนะเพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ ๆ ใน การศึกษาค้นคว้าในอนาคต ดังนี้

1. ในหน่วยงานสามารถนำเครื่องทดสอบบริเลย์นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์หาความคงทนของ หน้าสัมผัสรีเลย์ เพื่อการทราบค่าการใช้งานของหน้าสัมผัสที่เหมาะสม
2. ในสถานศึกษาสามารถนำเครื่องทดสอบบริเลย์ไปใช้ในห้องทดลอง ห้องประลองทั้งวิชา เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ วิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรมและวิชาดิจิตอล เพื่อวิเคราะห์การ ทำงานของวงจรการทำงานของเครื่อง ตรวจวัดค่าที่ได้จากการใช้งานและตรวจวิเคราะห์หา พารามิเตอร์ต่าง ๆ ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
3. ควรใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ในการตรวจจับค่าแรงดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง ของค่าความต้านทานหน้าสัมผัสเนื่องจากมีค่าเสถียรภาพที่ดีกว่า
4. ระบบการแสดงผลควรแสดงผลบนจอภาพ LCD ซึ่งมีค่าสวยงามและสามารถระบุตัว อักษรบนหน้าจอแสดงผลได้
5. การทำงานของเครื่องเป็นเวลานาน ทำให้อุปกรณ์เกิดความร้อนส่งผลกระทบต่อ การทำงานภายในตัวเครื่องซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบกับสัญญาณด้วย ควรติดตั้งพัดลมดูดอากาศ เพื่อรักษาประสิทธิภาพของเครื่องได้เป็นอย่างดี
6. ควรติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันวงจรทางด้านเอาต์พุตของภาคแหล่งจ่ายไฟด้วย เพื่อเพิ่ม ความปลอดภัยในการทำงานของเครื่อง
7. ฐานรีเลย์ทดสอบควรติดตั้งไว้บนฐานที่มีโครงสร้างแข็งแรงและมีช่องเสียบสายต่อวงจร เพื่อความสะดวกในการทดสอบ

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ผู้วิจัยเสนอข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป คือ ควรทำการออกแบบวงจรให้มีความ เสถียรภาพ ป้องกันสัญญาณรบกวนเป็นอย่างดี การทดสอบควรกระทำในห้องที่มีการควบคุม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอ้างอิงค่ามาตรฐานจากมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล

## บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

- กฤษฎา วิสวธีรานนท์. (2536). *เรียน/เล่น/ใช้ ไอซีดีจีตอล*. กรุงเทพฯ : เอช-เอน การพิมพ์.
- จิรภัทร ขำญาติ. *สร้างผลิตภัณฑ์ด้วยมูลค่าเพิ่มจากเทคโนโลยีไทย: ศักยภาพการแข่งขันระดับโลก*. วิศวกรรมสาร (วารสาร).ปีที่ 55 เล่มที่ 9 กันยายน 2545.
- ณรงค์ ย่างสกุล. (2537). *เครื่องมือวัดความถี่*. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- ณัฏพล ฉลุทอง. (2546). *การออกแบบวงจรสำหรับตัวรับปลดปล่อย*. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- น.ต.มงคล พรหมเทศ, น.ต.ณรงค์ชัย กล่อมสุนทร. (2545). *ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เอมพันธ์.
- นราดล โชติวรรณพร. (2543). *การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบปริมาตรความดันโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร
- นภัทร วัจนเทพินทร์. (2541). *อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์.
- ประสงค์ สืบชาติ. (2545). *ออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบความเป็นฉนวนของเครื่องใช้ไฟฟ้า*. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.ถ่ายเอกสาร.
- พนม เสือสืบพันธ์. (2545). *การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ซูปเคลือบผิวกรอบขาไอซี*. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.ถ่ายเอกสาร
- พิสมัย สุภัทธานนท์. (2545). *ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- พีรเชษฐ์ ศรีชัย. (2546). *การพัฒนาเครื่องตรวจความถี่ของเครื่องจักร*. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.ถ่ายเอกสาร
- มนัส สังวรศิลป์, สมเกียรติ ศุภเดช. (2526). *ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์*. กรุงเทพฯ : อิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์ จำกัด.
- ยีน ภูสุวรรณ. (2534). *ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 1*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ยีน ภูสุวรรณ. (2540). *ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 2*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น
- ยีน ภูสุวรรณ. (2538). *ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 3*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.

ยงยุทธ วิฑูรย์ธรรณต์. (2541). *การออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์*. ปรินซ์นิพนธ์  
กศ.ม.(อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ :บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
ประสานมิตร.ถ่ายเอกสาร.

ล้วน สายยศ, อังคณา สายยศ. (2538). *เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา*. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.

วิโรจน์ อัครวงษ์, ชัชวาล เต็มฤทธิ์วงศ์และกรรณิ์ ใช้สฤติย์. (2536). *ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี*.

กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.

สมชาย สุขพันธ์. (2531). *เครื่องวัดคุณสมบัติทรานซิสเตอร์*. กรุงเทพฯ : เชมิคอนดัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์.  
ทรอนิกส์. ฉบับที่ 142

สมมาตร วิชชุเศวต. (2545). *การสร้างเครื่องพิมพ์แถบข้อความแสดงรายละเอียดสินค้าบน  
บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากฟิล์มพลาสติก*. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา).

กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สง สุธดามนธ์, วัฒนา เขียงกุลและพงษ์ศักดิ์ ศิวภัทรกำพล. (2536). *ไฟฟ้าเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ :  
ซีเอ็ดดูเคชั่น.

Neamen, Lonal A. (1996). *Electronic Circuit analysis and Design*. Mc Graw-Hill”

IEC 255-23-1994, IEC Standard for Electrical relay, Contact performance.

IEC 255-15-1981, IEC Standard for Electrical relay, Endurance tests for electrical relay  
contacts – Specification for the characteristics of test equipment.

IEC 61810-7-1997, IEC Standard for Electromechanical all – or - nothing relay, Test and  
measurement procedures.

[www.ops2.moc.go.th](http://www.ops2.moc.go.th)

[www.ismed.or.th/intro-imsed](http://www.ismed.or.th/intro-imsed)

[www.pergatory.mit.edu/perg/research.htm](http://www.pergatory.mit.edu/perg/research.htm)

[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?tp=&arnumber=787467&isnumber=17042](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=787467&isnumber=17042)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
หนังสือขอความร่วมมือในการวิจัย

ภาคผนวก ข  
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในงานวิจัย

## รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

### 1. รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพเครื่องทดสอบบรีเลย์

- |                                       |                                                                                                                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1 อาจารย์อุทัย มั่นวงศ์             | ตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 7<br>ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า<br>สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน<br>วุฒិการศึกษาคอ.ม (ไฟฟ้า)                          |
| 1.2 อาจารย์พงษ์ศิลป์ แก้วรัตนศรีโพธิ์ | ตำแหน่ง อาจารย์พิเศษ<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยรังสิต<br>ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน กระทรวงพลังงาน<br>วุฒิการศึกษาคอ.ม. (ไฟฟ้า) |
| 1.3 ว่าที่ร.ต.อนุวัฒน์ ทองสกุล        | ตำแหน่ง ครู คศ.2<br>แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง<br>วิทยาลัยเทคนิคพังงา                                                                     |

### 2. ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะ

- |                               |                                                                                                                                              |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1 ผศ.ดร.สันติ หวังนิพนพานโต | ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์<br>ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า<br>สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน<br>วุฒิการศึกษากศ.ด (พลังงาน)                              |
| 2.2 อาจารย์รัชชัย จิตต์สนธิ์  | ตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 7<br>ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ<br>โทรคมนาคม<br>สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน<br>วุฒิการศึกษาคอ.ม (ไฟฟ้าสื่อสาร) |
| 2.3 อาจารย์วินัย จบเจนไพร     | ตำแหน่ง อาจารย์พิเศษ<br>ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์<br>โรงเรียนเทคโนโลยีปทุมธานี<br>วุฒิการศึกษาวศ.ม (ไฟฟ้า)                             |

2.4 อาจารย์พันธุ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์

ตำแหน่ง ครู คศ.4

ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์

วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร

วุฒิกการศึกษา คอ.ม. (ไฟฟ้า)

2.5 อาจารย์สุชาติ ยอดเกลี้ยง

ตำแหน่ง ครู คศ.2

ประจำแผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง

วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร

วุฒิกการศึกษา วศ.บ (ไฟฟ้ากำลัง)

ภาคผนวก ค

แบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเครื่องทดสอบบรีลีย์

## แบบประเมิน สมรรถนะเครื่องทดสอบปริเลย์

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องทดสอบปริเลย์

**คำชี้แจง** แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน

**ตอนที่ 1** ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยคำถาม จำนวน 5 ข้อ

**ตอนที่ 2** ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการประเมินสมรรถนะของเครื่องทดสอบปริเลย์ 3 ด้าน ประกอบด้วย

1. ด้านกายภาพ มีทั้งหมด 6 ข้อ
2. ด้านการใช้งาน มีทั้งหมด 5 ข้อ
3. ด้านการบำรุงรักษา มีทั้งหมด 5 ข้อ

**ตอนที่ 3** ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

วัตถุประสงค์ของการประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องทดสอบปริเลย์

**ตอนที่ 1** ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในกรอบ ☐ หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และ/หรือเติมคำหรือข้อความลงในช่องว่างที่กำหนดให้

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ .....ปี

3. ระดับการศึกษา

☐ ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า

☐ ปริญญาโทหรือเทียบเท่า

☐ ปริญญาเอกหรือเทียบเท่า

☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ) .....

4. ประสบการณ์การทำงาน ด้านวงจรไฟฟ้า/การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และวงจรควบคุม /เครื่องทดสอบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์รีเลย์ .....ปี

5. ตำแหน่งและหน้าที่ในหน่วยงาน

.....

.....

.....

.....

**ตอนที่ 2** ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องทดสอบรีเลย์

ข้อเสนอแนะในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินสมรรถนะตอนที่ 2 เป็นการประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบรีเลย์ 3 ด้าน คือ

1.1 ด้านกายภาพ มีทั้งหมด 6 ข้อ

1.2 ด้านการใช้งาน มีทั้งหมด 5 ข้อ

1.3 ด้านการบำรุงรักษา มีทั้งหมด 5 ข้อ

2. กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน หลังจากตรวจสอบวงจรไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์และทดลองใช้งานเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยมีค่าระดับคะแนนที่กำหนดไว้ดังนี้

5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดีมาก

4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดี

3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับพอใช้

2 หมายถึง ผลการประเมินในระดับควรปรับปรุง

1 หมายถึง ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้

### แบบประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบบรีเลย์

| ข้อที่                         | รายละเอียด                                               | ระดับการประเมิน |           |              |                    |                  |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------|--------------------|------------------|
|                                |                                                          | ดีมาก<br>(5)    | ดี<br>(4) | พอใช้<br>(3) | ควรปรับปรุง<br>(2) | ใช้ไม่ได้<br>(1) |
| 1. ด้านกายภาพ                  |                                                          |                 |           |              |                    |                  |
| 1                              | ความแข็งแรงของโครงสร้าง                                  |                 |           |              |                    |                  |
| 2                              | รูปทรงเหมาะสมกับการใช้งาน                                |                 |           |              |                    |                  |
| 3                              | โทนสีของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน                       |                 |           |              |                    |                  |
| 4                              | ความเรียบร้อยในการจัดวางวัสดุ                            |                 |           |              |                    |                  |
| 5                              | ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง                           |                 |           |              |                    |                  |
| 6                              | ความเหมาะสมในการใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาสร้าง           |                 |           |              |                    |                  |
| 2. ด้านการใช้งาน               |                                                          |                 |           |              |                    |                  |
| 1                              | ขั้นตอนการใช้ทดสอบไม่ยุ่งยาก                             |                 |           |              |                    |                  |
| 2                              | การเคลื่อนย้ายเครื่อง มีความสะดวก                        |                 |           |              |                    |                  |
| 3                              | การถอดและประกอบเครื่องผู้ใช้งานสามารถทำได้               |                 |           |              |                    |                  |
| 4                              | ติดตั้งเครื่องได้ง่าย รวดเร็ว                            |                 |           |              |                    |                  |
| 5                              | มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร                             |                 |           |              |                    |                  |
| 3. ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม |                                                          |                 |           |              |                    |                  |
| 1                              | สามารถเปลี่ยนอะไหล่ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องได้         |                 |           |              |                    |                  |
| 2                              | ตรวจสอบแก้ไขข้อเสียจากการใช้งานได้                       |                 |           |              |                    |                  |
| 3                              | สามารถแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเครื่องได้                |                 |           |              |                    |                  |
| 4                              | การสร้างเครื่องทดสอบใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาประหยัด |                 |           |              |                    |                  |
| 5                              | สะดวกในการแก้ไขข้อบกพร่องและจุดเสียของเครื่อง            |                 |           |              |                    |                  |

### ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาแสดงข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับสมรรถนะเครื่องทดสอบปริเลย์ ด้านต่าง ๆ  
ดังนี้

#### 3.1 ด้านกายภาพ

.....

.....

.....

.....

#### 3.2 ด้านการใช้งาน

.....

.....

.....

.....

#### 3.3 ด้านการบำรุงรักษา

.....

.....

.....

.....

#### 3.4 อื่น ๆ

.....

.....

.....

.....

ผู้เชี่ยวชาญ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ประเมินเมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

## แบบประเมิน ประสิทธิภาพเครื่องทดสอบรีเลย์

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยผู้เชี่ยวชาญ  
ทดสอบการใช้งานของเครื่องทดสอบรีเลย์

**คำชี้แจง** แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

**ตอนที่ 1** การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยผู้เชี่ยวชาญ  
ทดสอบการใช้งานเครื่องทดสอบรีเลย์กับรีเลย์ควบคุมมาตรฐานยี่ห้อ OMRON รุ่น MY2 ใช้กับ  
พิกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ จำนวน 5 ตัว โดยใช้พารามิเตอร์ ดังนี้

1. แรงดันไฟฟ้าทดสอบ ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์
2. ใช้ตัวต้านทานชนิดคงค่า แบบเซรามิก ยี่ห้อ ROYAL ขนาด 12 โอห์ม พิกัดการทน  
กำลังไฟฟ้า 30 วัตต์ ค่าความผิดพลาด  $\pm 5$  เปอร์เซ็นต์ เป็นภาระในการทดสอบเพื่อให้ได้กระแส  
ทดสอบ 1 แอมแปร์
3. ต่อดวงจรถ่ายทดสอบโดยอ้างอิงวงจรถ่ายทดสอบตามมาตรฐาน IEC 255-15

**ตอนที่ 2** ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

วัตถุประสงค์ของการประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมิน  
ประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

**ตอนที่ 1** ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

ข้อเสนอแนะในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินประสิทธิภาพตอนที่ 2 เป็นการประเมินประสิทธิภาพเครื่องทดสอบรีเลย์  
ตามพารามิเตอร์ที่กำหนด 3 ข้อ จากนั้นตรวจสอบค่า ดังนี้
  - 1.1 ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าทดสอบที่จ่ายออกจากเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยใช้โวลต์  
มิเตอร์กระแสตรงจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาตรฐาน
  - 1.2 ตรวจสอบกระแสไฟฟ้าทดสอบที่จ่ายออกจากเครื่องทดสอบรีเลย์ โดยใช้  
แอมป์มิเตอร์กระแสตรงจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาตรฐาน

1.3 ตรวจสอบค่าความต้านทานทดสอบ โดยใช้โอห์มมิเตอร์จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาตรฐาน

1.4 ตรวจสอบจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์สุดท้าย ก่อนปรากฏการเกิดฟอลต์ ขึ้นที่หน้าสัมผัส จากหน้าปัดแสดงผลด้วย LED 7 SEGMENT

1.5 ตรวจสอบค่าความต้านทานของหน้าสัมผัส หลังเกิดฟอลต์ของรีเลย์ทั้ง 5 ตัว โดยใช้โอห์มมิเตอร์จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาตรฐาน

## 2. กรณำบันทึกค่าดังต่อไปนี้ลงในตาราง

2.1 แรงดันไฟฟ้าทดสอบกับค่ามาตรฐาน

2.2 กระแสไฟฟ้าทดสอบกับค่ามาตรฐาน

2.3 ค่าความต้านทานที่ใช้ทดสอบกับค่าที่ระบุจากบริษัทผู้ผลิต

2.4 จำนวนครั้งการตัดต่อของหน้าสัมผัสรีเลย์สุดท้าย ก่อนปรากฏการเกิดฟอลต์

2.5 ค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์ ของรีเลย์ทั้ง 5 ตัว

3. โปรดตรวจสอบค่าที่ได้จากการทดสอบ เปรียบเทียบค่ากับเกณฑ์ที่กำหนดและโปรดทำเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 2 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน หลังจากทดลองใช้งานเครื่องทดสอบรีเลย์

2.1 แรงดันไฟฟ้าทดสอบที่ได้จากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยโวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐานเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด มีค่าความแตกต่างไม่เกิน  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์

2.2 กระแสไฟฟ้าทดสอบที่ได้จากการวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยแอมป์มิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐานเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด มีค่าความแตกต่างไม่เกิน  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์

2.3 ค่าความต้านทานที่ใช้ทดสอบที่ได้จากการวัดค่าตัวต้านทาน ด้วยโอห์มมิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐานเปรียบเทียบกับค่าที่ระบุจากบริษัทผู้ผลิต มีค่าความแตกต่างไม่เกิน  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์

2.4 จำนวนครั้งการตัดต่อของหน้าสัมผัสรีเลย์สุดท้าย ก่อนปรากฏการเกิดฟอลต์ของรีเลย์ทั้ง 5 ตัว ที่อ่านได้จากหน้าปัดแสดงผลด้วย LED 7 SEGMENTเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด มีค่าอยู่ในช่วงไม่เกิน  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ จากค่าเฉลี่ย

2.5 ค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์รีเลย์ทั้ง 5 ตัว ที่ได้จากการวัดค่าความต้านทาน ด้วยโอห์มมิเตอร์แบบดิจิตอลมาตรฐานเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด มีค่าอยู่ในช่วงไม่เกิน  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ จากค่าเฉลี่ย

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

| รีเลย์ | แรงดันทดสอบที่ได้จากการวัด (โวลต์) | เวลาที่ใช้ (วินาที) | เปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด (โวลต์) | ผลการทดสอบ |         |
|--------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|------------|---------|
|        |                                    |                     |                                     | ผ่าน       | ไม่ผ่าน |
| 1      |                                    | 10                  | 12                                  |            |         |
| 2      |                                    | 10                  | 12                                  |            |         |
| 3      |                                    | 10                  | 12                                  |            |         |
| 4      |                                    | 10                  | 12                                  |            |         |
| 5      |                                    | 10                  | 12                                  |            |         |

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบ

| รีเลย์ | กระแสทดสอบที่ได้จากการวัด (แอมแปร์) | เวลาที่ใช้ (วินาที) | เปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด (แอมแปร์) | ผลการทดสอบ |         |
|--------|-------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|------------|---------|
|        |                                     |                     |                                       | ผ่าน       | ไม่ผ่าน |
| 1      |                                     | 10                  | 1                                     |            |         |
| 2      |                                     | 10                  | 1                                     |            |         |
| 3      |                                     | 10                  | 1                                     |            |         |
| 4      |                                     | 10                  | 1                                     |            |         |
| 5      |                                     | 10                  | 1                                     |            |         |

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าความต้านทานที่ใช้ทดสอบ

| รีเลย์ | ความต้านทานทดสอบที่ได้จากการวัด (โอห์ม) | เปรียบเทียบกับค่าที่ระบุจากบริษัทผู้ผลิต (โอห์ม) | ผลการทดสอบ |         |
|--------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|------------|---------|
|        |                                         |                                                  | ผ่าน       | ไม่ผ่าน |
| 1      |                                         | 12                                               |            |         |
| 2      |                                         | 12                                               |            |         |
| 3      |                                         | 12                                               |            |         |
| 4      |                                         | 12                                               |            |         |
| 5      |                                         | 12                                               |            |         |

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัส

| รีเลย์ | จำนวนครั้งการตัดต่อ<br>หน้าสัมผัส (ครั้ง) | ค่าเฉลี่ย<br>(ครั้ง) | เปรียบเทียบกับเกณฑ์<br>ที่กำหนด (เปอร์เซ็นต์) | ผลการทดสอบ |         |
|--------|-------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|------------|---------|
|        |                                           |                      |                                               | ผ่าน       | ไม่ผ่าน |
| 1      |                                           |                      |                                               |            |         |
| 2      |                                           |                      |                                               |            |         |
| 3      |                                           |                      |                                               |            |         |
| 4      |                                           |                      |                                               |            |         |
| 5      |                                           |                      |                                               |            |         |

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์

| รีเลย์ | ความต้านทานที่ได้จาก<br>การวัดหน้าสัมผัส (โอห์ม) | เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย<br>(โอห์ม) | ผลการทดสอบ |         |
|--------|--------------------------------------------------|------------------------------------|------------|---------|
|        |                                                  |                                    | ผ่าน       | ไม่ผ่าน |
| 1      |                                                  |                                    |            |         |
| 2      |                                                  |                                    |            |         |
| 3      |                                                  |                                    |            |         |
| 4      |                                                  |                                    |            |         |
| 5      |                                                  |                                    |            |         |

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

.....

.....

.....

.....

.....

ผู้เชี่ยวชาญ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ประเมินเมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

## แบบประเมินความสอดคล้อง

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสอดคล้องของแบบประเมินสมรรถนะและแบบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

**คำชี้แจง** แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน

**ตอนที่ 1** ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยคำถาม จำนวน 5 ข้อ

**ตอนที่ 2** ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับความสอดคล้องของแบบประเมินสมรรถนะและแบบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

**ตอนที่ 3** ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

วัตถุประสงค์ของการประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสอดคล้องของแบบประเมินสมรรถนะและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

**ตอนที่ 1** ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในกรอบ ☐ นำข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และ/หรือเติมคำหรือข้อความลงในช่องว่างที่กำหนดให้

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ .....ปี

3. ระดับการศึกษา

☐ ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า

☐ ปริญญาโทหรือเทียบเท่า

☐ ปริญญาเอกหรือเทียบเท่า

☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ) .....

4. ประสบการณ์การทำงาน ด้านวงจรไฟฟ้า/การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และวงจรควบคุม /เครื่องทดสอบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์รีเลย์ .....ปี

## 5. ตำแหน่งและหน้าที่ในหน่วยงาน

.....

.....

.....

**ตอนที่ 2** ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับความสอดคล้องของแบบประเมินสมรรถนะและแบบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์

ข้อเสนอแนะในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินสมรรถนะตอนที่ 2 เป็นการประเมินความสอดคล้องของแบบประเมิน คือ

1.1 แบบประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบรีเลย์ 3 ด้าน คือ

1.1.1 ด้านกายภาพ มีทั้งหมด 6 ข้อ

1.1.2 ด้านการใช้งาน มีทั้งหมด 5 ข้อ

1.1.3 ด้านการบำรุงรักษา มีทั้งหมด 5 ข้อ

1.2 แบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องทดสอบรีเลย์ 5 รายการ คือ

1.2.1 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าแรงดันทดสอบ

1.2.2 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบ

1.2.3 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าความต้านทานที่ใช้ทดสอบ

1.2.4 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัส

1.2.5 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์

2. กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 3 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่าน หลังจากตรวจสอบแบบประเมินสมรรถนะและแบบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบรีเลย์แล้ว โดยมีค่าระดับคะแนนที่กำหนดไว้ดังนี้

+1 หมายถึง เหมาะสม

0 หมายถึง ไม่แน่ใจ

-1 หมายถึง ไม่เหมาะสม

แบบประเมินความสอดคล้องของแบบประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบปริเลย์

| ข้อที่                                  | รายละเอียด                                                   | ระดับการประเมิน |               |                  |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|------------------|
|                                         |                                                              | เหมาะสม<br>+1   | ไม่แน่ใจ<br>0 | ไม่เหมาะสม<br>-1 |
| 1. แบบประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบปริเลย์ |                                                              |                 |               |                  |
| 1.1 <u>ด้านกายภาพ</u>                   |                                                              |                 |               |                  |
| 1                                       | ความแข็งแรงของโครงสร้าง                                      |                 |               |                  |
| 2                                       | รูปทรงเหมาะสมกับการใช้งาน                                    |                 |               |                  |
| 3                                       | โทนสีของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน                           |                 |               |                  |
| 4                                       | ความเรียบร้อยในการจัดวางวัสดุ                                |                 |               |                  |
| 5                                       | ความสะดวกในการใช้งานของเครื่อง                               |                 |               |                  |
| 6                                       | ความเหมาะสมในการใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาสร้าง               |                 |               |                  |
| 1.2 <u>ด้านการใช้งาน</u>                |                                                              |                 |               |                  |
| 1                                       | ขั้นตอนการใช้ทดสอบไม่ยุ่งยาก                                 |                 |               |                  |
| 2                                       | การเคลื่อนย้ายเครื่อง มีความสะดวก                            |                 |               |                  |
| 3                                       | การถอดและประกอบเครื่องผู้ใช้งานสามารถทำได้                   |                 |               |                  |
| 4                                       | ติดตั้งเครื่องได้ง่าย รวดเร็ว                                |                 |               |                  |
| 5                                       | มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร                                 |                 |               |                  |
| 1.3 <u>ด้านการบำรุงรักษาและซ่อมแซม</u>  |                                                              |                 |               |                  |
| 1                                       | สามารถเปลี่ยนอะไหล่ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องได้             |                 |               |                  |
| 2                                       | ตรวจสอบแก้ไขข้อเสียจากการใช้งานได้                           |                 |               |                  |
| 3                                       | สามารถแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเครื่องได้                    |                 |               |                  |
| 4                                       | การสร้างเครื่องทดสอบใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย<br>และราคาประหยัด |                 |               |                  |
| 5                                       | สะดวกในการแก้ไขข้อบกพร่องและจุดเสียของเครื่อง                |                 |               |                  |

แบบประเมินความสอดคล้องของแบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องทดสอบบรีเลย์

| ข้อที่ | รายละเอียด                                             | ระดับการประเมิน |               |                   |
|--------|--------------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------|
|        |                                                        | เหมาะสม<br>+1   | ไม่แน่ใจ<br>0 | ไม่เหมาะสม<br>- 1 |
| 1      | แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบ             |                 |               |                   |
| 2      | แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบ              |                 |               |                   |
| 3      | แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าความต้านทานที่ใช้ทดสอบ       |                 |               |                   |
| 4      | แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัส   |                 |               |                   |
| 5      | แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบค่าความต้านทานหน้าสัมผัสบรีเลย์ |                 |               |                   |

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาแสดงข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ เกี่ยวกับแบบประเมินสมรรถนะและแบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องทดสอบบรีเลย์ ด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. แบบประเมินสมรรถนะเครื่องทดสอบบรีเลย์

1.1 ด้านกายภาพ

.....

.....

1.2 ด้านการใช้งาน

.....

.....

1.3 ด้านการบำรุงรักษา

.....

.....

2. แบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องทดสอบบรีเลย์

.....

.....

## 3. อื่น ๆ

.....

.....

ผู้เชี่ยวชาญ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ประเมินเมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ภาคผนวก ง  
คู่มือการใช้งานเครื่องทดสอบรีเลย์

# Endurance

Contact relay tester



## **INSTALLATION AND OPERATION MANUAL**

M.ED. (INDUSTRIAL EDUCATION). BANGKOK: GRADUATE SCHOOL  
SRINAKHARINVIROT UNIVERSITY

# **ENDURANCE CONTACT RELAY TESTER INSTALLATION AND OPERATION MANUAL**

**GRADUATE SCHOOL INDUSTRIAL EDUCATION  
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY**

**MANUAL DEVELOPMENT BY  
CHAIWUT THONGNGOEN  
APRILL, 2006**

## สารบัญ

| ลำดับที่            | หน้า |
|---------------------|------|
| 1 คำแนะนำเบื้องต้น  | 1    |
| 2 ส่วนประกอบ        | 1    |
| 3 อุปกรณ์ประกอบ     | 1    |
| 4 วิธีการติดตั้ง    | 3    |
| 5 วิธีการใช้งาน     | 1    |
| 6 วิธีการบำรุงรักษา | 2    |
| 7 คำแนะนำเพิ่มเติม  | 2    |

### 1. คำแนะนำเบื้องต้น

เครื่องทดสอบรีเลย์ ได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบความทนทานของหน้าสัมผัสรีเลย์ในห้องปฏิบัติการการทดสอบ หรือในห้องเรียนที่ต้องการทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เกี่ยวกับการทดสอบรีเลย์ กล่าวคือ

1. เป็นเครื่องมือที่ออกแบบให้ตรวจสอบการทำงานของหน้าสัมผัสรีเลย์ไฟฟ้าขนาดเล็ก แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ โดยใช้ตัวต้านทานขนาด 12 โอห์ม ในการทดสอบที่กระแส 1 แอมแปร์

2. เป็นเครื่องมือที่แสดงจำนวนครั้งการตัดต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ขนาดเล็ก โดยมีตัวเลขแสดงเป็นหลอด LED 7 SEGMENT ที่มีขนาดใหญ่ เห็นได้ชัดเจน ตัวเลขมีหน่วยเป็นครั้ง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เทียบกับค่าความต้านทานหน้าสัมผัสรีเลย์เมื่อรีเลย์ทดสอบมค่าความต้านทานมากเกินไปที่ต้งไว้



2

7

6

8

5

3

4

## 2. ส่วนประกอบ

- 2.1 สวิตช์ปิดเปิดเครื่อง
- 2.2 สวิตช์ไครย์ร์การทำงาน
- 2.3 สวิตช์รีเซท
- 2.4 สวิตช์หยุดการทดสอบ
- 2.5 ขั้วต่อเข้าตัวต้านทานทดสอบ
- 2.6 ขั้วต่อเข้าหน้าสัมผัสรีเลย์
- 2.7 ขั้วต่อเข้าคอล์ยรีเลย์
- 2.8 หลอดแสดงผล

## 3. อุปกรณ์ประกอบ

- 3.1 แผงเสียบรีเลย์ทดสอบ

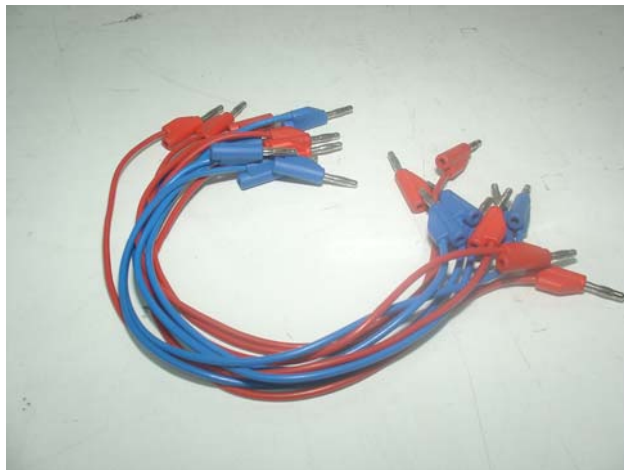


- 3.2 สายไฟฟ้า



3

### 3.3 สายแฉีก



## 4. วิธีการติดตั้งและการใช้งาน

### วิธีการติดตั้ง

#### 3.1 วางเครื่องทดสอบให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

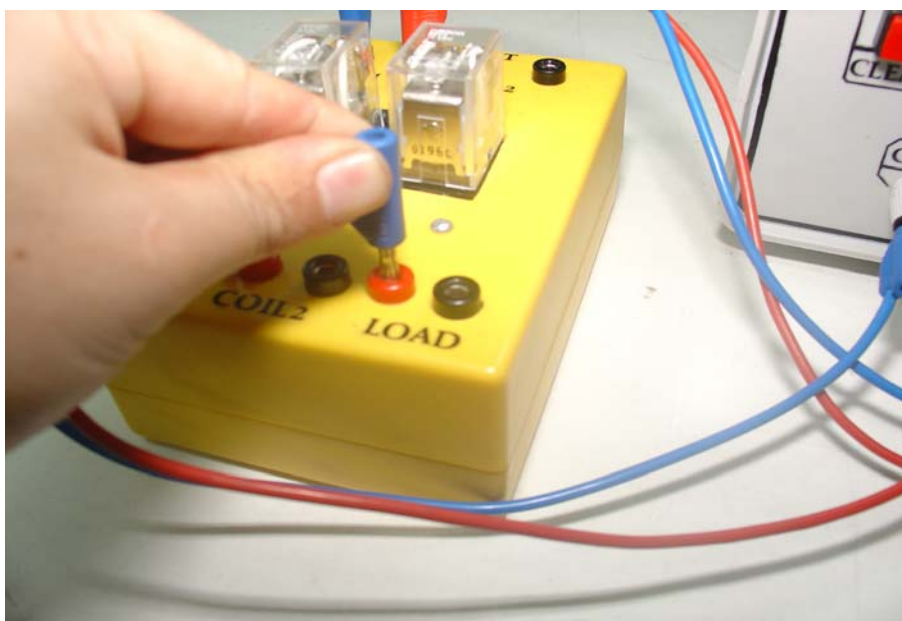


4

### 3.2 เสียบรีเลย์ทดสอบเข้ากับฐานทดสอบ

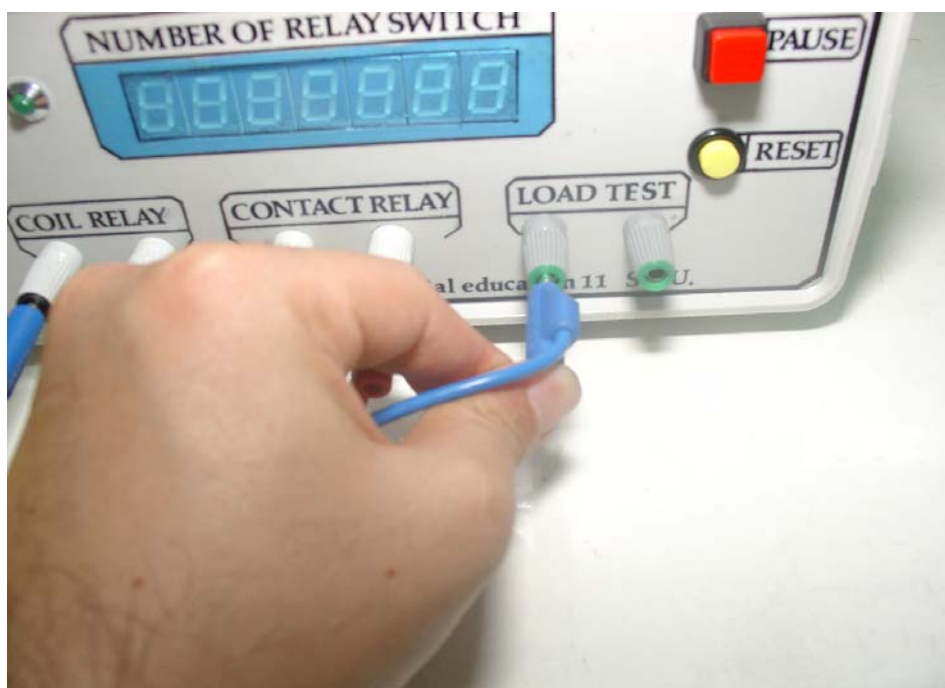


### 3.3 ต่อสายเข้ากับตัวต้านทานทดสอบ



5

3.4 ต่อสายเข้ากับขั้วต่อตัวต้านทานทดสอบที่เครื่องทดสอบ



3.5 ต่อสายเข้าหน้าสัมผัสรีเลย์

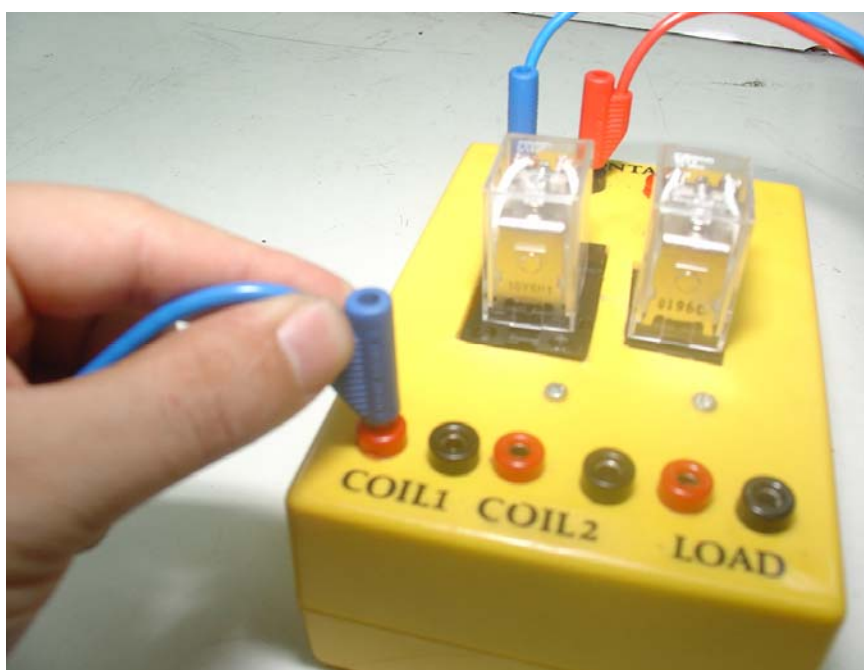


6

3.5 ต่อสายเข้ากับหัวหน้าสัมผัสรีเลย์ที่เครื่องทดสอบ

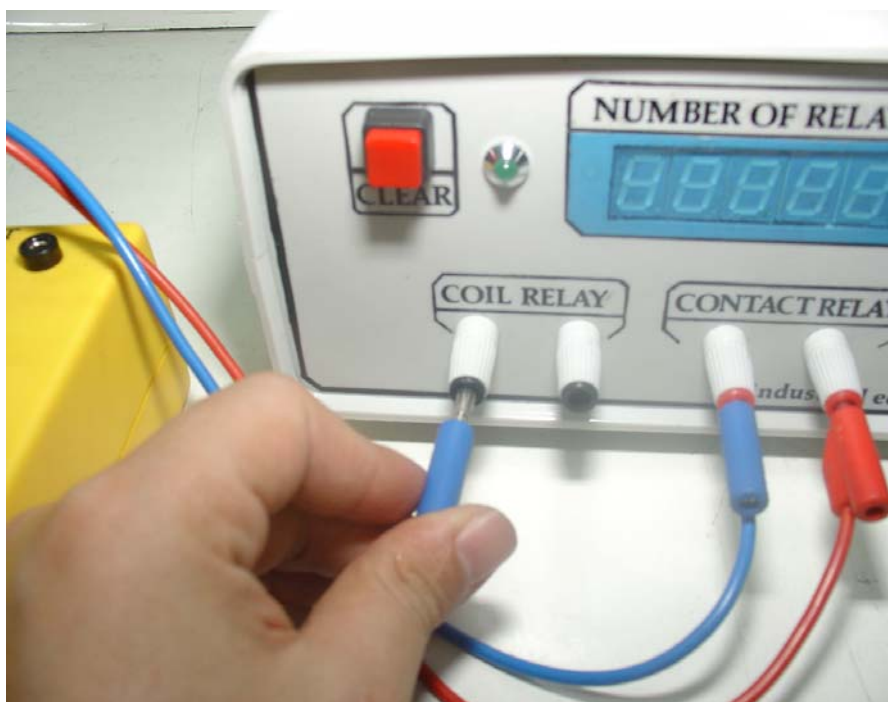


3.6 ต่อสายเข้าคอล์ยรีเลย์



7

3.7 ต่อสายเข้ากับขั้วคอยล์รีเลย์ที่เครื่องทดสอบ



3.8 เสียบสายไฟเข้าเครื่องทดสอบ

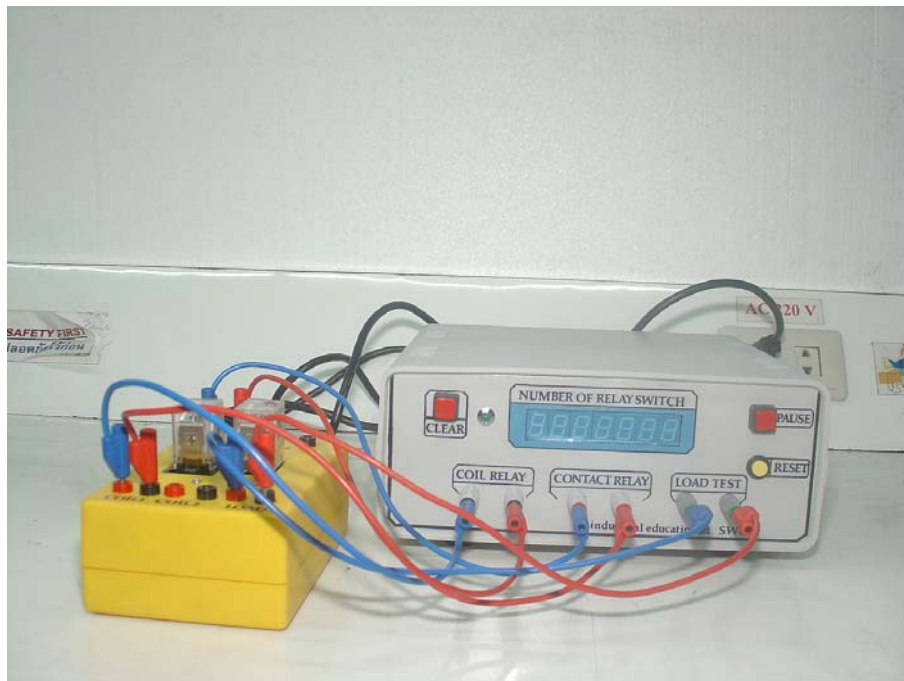


8

### 3.9 เปิดสวิตช์จ่ายไฟเข้าเครื่องทดสอบ



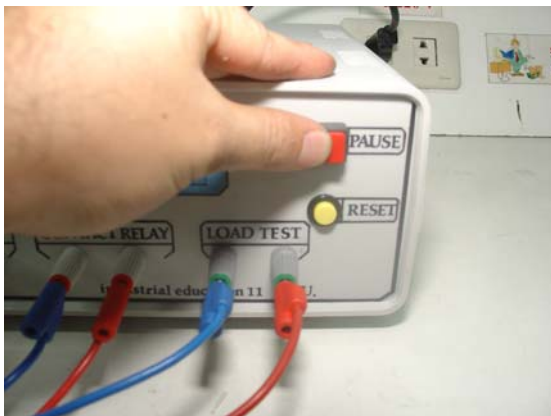
### 3.10 เครื่องจะอยู่ในสภาวะพร้อมใช้งานในการทดสอบรีเลย์



## 5. วิธีการใช้งาน

เมื่อเครื่องทดสอบอยู่ในสภาวะพร้อมใช้งาน ให้ดำเนินการทดสอบดังนี้

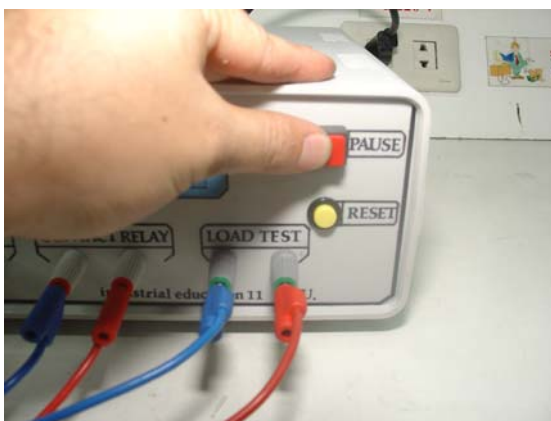
### 5.1 กดสวิทช์หยุดการทำงาน (Pause)



### 5.2 กดสวิทช์รีเซท เพื่อให้ตัวเลขเป็นศูนย์



### 5.3 กดสวิทช์รีเซ็ต (Pause) อีกครั้ง



10

#### 5.4 เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบ



5.5 เมื่อหน้าสัมผัสมีค่าความต้านทานเกินกำหนด เครื่องทดสอบจะหยุดนับพร้อมกับหลอดแอลอีดีสว่างขึ้นมา



5.6 เมื่อต้องการทดสอบอีกครั้ง ให้ทำตามขั้นตอนตั้งแต่ 5.1 อีกครั้ง

### 6. วิธีการบำรุงรักษา

เมื่อต้องการใช้งานเครื่องทดสอบรีเลย์ที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัยและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ควรปฏิบัติตามข้อแนะนำต่อไปนี้

4.1 หลังจากใช้งานทุกครั้ง ควรปิดสวิตช์ไฟฟ้าเสมอ

4.2 ระวังอย่าให้ฝุ่นละอองจับบริเวณตัวเครื่อง โดยเฉพาะหัวต่อและปุ่มต่าง เพราะอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

4.3 หากไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน ๆ ควรถอดสายทดสอบ และอย่าให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ถูกความชื้นหรือไอน้ำ

4.4 การติดตั้งและใช้งานของเครื่องควรอยู่ในอุณหภูมิที่ได้รับการควบคุมหรือไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส และมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

4.5 ไม่ควรให้เครื่องตกกระแทกหรือมีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง

4.6 หากพบปัญหาระหว่างการใช้งานควรปรึกษาช่างผู้ชำนาญการ ไม่ควรซ่อมแซม หรือแก้ไขด้วยตนเอง

## 7. คำแนะนำเพิ่มเติม

### ข้อควรปฏิบัติ

1. ควรใช้ห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิ เช่น ห้องปรับอากาศ ในการทดสอบ เนื่องจากต้องทดสอบเป็นเวลานาน

2. ควรวางบนพื้นผิวเรียบ แข็งแรง เช่น โต๊ะ ชั้นวางเครื่อง เป็นต้น

### ข้อห้าม

1. ห้ามใช้ในที่มีมีความชื้นและอุณหภูมิสูง รวมทั้งบริเวณใกล้กับหม้อน้ำร้อนหรืออุปกรณ์กำเนิดความร้อนชนิดอื่น ๆ

2. ห้ามวางไว้บริเวณขอบโต๊ะ หน้าต่างหรือที่ได้รับแสงอาทิตย์ในปริมาณมาก

3. ห้ามใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นหรือเปียกชื้น

4. ห้ามจับสายปลั๊กดึกในกรณีเลิกใช้ ให้จับที่หัวปลั๊กแล้วดึงออก

ภาคผนวก จ

วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์เครื่องทดสอบรีเลย์

ภาคผนวก จ

เอกสารอ้างอิงคุณสมบัติของอุปกรณ์เครื่องทดสอบรีเลย์

ภาคผนวก ช

รายการวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

## รายชื่อวัสดุ-อุปกรณ์

| ชื่อวัสดุ - อุปกรณ์                                                                                                                                                                                                                                                                         | จำนวน                                                                    | หมายเหตุ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. ตัวต้านทาน</b><br>1.1 ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ $\frac{1}{4}$ วัตต์ ค่าผิดพลาด 5 เปอร์เซ็นต์<br>- 10 โอห์ม<br>- 330 โอห์ม<br>- 1 กิโลโอห์ม<br>- 10 กิโลโอห์ม<br>- 100 กิโลโอห์ม<br>- 200 กิโลโอห์ม<br>- 220 กิโลโอห์ม<br>12. ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ แกนสั้น ขึ้นเดียว<br>- 500 กิโลโอห์ม | 1 ตัว<br>2 ตัว<br>4 ตัว<br>4 ตัว<br>8 ตัว<br>3 ตัว<br>3 ตัว<br><br>2 ตัว |          |
| <b>2. คาปาซิเตอร์</b><br>2.1 ชนิดอิเล็กทรอนิกส์<br>- 0.01uF 16V<br>- 0.1uF 25V<br>- 10uF 50V<br>- 100uF 50V<br>- 1000uF 50V<br>2.2 ชนิดเซรามิก<br>- 0.001uF 16V                                                                                                                             | 5 ตัว<br>6 ตัว<br>6 ตัว<br>3 ตัว<br>3 ตัว<br><br>3 ตัว                   |          |
| <b>3. ไดโอด เบอร์ 1N4148</b>                                                                                                                                                                                                                                                                | 4 ตัว                                                                    |          |
| <b>4. LED</b>                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2 หลอด                                                                   |          |
| <b>5. ไอซีรักษาระดับแรงดัน</b><br>- เบอร์ 7805<br>- เบอร์ 7812                                                                                                                                                                                                                              | 1 ตัว<br>2 ตัว                                                           |          |
| <b>6. ไอซี TTL</b><br>- เบอร์ 74LS00<br>- เบอร์ 74LS08                                                                                                                                                                                                                                      | 1 ตัว                                                                    |          |

|                                |        |  |
|--------------------------------|--------|--|
| - เบอร์ 74LS11                 | 1 ตัว  |  |
| - เบอร์ 74LS32                 | 1 ตัว  |  |
| - เบอร์ 74LS125A               | 1 ตัว  |  |
| 7. ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC337    | 1 ตัว  |  |
| 8. สวิตช์                      |        |  |
| - ชนิดกดติดปล่อยดับ            | 2 ตัว  |  |
| - ชนิดกดติดกดดับ               | 2 ตัว  |  |
| 9. รีเลย์                      | 35 ตัว |  |
| 10. หม้อแปลงไฟฟ้า              | 1 ตัว  |  |
| 11. แผ่นวงจรพิมพ์              | 2 แผ่น |  |
| 12. สายต่อวงจร                 | 5 เส้น |  |
| 13. ฐานเสียบรีเลย์             | 2 ตัว  |  |
| 14. ตะกั่วบัดกรี               | 1 ม้วน |  |
| 15. น้ำยากัดลายวงจรพิมพ์       | 1 กก.  |  |
| 16. ฟิวส์หลอดแก้วพร้อมฐานฟิวส์ | 1 ชุด  |  |
| 17. สาย AC                     | 1 เส้น |  |
| 18. สายไฟฟ้า                   | 1 ม้วน |  |
| 19. แผ่นพลาสติก                | 1 แผ่น |  |

#### รายชื่อเครื่องมือ

| ชื่อวัสดุ - อุปกรณ์      | จำนวน | หมายเหตุ |
|--------------------------|-------|----------|
| 1. สว่านเจาะปริ้นท์      | 1 ตัว |          |
| 2. ไขควงชุด              | 1 ชุด |          |
| 3. คีมช่าง               | 1 ตัว |          |
| 4. คีมปากแหลม            | 1 ตัว |          |
| 5. เลื่อยตัวเหล็ก        | 1 ตัว |          |
| 6. คัดเตอร์              | 1 ตัว |          |
| 7. ตะไบแบน 1 นิ้ว        | 1 ตัว |          |
| 8. หัวแร้งไฟฟ้า 40 วัตต์ | 1 ตัว |          |

|                            |           |  |
|----------------------------|-----------|--|
| 9. ดอกสว่าน 1 มม.          | 5 ตัว     |  |
| 10. ดอกสว่าน 1.5 มม.       | 3 ดอก     |  |
| 11. ดอกสว่าน 2 มม.         | 3 ดอก     |  |
| 12. ที่ดูดตะกั่ว           | 1 ตัว     |  |
| 13. คีมลอกสายไฟ            | 1 ตัว     |  |
| 14. มัลติมิเตอร์แบบอนาล็อก | 1 ตัว     |  |
| 15. มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล | 1 ตัว     |  |
| 16. ออสซิลโลสโคป           | 1 เครื่อง |  |

ประวัติย่อผู้วิจัย

## ประวัติย่อผู้วิจัย

|                              |                                                                                                                                               |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ ชื่อสกุล                | นายชัยวุฒิ ธงเงิน                                                                                                                             |
| วันเดือนปีเกิด               | 2 ธันวาคม พ.ศ. 2517                                                                                                                           |
| สถานที่เกิด                  | 78 หมู่ 1 ต.นาบึง กิ่งอ.ภูเพียง จ.น่าน                                                                                                        |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน          | 286/1 ถ.บำรุงเมือง แขวงบ้านบาตร เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย<br>กรุงเทพมหานคร 10100                                                                   |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน | ครู คศ.1                                                                                                                                      |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน         | แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร<br>286/1 ถ.บำรุงเมือง แขวงบ้านบาตร เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย<br>กรุงเทพมหานคร 10100 โทร.02-2231069 |
| ประวัติการศึกษา              |                                                                                                                                               |
| พ.ศ.2533                     | มัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนนันทบุรีวิทยา จ.น่าน                                                                                                |
| พ.ศ. 2536                    | ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง<br>วิทยาลัยเทคนิคน่าน จ.น่าน                                                                          |
| พ.ศ. 2538                    | ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง<br>จากวิทยาลัยเทคนิคน่าน จ.น่าน                                                                |
| พ.ศ. 2541                    | ประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง สาขาครูเทคนิคไฟฟ้ากำลัง<br>จากวิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี จ.อุดรธานี                                                 |
| พ.ศ. 2550                    | ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา<br>จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                                                              |