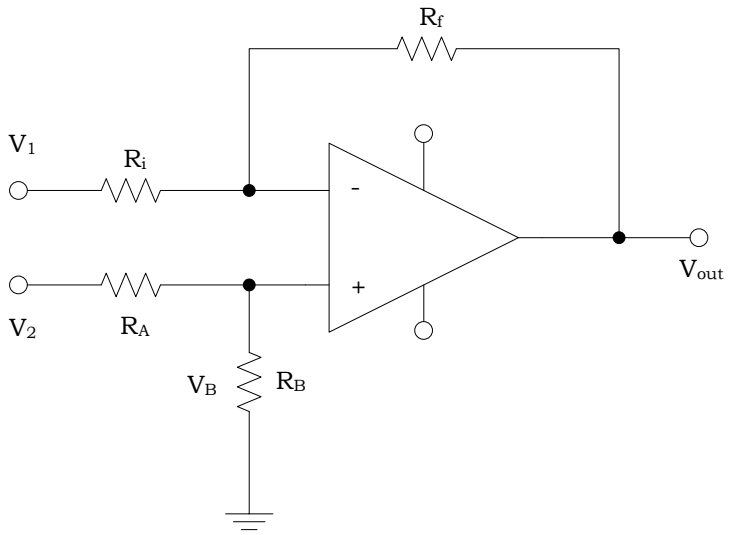
การทดลองที่ 3 Op Amp Applications II and light detectors

ตอนที่ 1 Differential Amplifier Circuit

วัตถุประสงค์

1. ประกอบวงจรขยายผลต่าง (Differential Amp.) ได้ถูกต้อง
2. อธิบายการทำงานของวงจร Differential Amp. ได้
3. สามารถทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตได้

ทฤษฎี



รูปที่ 1-1

จากวงจรรูปที่ 1-1 จะเห็นได้ว่า สัญญาณอินพุต V_1 ป้อนให้ออปแอมป์ในลักษณะของวงจรแบบขยายกลับเฟส และมีสัญญาณ V_2 ป้อนให้ออปแอมป์ในลักษณะของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

นั่นคือ $V_{o1} = (-R_f / R_i)V_i$

$V_{o2} = (1 - R_f / R_i)V_B$

แต่ $V_B = V_2[R_B /(R_A + R_B)]$

$V_{o2} = V_2(1 + R_f / R_i)[R_B /(R_A + R_B)]$

$V_o = V_{o1} + V_{o2}$

$V_o = -(R_f / R_i)V_1 + (1 + R_f / R_i)[R_B /(R_A + R_B)]V_2$ 5.1

ถ้าให้ $R_A = R_i$ และ $R_B = R_f$

$V_o = R_f / R_i(V_2 - V_1)$

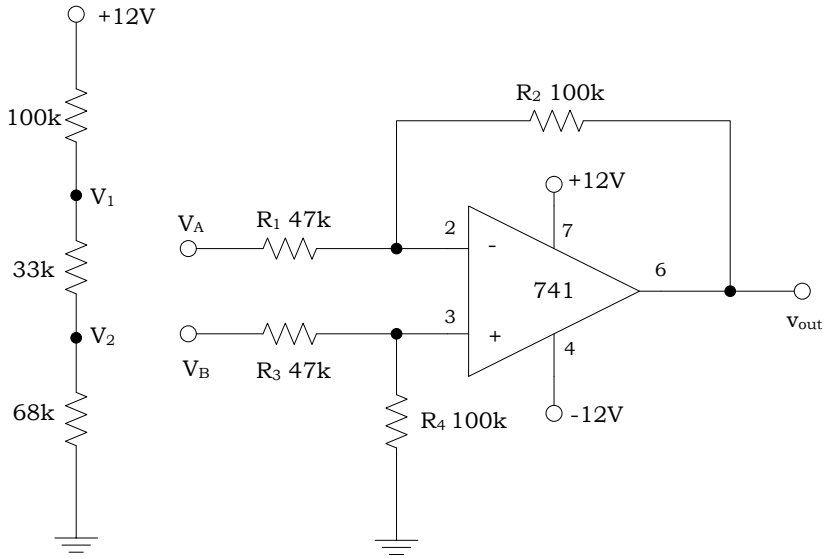
ในทำนองเดียวกัน $v_o(t) = R_f / R_i(v_2(t) - v_1(t))$ 5.2

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 2 บีม 1 เครื่อง
3. IC OP-AMP เบอร์ 741
4. ความต้านทานที่ใช้งาน 27 kΩ x2, 33 kΩ , 47 kΩ x2, 68 kΩ , 100 kΩ x3
5. สายต่อวงจร 1 ชุด
6. Function generator 1 เครื่อง

การทดลองตอนที่ 1

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 1-2 โดยต่อขา Inverting I/P (V_A) เข้าที่จุด V_1 และขา Non-Inverting I/P (V_B) เข้าที่จุด V_2 ของ Resistive voltage divider



รูปที่ 1-2

2. ใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันอินพุต $V_1(V_A)$ และ $V_2(V_B)$ บันทึกค่า

$V_A = V_1 = ...V$

$V_B = V_2 = ...V$

หาค่าความแตกต่างของอินพุตคือ $V_B - V_A = ...V$

3. วัดแรงดัน V_o บันทึกค่า $V_o = ...V$
4. คำนวณค่า V_o จากสมการ $V_o = (R_2 / R_1)(V_B - V_A)$

$= .....V$

ค่าในข้อ 3. และ ข้อ 4. แตกต่างกันหรือไม่เพราะเหตุใด

.....

.....

5. ปิดแหล่งจ่ายไฟ กลับแรงดันอินพุตโดยต่อ จุดที่ 1 (V_1) เข้ากับ V_B และต่อจุดที่ 2 (V_2) เข้ากับ V_A
6. ใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันอินพุต $V_1(V_B)$ และ $V_2(V_A)$ บันทึกค่า

$V_A = V_2 = ...V$

$V_B = V_1 = ...V$

หาความแตกต่างของอินพุตคือ $V_B - V_A = ...V$

7. วัดแรงดัน V_o บันทึกค่า $V_o = ...V$
8. คำนวณค่า V_o จากสมการ $V_o = (R_2 / R_1)(V_B - V_A)$

$= .....V$

ค่าในข้อ 7. แล้วข้อ 8. แตกต่างกันหรือไม่เพราะเหตุใด

.....

.....

9. ปิดแหล่งจ่ายไฟอีกครั้ง เปลี่ยนค่า $R_1 = 27k$ และ $R_3 = 27k$ ทำการทดลองใหม่ตั้งแต่ข้อ 1-4 และบันทึกผลการทดลอง

$V_1 = V_A = ...V$ $V_2 = V_B = ...V$

$V_B - V_A = ...V$

V_o วัดได้ = ... V V_o คำนวณได้ = ... V

10. จากข้อ 9. ปิดแหล่งจ่ายไฟอีกครั้ง กลับแรงดันอินพุตทำการทดลองใหม่ตั้งแต่ข้อ 5-8 และบันทึกผลการทดลอง

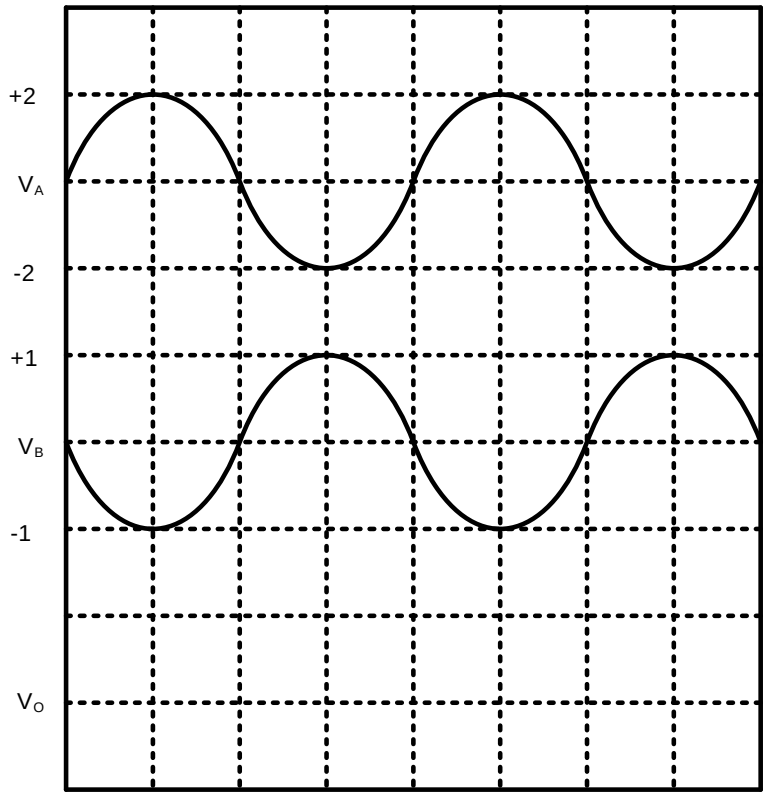
$V_1 = V_B = ...V$ $V_2 = V_A = ...V$

$V_B - V_A = ...V$

V_o วัดได้ = ... V V_o คำนวณได้ = ... V

คำถามท้ายการทดลอง

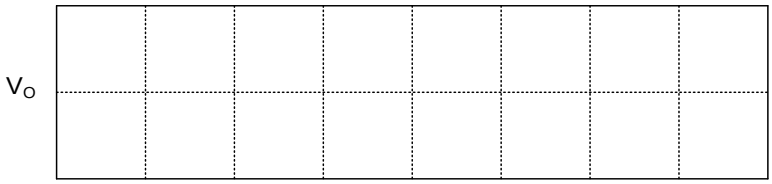
1. จากวงจรรูปที่ 1-2 ถ้าป้อนรูปคลื่นสัญญาณแรงดัน V_A และ V_B ดังรูปต่อไปนี้ โดยมีความถี่ 1 kHz ให้เขียนรูปคลื่นสัญญาณแรงดัน V_o ลงในกราฟรูปที่ 1-1



กราฟรูปที่ 1-1

2. จากวงจรรูปที่ 1-2 ถ้าป้อนรูปคลื่นสัญญาณ sine แรงดัน $V_A = \pm 8V$ และ $V_B = \pm 2V$ อยากทราบว่าแรงดัน V_o มีค่าเท่าไร เขียนรูปคลื่นสัญญาณแรงดัน V_o ลงในกราฟรูปที่ 1-2

V_o.....V_{pp}



กราฟรูปที่ 1-2

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 2 Voltage Comparator Circuit

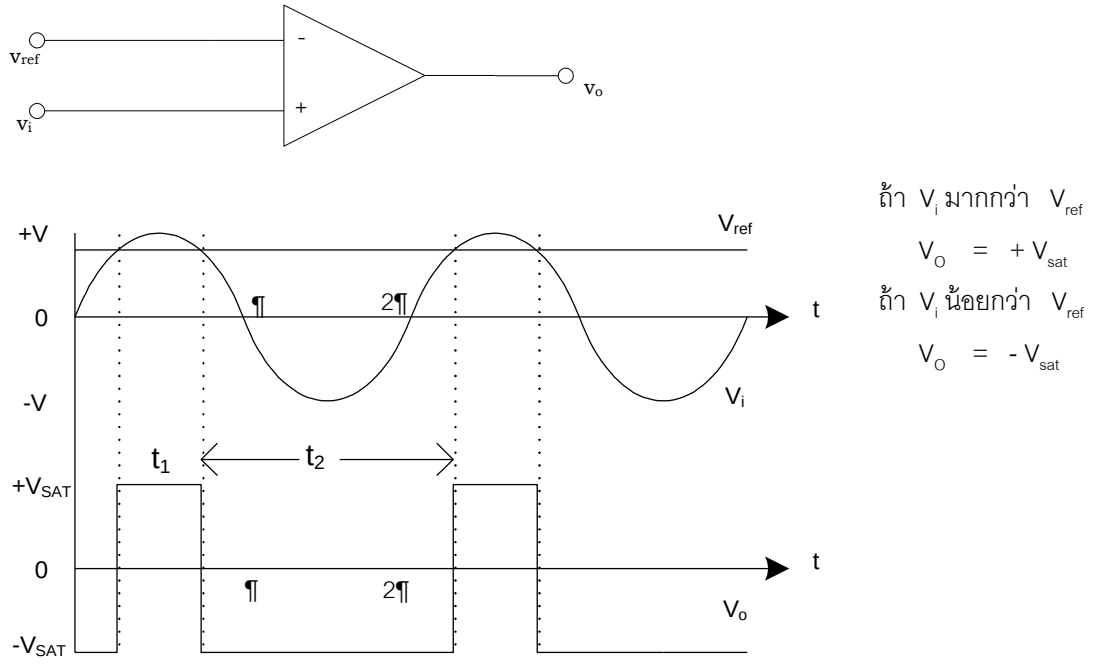
วัตถุประสงค์

1. ประกอบวงจรเปรียบเทียบแรงดันกลับเฟส (Inverting Comparator Circuit) ได้ ถูกต้อง
2. อธิบายการทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันกลับเฟส (Inverting Comparator Circuit) ได้
3. ประกอบวงจรเปรียบเทียบแรงดันไม่กลับเฟส (Non-Inverting Comparator Circuit) ได้
4. อธิบายการทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันไม่กลับเฟส (Non-Inverting Comparator Circuit ได้
5. สามารถนำวงจรเปรียบเทียบแรงดันมาประยุกต์ในวงจร Light detector ได้

ทฤษฎี

1. วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

วงจรเปรียบเทียบแรงดันไม่กลับเฟส



ถ้า V_i มากกว่า V_{ref}

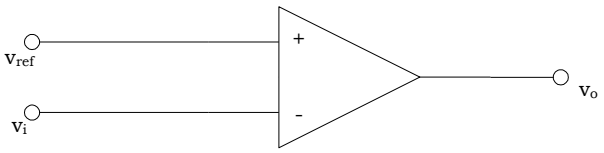
$V_O = +V_{sat}$

ถ้า V_i น้อยกว่า V_{ref}

$V_O = -V_{sat}$

รูปที่ 2-1

วงจรเปรียบเทียบแรงดันกลับเฟส

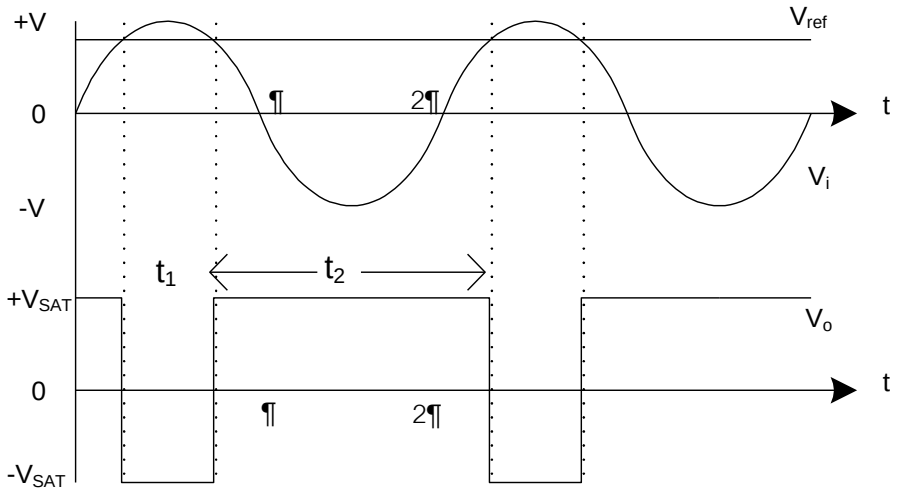


ถ้า V_i มากกว่า V_{ref}

$V_O = -V_{sat}$

ถ้า V_i น้อยกว่า V_{ref}

$V_O = +V_{sat}$

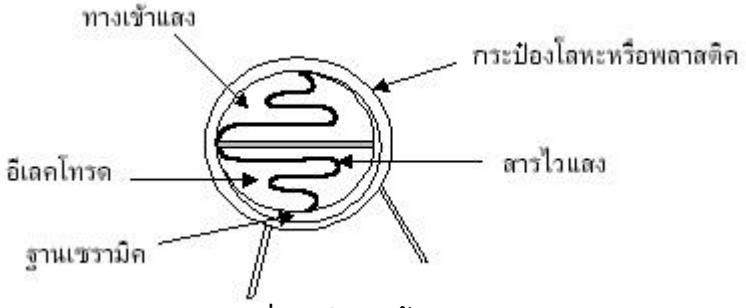


รูปที่ 2-2

2. Visible and infrared light detectors

LDR

ตัวต้านทานไวแสง (Light Independent Resistor) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า LDR ทำมาจากสารแคดเมียมซัลไฟล์ (Cds) หรือแคดเมียมซีลิไนด์ (Cdse) ซึ่งเป็นสารประกอบชนิดกึ่งตัวนำมาฉาบบนแผ่นเซรามิคที่ใช้เป็นฐานรอง แล้วต่อขาจากสารที่ฉาบเอาไว้ออกมาดังโครงสร้างในรูปที่ 2-3



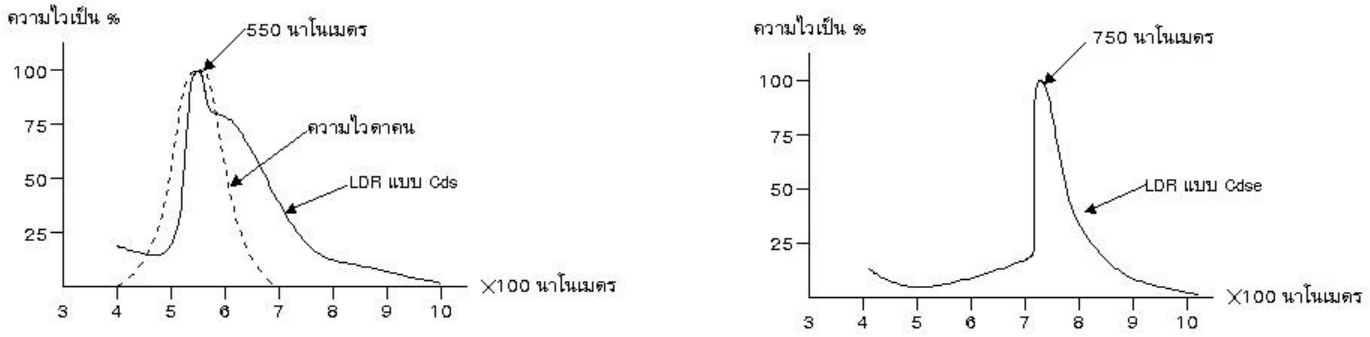
รูปที่ 2-3 โครงสร้างของ LDR

คุณสมบัติทางแสง

LDR ไวต่อแสงช่วงคลื่น 400-1000 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร = 10^{-9} เมตร) ซึ่งครอบคลุมช่วงคลื่นที่ไวต่อตาคน (400-700 นาโนเมตร) ดังนั้น LDR จึงไวต่อแสงอาทิตย์ และแสงจากหลอด ไส้ หรือ หลอดเรืองแสง และยังไวต่อแสงอินฟาเรดที่ตามองไม่เห็นอีกด้วย (ช่วงคลื่นตั้งแต่ 700 นาโนเมตรขึ้นไป)

คุณสมบัติทางไฟฟ้า

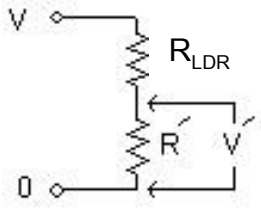
อัตราส่วนของความต้านทาน LDR ขณะที่ไม่มีแสงกับในขณะที่มีแสง อาจมีค่าต่างกัน 100, 1,000, 10,000 เท่า แล้วแต่แบบหรือรุ่น ความต้านทานในขณะไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.5 MΩ ขึ้นไป และความต้านทานขณะที่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 KΩ ลงมาทนแรงดันสูงสุดได้มากกว่า 100 V และทนกำลังไฟได้ประมาณ 50 mW



รูปที่ 2-4 กราฟแสดงความไวของ LDR ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน เทียบกับตาคน

การวัดความต้านทานของ LDR

เมื่อซื้อ LDR มาใช้งาน อาจไม่รู้ค่าความต้านทานของ LDR และเนื่องจาก LDR ทนกำลังไฟฟ้าได้เพียงประมาณ 50 mW ดังนั้นถ้าใช้โอห์มมิเตอร์สเกล R วัดความต้านทานของ LDR อาจทำความเสียหายให้กับ LDR ได้ การวัดความต้านทานของ LDR อาจทำได้โดยอ้อมโดยอาศัยวงจรแบ่งแรงดัน ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง V และ V' ดังนี้



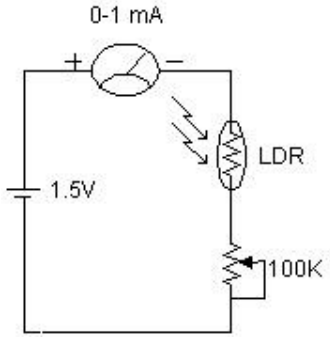
รูปที่ 2-5

$$\acute{V} = \left(\frac{\acute{R}}{R_{LDR} + \acute{R}}\right) V$$

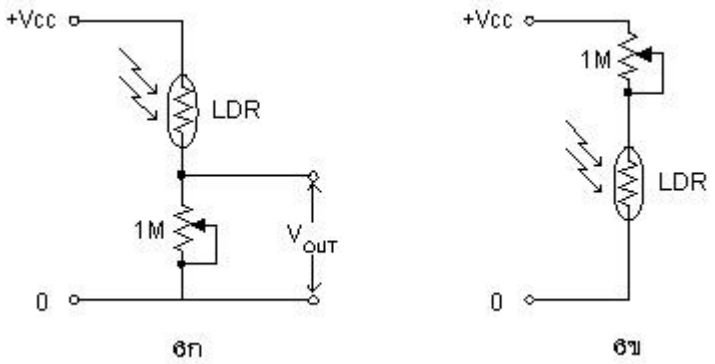
$$R_{LDR} = \left(\frac{V}{\acute{V}} - 1\right) \acute{R}$$

การนำ LDR ไปใช้งาน

จากหลักการดังกล่าวแล้วจะเห็นว่าเมื่อมีแสงสว่างมาตกที่ตัว LDR กระแสที่ไหลผ่านตัว LDR จะสูง เนื่องจากมีความต้านทานต่ำ และเมื่อไม่มีแสงความต้านทานของ LDR มีค่าสูง ทำให้กระแสไหลได้น้อย จึงอาจนำ LDR ไปเป็นส่วนประกอบของมิเตอร์วัดวามเข้มแสงได้ดังนี้



รูปที่ 2-3 การใช้ LDR เป็นส่วนประกอบของวงจรมิเตอร์วัดแสงอย่างง่าย



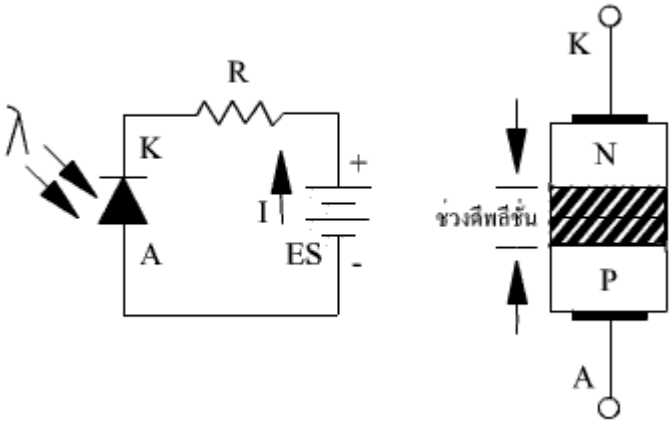
รูปที่ 2-4 การใช้ LDR ในวงจรควบคุมด้วยแสง

หรือสามารถนำไปใช้กับวงจร Voltage comparator ได้ดังแสดงในรูปที่ 2-12 ซึ่งปกติแล้วค่าของ R1 ควรเลือกให้มีค่า 3 ถึง 5 เท่า ของ ตัว LDR ในขณะที่แสงปกติ เช่นถ้าวัดความต้านทานของ LDR ได้ 400 Ω ก็ควรเลือกใช้ความต้านทาน R1 ประมาณ 1200 ถึง 2200 Ω และการเปลี่ยนค่า R1 เป็นการปรับ sensitivity ของวงจร photo detector

โฟโต้ไดโอด (Photo Diode)

โฟโต้ ไดโอด (Photo Diode) เป็นอุปกรณ์เซิงแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส โฟโต้ไดโอดมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟาเรด ในการใช้งานจะต้องต่อโฟโต้ไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ

โฟโต้ ไดโอด (Photo Diode) จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง โดยกระแสที่ไหลในวงจรจะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ เมื่อโฟโต้ไดโอดได้รับไบอัสกลับ (Reverse Bias) ด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงมาตกกระทบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มาตกกระทบมีความยาวคลื่นที่เหมาะสมจะมีกระแสไหลในวงจร ลักษณะทั่วไปขณะไบอัสตรง (Forward Bias) จะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดาคือยอมให้กระแสไหลผ่านได้



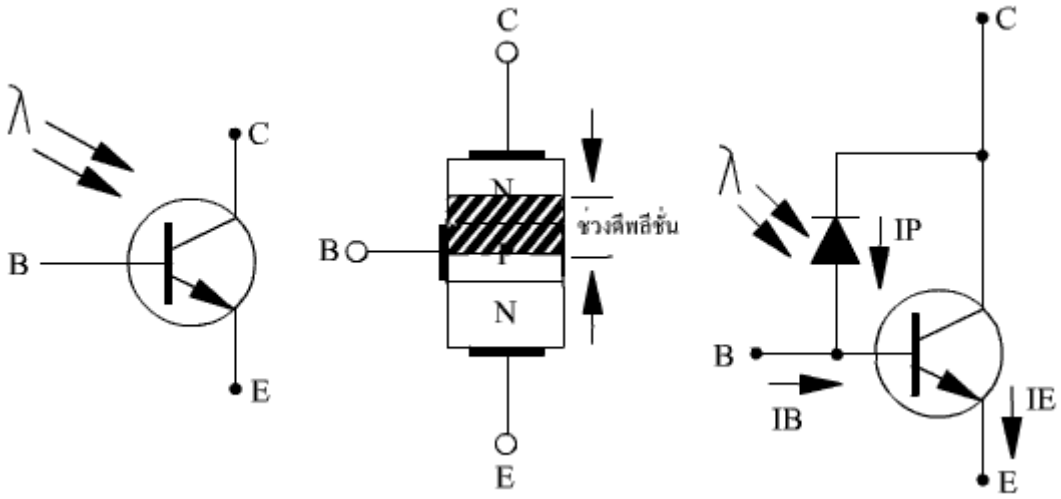
รูปที่ 2-7 แสดงสัญลักษณ์ และการไบอัสใช้งาน

โฟโต้ไดโอดเมื่อเทียบกับ LDR (ตัวต้านทานที่แปรค่าตามแสง) แล้วโฟโต้ไดโอดมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเร็วกว่า LDR มาก จึงนิยมนำไปประยุกต์งานในวงจรที่ต้องการความเร็วสูง เช่น เครื่องนับสิ่งของ, ตัวรับรีโมทคอนโทรล, วงจรกันขโมยอินฟาเรดเป็นต้น

เนื่องจากโฟโต้ไดโอดให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อแสงต่ำ คืออยู่ในช่วง 1-10 nA เท่านั้น ดังนั้นการใช้งานโฟโต้ไดโอดจึงต้องมีตัวขยายกระแสเพิ่มเติม ผู้ผลิตจึงหันมาใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายกระแสเพิ่มเติมอยู่ในตัวถังเดียวกัน ซึ่งเรียกว่าโฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor)

โฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor)

โฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) ประกอบด้วยโฟโต้ไดโอดซึ่งต่ออยู่ระหว่างขาเบสกับคอลเลคเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 2-8 กระแสที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของแสงจะถูกขยายด้วยทรานซิสเตอร์ (Transistor) ในการใช้งานโฟโต้ทรานซิสเตอร์ รอยต่อระหว่างเบส-อิมิตเตอร์ (Base-Emitter) จะต่อไบอัสกลับ (Reverse Bias) ที่รอยต่อนี้เองเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการแปลงค่ากระแสที่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง



รูปที่ 2-8 แสดงสัญลักษณ์ โครงสร้าง และวงจรสมมูล ของโฟโต้ทรานซิสเตอร์

เมื่อไบอัสกลับ (Reverse Bias) ที่รอยต่อระหว่างเบสกับคอลเลคเตอร์ (Base-Collecter) และมีแสงตกกระทบที่บริเวณรอยต่อ กระแสอันเนื่องจากแสง (I_P) จะถูกขยายด้วยอัตราขยายของทรานซิสเตอร์เป็นกระแสอิมิตเตอร์ (I_E) และถ้าไบอัสตรงที่ขาเบสด้วยกระแสเบส (I_B) จากภายนอกก็จะถูกขยายรวมกับกระแสเนื่องจากแสง (I_P) ด้วย

ถ้า ให้ I_P = กระแสที่เกิดขึ้นเนื่องจากแสง

I_B = กระแสเบสที่มาจาก ภายนอก

I_E = กระแสอิมิตเตอร์

h_{fe} = อัตราขยายของทรานซิสเตอร์

จากสมการของทรานซิสเตอร์คือ

$$I_C = h_{fe} I_B$$

และ $I_E = I_C + (I_B \pm I_P)$

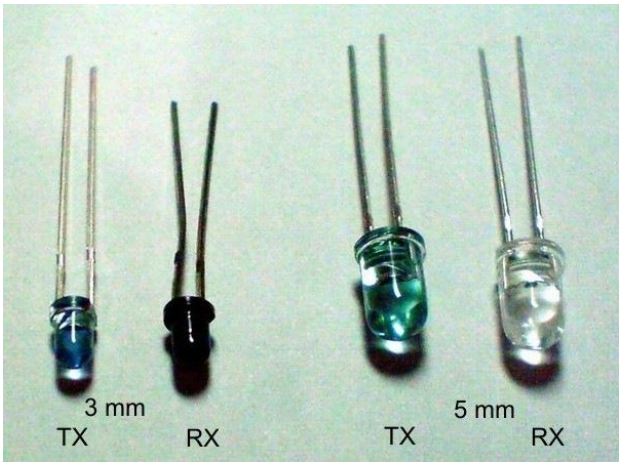
จะได้ $I_E = I_C + (I_B \pm I_P) h_{fe} + I$

จะเห็นได้ว่ากระแส I_E เปลี่ยนแปลงตามกระแส I_P ด้วยอัตราขยายถึง $h_{fe}+1$ เท่าซึ่งถ้า I_P มีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 1-10nA และถ้า h_{fe} มีค่าประมาณ 100 จะได้ค่า I_E เปลี่ยนแปลงจาก 100nA ถึง 1mA

อัตราขยายกระแสยิ่งสูงจะทำให้ผลตอบสนองต่อแสงจะไวขึ้น การทำให้ค่า h_{fe} สูงๆ จะต้องทำให้รอยต่อระหว่างเบสกับคอลเล็กเตอร์มีพื้นที่มาก แต่ก็ทำให้กระแสรั่วไหลสูงขึ้นด้วย เพราะรอยต่อจะถูกไบอัสกลับ (Reverse Bias)

Infrared LED (IR)

อินฟราเรด (Infrared) เป็นแสงที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีความถี่อยู่ในช่วง 1011 – 1014 Hz หรือความยาวคลื่น 10-3 – 10-6 เมตร เนื่องจากแสงอินฟราเรดมีความยาวคลื่นที่สั้นมีคุณสมบัติที่เด่น คือ จะเดินทางเป็นแนวเส้นตรงและไม่สามารถเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางหรือวัตถุได้ จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการสื่อสารในระยะสั้น ๆ เช่น รีโมทสำหรับควบคุมวิทยุ โทรทัศน์ หรือตรวจจับสิ่งของต่างๆ เป็นต้นอินฟราเรดเซนเซอร์จะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนตัวรับและตัวส่ง



รูปที่ 2-9

- ส่วนตัวส่ง จะทำหน้าที่ส่งแสงอินฟราเรดให้กับเครื่องรับ ใช้ IR LED เป็นตัวขับแสงอินฟราเรด แสงที่ส่งออกมาจะมีช่วงความถี่ที่สูงกว่าความถี่ของแสงธรรมดา ทั่ว ๆ ไป คือ มากกว่า 20 kHz
- ส่วนตัวรับ จะใช้ โฟโต้ไดโอด โฟโต้ทรานซิสเตอร์ หรือ แอลดีอาร์ เป็นตัวรับแสงก็ได้โดยที่ทั้งเครื่องรับและส่งจะต้องตอบสนองความถี่เท่ากัน เพราะถ้าไม่เท่ากันจะทำให้ไม่สามารถรับส่งสัญญาณได้

การทำงานของอินฟราเรดเซนเซอร์

อินฟราเรดเซนเซอร์จะมีหลักการทำงาน คือ ส่งแสงอินฟราเรดจากเครื่องรับไปยังเครื่องส่งโดยจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เครื่องรับและเครื่องส่งอยู่ที่เดียวกัน และเครื่องรับเครื่องส่งอยู่คนละที่กัน

- เครื่องรับและเครื่องส่งอยู่ที่เดียวกัน ใช้หลักการสะท้อนกับวัตถุเมื่อมีวัตถุผ่านหรือขวางกั้นอยู่ เพื่อให้ระบบทำงาน แต่ถ้าวัตถุไม่สะท้อนแสงหรือสะท้อนแสงได้น้อย เช่นวัตถุสีดำ ตัวเซนเซอร์ก็จะไม่ทำงานหรือทำงานได้ไม่ดี
- เครื่องรับเครื่องส่งอยู่คนละที่กัน อาศัยหลักการของการตัดเส้นทางเดินของแสง เมื่อมีการตัดเส้นทางเดินของแสงระบบจะทำงาน โดยจะมีการนำไปประยุกต์ใช้งานมากมาย เช่น ทำวงจรตรวจจับคนเดินผ่าน เป็นต้น

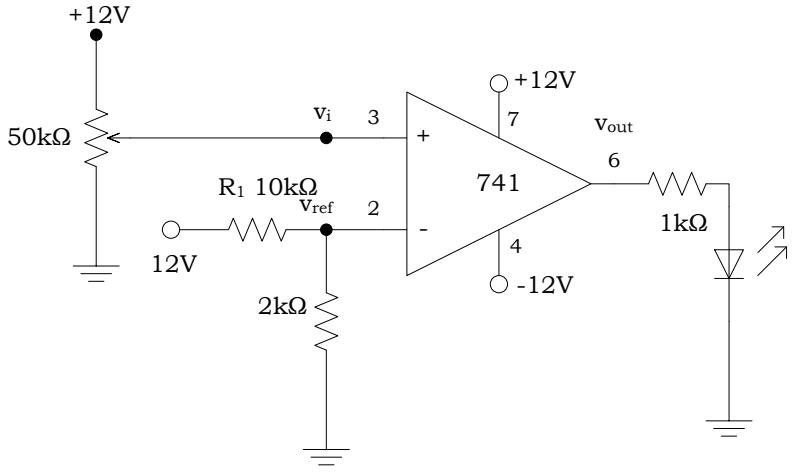
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.	มัลติมิเตอร์	1	เครื่อง
2.	ออสซิลโลสโคป 2 บีม	1	เครื่อง
3.	IC OP-AMP เบอร์ 741	1	
4.	ไดโอดเปล่งแสง (LED)	1	
5.	ความต้านทานที่ใช้งานค่า	1kΩx2, 10kΩ, 560Ω, 47kΩ, 2kΩ	

6.	สายต่อวงจร		1	ชุด
7.	Infrared sensor & Photo transistor	TCRT5000	1	
9.	LDR		1	
10.	R ปรับค่าได้ (VR)	50kΩ	1	

การทดลองตอนที่ 2 .1 Simple Non-inverting Comparator

1.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 2- 10 เพื่อวัดรูปสัญญาณไฟ DC



รูปที่ 2-10 Simple Non-inverting Comparator

เมื่อ $V_i < V_{Ref}$ แล้ว $V_O = -V_{SAT}$ (LED OFF)

$V_i > V_{Ref}$ แล้ว $V_O = +V_{SAT}$ (LED ON)

1.2 ป้อนแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงให้แก่วงจร ถ้า LED ติดสว่างให้ปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ จนกระทั่ง LED ดับ

1.3 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดัน V_{ref} ที่ขา 2 ของไอซี เทียบกับ GND บันทึกค่า V_{ref} =..... V.

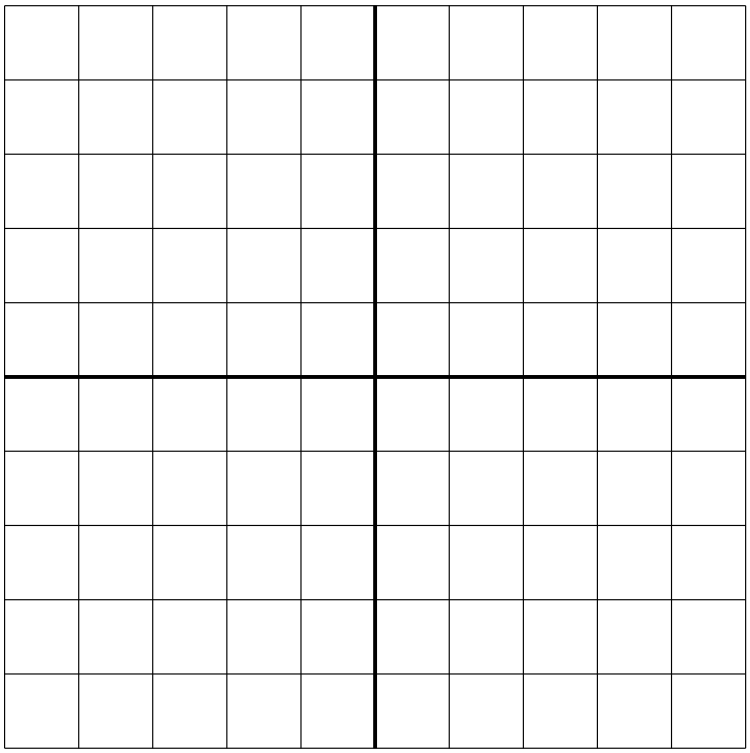
1.4 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดัน V_i ที่ขา 3 ของไอซี เทียบกับ GND ค่อยๆ ปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ จนกระทั่ง LED ติดสว่าง อ่านค่าแรงดันขณะนั้น แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 1

1.5 ทดลองอีกตามลำดับข้อ 1.1-1.4 โดยเปลี่ยนค่า R_1 ใหม่ตามตารางที่ 1 และบันทึกผลลงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

R_1	V_{ref} **ที่วัดได้**	V_i (LED On) **ที่วัดได้**
20K		
10K		
1K		

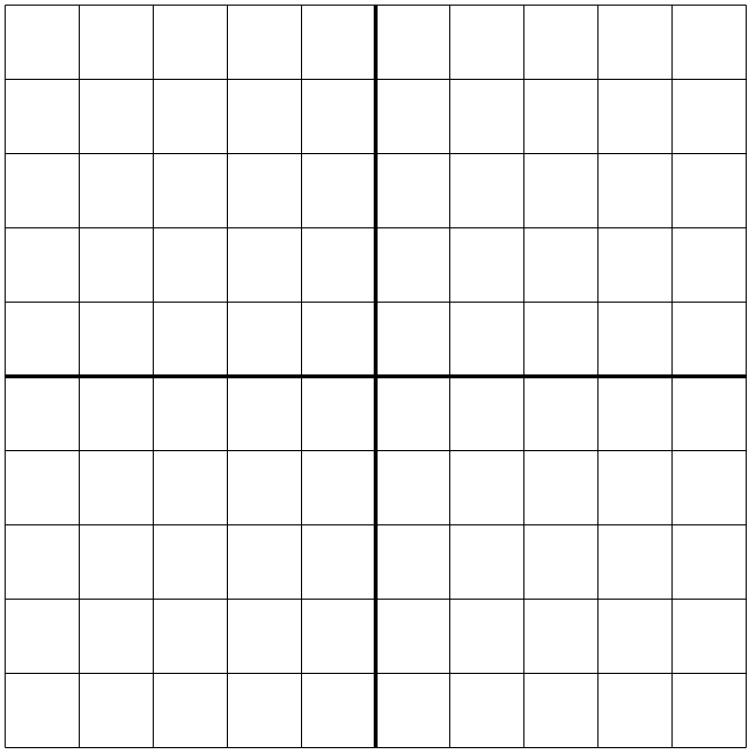
1.6 ทดลองอีกตามลำดับข้อ 1.1-1.5 ซ้ำอีกครั้งโดยเอาตัวต้านทานปรับค่าได้ออก ป้อนสัญญาณ V_i เป็นรูปคลื่น Sine Wave ให้ได้ความถี่ 200 Hz ขนาด 4 V_{P-P} ใช้ Oscilloscope เลือกวัดสัญญาณ DC อินพุตและเอาต์พุตที่ R_1 ค่าต่างๆ เปรียบเทียบกัน แล้วเขียนรูปคลื่นที่ได้ลงในตารางกราฟรูปที่ 2-1 , 2-2 และ 2-3



V/Div _____

Time/Div_____

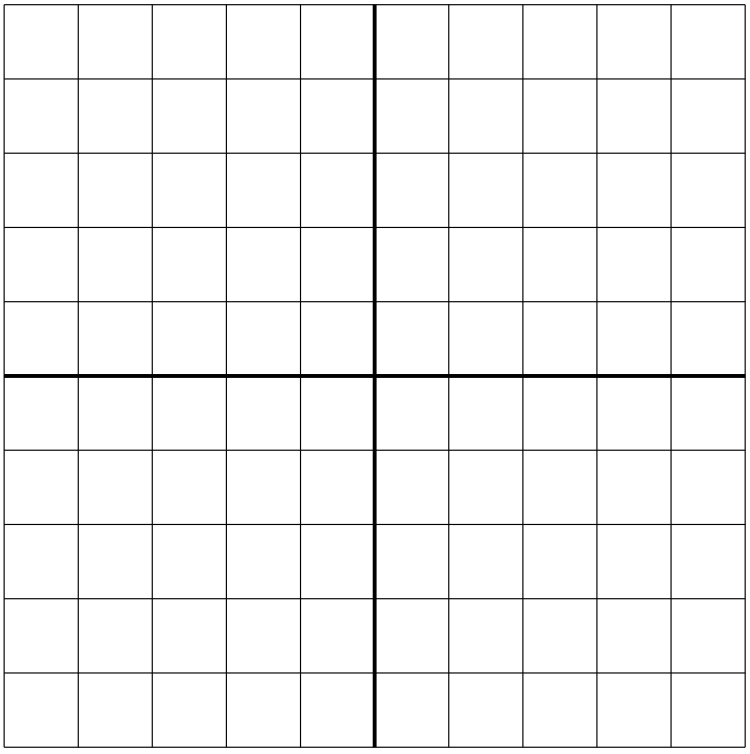
ตารางกราฟรูปที่ 2-1



V/Div _____

Time/Div_____

ตารางกราฟรูปที่ 2-2



V/Div _____

Time/Div_____

ตารางกราฟรูปที่ 2-3

การทดลองตอนที่ 2.2 การใช้ light detectors กับ non-inverting comparator

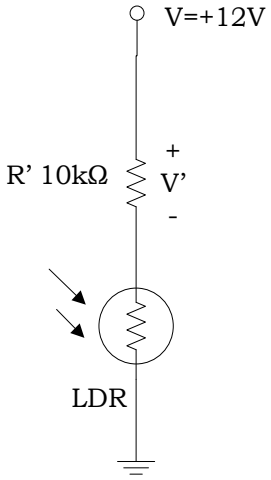
1. ต่อวงจรดังรูปที่ 2-11 วัดค่า V' ขณะมีแสง V' =_____

   ขณะไม่มีแสง V' =_____

2. คำนวนค่าความต้านทานของ LDR จากสมการ $R_{LDR} = \left(\frac{V}{\acute{V}} - 1\right)\acute{R}$ โดย V=+12 V

   ขณะมีแสง R_{LDR}=_____

   ขณะไม่มีแสง R_{LDR}=_____



รูปที่ 2-11

2. ต่อวงจรดังรูปที่ 2-12 ปรับ VR จน LED ดับ แล้วสังเกตการณ์ทำงานของวงจร วัดค่าความต้านทาน VR ขณะนั้น วัดค่า Voltage ที่ขา input และ outputของ Op Amp ขณะที่มีแสงกระทบ LDR และขณะที่ไม่มีแสงกระทบ LDR

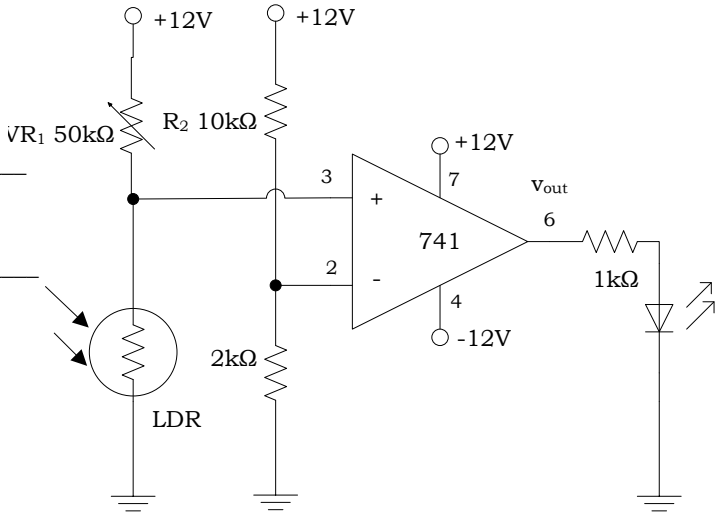
VR = _____Ω

ขณะมีแสงกระทบ LDR LED ☐ ติด ☐ ดับ

V+ =_____ V- =_____ Vout =_____

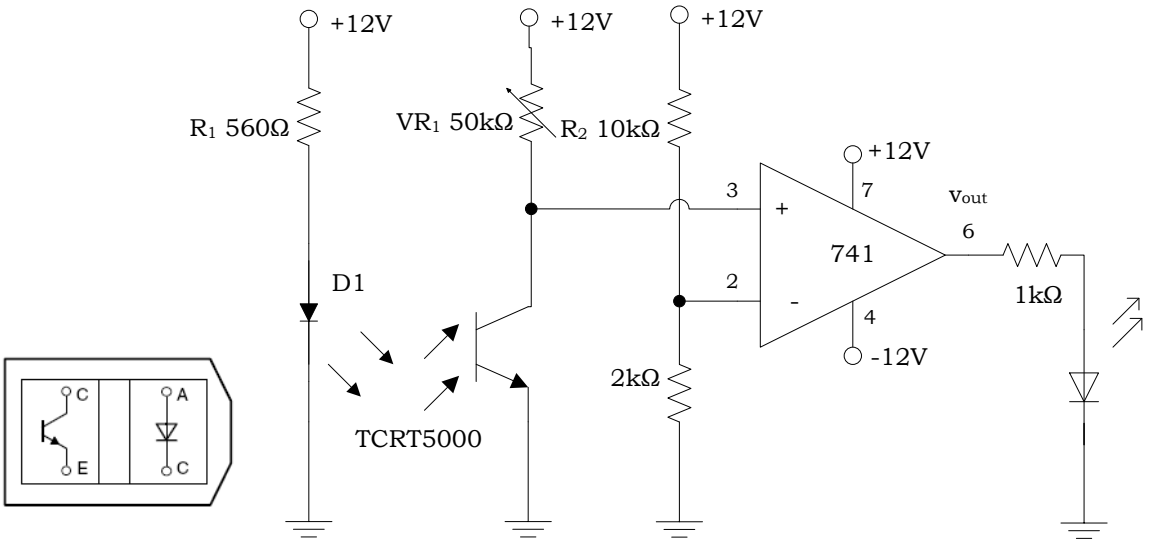
ขณะไม่มีแสงกระทบ LDR LED ☐ ติด ☐ ดับ

V+ =_____ V- =_____ Vout =_____



รูปที่ 2-12 LDR detector

3. ต่อวงจรดังรูปที่ 2-13 ปรับ VR จน LED ติด แล้วสังเกตการณ์ทำงานของวงจร วัดค่าความต้านทาน VR ขณะนั้น วัดค่า Voltage ที่ขา input ทั้งสองของ Op Amp ขณะที่มีแสง Infrared กระทบ Photo transistor (ขณะที่มีแสง Infrared กระทบ Photo transistor คือตอนที่เอามือบังทำให้แสง infrared จาก infrared LED ตกกระทบมือแล้วสะท้อนลงไปยังตัว Photo transistor) และขณะที่ไม่มีแสง Infrared กระทบ Photo transistor



รูปที่ 2-13 Infrared light detector

VR = _____Ω

ขณะมีแสง Infrared กระทบ Photo transistor LED ☐ ติด ☐ ดับ

V+ =_____ V- =_____ Vout =_____

ขณะไม่มีแสง Infrared กระทบ Photo transistor LED ☐ ติด ☐ ดับ

V+ =_____ V- =_____ Vout =_____

คำถามท้ายการทดลอง

1. ยกตัวอย่างการนำวงจร Comparator ไปใช้งานมา 1 เรื่องพร้อมทั้งอธิบายการนำไปใช้และการทำงานโดยละเอียด
2. อธิบายหลักการทำงานใน**เชิงทฤษฎี** ของวงจรรูปที่ 2-12 และรูปที่ 2-13 มา**โดยละเอียด**
3. ยกตัวอย่างการนำ Photo transistor, LDR, Infrared detector ไปใช้งานอื่นๆ และอธิบายอย่างคร่าวๆ

วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง