

เครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรมแลบวิว

Microcontroller-Based Semiconductor Device Analyzer with LabVIEW Interface

รุ่งลาวัลย์ ชูสวัสดิ์ ตรีณิ ชัยทอง และ อภิรักษ์ เสือเดช*

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย apirak.su@rmuts.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรมแลบวิว ส่วนประกอบหลักของเครื่องประกอบด้วยชุดแหล่งจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าพร้อมด้วยชุดทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีจำนวนสองและสามขั้วโดยใช้โพรบวัดและกล่องทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งชนิดตัวถังแบบเอสเอ็มดีและแบบทรูโฮล

การทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำสามารถดำเนินการได้ในสองโหมด ได้แก่ โหมดสั่งงานผ่านหน้าจอแสดงผลแบบสัมผัส และโหมดสั่งงานด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมแลบวิว ซึ่งใช้วิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้หลายประเภท ได้แก่ ไดโอดเรียงกระแส ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ และมอสเฟต เป็นต้น โดยที่สามารถระบุประเภท ตำแหน่งขา ชนิด แรงดันไบอัสของอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลกราฟลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิดผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งสามารถบันทึกกราฟเป็นไฟล์รูปภาพและจัดเก็บข้อมูลผ่านพอร์ตยูเอสบีเพื่อใช้วิเคราะห์จุดการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำในเชิงลึก

คำสำคัญ: ไมโครคอนโทรลเลอร์ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ โปรแกรมแลบวิว
จอแสดงผลแบบสัมผัส

Abstract

This paper presents a microcontroller-based semiconductor device analyzer with a LabVIEW interface. The instrument's primary components comprise a source-measure unit (SMU) for voltage and current, in addition to test fixtures for both two and three terminal semiconductor devices. The system uses measurement probes and the device under test (DUT) box designed for both Surface Mount Device (SMD) and Through Hole (TH) component packages.

Semiconductor device testing can be performed in two modes: touchscreen human-machine interface (HMI) and LabVIEW user interface. The analytical results for various devices, including rectifier diodes, Zener diodes, transistors, and MOSFETs, demonstrate that the analyzer can precisely verify the device kinds, pin configurations, types, and bias voltages. The system can exhibit current-voltage (I-V) characteristic curves for each device type through computer software, allowing users to save graphs as image files and send data over a USB port for an in-depth analysis of the operating points of semiconductor devices.

Keywords: Microcontroller, semiconductor device, LabVIEW, touchscreen display

1. บทนำ

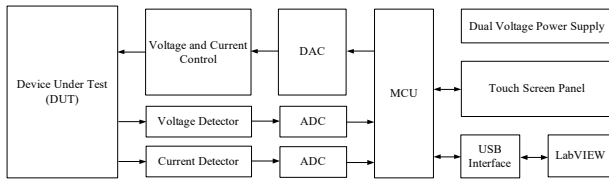
ปัจจุบันอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Devices) มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ขั้นสูงโดยเป็นองค์ประกอบหลักสำหรับการออกแบบและพัฒนางานวงจรควบคุมในระบบอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกประเภท [1] อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องอาศัยความรู้เชิงลึกเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าทั้งในกระบวนการผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำและการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตและประกอบแผงวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board Assembly, PCBA) รวมถึงผู้ใช้งานทั่วไปและผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้าน การบำรุงรักษาระบบอิเล็กทรอนิกส์ล้วนจำเป็นต้องมีเครื่องมือวัดและทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูง

เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมีความหลากหลายในขอบเขตการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม [2,3] สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ได้กว้าง มีความแม่นยำสูง มีซอฟต์แวร์และชุดทดสอบสำเร็จรูปที่ครอบคลุมอุปกรณ์หลายประเภท แต่มีข้อจำกัดที่ขนาดค่อนข้างใหญ่และราคาสูงมาก ในทางตรงกันข้าม เครื่องมือวัดทั่วไป [4] อาทิเช่น มัลติมิเตอร์และออสซิลโลสโคปจะมีขนาดเล็กกะทัดรัด พกพาได้สะดวกและมีราคาที่เข้าถึงได้ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดในการวัดทำได้เพียงระดับพื้นฐานและไม่สามารถวิเคราะห์พารามิเตอร์เชิงลึกได้อย่างครอบคลุมและแม่นยำ จึงมีการพัฒนาเครื่องมือวัดและทดสอบที่มีต้นทุนต่ำ [5,6] ใช้งานได้สะดวกและมีความแม่นยำเพียงพอ ในงานวิจัย [7] ได้นำเสนอเครื่องทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบไดโอด ทรานซิสเตอร์ชนิด BJT และ JFET โดยสามารถระบุชนิดอุปกรณ์ ตำแหน่งขา และวัดพารามิเตอร์สำคัญได้อย่างแม่นยำ ขณะที่งานวิจัย [8] ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเดียวกัน แต่สามารถทดสอบทรานซิสเตอร์ชนิด MOSFET ได้ด้วย นอกจากนี้งานวิจัย [9] นำเสนอเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์และแสดงผลกราฟลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันผ่านโปรแกรม MATLAB ซึ่งช่วยเพิ่มความสะดวกในการแสดงผล อย่างไรก็ตาม เครื่องนี้มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถวัดค่าพารามิเตอร์และแสดงผลที่ตัวเครื่องได้ นอกจากนี้ยังไม่สามารถทดสอบอุปกรณ์ตัวถังแบบเอสเอ็มดี (Surface Mount Device, SMD) ได้

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรม LabVIEW เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ ตรวจสอบ และทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้อย่างครอบคลุมทั้งตัวถังแบบเอสเอ็มดีและทรูโฮล ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการศึกษานักวิจัย วิศวกร และช่างเทคนิคในการวิเคราะห์คุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาองค์ความรู้และเทคโนโลยีภายในประเทศเพื่อสร้างโอกาสในการต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ในอนาคต ช่วยลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศและสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจให้กับประเทศ

2. การออกแบบเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

2.1 หลักการทำงาน



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย 1) ชุดทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Device Under Test, DUT) ทำหน้าที่ทดสอบการวัดอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 2) ชุดตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า (Voltage and Current Detector) ทำหน้าที่ตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล 3) ชุดควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้า (Voltage and Current Control) ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้าสำหรับชุดตรวจวัดอุปกรณ์ 4) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่มีความแม่นยำ 5) วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (DAC) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้สามารถควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่มีความละเอียด 6) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ทำหน้าที่ประมวลผลและควบคุมการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สารกึ่งตัวนำ 7) จอแสดงผลแบบสัมผัส (HMI Touch Display) ทำหน้าที่ควบคุม สั่งงาน และแสดงผลการทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 8) วงจรแปลงสัญญาณยูเอสบีซีเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ (USB Interface) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากยูเอสบีซีเป็นทีทีแอล (TTL) สำหรับเขียนโปรแกรมลงไมโครคอนโทรลเลอร์ 9) โปรแกรมควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยแลบวิว (LabVIEW) ทำหน้าที่สั่งงานและควบคุมการทำงานของเครื่องและแสดงผลการทดสอบอุปกรณ์กลับมาแสดงผลบนโปรแกรมแลบวิว 10) แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า (Dual Voltage Power Supply) ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับทุกวงจรภายในเครื่องและแสดงผลแบบสัมผัส

2.2 การออกแบบวงจรเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ประกอบด้วย 1) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ 2) วงจรแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อก 3) วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล 4) วงจรควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้า 5) วงจรตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า และ 6) วงจรแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า เป็นต้น การทำงานของแต่ละวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นวงจรประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATmega328 ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คุณสมบัติมีดังนี้ ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 16 เมกะเฮิรตซ์ หน่วยความจำ 32 เมกะไบต์ ขาดิจิทัลอินพุต/เอาต์พุต จำนวน 14 ขา และขาแอนะล็อกอินพุตจำนวน 6 ขา ซึ่งเพียงพอต่อการใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

2.2.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกได้รับการออกแบบโดยใช้ไอซีเบอร์ MCP4725 ซึ่งมีความละเอียดสูงขนาด 12 บิต มีค่าระดับแรงดันแอนะล็อกเอาต์พุตตั้งแต่ 0 ถึง 5 โวลต์ ที่ความละเอียดต่ำสุดเท่ากับ 1.22 มิลลิโวลต์ วงจรนี้รับสัญญาณดิจิทัลมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์และแปลงเป็นแรงดันแอนะล็อกเพื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดและทดสอบอุปกรณ์แต่ละชนิดได้อย่างละเอียดและแม่นยำ

2.2.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลทำงานโดยใช้ไอซีเบอร์ MCP3424 ซึ่งมีความละเอียดสูง ขนาด 18 บิต เพื่อใช้ตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่มีความแม่นยำสูง โดยการนำแรงดันไฟฟ้าแอนะล็อกอินพุตแบบผลต่างในช่วงค่าแรงดันตั้งแต่ -2 ถึง 2 โวลต์ ที่ได้รับจากการทดสอบอุปกรณ์โดยวงจรตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้ามาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและแสดงค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าผ่านหน้าจอแสดงผล

2.2.4 วงจรควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้า

วงจรควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้ามี 3 ชุด โดยแต่ละชุดแสดงดังในรูปที่ 2 ทำหน้าที่ขยายแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกซึ่งมีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 โวลต์ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีค่าสูงขึ้น ในช่วงแรงดันเท่ากับ ± 15 โวลต์ ซึ่งประกอบด้วย 1) ไอซีออปแอมป์กระแสสูง เบอร์ OPA548 ทำหน้าที่ขยายแรงดันและกระแสไฟฟ้า 2) ไอซีออปแอมป์เบอร์ TLM4558 ทำหน้าที่เป็นวงจรบัฟเฟอร์และวงจรควบคุมกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรขยายแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยที่การทำงานของวงจรขยายแรงดันและกระแสไฟฟ้าจะรับค่าแรงดันอินพุตมาจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกตัวที่ 1 (V_{DAC1}) และแรงดันอินพุตจากวงจรสร้างแรงดันอ้างอิง (V_{REF1}) เพื่อขยายแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่วงจรควบคุมกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตจะรับค่าอินพุตจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกตัวที่ 2 (V_{DAC2}) เพื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาควบคุมกระแสเอาต์พุต (ขา 3 ของออปแอมป์เบอร์ OPA548) จากรูปที่ 2 วงจรขยายแรงดันและกระแสไฟฟ้าสามารถคำนวณแรงดันเอาต์พุต (V_{OUTA}) และกระแสเอาต์พุต (I_{OUTA}) ได้จากสมการที่ (1) และ สมการที่ (2) ตามลำดับ

$$V_{OUTA} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{DAC1} - \left(\frac{R_2}{R_1}\right) (V_{REF1}) \quad (1)$$

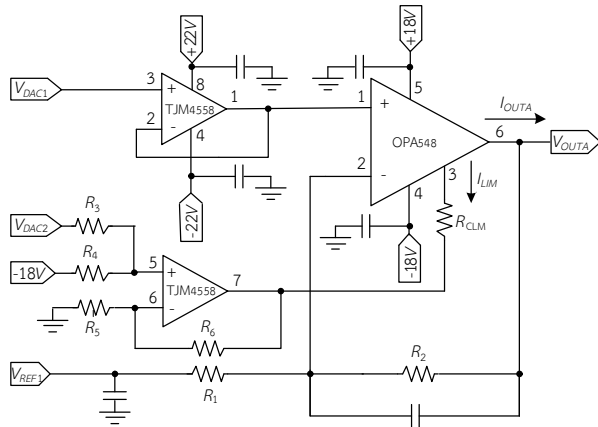
$$I_{OUTA} = \frac{15,000(4.75 - V_{DAC2})}{13,750 + R_{CLM}} \quad (2)$$

โดยที่ V_{DAC1} และ V_{DAC2} คือ ค่าระดับแรงดันแอนะล็อกที่ถูกแปลงมาจากสัญญาณดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ และ V_{REF1} คือ แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 3 โวลต์

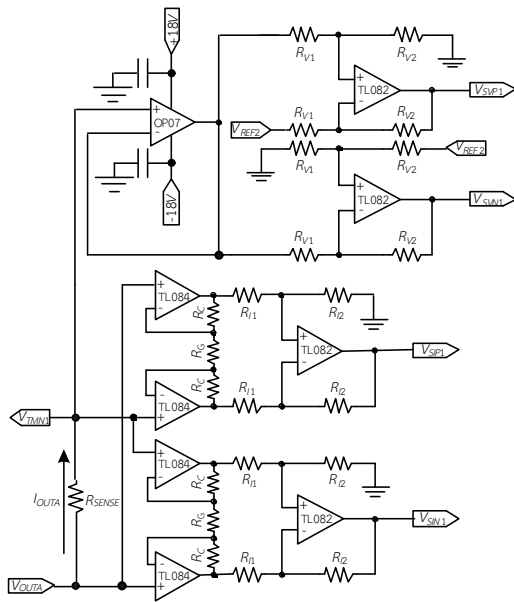
2.2.5 วงจรตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า

วงจรตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

1) วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า ทำหน้าที่ตรวจวัดแรงดันที่วัดได้จากการทดสอบอุปกรณ์ ประกอบด้วย 1) ไอซีออปแอมป์เบอร์ OP07 เป็นวงจรบัฟเฟอร์เพื่อให้ความต้านทานอินพุตของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูง และ 2) ไอซีออปแอมป์เบอร์ TL082 เป็นวงจรขยายความแตกต่างให้ได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ ± 2 โวลต์ และป้อนให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล สำหรับแรงดันเอาต์พุตของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (3) และสมการที่ (4) ตามลำดับ



รูปที่ 2 วงจรควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้าชุดที่ 1, 2 และ 3



รูปที่ 3 วงจรตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าชุดที่ 1, 2 และ 3

$$V_{SIP1} = \frac{R_{I2}}{R_{I1}} (V_{TMN1} - V_{REF2}) \quad (3)$$

$$V_{SIN1} = -\frac{R_{I2}}{R_{I1}} (V_{TMN1} - V_{REF2}) \quad (4)$$

โดยที่ V_{TMN1} คือ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดสอบอุปกรณ์ และ V_{REF2} คือ แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 1 โวลต์

2) วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า ทำหน้าที่ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดสอบอุปกรณ์ ประกอบด้วย 1) วงจรขยายอินสตรูเมนต์ 2 ชุด โดยใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ TL084 และ TL082 ซึ่งเป็นวงจขยายสัญญาณอินพุตขนาดเล็กที่มีความผิดพลาดต่ำ โดยกระแสไฟฟ้าจากชุดทดสอบที่จ่ายให้กับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ ± 2 แอมป์ ดังนั้นกระแสจะไหลผ่านตัวต้านทาน R_{SENSE} เกิดแรงดันตกคร่อมตัวความต้านทานโดยแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าซึ่งจะเป็นแรงดันอินพุตให้กับวงจรขยายอินสตรูเมนต์เพื่อแปลงกระแสให้เป็นแรงดันไฟฟ้า โดยกำหนดให้แรงดันเอาต์พุตผลต่างระหว่าง V_{SIP1} และ V_{SIN1} สูงสุดเท่ากับ ± 2 โวลต์ และสามารถวิเคราะห์ได้ตั้งสมการที่ (5) ถึง สมการที่ (7)

$$V_{SIP1} = \frac{R_{I2}}{R_{I1}} \left(1 + \frac{2R_C}{R_G} \right) (V_{OUTA} - V_{TMN1}) \quad (5)$$

$$V_{SIN1} = -\frac{R_{I2}}{R_{I1}} \left(1 + \frac{2R_C}{R_G} \right) (V_{OUTA} - V_{TMN1}) \quad (6)$$

$$V_{OTMA} - V_{TMN1} = I_{OUTA} \times R_{SENSE} \quad (7)$$

โดยที่ R_{SENSE} คือ ตัวต้านทานตรวจจ่ายกระแส ซึ่งกำหนดเท่ากับ 0.2 โอห์ม

2.2.6 วงจรแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า

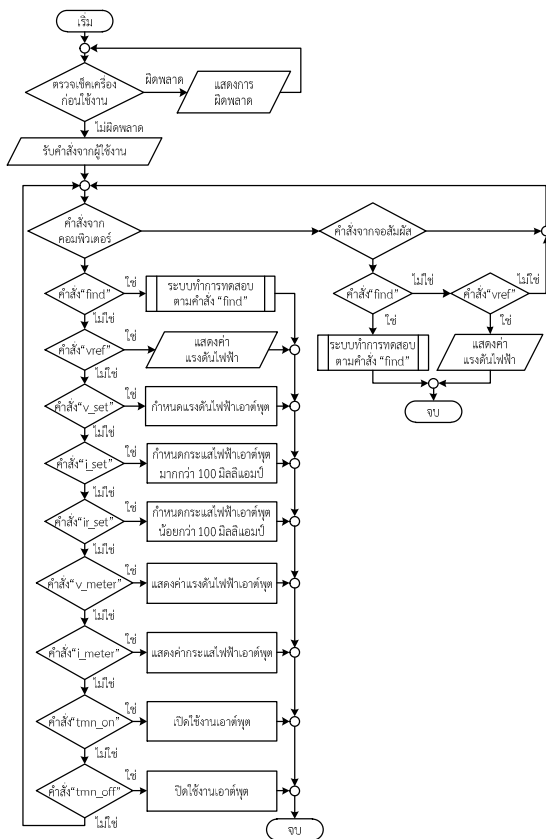
วงจรแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรควบคุมการทำงานภายในเครื่อง ซึ่งประกอบด้วย 5 วงจรหลัก ได้แก่ 1) วงจรเรียงกระแส เป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 24-0-24 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ± 34 โวลต์ ที่กระแสสูงสุดเท่ากับ 5 แอมป์ 2) วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ± 22 โวลต์ โดยใช้ไอซีเบอร์ LM317 และ LM337 เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรบัฟเฟอร์ 3) วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ± 18 โวลต์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 7818 และ 7918 และทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3055 และ MJ2955 ขับกระแสสูงสุดเท่ากับ 3 แอมป์ เพื่อจ่ายให้กับวงจรขยายแรงดันและกระแสไฟฟ้า 4) วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 7805 เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และ 5) วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 3 โวลต์ และ 1 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงให้กับวงจรควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้าสำหรับตรวจวัดอุปกรณ์

2.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุม

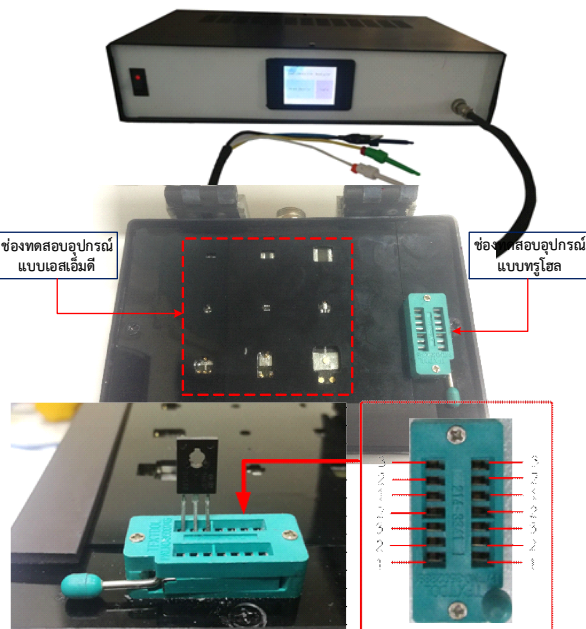
การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ 1) โหมดรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ และ 2) โหมดรับคำสั่งจากหน้าจอสัมผัส โดยที่ระบบทำงานเพียงโหมดใดโหมดหนึ่งเพื่อป้องกันความผิดพลาดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในการรับคำสั่งพร้อมกันจากโปรแกรมแลบวิวทางคอมพิวเตอร์และหน้าจอแสดงผลแบบสัมผัส สำหรับการทำงานทั้งสองโหมด ประกอบด้วย 9 ชุดคำสั่ง ได้แก่ (1) คำสั่ง "find" เป็นคำสั่งในการตรวจสอบชนิดของอุปกรณ์ โดยเครื่องจะทำการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งขาต่างๆ (2) คำสั่ง "vref" เป็นคำสั่งในการตรวจสอบสถานะแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (3) คำสั่ง "v_set" เป็นคำสั่งกำหนดแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตแต่ละแขนง (4) คำสั่ง "i_set" เป็นคำสั่งกำหนดกระแสไฟฟ้าที่เอาต์พุตแต่ละแขนง (5) คำสั่ง "ir_set" เป็นคำสั่งกำหนดกระแสไฟฟ้าในย่านต่ำกว่า 0.1 แอมป์ (6) คำสั่ง "v_meter" เป็นคำสั่งตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (7) คำสั่ง "i_meter" เป็นคำสั่งตรวจวัดกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต (8) คำสั่ง "tmn_on" เป็นคำสั่งเปิดใช้งานเอาต์พุต และ (9) คำสั่ง "tmn_off" เป็นคำสั่งปิดใช้งานเอาต์พุต

2.4 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่อง

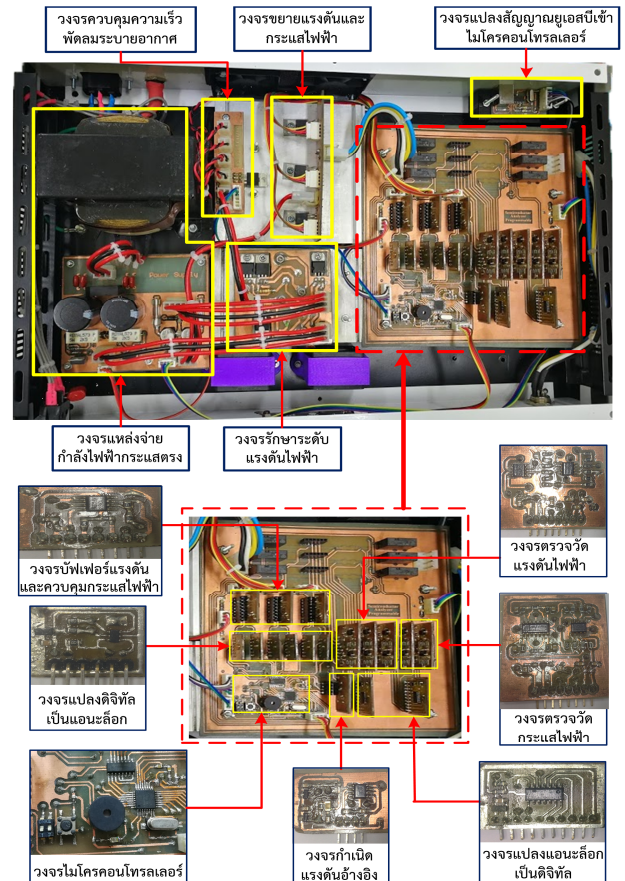
โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ประกอบด้วย 1) โครงสร้างภายนอกเป็นกล่องอะลูมิเนียมพร้อมชุดโรวด์แบบ 3 สาย และกล่องทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (DUT) สามารถใช้วัดได้ทั้งตัวถังแบบเอสเอ็มดี (Surface Mount Device, SMD) และแบบทูลโฮล (Through Hole, TH) แสดงดังในรูปที่ 5 และ 2) ส่วนประกอบวงจรภายในของเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำแต่ละภาคตามที่ได้ออกแบบไว้ แสดงดังในรูปที่ 6



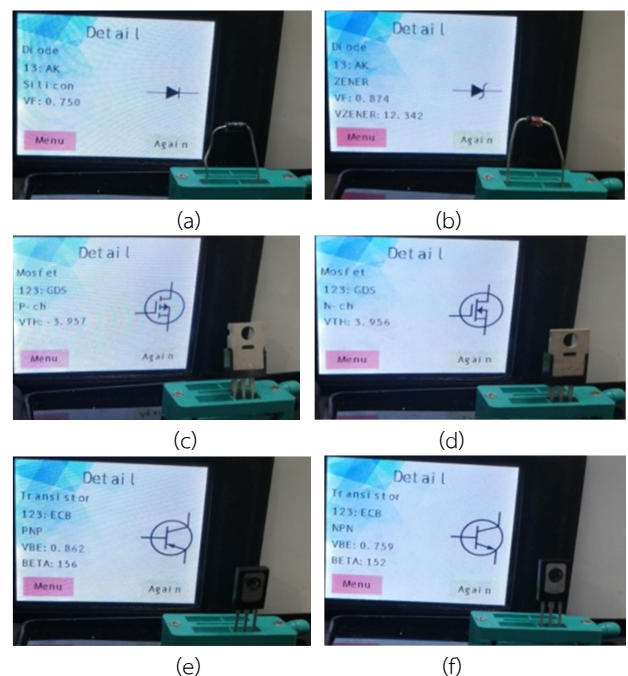
รูปที่ 4 การทำงานของโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 5 โครงสร้างเครื่องและกล่องสำหรับทดสอบอุปกรณ์



รูปที่ 6 ส่วนประกอบวงจรภายในเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ



รูปที่ 7 การทดสอบอุปกรณ์แต่ละประเภท (a) Diode (b) Zener (c) PMOS (d) NMOS (e) PNP (f) NPN

3. การทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพความเที่ยงตรงในการวัด ได้สอบเทียบค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากระบบของชุดทดสอบอุปกรณ์แต่ละแขนงซึ่งทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง กับเครื่องมือวัดมาตรฐานโดยใช้ดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ผลปรากฏว่าการวัดมีความถูกต้องและมีค่าความผิดพลาดใกล้เคียงกัน เมื่อทดสอบช่วงย่านวัดแรงดันตั้งแต่ ± 1 โวลต์ ถึง ± 15 โวลต์ ค่าความผิดพลาดต่ำกว่าร้อยละ 1 และช่วงย่านวัดแรงดันตั้งแต่ ± 0.1 โวลต์ ถึง ± 1 โวลต์ ค่าความผิดพลาดต่ำกว่าร้อยละ 5 ขณะที่เมื่อทดสอบช่วงย่านวัดกระแสตั้งแต่ ± 0.001 แอมป์ ถึง ± 0.1 แอมป์ ค่าความผิดพลาดต่ำกว่าร้อยละ 6 และช่วงย่านวัดกระแสตั้งแต่ ± 0.1 แอมป์ ถึง ± 2 แอมป์ ค่าความผิดพลาดต่ำกว่าร้อยละ 2 ซึ่งเป็นการที่สามารถยอมรับได้ในการใช้งานโดยทั่วไป

สำหรับการทดสอบวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์สามารถแยกประเภทตรวจสอบตำแหน่งขา ชนิด และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทที่มี 2-3 ขา โดยเลือกทดสอบ 4 ประเภท ได้แก่ (1) ไดโอดเรียงกระแส (2) ซีเนอร์ไดโอด (3) มอสเฟต และ (4) ทรานซิสเตอร์ การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ 1) ส่งงานผ่านหน้าจอแสดงผลแบบสัมผัส และ 2) ส่งงานด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมแลบวิว

3.1 การทดสอบวัดอุปกรณ์โดยส่งงานผ่านหน้าจอแสดงผลแบบสัมผัส

3.1.1 การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของอุปกรณ์ประเภทไดโอด

การทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทไดโอด แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1) การทดสอบไดโอดเรียงกระแส แสดงรายละเอียดบนหน้าจอแสดงผล ดังรูปที่ 7(a) ประกอบด้วย (1) ประเภท (2) ตำแหน่งขา (3) ชนิด (4) แรงดันไบอัสตรง และ (5) สัญลักษณ์ เป็นต้น และการเปรียบเทียบผลการทดสอบไดโอดเบอร์ต่างๆ กับข้อมูลทางด้านเทคนิค (datasheet) แสดงดังในตารางที่ 1

2) การทดสอบซีเนอร์ไดโอด แสดงรายละเอียดบนหน้าจอแสดงผล ดังรูปที่ 7(b) ประกอบด้วย (1) ประเภท (2) ตำแหน่งขา (3) ชนิด (4) แรงดันไบอัสตรง (5) แรงดันซีเนอร์ และ (6) สัญลักษณ์ เป็นต้น และการเปรียบเทียบผลการทดสอบซีเนอร์ไดโอดเบอร์ต่างๆ กับข้อมูลทางด้านเทคนิค (datasheet) แสดงดังในตารางที่ 2

3.1.2 การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของอุปกรณ์ประเภทมอสเฟต

การทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทมอสเฟต แสดงรายละเอียดบนหน้าจอแสดงผล ดังรูปที่ 7(c) และ รูปที่ 7(d) ประกอบด้วย (1) ประเภท (2) ตำแหน่งขา (3) ชนิด (4) แรงดันขีดเริ่ม ($V_{GS(th)}$) และ (5) สัญลักษณ์ เป็นต้น และการเปรียบเทียบผลการทดสอบมอสเฟตเบอร์ต่างๆ กับข้อมูลทางด้านเทคนิค (datasheet) แสดงดังในตารางที่ 3

3.1.3 การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์

การทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภททรานซิสเตอร์ แสดงรายละเอียดบนหน้าจอแสดงผล ดังรูปที่ 7(e) และ รูปที่ 7(f) ประกอบด้วย (1) ประเภท (2) ตำแหน่งขา (3) ชนิด (4) แรงดันเบส-อิมิตเตอร์ (V_{BE}) (5) อัตราการขยายกระแสหรือเบต้า (β_{FE}) และ (6) สัญลักษณ์ เป็นต้น และการเปรียบเทียบผลการทดสอบทรานซิสเตอร์เบอร์ต่างๆ กับข้อมูลทางด้านเทคนิค (datasheet) แสดงดังในตารางที่ 4

จากผลการทดสอบในตารางที่ 1 – 4 แสดงให้เห็นว่าเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถตรวจวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์แต่ละประเภทได้อย่างถูกต้องและมีความใกล้เคียงกับข้อมูลทางด้านเทคนิคที่ได้ทดสอบโดยเครื่องมือวิเคราะห์มาตรฐาน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลทดสอบไดโอดเรียงกระแสกับข้อมูลทางเทคนิค

เบอร์	ตัวถัง	ข้อมูลทางเทคนิค	การทดสอบ	
		แรงดันไบอัสตรง	ตำแหน่งขา	แรงดันไบอัสตรง
M7	SMA	0.6 - 1.1	12 : AK	0.744
4148	SOD-80	0.6 - 1.0	12 : AK	0.770
1N4001	DO-41	0.6 - 1.1	13 : AK	0.746
1N4007	DO-41	0.6 - 1.1	13 : AK	0.750

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลทดสอบซีเนอร์ไดโอดกับข้อมูลทางเทคนิค

เบอร์	ตัวถัง	ข้อมูลทางเทคนิค	การทดสอบ	
		แรงดันซีเนอร์	ตำแหน่งขา	แรงดันซีเนอร์
1N5231	DO-41	5.1	12 : AK	5.345
1N4742	DO-41	12	12 : AK	12.395
1N4738	DO-41	8.2	12 : AK	8.403
1N4734	DO-41	5.6	12 : AK	5.731

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลทดสอบมอสเฟตกับข้อมูลทางเทคนิค

เบอร์	ตัวถัง	ข้อมูลทางเทคนิค		การทดสอบ	
		ชนิด	แรงดันขีดเริ่ม	ตำแหน่งขา	แรงดันขีดเริ่ม
IRF540	TO-220	N-ch	2 - 4	123-GDS	3.96
IRFP250	TO-247	N-ch	2 - 4	123-GDS	3.966
F640NS	D2PAK	N-ch	2 - 4	123-GDS	3.975
2N7002	SOT-23	N-ch	1 - 2.5	123-GDS	1.983

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลทดสอบทรานซิสเตอร์บีเจทีกับข้อมูลทางเทคนิค

เบอร์	ตัวถัง	ข้อมูลทางเทคนิค		การทดสอบ	
		ชนิด	เบต้า	ตำแหน่งขา	เบต้า
2N3906	TO-92	PNP	15 - 300	123 : EBC	124
2N5401	SOT-23	PNP	50 - 240	123 : BCE	151
TIP41	TO-220	NPN	15 - 75	123 : BCE	46
BD139	TO-126	NPN	25 - 250	123 : ECB	160
SS8050	SOT-23	NPN	120 - 400	123 : BCE	150

3.2 การทดสอบวัดอุปกรณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมแลบวิว

3.2.1 การทดสอบวัดคุณสมบัติอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

การทดสอบวัดคุณสมบัติอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำผ่านโปรแกรมแลบวิวสามารถบอกรายละเอียดของประเภทต่างๆ เช่น ไดโอดเรียงกระแส ซีเนอร์ไดโอด มอสเฟต และทรานซิสเตอร์ เป็นต้น โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) ประเภทอุปกรณ์ (Device) 2) ตำแหน่งขา (PIN) 3) ชนิด (Type) และ 4) อื่นๆ (Other) อาทิเช่น แรงดันไบอัสตรง (VF) แรงดันซีเนอร์ (VZENER) และแรงดันขีดเริ่ม (VTH) เป็นต้น สำหรับตัวอย่างผลการทดสอบหาแรงดันเบส-อิมิตเตอร์ (VBE) และอัตราขยายกระแสหรือเบต้า (BETA) ของทรานซิสเตอร์ แสดงดังในรูปที่ 8

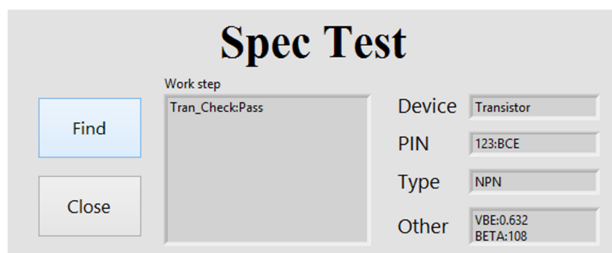
3.2.2 การทดสอบกราฟคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

การทดสอบกราฟคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ตัวอย่างเช่น การทดสอบซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4739 โดยการจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าไบอัสตรงและไบอัสกลับให้กับซีเนอร์ไดโอด แสดงดังในรูปที่ 9 ผลการทดสอบขณะจ่ายแรงดันไบอัสตรงพบว่า ซีเนอร์ไดโอดเริ่มนำกระแสที่ 0.001 แอมป์ เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ

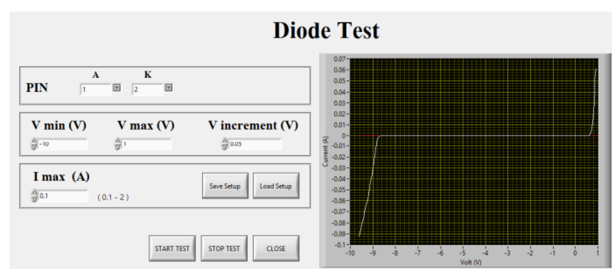
0.646 โวลต์ และในขณะที่จ่ายแรงดันไบอัสกลับซีเนอร์ไดโอดเริ่มนำกระแสที่ -0.001 แอมป์ เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ -8.724 โวลต์ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าแรงดันซีเนอร์ตามข้อมูลทางด้านเทคนิค

การทดสอบทรานซิสเตอร์เบอร์ BD139 แสดงดังในรูปที่ 10 โดยกำหนดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขาคอลเลคเตอร์ ดังเช่นกำหนดค่าแรงดันคอลเลคเตอร์ (V_{CE}) ตั้งแต่ 0 ถึง 3 โวลต์ เพิ่มขึ้นทีละ 0.05 โวลต์ กำหนดค่ากระแสคอลเลคเตอร์สูงสุด (I_C) เท่ากับ 1 แอมป์ และกำหนดค่ากระแสไบอัสเบส (I_B) จำนวน 5 ค่า ตั้งแต่ 0.001 แอมป์ ถึง 0.005 แอมป์ เพิ่มขึ้นทีละ 0.001 แอมป์ ผลปรากฏว่าเครื่องสามารถทดสอบกราฟคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลทางด้านเทคนิค นอกจากนี้ยังสามารถทดสอบกราฟคุณลักษณะของอุปกรณ์ชนิดอื่นๆได้ด้วย และบันทึกกราฟเป็นไฟล์รูปภาพและไฟล์ข้อมูลได้โดยใช้โปรแกรมแลบวิวและแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

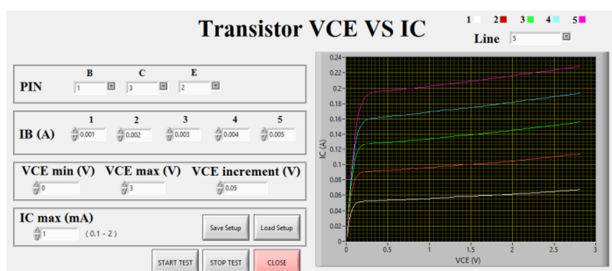
จากการออกแบบและทดสอบคุณสมบัติของเครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำเสนอขึ้น ซึ่งมีจุดเด่นที่ได้เปรียบและสะดวกต่อการใช้งานมากกว่างานวิจัย [9] กล่าวคือมีความสามารถในการวัดพารามิเตอร์ของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่หลากหลายและทดสอบอุปกรณ์ได้หลายประเภทและชนิดตัวถัง มีหน้าจอแสดงผลและควบคุมการทำงานได้แบบสัมผัส และสามารถวัดกราฟคุณลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมแลบวิว



รูปที่ 8 ทดสอบคุณสมบัติอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์



รูปที่ 9 กราฟคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอด



รูปที่ 10 กราฟคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์

4. สรุป

เครื่องวิเคราะห์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำในบทความวิจัยนี้สามารถควบคุมการทำงานได้ 2 โหมด ได้แก่ 1) โหมดสั่งงานผ่านหน้าจอสัมผัสควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ได้หลายชนิด อาทิเช่น ไดโอดเรียงกระแส ซีเนอร์ไดโอด ไดโอดเปล่งแสง ทรานซิสเตอร์ และ มอสเฟต โดยมีโปรแกรมและกล่องทดสอบอุปกรณ์ได้ทั้งตัวถังแบบเอสเอ็มดีและแบบทูลโฮล และ 2) โหมดสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมแลบวิว ไม่เพียงแต่ทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์แต่ละชนิดได้แต่ยังสามารถแสดงผลกราฟคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิดได้ด้วย พร้อมทั้งบันทึกกราฟเป็นไฟล์รูปภาพและไฟล์ข้อมูลเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่ การสืบค้นข้อมูล การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ตลอดจน นายนิรันดร์ จำนวนักภักดี และนายพิทักษ์ ภูมิสุข ที่ช่วยดำเนินการวิจัยให้สำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, "Electronic Devices and Circuit Theory," 11th ed. Pearson, 2013.
- [2] Tektronix Curve Tracers Datasheet. [Online]. Available: <https://www.tek.com/en/datasheet/370b-371b-curve-tracers>.
- [3] IWATSU Semiconductor Curve tracer CS-10000/5000/3000 Series Catalogs. [Online]. Available: https://www.iwatsu-europe.com/en/pdf/CS_catalog14050E-114.pdf
- [4] พันธศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, "หลักการใช้งานไมเตอร์ซีนา รุ่น YX-361 TR และการวัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยไมเตอร์," แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน, 2521
- [5] ORMELABS Semiconductor analyser AS4002P User Manual. [Online]. Available: <https://manualzz.com/doc/6810042/ormelabs-as4002p-semiconductor-analyser-user-manual>
- [6] Peak Electronic DCA55 Semiconductor Component Analyser Datasheet. [Online]. Available: <https://www.peakelec.co.uk/downloads/dca55-datasheet-en.pdf>
- [7] K. J. Suresh and K. V. Amrut, "Low Cost High Performance Microcontroller Based Semiconductor Device Tester," in 2013 Nirma University International Conference on Engineering (NUICONe), 2013, pp. 1-5.
- [8] I. Lita, M. Jurian, D. A. Visan, S. Oprea, and I. B. Cioc, "Microcontroller Based Tester for Semiconductor Devices," in 2008 31st International Spring Seminar on Electronics Technology, 2008, pp. 117-120.
- [9] ชีรเดช บุญช่วย, ปรีชญา สารภาพ, และ พิระพัฒน์ สุทธาชีพ, "เครื่องวัดและโปรแกรมวิเคราะห์ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (สารกึ่งตัวนำ) พื้นฐาน," ปริญญาานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 2556