



MathStandard

เอกสารประกอบการเรียน

เทคโนโลยีและวิทยาการคำนวณ

เรื่อง เซนเซอร์และระบบควบคุม

เตรียมสอบเข้า ม.4

โครงการห้องเรียนวิทยาศาสตร์ วมว. รอบ 2

คำชี้แจง

เซนเซอร์และระบบควบคุม

จัดทำโดย MathStandard

ฉบับ 2.0

ระบบวัดและควบคุมเชื่อมการรับรู้ปริมาณทางกายภาพ การแปลสัญญาณ การตัดสินใจ และการทำงานของอุปกรณ์ ความเข้าใจระบบจึงต้องพิจารณาทั้งความหมายของข้อมูล สถานะของตัวควบคุม และผลจริงที่เกิดขึ้น รวมถึงเวลาที่ข้อมูลและคำสั่งมีผล

เนื้อหา ครอบคลุม องค์ ประกอบ ระบบ วัด และ ควบคุม สัญญาณแอนะล็อกและดิจิทัล การสอบเทียบ ความละเอียดและความคลาดเคลื่อน การเก็บตัวอย่างตามเวลา การกรองสัญญาณ กฎเปิดปิดที่มีความจำ และการวินิจฉัยข้อขัดข้อง เริ่มจากหลักการพื้นฐานแล้วเชื่อมสู่การวิเคราะห์หลายเงื่อนไข การเลือกอุปกรณ์ และการออกแบบกรณีทดสอบ

พื้นฐานที่ใช้ประกอบด้วยอัตราส่วน สมการและอสมการเชิงเส้น กราฟ การแปลงหน่วย และความรู้เรื่องวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น ตัวอย่างและแบบฝึกหัดกำหนดข้อมูลของระบบไว้เป็นรายการ การใช้สูตรต้องรักษาหน่วย ช่วงใช้งาน นิยามสถานะ และขอบเวลาที่ระบุ

เมื่อใช้ ADC แบบแบ่งช่วง ให้รวมขอบล่างและไม่รวมขอบบนตามนิยามในเนื้อหา เว้นแต่มีข้อตกลงอื่นกำกับ คำว่า “หลังอ่าน” หมายถึงหลังประเมินกฎและบันทึกสถานะของรอบนั้น ลำดับข้อมูลที่ป้อนเพื่อทดสอบเป็นข้อมูลกำหนด ไม่เปลี่ยนตามการทำงานของตัวกระทำหากไม่ได้ให้แบบจำลองย้อนกลับ

แบบฝึกหัดแต่ละข้อมีคะแนนเต็ม 4 คะแนน ให้แสดงเหตุผล การคำนวณ หรือตารางตามคำถาม วิธีอื่นที่รักษาเงื่อนไขและให้เหตุผลถูกต้องได้รับคะแนนตามองค์ประกอบเดียวกัน องค์ประกอบที่มีหลายขั้นให้คะแนนบางส่วนตามความถูกต้อง โดยคะแนนรวมไม่เกินที่กำหนด

แบบจำลองการกรอง การตอบสนอง และข้อขัดข้องใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลตามเงื่อนไข ไม่เป็นข้อกำหนดความปลอดภัยของเครื่องจักรจริง การตรวจอุปกรณ์หรือวงจรจริงต้องใช้ข้อมูลพิกัดและวิธีตรวจที่เหมาะสมกับอุปกรณ์นั้น

สารบัญ

เนื้อหาและแบบฝึกหัด

ตอนที่ 1 องค์ประกอบระบบวัดและควบคุม	4
แบบฝึกหัดตอนที่ 1	9
ตอนที่ 2 สัญญาณและการสอบเทียบ	11
แบบฝึกหัดตอนที่ 2	16
ตอนที่ 3 เวลา การสุ่มอ่าน และการนับเหตุการณ์	18
แบบฝึกหัดตอนที่ 3	23
ตอนที่ 4 กฎควบคุมและการติดตามสถานะ	25
แบบฝึกหัดตอนที่ 4	31
ตอนที่ 5 การทดสอบและออกแบบระบบอัตโนมัติ	34
แบบฝึกหัดตอนที่ 5	39
สรุปสาระสำคัญ	41
แบบฝึกหัดบูรณาการ	42
เฉลยเฉพาะคำตอบ	46
เฉลยวิธีคิดและเกณฑ์ตรวจ	49
เอกสารอ้างอิง	60

ตอนที่ 1

องค์ประกอบระบบวัดและควบคุม

ระบบอัตโนมัติรับข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อม ประเมินเงื่อนไข และสั่งให้อุปกรณ์ทำงาน การอธิบายระบบจึงต้องระบุทั้งสิ่งที่วัด วิธีตัดสินใจ และผลทางกายภาพที่ต้องการ ค่าที่แสดงบนจอ คำสั่งที่ส่งออก และผลจริงของอุปกรณ์อาจไม่ตรงกัน หากมีส่วนใดขัดข้องหรือเกิดเวลาหน่วง

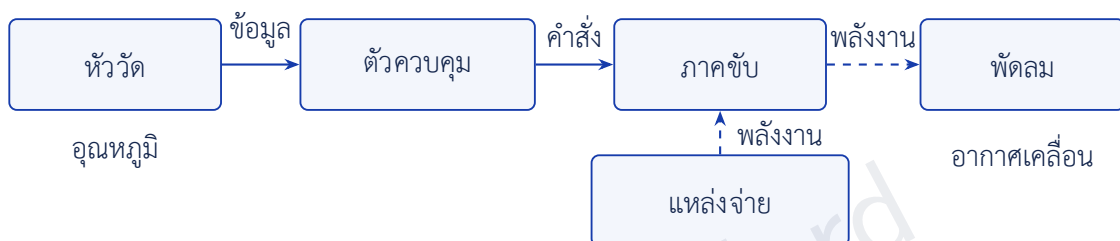
1.1 เซนเซอร์ การปรับสัญญาณ และตัวกระทำ

เซนเซอร์เปลี่ยนปริมาณหรือสภาพทางกายภาพให้เป็นสัญญาณที่ระบบใช้ได้ เช่น หัววัดอุณหภูมิให้แรงดันตามอุณหภูมิ หรือสวิตช์ตำแหน่งให้ข้อมูลว่าฝาปิดหรือเปิด ตัวปรับสัญญาณทำให้สัญญาณเหมาะสมกับภาครับ โดยอาจขยาย เลื่อนค่าฐาน หรือกรองความเปลี่ยนแปลงบางชนิด หน้าที่เหล่านี้ต่างจากการตัดสินใจว่าจะสั่งงานหรือไม่

ตัวควบคุมประเมินข้อมูลตามกฎ อาจเป็น วงจร ตรรกะ หรือ โปรแกรม ส่วนภาคขับรับคำสั่งแล้ว ควบคุมพลังงานให้ตัวกระทำ เช่น มอเตอร์ วาล์ว หรือเครื่องทำความร้อน ตัวกระทำจึงเป็นส่วนที่เปลี่ยนพลังงานให้เกิดผลตามต้องการ ขาสัญญาณของตัวควบคุมมิได้จ่ายกำลังเพียงพอให้มอเตอร์ทุกชนิดโดยตรง

ปริมาณสามชนิดที่ต้องแยก

ข้อมูลวัดบอกสิ่งที่ระบบรับรู้ คำสั่งบอกสิ่งที่ระบบต้องการให้ทำ และผลจริงบอกสิ่งที่เกิดขึ้น การตรวจคำสั่งเพียงจุดเดียวจึงไม่ยืนยันผลจริง ต้องเลือกจุดวัดที่สัมพันธ์กับผลนั้น



ภาพที่ 1 เส้นทึบแสดงข้อมูลหรือคำสั่ง เส้นประแสดงการส่งพลังงาน

ในตู้เก็บเมล็ดพันธุ์ หัววัดอุณหภูมิภายในตู้ให้ข้อมูลแก่บอร์ด บอร์ดสั่งวงจรขับพัสดุ พัดลมทำให้อากาศเคลื่อนผ่านตู้ หากต้องการยืนยันการหมุนอาจใช้ตัวตรวจรอบ แต่การยืนยันอุณหภูมิของเมล็ดต้องใช้จุดวัดที่เหมาะสมกับตำแหน่งเมล็ด การวัดอากาศใกล้ช่องลมเพียงจุดเดียวอาจไม่แทนทุกตำแหน่ง

ตัวอย่างที่ 1 ข้อมูลคำสั่งกับผลจริง

ผู้เก็บเมล็ดมีหัววัดอุณหภูมิ บอร์ด วงจรขับ และพัดลม จอรับข้อความจากบอร์ดว่า “พัดลมทำงาน” แต่ไม่มีตัวตรวจรอบ จงจำแนกหน้าที่ทั้งสี่ส่วน และระบุข้อมูลที่ควรเพิ่มเพื่อยืนยันการหมุน

วิธีคิด หัววัด ทำหน้าที่รับ ปริมาณ บอร์ด ตัดสินคำสั่ง วงจร ขับ ควบคุมพลังงาน และ พัดลม เป็นตัวกระทำ จอแสดงคำสั่งจากบอร์ด ไม่ได้วัดการหมุน จึงควรตรวจรอบเพลลาหรือใช้ข้อมูลการหมุนที่เป็นอิสระจากคำสั่ง

ตอบ หัววัดเป็นเซนเซอร์ บอร์ดเป็นตัวควบคุม วงจรขับเป็นภาคขับ พัดลมเป็นตัวกระทำ และเพิ่มตัวตรวจการหมุน

1.2 เส้นทางข้อมูลและการแปลงปริมาณ

สัญญาณผ่านหลายส่วนได้โดยมีหน่วยและความหมายเปลี่ยนไป ตัวอย่างเช่น แรงกดเปลี่ยนเป็นแรงดัน แรงดันผ่านภาคขยาย แล้วแปลงเป็นรหัส การคำนวณต้องใช้ค่าขาออกของส่วนหนึ่งเป็นขาเข้าของส่วนถัดไป แต่ต้องตรวจดูว่าค่าดังกล่าวยังอยู่ในช่วงใช้งานของแต่ละส่วน

เมื่อภาคขยายอยู่ในช่วงเชิงเส้น อัตราขยายแรงดันเป็นอัตราส่วนแรงดันออกต่อแรงดันเข้า ไม่ใช่อัตราขยายพลังงาน พลังงานที่เพิ่มให้ไหลมาจากแหล่งจ่าย หากภาคขยายมีเพดาน ขาเข้าที่ต่างกันอาจให้แรงดันออกเท่ากันได้ การย้อนหาอินพุตจากผลที่ออกมาจึงไม่ให้ค่าเดียว

การขยายเชิงเส้น

$$V_{out} = GV_{in}$$

V_{in} และ V_{out} คือแรงดันเข้าและออกในหน่วยเดียวกัน G คืออัตราขยายที่ไม่มีหน่วย สูตรใช้เมื่อผลคำนวณอยู่ในช่วงเชิงเส้นของภาคขยาย การแปลงต่อเป็นระยะ แรง หรือการสั่นต้องใช้ความสัมพันธ์ของตัวกระทำนั้น



ภาพที่ 2 จุด A, B วัดแรงดัน ส่วนจุด C วัดผลทางกายภาพ จึงใช้หน่วยต่างกันได้

ตัวอย่างที่ 2 ติดตามสัญญาณและตรวจเพดาน

หัววัดให้ 5 mV ต่อการสั้นหนึ่งหน่วย ภาควิทยามี $G = 4$ และยังเป็นเชิงเส้นถึง 80 mV ตัวกระทำให้การสั้นหนึ่งหน่วยต่อ 8 mV เมื่อการสั้นเข้าเท่ากับ 3 หน่วย จงหาแรงดันหลังหัววัด หลังภาควิทย และการสั้นออก

วิธีคิด หัววัดให้ $3(5) = 15$ mV ภาควิทยาให้ $4(15) = 60$ mV ซึ่งไม่เกิน 80 mV จึงใช้แบบจำลองเชิงเส้นได้ ตัวกระทำรับ 60 mV แล้วให้การสั้น $60/8 = 7.5$ หน่วย

ตอบ 15 mV, 60 mV และ 7.5 หน่วย ตามลำดับ

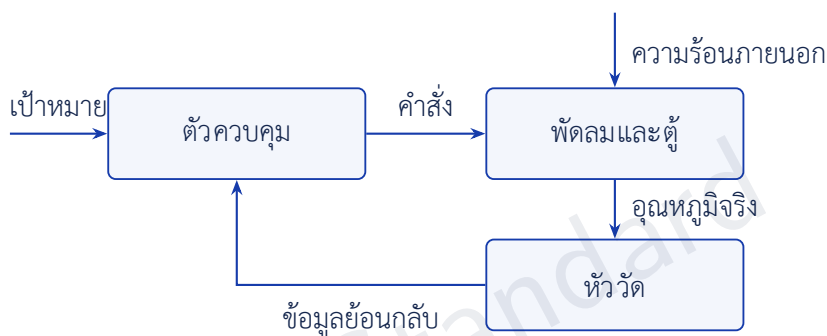
1.3 วงเปิด วงปิด และข้อมูลย้อนกลับ

ระบบควบคุมแบบวงเปิดกำหนดคำสั่งโดยไม่ใช้ผลของกระบวนการที่ต้องการควบคุมกลับมาปรับคำสั่งนั้น เช่น ตั้งเวลาให้พัดลมทำงานตามตาราง ส่วนระบบวงปิดใช้ข้อมูลวัดจากกระบวนการกลับมาตัดสินใจ การมีจอแสดงอุณหภูมิไม่ได้ทำให้เป็นวงปิดโดยอัตโนมัติ ต้องมีเส้นทางที่นำอุณหภูมิไปเปลี่ยนคำสั่งด้วย

ข้อมูลย้อนกลับช่วยให้ระบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง เช่น อากาศภายนอกอุ่นขึ้นหรือมีความร้อนเพิ่มในตู้ อย่างไรก็ตาม วัสดุที่ผิด ตำแหน่งหัววัดที่ไม่เหมาะสม และตัวกระทำที่ไม่มีกำลังเพียงพอจะทำให้ควบคุมไม่ได้ตามเป้าหมาย จึงต้องกำหนดขอบเขตว่าควบคุมปริมาณใด ที่ตำแหน่งใด

เป้าหมายกับค่าที่วัด

ให้ r เป็นค่าเป้าหมาย y เป็นค่าที่วัด และ $e = r - y$ เป็นความต่าง โดยทั้งสามใช้หน่วยเดียวกัน ต้องแปลเครื่องหมายของ e ร่วมกับผลของตัวกระทำ พัดลมระบายความร้อนกับเครื่องทำความร้อนมีทิศการเปลี่ยนอุณหภูมิต่างกัน



ภาพที่ 3 ผลวัดย้อนกลับถึงตัวควบคุม ขณะที่สิ่งรบกวนมีผลต่อกระบวนการ

ตัวอย่างที่ 3 จำแนกระบบและทิศการแก้

ตู้ A เปิดพัดลมทุกชั่วโมงครั้งละ 5 นาทีและแสดงอุณหภูมิ ตู้ B ใช้หัววัดอุณหภูมิเทียบเป้าหมาย 26°C แล้วปรับพัดลม เมื่อวัดได้ 31°C จงจำแนกวงเปิดหรือวงปิด และหาความต่าง e ของตู้ B

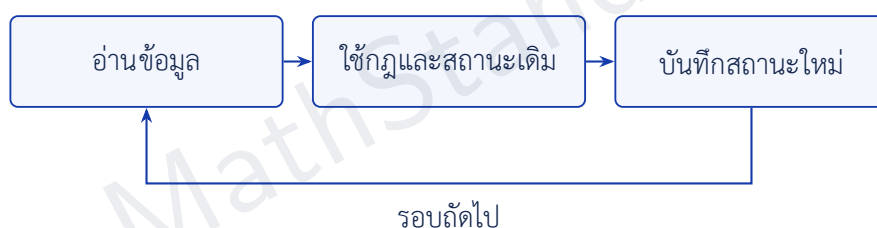
วิธีคิด ตู้ A ไม่ใช้อุณหภูมิเปลี่ยนตารางพัดลม จึงเป็นวงเปิดในขอบเขตการควบคุมอุณหภูมินี้ ตู้ B นำผลวัดกลับมาตัดสินใจจึงเป็นวงปิด มี $e = 26 - 31 = -5^{\circ}\text{C}$ หมายถึงผลวัดสูงกว่าเป้าหมาย ต้องใช้การกระทำที่ลดอุณหภูมิตามแบบจำลอง

ตอบ A เป็นวงเปิด B เป็นวงปิด และ $e = -5^{\circ}\text{C}$

1.4 รอบการอ่านและสถานะก่อน-หลังคำสั่ง

ระบบดิจิทัลมักทำงานเป็นรอบ ได้แก่ อ่านข้อมูล ประเมินกฎ บันทึกสถานะใหม่ และส่งคำสั่ง หากระบบมีความจำ การตัดสินใจครั้งใหม่ต้องใช้สถานะที่ได้จากรอบก่อน ไม่เริ่มสถานะใหม่ทุกแถว ตัวอย่างความจำ ได้แก่ สถานะพัดลม จำนวนครั้งที่อ่านสูงติดต่อกัน หรือสถานะหยุดค้าง

ควรแยกดัชนีรอบออกจากเวลา ให้รอบที่ i อ่านที่เวลา t_i และให้คำสั่งหลังอ่านมีผลในช่วง $[t_i, t_{i+1})$ ซึ่งรวมเวลาเริ่มแต่ไม่รวมเวลาจบ การรวมเวลาทำงานจึงใช้สถานะหลังอ่านคุณความยาวช่วงนั้น การเปลี่ยนสถานะนับโดยเปรียบเทียบกับสถานะก่อนอ่าน รวมสถานะเริ่มต้นตามที่กำหนด



ภาพที่ 4 หนึ่งรอบใช้ค่าที่อ่านและสถานะเดิม แล้วบันทึกสถานะใหม่ไว้ใช้รอบถัดไป

การรวมเวลาจากตาราง

เมื่อ $S_i = 1$ หมายถึงเปิด และ $S_i = 0$ หมายถึงปิดหลังอ่านรอบที่ i เวลาที่เปิดรวมเท่ากับ $\sum S_i \Delta t_i$ โดย Δt_i คือความยาวช่วงที่สถานะนั้นมีผล ต้องมีข้อมูลเวลาให้ครบ รวมช่วงหลังการอ่านครั้งสุดท้าย

ตัวอย่างที่ 4 นับช่วงที่มีผลหลังอ่าน

พัดลมเริ่มปิด เปิดเมื่ออุณหภูมิไม่น้อยกว่า 30°C มีฉะนั้นปิด อ่าน 29, 30, 32, 28, 31 $^\circ\text{C}$ แต่ละค่ากำหนดคำสั่งสำหรับช่วงถัดไป 12 วินาที รวมช่วงหลังค่าสุดท้าย จงหาเวลาเปิดรวมและจำนวนการเปลี่ยนสถานะ

วิธีคิด สถานะหลังอ่านเป็น 0, 1, 1, 0, 1 จึงเปิดสามช่วง รวม $3(12) = 36$ วินาที เทียบกับสถานะเริ่มปิด เปลี่ยนที่รอบ 2, 4, 5 ส่วนรอบ 3 ยังคงเปิดจึงไม่นับเพิ่ม

ตอบ เปิด 36 วินาที เปลี่ยนสถานะ 3 ครั้ง

แบบฝึกหัดตอนที่ 1

การวิเคราะห์และการให้เหตุผล

ให้แสดงเหตุผลหรือการคำนวณตามคำถาม โดยใช้ข้อมูลและสมมติฐานที่กำหนดในแต่ละข้อ

ข้อ 1 ระบบรดน้ำมีหัววัดความชื้น บอร์ด วงจรขับ และวาล์ว จอแสดง “เปิดวาล์ว” จากคำสั่งบอร์ด แต่ไม่มีเครื่องวัดการไหล จงระบุหน้าที่ทั้งสี่ส่วน และอธิบายว่าจอยืนยันน้ำไหลจริงได้หรือไม่ พร้อมเสนอจุดวัดเพื่อยืนยัน

ตอบ

ข้อ 2 หัววัดให้ 3 mV ต่อหน่วยอินพุต ภาควิทยาย $G = 5$ ยังเชิงเส้นถึง 90 mV ตัวกระทำให้หนึ่งหน่วยต่อ 6 mV เมื่ออินพุตเป็น 4 หน่วย จงหาแรงดันสองจุดและผลตัวกระทำ พร้อมตรวจช่วงภาควิทยาย

ตอบ

ข้อ 3 เครื่องอบแบบ A ใช้เวลาตั้งต้น 20 นาทีและแสดงอุณหภูมิ ส่วนแบบ B ใช้อุณหภูมิปรับเครื่องทำความร้อนเพื่อรักษาเป้าหมาย 45°C จงจำแนกระบบในขอบเขตควบคุมอุณหภูมิ และหาความต่าง $e = r - y$ ของ B เมื่อวัดได้ 41°C พร้อมอธิบายทิศการกระทำที่ต้องการ

ตอบ

ข้อ 4 ระบบเริ่มปิด เปิดเมื่อค่าความชื้นที่อ่านต่ำกว่า 40 มิฉะนั้นปิด อ่านที่เวลา 0, 5, 12, 20 วินาที ได้ 45, 35, 38, 42 ตามลำดับ แต่ละคำสั่งมีผลจนถึงการอ่านถัดไป และคำสั่งสุดท้ายถึงเวลา 30 วินาที จงหาสถานะ เวลาเปิดรวม และจำนวนการเปลี่ยน

ตอบ

ข้อ 5 ตู้เพาะต้องควบคุมอุณหภูมิบริเวณต้นกล้า หัววัดตัวเดียวติดตรงลมเย็นจากพัดลมและรายงาน 25°C ขณะที่ไม่มีข้อมูลบริเวณต้นกล้า ผู้ดูแลสรุปว่าต้นกล้าทั้งหมดอยู่ที่ 25°C จงประเมินข้อสรุปและเสนอการตรวจเพิ่มสองประการที่ต่างหน้าที่กัน

ตอบ

ข้อ 6 หัววัดให้ 4 mV ต่อหน่วย ป้อน 3 หน่วย เลือกอัตราขยาย $G = 2, 3, 5$ ตัวกระทำหนึ่งหน่วยต่อ 4 mV ต้องการผล 8 ถึง 10 หน่วย และแรงดันเข้าตัวกระทำไม่เกิน 40 mV ทุกภาคเชิงเส้นในค่าที่ตรวจ จงเลือกแบบที่ผ่านและเปรียบเทียบทุกแบบ

ตอบ

เฉลยวิธีคิดและเกณฑ์ตรวจ

การวิเคราะห์และการให้เหตุผล

ข้อ 1

วิธีคิด หัววัดเป็นเซนเซอร์ บอร์ดเป็นตัวควบคุม วงจรขับเคลื่อนพลังงาน และวาล์วเป็นตัวกระทำ จอแสดงคำสั่งจึงไม่ยืนยันการไหล อาจไม่มีน้ำหรือวาล์วไม่เปิด ควรเพิ่มเครื่องวัดการไหลหลังวาล์ว

ตอบ หัววัด-เซนเซอร์ บอร์ด-ตัวควบคุม วงจรขับ-ภาคขับ วาล์ว-ตัวกระทำ จอยังไม่ยืนยัน เพิ่มจุดวัดการไหลหลังวาล์ว

กลับไปโจทย์ข้อ 1

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): จำแนกสีหน้าที่ 2 คะแนน แยกคำสั่งจากผลจริง 1 คะแนน เสนอจุดวัดสัมพันธ์กับการไหล 1 คะแนน

ข้อ 2

วิธีคิด แรงดันหัววัด $4(3) = 12 \text{ mV}$ หลังขยาย $5(12) = 60 \text{ mV}$ ต่ำกว่า 90 mV จึงใช้กฎได้ ผลตัวกระทำ $60/6 = 10$ หน่วย

ตอบ 12 mV , 60 mV และ 10 หน่วย อยู่ในช่วงเชิงเส้น

กลับไปโจทย์ข้อ 2

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): แรงดันหัววัด 1 คะแนน แรงดันขยาย 1 คะแนน ตรวจเพดาน 1 คะแนน ผลตัวกระทำ 1 คะแนน

ข้อ 3

วิธีคิด A ไม่ใช้อุณหภูมิเปลี่ยนคำสั่งจึงเป็นวงเปิด B ใช้ผลวัดย้อนกลับจึงเป็นวงปิด ความต่าง $45 - 41 = 4$ องศา หมายถึงยังต่ำกว่าเป้าหมาย จึงต้องเพิ่มความร้อนตามแบบจำลอง

ตอบ A วงเปิด B วงปิด $e = 4^\circ\text{C}$ ต้องเพิ่มอุณหภูมิ

กลับไปโจทย์ข้อ 3

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): จำแนก A 1 คะแนน จำแนก B 1 คะแนน คำนวณความต่าง 1 คะแนน แปลทิศการกระทำ 1 คะแนน

ข้อ 4

วิธีคิด สถานะเป็น 0, 1, 1, 0 เปิดตั้งแต่เวลา 5 ถึงก่อน 20 วินาที รวม $7 + 8 = 15$ วินาที เปลี่ยนที่เวลา 5 และ 20 รวมสองครั้ง

ตอบ 0, 1, 1, 0 เปิด 15 วินาที เปลี่ยน 2 ครั้ง

กลับไปโจทย์ข้อ 4

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): สถานะ 1 คะแนน ระบุช่วงเวลา 1 คะแนน รวมเวลา 1 คะแนน จำนวนเปลี่ยน 1 คะแนน