

ใบงานที่ 1 — รู้จักเครื่องมือ EDA และวงจรแบ่งแรงดันสำหรับเซนเซอร์

RBE2001 เซนเซอร์และอุปกรณ์ขับเคลื่อน (Sensor and Actuator) · อาจารย์ ดร.อภิรักษ์ ธิติณมิต

โปรแกรม Proteus 8 (เสริม: NI Multisim ข้อ 5.9)

เวลาปฏิบัติ 3 ชั่วโมง คะแนน 6 คะแนน

ชื่อ-สกุล รหัสนักศึกษา กลุ่ม วันที่

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อปฏิบัติตามใบงานนี้จบแล้ว นักศึกษาสามารถ

- อธิบายความต่างระหว่างเครื่องมือจำลองวงจรกับเครื่องมือออกแบบลายวงจรพิมพ์ และบอกได้ว่าควรใช้ตัวใดในขั้นตอนใด
- สร้างโครงการใหม่และวาดผังวงจรในโปรแกรม Proteus 8 ได้ถูกต้องตามหลักการเขียนแบบ
- เลือกและวางอุปกรณ์จากไลบรารี พร้อมกำหนดค่าประจำอุปกรณ์และหมายเลขอ้างอิงได้
- ใช้เครื่องมือวัดเสมือนวัดแรงดันในวงจรจำลอง และอ่านค่าเทียบกับการคำนวณได้
- คำนวณแรงดันขาออกของวงจรแบ่งแรงดัน และอธิบายได้ว่าความไวสูงสุดเกิดที่จุดใด
- เลือกค่าตัวต้านทานคงที่ที่เหมาะสมกับย่านความต้านทานของเซนเซอร์ที่ใช้งานจริงได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องมือสองชนิดที่ทำงานคนละหน้าที่

วิชานี้ใช้โปรแกรมสามตัว แต่ทั้งสามไม่ได้ทำงานแทนกันได้

ชนิดเครื่องมือ	ตัวอย่าง	ตอบคำถามว่า	ตอบไม่ได้ว่า
เครื่องมือจำลองวงจร	Proteus, LTspice	วงจรให้ผลลัพธ์อย่างไร ค่าอุปกรณ์เหมาะสมหรือยัง	จะวางบนแผ่นจริงได้ไหม กว้างพอไหม ร้อนไหม
เครื่องมือออกแบบ PCB	KiCad, EasyEDA, Altium	จะวางและเดินลายบนแผ่นจริงอย่างไร โรงงานผลิตได้หรือไม่	วงจรทำงานถูกต้องหรือเปล่า

ลำดับที่ถูกต้องคือจำลองให้แน่ใจก่อน แล้วค่อยไปออกแบบลายวงจร ถ้าข้ามขั้นจำลองไป ความผิดพลาดเรื่องค่าอุปกรณ์จะไปโผล่ตอนบอร์ดผลิตเสร็จแล้ว ซึ่งแก้ไม่ได้อีก

Proteus มีจุดเด่นที่จำลองไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมโปรแกรมที่คอมไพล์แล้วได้ด้วย จึงเหมาะกับงานหุ่นยนต์ที่ต้องดูทั้งวงจรและโค้ดไปพร้อมกัน ส่วนงานออกแบบลายวงจรจริง ชูดีใบงานนี้ใช้ KiCad เพราะฟรี เปิดซอร์ส และไฟล์เป็นข้อความที่เก็บลงระบบควบคุมเวอร์ชันได้

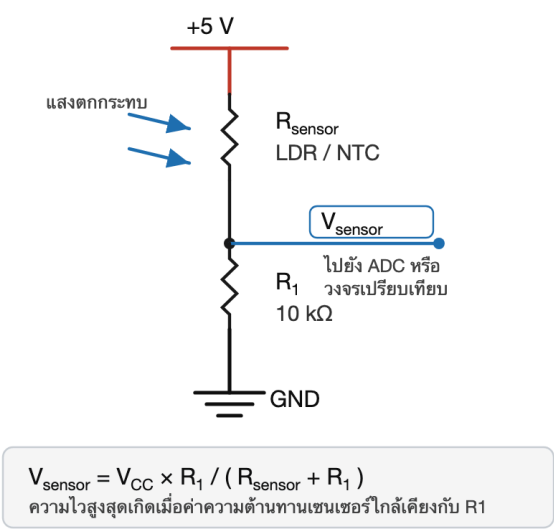
2.2 เซนเซอร์แบบต้านทานเปลี่ยนค่า

เซนเซอร์จำนวนมากในงานหุ่นยนต์ไม่ได้ให้แรงดันออกมาตรง ๆ มันให้ความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามปริมาณทางกายภาพเท่านั้น

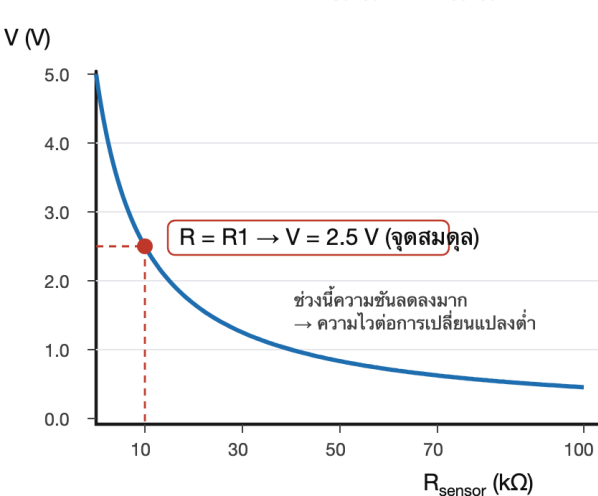
เซนเซอร์	ปริมาณที่วัด	พฤติกรรม
LDR	ความเข้มแสง	แสงมาก ความต้านทานต่ำ (หลักร้อยโอห์มถึงหลายเมกะโอห์ม)
NTC เทอร์มิสเตอร์	อุณหภูมิ	ร้อนขึ้น ความต้านทานลดลง
โฟโตทรานซิสเตอร์ใน TCRT5000	แสงสะท้อน	แสงสะท้อนมาก นำกระแสมาก
FSR	แรงกด	กดแรง ความต้านทานลดลง
โพเทนชิโอมิเตอร์	มุมหรือตำแหน่ง	เปลี่ยนตามการหมุน

ก่อนอ่านค่าได้ต้องแปลงความต้านทานเป็นแรงดันเสียก่อน วิธีที่ง่ายและถูกที่สุดคือวงจรแบ่งแรงดัน

(ก) วงจรแบ่งแรงดันสำหรับเซนเซอร์แบบต้านทานเปลี่ยนค่า



(ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{sensor} กับ R_{sensor}



รูปที่ 1.1 วงจรแบ่งแรงดันสำหรับเซนเซอร์แบบต้านทานเปลี่ยนค่า และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกกับความต้านทานของเซนเซอร์

2.3 การเลือกค่าตัวต้านทานคงที่

จากสมการในรูปที่ 1.1

$$V_{\text{sensor}} = V_{CC} \times \frac{R_1}{R_{\text{sensor}} + R_1}$$

ความไวของวงจรควรวัดเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงเชิงสัดส่วน ของความต้านทาน ไม่ใช่ต่อหนึ่งโอห์ม เพราะเซนเซอร์อย่าง LDR เปลี่ยนค่าเป็นหลักเท่าตัว (2 kΩ → 50 kΩ) ไม่ใช่หลักโอห์ม ความไวเชิงสัดส่วนหาได้จาก

$$\frac{dV_{sensor}}{d\ln R_{sensor}} = -\frac{V_{CC} \cdot R_1 \cdot R_{sensor}}{(R_{sensor} + R_1)^2}$$

ค่านี้มีขนาดมากที่สุดเมื่อ $R_{sensor} = R_1$ ซึ่งให้ $V_{CC}/4$ พอดี นี่คือที่มาของกฎที่ใช้กันทั่วไป — เลือก R_1 ให้มีค่าใกล้เคียงกับความต้านทานของเซนเซอร์ที่จุดกลางย่านที่สนใจ

ข้อสังเกตเชิงคณิตศาสตร์ ถ้าหาอนุพันธ์ต่อหนึ่งโอห์มตรง ๆ (dV/dR) ค่าจะมากที่สุดเมื่อ R_{sensor} เข้าใกล้ศูนย์ ไม่ใช่ที่ R_1 — แต่ความไวแบบนั้นไม่มีความหมายกับเซนเซอร์ที่เปลี่ยนค่าเป็นเท่าตัว จึงต้องใช้ความไวเชิงสัดส่วนแทน

ตัวอย่าง ถ้าใช้ LDR ที่มีความต้านทาน 2 kΩ ในที่สว่างและ 50 kΩ ในที่มืด จุดกลางเชิงเรขาคณิตคือ $\sqrt{2 \times 50} = 10\text{ k}\Omega$ จึงเลือก $R_1 = 10\text{ k}\Omega$

ข้อสังเกต ใช้ค่าเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยเลขคณิต เพราะความต้านทานของเซนเซอร์ส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงแบบยกกำลัง ไม่ใช่แบบเชิงเส้น

3. เครื่องมือและอุปกรณ์

รายการ	จำนวน
คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้ง Proteus 8 (Schematic Capture + Interactive Simulation)	1 เครื่อง/คน
ใบงานและแบบบันทึกผล	1 ชุด
เครื่องคิดเลขวิทยาศาสตร์	1 เครื่อง
แผ่นข้อมูล LDR (GL5528 หรือเทียบเท่า)	1 ชุด

4. โจทย์

ออกแบบและจำลอง วงจรแบ่งแรงดันสำหรับ LDR ที่ให้แรงดันขาออกอยู่ในย่านที่ ADC ของ Arduino อ่านได้ดี

ข้อกำหนด	ค่า
แรงดันจ่าย	5 V
เซนเซอร์	LDR ความต้านทาน 2 kΩ ที่สว่าง / 50 kΩ ที่มืด
แรงดันขาออกที่ต้องการ	ครอบคลุมย่านกว้างที่สุดเท่าที่ทำได้ระหว่าง 0.5 V ถึง 4.5 V

ข้อกำหนด	ค่า
กระแสที่ไหลผ่านวงจรแบ่งแรงดัน	ไม่เกิน 2 mA เพื่อไม่ให้เปลืองพลังงานแบตเตอรี่

5. ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน

5.1 คำนวณล่วงหน้าก่อนเปิดโปรแกรม

- คำนวณค่า R_1 ที่เหมาะสมจากค่าเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต บันทึกตารางที่ 6.1
- คำนวณ V_{sensor} ที่สภาพสว่างสุดและมืดสุด ด้วยค่า R_1 ที่เลือก
- คำนวณกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านวงจร แล้วตรวจสอบว่าไม่เกิน 2 mA
- ถ้ากระแสเกิน ให้เพิ่มค่า R_1 แล้วคำนวณใหม่ บันทึกทั้งสองรอบ

การคำนวณก่อนลงมือเป็นนิสัยที่ต้องฝึกตั้งแต่ใบงานแรก โปรแกรมจำลองมีไว้ **ยืนยัน** สิ่งที่คำนวณไว้ ไม่ใช่มีไว้ลองสุ่มค่าไปเรื่อย ๆ

5.2 สร้างโครงการใหม่

- เปิดโปรแกรม Proteus 8 เลือก File → New Project...
- ตั้งชื่อโครงการตามรูปแบบ RBE2001_Lab01_รหัสนักศึกษา_ชื่อเล่น แล้วเลือกที่จัดเก็บ
- หน้า Schematic Design เลือก Create a schematic from the selected template แล้วเลือกแม่แบบ DEFAULT
- หน้า PCB Layout เลือก Do not create a PCB layout
- หน้า Firmware เลือก No Firmware Project แล้วกด Finish

5.3 วางอุปกรณ์

- คลิกไอคอน Component Mode ที่แถบเครื่องมือด้านซ้าย แล้วกดปุ่ม P เพื่อเปิดหน้าต่าง Pick Devices
- ค้นหาและวางอุปกรณ์ตามตาราง

คำค้น	ชื่ออุปกรณ์ที่เลือก	จำนวน
TORCH_LDR	TORCH_LDR	1
RES	RES	1
POT-HG	POT-HG (ใช้ในขั้นตอนที่ 5.7)	1

- คลิก Terminals Mode แล้ววาง POWER (ตั้งค่าเป็น +5V) และ GROUND



ช่องสำหรับภาพจับหน้าจอ

หน้าต่าง Pick Devices ของ Proteus แสดงผลค้นหา LM393

วิธีเก็บภาพ: เปิด Component Mode → กด P → พิมพ์ LM393 → จับภาพทั้งหน้าต่าง

photos/lab01-a.png

13. จัดวางอุปกรณ์ให้ผังอ่านง่าย ยึดกติกาสากล — กระแสไหลจากซ้ายไปขวา แหล่งจ่ายไว้บน กราวด์ไว้ล่าง

5.4 เชื่อมต่อและกำหนดค่า

14. ลากสายเชื่อมตามผังในรูปที่ 1.1 คลิกที่ปลายขาอุปกรณ์แล้วลากไปยังปลายทาง
15. ดับเบิลคลิกที่ตัวต้านทานเพื่อแก้ค่าใน Resistance ให้เป็นค่าที่คำนวณได้ในข้อ 1
16. ตั้งหมายเลขอ้างอิงให้เป็น R1 และ LDR1

5.5 ติดตั้งเครื่องมือวัดเสมือน

17. คลิก Virtual Instruments Mode
18. วาง DC VOLTMETER ต่อคร่อมระหว่างจุด Vsensor กับกราวด์
19. วาง DC AMMETER อนุกรมในเส้นทางจากแหล่งจ่ายเข้า LDR เพื่อวัดกระแสรวม



ช่องสำหรับภาพจับหน้าจอ

ผังวงจรที่วาดเสร็จ พร้อม DC Voltmeter และ Oscilloscope

วิธีเก็บภาพ: จับภาพพื้นที่ผังวงจรทั้งหมด ให้เห็นค่าอุปกรณ์และ Reference ชัด

photos/lab01-b.png

5.6 จำลองและเก็บผล

20. กดปุ่ม Play มุมล่างซ้ายเพื่อเริ่มการจำลองแบบโต้ตอบ
21. เลื่อนแถบเลื่อนของ LDR จากสว่างสุด (0 %) ไปมืดสุด (100 %) ทีละ 10 %
22. ที่แต่ละขั้นให้บันทึก V_{sensor} และกระแสแสดงตารางที่ 6.2
23. หยุดการจำลอง แล้ววาดกราฟความสัมพันธ์ลงในกระดาษกราฟท้ายใบงาน

5.7 เปรียบเทียบผลของการเลือกค่า R1

24. เปลี่ยนค่า R1 เป็น **1 kΩ** แล้วทำซ้ำข้อ 20–22
25. เปลี่ยนค่า R1 เป็น **100 kΩ** แล้วทำซ้ำอีกครั้ง
26. นำกราฟทั้งสามเส้นมาวาดซ้อนกันในแกนเดียว แล้วสังเกตว่าเส้นใดมีความชันมากที่สุดในย่านที่สนใจ

5.8 วิเคราะห์ด้วยกราฟของโปรแกรม

27. คลิก Graph Mode แล้ววาง ANALOGUE graph ลงบนพื้นที่ว่าง
28. ลากสัญญาณ V_{sensor} เข้าไปในกราฟ
29. คลิกขวาที่กราฟแล้วเลือก Simulate Graph



ช่องสำหรับภาพจับหน้าจอ

กราฟ ANALOGUE จากการจำลองแบบกราฟ

วิธีเก็บภาพ: คลิกขวาที่กราฟ → Simulate Graph → Maximise → จับภาพ

photos/lab01-c.png

5.9 ทางเลือกเสริม – จำลองซ้ำด้วย NI Multisim (ไม่บังคับ ไม่มีคะแนน)

ทำได้เฉพาะเครื่อง Windows ที่มีสิทธิ์ใช้ **NI Multisim** รุ่นเดสก์ท็อป (สัญญาอนุญาตการศึกษาหรือ non-commercial) จุดประสงค์คือให้เห็นว่าโปรแกรมจำลองต่างค่ายให้ผลตรงกันเมื่อวงจรและค่าอุปกรณ์ตรงกัน — **Proteus** ยังเป็นโปรแกรมหลักของใบงานนี้ ส่วน Multisim Live (รุ่นเว็บ) ยุติบริการตั้งแต่ 15 กันยายน 2569 ไม่ใช้อ้างอิงอีกต่อไป

30. เปิด Multisim จะได้แผ่นงานว่าง Design1 ให้เลือก File → Save as... ตั้งชื่อตามรูปแบบเดียวกับข้อ 6

31. เปิดหน้าต่าง *Select a Component* ด้วย Place → Component... (Ctrl+W) ตั้ง Database = Master Database, Group = <All groups> แล้วพิมพ์ชื่อลงช่อง **Component**: โปรแกรมจะกรองรายการให้ทันทีโดยไม่ต้องรู้ว่าอุปกรณ์อยู่กลุ่มใด

พิมพ์ในช่อง Component	เลือก	ใช้แทน
resistor	RESISTOR_RATED หรือเลือกค่าจาก Family RESISTOR เช่น 10kΩ	R1
resistor	2kΩ	ค่าต่ำสุดของ LDR (ดูหมายเหตุ)
potentio	POTENTIOMETER	LDR (ดูหมายเหตุ)
dc	DC_POWER	แหล่งจ่าย +5 V
ground	GROUND	กราวด์

พิมพ์ในช่อง Component	เลือก	ใช้แทน
voltmeter	VOLTMETER_V (แนวตั้ง) หรือ VOLTMETER_H	DC VOLTMETER
ammeter	AMMETER_H (แนวนอน) หรือ AMMETER_V	DC AMMETER

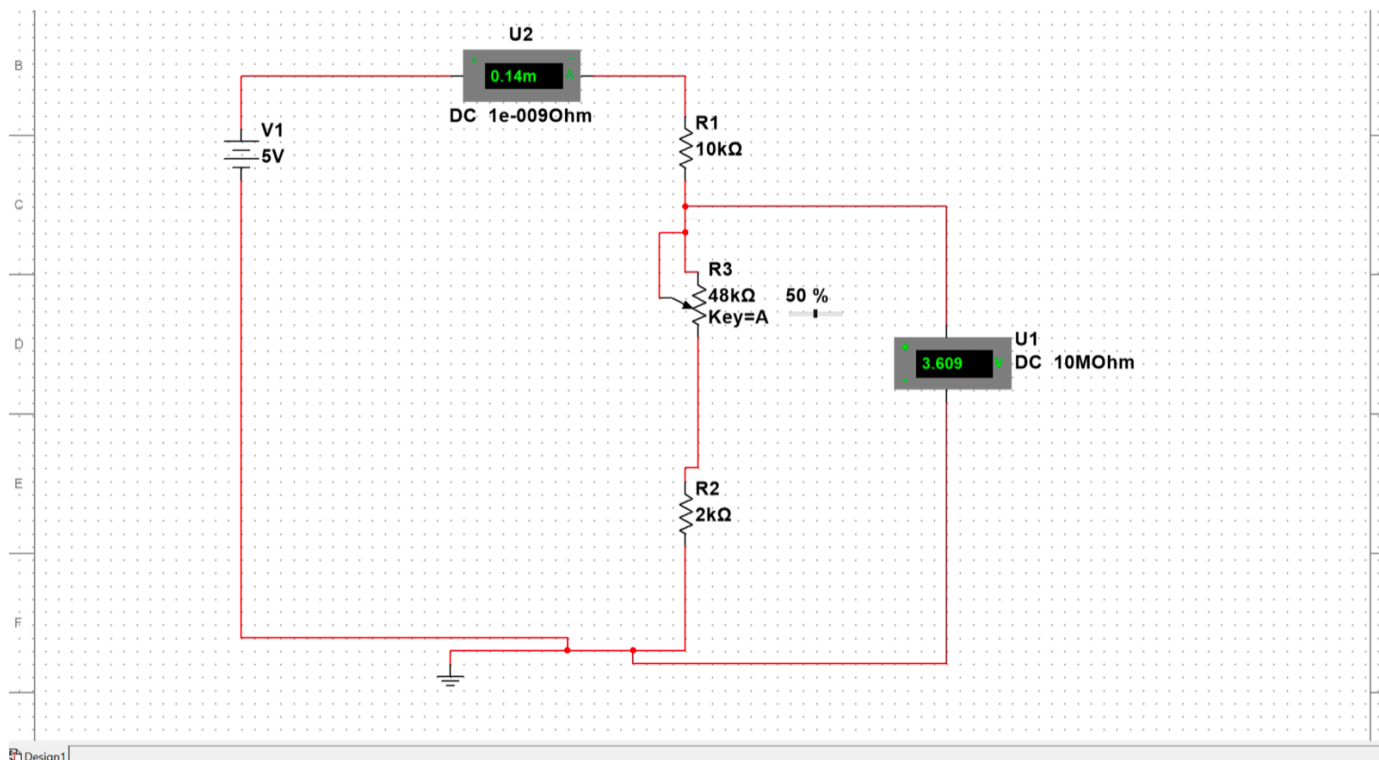
Multisim ไม่มี LDR ในฐานข้อมูลหลัก — ค้น Ldr ได้ 0 รายการ ค้น photo ได้เพียง PHOTODIODE และ PHOTOTRANSISTOR จึงต้องสร้างแบบจำลองเอง: ต่อ **POTENTIOMETER 48 kΩ** อนุกรมกับตัวต้านทาน **2 kΩ** ผลรวมจะกวาดได้ 2–50 kΩ ตรงกับข้อกำหนดในโจทย์พอดี นี่คือการคิดเดียวกับที่วิศวกรใช้เมื่อไลบรารีไม่มีอุปกรณ์ที่ต้องการ — แทนด้วยพฤติกรรมทางไฟฟ้าที่เทียบเท่า ไม่ใช่ชื่อให้มีสัญลักษณ์รูปเหมือน

32. ดับเบิลคลิก POTENTIOMETER ตั้ง Resistance = 48 kΩ, Key = A, Increment = 10 % — ขณะจำลอง กด A เพื่อเพิ่มค่า และ Shift+A เพื่อลด (หรือชี้เมาส์ที่อุปกรณ์แล้วลากแถบเลื่อนเล็ก ๆ ที่โผล่ขึ้นมาข้างค่า %) ต่อขาปลายบนกับขากลาง (wiper) เข้าด้วยกัน เพื่อให้โพเทนชิโอเมเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้สองขา
33. ดับเบิลคลิก DC_POWER ตั้ง Voltage (V) = 5 (ค่าเริ่มต้นคือ 12 V)
34. ต่อวงจรตามรูปที่ 1.1 — Multisim ลากสายด้วยการคลิกปลายขาแล้วคลิกปลายทาง เหมือน Proteus เริ่มจากสายกราวด์ก่อนเสมอ: ลากหัวลบของ DC_POWER ลง GROUND แล้วจึงต่อเส้นอื่นเข้าหาเส้นกราวด์นี้ — วิธีนี้ทำให้ทุกอย่างมีจุดอ้างอิงตั้งแต่ต้น และเห็นทันทีถ้าเส้นใดยังลอย
35. ตรวจขั้วของโวลต์มิเตอร์ ก่อน กดรัน — ขา + (จุดเขี้ยวด้านบนของสัญลักษณ์) ต้องต่อเข้าจุด V_{sensor} และขา - ลงกราวด์ ถ้ากลับขั้ว มิเตอร์จะอ่านค่าเป็นลบ (เช่น -4.995 V) ซึ่งเป็นสัญญาณเตือนว่าต่อผิด ไม่ใช่ว่าวงจรผิด
36. เริ่มจำลองด้วย Simulate → Run (F5 หรือปุ่ม ► สีเขียว) แล้วกวาดโพเทนชิโอเมเตอร์ 0→100 % ทีละ 10 % บันทึก V_{sensor} และกระแส เทียบกับตารางที่ 6.2 ที่ได้จาก Proteus
37. ถ้าค่าต่างกันเกิน 1 % ให้หาสาเหตุก่อนสรุปว่าโปรแกรมใดผิด — ที่พบบ่อยคือความต้านทานภายในของแอมมิเตอร์ (Multisim ตั้งค่าเริ่มต้น 1 nΩ) และการที่ "% ของโพเทนชิโอเมเตอร์" เป็นสัดส่วนความต้านทานตรง ๆ ขณะที่ "% ของ TORCH_LDR" ใน Proteus เป็นระดับความสว่างซึ่งแปลงเป็นความต้านทานแบบไม่เชิงเส้น

ตัวอย่างผลจริงจาก NI Multisim 14.1 ($R_1 = 10\text{ k}\Omega$, LDR จำลอง = POTENTIOMETER 48 kΩ + 2 kΩ, $V_1 = 5\text{ V}$)

สังเกตให้ดีก่อนเทียบตัวเลข — ในตัวอย่างนี้ **R1 อยู่ด้านบน (ต่อ +5 V) และ LDR จำลองอยู่ด้านล่าง (ต่อกราวด์)** ซึ่งเป็นการต่อสลับตำแหน่งกับรูปที่ 1.1 (ที่ให้ LDR อยู่บน R1 อยู่ล่าง) จึงได้ $V_{sensor} = V_{CC} R_{LDR} / (R_1 + R_{LDR})$ — แรงดันสูงขึ้นเมื่อมืด ตรงข้ามกับฝั่งของใบงาน ตัวเลขทั้งชุดจึงเท่ากับผล

จากรูปที่ 1.1 พอดี เพียงแต่คอลัมน์ "สว่าง" กับ "มืด" สลับกัน — นี่คือการไขข้อสงสัยของคำถามท้ายใบงานข้อ 4 ที่ทำให้เห็นจริง ถ้านักศึกษาติดตามรูปที่ 1.1 ให้อ่านตารางกลับด้าน (0 % ของโพเทนชิโอเมเตอร์ ↔ 4.167 V)



วงจรครบชุดขณะจำลองที่ 50 % — โวลต์มิเตอร์ U1 อ่าน 3.609 V แอมมิเตอร์ U2 อ่าน 0.14 mA

ตำแหน่งโพเทนชิโอเมเตอร์	R_LDR จำลอง (kΩ)	V_{sensor} คำนวณ (V)	V_{sensor} Multisim (V)	กระแส คำนวณ (mA)	กระแส Multisim (mA)	รูป
0 % (R_LDR ต่ำสุด = สว่างสุด)	2	0.833	0.833	0.417	0.417	lab01-ms-0
50 %	26	3.611	3.609	0.139	0.14	lab01-ms-50
100 % (R_LDR สูงสุด = มืดสุด)	50	4.167	4.163	0.083	0.083	lab01-ms-100

ค่าคำนวณกับค่าจำลองต่างกันไม่เกิน 0.1 % — ส่วนต่าง 2–4 mV ที่ 50 % และ 100 % มาจากความต้านทานภายใน 10 MΩ ของโวลต์มิเตอร์ที่ขนานอยู่กับ LDR จำลอง (ยิ่ง R_LDR สูง ผลของโวลต์มิเตอร์ยิ่งเห็นชัด) — เป็นตัวอย่างที่ดีสำหรับตอบคำถามท้ายใบงานข้อ 5 ว่า "เครื่องมือวัดก็เป็นส่วนหนึ่งของวงจร"

6. ตารางบันทึกผล

6.1 การคำนวณล่วงหน้า

รายการ	ค่า
ความต้านทาน LDR ที่สว่างสุด ($k\Omega$)	
ความต้านทาน LDR ที่มีมืดสุด ($k\Omega$)	
ค่าเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต ($k\Omega$)	
R_1 ที่เลือกใช้ ($k\Omega$)	
V_{sensor} ที่สว่างสุด — คำนวณ (V)	
V_{sensor} ที่มีมืดสุด — คำนวณ (V)	
ย่านแรงดันที่ได้ (V)	
กระแสสูงสุด (mA)	
ผ่านข้อกำหนด 2 mA หรือไม่	

6.2 ผลการจำลองที่ $R_1 =$ ค่าที่เลือก

ตำแหน่ง LDR (%)	R sensor ($k\Omega$)	V sensor คำนวณ (V)	V sensor จำลอง (V)	กระแส (mA)	คลาดเคลื่อน (%)
0					
20					
40					
60					
80					
100					

6.3 เปรียบเทียบผลของค่า R_1

R_1	V ที่สว่างสุด (V)	V ที่มีมืดสุด (V)	ย่านแรงดันที่ได้ (V)	กระแสสูงสุด (mA)
1 $k\Omega$				
ค่าที่เลือก				
100 $k\Omega$				

ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ เพราะ

7. คำถามท้ายใบงาน

- จากตารางที่ 6.3 ค่า R_1 ใดให้ย่านแรงดันกว้างที่สุด และค่าใดกินกระแสอย่างน้อยที่สุด ถ้าสองอย่างนี้ขัดกัน จะตัดสินใจอย่างไรในบริบทของหุ่นยนต์ที่ใช้แบตเตอรี่
- เหตุใดจึงใช้ค่าเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตในการเลือก R_1 แทนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ลองคำนวณทั้งสองแบบแล้วเปรียบเทียบผล
- ADC ของ Arduino Uno เป็นแบบ 10 บิต อ้างอิงที่ 5 V ให้คำนวณว่าแรงดันเปลี่ยน 1 บิตคิดเป็นกี่มิลลิโวลต์ และจากย่านแรงดันที่ได้ในตารางที่ 6.1 วงจรนี้ให้ความละเอียดกี่ระดับ
- ถ้าสลับตำแหน่ง LDR กับ R_1 (เอา LDR ไว้ล่าง) พฤติกรรมของแรงดันขาออกจะเปลี่ยนไปอย่างไร และมีกรณีใดบ้างที่การต่อแบบนี้เหมาะสมกว่า
- การจำลองใน Proteus บอกอะไรเราไม่ได้บ้าง ให้ยกตัวอย่างความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้บนบอร์ดจริงแต่มองไม่เห็นในโปรแกรมจำลองมาสองกรณี พร้อมระบุว่าป้องกันอย่างไร
- ถ้าต้องอ่านค่าจากเซนเซอร์แบบนี้พร้อมกันหกตัวด้วย Arduino Nano ที่มีขาแอนะล็อกแปดขา จะยังเหลือขาแอนะล็อกให้ใช้งานอื่นกี่ขา และมีวิธีใดบ้างที่ประหยัดขาได้

8. สรุปผลการปฏิบัติงาน

เขียนสรุปความยาว 10–15 บรรทัด ครอบคลุมประเด็นต่อไปนี้

- ผลการจำลองสอดคล้องกับการคำนวณมากน้อยเพียงใด และสาเหตุของความคลาดเคลื่อน
- เหตุผลในการเลือกค่า R_1 ที่ใช้จริง
- ค่าอุปกรณ์ที่ได้จากใบงานนี้จะนำไปใช้ต่อในใบงานที่ 2 และใบงานที่ 6 อย่างไร

9. เกณฑ์การให้คะแนน

รายการประเมิน	คะแนน
การคำนวณล่วงหน้าครบถ้วน มีที่มาของค่าที่เลือก	1.5
ผังวงจรถูกต้อง จัดวางอ่านง่าย ตั้งค่าและหมายเลขอ้างอิงครบ	1.0
จำลองสำเร็จ ติดตั้งเครื่องมือวัดถูกตำแหน่ง แนบภาพครบ	1.0
ตารางบันทึกผลครบถ้วน มีหน่วยกำกับ และเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อน	1.0
กราฟเปรียบเทียบสามค่าและข้อสรุปที่มีเหตุผลรองรับ	0.5
คำถามท้ายใบงาน	1.0
รวม	6

10. เอกสารอ้างอิง

- ประกาศ สุวรรณเพชร. สร้างไลบรารีใน Proteus ตอนที่ 1. <https://www.praphas.com/index.php/2008-11-03-14-25-25/36-2008-11-04-15-15-34/84-proteus-1>
- Labcenter Electronics. *Proteus Design Suite Help — Interactive Simulation*.
- National Instruments. *NI Multisim Help — Placing Components, Interactive Components, Indicators*. <https://www.ni.com/multisim> (ใช้ในข้อ 5.9)
- Senba Optical. *GL55 Series Photoresistor Datasheet*.
- Horowitz, P. & Hill, W. *The Art of Electronics*, 3rd ed., บทที่ 1 — Voltage Dividers. Cambridge University Press, 2015

แหล่งค้นคว้าเพิ่มเติม

- All About Circuits. *Lessons in Electric Circuits เล่ม I* บท Divider Circuits and Kirchhoff's Laws — ตำราออนไลน์ฟรี <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/>
- SparkFun Learn. *Voltage Dividers*. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/voltage-dividers>
- Labcenter Electronics. *Proteus Tutorials*. <https://www.labcenter.com/tutorials/>
- ประกาศ สุวรรณเพชร. บทเรียน Proteus และ Arduino ภาษาไทย <https://www.praphas.com/>

สาขาวิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

สาขาวิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา