

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University  
2102-447 Electronics Engineering Laboratory

## Broken Beam System

Section 1 Group 8 Week 3

### Members

Name	ID
Jaturaputh Mora	6430036121
Jirachote Srijiranon	6430043521
Teerawat Lertumpornwit	6430183721

\*Possible values: Section (1-3), Group (1-12), Week (1-3). When uploading reports into CourseVille, name your files accordingly; e.g. S1G2W3.pdf for Section 1, Group 2, containing results for Week 3.

Date Submitted: 18/3/2568

---

### Results & Discussion

Table 1. Wavelength-energy-voltage relationship

color	wavelength $\lambda$ (nm)	energy $E$ (eV) <sup>1</sup>	voltage (V) <sup>2</sup>
green	570	2.177	2.1
red	630	1.969	1.9
infrared (IR)	940	1.320	1.3

<sup>1</sup> Planck relation:  $E = hc/\lambda$

<sup>2</sup> built-in voltage ( $V_o$ ) across a semiconductor p-n junction that can emit such  $\lambda$

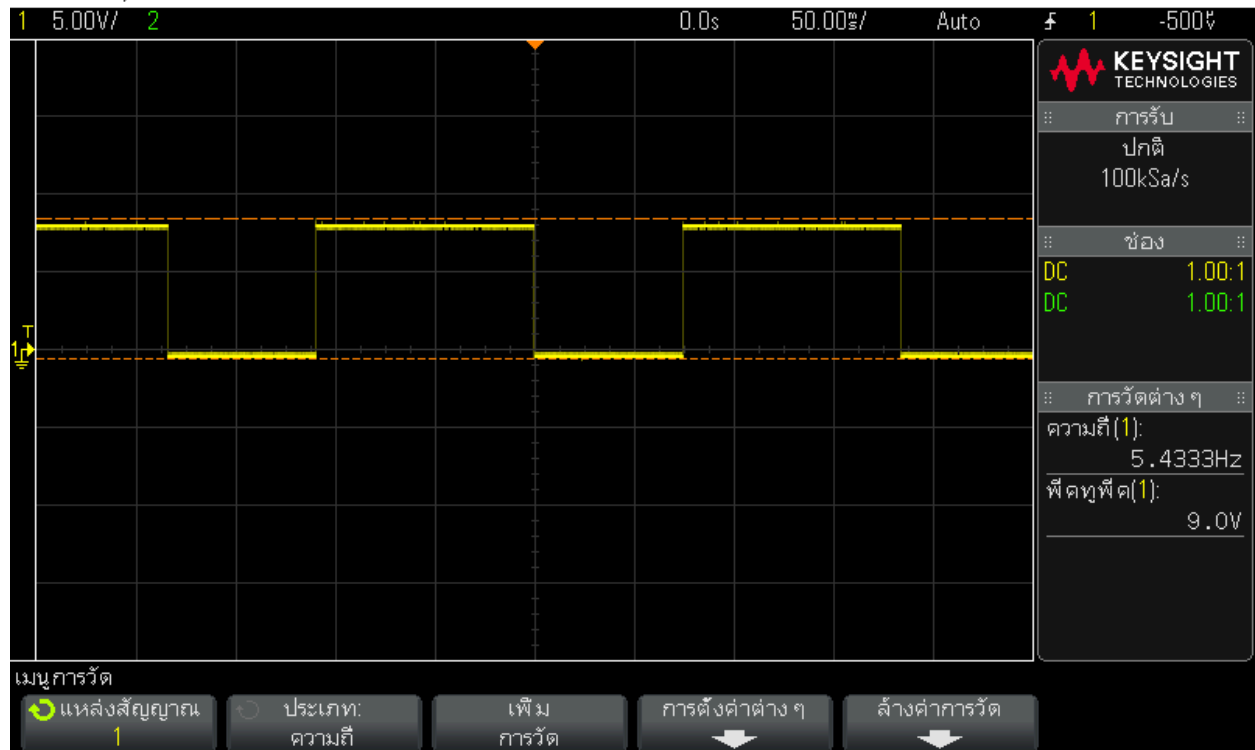
## 2.1 Oscillator

### ► 5-Hz oscillator

$R1 = 461.7\text{k}\Omega$  ,  $R2 = 1\text{M}\Omega$  ,  $C2 = 108.7\text{ nF}$  (5 Hz)

① Actual frequency: 5.4333 Hz (from CRO | Cursors |  $1/\Delta x$ )

DSO-X 2002A, MY56273951: Wed Feb 19 15:35:05 2025

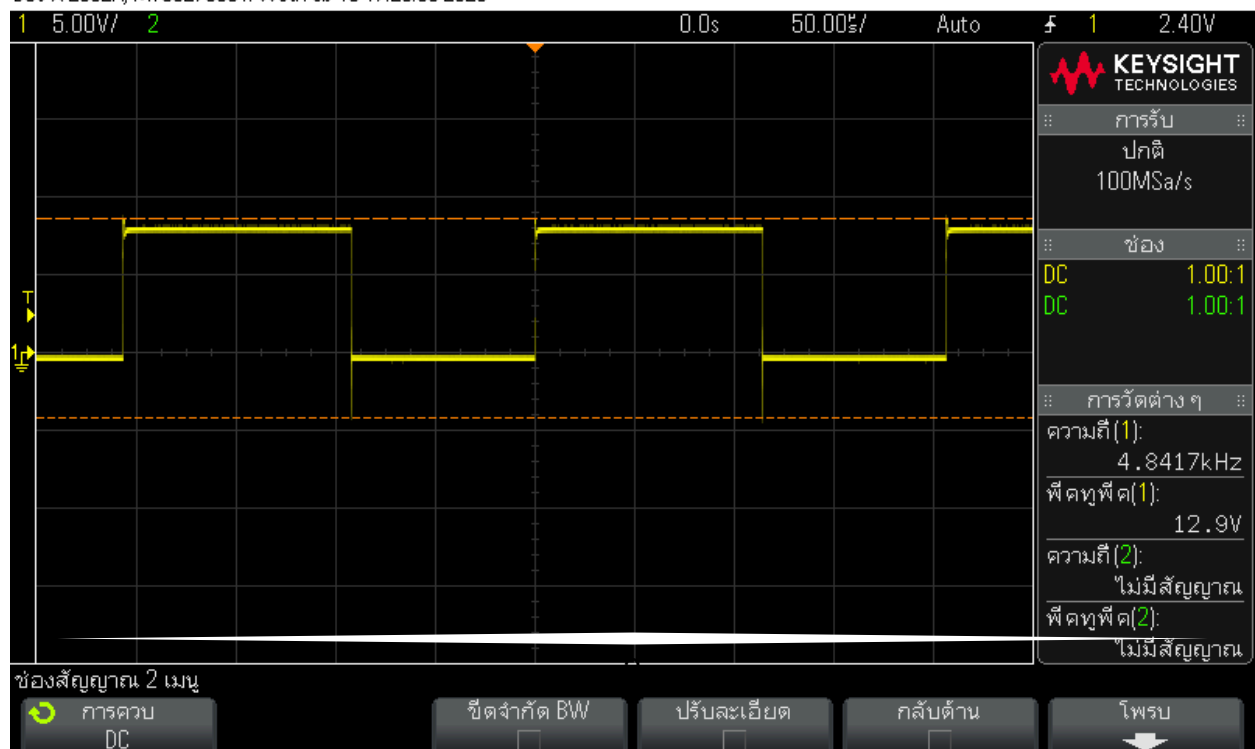


### ► 5-kHz oscillator

$R1 = 977\ \Omega$  ,  $R2 = 3.831\text{ k}\Omega$  ,  $C2 = 33.88\text{ nF}$  (5 kHz)

① Actual frequency: 4.841 kHz (from CRO | Cursors |  $1/\Delta x$ )

DSO-X 2002A, MY56273951: Wed Feb 19 17:28:09 2025



## 2.2 Buffer Amplifier

### ► Design (determine R3)

Parameters	Red LED on	IR LED on
Transistor state	on	on
$V_{CE}$ (V), (see Q1 datasheet)	0.2	0.2
$I_{LED}$ (mA)	20	20
$V_{LED}$ (V), (see Table 1)	1.9	1.3
R3 (Ohm), (use KVL)	345	375

### ► Build & Test: red LED blinks at 5 Hz

 : [https://youtu.be/QQzPCkRdkUQ?si=iARR-ilBWm\\_6amnV](https://youtu.be/QQzPCkRdkUQ?si=iARR-ilBWm_6amnV)

Actual values:

R3: 345  $\Omega$

Vertical scale for trace ①: 5.00 V/div

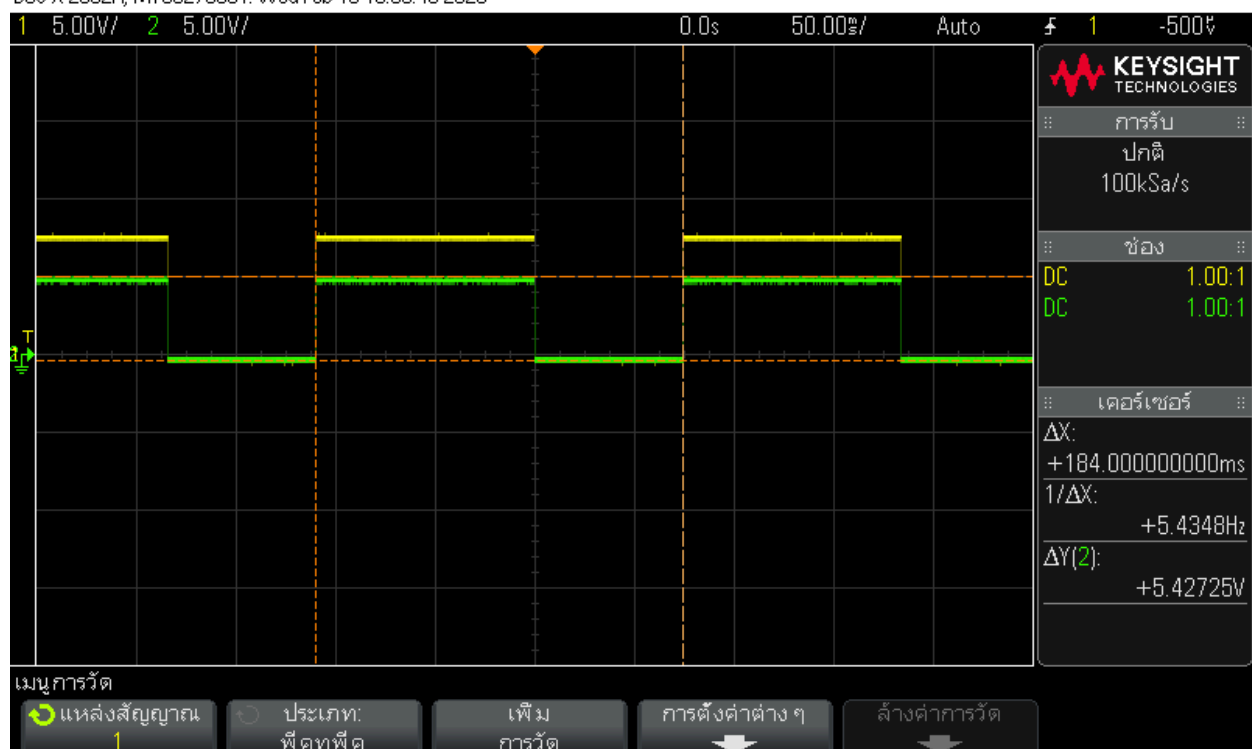
Vertical scale for trace ②: 0.0144 A/div (hint:  $I = V/R3$ )

Frequency: 5.4348 Hz (CRO | Cursors |  $1/\Delta x$ )\*

$I_{LED-On}$  (red): 15.7 mA ( $\Delta y/R3$ , CRO | Cursors |  $\Delta y$ )\*

\*CRO shows the distance between two horizontal (vertical) cursors as  $\Delta x$  ( $\Delta y$ )


DSO-X 2002A, MY56273951: Wed Feb 19 16:55:49 2025



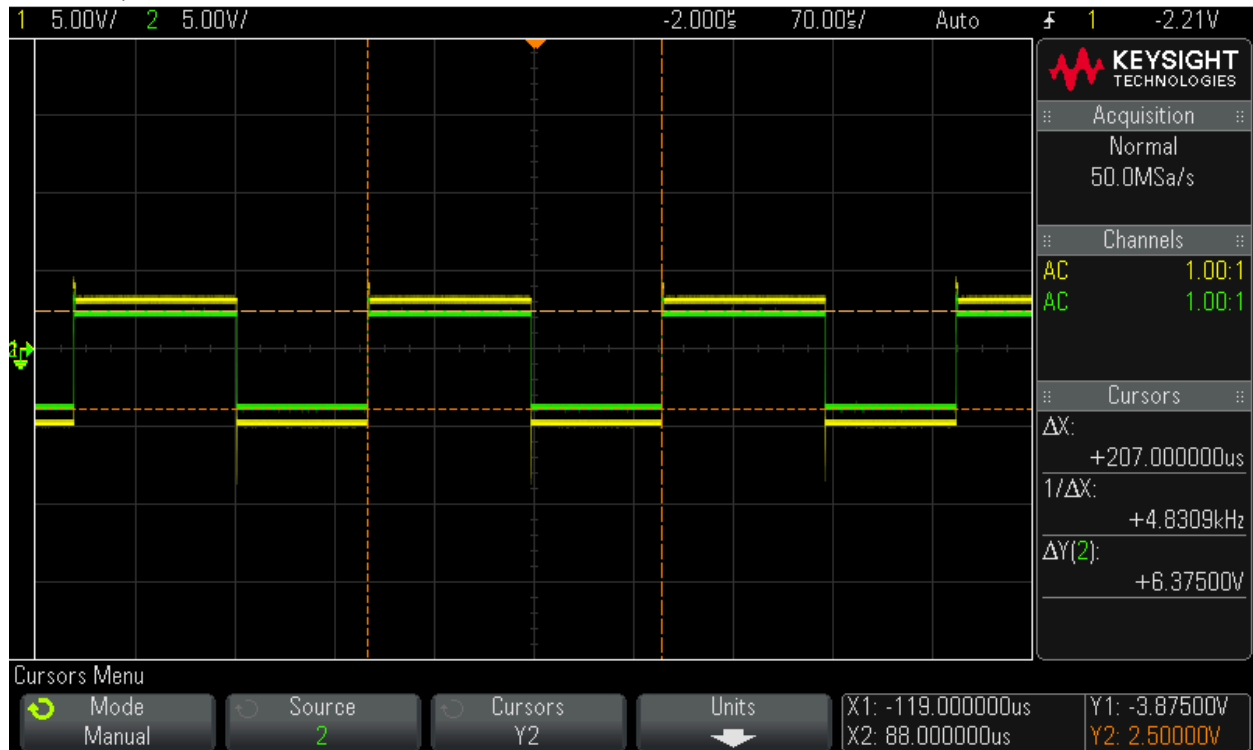
► **Build & Test:** IR LED blinks at 5 Hz

 : [https://youtu.be/vLkaK49u9n4?si=sUNWAW\\_\\_GP77hM2w](https://youtu.be/vLkaK49u9n4?si=sUNWAW__GP77hM2w)

► **Build & Test:** IR LED blinks at 5 kHz

 ①②  $I_{LED-On}$  (IR): 17 mA (from  $\Delta y$ : 6.375 V,  $R_3$ : 375  $\Omega$ )

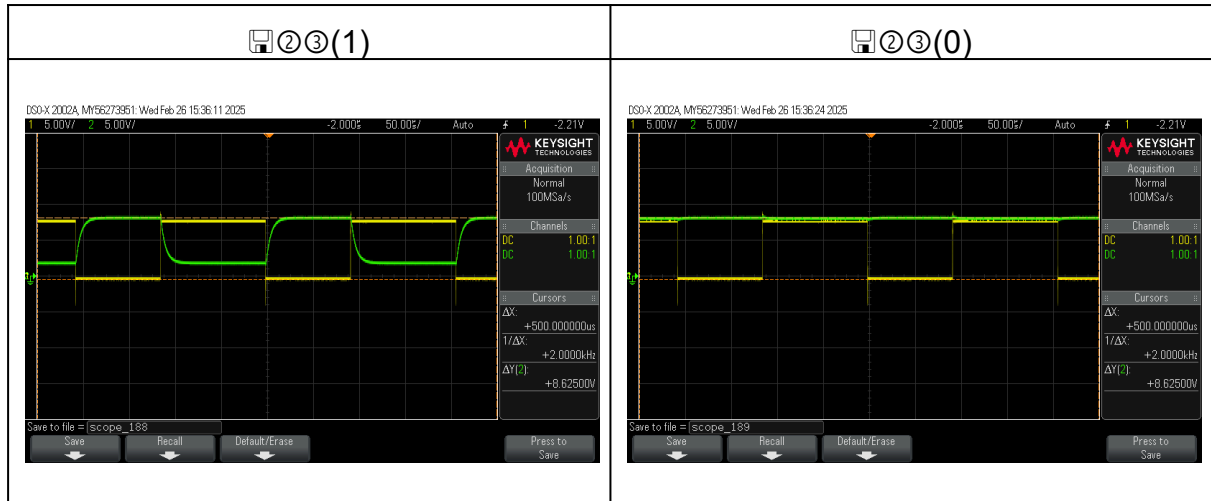
DSO-X 2002A, MY56273951: Wed Feb 26 14:54:09 2025



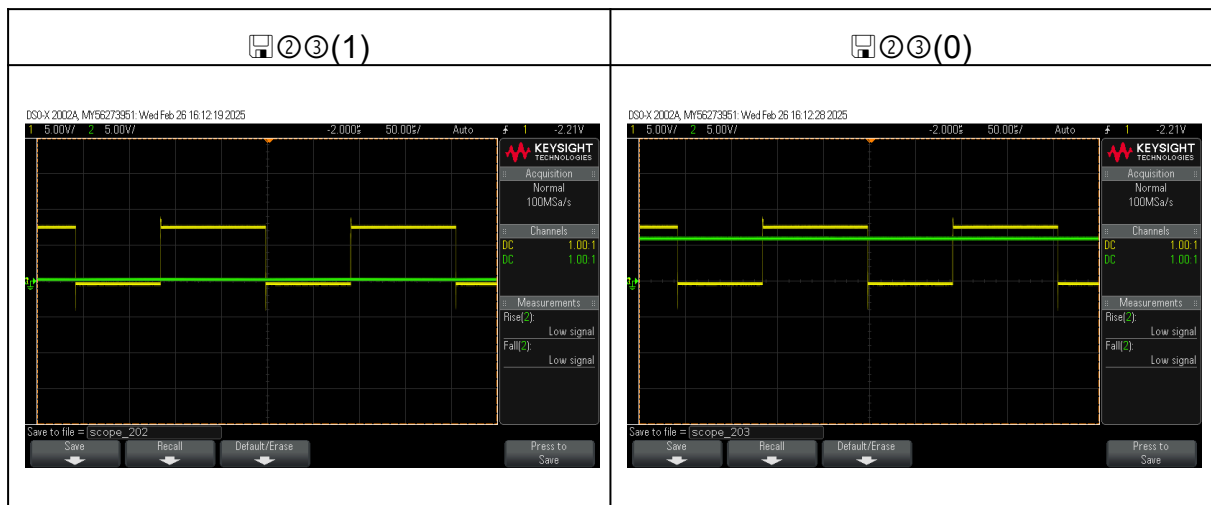
## 2.3 Detector

*Reminder:* Best results are achieved in the dark (light-tight box/setup)

► **Build & Test:** LDR detecting red LED blinking at 5 Hz



Increase the LED blink frequency to 5 kHz.

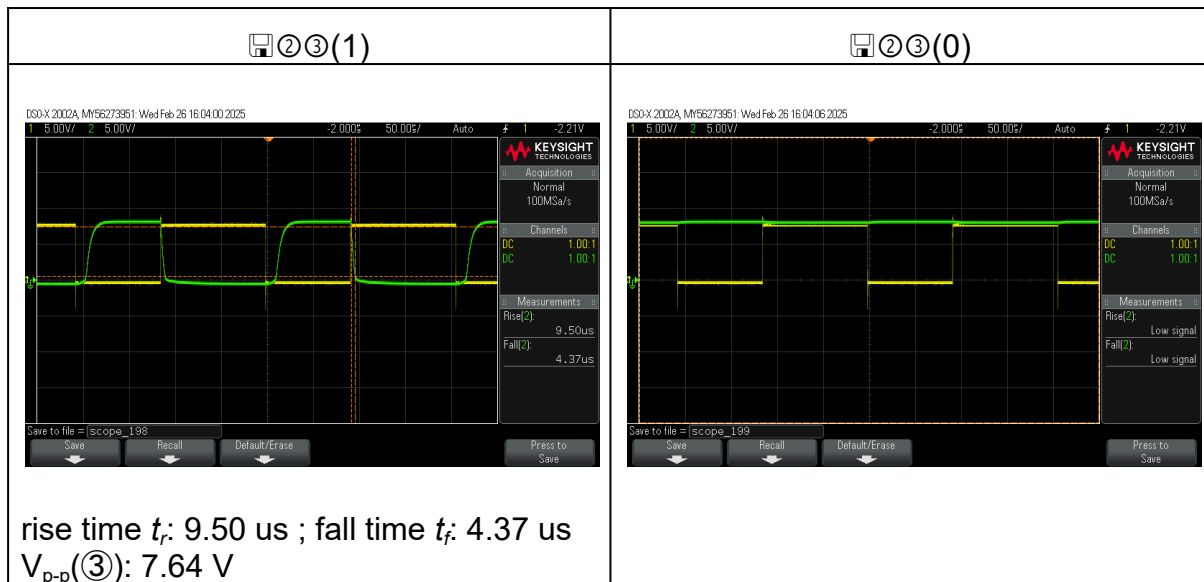


Discuss: (frequency limitation, why so low?)

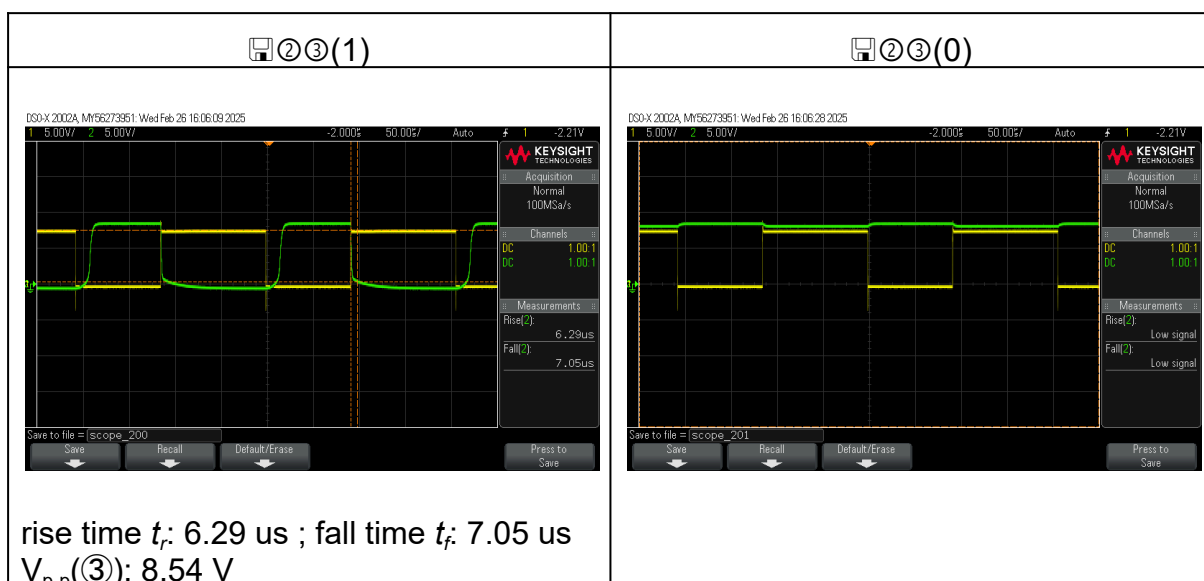
ที่ความถี่ 5 Hz สัญญาณขาออกจะมีขนาดใหญ่ เนื่องจาก LDR สามารถตอบสนองการกระพริบของ LED ได้ทัน และ ที่ความถี่ 5 kHz สัญญาณขาออกจะมีขนาดเล็ก เนื่องจาก LDR ไม่สามารถตอบสนองการกระพริบของ LED ได้ทัน

► **Build & Test:** *photodiode* detecting IR LED blinking at 5 kHz

Original Design as shown in Fig. 3(b):  $R_3 = 700\Omega$ ,  $R_4 = 56\text{ k}\Omega$



Improved Design:  $R_3 = 200\Omega$  ,  $R_4 = 19.77\text{ k}\Omega$



Discuss 1: (“improved design” vs “original design”, really “improved”? how & why)

เมื่อใช้ Photodiode ตรวจจับการกระพริบของ LED พบว่าสามารถวัดการกระพริบของ LED ได้ เมื่อเปรียบเทียบวงจร improved design และ original design พบว่าวงจร improved design ทำให้ rise time ลดลง และ fall time เพิ่มขึ้น เพราะ improved design มีการลดค่าตัวต้านทานในวงจร

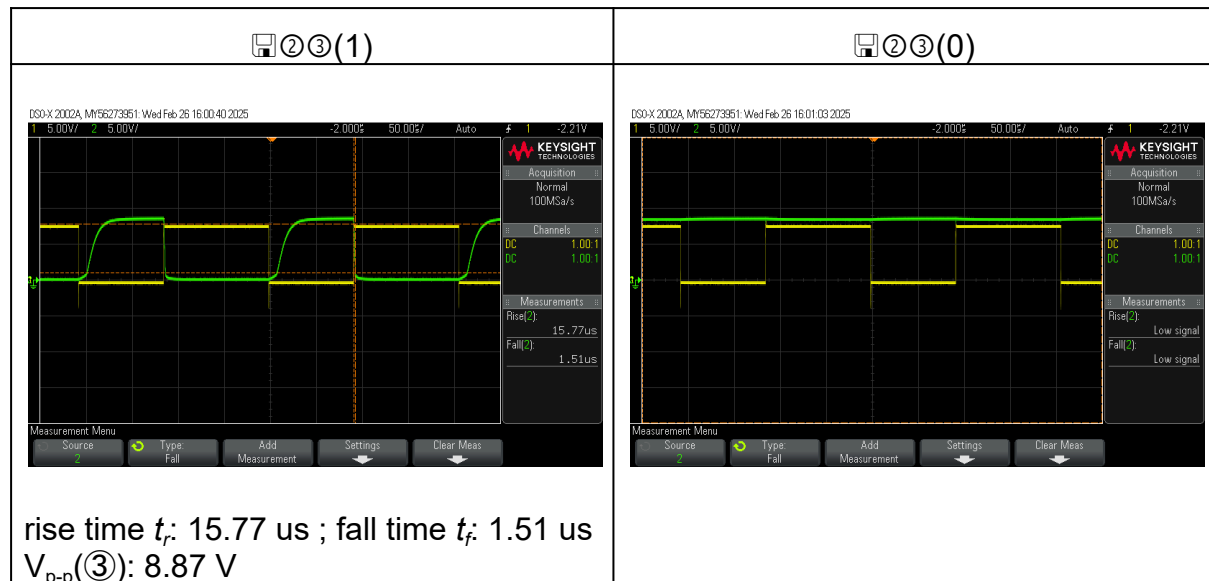
## Discuss 2:

(frequency performance comparison: photodiode above vs LDR the previous page)

ประสิทธิภาพของ Photodiode และ LDR มีความแตกต่างในการตรวจจับการกระพริบของ LED อย่างชัดเจน โดยในความถี่ 5 kHz สัญญาณขาออกของ photodiode สูงกว่า LDR แสดงว่ามีการตรวจจับการกระพริบของ LED ที่ประสิทธิภาพมากกว่า

### ► Build & Test: phototransistor detecting IR LED blinking at 5 kHz

Original Design as shown in Fig. 3(c):  $R_3 = 375\ \Omega$ ,  $R_4 = 460\ \Omega$



Improved Design:  $R_3 = 375\ \Omega$ ,  $R_4 = 220\ \Omega$



### Discuss 3:

(signal amplitude comparison: phototransistor vs photodiode vs LDR results, your results)

จากการทดลองวัดการตอบสนองการกระพริบของ LED ที่ความถี่ 5 Hz และ 5 kHz พบว่า phototransistor มีประสิทธิภาพที่สุด เนื่องจากมีแรงดันขาออกสูงสุดที่ 8.87 V ที่ความถี่ 5 kHz รองลงมาด้วย photodiode ที่ 7.64 V และอันดับสุดท้ายคือ LDR ที่ 5.00 V

## 2.4 Amplifier

### ► Design

1<sup>st</sup> stage (gain = 5):  $R_5 = 9.782 \text{ k}\Omega$ ,  $R_6 = 46.34 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{C1} = 4.88 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{E1} = 976 \Omega$

2<sup>nd</sup> stage (gain = 10):  $R_7 = 46.23 \text{ k}\Omega$ ,  $R_8 = 9.81 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{C2} = 9.83 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{E2} = 977 \Omega$ .

► **Build & Test** it: note ③ = sinusoidal wave ( $V_{p-p}$  (input) = 100 mV, 5 kHz).

③ ④

Results 2.4.1: (Output from the *first* amplifier stage only; do not connect the second stage)

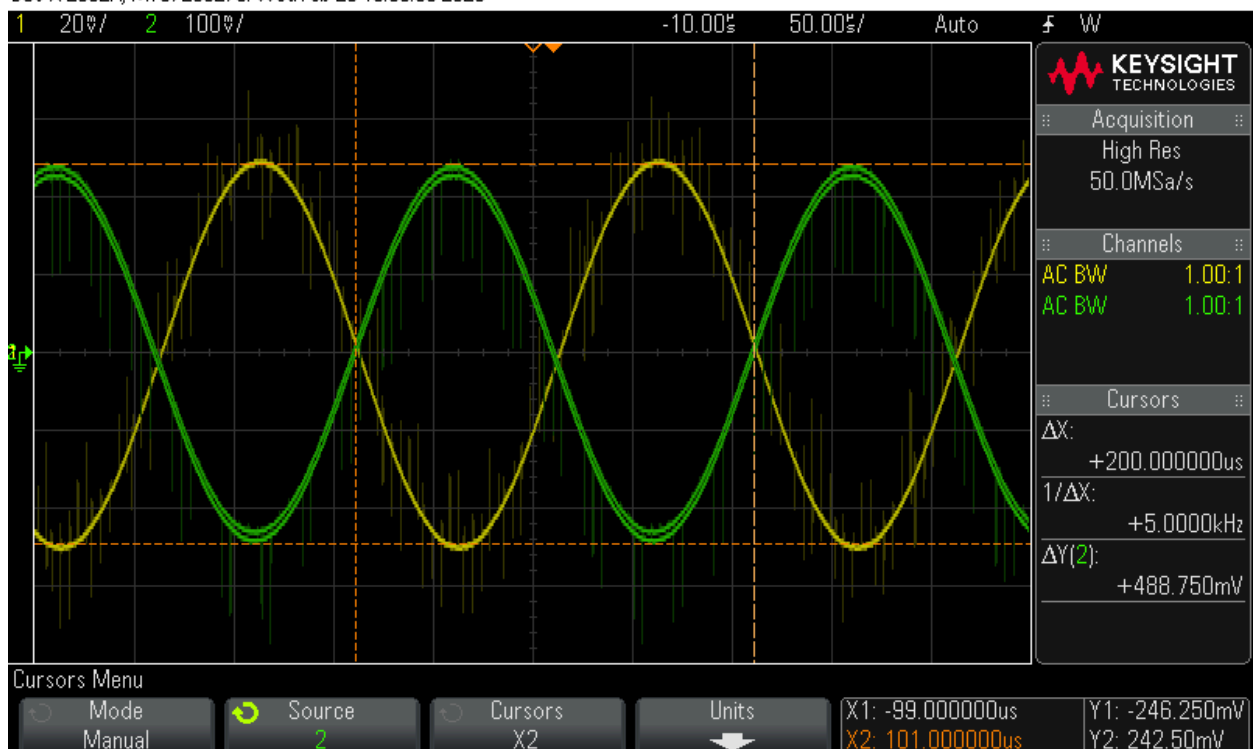
DC level: 0 V

ac amplitude ( $V_{p-p}$  (output)): 488.750 mV

ac gain, measured ( $V_{p-p}$  (output) /  $V_{p-p}$  (input)): 4.89

ac gain, theoretical: 5

DSO-X 2002A, MY57235278: Wed Feb 26 16:55:03 2025





③④

Results 2.4.2: (Output from the *first* amplifier stage when connected to the second stage)

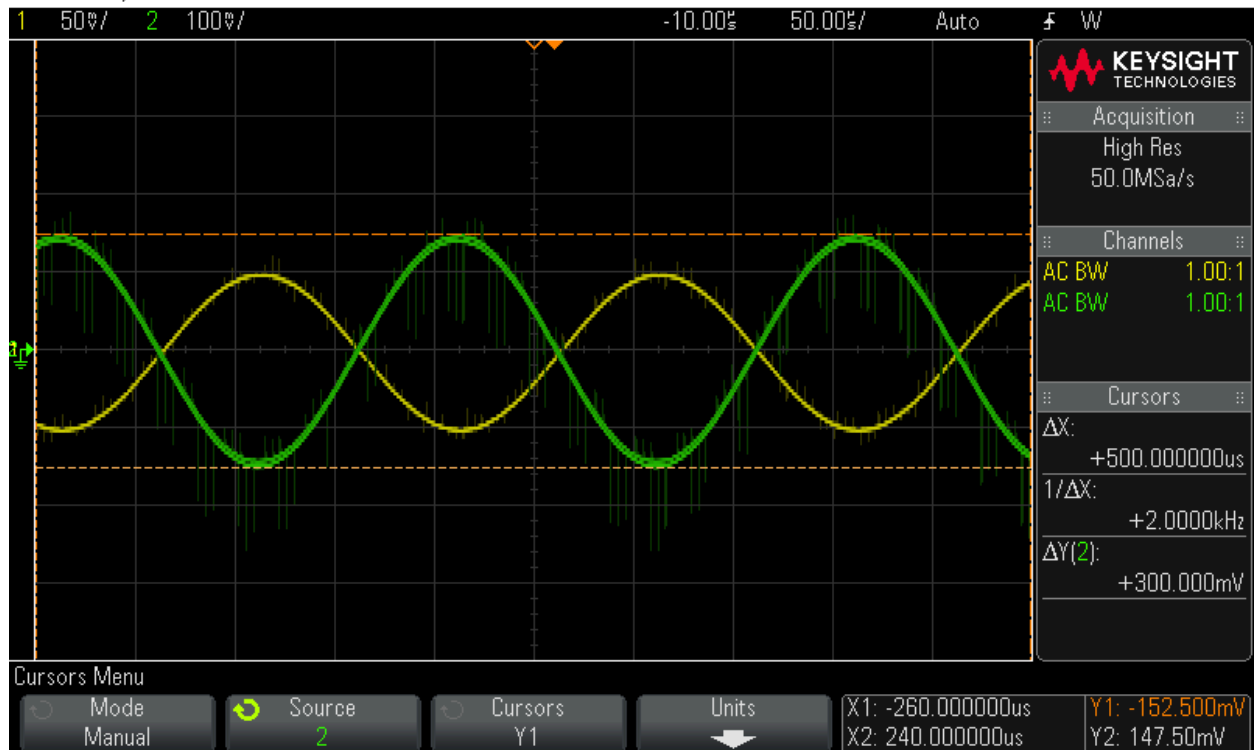
DC level: 0 V

ac amplitude ( $V_{p-p}$  (output)): 300 mV

ac gain, measured ( $V_{p-p}$  (output) /  $V_{p-p}$  (input)): 3

ac gain, theoretical: 5

DSO-X 2002A, MY57235278: Wed Feb 26 17:24:20 2025





Results 2.4.3: (Output from the *second* amplifier stage; both stages connected as in Fig.4)

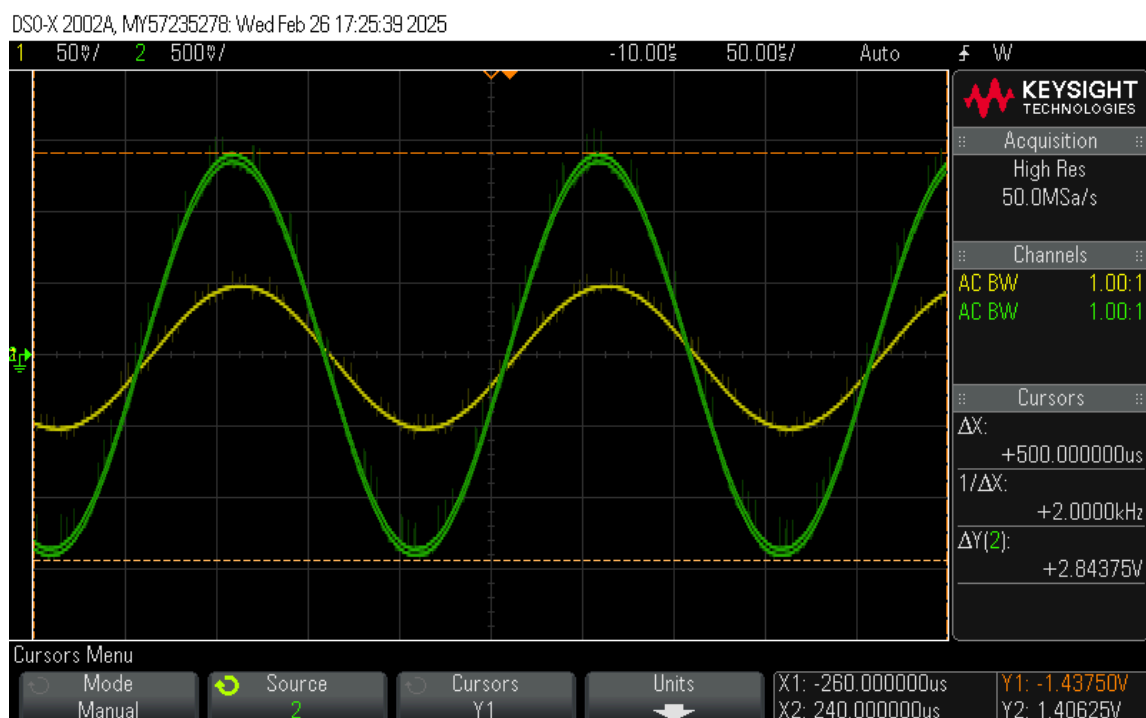
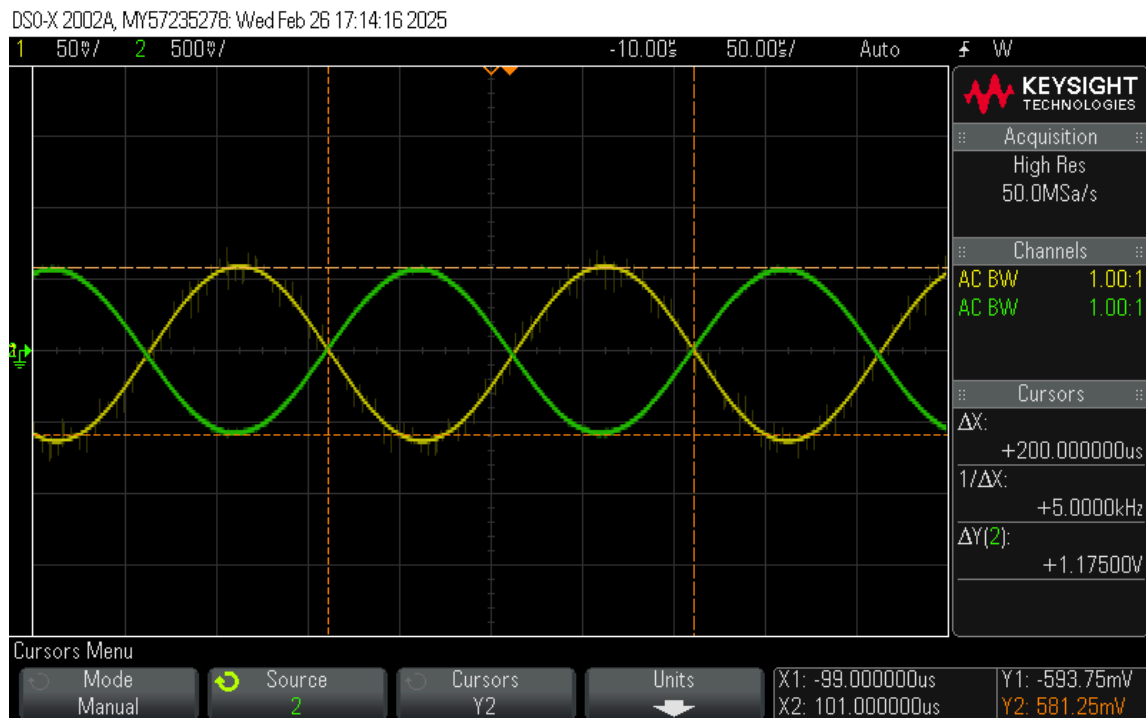
DC level: 0 V

ac amplitude ( $V_{p-p}$  (output)): 2.84375 V

ac gain, measured ( $V_{p-p}$  (output) /  $V_{p-p}$  (input)): 28.4

ac gain, theoretical: 50

## 2nd Stage gain



Discuss: (amplitude/phase relationships between outputs and input, the gains in 2.4.1-2.4.3)

การทดลอง 2.4.1 เป็นการวัด first amplifier stage พบว่ามี amplitude 488.750 mV มี phase ต่างกัน 180 องศา และมี Gain ประมาณ 4.9 ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนกับค่าทฤษฎีเล็กน้อย

การทดลอง 2.4.2 เป็นการวัด first amplifier stage พบว่ามี amplitude 300 mV มี phase ต่างกัน 180 องศา และมี Gain ประมาณ 3 ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนกับค่าทฤษฎีมากกว่า การทดลอง 2.4.1 เนื่องจากการต่อเข้ากับ second state ทำให้ ความต้านทานขาออกของ first state ที่เป็น BJT ที่มี topology เป็น CE with RE สูงขึ้น เป็นเหตุให้ Gain มีค่าลดลงตามสมการความสัมพันธ์

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_{in, 2nd\ stage}}{R_{out, 1st\ stage} + R_{out, 2nd\ stage}}$$

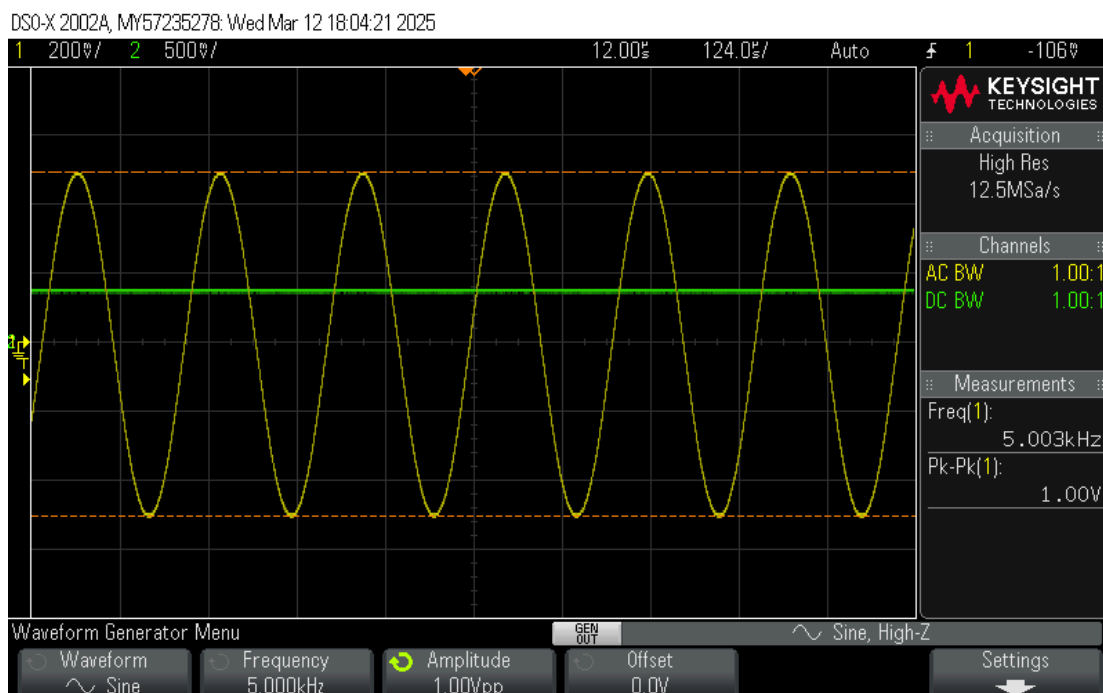
การทดลอง 2.4.3 เป็นการวัด second amplifier stage พบว่ามี amplitude 2.84375 V มี phase ต่างกัน 360 องศา และมี Gain ประมาณ 28.4 ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนกับค่าทฤษฎีเนื่องจากการ mismatch ของอิมพีแดนซ์ เนื่องจากการออกแบบวงจรขยายที่ดีจะต้องคำนึงถึงความต้านทานขาออกของ 1st stage ซึ่งควรมีค่าน้อย ส่วนความต้านทานขาเข้าของ 2nd stage ควรมีค่าสูง ซึ่งหากไม่คำนึงถึงค่าความต้านทานเหล่านี้ จะทำให้อัตราขยายมีความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบ

## 2.5 Rectification and Smoothing

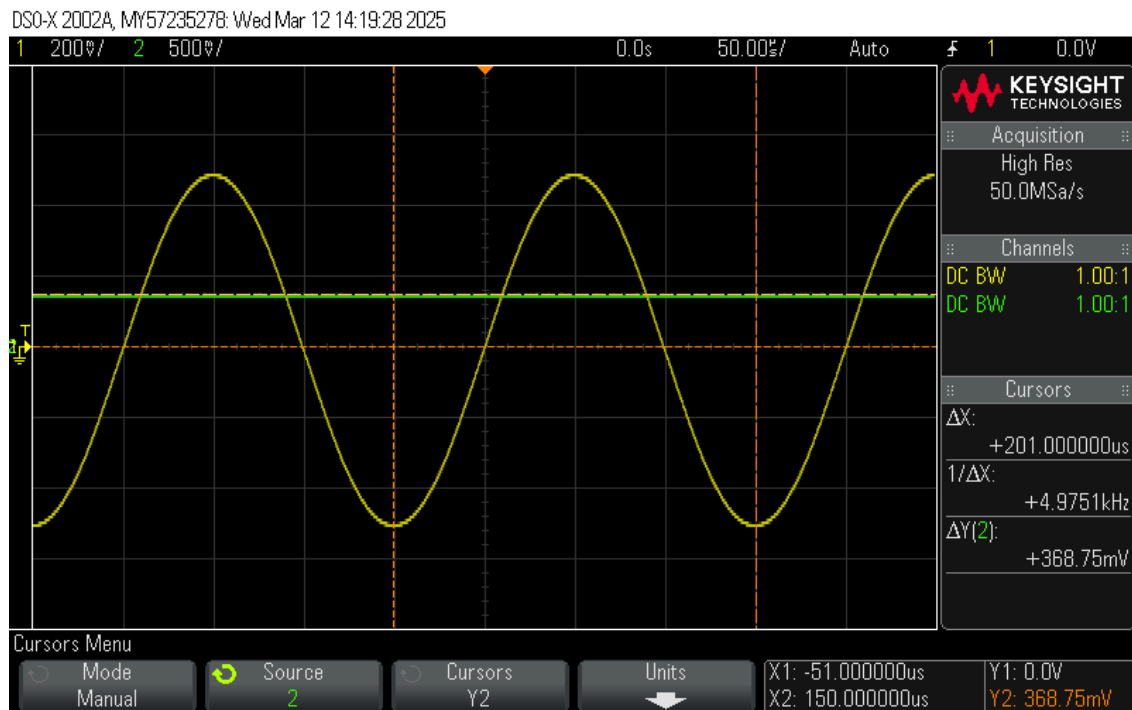
For direct visual comparison between both channels (⑤,⑦), set the signal ground at the same level, and set the vertical scale to be identical.

► **Build & Test it:**

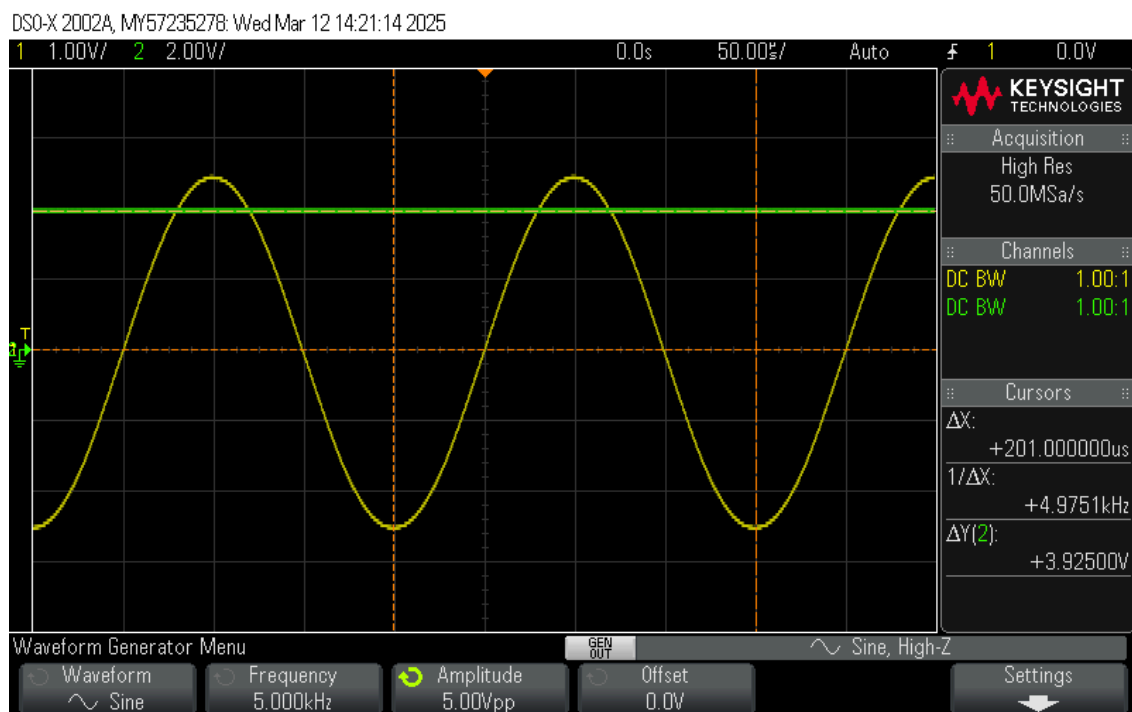
📁⑤⑦ when  $V_{p-p} = 1\text{ V}$ , 5 kHz at ⑤



⑤⑦ when  $V_{p-p} = 3\text{ V}$ , 5 kHz at ⑤



⑤⑦ when  $V_{p-p} = 5\text{ V}$ , 5 kHz at ⑤



Discuss: (do you agree with the name “voltage doubler”? why or why not?)

เห็นด้วยกับชื่อวงจร “voltage doubler” เนื่องจากหากพิจารณาวงจรดังกล่าวแล้ว ในช่วงที่แรงดันขาเข้า ( $V_{in}$ ) เป็นลบ จะได้ว่าตัวเก็บประจุ  $C5$  จะถูกชาร์จทำให้มีแรงดันเท่ากับ  $V_{in} - V_{D3}$  หรือก็คือมีการสูญเสียแรงดันไปให้กับไดโอดเล็กน้อย เมื่อแรงดันขาเข้ามีค่าเป็นบวก ไดโอด  $D4$  จะนำกระแส เมื่อพิจารณาแรงดันออกจะได้ว่า  $V_{out} = 2V_{in} - V_{D3} - V_{D4}$  ซึ่งหากเราละเลยแรงดันตกคร่อมไดโอดจะได้ว่าแรงดันออก  $V_{out} = 2V_{in}$  ซึ่งก็ตรงกับชื่อเรียกของวงจรเรียงกระแสที่จะทำการขยายแรงดันขาออกให้มีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันขาเข้า

## 2.6 Relay driver


### ► Build & Test it

The minimum voltage required to switch the relay: 0.69 V

## 2.7 Relay output

### ► Build & Test it:

DC voltage at switching threshold: 2.95 V

 ① VDO shows that only one LED is on at any moment, and by manually sweeping the DC voltage across the threshold, the two LEDs switch states

<https://youtu.be/Ot29N-ARnGI?si=c0JvZehp66RgkNpE>

### ► Answer three questions:

1. If initially the relay is not operating (COM-NC), what's the minimum voltage required to operate the relay (COM-NO)?

2.95 V

2. If initially the relay is operating (COM-NO), what's the minimum voltage required to release the relay (COM-NC)?

0.95 V


3. How does the circuit work?

วงจรนี้ใช้ relay เพื่อสลับการทำงานของหลอด LED สองหลอด โดยหากไม่มีการจ่ายไฟให้ relay หลอด LED สีเขียว (NC) จะสว่าง แต่เมื่อมีการจ่ายไฟให้ relay หลอด LED สีแดง (NO) จะสว่าง โดย relay จะควบคุมการเชื่อมต่อระหว่างขั้ว COM กับ NC หรือ NO เพื่อกำหนดว่าหลอด LED ใดจะสว่าง

## 3. System

(upload videos to cloud, then in MS Word: Insert > Media > Online Video)

1. Sound warning: buzzer

 ① VDO shows when the beam is broken, the buzzer sounds the alarm

<https://youtu.be/0ImEZo-970s?si=je9H8JTD0uBCuluA>

2. Sound welcome: *loudspeaker* driven by a *musical chip*

 ② VDO shows when the beam is broken, the speaker sings

<https://youtu.be/akslsh2OLqc?si=soczqXy0fuzdOA6X>

3. Mechanical motion: *motor*

 ③ VDO shows when the beam is broken, the motor spins

[https://youtu.be/aZVBgnC0aLM?si=p\\_WJilHeukls3gzY](https://youtu.be/aZVBgnC0aLM?si=p_WJilHeukls3gzY)

4. Number counting: *7-segment display*, 74LS47, 74LS390

 ④ Original Design (with Relay)

VDO shows when the beam is broken, the display counts up (possibly with errors)

[https://youtu.be/x2L\\_3sSHdoU?si=NdqVocWEQ5-XvJhd](https://youtu.be/x2L_3sSHdoU?si=NdqVocWEQ5-XvJhd)

 ⑤ Improved Design (without Relay)

VDO shows when the beam is broken, the display counts up (without errors)

<https://youtu.be/nln1N3PSc9Y?si=HN7pYz1OVi-maMQn>

Improved Design โดยการต่อวงจรกรองผ่านต่ำที่ขาออกของ Relay switch เนื่องจาก กลุ่มของเราพิจารณา Bouncing ของ Relay switch ว่าเป็นสัญญาณความถี่สูง การต่อวงจรผ่านต่ำจึงช่วยให้ผลจากการ Bouncing ของ Relay switch หายไป

#### 4. Conclusion

สามารถออกแบบระบบ Broken Beam System (BBS) ซึ่งประกอบด้วยวงจรต่าง ๆ ได้แก่ วงจร Oscillator, วงจร Buffer Amplifier, วงจร Detector, วงจร Amplifier, วงจร Rectification and Smoothing, วงจร Relay driver, วงจร Relay output และวงจรที่ใช้เชื่อมต่อกับระบบต่าง ๆ เช่น buzzer, loudspeaker, motor, 7-segment display โดยนำวงจรทั้งหมดมาประกอบรวมกัน เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ในสถานการณ์จริง

วงจรจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วน beam generation ซึ่งใช้ IR LED ปล่อยแสงอินฟราเรด และส่วน beam detection ซึ่งใช้ LDR หรือ photodiode หรือ phototransistor ในการรับแสง เมื่อมีวัตถุมาขวางระหว่าง 2 ส่วนนี้ ระบบจะตอบสนองผ่านวงจร relay และทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น buzzer, loudspeaker, motor, 7-segment display ทำงานได้

#### Version History

2024/3 (Revised 3, this version), 2023/11 (Revised 2), 2021/1 (Revised 1), 2019/7 (Original release)

(This pdf only shows what the original docx looks like; edit directly in the provided docx and [submit as a pdf](#). Make sure the embedded videos can be opened. Remove all guideline texts (grey texts like this one)).