

ใบงานที่ 2

วงจรเปรียบเทียบแรงดันและฮิสเทอรีซิส

RBE2001 เซนเซอร์และอุปกรณ์ขับเคลื่อน (Sensor and Actuator)



โปรแกรม

**Proteus 8 (+
Multisim เสริม)**



เวลาปฏิบัติ

3 ชั่วโมง

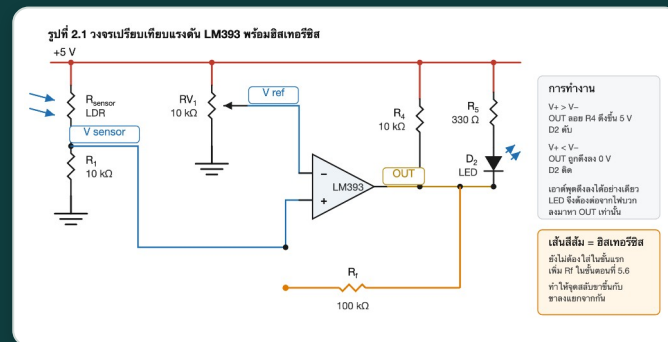


คะแนน

6 คะแนน

อาจารย์ ดร.อภิรักษ์ ธิตินฤมิต

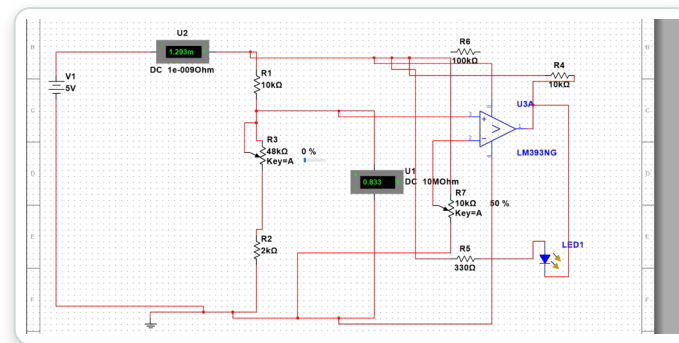
สาขาวิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา



จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อปฏิบัติตามใบงานนี้จบแล้ว นักศึกษาสามารถ

- 1 อธิบายการทำงานของวงจรเปรียบเทียบแบบเอาต์พุตตัวเก็บเปิด และบอกเหตุผลที่ต้องมีตัวต้านทานพูลอัป
- 2 ต่อวงจร LM393 พร้อมพูลอัปและวงจรแสดงสถานะได้ถูกต้องตามหลักตัวเก็บเปิด
- 3 คำนวณจุดสลับสถานะทั้งขาขึ้นและขาลงเมื่อใส่ป้อนกลับบวก แล้วเทียบกับผลจำลอง
- 4 อธิบายผลของแถบฮิสเทอรีซิสต่อเสถียรภาพเมื่อมีสัญญาณรบกวน
- 5 เลือกค่า R_f ให้เหมาะกับระดับสัญญาณรบกวนที่วัดได้จริง
- 6 ตัดสินใจว่างานใดควรเปรียบเทียบในฮาร์ดแวร์ งานใดควรส่งค่าดิบเข้าซอฟต์แวร์



LM393NG + LED ในการจำลองจริง (NI Multisim)

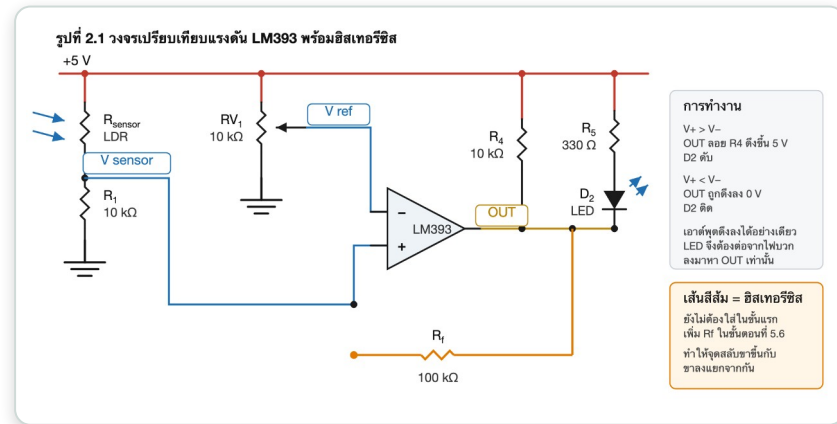
LM393 — เอาต์พุตแบบตัวเก็บเปิด

ตัวไอซี 'ดึงลงกราวด์' ได้อย่างเดียว ดึงขึ้นไม่ได้

- $V_{IN+} > V_{IN-} \rightarrow$ ทรานซิสเตอร์ขาออกหยุดนำเอาต์พุต 'ลอย' (ต้องมีพูลอัปดึงขึ้น)
- $V_{IN+} < V_{IN-} \rightarrow$ ทรานซิสเตอร์นำ ดึงเอาต์พุตลงกราวด์
- ลิม $R_{pullup} =$ วงจรค้างที่ 0 V ตลอด และมองไม่เห็นจากฝั่ง เพราะทุกอย่างดู 'ต่อครบ'
- วงจรแสดงสถานะต้องต่อ จากไฟบวก $\rightarrow R \rightarrow LED \rightarrow$ เอาต์พุต ไม่ใช่จากเอาต์พุตลงกราวด์
- พูลอัป 4.7–10 k Ω : ค่าน้อยสลับเร็วขึ้น แต่กินกระแสมากขึ้นตอนเอาต์พุตต่ำ

กระแสพูลอัปขณะเอาต์พุตต่ำ

$$I_{pullup} = V_{CC} / R_{pullup} = 5 \text{ V} / 10 \text{ k}\Omega = 0.5 \text{ mA}$$



รูปที่ 2.1 LM393 + ป้อนกลับบวก — สังเกตทิศ D2 ต่อจากไฟบวกลงมาเอาต์พุต

ปัญหาเอาต์พุตกระพริบ และทางแก้ด้วยฮิสเทอรีซิส

สัญญาณเซนเซอร์ได้ผ่านเกณฑ์ซ้ำ ๆ + สัญญาณรบกวนไม่กี่ mV = เอาต์พุตสลับถี่ หุ่นยนต์สั่นหลุดเส้น

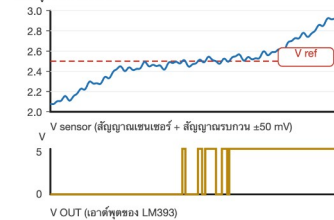
- ป้อนกลับบวกด้วย R_f จากเอาต์พุตกลับไป V_IN+ → เกณฑ์แยกเป็นสองค่า ขาขึ้นค่าหนึ่ง ขาลงอีกค่าหนึ่ง
- $R_{eq} = R_{sensor} \parallel R_1$ (ความต้านทานสมมูลที่มองจาก IN+ กลับไปทางวงจรแบ่งแรงดัน)
- ที่ $V_{ref} = V_{CC}/2$ แถบสมมาตร ถ้า V_{ref} อื่นแถบจะเบี้ยว — สำคัญตอนตั้งเกณฑ์ในใบงาน 6
- กฎใช้จริง: แถบกว้าง 3–5 เท่าของสัญญาณรบกวนยอดถึงยอด — ยิ่งกว้างยิ่งนิ่ง แต่ความไวลด

จุดสลับขาขึ้น / ขาลง / ความกว้างแถบ

$$\begin{aligned}V_{TH} &\approx V_{ref} + V_{ref} \cdot R_{eq} / R_f \\V_{TL} &\approx V_{ref} - (V_{CC} - V_{ref}) \cdot R_{eq} / R_f \\V_{hyst} &\approx V_{CC} \cdot R_{eq} / R_f\end{aligned}$$

รูปที่ 2.2 ผลของฮิสเทอรีซิสต่อเสถียรภาพของสัญญาณเอาต์พุต
แกนตั้งขยายเฉพาะช่วง 2.0–3.0 V เพื่อให้เห็นสัญญาณรบกวนบนสัญญาณเซนเซอร์

(ก) ไม่มีฮิสเทอรีซิส — เกณฑ์เดี่ยว 2.50 V



สลับสถานะ 9 ครั้ง — เอาต์พุตกระพริบตามสัญญาณรบกวน

(ข) มีฮิสเทอรีซิส — V_{TH} 2.62 V / V_{TL} 2.38 V



สลับสถานะ 1 ครั้ง — เอาต์พุตนิ่ง ใช้งานได้

แถบสีชมพู ในแผง (ข) คือแถบฮิสเทอรีซิส กว้าง 240 mV สัญญาณรบกวนที่เล็กกว่าแถบนี้จึงทำให้เอาต์พุตสลับไม่ได้ แถบยิ่งกว้างเอาต์พุตยิ่งนิ่ง แต่ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเล็ก ๆ จึงลดลง งานออกแบบคือการหาจุดสมดุลของสองอย่างนี้

รูปที่ 2.2 สัญญาณรบกวนเท่ากัน: ไม่มีฮิสเทอรีซิสสลับ 9 ครั้ง / มีฮิสเทอรีซิสสลับครั้งเดียว

โจทย์และรายการอุปกรณ์

ต่อยอดจากวงจรใบงานที่ 1 · เกณฑ์ปรับได้ · แอมป์ฮิสเทอรีซิส $\geq 150 \text{ mV}$ · LED ติดเมื่อเอาต์พุตต่ำ · กระแสรวม $\leq 15 \text{ mA}$

Ref	อุปกรณ์	ค่า	หน้าที่
LDR1 / R1	TORCH_LDR / RES	ค่าจากใบงาน 1	วงจรแบ่งแรงดันเซ็นเซอร์
RV1	POT-HG	10 k Ω	ตั้ง V_ref เข้าขา IN-
U1	LM393	—	วงจรเปรียบเทียบ (ขา 8 $\rightarrow$ +5 V, ขา 4 $\rightarrow$ GND)
R4	RES	10 k Ω	พูลอัปเอาต์พุต — ห้ามล้น
R5 + D2	RES + LED-RED	330 Ω	แสดงสถานะ จาก +5 V ลงมาหาเอาต์พุต
Rf	RES	100 k Ω และ 47 k Ω	ป้อนกลับบวกสร้างฮิสเทอรีซิส

ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ภาพรวมลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน — รายละเอียดที่ละเอียดอยู่ในใบงาน

1 Save Project As...

เปิดโครงการใบงาน 1 บันทึกเป็นชื่อใหม่ RBE2001_Lab02_... — เก็บงานเดิมไว้ครบ เหมือนแตกกิ่งใน Git

2 เพิ่มวงจรเปรียบเทียบ

วาง LM393, POT-HG, LED-RED, RES ต่อ Vsensor→IN+, wiper→IN-, R4 พูลอัป, R5+D2 จากไฟบวก, ไฟเลี้ยงขา 8/4

3 เครื่องมือวัด

DC VOLTMETER ×2 (Vsensor, Vref) · OSCILLOSCOPE ช่อง A = Vsensor, B = OUT · DC AMMETER ที่ +5 V หลัก

4 จำลองก่อนใส่ Rf

ตั้ง Vref ≈ 2.50 V เลื่อน LDR ซ้ำ ๆ หา V_TH (สว่าง→มืด) และ V_TL (ย้อนกลับ) ผลต่างควรใกล้เคียง (ตาราง 6.1)

5 ใส่ Rf 100 kΩ แล้ว 47 kΩ

คำนวณ R_eq, V_TH, V_TL ทางทฤษฎี (ตาราง 6.2) รันซ้ำ วัดจุดสลับสองทิศ สังเกตแถบเปลี่ยนทางไหน

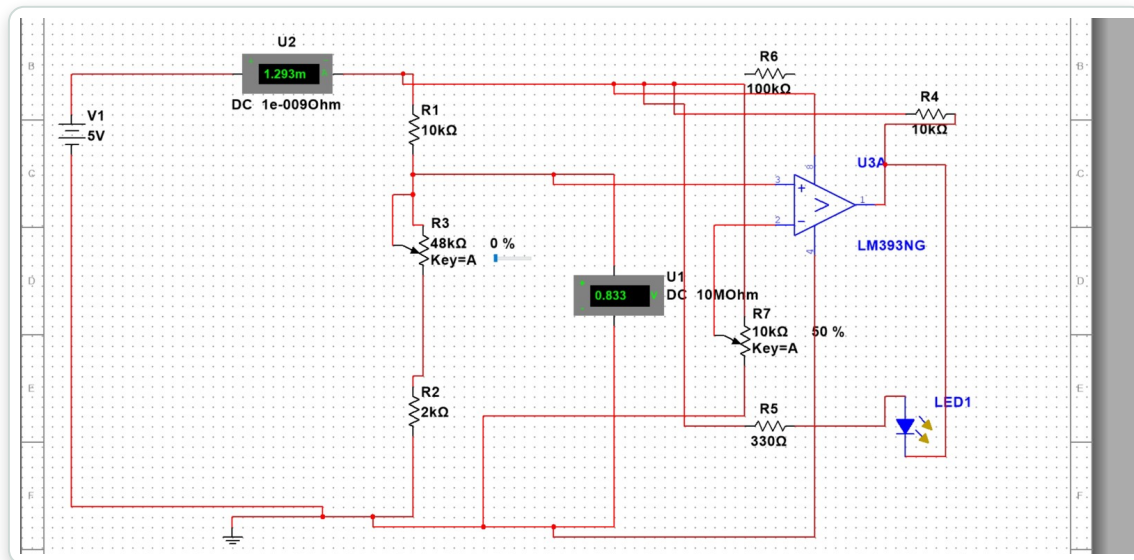
6 ทดสอบภูมิคุ้มกัน

SINE 50 mV 500 Hz ผ่าน 100 Ω เข้าเส้น Vsensor นับจำนวนครั้งที่เอาต์พุตสลับ 3 กรณี: ไม่มี Rf / 100 k / 47 k (ตาราง 6.3)

ผลจริง (1) — ก่อนใส่ฮิสเทอรีซิส

NI Multisim 14.1 · LM393NG · R7 = RV1 50 % · R4 10 k Ω · R5 330 Ω · ตัวอย่างนี้ต่อ R₁ บน / LDR ล่าง → สว่าง = แรงดันต่ำ = LED ติด

- 0 % → 0.833 V → เอาต์พุตต่ำ → LED ติด
- 40 % → 3.395 V → เอาต์พุตสูง (R4 ดึงขึ้น) → LED ดับ
- กวาดที่ละ 1 %: จุดสลับทั้งสองทิศอยู่ระหว่าง 2.33–2.58 V ไม่แยกกัน = ยังไม่มีฮิสเทอรีซิส
- ค่าอ้างอิงสำหรับตรวจตาราง 6.1

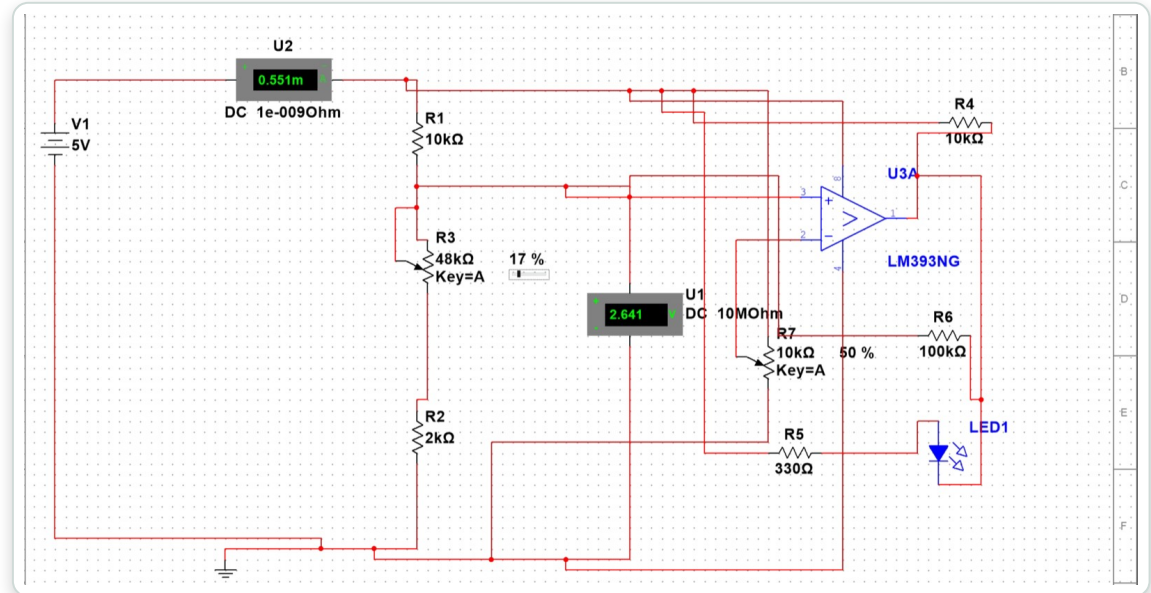


LDR จาลอง 0 %: $V_{IN+} = 0.833 \text{ V} < V_{ref} \rightarrow$ เอาต์พุตต่ำ → กระแสไหล +5 V $\rightarrow$ R5 $\rightarrow$ LED $\rightarrow$ OUT $\rightarrow$ LED ติด

ผลจริง (2) — ใส่ R_f 100 k Ω : ตำแหน่งเดียวกัน สองสถานะ

$R3 = 17\%$ ทั้งสองภาพ — ขาขึ้น LED ยังติด (2.401 V) แต่ขาลง LED ยังดับ (2.641 V)

- 12 %: 2.095 V ดิต (ทั้งสองทิศ)
- 16 %: ขึ้น 2.346 ดิต / ลง 2.581 ดับ
- 17 %: ขึ้น 2.401 ดิต / ลง 2.641 ดับ
- 19 %: 2.754 V ดับ (ทั้งสองทิศ)
- ผลต่างที่ 16 % = 0.235 V $\approx$ ทฤษฎี $V_{CC} \cdot R_{eq} / R_f = 5 \times 4.92 \text{ k} / 100 \text{ k} = 0.246 \text{ V}$ (ต่าง 4 %)
- นี่คือ 'ความจำ' ที่ทำให้สัญญาณรบกวนเล็กน้อย กระพริบไม่ได้อีก



ขาลงที่ 17 %: $V_{IN+} = 2.641 \text{ V}$ เอาต์พุตสูง LED ดับ — ขณะขาขึ้นที่ 17 % เดียวกันอ่านได้ 2.401 V LED ดิต

จุดที่มักพลาด



ลืม R4 พูลอัป

เอาต์พุตค้าง 0 V ตลอด — ทั้งใน Proteus และ Multisim เพราะโมเดล LM393 เป็น open-collector เหมือนตัวจริง



ต่อ LED จากเอาต์พุตลงกราวด์

LED สว่างจาง ๆ เพราะได้กระแสจากพูลอัป 10 k Ω เพียง 0.3 mA — ต้องต่อจากไฟบวกมาหาเอาต์พุต



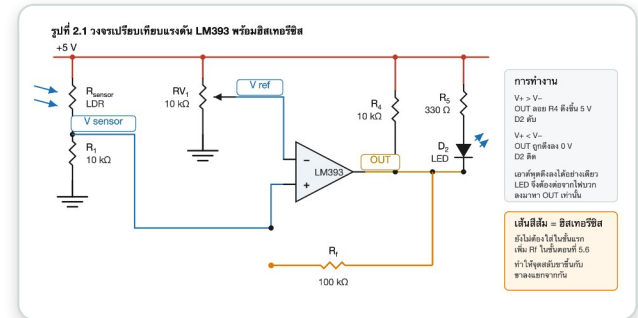
ปลาย Rf ไม่ต่อติดจริง

อาการ: จุดสลับยังเป็นค่าเดียวที่ 2.5 V และมีเตอร์อ่านเท่ากันทั้งสองทิศ — ขุมจุดเชื่อม (junction dot) ที่ปลายขาทั้งสองก่อนส่งสัยโมเดล



ตั้ง V_ref ไม่ตรงกลาง

แถบฮิสเทอรีซิสจะเบี้ยวไปข้างหนึ่ง — ต้องคิดตอนตั้งเกณฑ์จริงในใบงานที่ 6



คำถามท้ายใบงาน

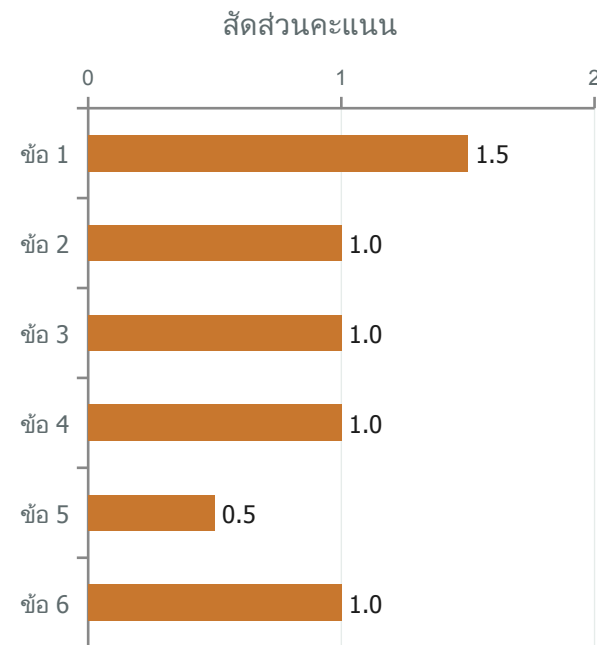
ตอบในรายงาน — ข้อที่ยกมาเป็นตัวอย่างที่ควรอภิปรายในคาบ

- 1 เอาต์พุตแบบตัวเก็บเปิดมีข้อดีอย่างไรเมื่อต่อหลายตัวบนสายเดียว (wired-AND) และมีข้อเสียอะไร
- 2 เปลี่ยนพูลอัพ $10\text{ k}\Omega \rightarrow 1\text{ k}\Omega$ ผลต่อความเร็วสลับและกระแสเป็นอย่างไร แสดงการคำนวณ
- 3 หุ่นยนต์วิ่ง 0.5 m/s เส้นกว้าง 20 mm — แถบฮิสเทอรีซิสกว้างเกินไปทำให้เกิดอะไรตอนเลี้ยว คิดเป็นระยะทาง
- 4 เทียบ (ก) ส่ง V_{sensor} เข้า ADC แล้วเทียบในซอฟต์แวร์ กับ (ข) เทียบในฮาร์ดแวร์ด้วย LM393 — เลือกหนึ่งพร้อมเหตุผล
- 5 เขียน pseudocode ฮิสเทอรีซิสในซอฟต์แวร์ (เก็บสถานะก่อนหน้า + เกณฑ์สองค่า) แล้วเทียบข้อได้/เสียเปรียบกับฮาร์ดแวร์

เกณฑ์การให้คะแนน

คะแนนเต็ม 6 คะแนน

รายการประเมิน	คะแนน
ผังวงจรถูกต้อง มีพูลอัป และต่อ LED ตามหลักตัวเก็บเปิด	1.5
การคำนวณจุดสลับทั้งสองค่าพร้อมที่มาของ R_{eq}	1
ผลจำลองครบทั้งสามกรณีของ R_f พร้อมภาพประกอบ	1
การทดสอบภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณรบกวนและการนับจำนวนครั้งที่สลับ	1
ข้อสรุปการเลือกค่าที่มีเหตุผลรองรับด้วยตัวเลข	0.5
คำถามท้ายใบงาน	1
รวม	6



สรุปสิ่งที่ต้องได้จากใบงานนี้

- LM393 ดึงลงได้อย่างเดียว → ต้องมีพูลอัพ และ LED ต้องต่อจากไฟบวกลงมาหาเอาต์พุต
- ป้อนกลับบวกด้วย R_f สร้างเกณฑ์สองค่า: V_{TH} / V_{TL} ห่างกัน $\approx V_{CC} \cdot R_{eq} / R_f$
- ที่ตำแหน่งเซนเซอร์เดียวกัน วงจรอยู่ได้สองสถานะ — คือความจำที่กันการกระพริบ
- ตั้งแถบกว้าง 3–5 เท่าของสัญญาณรบกวน: สมดุลระหว่างความนิ่งกับความไว ไม่มีค่า 'ถูก' ค่าเดียว
- ค่า R_f ชุดสุดท้ายจะใช้ตั้งเกณฑ์บอร์ดเซนเซอร์ตรวจเส้นในใบงานที่ 6



สิ่งที่ต้องส่ง

- โครงการ Proteus (Lab02)
- ภาพ lab02-a/b/c
- ตาราง 6.1–6.3
- รายงาน PDF

ใบงานถัดไป

ใบงานที่ 3 — จำลองการขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วย PWM และไมโครคอนโทรลเลอร์