มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบปลายภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 2 **ประจำปีการศึกษา 2552**

วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2553 **เวลา 09.00-12.00**

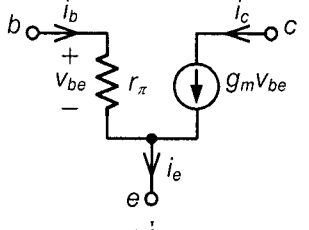
วิชา 210-232, 210-332 Electronic Circuits and Systems **ห้อง R200**

คำสั่ง

1. ข้อสอบชุดนี้มีทั้งหมด 6 ข้อ ควรตรวจสอบก่อนลงมือทำ
2. อนุญาตให้นำเฉพาะเครื่องเขียนและเครื่องคิดเลขเข้าห้องสอบ
3. อนุญาตให้ใช้ดินสอหรือปากกาก็ได้ในการเขียนคำตอบ
4. ให้เขียนคำตอบในสมุดคำตอบ
5. **ไม่มีคะแนนสำหรับคำตอบหรือการออกแบบที่ไม่มีการวิเคราะห์หรือการอธิบายอย่างเป็นเหตุผล**

กำหนดให้

- แรงดันเทอร์มัลมีค่า $V_T = 26\text{mV}$ ที่อุณหภูมิห้อง 27°C
- สมมติให้เมื่อทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) ทำงาน แรงดัน V_{BE} จะมีค่าประมาณ 0.7 โวลต์
- สมมติให้ small-signal model ของ BJT เป็นดังรูปที่ 1.1 (นอกจากจะมีการกำหนดเฉพาะ)



รูปที่ 1.1

ชื่อ:_____รหัสประจำตัว:_____

ผู้ออกข้อสอบ: นาย ภาณุมาส คำสัตย์

1. นักศึกษาทำการจำลองการทำงานวงจร (simulation) เพื่อศึกษาวงจรในรูปที่ 1.2 ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบ differential โดยมีตัวต้านทาน R_F ต่ออยู่ระหว่างอินพุทและเอาท์พุททำหน้าที่ป้อนกลับลบ โดยพบว่าถ้ามีสัญญาณแรงดันดีซีแรงดันโหมดร่วมขนาดเล็กมากแกว่งที่อินพุทสองด้าน จะพบว่ามีสัญญาณแรงดันแกว่งที่เอาท์พุท v_{o1} และ v_{o2} ซึ่ง นศ. คิดว่าไม่ตรงตามกับที่ได้ศึกษามาในห้องเรียน (โดยสมมติว่าแหล่งจ่ายกระแสคงที่ที่ใช้เป็นอุดมคติ และทรานซิสเตอร์เป็นอุดมคติคือ สามารถละเลยกระแสเบสได้และไม่มีผลจากปรากฏการณ์เออรี่) จงช่วย นศ. ท่านนี้ทำความเข้าใจวงจรนี้

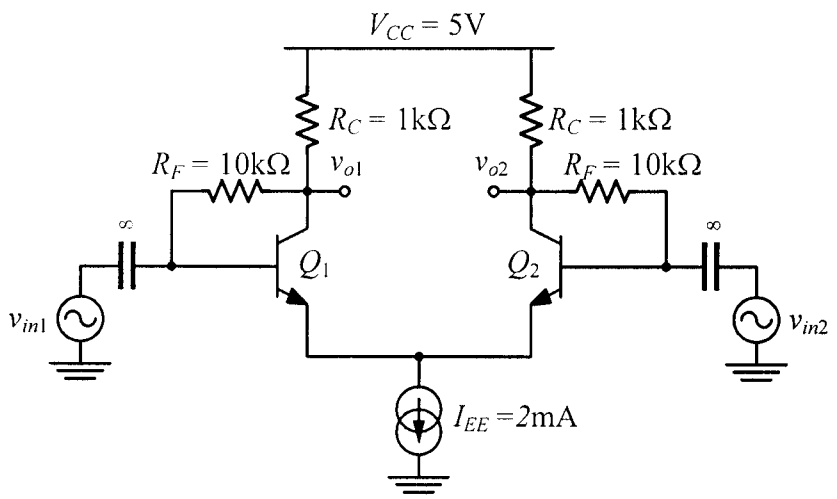
(ก) เขียนแรงดันดีซีไบอัสของวงจรที่ คอลเลคเตอร์ เบส และอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว [1 คะแนน]

(ข) ให้ช่วย นศ. ท่านนี้ทำการวิเคราะห์ว่ามีอะไรผิดพลาดในการจำลองหรือไม่ เป็นไปได้อย่างไรที่จะมีการแกว่งของสัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทได้อย่างไรทั้งที่ใช้แหล่งจ่ายกระแสคงที่อุดมคติกับโครงสร้าง differential นี้ อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น [2 คะแนน]

(ค) ถ้าสัญญาณโหมดร่วมที่อินพุททั้งสองด้านมีขนาดเล็กมากคือ $v_{in1} = v_{in2} = v_{incm}$ ให้ทำการวิเคราะห์เพื่อหา v_{o1} และ v_{o2} ว่ามีความสัมพันธ์กับ v_{incm} อย่างไร [3 คะแนน]

(ง) ทำการวิเคราะห์หาอัตราขยายสัญญาณโหมดต่าง $A_{dm} = (v_{o1} - v_{o2})/(v_{in1} - v_{in2})$ สำหรับสัญญาณขนาดเล็กของวงจรนี้ โดยให้คำตอบในเทอมของ g_m, R_F, R_C ตามความเหมาะสม [3 คะแนน]

(จ) ให้ออกแบบพร้อมการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงวงจรนี้โดยยังคงใช้การป้อนกลับผ่านตัวต้านทาน R_F เช่นเดิม (อัตราขยายโหมดต่างใกล้เคียงไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก) เพื่อให้ไม่มีการแกว่งสัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทเมื่อมีสัญญาณโหมดร่วมขนาดเล็กแกว่งที่อินพุททั้งสองด้าน การออกแบบนั้นสามารถใช้ ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นสองตัว และ/หรือตัวต้านทานค่าใดๆสองตัวเพิ่มขึ้นมา (จะไม่ใช้ก็ได้) [5 คะแนน]



รูปที่ 1.2

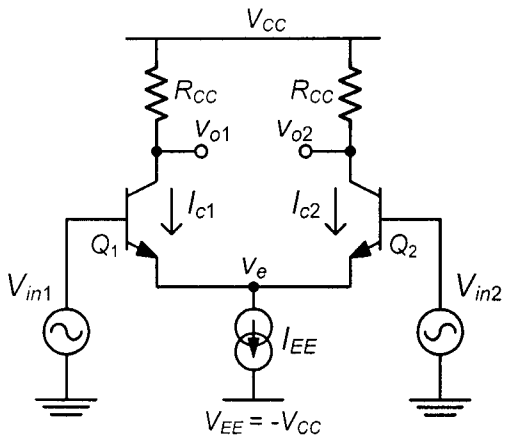
2.

(ก) จากวงจรในรูปที่ 1.3 ให้ทำการวิเคราะห์สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่ (large-signal analysis) เพื่อพิสูจน์อย่างเป็นขั้นตอนโดยละเอียดว่าสมการความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงจากแรงดันไปเป็นกระแสเป็นไปตามสมการ

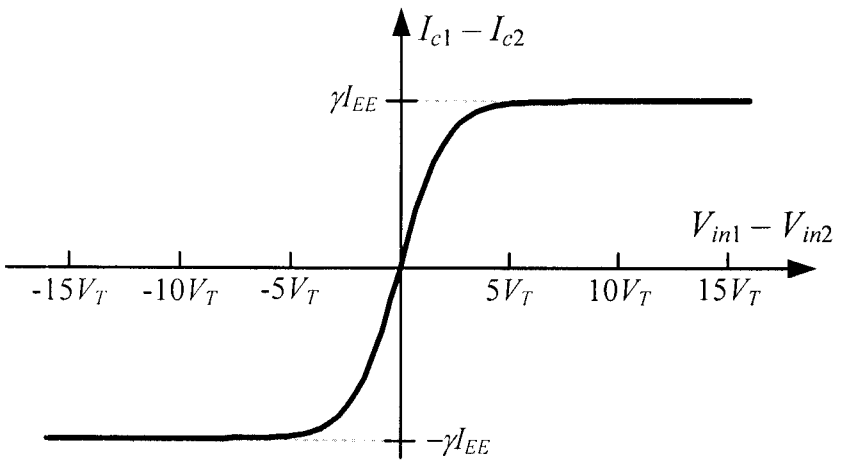
$$\frac{d}{d(V_{in1}-V_{in2})}(I_{c1}-I_{c2})=\frac{k\exp\left(\frac{V_{in1}-V_{in2}}{V_T}\right)}{\left(1+\exp\left(\frac{V_{in1}-V_{in2}}{V_T}\right)\right)^2} \qquad (1.1)$$

เมื่อ k คือค่าคงที่ และจงหาค่าคงที่นี้ด้วย (ละเลยกระแสเบสด้วย) [3 คะแนน]

(ข) ให้ทำออกแบบการทดลองเพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างกระแส $I_{c1} - I_{c2}$ กับแรงดันอินพุท V_{in1}, V_{in2} ของวงจร differential pair ในรูปที่ 1.3 โดยที่จะต้องสามารถแสดงกราฟของตามลักษณะแนวโน้มความสัมพันธ์ที่จะต้องได้บนจอออสซิลโลสโคปได้ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 1.4 โดยแสดงรายละเอียดการทดลองว่าจะต้องมีอุปกรณ์ใดบ้างและมีการต่ออย่างไร (จะต้องทำงานได้จริงในทางปฏิบัติ) [4 คะแนน]



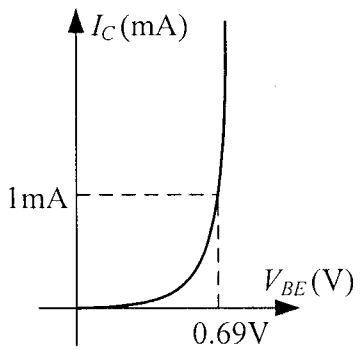
รูปที่ 1.3



รูปที่ 1.4 ลักษณะความสัมพันธ์โดยประมาณที่ต้องการแสดงบนหน้าจอออสซิลโลสโคป

3. (ก) ใช้คุณสมบัติ I/V ของทรานซิสเตอร์ไบโพล่าร์และข้อมูลจากตารางในรูปที่ 1.5 เพื่อทำการวิเคราะห์หาแรงดัน (V_{C1}, V_{C2}, V_E) และกระแส (I_{C1}, I_{C2}) ของวงจรในรูปที่ 1.6 เมื่อ V_{B1} และ V_{B2} มีค่าเป็น 0.95 โวลต์และ 1.10โวลต์ ตามลำดับ (ไม่คิดผลจากปรากฏการณ์เออรี่และถือว่ากระแสเบสมีค่าต่ำมาก) [3 คะแนน]

(ข) แรงดัน V_E ที่อิมิตเตอร์จากข้อ (ก) เท่ากับที่ได้เมื่อ V_{B1}=V_{B2}=1.0V หรือไม่? เพราะอะไร ? [1 คะแนน]

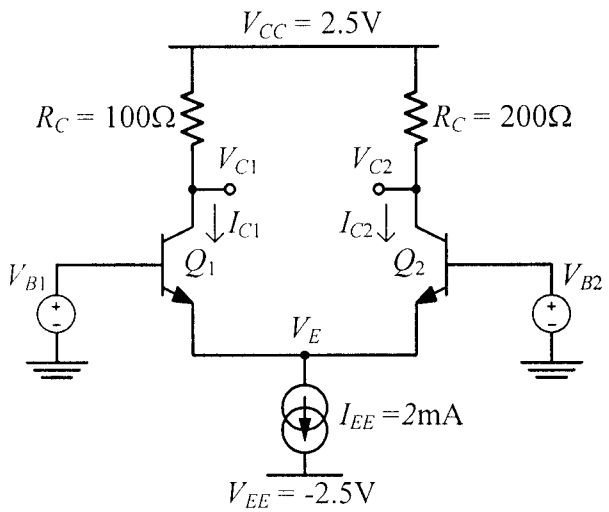


(a) ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์ที่ใช้

V_{BE} (V)	I_C (mA)
0.62	0.1
0.64	0.4
0.66	0.6
0.68	0.9
0.69	1.0
0.72	1.1
0.76	1.4
0.79	1.6
0.82	1.9

(b) ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส/แรงดัน

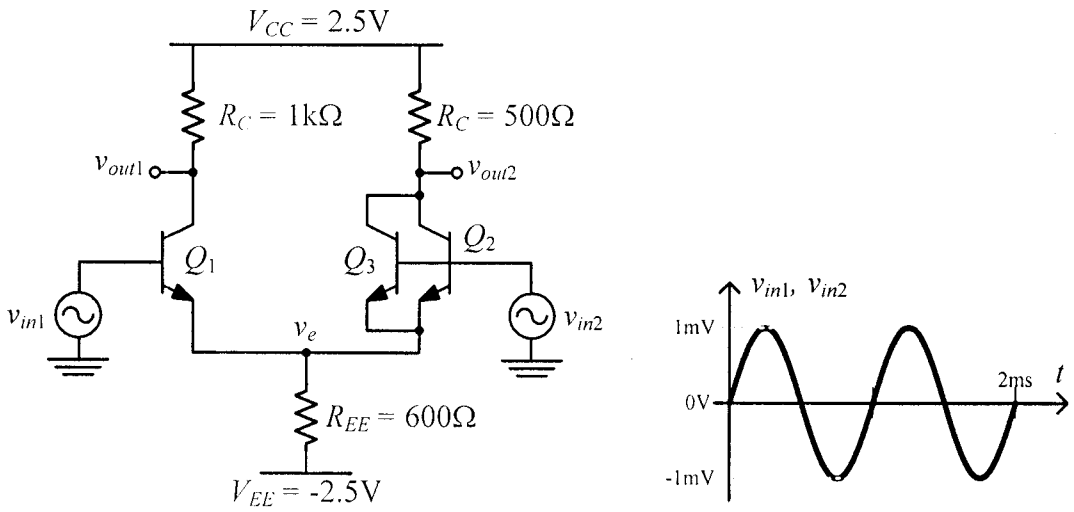
รูปที่ 1.5



รูปที่ 1.6

(ค) จากวงจรในรูปที่ 1.7(a) ถ้าสัญญาณอินพุท v_{in1}, v_{in2} เป็นสัญญาณโหมดร่วมดังแสดงในรูปที่ 1.7(b) จงวิเคราะห์ประมาณหาและวาดสัญญาณแรงดัน v_{out1}, v_{out2}, v_e โดยเทียบกับแรงดันอินพุท (สมมติว่าทรานซิสเตอร์ทั้งสามตัวมีคุณสมบัติเหมือนกัน)

[4 คะแนน]



รูปที่ 1.7

4. (ก) นักศึกษาต้องการศึกษาวงจร Schmitt-trigger bistable multivibrator ในรูปที่ 1.8 โดยใช้ไฟเลี้ยงคู่ ($V_{EE} = -V_{CC}$) แต่โชคร้ายที่ขาดอุปกรณ์สุดท้ายที่สำคัญนั่นคือออปแอมป์นั้นหมดเนื่องจากนักศึกษากลุ่มก่อนหน้าได้ทำพังไปหมดแล้ว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์จากการรีไซเคิลเท่านั้น ให้ทำดัดแปลงวงจรนี้เพื่อศึกษาการกำเนิดสัญญาณจากหลักการเดิมโดยอาจจะใช้อุปกรณ์ต่อไปนี้ที่ได้มาจากการรีไซเคิลเพิ่มขึ้นมา

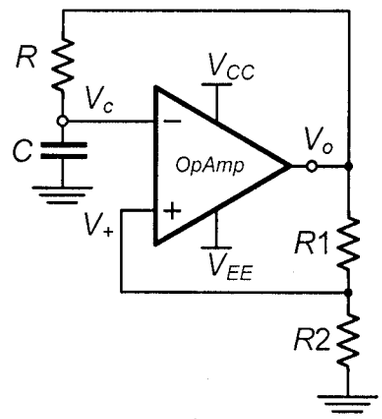
- ทรานซิสเตอร์ไบโพล่าร์อุดมคติชนิด เอ็นพีเอ็นและพีเอ็นพี จำนวนไม่จำกัด
- ตัวต้านทานค่าใดๆ จำนวนไม่จำกัด
- แหล่งจ่ายกระแสคงที่อุดมคติค่าใดๆ 1 ตัว [4 คะแนน]

(ข) ต่อมาสมมติว่าสามารถหาออปแอมป์อุดมคติมาใช้ได้ ให้ทำการดัดแปลงวงจรในรูปที่ 1.8 เพื่อผลิตสัญญาณแรงดันไซน์บริสุทธิ์ (pure sinusoidal signal) ซึ่งมีความถี่เดียวตามความเหมาะสม เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยการออกแบบนั้นอาจจะใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมคือ ตัวเก็บประจุ (1 ตัว) ตัวต้านทาน (2 ตัว) ตัวเหนี่ยวนำ (1 ตัว) ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น (2 ตัว) แหล่งจ่ายกระแสอุดมคติ (1 ตัว) โดยต้องกำหนดความสัมพันธ์ของค่าอุปกรณ์ที่ใช้ออกแบบกับค่า R, C, R_1, R_2 เพื่อให้ได้สัญญาณไซน์บริสุทธิ์ความถี่เดียวตามที่ต้องการ เมื่อคาบของสัญญาณที่ออกจากวงจรในรูปที่ 1.8 มีค่าเป็น

$$T = RC\ln\left[\left(\frac{\beta V_{EE} - V_{CC}}{\beta V_{CC} - V_{CC}}\right)\left(\frac{\beta V_{CC} - V_{EE}}{\beta V_{EE} - V_{EE}}\right)\right] \tag{1.2}$$

โดยค่าคงที่ $\beta = R_2/(R_1 + R_2)$

[3 คะแนน]

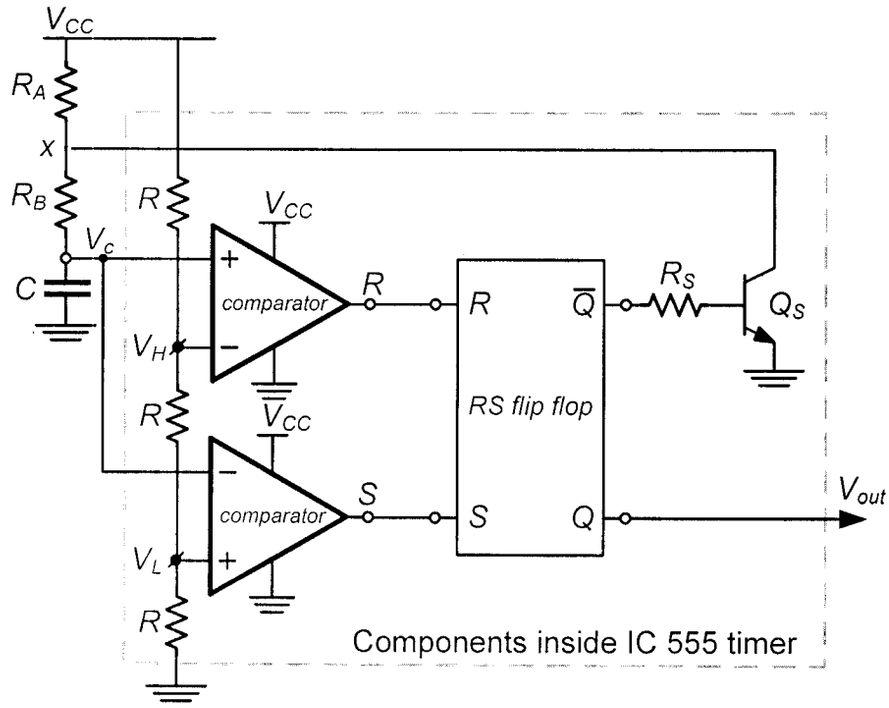


รูปที่ 1.8

5. (ก) ปกติแล้ววงจร bistable multivibrator ในรูปที่ 1.9 ซึ่งใช้ RS flip-flop (RSFF) ชนิดที่มีตารางความจริง (truth table) ดังแสดงในตารางที่ 1.1 ไม่สามารถสร้างสัญญาณ square wave ที่มี duty cycle 50 เปอร์เซ็นต์พอดีได้ (ถ้ากำหนดให้ $R_A = R_B$ และ $V_H = (2/3)V_{CC}$, $V_L = (1/3)V_{CC}$)

ให้นักศึกษานำเสนอสองแนวทางเพื่อทำการดัดแปลงวงจรในรูปที่ 1.9 เพื่อให้ได้สัญญาณสี่เหลี่ยมที่มี duty cycle 50 เปอร์เซ็นต์ โดยห้ามเปลี่ยนแปลงวงจรที่อยู่ภายในเส้นประได้ การดัดแปลงวงจรในแต่ละแนวทางนั้นสามารถเพิ่มอุปกรณ์ได้คือ ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น (1 ตัว) พีเอ็นพี (1 ตัว) ตัวต้านทานค่าใดๆ (2 ตัว)

[4 คะแนน]



รูปที่ 1.9

ตารางที่ 1.1

R	*S*	*Q*
0	0	Q^- (สภาวะคงเดิม)
0	1	1
1	0	0
1	1	X (ไม่นิยาม)

(ข) ให้ออกแบบวงจร RS flip-flop ที่มีตารางความจริงดังแสดงในตารางที่ 1.2 โดยอาจจะใช้ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น พีเอ็นพี ตัวต้านทานค่าใดๆ แต่ละอย่างจำนวนละกี่ตัวก็ได้

[2 คะแนน]

ตารางที่ 1.2

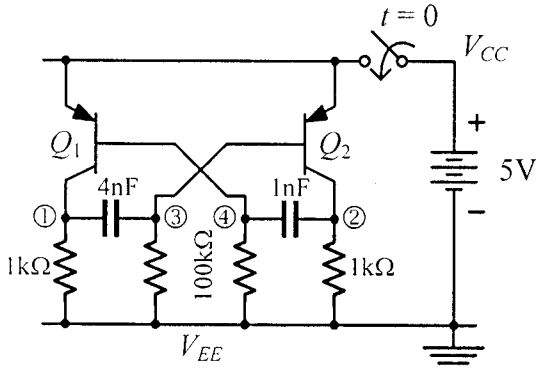
R	*S*	*Q*
0	0	X (ไม่นิยาม)
0	1	1
1	0	0
1	1	Q^- (สภาวะคงเดิม)

6. ให้ sketch สัญญาณแรงดันเทียบกับเวลาที่จุด ①, ②, ③ และ ④ ของวงจร astable multivibrator ในรูปที่ 1.10 นับตั้งแต่จุดที่เริ่มจ่ายไฟเลี้ยง (V_{CC}) ให้กับวงจรจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว พร้อมทั้งอธิบายการทำงานของวงจรโดยละเอียด โดยสมมติให้ตัวเก็บประจุไม่มีประจุสะสมก่อนที่จะจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจร เมื่อทรานซิสเตอร์ *ON* แรงดันที่คร่อมรอยต่อเบส-อิมิตเตอร์มีค่าอยู่ที่ V_{BEon} เช่น 0.7โวลต์ และเมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัว (saturated) ถือว่าแรงดัน V_{CE} มีค่าต่ำมากได้ หลังจากสวิทช์ปิดทรานซิสเตอร์ตัวใดจะ ON ก่อน เพราะอะไร

สมมติว่าก่อนสวิทช์ปิดไม่มีประจุสะสมบนตัวเก็บประจุและแรงดันที่ขาตัวเก็บประจุทุกขามีค่าเป็น 0 โวลต์

(ไม่มีคะแนนสำหรับคำตอบที่ไม่มีการอธิบายการทำงาน)

(6 คะแนน)



รูปที่ 1.10