การทดลองที่ 9
เรื่อง ลักษณะเฉพาะของไดโอด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการต่อวงจรไดโอดและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการไบแอสตรงและไบแอสกลับ
2. เพื่อศึกษาวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น
3. เพื่อศึกษาวงจรเรียงกระเต็มคลื่นแบบบริดจ์

ทฤษฎี

สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) เป็นสารที่มีสภาพนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำไฟฟ้าที่ดี ตัวอย่างเช่น โลหะต่างๆ กับฉนวนไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น แก้วและพลาสติก เป็นต้น สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ ซิลิกอนและเยอร์มาเนียม ซึ่งเป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ IV ตามตารางธาตุ มีอิเล็กตรอนวงนอกสี่ตัว อะตอมของธาตุเหล่านี้จะทำพันธะโคเวเลนต์กับอะตอมข้างเคียงอีกสี่ตัว ทำให้สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์นำไฟฟ้าได้ไม่ดี ดังนั้นการนำสารกึ่งตัวนำไปประยุกต์ใช้จึงต้องมีการเติมสารเจือปน (dopant) ลงไปเพื่อให้ได้สารกึ่งตัวนำที่มีสภาพนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น การเติมสารเจือปนลงในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ เรียกว่า การโด๊ป (doping) สารกึ่งตัวนำที่ได้จะมีสภาพนำไฟฟ้าขึ้นกับปริมาณของสารเจือปนที่เติม และมีพาหะนำไฟฟ้าตามอะตอมสารเจือปน ดังนี้

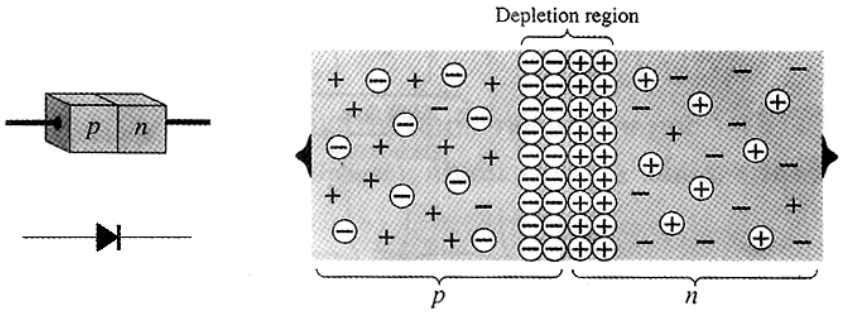
สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

ถ้าอะตอมสารเจือปนมีอิเล็กตรอนวงนอกมากกว่าอะตอมสารกึ่งตัวนำ เมื่ออะตอมสารเจือปนทำพันธะกับอะตอมสารกึ่งตัวนำครบสี่ตัวแล้ว จะทำให้มีอิเล็กตรอนเหลือจากการทำพันธะ อิเล็กตรอนเหล่านี้จะเป็นพาหะสำหรับนำไฟฟ้า สารกึ่งตัวนำที่ได้เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) พาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น คือ อิเล็กตรอนที่เกินจากการทำพันธะ ส่วนอะตอมสารเจือปนที่เติมเรียกว่า อะตอมผู้ให้ (donor atom)

สารกึ่งตัวนำชนิดพี

ถ้าอะตอมสารเจือปนมีอิเล็กตรอนวงนอกน้อยกว่าอะตอมสารกึ่งตัวนำ เมื่ออะตอมสารเจือปนทำพันธะกับอะตอมสารกึ่งตัวนำ จะไม่สามารถทำพันธะกับอะตอมสารกึ่งตัวนำครบสี่ตัวได้ ทำให้อะตอมสารกึ่งตัวนำบางตัวเกิดที่ว่างเนื่องจากการขาดหายไปของอิเล็กตรอน ที่ว่างหรือโฮล (hole) นี้จะประพฤติตัวเหมือนกับเป็นอนุภาคที่มีประจุ +e (e คือขนาดประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-19} C) สารกึ่งตัวนำที่ได้เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductor) พาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำชนิดพี คือ โฮล ส่วนอะตอมสารเจือปนที่เติมเรียกว่า อะตอมผู้รับ (acceptor atom)

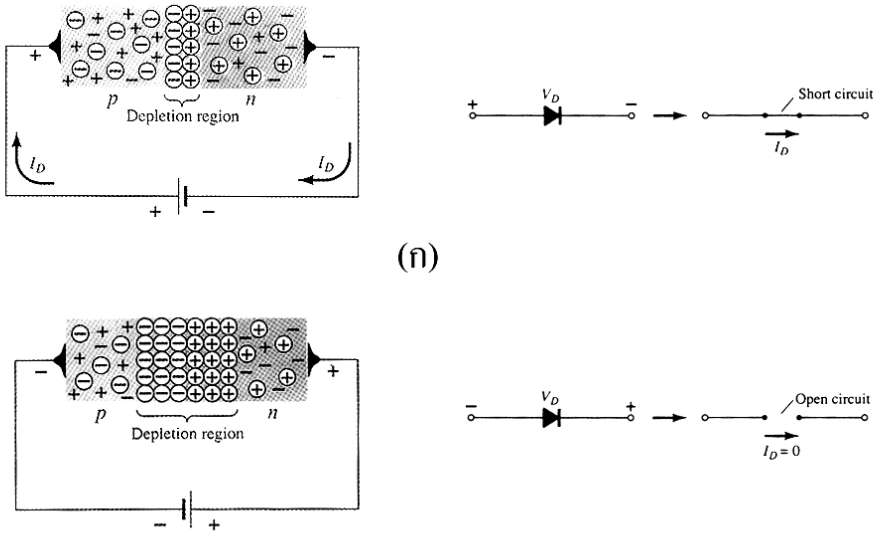
ไดโอด



รูป 1 ไดโอดสารกึ่งตัวนำ

ไดโอด (diode) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำพี-เอ็น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำทั้งสอง เรียกว่า รอยต่อพี-เอ็น (p-n junction) ดังรูปที่ 1 ที่รอยต่อจะมีการแพร่เข้าหากันของพาหะข้างมากจากสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิด โดยอิเล็กตรอนจากสารเอ็นจะแพร่ข้ามรอยต่อเข้าสู่สารพี ทำให้ด้านสารเอ็นเกิดประจุบวกสะสมเพิ่มขึ้นใกล้รอยต่อ และในทำนองเดียวกัน ด้านสารพีจะเกิดประจุลบสะสมเนื่องจากโฮลแพร่ข้ามรอยต่อไปยังสารเอ็น ประจุสะสมที่บริเวณรอยต่อนี้จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น ซึ่งมีทิศต้านการไหลข้ามรอยต่อของพาหะข้างมาก ทำให้การแพร่ข้ามรอยต่อสิ้นสุดลง และเกิดเป็นบริเวณปลอดพาหะ (depletion region) ดังแสดงในรูป 1

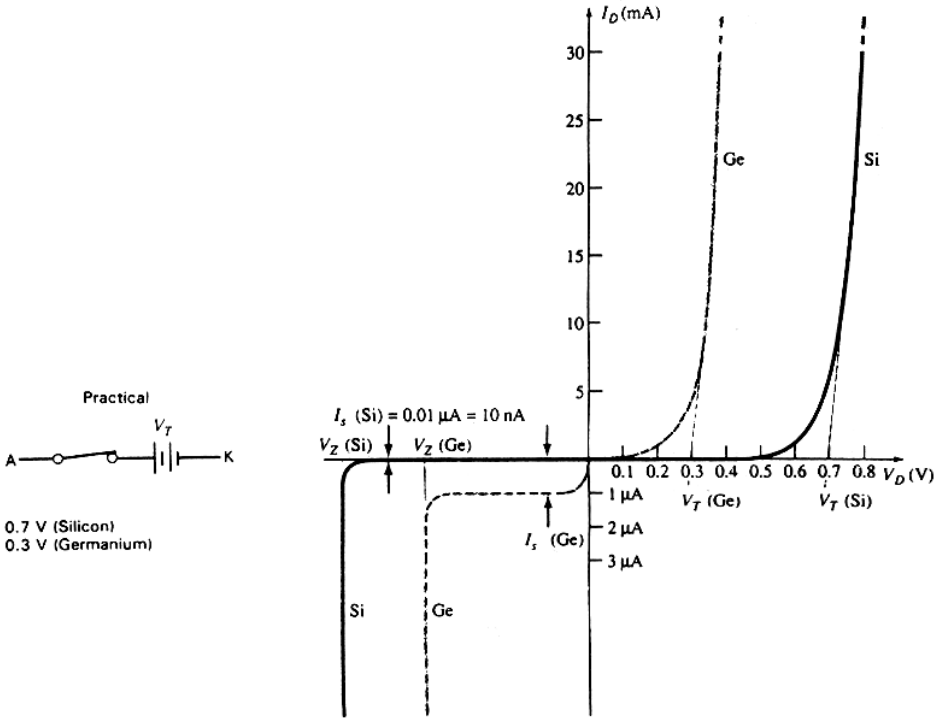
เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยต่อขั้วบวกที่อาโนด (anode) หรือสารพี และต่อขั้วลบที่คาโทด (cathode) หรือสารเอ็น เรียกว่าไบแอสตรง (forward bias) สนามไฟฟ้าจากภายนอกจะผลักโฮลในสารพีและอิเล็กตรอนในสารเอ็นให้เคลื่อนที่ไปยังรอยต่อพี-เอ็น ส่งผลให้บริเวณปลอดพาหะแคบลง และไดโอดจะสามารถนำกระแสได้ ดังแสดงในรูป 2 (ก)



รูป 2 (ก) ไบแอสตรง และ (ข) ไบแอสกลับ

เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยให้ขั้วบวกต่อที่คาโทดหรือสารเอ็น และต่อขั้วลบที่อาโนดหรือสารพี เรียกว่าไบแอสกลับ (reverse bias) สนามไฟฟ้าจากภายนอกจะดึงให้โฮลในสารพีและอิเล็กตรอนในสารเอ็นเคลื่อนที่ออกห่างจากรอยต่อ ส่งผลให้บริเวณปลอดพาหะกว้างขึ้น ไดโอดจึงไม่นำกระแส ดังแสดงในรูป 2 (ข)

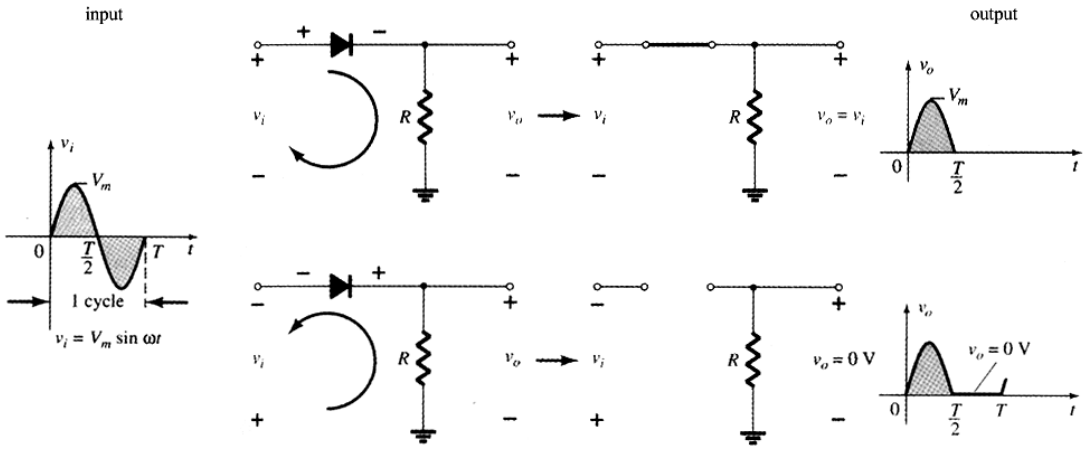
ลักษณะสมบัติของไดโอดแสดงดังรูป 3 ขณะไบแอสตรงความต่างศักย์ไฟฟ้าภายนอกจะต้องมีค่าสูงกว่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม (V_{th}) ซึ่งเป็นกำแพงศักย์ที่เกิดจากสนามไฟฟ้าที่บริเวณปลอดพาหะ ไดโอดจึงเริ่มนำไฟฟ้า โดยความต่างศักย์ขีดเริ่มสำหรับไดโอดที่ทำจากเยอร์มาเนียมมีค่าเท่ากับ 0.3 V และซิลิกอนมีค่าเท่ากับ 0.7 V ส่วนในขณะไบแอสกลับจะมีกระแสไหลผ่านไดโอดเล็กน้อย เรียกว่า กระแสรั่วไหล (leakage current) โดยกระแสนี้เกิดจากพาหะข้างน้อยที่มีอยู่ในสารกึ่งตัวนำทั้งสอง เมื่อความต่างศักย์ไบแอสกลับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้ไดโอดนำกระแสเพิ่มขึ้นมาก เรียกว่า กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (reverse saturation current) ความต่างศักย์ ณ จุดนี้เรียกว่า แรงดันพังทลาย (breakdown voltage) ความต่างศักย์ในช่วงนี้ยังเป็นช่วงที่ไดโอดสามารถทนได้ ซึ่งความต่างศักย์สูงสุดที่ไดโอดยังทนได้ เรียกว่า แรงดันพังทลายซีเนอร์ (Zener breakdown voltage) และถ้าความต่างศักย์เพิ่มสูงขึ้นกว่าแรงดันพังทลายซีเนอร์ จะเกิดความร้อนอย่างมากที่รอยต่อของไดโอด ส่งผลให้ไดโอดพังเสียหายได้ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้เรียกว่าแรงดันพังทลายอวาลานซ์ (avalanche breakdown voltage)



รูป 3 กราฟลักษณะเฉพาะของไดโอด

จะเห็นว่าไดโอดสามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียวเท่านั้น คือ เมื่อได้รับไบแอสตรง จึงมีการนำไดโอดไปใช้ในการเรียงกระแส (rectify) เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป วงจรเรียงกระแสด้วยไดโอดมี 2 ชนิด คือ วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น (half-wave rectifier) และวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น (full-wave rectifier)

วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น



รูป 4 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น

วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นแสดงดังรูป 4 โดยใช้ไดโอดหนึ่งตัวต่ออนุกรมกับโหลด จากรูปจะเห็นว่า ครึ่งไซเคิลบวกของสัญญาณอินพุตเท่านั้นที่ไปปรากฏที่โหลด เนื่องจากครึ่งไซเคิลบวกไดโอดจะได้รับไบแอสตรง ทำให้ไดโอดนำกระแส ส่วนครึ่งไซเคิลลบไดโอดได้รับไปแอส กลับ จึงไม่นำกระแส

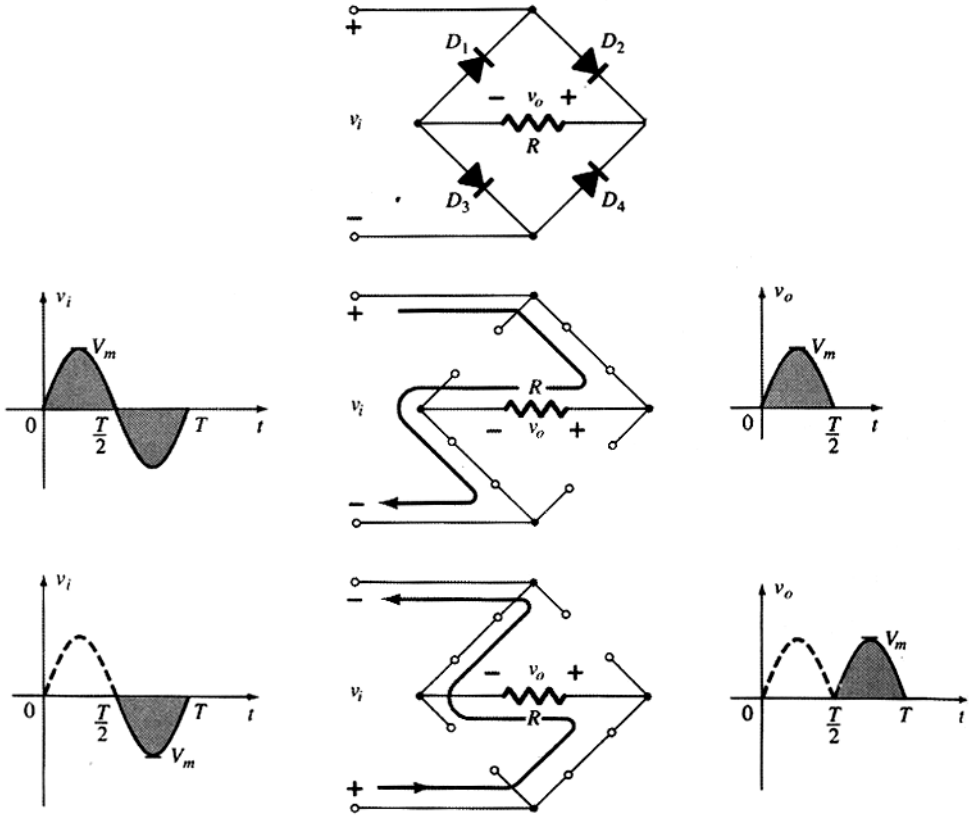
จากรูปคลื่นของสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น ค่าเฉลี่ยของสัญญาณตลอดคาบ จะได้ค่าความต่างศักย์กระแสตรง V_{dc} ดังนี้

$$V_{dc} = 0.318\ V_m \qquad (1)$$

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นจะมี 2 แบบ คือ วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (bridge rectifier) และวงจรเรียงกระแสแบบหม้อแปลงแทปกลาง (center-tapped transformer) ในที่นี้จะศึกษาวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เท่านั้น

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์



รูป 5 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

จากรูปคลื่นของสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณหรือ V_{dc} จะได้เป็น

$$V_{dc} = 0.636V_m \quad (2)$$

เมื่อเปรียบเทียบค่า V_{dc} จากวงจรเรียงกระแสทั้งสองแบบ จะเห็นว่าวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นจึงเป็นที่นิยมนำไปใช้งานมากกว่าเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่า

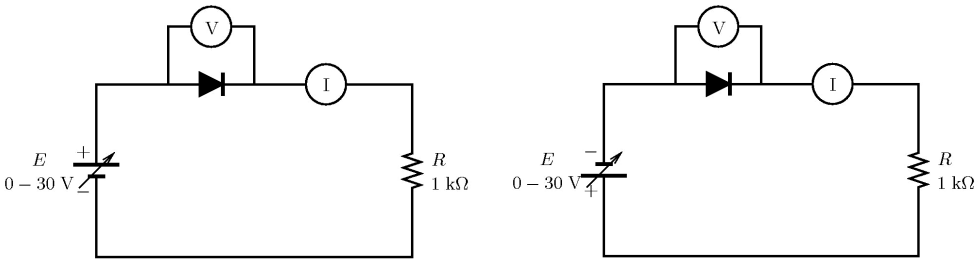
อุปกรณ์การทดลอง

1. แผงวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น และแผงวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์
2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 2 เครื่อง
3. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
4. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 0 - 30 V 1 เครื่อง
5. เครื่องกำเนิดสัญญาณ 1 เครื่อง

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 ลักษณะสมบัติแรงดัน – กระแสของไดโอด

1. ต่ออุปกรณ์ลงบนแผงวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น ตามรูปการจัดไบแอสตรงให้กับไดโอด



ไบแอสตรง ไบแอสกลับ

2. ปรับค่าความต่างศักย์ที่แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (E) ตามตารางบันทึกผล โดยที่แต่ละค่าของ E ให้อ่านค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอด (I_D) และความต่างศักย์ตกคร่อมไดโอด (V_D) บันทึกลงในตารางบันทึกผลสำหรับการไบแอสตรง

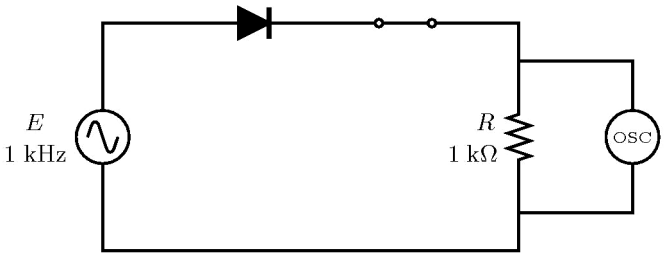
3. ปรับค่าความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายให้เป็นศูนย์ กลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งจะทำให้ไดโอดได้รับการไบแอสกลับดังรูป การจัดไบแอสกลับ

4. ทำการทดลองข้อ 2 ซ้ำ โดยบันทึกค่ากระแส I_D และความต่างศักย์ V_D ในตารางบันทึกผลสำหรับการไบแอสกลับ

5. นำข้อมูลจากทั้งสองตารางไปเขียนกราฟ โดยเขียนลงบนกราฟเดียวกัน ให้แกนตั้งเป็นค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวไดโอด และแกนนอนเป็นค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวไดโอด

ตอนที่ 2 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น

1. ต่อวงจรดังรูป

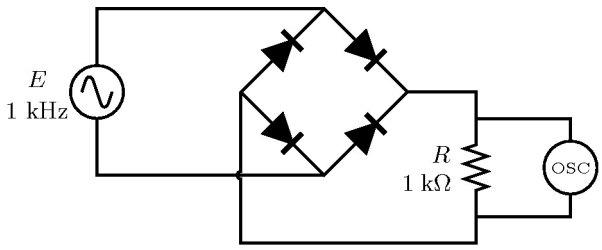


2. เปิดสวิตช์ของออสซิลโลสโคป ปรับปุ่ม TIME/DIV ไว้ที่ 0.1 ms ปุ่ม VOLT/DIV ไว้ที่ 1 V ปรับปุ่ม INTENS และ FOCUS จนเห็นเส้นบนจอภาพชัดเจน

3. ตั้งค่าความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไว้ที่ 1 kHz เปิดสวิตช์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ เมื่อปรากฏรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าบนจอภาพ ให้ปรับแอมพลิจูดของสัญญาณไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดจนเห็นรูปคลื่นบนจอภาพมีขนาดโตพอเหมาะ วาดรูปคลื่นของสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ลงในใบบันทึกผลการทดลอง

ตอนที่ 3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

1. ต่อวงจรดังรูป



2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 2

3. คำนวณค่าความต่างศักย์กระแสตรง V_{dc} สำหรับวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นและเต็มคลื่นจากรูปคลื่นที่ได้จากการทดลอง

ใบบันทึกผลการทดลองที่ 9

เรื่อง ลักษณะเฉพาะของไดโอด

ผู้ทำการทดลอง 1. .....เลขที่……..กลุ่มที่.....

2. .....เลขที่……..กลุ่มที่.....

3. .....เลขที่……..กลุ่มที่.....

สาขาวิชา/ภาค.....ชั้นปี/ห้อง.....

ทำการทดลอง วันที่ .....เดือน.....พ.ศ. .....

ตอนที่ 1 ลักษณะเฉพาะของไดโอด

ไบแอสตรง

E	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
V_D														
I_D														

ไบแอสกลับ

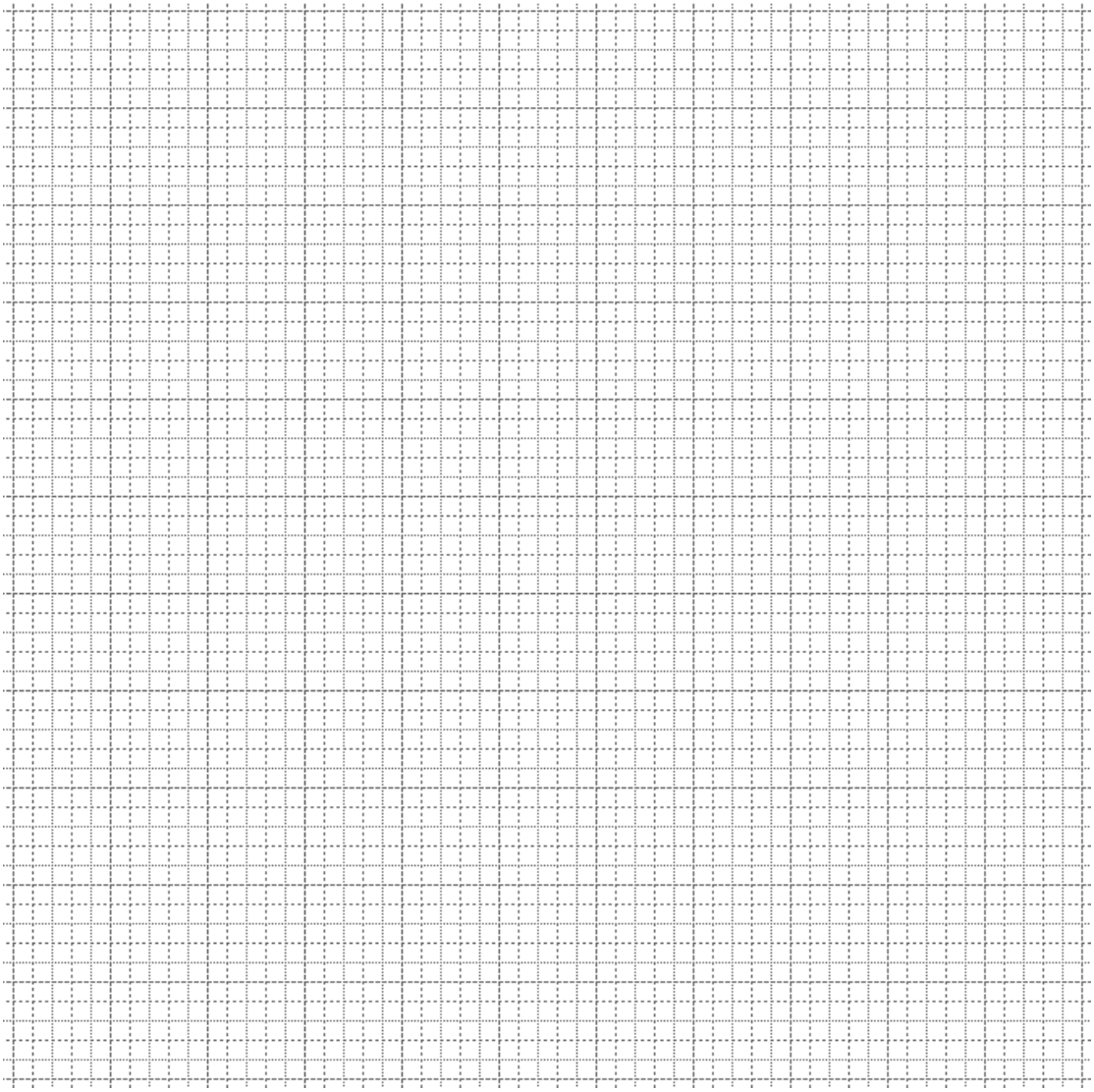
E	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
V_D														
I_D														

……

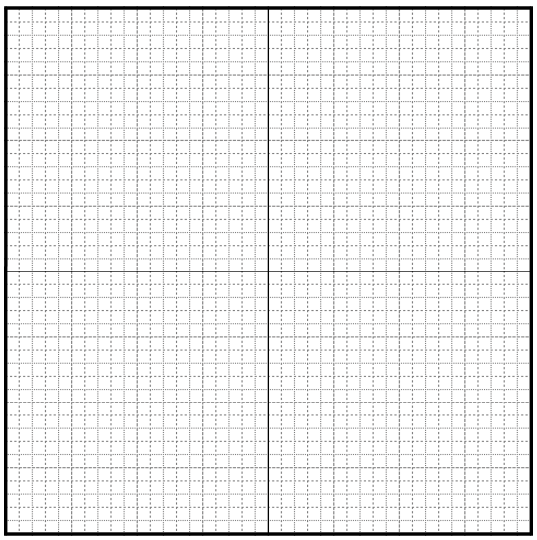
……/……/……

อาจารย์ผู้คุมการทดลอง

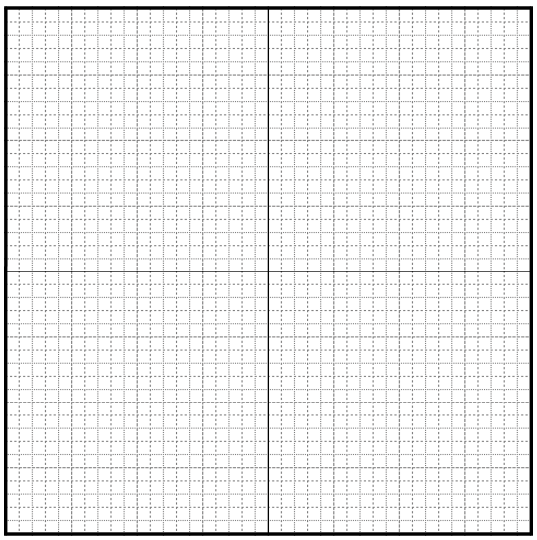
กราฟลักษณะเฉพาะของไดโอด



ตอนที่ 2 วงจรเรียงกระครึ่งคลื่นและเต็มคลื่น



ครึ่งคลื่น: V_{dc} =.....V



เต็มคลื่น: V_{dc} =.....V

แสดงวิธีคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....