

Name	โสมณ สุสมนุรักษ์	Student ID	6201011631188	Section :	7
Table		Period		Semester	2/2563
Lecturer	KDS				

วัตถุประสงค์ :

1. สามารถเข้าใจคุณสมบัติและการทำงานของไดโอด โดยขบวนการทดลองแบบไบอัสตรง (Forward Bias) กับแบบไบอัสกลับ (Reverse Bias) เพื่อสังเกตคุณสมบัติแรงดันและกระแส
2. สามารถคำนวณปริมาณกระแสที่ไหลผ่านไดโอด สำหรับการต่อวงจรแบบไบอัสตรงและแบบไบอัสกลับ อีกทั้งสามารถเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดในห้องแลปได้

อุปกรณ์การทดลอง :

- | | | | |
|--|-------|---|-----------|
| 1. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม LTspice IV | 1 ชุด | 5. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) 1 เครื่อง | |
| 2. ไดโอด เบอร์ 1N4001 | 1 ตัว | 6. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |
| 3. ตัวต้านทาน 1 k Ω | 1 ตัว | 7. แผงวงจร (Prototype Board) | 1 แผ่น |
| 4. DC Power Supply | 1 ตัว | 8. มัลติมิเตอร์ | 2 เครื่อง |

1.1 Semiconductor Diode Characteristic

ทฤษฎี เมื่อต่อไดโอดอนุกรมกับตัวต้านทานดังแสดงในรูปที่ 1 กระแสที่ไหลผ่านไดโอดจะมีค่าเท่ากับกระแสที่ผ่านตัวต้านทาน ($I_D = I_R$) สามารถคำนวณได้จากการนำค่าแรงดัน (V_R) ที่ตกคร่อมตัวต้านทานหารด้วยค่าความต้านทาน (R)

$$I_D = I_R = \frac{V_R}{R}$$

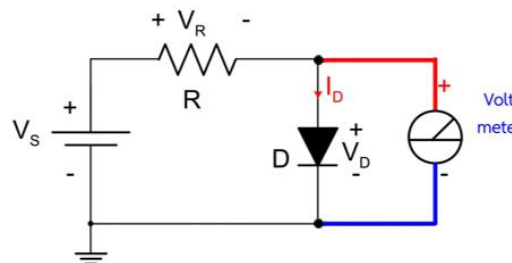
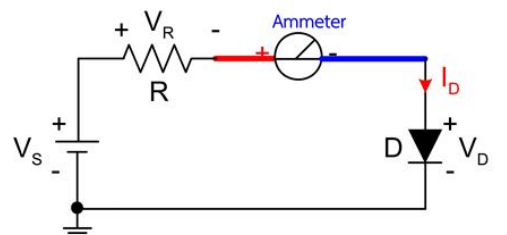
รูปที่ 1

โดยที่

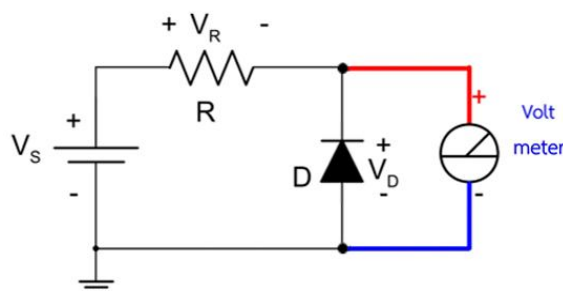
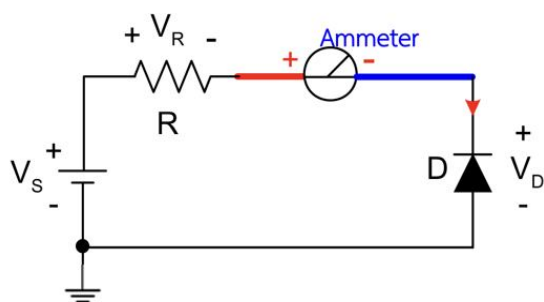
I_D คือ กระแสของไดโอดขณะ Forward Bias

V_R คือ แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน

จากการต่อวงจรดังรูปที่ 1 ให้อ่านค่ากระแส I_D และแรงดัน V_D จากมิเตอร์ของไดโอดที่ทำงานแบบไบอัสตรง



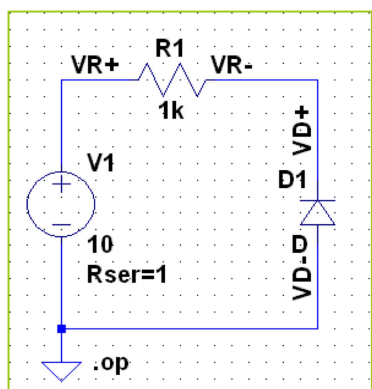
รูปที่ 1



รูปที่ 2

จากการต่อวงจรดังรูปที่ 2 ให้อ่านค่ากระแส I_D และแรงดัน V_D จากมิเตอร์ของไดโอดที่ทำงานแบบไบอัสกลับ (เนื่องจากขั้วของไดโอด D ถูกป้อนด้วยแรงดัน V_D ที่เป็นแบบไบอัสกลับ)

ขั้นตอนการทดลอง

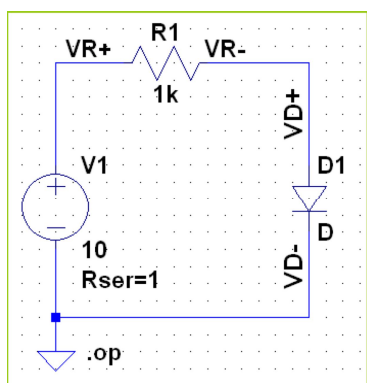


รูปที่ 3(a)

1. ให้ใช้โปรแกรม LTspice IV จำลองการทำงานของวงจรไดโอดในรูปที่ 3(a) และ 3(b) ในโหมด DC Operation Point บันทึกผลการจำลอง (Operation Point) ที่ได้ **คำเตือน** ให้ระมัดระวังการอ่านค่าต่าง ๆ เนื่องจากหลายค่ามีสัญลักษณ์คล้ายกัน

--- Operating Point ---

V(VD+)	:	10 V
V(VR+)	:	10 V
I(D1)	:	0 A
I(V1)	:	0 A



รูปที่ 3(b)

--- Operating Point ---

V(VD+)	:	0.712737 V
V(VR+)	:	9.99072 V
I(D1)	:	0.0093 A
I(V1)	:	-0.0093 A

จากผลการทดลองทั้งรูป 3(a) และ 3(b) ให้ น.ศ. สรุปและอธิบายความสัมพันธ์กันของ $V(V_D+)$, $V(V_R+)$, $I(D1)$ และ $I(V1)$

ช่วง Forward bias ค่า $V_1 = V(V_D+) + V(V_R+)$

$$\text{และ } I_T = I(D1) = I(V1)$$

เพราะเป็นทรานซิสเตอร์แบบอนุกรมด้วย

ช่วง Reverse bias ค่า $V_1 = V(V_D+) = V(V_R+)$

และไม่มีกระแสไหลผ่าน

$$I(D1) = I(V1) = 0$$

2. ต่อดังรูปตามรูปที่ 4(a) ลงบนโปรโตบอร์ด ใช้มิเตอร์วัดค่าแรงดัน V_D ของไดโอดแบบไบอัสตรง (Diode Forward Bias Voltage) บันทึกค่าที่วัดได้ จากนั้นกลับขั้วของไดโอดและวัดค่าแรงดันไบอัสกลับ (Diode Reverse Bias Voltage) ของไดโอด

หมายเหตุ ให้ น.ศ. วัดค่าจริงของตัวต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์

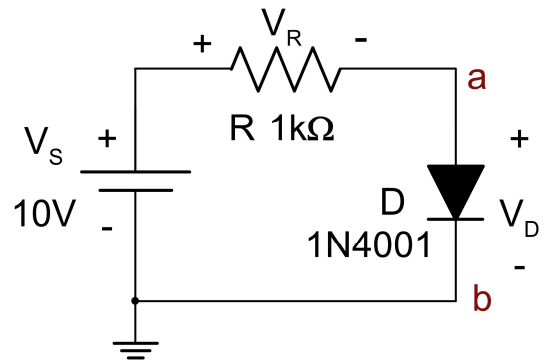
และวัดค่าจริงของ V_S ด้วยโวลต์มิเตอร์ก่อนต่อดังรูป

ค่าความต้านทานของ R ที่วัดด้วยโอห์มมิเตอร์ = $0.980 \text{ k}\Omega$

ค่าแรงดันของ V_S ที่วัดด้วยโวลต์มิเตอร์ = 9.98 V

V_D หรือ V_{ab} ขณะ Forward Bias = 0.692 V

V_D หรือ V_{ab} ขณะ Reverse Bias = 9.98 V



รูปที่ 4(a)

3. คำนวณกระแส (I_D) ขณะไบอัสตรงและไบอัสกลับของไดโอด จากแรงดันไดโอดและค่าความต้านทานในข้อ 2

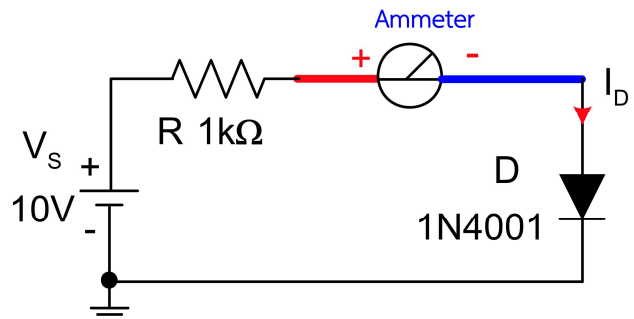
คำนวณค่า I_D ขณะ Forward Bias = 9.308 mA

คำนวณค่า I_D ขณะ Reverse Bias = $\approx 0 \text{ mA}$

4. ต่อดังรูปตามรูปที่ 4(b) อ่านค่ากระแสไบอัสตรงของไดโอด (Diode Forward Bias Current) จากมิเตอร์บันทึกค่าที่วัดได้ จากนั้นกลับขั้วของไดโอดอ่านค่ากระแสไบอัสกลับ (Diode Reverse Bias Current) ของไดโอด

ค่า I_D ขณะ Forward Bias = 9.44 mA

ค่า I_D ขณะ Reverse Bias = 0.01 mA



รูปที่ 4(b)

โดยการสร้างกราฟนี้อาศัยค่าของ I_D และ V_D ที่วัดได้จากวงจรในรูปที่ 5 มาพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์บนแกนของกระแส (แกนตั้ง) และแกนของแรงดัน (แกนนอน) จะได้กราฟดังรูปที่ 6

เนื่องจากเป็นกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของ ไดโอดจึงสามารถสื่อความหมายถึง **ค่าความต้านทานของไดโอด**ที่เกิดขึ้นใน ขณะที่ไดโอดกำลังทำงาน ดังนั้น หากพิจารณาจากรูปกราฟจะพบว่า มี คุณสมบัติต่าง ๆ ของไดโอดที่สำคัญหลายประการคือ

ก) **ความต้านทานเอซีไบอัสตรง** (AC Forward Bias Resistance, r_{ac}) ที่ค่ากระแสใด ๆ ของไดโอดสามารถหาได้โดยการลากเส้นสัมผัสกับกราฟ คุณสมบัติที่ค่ากระแสนั้น ๆ โดยมีค่าเท่ากับส่วนกลับของความชันของเส้นสัมผัส ($\text{Slope} = \frac{dI_D}{dV_D}$) หรือเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกคร่อม

ไดโอดต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานเอซีนีมีค่าต่างกันที่กระแสต่างกัน เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น ของไดโอด (ขอให้สังเกตกราฟเส้นสีแดง ด้านฝั่งที่ V_D มีค่าเป็นบวกซึ่ง เส้นกราฟไม่เป็นเส้นตรง)

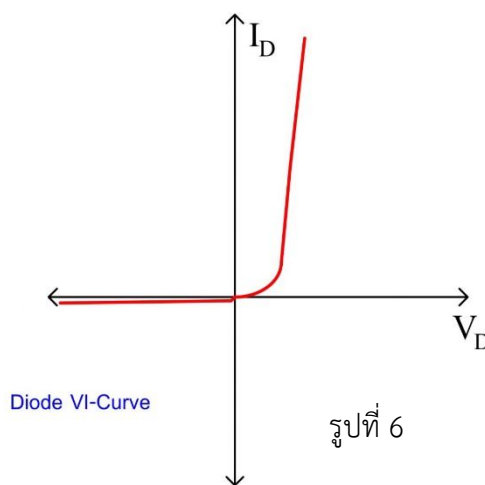
ข) **ความต้านทานเอซีไบอัสกลับ** (AC Reverse Bias Resistance) จะมีค่าสูงมากและเกือบคงที่ เพราะความชันของกราฟ คุณสมบัติช่วงนี้มีค่าต่ำมากและเกือบคงที่ ($r_{ac} = \frac{1}{\text{Slope}}$)

ค) **ความต้านทานดีซีไบอัสตรง** (DC Forward Bias Resistance) สามารถหาได้โดยตรงจากกฎของโอห์ม

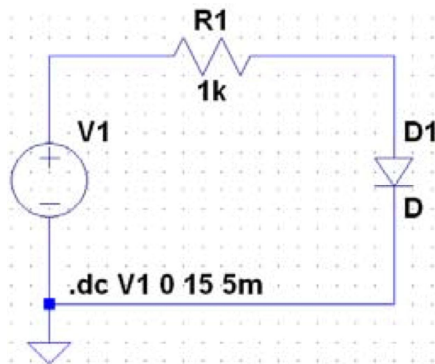
โดย $R_{dc} = \frac{V_f}{I_f}$ ความต้านทานดีซีของไดโอดมีค่าต่างกันเมื่อกระแสมีค่าต่างกัน

(หมายเหตุ V_f = Diode Forward Bias Voltage, I_f = Diode Forward Bias Current)

ง) **Knee Voltage** คือ แรงดันไบอัสตรงของไดโอดในจุดที่กราฟคุณสมบัติของไดโอดเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน (Knee of Curve)

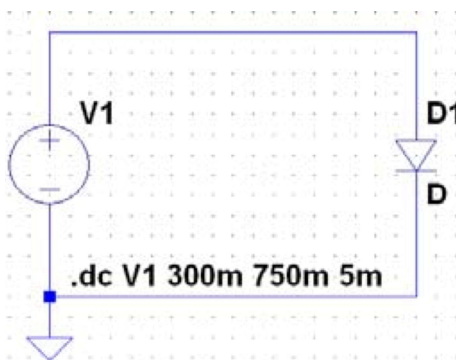


1. ให้ใช้โปรแกรม LTspice IV จำลองการทำงานของวงจรไดโอดในรูปที่ 7(a) ในโหมด DC Sweep ถ้ากราฟที่ได้ยังดูไม่ ชัดเจนพอ ให้ลองเปลี่ยนเป็นรูปที่ 7(b) โดยให้ **V1** มีค่าอยู่ในช่วงที่เราสนใจหรือจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด (ให้ น.ศ. ลองเปลี่ยนค่าและเลือกค่าที่ดีที่สุด) แล้วทำการบันทึกกราฟที่เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนที่สุดลงในรูปที่ 8 บันทึกผล ที่ได้ลงในด้านคอวแดรนท์ที่ 1 (แรงดันและกระแสเป็นบวกทั้งคู่)



1st Source	2nd Source	3rd Source
Name of 1st Source to Sweep:	V1	
Type of Sweep:	Linear	
Start Value:	0	
Stop Value:	15	
Increment:	5m	

รูปที่ 7(a)



1st Source	2nd Source	3rd Source
Name of 1st Source to Sweep:	V1	
Type of Sweep:	Linear	
Start Value:	300m	
Stop Value:	750m	
Increment:	5m	

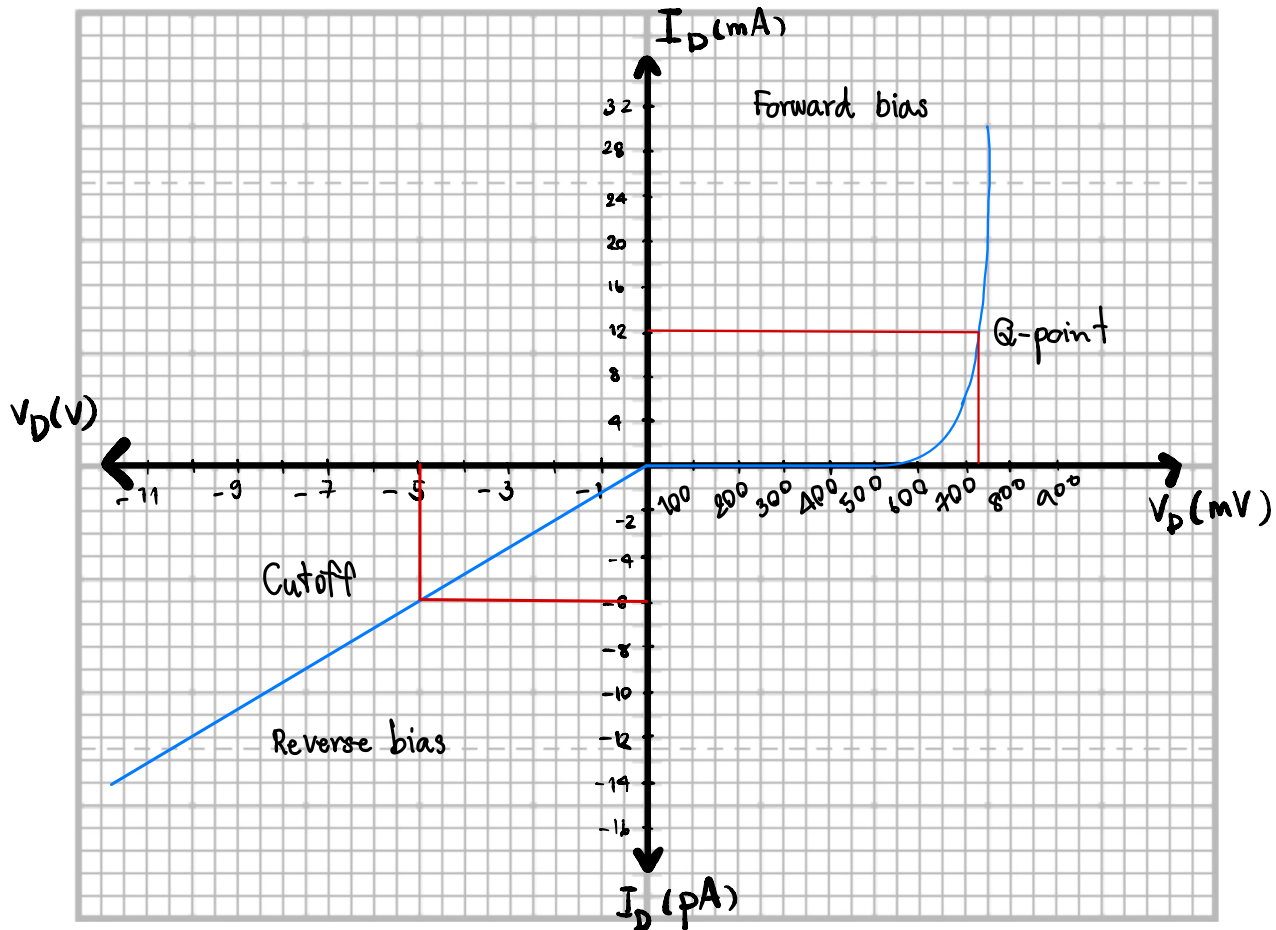
รูปที่ 7(b)

คำเตือน รูปที่ 7(b) ให้ต่อวงจรเมื่อใช้จำลองการทำงานด้วย LTspice IV เท่านั้นห้ามนำไปต่อเป็นวงจรจริงเด็ดขาด เพราะอาจจะทำให้เครื่องมือ-อุปกรณ์พังเสียหายได้ เนื่องจากไม่มีตัวต้านทาน **R** ทำหน้าที่จำกัดการไหลของกระแส

จากนั้นให้เปลี่ยนค่าของ **V1** ให้มีค่าอยู่ในช่วง -15 V ถึง 0 V เพื่อทำการจำลองด้านไบอัสกลับ บันทึกผลที่ได้ลงในกราฟควอแดรนต์ที่ 3 (แรงดันและกระแสเป็นลบ) ทั้งนี้ ขอให้ระมัดระวังเรื่องหน่วยของกระแสที่ปรากฏบนกราฟด้วย เนื่องจากช่วงไบอัสกลับค่าของกระแสจะต่ำมาก

หมายเหตุ น.ศ.อาจจะทดลองให้ค่าของ **V1** มีค่าตั้งแต่ -15 V ถึง $+15\text{ V}$ (โดยใช้วงจรในรูป 7(a)) ก็ได้ซึ่งก็จะให้ผลครอบคลุมค่าทั้งควอแดรนต์ที่ 1 และ 3 ในการทำเพียงครั้งเดียวแต่ก็จะประสบปัญหาในการอ่านกราฟมากเนื่องจากค่ากระแสมีหน่วยที่แตกต่างกันระหว่างไบอัสตรง (เป็นมิลลิแอมป์) และไบอัสกลับ (อาจจะต่ำกว่าไมโครแอมป์)

บันทึกผลการจำลอง (การพล็อตกราฟในแต่ละแกนขอให้ น.ศ. ระบุหน่วยของค่าที่วัดได้)



รูปที่ 8

วิเคราะห์ผลการทดลอง จากกราฟในรูปที่ 8 (ให้อธิบายจุดทำงานของไดโอด เช่น ON, Cutoff, ส่วนใดของกราฟที่บ่งบอกความเป็น r_{ac} , R_{dc} โดยให้ น.ศ. เลือกจุดบนกราฟมา 1 จุดเพื่อแสดงวิธีการหาค่าดังกล่าว)

จุด ON คือจุดที่ไดโอดทำงาน สามารถได้จุด Q-point และค่า R_{dc} หาค่าได้จาก $1/\text{slope}$

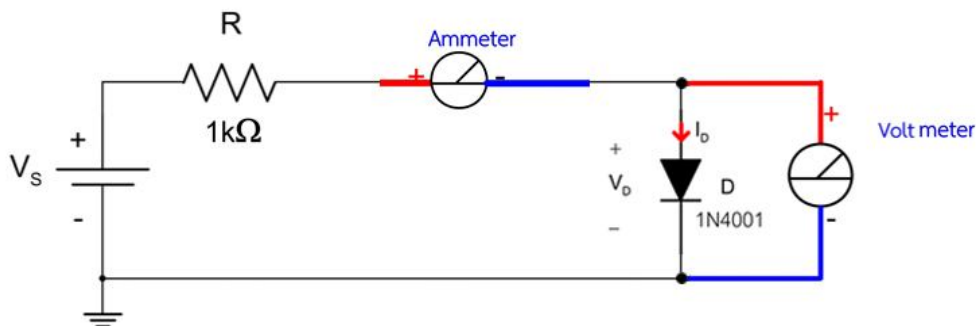
ในส่วนของควอดรันต์ที่ 1 (ช่วง forward bias) ได้ค่า R_{dc} เท่ากับ $1/\text{slope} = 700\text{mV}/12\text{mA} = 58.33\Omega$

และจุด Cutoff คือจุดที่ไดโอดไม่ทำงาน เกิด Reverse bias

ค่า r_{ac} หาได้จาก $1/\text{slope}$ จะได้ว่า $r_{ac} = 1/\text{slope} = \frac{5\text{mV}}{6\text{pA}} = 8.33\text{M}\Omega$

(แนะนำให้เปรียบเทียบ VI-Curve ระหว่างตัว R กับ Diode จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน)

2. ต่อย่างจรตามรูปที่ 9 ลงบนโปรโตบอร์ด (ใช้โวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันและใช้แอมมิเตอร์วัดค่ากระแสพร้อมกัน)



รูปที่ 9

จากนั้นปรับค่าแรงดันแหล่งจ่าย V_s ตามตารางที่ 1 บันทึกค่าแรงดัน (V_D) และกระแส (I_D) ไปยังตรงของไดโอดค่า R ที่วัดด้วยโอห์มมิเตอร์ได้ = $0.98 \text{ k}\Omega$

ตารางที่ 1

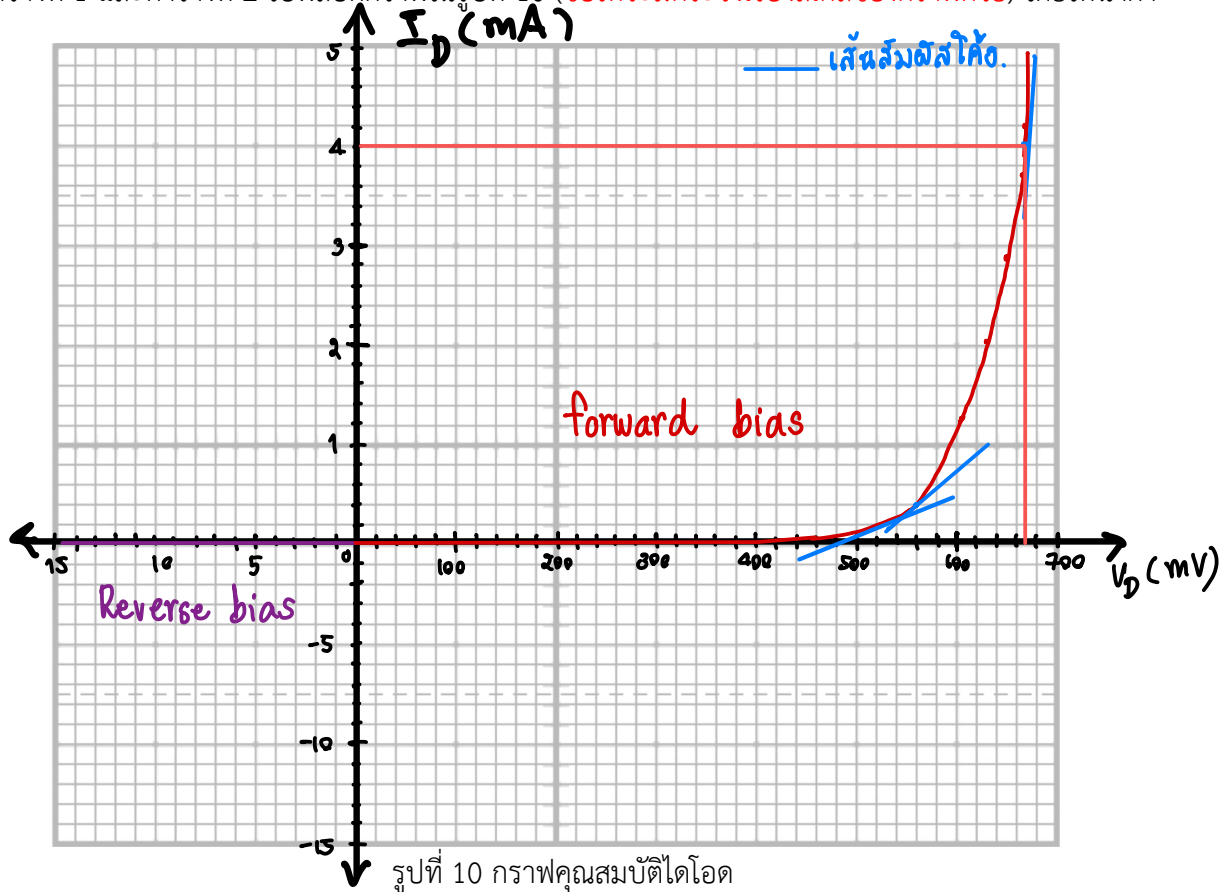
V_s (V)	V_D (V)	I_D (mA)
5	0.661	3.77
4	0.649	3.83
3	0.633	3.08
2	0.608	1.22
1	0.553	0.37
0.5	0.456	0.04
0	0	0

3. กลับขั้วของไดโอดในรูปที่ 9 ให้ทำงานเป็นแบบไบอัสกลับแล้วบันทึกค่า V_D และ I_D ลงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2

V_s (V)	V_D (V)	I_D (μ A)
0	0	0
5	4.99	-0.1
10	9.98	-0.1
15	14.97	-0.1

4. นำค่าจากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ไปพล็อตกราฟในรูปที่ 10 (ขอให้ระมัดระวังเรื่องสเกลของกราฟด้วย) โดยให้นำค่า



โดยให้นำค่าจากตารางที่ 1 มาพล็อตลงใน Quadrant ที่ 1 ของกราฟและนำค่าจากตารางที่ 2 มาพล็อตลงใน Quadrant ที่ 3 ของกราฟ

วิเคราะห์ผลที่ได้จากกราฟรูปที่ 10

- จากกราฟด้านคุณสมบัติของไบอัสตรงควอดแรนต์ (Quadrant) ที่ 1 ให้วาดเส้นสัมผัสเส้นโค้งที่จุด $I_D = 4.0 \text{ mA}$ และคำนวณหาความต้านทานเอซีไบอัสตรง (AC Forward Bias Resistance, r_{ac}) จากความชันของเส้นสัมผัสแล้วให้ทำเช่นเดียวกันที่ $I_D = 0.4 \text{ mA}$ และ $I_D = 0.2 \text{ mA}$ บันทึกคำตอบที่ได้

$$r_{ac}|_{I_D=4.0} \approx \frac{(660-680)\text{mV}}{3.4-4.8\text{mA}} \approx 14.285 \Omega$$

$$r_{ac}|_{I_D=0.4} \approx \frac{(680-590)\text{mV}}{(0.9-0.2)\text{mA}} \approx 114.285 \Omega$$

$$r_{ac}|_{I_D=0.2} \approx \frac{580-480}{0.4-0} \approx 250 \Omega$$

- คำนวณค่าความต้านทานดีซีไบอัสตรง (DC Forward Bias Resistance) ของไดโอดที่ $I_D = 4.0 \text{ mA}$ จากสมการ

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D}$$

$$\text{ที่ } I_D = 4.0 \text{ mA}, R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{670 \text{ mV}}{4 \text{ mA}} = 167.5 \Omega$$

- จากกราฟแสดงคุณสมบัติของไบอัสกลับควอดแรนต์ที่ (Quadrant) 3 ให้คำนวณค่าความต้านทานเอซีไบอัสกลับ (AC Reverse Bias Resistance, r_{ac}) จากกราฟบันทึกคำตอบที่ได้

$$r_{ac} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \approx \infty \Omega \quad (\text{ค่าที่ได้มีค่าสูงมาก})$$

ให้อธิบายวิธีการหาค่าของ r_{ac} จากกราฟ สามารถหา r_{ac} ได้โดย ทำค่าความชัน (Slope) ของเส้นสัมผัสเส้นโค้ง ณ จุดใด ๆ = Slope ของเส้นสัมผัสเส้นโค้ง ณ จุดใด ๆ ดังนั้น $r_{ac} = 1/\text{Slope} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D}$ #

4. ทำการประมาณค่า Diode Knee Voltage จากกราฟคุณสมบัติไบอัสตรงในรูปที่ 10

Diode Knee Voltage \approx 0.6 V

ให้อธิบายวิธีการหาค่าของ Diode Knee Voltage จากกราฟ จุดที่กราฟเปลี่ยนแปลงอย่าง

ชัดเจน จากกราฟ จุด $V_D = 0.6$ V คือจุดที่กราฟพุ่งสูงขึ้นอย่างชัดเจน.

5. ให้สรุปคุณสมบัติของไดโอดเบอร์ 1N4001 โดยอาศัยข้อมูลจากข้างต้นประกอบกับรูปที่ 8 หรือรูปที่ 10

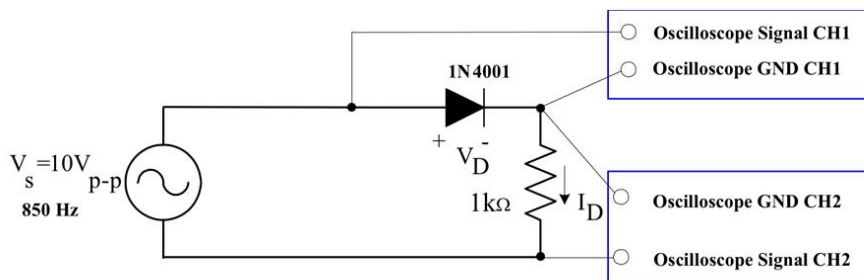
กราฟของ Diode สลักชนใกล้เคียงกับ Ideal Diode นั่นคือในช่วง forward bias ไดโอดจะทำงานเมื่อ V_D เท่ากับ 0.6 ~ 0.7 V แต่ในช่วง Reverse bias (Diode off) ค่าความต้านทานจะสูงมากจนแทบไม่ส่งกระแสไหล.

(แนะนำให้เปรียบเทียบ V-I Curve ระหว่าง ตัว R กับ Diode จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน)

1.3 ใช้เครื่องออสซิลโลสโคปสร้างกราฟคุณสมบัติของไดโอด

การทดลอง

1. ต่อดังตามรูปที่ 11 ลงบนโปรโตบอร์ด ตั้งค่าของฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์และออสซิลโลสโคปตามที่กำหนดไว้ในวงจร



รูปที่ 11

ข้อควรระวัง 1. การต่อกราวด์ (GND) ของออสซิลโลสโคปต้องถูกต้องเพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์

Cathode (k) ของไดโอดเท่านั้น ถ้าไม่ทำเช่นนี้จะทำให้เครื่องมือพังเสียหายได้

2. รูปคลื่นของ V_s สามารถใช้ได้ทั้งแบบรูปไซน์หรือรูปสามเหลี่ยม

2. จ่ายแรงดันจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ให้กับวงจร เลือก CH2 ไว้ที่ INV และเลือกการแสดงผลเป็น X-Y Mode เพื่อแสดงกราฟคุณสมบัติของไดโอดบนออสซิลโลสโคป บันทึกกราฟที่ได้ลงในรูปที่ 12 (แรงดันตกคร่อมไดโอดจะแสดงทางแกนนอนและกระแสแสดงทางแกนตั้งบนจอออสซิลโลสโคปคล้ายในรูปที่ 8 และรูปที่ 10)

CH1:1.00.....V/DIV

CH2:1.00.....V/DIV

หมายเหตุ

น.ศ.สามารถปรับขนาดของรูปภาพ
โดยการปรับค่า Volt/DIV ของ
ออสซิลโลสโคป



ให้ลากเส้นสัมผัสเพื่อทำการประมาณค่า

Knee Voltage จากกราฟ

Diode Knee Voltage = \approx 0.7 V.....

.....ลายเซ็นอาจารย์ผู้ควบคุม

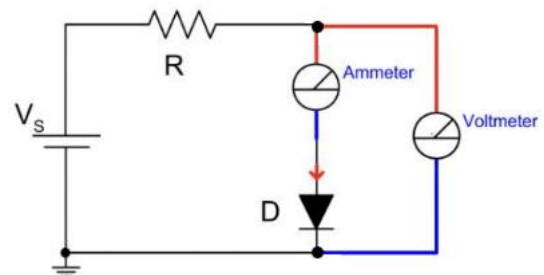
คำถาม

- ความต้านทานไบอัสตรง (Forward Bias Resistance) และความต้านทานไบอัสกลับ (Reverse Bias Resistance) ของไดโอดแตกต่างกันมากหรือไม่ เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
 แยกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เนื่องจาก เมื่อไดโอดต่อแบบ forward จะทำใหไดโอด ON \rightarrow ความต้านทานต่ำ I ในไดโอด
 แต่เมื่อไดโอดต่อแบบ Reverse ส่งผลให้ไดโอด OFF (ไม่ทำงาน) ผลลงค่า R ของไดโอดสูงมาก ทำให I ในไดโอด
 2. จงอธิบายให้ชัดเจนว่าเกิดอะไรขึ้นกับความต้านทานเอซีไบอัสตรงของไดโอดเมื่อกระแสเพิ่มขึ้น ในสภาวะ
 เนื่องจากไดโอดทำงานในไฟฟ้า AC ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เมื่อกระแสเพิ่มในขณะที่ แวกดันเท่าเดิม
 ทำใหค่า r ในสภาวะจุดใดจุดหนึ่งอาจมีค่าไม่เท่ากัน
 3. จงอธิบายความต้านทานเอซีไบอัสตรงและความต้านทานดีซีไบอัสตรงมีความแตกต่างกันหรือไม่
 แยกต่างกันอย่างสิ้นเชิง $\rightarrow R_{dc}$ ควที่ตลอด (มีค่าเดียวสำหรับทุกจุด)
 $\rightarrow r_{ac}$ เปลี่ยนแปลง (ขึ้นกับค่า I ที่จุดที่สนใจ)
 4. Forward Bias Diode Knee Voltage คืออะไร

แรงดัน forward bias ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันขึ้น (กราฟมีค่าไดโอดมาก ๆ ไม่เกาะกลุ่มกันค่าอื่น ๆ)

- จากวงจรในรูปที่ 9 ถ้าเปลี่ยนจุดที่วัดค่าในวงจรของโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์เป็นดังรูปด้านล่างแทนจะทำให้ค่าแรงดันและกระแสที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองมีค่าเหมือนหรือแตกต่างจากค่าในตารางที่ 1-2 หรือไม่ ?

ด้วยขนาดที่มาก/น้อยกว่าเพียงใด ? ให้ น.ศ.ทำการพิสูจน์ให้เห็นได้อย่างชัดเจนด้วยวิธีดังต่อไปนี้



ก) พิสูจน์ด้วยการทดลองวัดดูจริง ๆ และหาค่า % ความแตกต่าง พร้อมทั้งแสดงสาเหตุที่ทำให้เป็นเช่นนั้น หรือ

ข) พิสูจน์ด้วยการวิเคราะห์จากเทคนิคการวัด (Measurement)

ประกอบกับข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องมือวัด (Instrument) ที่ใช้ในการทดลอง พร้อมยกตัวอย่าง (หรือกรณีศึกษา) มาประกอบคำอธิบายด้วย

แตกต่าง ด้วยขนาดที่ไม่มาก

ค่าจากตารางที่ 1-2 ที่ $V_{source} = 5V$ จะได้ V_D ที่วัดจากโวลต์มิเตอร์ เท่ากับ 0.661
 กระแสของ I ดังรูป ที่ V_{source} เดียวกัน จะได้ V (ที่รวมแอมมิเตอร์ด้วย)
 เท่ากับ 0.83 สาเหตุมาจาก Ammeter ของเรา มี r ภายใน ทำให V มีค่าเพิ่มขึ้น
 ในระดับหนึ่ง ค่าคลาดเคลื่อน จากตรงทดลองในตาราง 1-2 คือ

$$\%Error = \frac{|0.83 - 0.661|}{0.661} \times 100\% = 25.57\%$$



การทดลองที่ 1 Semiconductor Diode

Page 12 of 12