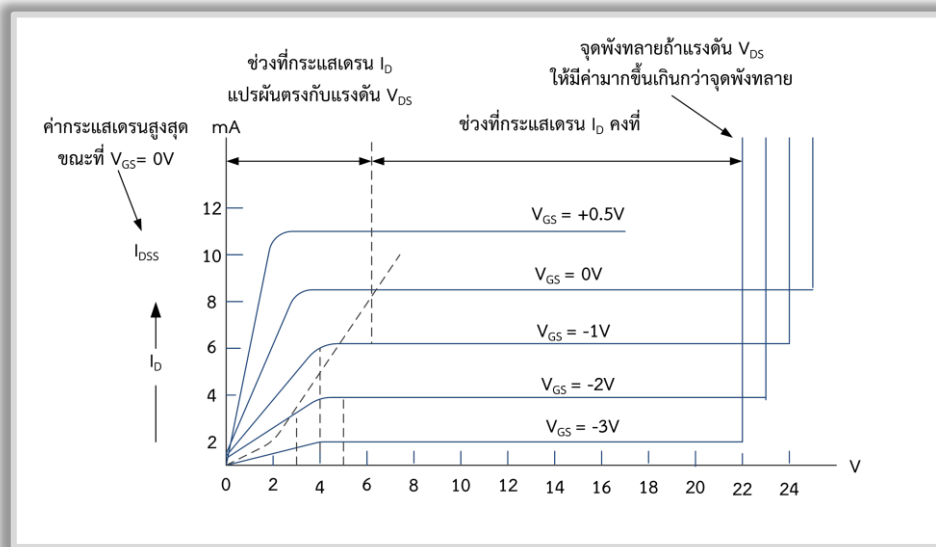
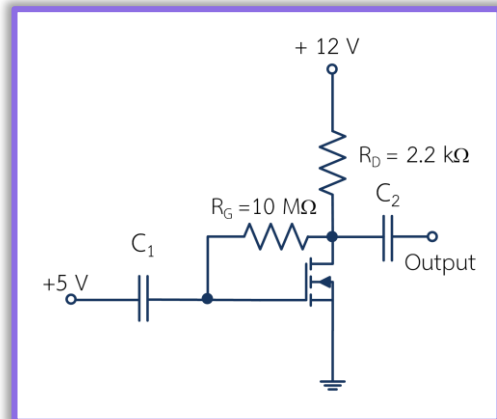
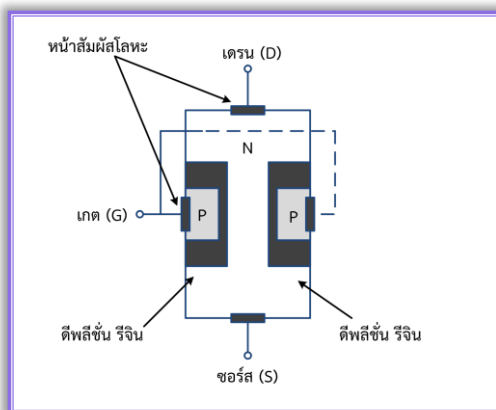


หน่วยที่ 6 คุณสมบัติและการวิเคราะห์การทำงานของ เฟตทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (Characteristic And Analysis FET DC Bias Circuit)



โดย

นายเอกนรินทร์ พลาชีวะ

แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

กระทรวงศึกษาธิการ

หน่วยที่ 6

คุณสมบัติและการวิเคราะห์การทำงานของ

เฟตทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง

(Characteristic And Analysis FET DC Bias Circuit)

สาระสำคัญ

ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า ซึ่งนิยมเรียกกันว่า เฟต (FET ย่อมาจาก Field Effect Transistor) เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งซึ่งมีหลักการทำงานด้วยสนามไฟฟ้าควบคุมการไหลของกระแส ซึ่งมีความแตกต่างจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั่วไปคือ เฟตจะใช้แรงดันที่ขาเกตมาควบคุมกระแสที่ไหลที่ขาเดรน คุณสมบัติที่ดีของเฟตที่ดีกว่าทรานซิสเตอร์คือ มีเสถียรภาพในการขยายคงที่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ขยายความถี่ที่มีแบนด์วิดท์กว้าง ขยายความถี่สูงได้ดีกว่าทรานซิสเตอร์

เฟตมีหลายรูปแบบ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

1. J-FET (Junction Field Effect Transistor)
2. MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ โครงสร้างและคุณสมบัติของเจเฟต การให้ไบอัส การวิเคราะห์การทำงานของ เจเฟต โครงสร้างและคุณสมบัติของมอสเฟต การให้ไบอัส การวิเคราะห์การทำงานของดีฟลีชั่นมอสเฟต การให้ไบอัส การวิเคราะห์การทำงานของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายคุณสมบัติของเฟตแบบต่างๆได้อย่างถูกต้อง
2. คำนวณหาค่าแรงดันและกระแสทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงของเจเฟต ได้อย่างถูกต้อง
3. คำนวณหาค่าแรงดันและกระแสทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงของดีฟลีชั่นมอสเฟตมอสเฟต

ได้อย่างถูกต้อง

4. คำนวณหาค่าแรงดันและกระแสทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต

ได้อย่างถูกต้อง

หัวข้อเนื้อหา

- 6.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของเจเฟต
- 6.2 การให้ไบอัส การวิเคราะห์การทำงานของ เจเฟต
- 6.3 โครงสร้างและคุณสมบัติของมอสเฟต
- 6.4 การให้ไบอัส การวิเคราะห์การทำงานของดีพลีชั่นมอสเฟต
- 6.5 การให้ไบอัส การวิเคราะห์การทำงานของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต

แบบทดสอบก่อนเรียน
หน่วยที่ 1 พื้นฐานสารกึ่งตัวนำและรอยต่อพี-เอ็น
(Basic Semiconductor and P-N Junction)

คำชี้แจง

1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
 2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที
-

1. นิวเคลียสมีส่วนประกอบมาจากข้อใด
 - ก. อิเล็กตรอนและอะตอม
 - ข. โปรตรอนและนิวตรอน
 - ค. อิเล็กตรอนและโปรตรอน
 - ง. อิเล็กตรอนและนิวตรอน
 - จ. นิวตรอนและอะตอม
2. อะตอมของสารซิลิกอน มีโปรตรอนจำนวนเท่าไร
 - ก. 4
 - ข. 14
 - ค. 29
 - ง. 32
 - จ. 34
3. ข้อใดคือความแตกต่างของแถบพลังงานระหว่าง ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ
 - ก. ฉนวนและสารกึ่งตัวนำมีแถบพลังงานที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนได้เกิน 8 ตัว
 - ข. ฉนวนและสารกึ่งตัวนำมีแถบพลังงานที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว
 - ค. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำ
 - ง. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำมากกว่าสารกึ่งตัวนำ
 - จ. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำเท่ากับสารกึ่งตัวนำ
4. กระบวนการเติมสารเจือปนลงไปในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ เรียกว่าอะไร
 - ก. Adding Impurities
 - ข. Ionization
 - ค. Recombination
 - ง. Diffusion
 - จ. Conduction Band

5. บริเวณหลอดพาหะ ประกอบด้วยข้อใด
 - ก. ประจุพาหะข้างน้อยที่เป็นโฮล
 - ข. ประจุพาหะข้างมากที่เป็นอิเล็กตรอนอิสระ
 - ค. ไอออนบวกเพียงอย่างเดียว
 - ง. ประจุพาหะข้างมากและประจุพาหะข้างน้อยในปริมาณเท่ากัน
 - จ. ไอออนบวกและไอออนลบ
6. ประจุพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นคือข้อใด
 - ก. โฮล
 - ข. โปรตอน
 - ค. อิเล็กตรอนอิสระ
 - ง. วาเลนซ์อิเล็กตรอน
 - จ. นิวตรอน
7. โฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น คือข้อใด
 - ก. ประจุพาหะข้างมากที่เกิดขึ้นเพราะการได้ป
 - ข. ประจุพาหะข้างมากที่เกิดขึ้นเพราะอุณหภูมิ
 - ค. ประจุพาหะข้างน้อยที่เกิดขึ้นเพราะอุณหภูมิ
 - ง. ประจุพาหะข้างน้อยที่เกิดขึ้นเพราะการได้ป
 - จ. ประจุพาหะข้างน้อยที่เกิดขึ้นเพราะการได้รับไบอัส
8. ความหมายของการไบอัส คือข้อใด
 - ก. จำนวนกระแสที่ข้ามรอยต่อพี-เอ็น
 - ข. การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้รอยต่อพี-เอ็น
 - ค. การจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพื่อควบคุมการไหลของกระแส
 - ง. จำนวนอิเล็กตรอนระหว่างพาหะข้างมากและพาหะข้างน้อย
 - จ. การทำให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ได้
9. เมื่อรอยต่อพี-เอ็นได้รับไบอัสตรงจะเกิดผลอย่างไร
 - ก. เกิดการพังทลายที่รอยต่อ
 - ข. เกิดกระแสวาลเลนซ์จำนวนมาก
 - ค. เกิดกระแสจำนวนหนึ่งจากพาหะข้างมาก
 - ง. เกิดกระแสจำนวนหนึ่งจากพาหะข้างน้อย
 - จ. เกิดการไหลของกระแสอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ

10. ถ้านำสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอนไปใช้ทำเป็นไดโอด เราต้องจ่ายแรงดันไบอัสตรงขนาดเท่าใดจึงจะทำให้ไดโอดนำกระแสได้

- ก. มากกว่า 0.3 V
- ข. น้อยกว่า 0.7 V
- ค. น้อยกว่า 0.3 V
- ง. มากกว่า 0.7 V
- จ. มากกว่า 0 V

หน่วยที่ 6

คุณสมบัติและการวิเคราะห์การทำงานของ

เฟตทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง

(Characteristic And Analysis FET DC Bias Circuit)

เนื้อหาสาระ

จาก 2 หน่วยการเรียนรู้ที่ผ่านมาก่อนหน้านี้เราได้ศึกษาและเรียนรู้เกี่ยวกับทรานซิสเตอร์มาแล้วสำหรับในหน่วยการเรียนรู้นี้ เราจะมาศึกษาและเรียนรู้เกี่ยวกับทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า ซึ่งนิยมเรียกกันว่า เฟต (FET ย่อมาจาก Field Effect Transistor) เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งซึ่งมีหลักการทำงานด้วยสนามไฟฟ้าควบคุมการไหลของกระแส ซึ่งมีความแตกต่างจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั่วไปคือ เฟตจะใช้แรงดันที่ขาเกตมาควบคุมกระแสที่ไหลที่ขาเดรน โดยแรงดันที่จ่ายให้ที่ขาเกตจะไปทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อพี-เอ็นในบริเวณที่ขาเกต เมื่อเพิ่มแรงดันไบอัสที่ขาเกตกับขาซอร์สมากขึ้น จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากขึ้นส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลระหว่างขาเดรนกับขาซอร์สลดลง เฟตจึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แรงดันเกตควบคุมกระแสเดรนกับกระแสซอร์ส แต่ในขณะที่ทรานซิสเตอร์จะใช้กระแสที่เบสควบคุมกระแสที่คอลเลคเตอร์กับกระแสเอมิเตอร์

คุณสมบัติที่ดีของเฟตที่ดีกว่าทรานซิสเตอร์คือ มีเสถียรภาพในการขยายคงที่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ขยายความถี่ที่มีแบนด์วิดท์กว้าง ขยายความถี่สูงได้ดีกว่าทรานซิสเตอร์ และเฟตมีการทำงานคล้ายคลึงกับหลอดสุญญากาศ เป็นต้น

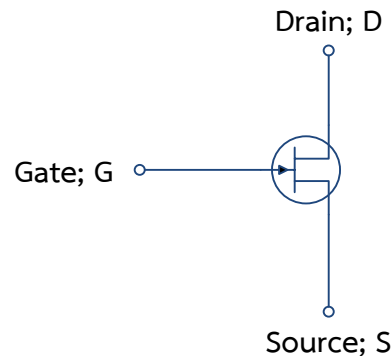
เฟตมีหลายรูปแบบ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

1. J-FET (Junction Field Effect Transistor)
2. MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)

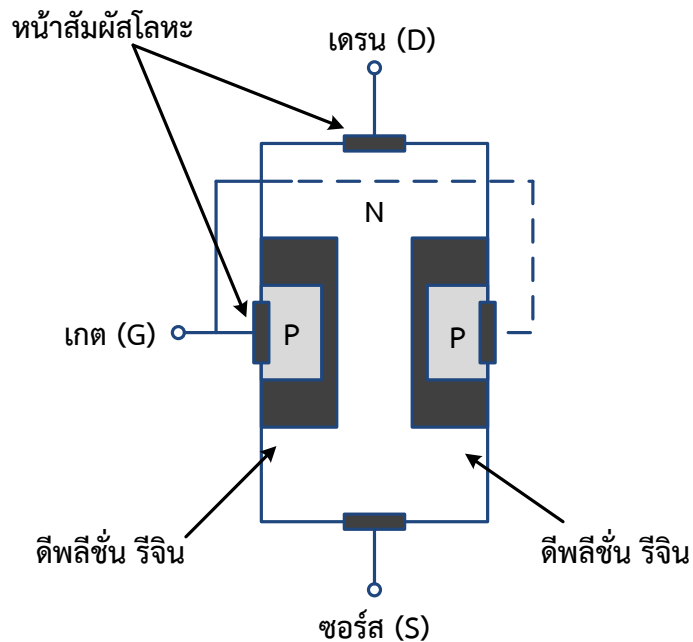
6.1 J-FET (Junction Field Effect Transistor)

ลักษณะโครงสร้างเป็นแบบ Depletion Region คือจะใช้ช่วง Depletion Region ของรอยต่อ P-N ไปสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นเพื่อควบคุมการไหลของอิเล็กตรอนจากขาซอร์ส (Source ; S) ไปขาเดรน (Drain ; D) ในโครงสร้างของ FET แบบ Depletion Region นี้ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ N-Channel J-FET และ P-Channel J-FET

6.1.1 N - Channel J-FET



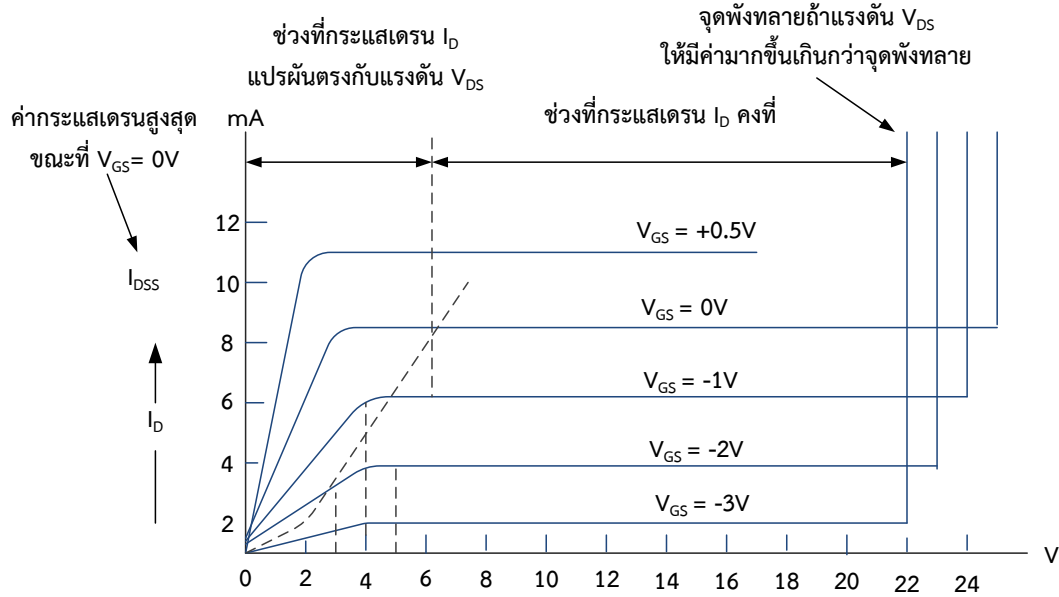
รูปที่ 6.1 สัญลักษณ์ของ N-Channel J-FET



รูปที่ 6.2 โครงสร้างของ N-Channel J-FET

ที่มา : สุคนธ์ พุ่มศรี. วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2544. หน้า 196

แรงดันที่จ่ายให้กับเกตของ J-FET จะเป็นตัวกำหนดค่าแรงดันไบอัสเกต (G) ค่าแรงดันนี้จะ เป็นแรงดันไบอัสให้กับรอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction) ซึ่งเป็นการให้ไบอัสกลับ (Reverse Bias) ทำให้ เกิดแถบ Depletion Region ขึ้นที่ N-Channel แถบของ Depletion Region นี้จะเป็นตัวควบคุมการ ไหลของอิเล็กตรอนที่ไหลจากขาเดรน (D) ไปหาขาสอร์ส (S) ซึ่งก็คือการควบคุมการไหลของกระแส เดรน (I_D) แสดงด้วยกราฟในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดง Drain Characteristics สำหรับ FET ชนิด N-Channel J-FET

ที่มา : สุคนธ์ พุ่มศรี. วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2544. หน้า 197.

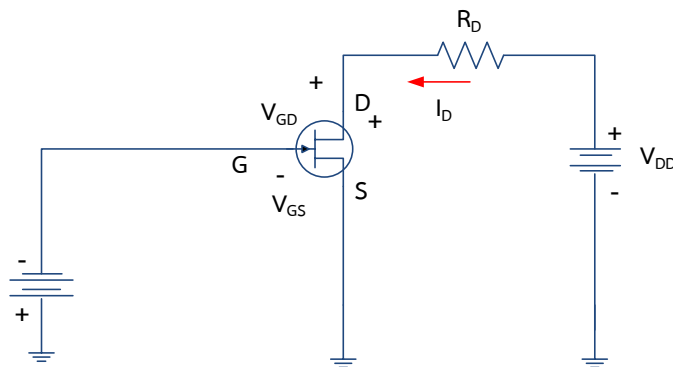
จากกราฟในรูปที่ 6.3 อธิบายค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้ Drain Saturation Current หรือ I_{DSS} คือ ค่ากระแสเดรนสูงสุดที่ไหลผ่าน J-FET ขณะที่จ่ายแรงดัน V_{DD} เข้าที่ขั้วเดรนและจ่ายแรงดันที่เกตให้มีความ 0 โวลต์ ($V_{GS} = 0\text{ V}$)

Pinch off Region คือช่วงที่กระแสเดรน (I_D) คงที่ถึงแม้ถ้าปรับค่าแรงดัน V_{DD} เพื่อให้ V_{DS} เปลี่ยนแปลงแต่กระแสเดรน (I_D) ไหลผ่านเดรนของ J-FET ก็ยังคงที่

Channel Ohmic Region คือ ย่านที่กระแสเดรน I_D แปรผันตรงกับแรงดัน V_{DS}

Gate-Channel Junction Breakdown คือ จุดพังทลายถ้าปรับแรงดัน V_{DS} ให้มีค่ามากขึ้นเกินกว่าจุดพังทลาย Breakdown นี้กระแสเดรน (I_D) จะไม่คงที่และจะมีค่าสูงมาก จะทำให้ J-FET เสียหายได้

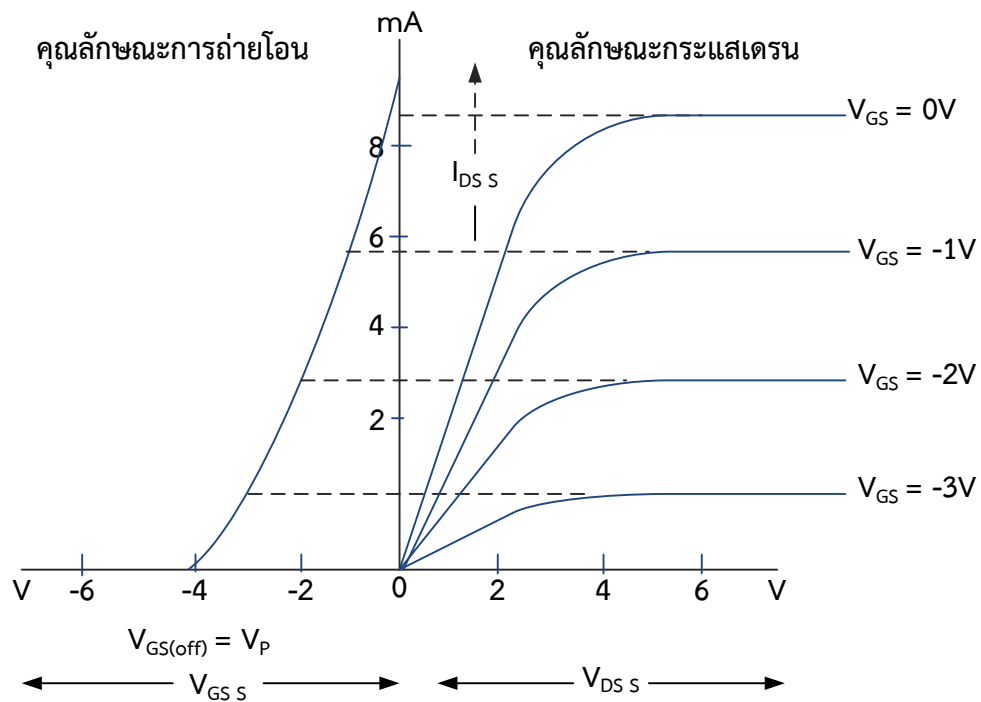
Pinch off Voltage คือ แรงดันพินช์ออฟเมื่อแรงดัน $V_{GS} = 0\text{ V}$ ค่าของแรงดัน V_{DS} ที่จุดนี้ที่ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านเดรนของ J-FET เท่ากับ I_{DSS}



รูปที่ 6.4 แสดงวงจรการให้ไบอัส J-FET ชนิด N-Channel J-FET

จากรูปที่ 6.4 เป็นวงจรการจ่ายไบอัสของ J-FET ชนิด N-Channel J-FET เมื่อจ่ายแรงดันไบอัสกลับที่ขาเกต (G) มากขึ้น ส่งผลให้แถบของ Depletion Region แคบยิ่งขึ้นทำให้กระแสเดรน (I_D) ไหลน้อยลงตามอัตราส่วนและถ้าแรงดันที่ขาเกต (G) เทียบกับขาซอร์ส (S) หรือ V_{GS} มีค่าเป็นศูนย์จะทำให้กระแสเดรน (I_D) ไหลสูงสุดดังแสดงในกราฟคุณสมบัติของ J-FET ชนิด N-Channel J-FET ในรูปที่ 6.5

กราฟคุณสมบัติของเฟตหาได้จากรูปวงจรที่ 6.4 เมื่อปรับแรงดันที่แหล่งจ่าย V_{DD} ให้มีแรงดันที่ขาเดรน (D) และซอร์ส (S) คือ V_{DS} ให้มีค่าคงที่และปรับแรงดันที่แหล่งจ่าย V_{GS} ให้มีแรงดันที่ขาเกต (G) เทียบกับขาซอร์ส (S) หรือ V_{GS} แต่ละครั้งให้บันทึก I_D และ V_{GS} ไว้แล้วทำการพล็อตค่าที่ได้จะได้กราฟคุณสมบัติของเฟต (Transfer Characteristic) ดังแสดงในรูปที่ 6.5

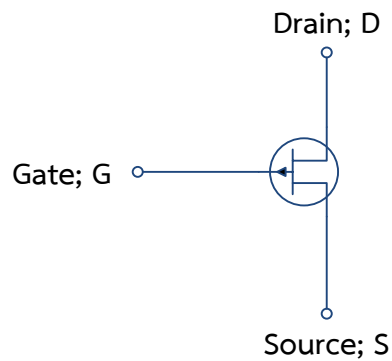


รูปที่ 6.5 แสดง Transfer Characteristics ร่วมกับ Drain Characteristics

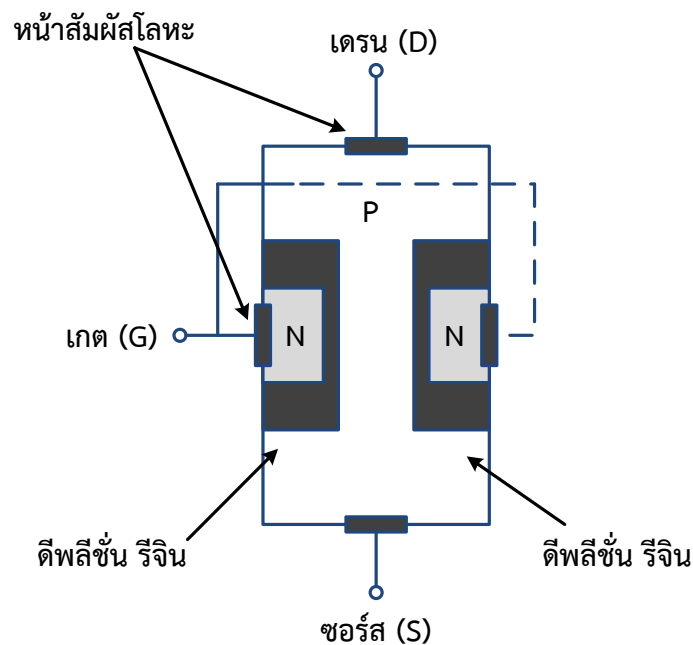
ที่มา : สุคนธ์ พุ่มศรี. วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2544. หน้า 198

จากกราฟในรูปที่ 6.5 เมื่อ V_{GS} เป็นลบมากขึ้นจะทำให้กระแสเดรน I_D ลดลงจนกระทั่งกระแสเดรน I_D เท่ากับศูนย์ เมื่อสังเกตกราฟ Transfer Characteristics ทางด้านซ้ายมือจะเป็นกราฟของ I_{DSS} (Drain to Source Current with Gate Shorted) จะเห็นว่ากราฟ I_{DSS} ตัดกับตำแหน่งของสเกล $-V_{GS}$ ซึ่งที่ตำแหน่งจุดตัดนี้เรียกว่า Gate Cutoff Voltage หรือ $V_{GS(off)} = V_P$ หรือเรียกว่าค่าแรงดันพินช์ออฟ (Pinch off Voltage)

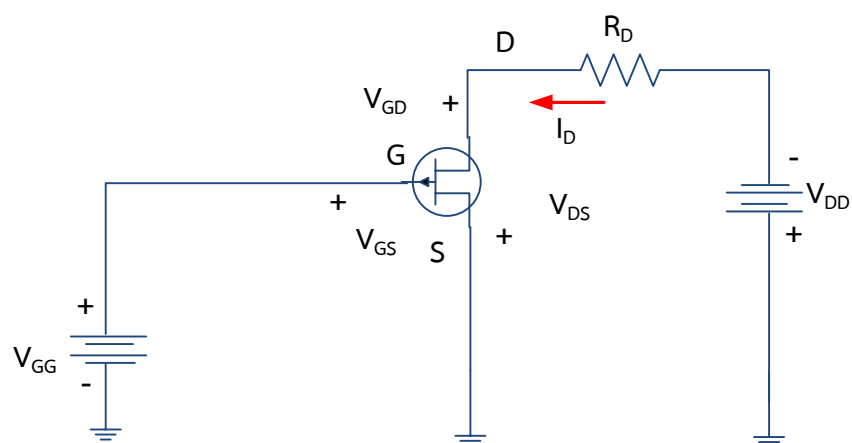
6.1.2 P - Channel J-FET



รูปที่ 6.6 สัญลักษณ์ของ P-Channel J-FET

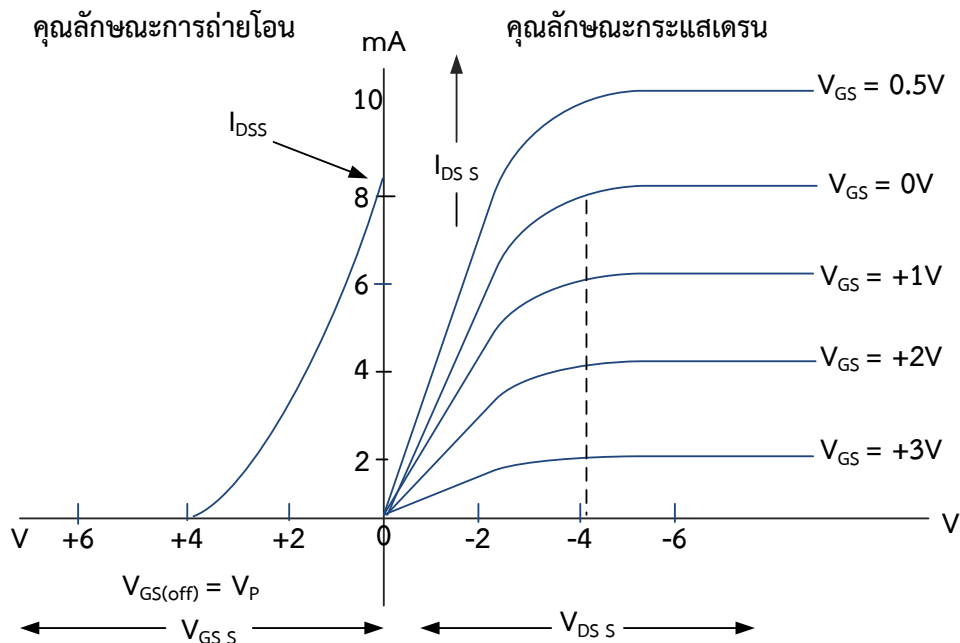


รูปที่ 6.7 โครงสร้างของ P-Channel J-FET



รูปที่ 6.8 แสดงวงจรการไบแอส J-FET ชนิด P-Channel J-FET

จากรูปที่ 6.8 การให้ไบอัสที่ขาเดรนกับขาซอร์สจะมีความต่างศักย์ที่ขาเดรนเป็นบวกและที่ขาซอร์สเป็นลบ ทิศทางการไหลของกระแสเดรน I_D จะไหลจากขาเดรนไปขาซอร์สส่วนการให้ไบอัสที่ขาเกตกับขาซอร์สจะให้แบบไบอัสกลับ (Reverse Bias) โดยที่ให้ขาเกตมีความต่างศักย์เป็นบวกและขาซอร์สเป็นลบ ซึ่งแรงดันที่จ่ายให้กับเกตนี้จะเป็นตัวควบคุมกระแสเดรน I_D เมื่อแรงดันที่เกตกับซอร์ส (V_{GS}) เป็นบวกมากขึ้น จะทำให้กระแสเดรน (I_D) ลดน้อยลงดังแสดงเป็นกราฟตามรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 แสดง Transfer Characteristics และ Drain Characteristics ของ P-Channel FET

ที่มา : สุนทร พุ่มศรี. วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2544. หน้า 199

จากกราฟแสดง Transfer Characteristics และ Drain Characteristics สามารถหาค่ากระแสเดรน (I_D) ได้จากสมการ

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2 \quad \dots 6.1$$

6.1.3 ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์ของ J-FET (g_m)

ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์ (g_m) คือ ค่าความนำในการส่งผ่านซึ่งหาได้จากอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสเดรน (ΔI_D) ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เกตและซอร์ส (ΔV_{GS}) เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราขยายแรงดัน (Voltage Gain) ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$g_m = \frac{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสเดรน}}{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เกตและซอร์ส}}$$

หรือ

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

หรือจะหาค่า g_m ได้จาก

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \quad \dots 6.2$$

หรือจะหาค่า g_m ได้จาก

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{V_{GS(off)}} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right] \quad \dots 6.3$$

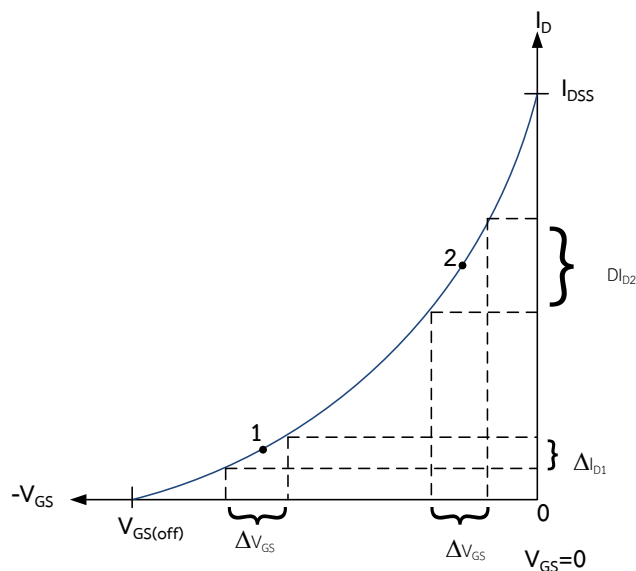
$$g_m = g_{m0} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right] \quad \dots 6.4$$

แต่หากไม่ทราบค่า g_{m0} ก็สามารถหาค่า g_m ได้เช่นกัน โดยใช้ค่าของ I_{DSS} และ $V_{GS(off)} = V_P$ ได้ดังสมการ

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \quad \dots 6.5$$

ซึ่งค่า $V_{GS(off)}$ อยู่ในเครื่องหมาย Absolute จึงไม่ต้องใช้เครื่องหมายในการคำนวณ จากกราฟในรูปที่ 6.10 สามารถเห็นค่า g_m ได้จากกราฟคุณสมบัติการถ่ายโอนหรือเรียกว่า Transfer Characteristic ว่า Transconductance Curve จะเห็นหาค่า g_m จะมีค่ามากเมื่อ V_{GS} ใกล้ 0 โวลต์ ตัวอย่างเช่น J-FET เบอร์ 2N3823 แสดงค่าในคู่มือว่ามีค่า $g_m = 3,400 \text{ S}$ ที่ $V_{GS} = 15 \text{ V}$ เป็นต้น

ทรานส์คอนดักแตนซ์ (g_m) มีหน่วยเป็น Micro Siemens (μS) หรือ Microamps / Volt ($\mu\text{A/V}$)



รูปที่ 6.10 การหาค่า g_m จากกราฟคุณสมบัติการถ่ายโอนของเจฟเกต
ที่มา : นภัทร วัฒนเทพินทร์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์, 2538. หน้า 281

6.1.4 Drain Resistance (r_d)

Drain Resistance (r_d) คือ ค่าความต้านทานภายในทางด้ายเอซี (AC Resistance) ระหว่างขาทรงและซอร์ส เมื่อเพตทำงานที่สภาวะ Pinch Off Region หาได้จาก

$$r_d = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D} \quad \dots 6.6$$

6.1.5 ค่าความต้านทานและค่าความจุทางอินพุต (Input Resistance and Capacitance)

เนื่องจากเจเพตรับแรงดันอินพุตเข้าทางขาทรงและอินพุตเป็นแรงดันไบอัสกลับจึงเป็นผลให้ค่าความต้านทานอินพุตของเจเพตมีค่าสูงมาก ดังนั้นหาความต้านทานอินพุตของเจเพตได้ดังนี้

$$R_{IN} = \left| \frac{V_{GS}}{I_{GSS}} \right| \quad \dots 6.7$$

ตัวอย่างเช่น เจเพตเบอร์ 2N3970 มีค่าในคู่มือดังนี้ $I_{GSS}=250 \text{ pA}$ ที่ $V_{GS}=-20 \text{ V}$ ที่ 25°C ซึ่งค่า I_{GSS} นี้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่ค่าความต้านทานอินพุตจะแปรกลับกัน

สำหรับค่าความจุไฟฟ้าทางอินพุตคือ C_{iss} (Input Capacitance) ตัวอย่างเช่น เจเพตเบอร์ 2N3970 มีค่าในคู่มือจะมีค่า C_{iss} สูงสุดเท่ากับ 25 pF ที่แรงดัน $V_{GS}=0 \text{ V}$

ตัวอย่างที่ 6.1 เจเพตเบอร์หนึ่งมีค่าใน Data Sheet ดังนี้ $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$, $V_{GS(off)} = -8 \text{ V}$, $g_{m0} = 2000 \text{ }\mu\text{S}$ จงหาค่าดังต่อไปนี้

(1) g_m ที่ $V_{GS}=-4\text{V}$

(2) I_D

วิธีทำ (1) หาค่า g_m ที่ $V_{GS}=-4\text{V}$ ได้ดังนี้
จากสมการที่ 6.4

$$g_m = g_{m0} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]$$

แทนค่าลงในสมการ

$$g_m = 2000 \text{ }\mu\text{S} \left[1 - \frac{-4 \text{ V}}{-8 \text{ V}} \right]$$

$$= 1000 \text{ }\mu\text{S}$$

ตอบ

(2) หาค่า I_D ได้ดังนี้

จากสมการที่ 6.1

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2$$

แทนค่าลงในสมการ

$$I_D = 10 \text{ mA} \left[1 - \frac{-4 \text{ V}}{-8 \text{ V}} \right]^2$$

$$= 2.5 \text{ mA}$$

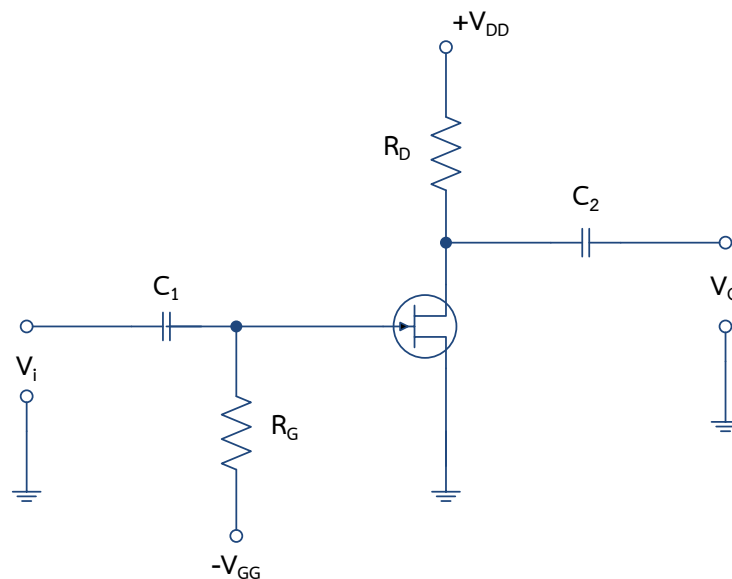
ตอบ

6.2 การให้ไบอัส วิเคราะห์การทำงานของเจเฟต

การให้ไบอัส J- FET เหมือนกับการให้ไบอัสทรานซิสเตอร์แบบวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ แต่จะมีข้อแตกต่างกันคือ การให้ไบอัสทรานซิสเตอร์ใช้กระแสเบส (I_B) ควบคุมการทำงานของวงจร ส่วนใน J- FET จะใช้แรงดันที่ขาคัด (V_G) เป็นตัวควบคุมกระแสเดรน (I_D) ซึ่งคุณลักษณะของ J- FET ที่ดีกว่าทรานซิสเตอร์ คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการขยายทางด้านความถี่สูงยิ่งดี แต่ถ้าเป็นทรานซิสเตอร์จะมีคุณสมบัติคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อัตราการขยายทางด้านความถี่สูงยิ่งต่ำลง ซึ่งวงจรขยายที่ใช้เฟตมีคุณสมบัติเหมือนวงจรขยายที่ใช้หลอดสุญญากาศขยายสัญญาณ ลักษณะการให้ไบอัสวงจรขยายโดยใช้ J- FET มีดังต่อไปนี้

6.2.1 การไบอัสแบบคงที่ (Fixed Bias Circuit)

การให้ไบอัสแบบนี้แรงดันที่ไบอัสที่ให้กับเกต (V_{GG}) จะจ่ายให้ขาคัดกับขาซอร์สเป็นแบบไบอัสกลับไม่มีกระแสเดรน (I_D) ไหลเมื่อไม่มีแรงดันตกคร่อม R_G หรือเมื่อไม่สัญญาณอินพุตป้อนเข้าวงจรขยายจะไม่มีสัญญาณขยายสัญญาณแต่วงจรนี้มีข้อเสียคือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทำให้อัตราการขยายของวงจรเปลี่ยนแปลงไปด้วยวงจรการให้ไบอัสแบบคงที่ของเจเฟตแสดงในรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 การไบอัสเจเฟตแบบคงที่

จากรูปที่ 6.10 สามารถหาค่าต่างได้ดังนี้

ค่าแรงดันที่ขาเกตกับขาซอร์ส (V_{GS})

$$V_{GS} = V_{GG} \quad \dots 6.8$$

ค่ากระแสเดรน (I_D)

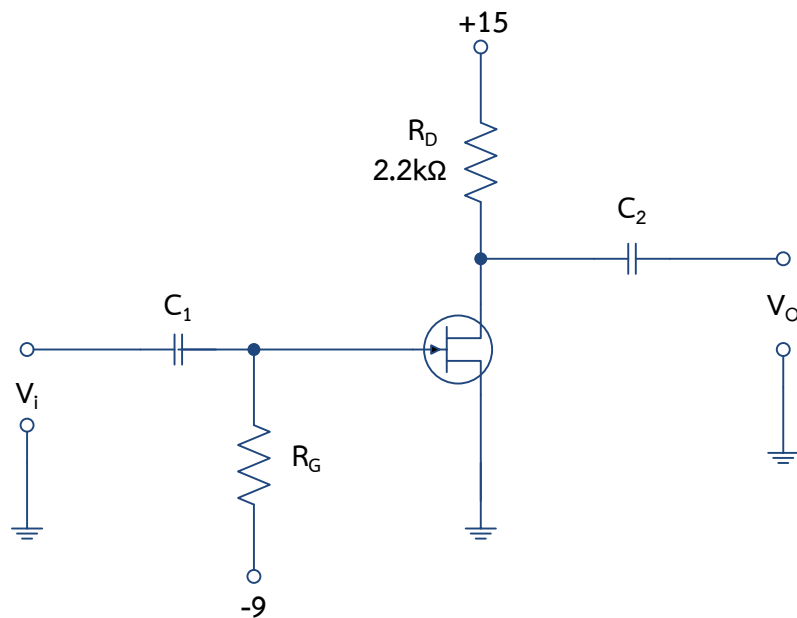
$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2 \quad \dots 6.9$$

ค่าแรงดันที่ขาเดรนกับขาซอร์ส (V_{DS})

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D \quad \dots 6.10$$

ตัวอย่างที่ 6.2 จากวงจรในรูปที่ 6.11 เจฟต N-Channel J-FET มีค่าในคู่มือ $V_{GS(off)} = -6 \text{ V}$ และ $I_{DSS} = 5 \text{ mA}$ ให้คำนวณหาค่าต่าง ๆ ภายในวงจรดังนี้

- (1) V_{GS}
- (2) I_D
- (3) V_{DS}



รูปที่ 6.11 การไบอัสเจฟต N-Channel J-FET แบบคงที่

วิธีทำ (1) หาค่า V_{GS} จากสมการที่ 6.8

$$V_{GS} = V_{GG}$$

$$V_{GS} = -9 \text{ V}$$

ตอบ

(2) หาค่า I_D จากสมการที่ 6.9

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2$$

$$I_D = 5 \text{ mA} \left[1 - \frac{-9 \text{ V}}{-6 \text{ V}} \right]^2$$

$$I_D = 1.25 \text{ mA}$$

ตอบ

(3) หาค่า V_{DS} จากสมการที่ 6.10

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

$$V_{DS} = 15 \text{ V} - (1.25 \text{ mA}) (2.2 \text{ k}\Omega)$$

$$V_{DS} = 12.25 \text{ V}$$

ตอบ

6.2.2 การไบอัสแบบตนเอง (Self Bias Circuit)

การไบอัสแบบตนเอง จากรูปที่ 6.12 ตัวต้านทาน R_G ถูกต่อลงกราวด์ ซึ่งปกติเจฟfetจะต้องได้รับไบอัสกลับที่ขาเกต ในกรณีการไบอัสตนเองนี้กระแส I_{GSS} จะมีค่าน้อยมาก

จากรูปที่ 6.12 วงจรไบอัสตนเองของเจฟfetทั้ง N-Channel และ P-Channel ตัวต้านทาน R_G ถูกต่อลงกราวด์ทำให้ $V_{RG} = 0 \text{ V}$ จึงทำให้ $V_G = 0 \text{ V}$ เช่นกัน

สำหรับเจฟfet N-Channel จากรูป 6.12 การให้ไบอัสวงจรถ่ายแบบ Self Bias จะพบว่า I_D ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R_S และค่าแรงดันระหว่างขาซอร์สกับกราวด์ คือ

ดังนั้น

$$V_S = I_D R_S$$

...6.11

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

$$V_{GS} = 0 \text{ V} - I_D R_S$$

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

...6.12

สำหรับเจฟfet P-Channel แรงดัน V_S จะเป็นลบและทำให้แรงดัน V_{GS} เท่ากับ

$$V_{GS} = I_D R_S$$

...6.13

พิจารณาที่เจฟfet N-Channel

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

...6.14

แต่

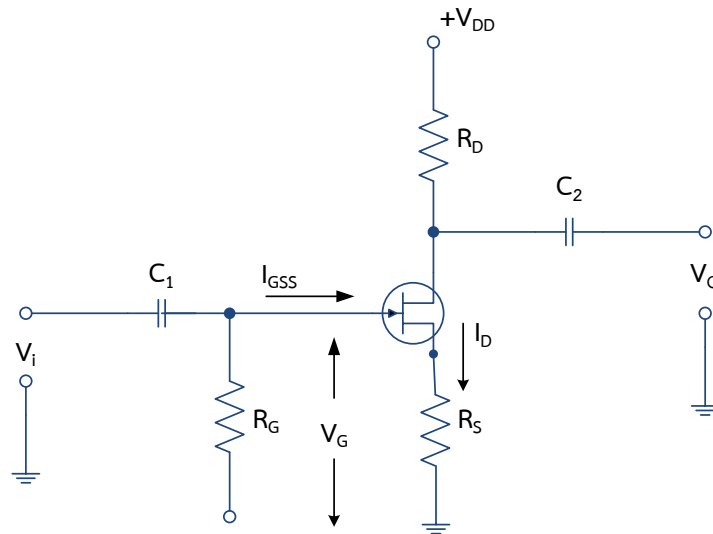
$$V_S = I_D R_S$$

ดังนั้น

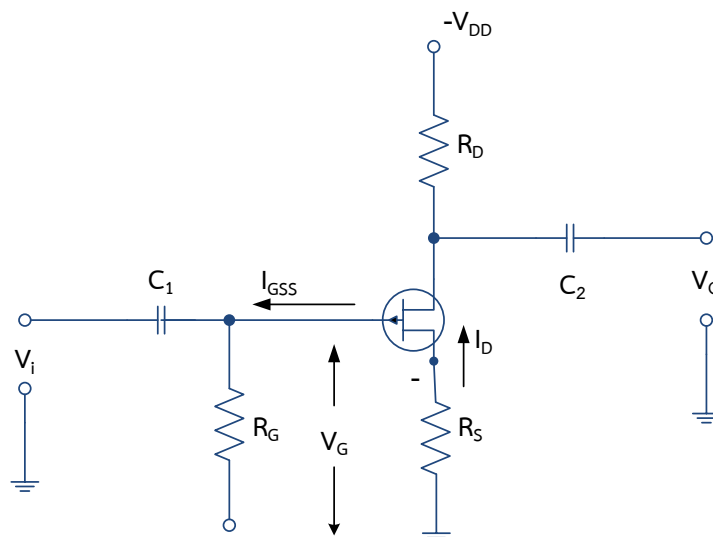
$$V_{DS} = V_D - V_S$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S)$$

...6.15



(ก) N-Channel J-FET



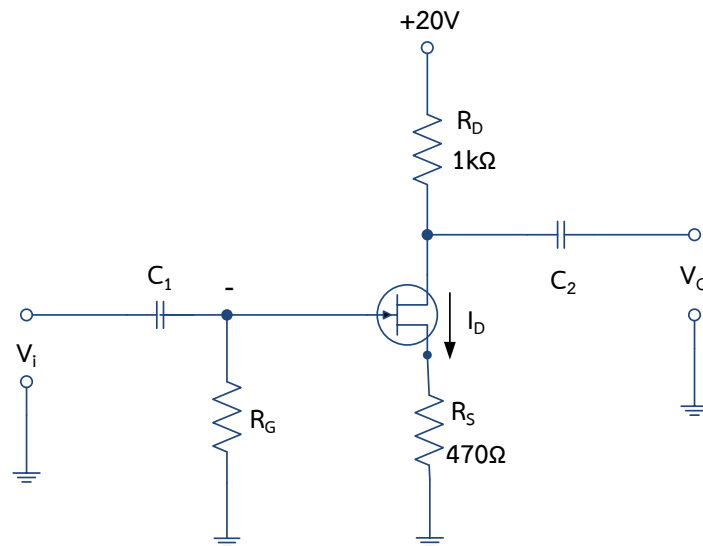
(ข) P-Channel J-FET

รูปที่ 6.12 การให้ไบอัสวงจรเจฟfet แบบ Self Bias ทั้ง N-Channel J-FET และ P-Channel J-FET

ตัวอย่างที่ 6.3 จากรูปที่ 6.13 เป็นวงจรไบอัสเจเฟตแบบ Self Bias กำหนดให้กระแสเดรน $I_D = 10 \text{ mA}$ จงคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

(1) V_{DS}

(2) V_{GS}



รูปที่ 6.13 เป็นวงจรไบอัสเจเฟตแบบ Self Bias

วิธีทำ

(1) หาค่า V_{DS} ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_S &= I_D R_S \\ &= (10 \text{ mA}) (470 \, \Omega) \\ &= 4.70 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_D &= I_D R_D \\ &= (10 \text{ mA}) (1 \text{ k}\Omega) \\ &= 10 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_D - V_S \\ &= 10 \text{ V} - 4.70 \text{ V} \\ &= 5.30 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ

(2) หาค่า V_{GS} ได้ดังนี้

$$V_G = 0 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

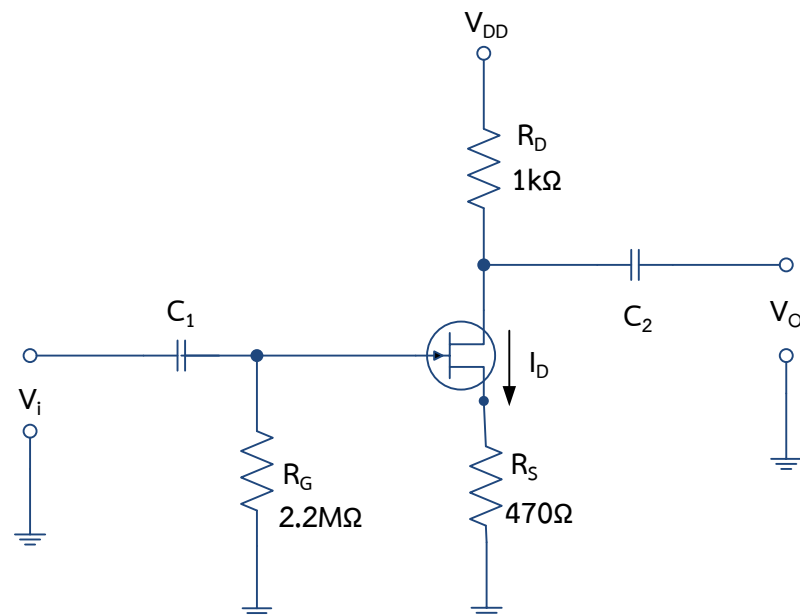
$$= 0 \text{ V} - 4.70 \text{ V}$$

$$= -4.70 \text{ V}$$

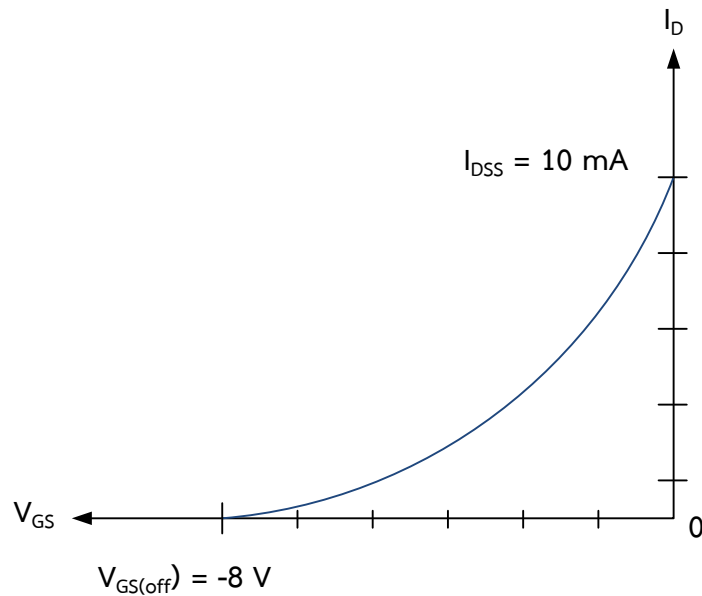
ตอบ

การวิเคราะห์กราฟของวงจรไบอัสตนเองของजेफेट (Graphical Analysis of Self Biased J-FET) คือการใช้กราฟคุณลักษณะการถ่ายโอนของजेफेटเพื่อจุดการทำงาน Q-Point คือการหาค่า I_D และ V_{GS} ของวงจร

จากวงจรไบอัสजेफेटแบบ Self Bias ในรูปที่ 6.14 ซึ่งสามารถเขียนกราฟคุณลักษณะการถ่ายโอนของวงจรได้ดังแสดงในกราฟรูปที่ 6.15 โดยกราฟนี้อาจเขียนโดยกำหนดจุดต่างๆจากค่า I_{DSS} และ $V_{GS(off)}$



รูปที่ 6.14 วงจรไบอัสजेफेटแบบ Self Bias



รูปที่ 6.15 กราฟคุณลักษณะการถ่ายโอนของวงจรไบอัสเจเฟตแบบ Self Bias

จากกราฟดังแสดงในรูปที่ 6.15 หาจุดการทำงานของเจเฟตได้โดยลำดับดังนี้

1. หาค่า V_{GS} ที่ $I_D = 0$ mA จากสมการที่ 6.12

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

$$V_{GS} = (0 \text{ mA})(470 \Omega)$$

$$V_{GS} = 0 \text{ V}$$

ดังนั้นเมื่อ $I_D = 0$ mA จะได้ $V_{GS} = 0$ V

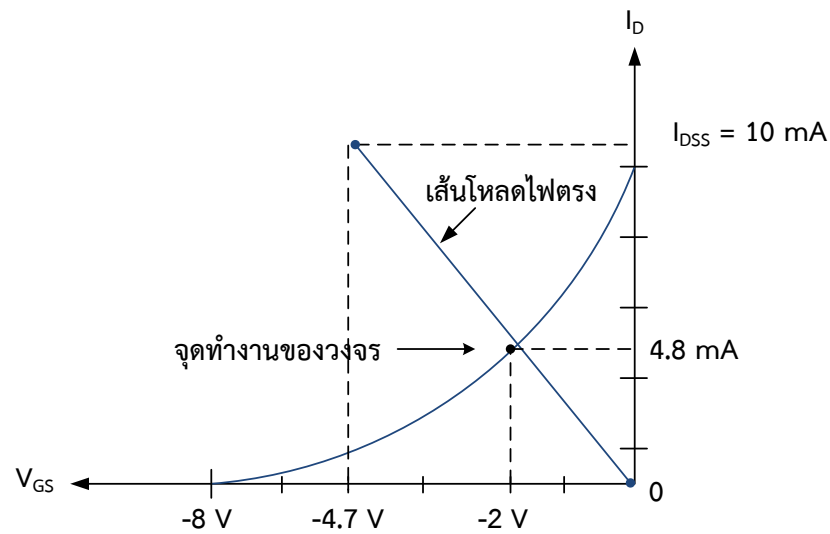
2. หาค่า V_{GS} ที่ $I_D = I_{DSS}$ จากกราฟ $I_{DSS} = 10$ mA

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

$$V_{GS} = -(10 \text{ mA})(470 \Omega)$$

$$V_{GS} = -4.7 \text{ V}$$

3. นำข้อมูลจากข้อ 1 และ 2 มากำหนดจุดบนกราฟที่ $I_D = 10$ mA และ $V_{GS} = -4.7$ V แล้วลากเส้นจากจุด 0 ไปยังจุดที่กำหนดที่เกิดขึ้นใหม่จะได้เส้นโหลดไฟตรง (DC Load Line) ของวงจรในรูปที่ 6.16

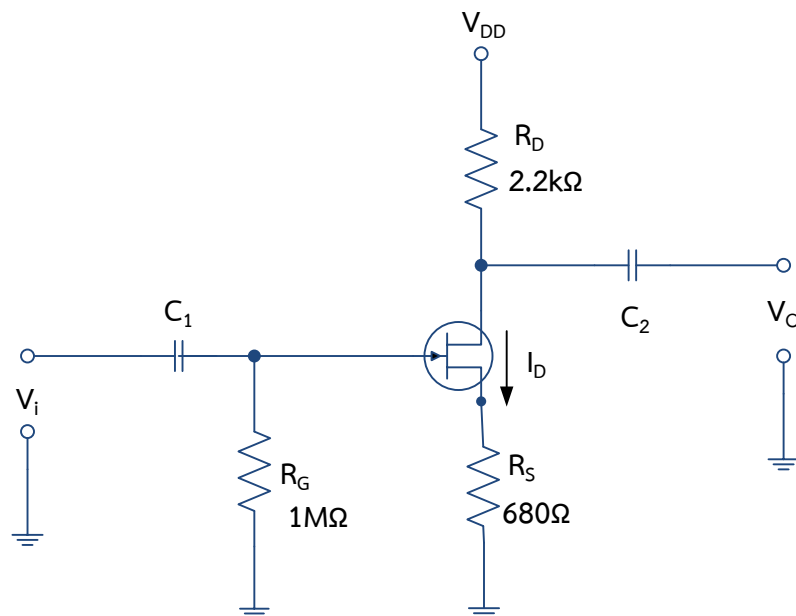


รูปที่ 6.16 แสดงเส้นโหลดไฟตรงและจุดการทำงาน

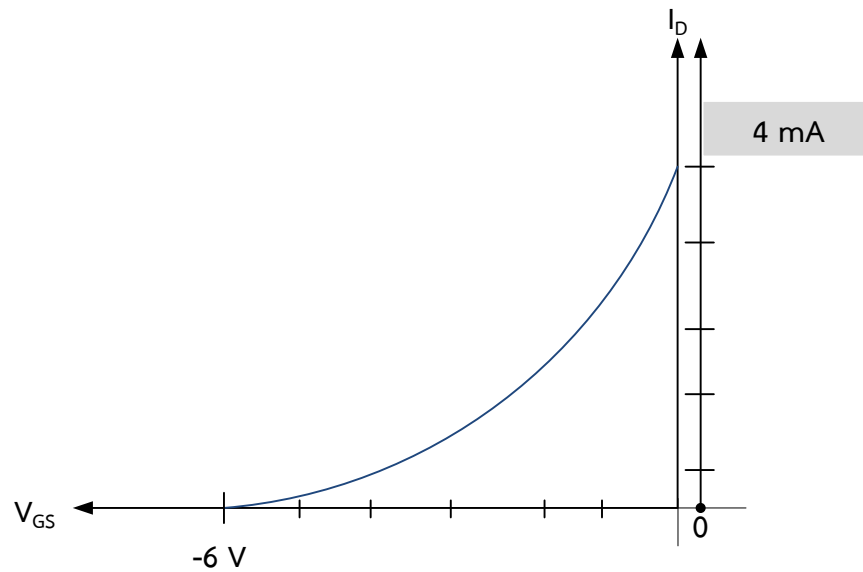
ที่มา : นภัทร วัฒนเทพินทร์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์, 2538. หน้า 225.

4. จุดที่เส้นโหลดไฟตรงตัดกับเส้นกราฟคุณลักษณะการถ่ายโอนคือจุดทำงานของวงจรคือจุด Q-Point จะพบว่าจุดนี้สามารถหาค่า I_D และ V_{GS} จากกราฟจะได้ว่า $I_D = 4.8 \text{ mA}$ และ $V_{GS} = -2 \text{ V}$

ตัวอย่างที่ 6.7 จากวงจรในรูปที่ 6.17 หาจุดการทำงานของวงจรโดยใช้กราฟในรูปที่ 6.18 ช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่า I_D และ V_{GS}



รูปที่ 6.17 วงจรไบอัสเจเฟตแบบ Self Bias



รูปที่ 6.18 กราฟคุณลักษณะการถ่ายโอนของวงจรไบอัสเฟตแบบ Self Bias

วิธีทำ มีขั้นตอนดังนี้

1. ที่ $I_D = 0 \text{ mA}$

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

$$V_{GS} = (0 \text{ mA})(680 \Omega)$$

$$V_{GS} = 0 \text{ V}$$

2. ที่ $I_D = I_{DSS}$ จากกราฟ $I_{DSS} = 4 \text{ mA}$

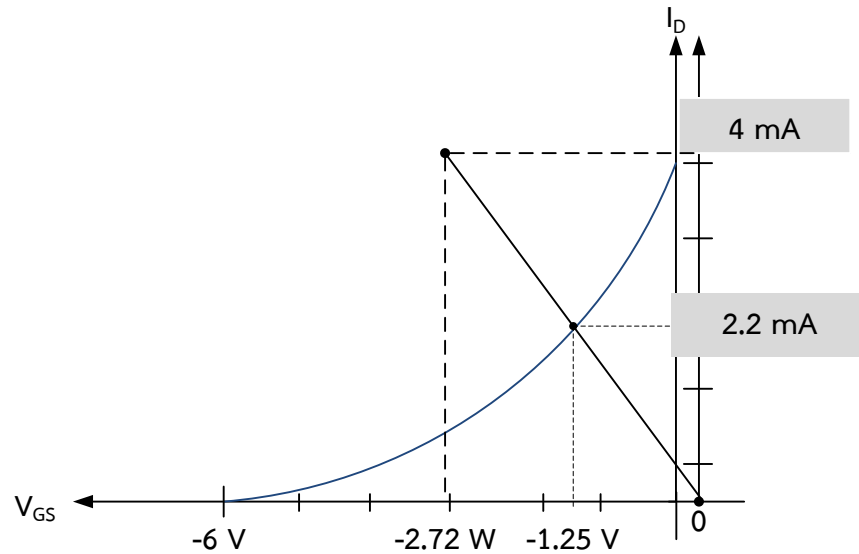
$$V_{GS} = -I_D R_S$$

$$V_{GS} = -(4 \text{ mA})(680 \Omega)$$

$$V_{GS} = -2.72 \text{ V}$$

3. ลากเส้นโหนดไฟตรงในกราฟ เพื่อหาจุดการทำงาน และหาค่า I_D และ V_{GS} ได้ดังแสดงในกราฟในรูปที่ 6.19

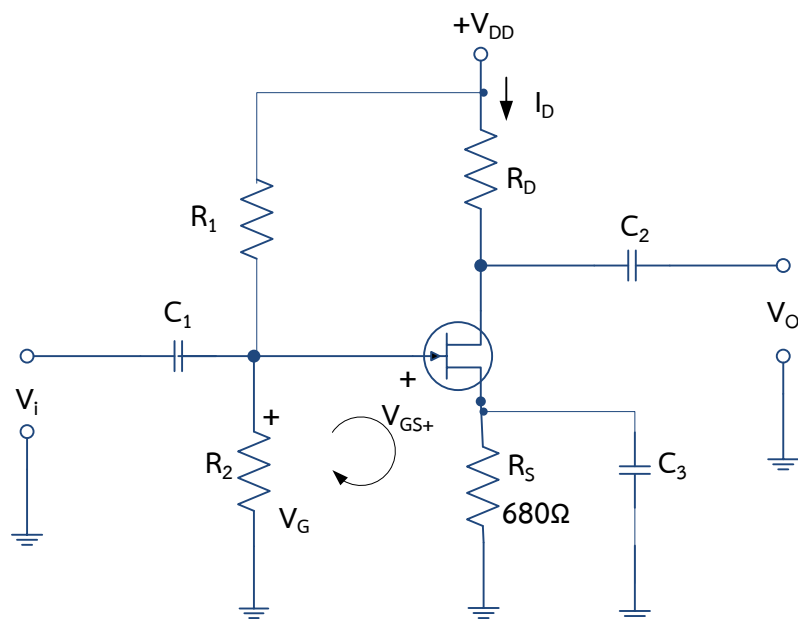
ตอบ



รูปที่ 6.19 แสดงจุดการทำงานของวงจรจากกราฟคุณลักษณะการถ่ายโอน

6.2.3 การไบอัสแบบแบ่งแรงดัน (Voltage Divider Bias Circuit)

การให้ไบอัสแบบ Voltage Divider เหมือนกับการให้ไบอัสทรานซิสเตอร์แบบเสถียรภาพ (Stabilize Bias) ซึ่งลักษณะการให้ไบอัสแบบนี้จะทำให้เกณฑ์การขยายของวงจรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิทำให้เสถียรภาพในการขยายของวงจรดีขึ้นในการออกแบบวงจรต้องนำกราฟทรานสดักต์แทนซ์จากคู่มือการใช้งานของเจฟตมาหาค่า DC Bias Line ของวงจร Voltage Divider ลักษณะการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 6.20



รูปที่ 6.20 แสดงการให้ไบอัสแบบ Voltage Divider Bias

จากรูปที่ 6.20 หาค่าแรงดันที่ขาเกต (V_G) ได้ดังนี้

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} \quad \dots 6.17$$

จาก Kirchhoff's Voltage Law จะได้

$$V_G - V_{GS} - V_{RS} = 0$$

$$V_{GS} = V_G - V_{RS}$$

เมื่อ $V_{RS} = I_D R_S$

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S \quad \dots 6.18$$

แรงดันที่ขาซอร์ส (V_S) หาได้จาก

$$V_S = V_G - V_{GS}$$

กระแสเดรน (I_D) หาได้จาก

$$I_D = \frac{V_S}{R_S}$$

จะได้ว่า

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S} \quad \dots 6.19$$

แรงดันตกคร่อมระหว่างขาเดรนและขาซอร์ส (V_{DS})

$$V_{GS} = V_{DD} - V_{RD} - V_{RS}$$

$$V_{GS} = V_{DD} - I_D R_D + I_D R_S$$

$$V_{GS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S) \quad \dots 6.20$$

แรงดันที่ขาเดรน (V_D) หาได้จาก

$$V_D = V_{DD} - V_{RD} \quad \dots 6.21$$

การวิเคราะห์วงจรการไบอัสแบบแบ่งแรงดันของजेเพตด้วยกราฟเป็นวิธีการหาค่า I_D และ V_{GS} โดยการประมาณค่าจากกราฟ การหาจุดการทำงานของวงจรได้โดยการหาเส้นโหลดไฟตรงและลากเส้นโหลดไฟตรงตัดกับเส้นกราฟคุณลักษณะการถ่ายโอนของजेเพต โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ที่ $I_D = 0 \text{ mA}$

$$V_S = I_D R_S$$

$$V_S = (0)(R_S) = 0 \text{ V}$$

$$V_S = 0 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

$$V_{GS} = V_G - 0 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G$$

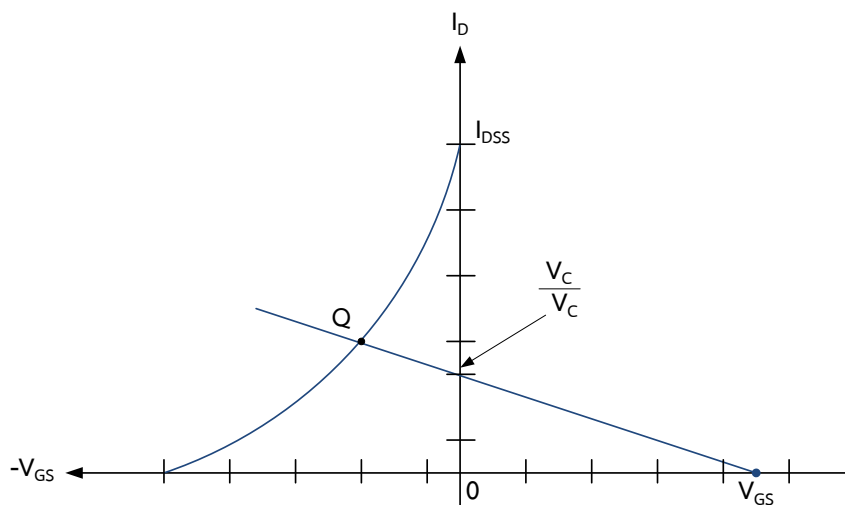
จะได้ค่า $V_{GS} = V_G$ ที่ $I_D = 0 \text{ mA}$

2. เมื่อ $V_{GS} = 0 \text{ V}$

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S}$$

$$I_D = \frac{V_G}{R_S}$$

จะได้ค่า $I_D = V_G / R_S$ ที่ $V_{GS} = 0 \text{ V}$



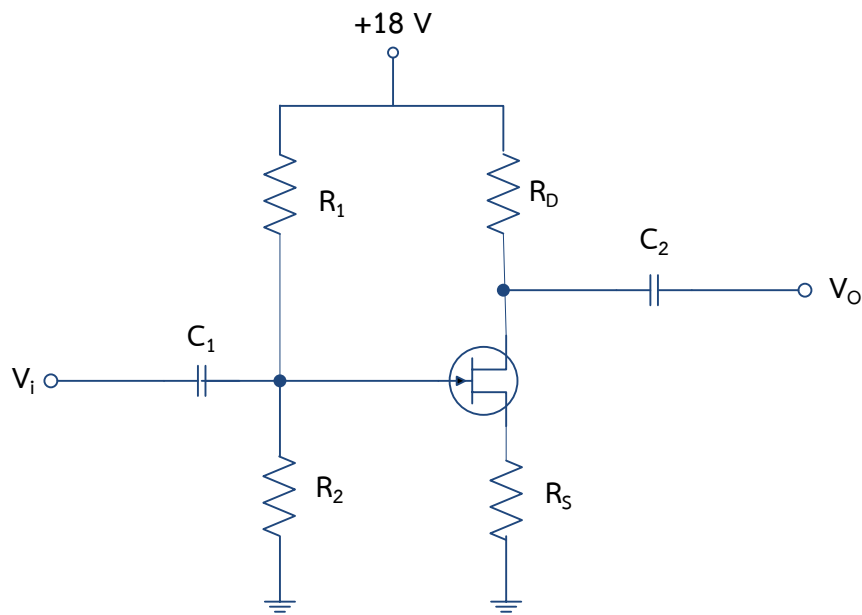
รูปที่ 6.21 แสดงการหาเส้นโหลดไฟตรงและการทำงาน (Q-Point)

ของวงจรไบอัสजेเพตแบบแบ่งแรงดัน

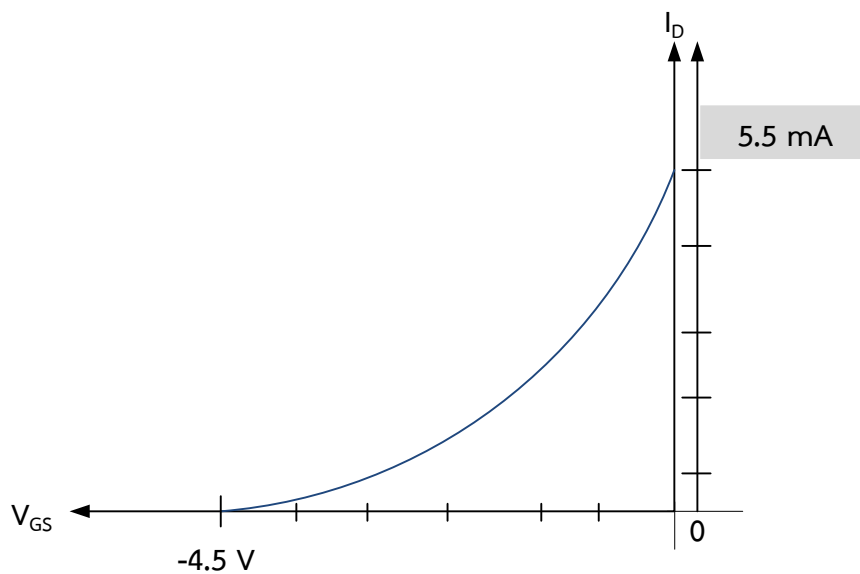
ที่มา : นภัทร วัฒนเทพินทร์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์, 2538. หน้า 230.

3. จากรูปที่ 6.21 แสดงการลากเส้นตรงผ่านจุดค่าในข้อที่ 1 และ 2 จะได้เส้นโหลดไฟตรงและลากตัดกับกราฟคุณลักษณะการถ่ายโอนของเจเฟต จะได้จุดการทำงานของวงจร (Q-Point) ซึ่งจะสามารถทราบค่า I_D และ V_{GS}

ตัวอย่างที่ 6.8 จากวงจรในรูปที่ 6.22 เป็นวงจรไบอัสเจเฟตแบบแบ่งแรงดัน จงหาจุดการทำงานของวงจรโดยใช้กราฟในรูปที่ 6.23 ช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่า I_D และ V_{GS}



รูปที่ 6.22 วงจรไบอัสเจเฟตแบบ Voltage Divider



รูปที่ 6.23 กราฟคุณลักษณะการถ่ายโอนของวงจรไบอัสเจเฟตแบบ Voltage Divider

วิธีทำ 1. ที่ $I_D = 0 \text{ mA}$

$$V_{GS} = V_G = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{DD}$$

$$V_{GS} = \left(\frac{2.2 \text{ M}\Omega}{2.2 \text{ M}\Omega + 2.2 \text{ M}\Omega} \right) (18 \text{ V})$$

$$V_{GS} = 4 \text{ V}$$

จุดที่ 1 เมื่อ $I_D = 0 \text{ mA}$ จะได้ $V_{GS} = 4 \text{ V}$

2. เมื่อ $V_{GS} = 0 \text{ V}$

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S}$$

$$I_D = \frac{V_G}{R_S}$$

$$I_D = \frac{4 \text{ V}}{3.3 \text{ k}\Omega}$$

$$I_D = 1.2 \text{ mA}$$

จุดที่ 2 เมื่อ $V_{GS} = 0 \text{ V}$ จะได้ $I_D = 1.2 \text{ mA}$

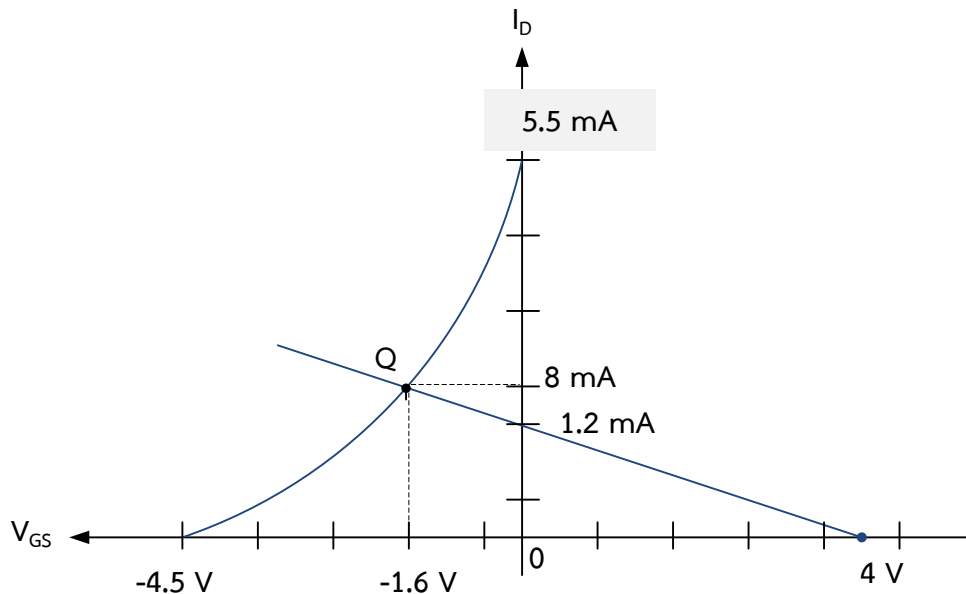
3. ลากเส้นโหลดไฟตรงตัดที่จุดที่ 1 และ 2 ดังแสดงในรูปที่ 6.24 เพื่อหาจุดการทำงานของวงจร (Q-Point) จะได้ค่าดังนี้

$$I_D = 1.8 \text{ mA}$$

ตอบ

$$V_{GS} = -1.6 \text{ V}$$

ตอบ



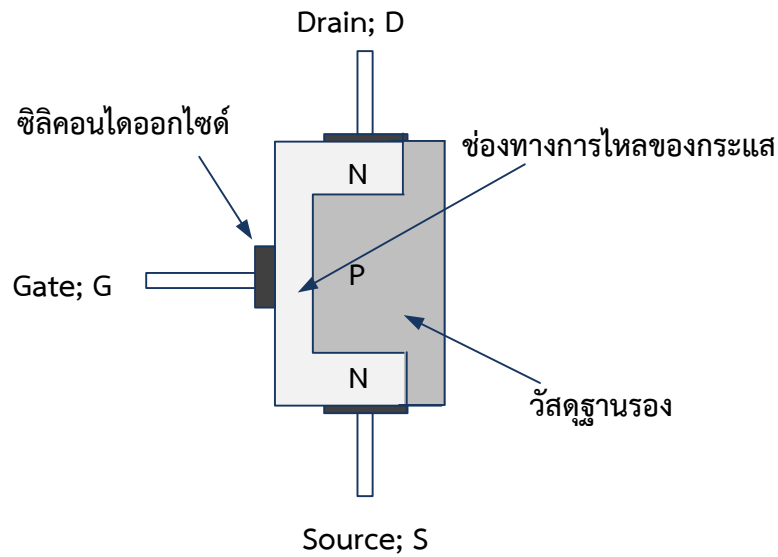
รูปที่ 6.24 จุดการทำงานของวงจร (Q-Point)

6.3 โครงสร้างและคุณสมบัติของมอสเฟต

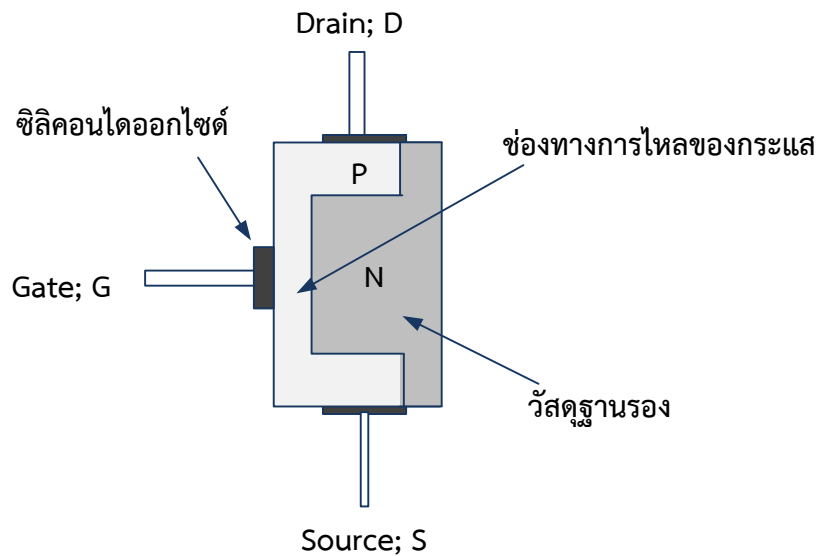
มอสเฟตจะแตกต่างจากเจเฟตที่โครงสร้างภายใน กรณีเจเฟตระหว่างขาเกิดกับช่องทางการไหลของกระแสไฟฟ้ามีโครงสร้างเป็นรอยต่อพี-เอ็น แต่มอสเฟตนั้นระหว่างเกิดกับช่องทางการไหลของกระแสไฟฟ้ามีโครงสร้างเป็นชั้น (Layer) ของซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) โครงสร้างของ MOSFET มีอยู่ 2 แบบคือ ดีพลีชัน (Depletion) และเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement) ซึ่งแต่ละแบบยังแบ่งตามชนิดของสารกึ่งตัวนำได้เป็น 2 ชนิด คือ N-Channel และ P-Channel

6.3.1 ดีพลีชันมอสเฟต (Depletion MOSFET)

โครงสร้างพื้นฐานของดีพลีชันมอสเฟต ถ้าเป็นชนิด N-Channel ช่องทางเดินกระแสระหว่างขาเดรนและขาซอร์ส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N และมีวัสดุฐานรอง (Substrate) เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดตรงข้าม และถ้าเป็นชนิด P-Channel ช่องทางเดินกระแสระหว่างขาเดรนและขาซอร์ส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P และมีวัสดุฐานรอง (Substrate) เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดตรงข้ามและมีขาเกตติดอยู่ระหว่างช่องทางการเดินกระแส โดยมีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) กั้นระหว่างขาเกิดกับช่องทางการเดินกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 6.25



(ก) N-Channel



(ข) P-Channel

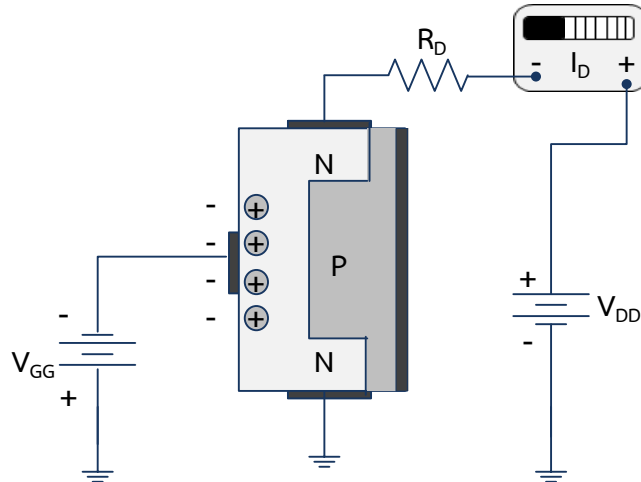
รูปที่ 6.25 แสดงโครงสร้างพื้นฐานดีฟลิชั่นมอสเฟต

ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์, 2538. หน้า 232

ดีฟลิชั่นมอสเฟตทำงานได้ 2 ลักษณะคือ ดีฟลิชั่นโหมด (Depletion Mode) เป็นการทำงานที่ควบคุมกระแสเดรนด้วยแรงดันที่เป็นลบและเอนฮานซ์เมนต์โหมด (En-hancement Mode) การควบคุมกระแสเดรนด้วยแรงดันที่เป็นบวก

ดีฟลิชั่นโหมด (Depletion Mode) เป็นการทำงานของดีฟลิชั่นมอสเฟตที่อาศัยหลักการของตัวเก็บประจุคือ ที่ขาคเกตของดีฟลิชั่นมอสเฟตเป็นโลหะและมีฉนวน (ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)) กั้นระหว่างเพลทของเกตกับช่องทางการไหลกระแสเมื่อให้แรงดันที่ขาคเกตเป็นลบ ($-V_{GG}$) จะเกิดประจุลบที่

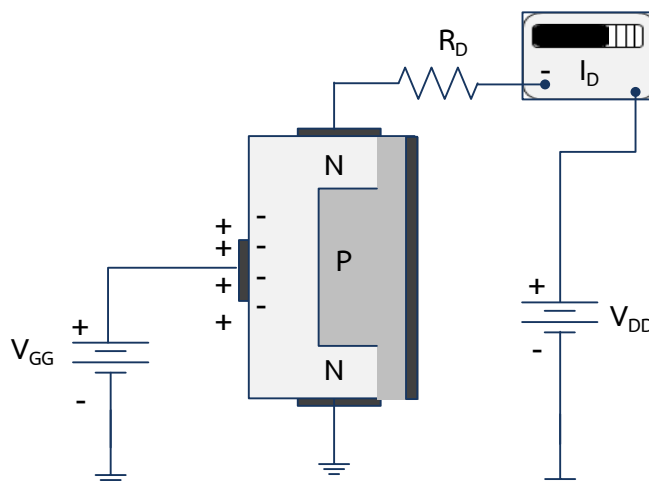
ขาคัดและประจุบวกที่ช่องทางการไหลกระแสภายในตัวดีฟิชั่นมอสเฟต ประจุบวกนี้จะทำให้ช่องทางการไหลกระแสระหว่างขาคัดและขาซอร์สแคบลงทำให้กระแสเดรน (I_D) ไหลได้น้อย แต่ถ้าให้ $V_{GG}=0$ V กระแสเดรน (I_D) จะไหลได้สูงสุด ดังนั้นสามารถควบคุมกระแสเดรน (I_D) ได้ด้วยค่าแรงดันที่ขาคัดระหว่างค่าของ V_{GG} เท่ากับ $V_{GS(off)}$ จนถึง 0 V ดังแสดงในรูปที่ 6.26



รูปที่ 6.26 Depletion Mode : V_{GS} Negative and Less than $V_{GS(off)}$

ที่มา : นภัทร วัฒนเทพินทร์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์, 2538. หน้า 232

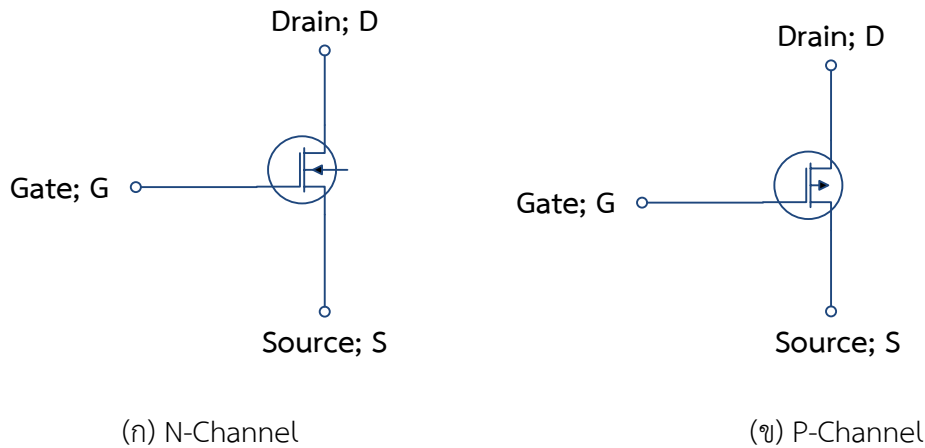
เอนฮานซ์เมนต์โหมด (Enhancement Mode) การให้แรงดันที่ขาคัดดีฟิชั่นมอสเฟตเป็นบวก เกิดจะได้รับประจุบวกจากแหล่งจ่าย V_{GG} ทำให้ในช่องทางการไหลของกระแสเป็นประจุลบ ซึ่งช่องทางการไหลกระแสไม่มีประจุชนิดตรงข้ามที่จะทำให้ช่องทางการไหลกระแสแคบลงจึงทำให้กระแสเดรนไหลได้จำนวนมาก และถ้า $V_{GG}=0$ V จะทำให้กระแสเดรนไหลน้อยลง



รูปที่ 6.27 Enhancement Mode : V_{GS} Positive

ที่มา : นภัทร วัฒนเทพินทร์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์, 2538. หน้า 232

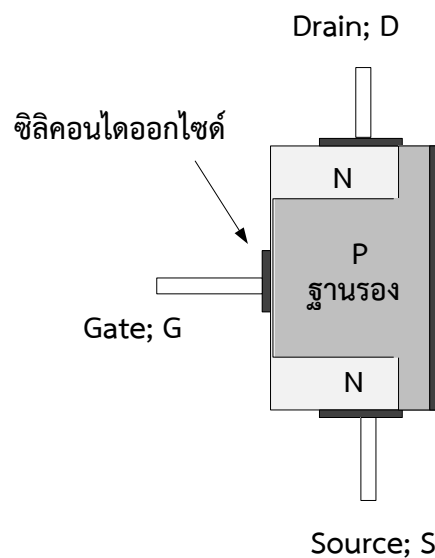
สัญลักษณ์ของดีฟิชั่นมอสเฟตทั้งชนิด N-Channel และ P-Channel



รูปที่ 6.28 แสดงสัญลักษณ์ของดีฟิชั่นมอสเฟตทั้ง N-Channel และ P-Channel

6.3.2 เอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต (Enhancement MOSFET)

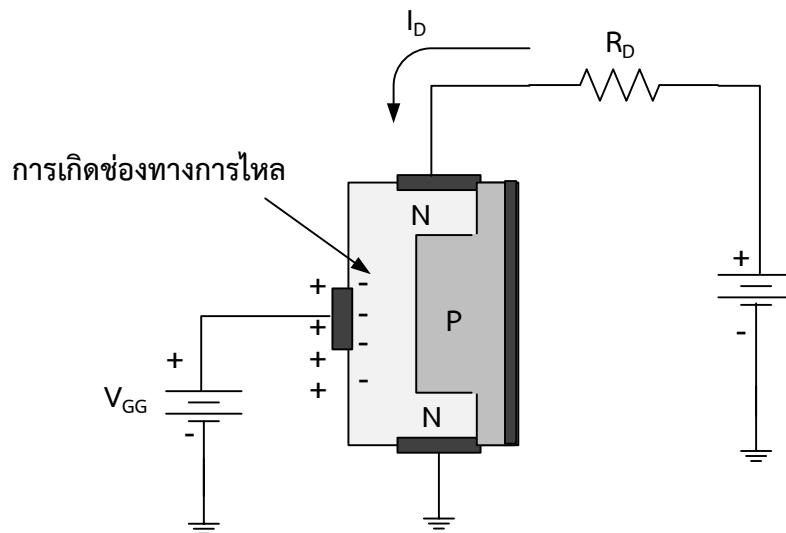
เอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตจะทำงานในลักษณะเอนฮานซ์เมนต์โหมดเพียงลักษณะเดียว ไม่สามารถทำงานในดีฟิชั่นโหมดได้ โครงสร้างของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตแตกต่างจากดีฟิชั่นมอสเฟตตรงที่ช่องทางเดินกระแสจะถูกสร้างขึ้นด้วยการจ่ายแรงดันไบอัสที่เกต ในสถานะที่เกตไม่ได้รับแรงดันไบอัสก็จะมีช่องทางการเดินของกระแสระหว่างชาเดรนและชาซอร์ส ดังแสดงในรูปที่ 6.28 เป็นเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตชนิด N-Channel ซึ่งจะเห็นว่าชาเดรนและชาซอร์สเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N แต่ไม่มีช่องทางต่อถึงกัน สารกึ่งตัวนำชนิด P เป็นวัสดุฐานรองและระหว่างเกตกับชาซอร์สมีฐานรองมีซิลิคอนไดออกไซด์เป็นฉนวนกั้นกลาง



รูปที่ 6.29 โครงสร้างภายในของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต N-Channel

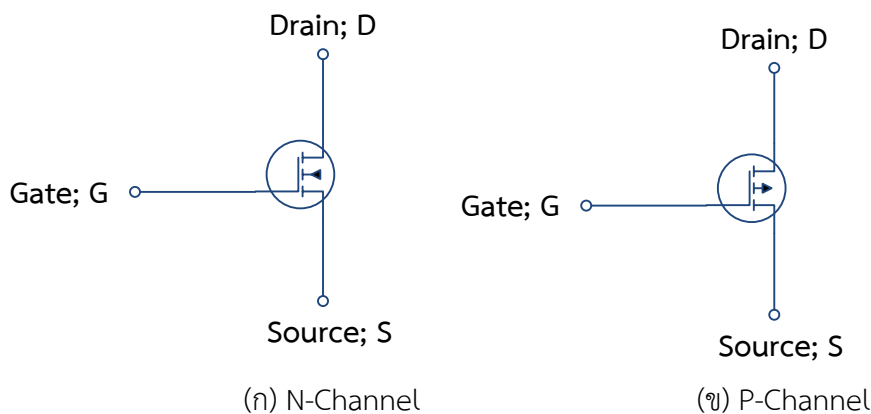
ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์, 2538. หน้า 233.

การทำงานในเอนฮานซ์เมนต์โหมดต้องจัดไบอัสด้วยแรงดันบวก เกตได้รับแรงดันบวกที่เพลทของเกตจะเกิดประจุบวก และวัสดุฐานรองของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตจะเกิดประจุลบขึ้นตามคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ ดังนั้นประจุลบนี้จะเหนี่ยวนำขึ้นเป็นช่องทางการไหลของกระแสเดรนกับซอร์ส กระแสจะไหลได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันที่ขาเกต



รูปที่ 6.30 แสดงการเกิดช่องทางการไหลของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต
ที่มา : นภัทร วัฒนเทพินทร์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์, 2538. หน้า 233.

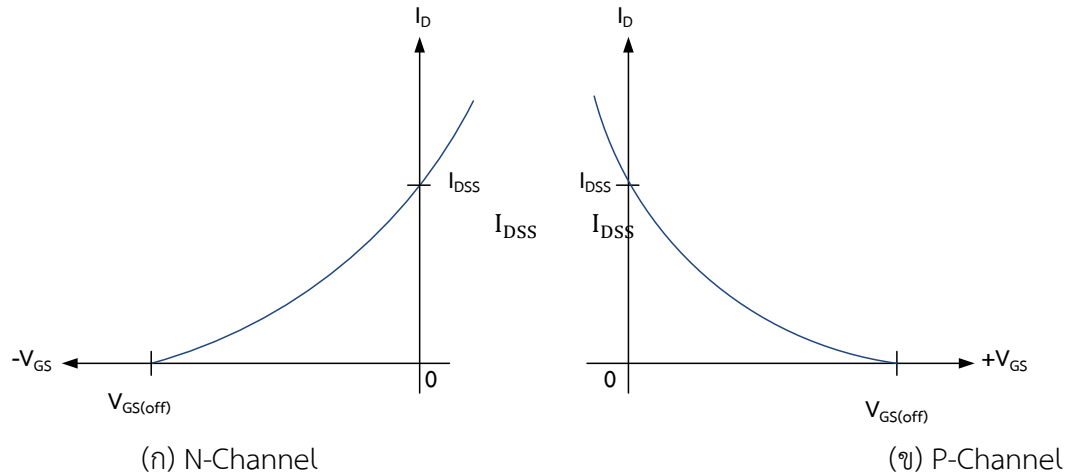
สัญลักษณ์ของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตทั้งชนิด N-Channel และ P-Channel



รูปที่ 6.31 แสดงสัญลักษณ์ของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต

6.3.3 ความหมายและคุณสมบัติของพารามิเตอร์ของมอสเฟต

คุณลักษณะการถ่ายโอนของดีฟลิชั่นมอสเฟต



รูปที่ 6.32 กราฟคุณลักษณะการถ่ายโอนของดีฟลิชั่นมอสเฟตชนิด N-Channel และ P-Channel

จากรูปที่ 6.32 แสดงกราฟคุณลักษณะการถ่ายโอนของดีฟลิชั่นมอสเฟตชนิด N-Channel และ P-Channel ที่จุด $V_{GS}=0$ V ของกราฟจะได้ค่าของ $I_D=I_{DSS}$ และเมื่อ $I_D=0$ จะได้ค่า $V_{GS(off)}$ ซึ่งถ้ากรณีเป็น N-Channel ค่าของ $V_{GS(off)}$ จะเป็นลบและถ้ากรณีเป็น P-Channel ค่าของ $V_{GS(off)}$ จะเป็นบวก กราฟของกระแสเดรนจะมีรูปแบบเหมือนกับโค้งพาราโบลา ดังนั้นสามารถหาค่า I_D ได้ดังนี้

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2 \quad \dots 6.22$$

เมื่อ I_D คือ กระแสเดรน

มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ (A)

I_{DSS} คือกระแสเดรนอิ่มตัวที่ $V_{GS}=0$ V

มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ (A)

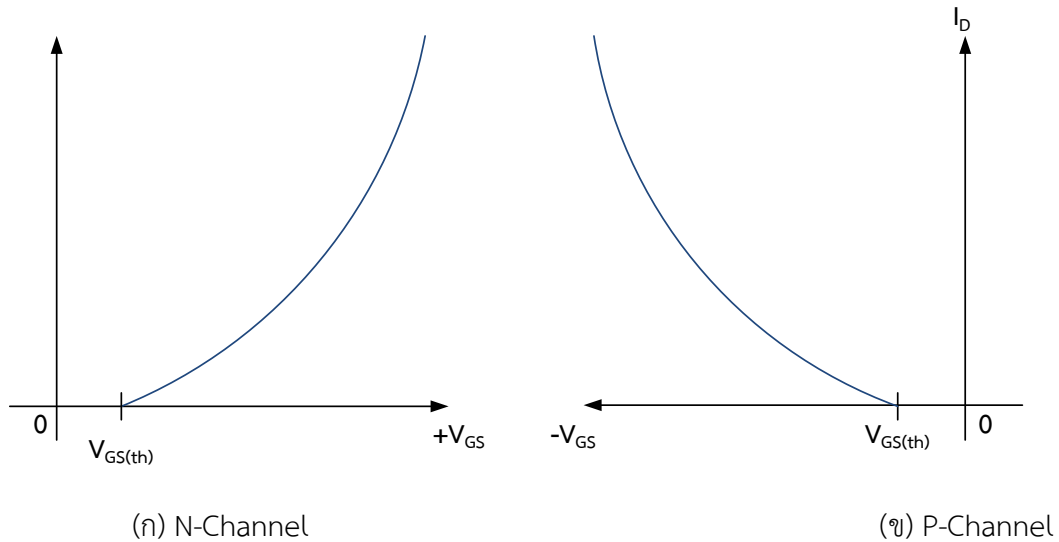
V_{GS} คือ แรงดันระหว่างเกตกับซอร์ส

มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

$V_{GS(off)}$ คือ แรงดันระหว่างเกตกับซอร์สที่ทำให้เฟตหยุดนำกระแส

มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

คุณลักษณะการถ่ายโอนของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต



รูปที่ 6.33 แสดงคุณลักษณะการถ่ายโอนของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต

จากรูปที่ 6.33 แสดงคุณลักษณะการถ่ายโอนของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต เนื่องจากเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตทำงานในโหมดเอนฮานซ์เมนต์เท่านั้น จึงเป็นผลให้เอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตชนิด N-Channel ต้องการแรงดันที่เกตเป็นบวกและเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตชนิด P-Channel ต้องการแรงดันที่เกตเป็นลบ

จากกราฟจะพบว่า $I_D = 0$ mA เมื่อ $V_{GS} = 0$ V และค่า $V_{GS(off)}$ ไม่ใช่ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ควบคุมเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตซึ่งแตกต่างจากเจเฟตและดีฟลิชันมอสเฟต

จากกราฟจะเห็นว่า I_D จะเริ่มมีค่ามากกว่าศูนย์ที่ค่าแรงดัน Gate to Source ค่าหนึ่งจากกราฟคือ จุด $V_{GS(th)}$ เรียกว่า แรงดันเทรชโฮลด์ (Threshold Voltage) ซึ่งจะเกิดกระแสเดรนขึ้นก็ต่อเมื่อ V_{GS} มีค่าเท่ากับจุด $V_{GS(th)}$ นี้ค่าของกระแสเดรน I_D จากกราฟเป็นลักษณะพาราโบลา สามารถคำนวณหา I_D ได้ดังนี้

$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2 \quad \dots 6.23$$

เมื่อ I_D คือ กระแสเดรน	มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ (A)
V_{GS} คือ แรงดันระหว่างเกตกับซอร์ส	มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)
$V_{GS(th)}$ คือ ค่าแรงดันเทรชโฮลด์	มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)
K คือ ค่าคงที่ของโครงสร้างมอสเฟต	มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ต่อโวลต์ยกกำลังสอง (A/V ²)

ค่า K คือ ค่าคงที่ของโครงสร้างมอสเฟตโดยมอสเฟตแต่ละเบอร์จะมีค่าคงที่นี้แตกต่างกันไป ค่าของ K หาได้จาก Data Sheet ที่มาจากโรงงานผู้ผลิตที่จะให้ค่าของ I_D ที่อาจเรียกว่าค่า $I_{D(on)}$ และจะบอกค่า $V_{GS(on)}$ มาให้

$$K = \frac{I_{D(on)}}{[V_{GS(on)} - V_{GS(th)}]^2} \quad \dots 6.24$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่ของโครงสร้างมอสเฟต มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ต่อโวลท์ยกกำลังสอง (A/V^2)

$I_{D(on)}$ คือ ค่ากระแสที่มีความสัมพันธ์กับแรงดันของกราฟคุณลักษณะของมอสเฟต มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ (A)

$V_{GS(on)}$ คือ ค่าแรงดันที่มีความสัมพันธ์กับแรงดันของกราฟคุณลักษณะของมอสเฟต มีหน่วยเป็นโวลท์ (V)

$V_{GS(th)}$ คือ ค่าแรงดันเทรชโฮลด์ มีหน่วยเป็นโวลท์ (V)

ตัวอย่างที่ 6.1 ดีฟลิชั่นมอสเฟตตัวหนึ่งมีค่า $I_{DSS}=20$ mA และ $V_{GS(off)}=-16$ V จงคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

- (1) บอกชนิดของดีฟลิชั่นมอสเฟต
- (2) ค่า I_D ที่ $V_{GS}=-6$ V
- (3) ค่า I_D ที่ $V_{GS}=+3$ V

วิธีทำ

(1) ดีฟลิชั่นมอสเฟตตัวนี้เป็นชนิด N-Channel เพราะทำงานที่ค่า $V_{GS(off)}$ มีค่าเป็นลบ **ตอบ**

(2) หาค่า I_D ที่ $V_{GS}=-3$ V

จากสมการที่ 6.22 แทนค่าจากโจทย์ลงในสมการเพื่อหาค่ากระแสเดรนจะได้ดังนี้

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2$$

$$I_D = (20 \text{ mA}) \left[1 - \frac{-6V}{-16V} \right]^2$$

$$I_D = 7.8 \text{ mA}$$

ตอบ

(3) หาค่า I_D ที่ $V_{GS}=+3\text{ V}$

จากสมการที่ 6.22 แทนค่าจากโจทย์ลงในสมการเพื่อหาค่ากระแสเดรนจะได้ดังนี้

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2$$

$$I_D = (20\text{ mA}) \left[1 - \frac{3\text{ V}}{-16\text{ V}} \right]^2$$

$$I_D = 28.20\text{ mA}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 6.2 เอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตตัวหนึ่งมีค่าใน Data Sheet ดังนี้ $I_{D(on)}=6\text{ mA}$, $V_{GS(on)}=20\text{ V}$

และ $V_{GS(th)}=10\text{ V}$ จงคำนวณหาค่ากระแสเดรนเมื่อ $V_{GS}=8\text{ V}$

วิธีทำ การหาค่ากระแสเดรนของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต ใช้สมการที่ 6.23 ซึ่งจะต้องหาค่า K ก่อน โดยใช้สมการที่ 6.24

$$K = \frac{I_{D(on)}}{[V_{GS(on)} - V_{GS(th)}]^2}$$

$$K = \frac{6\text{ mA}}{[20\text{ V} - 10\text{ V}]^2}$$

$$K = \frac{6\text{ mA}}{[10\text{ V}]^2}$$

$$K = \frac{6\text{ mA}}{100\text{ V}^2}$$

$$K = 0.06\text{ mA/V}^2$$

จากนั้นหาค่า I_D ที่ $V_{GS}=12\text{ V}$ ได้จากสมการที่ 6.23 ดังนี้

$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$$

$$I_D = (0.06\text{ mA/V}^2)[12\text{ V} - 10\text{ V}]^2$$

$$I_D = (0.06\text{ mA/V}^2)[2\text{ V}]^2$$

$$I_D = (0.06\text{ mA/V}^2)(4\text{ V}^2)$$

$$I_D = 0.24\text{ mA}$$

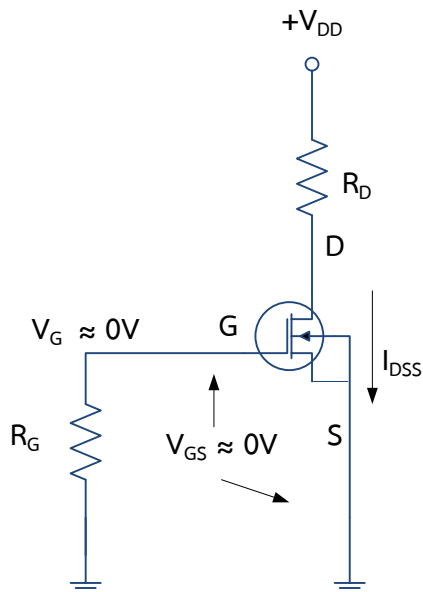
ตอบ

6.3.4 การไบอัสดีพลีชั้นมอสเฟต

เนื่องจากดีพลีชั้นมอสเฟตจะทำงานได้ด้วยแรงดันที่จ่ายให้กับขาเกตและขาซอร์สที่เป็นบวกหรือลบก็ได้ วิธีที่การไบอัสดีพลีชั้นมอสเฟตจึงทำได้โดยไบอัสด้วยแรงดันศูนย์ (Zero Biasing) คือ $V_{GS}=0$ V จากวงจรแสดงในรูปที่ 6.34 กรณีนี้ $V_{GS}=0$ V และ $I_D=I_{DSS}$ ดังนั้น

$$V_{DS}=V_{DD}-I_{DSS}R_D$$

...6.25

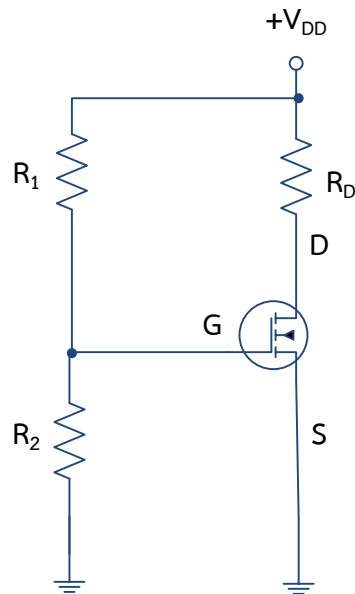


รูปที่ 6.34 แสดงวงจรไบอัสดีพลีชั้นมอสเฟตแบบ Zero Biasing

6.3.5 การไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต

การจ่ายแรงดันไบอัสเพื่อทำการควบคุมแรงดัน V_{GS} ให้มีค่ามากกว่าแรงดัน Threshold ($V_{GS(th)}$) สามารถจัดวงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตได้ 2 แบบ คือ วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดันและวงจรไบอัสด้วยการป้อนกลับที่เดรน

1 วงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตแบบแบ่งแรงดัน (Voltage Divider Bias)



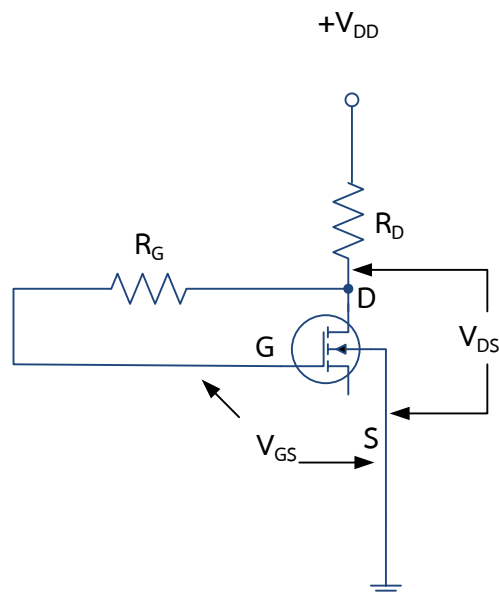
รูปที่ 6.36 แสดงวงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตแบบแบ่งแรงดัน

จากรูปที่ 6.36 วงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตแบบแบ่งแรงดันโดยใช้ R_1 และ R_2 เป็นตัวควบคุมแรงดัน V_{GS} สามารถหาค่าของ V_{GS} ได้ดังนี้

$$V_{GS} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{DD} \quad \dots 6.26$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D \quad \dots 6.27$$

2 วงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตแบบการป้อนกลับที่เดรน (Drain Feedback Bias)

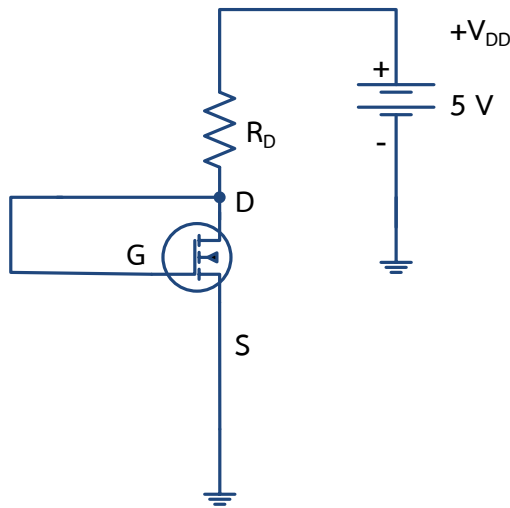


รูปที่ 6.37 แสดงวงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตแบบการป้อนกลับที่เดรน

จากวงจรในรูปที่ 6.37 เป็นวงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตแบบการป้อนกลับที่เดรน โดยการต่อตัวต้านทาน R_G เข้ากับขาเดรนของฮานซ์เมนต์มอสเฟตดังนั้นสามารถหาค่าของ V_{GS} ได้ดังนี้

$$V_{GS} = V_{DS} \quad \dots 6.28$$

ตัวอย่างที่ 6.3 จากวงจรในรูปที่ 6.38 วงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตแบบการป้อนกลับที่เดรน กำหนดค่าดังนี้ $I_D = 5 \text{ mA}$, $V_{GS(th)} = 1 \text{ V}$, $V_{DD} = 5 \text{ V}$ และ $K = 1 \text{ mA/V}^2$ จงคำนวณหาค่าตัวต้านทาน R_D



รูปที่ 6.38 วงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตแบบการป้อนกลับที่เดรน

วิธีทำ สามารถนำสมการที่ 6.23 มาหาค่า V_{GS} ได้โดยย้ายข้างสมการดังต่อไปนี้

$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$$

$$\frac{I_D}{K} = [V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$$

$$\sqrt{\frac{I_D}{K}} = V_{GS} - V_{GS(th)}$$

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{I_D}{K}} + V_{GS(th)}$$

จากนั้นแทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการเพื่อหาค่า V_{GS} ได้ดังนี้

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{5 \text{ mA}}{1 \text{ mA/V}^2}} + 1 \text{ V}$$

$$V_{GS} = 3.2 \text{ V}$$

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

หาค่าแรงดัน V_{DS} ได้จากสมการที่ 6.28

$$V_{GS} = V_{DS}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$V_{GS} = V_{DS} = 3.2 \text{ V}$$

เมื่อทราบแรงดัน V_{DS} แล้วสามารถหาค่า R_D ได้ดังนี้

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{I_D}$$

แทนค่าลงในสมการ

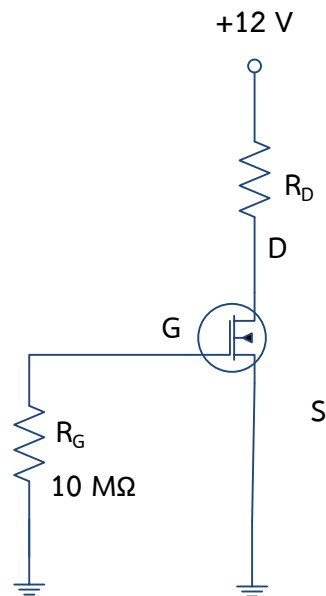
$$R_D = \frac{5 \text{ V} - 3 \text{ V}}{0.5 \text{ mA}}$$

$$R_D = 4 \text{ k}\Omega$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 6.4 จากวงจรในรูปที่ 6.39 วงจรไบอัสดีพลีชั่นมอสเฟตแบบ Zero Biasing กำหนดค่าดังนี้

$V_{GS(off)} = -4 \text{ V}$ และ $I_{DSS} = 6 \text{ mA}$ จงคำนวณหาค่าแรงดันระหว่างขาเดรนและซอร์ส



รูปที่ 6.39 วงจรไบอัสดีพลีชั่นมอสเฟตแบบ Zero Biasing

วิธีทำ หาค่าแรงดันระหว่างขาเดรนและซอร์สได้จากสมการที่ 6.27 ดังนี้

$$V_{DS} = V_{DD} - I_{DSS} R_D$$

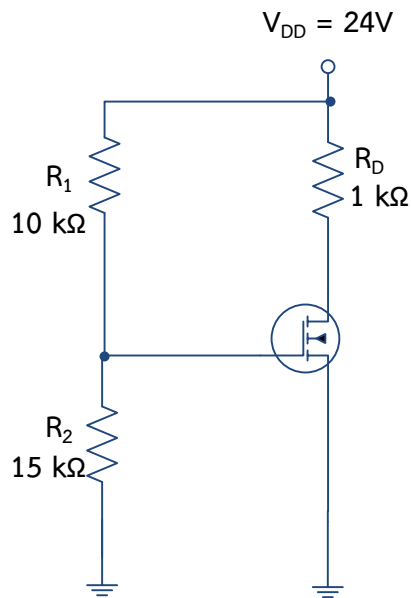
แทนค่าลงในสมการ

$$V_{DS} = 12 \text{ V} - (6 \text{ mA}) (620 \Omega)$$

$$V_{DS} = 8.28 \text{ V}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 6.6 จากวงจรในรูปที่ 6.40 กำหนดค่าดังนี้ $I_{D(on)} = 6 \text{ mA}$ ที่ $V_{GS(on)} = 10 \text{ V}$ และ $V_{GS(th)} = 8 \text{ V}$ จงคำนวณหาค่า I_D และ V_{DS} เมื่อ $V_{GS} = 12 \text{ V}$



รูปที่ 6.40 วงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนซ์มอสเฟตแบบแบ่งแรงดัน

วิธีทำ จากสมการที่ 6.26 สามารถหาค่า V_{GS} ได้ดังนี้

$$V_{GS} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{DD}$$

$$V_{GS} = \left(\frac{15 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 15 \text{ k}\Omega} \right) (24 \text{ V})$$

$$V_{GS} = 14.4 \text{ V}$$

หาค่า K เพื่อจะนำไปหาค่า I_D โดยใช้สมการที่ 6.24

$$K = \frac{I_{D(on)}}{[V_{GS(on)} - V_{GS(th)}]^2}$$

$$K = \frac{6 \text{ mA}}{[10 \text{ V} - 8 \text{ V}]^2}$$

$$K = \frac{6 \text{ mA}}{[2 \text{ V}]^2}$$

$$K = \frac{6 \text{ mA}}{4 \text{ V}^2}$$

$$K = 1.5 \text{ mA/V}^2$$

หาค่า I_D ที่ $V_{GS} = 12 \text{ V}$ ได้ดังนี้จากสมการที่ 6.23

$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$$

$$I_D = (1.5 \text{ mA/V}^2)(12 \text{ V} - 8 \text{ V})^2$$

$$I_D = 0.024 \text{ mA}$$

ตอบ

หาค่า V_{DS} สามารถหาได้จากสมการที่ 6.27 ดังนี้

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

$$V_{DS} = 24 \text{ V} - (0.024 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega)$$

$$V_{DS} = 23.9 \text{ V}$$

ตอบ

สรุป
การทำงานของเจเฟต ไม่ว่าจะมีการสร้างแบบใดก็ตาม การไหลของกระแสเดรน (I_D) ผ่านแท่งสารกึ่งตัวนำ จะขึ้นอยู่กับแรงดันไบอัส ระหว่างเกตกับซอส (V_{GS}) ในกรณีของเจเฟต ปริมาณของกระแส เดรน (I_D) จะถูกควบคุมด้วยความกว้างของ Depletion Region ของรอยต่อ P-N ซึ่งแรงดันไบอัส V_{GS} จะทำให้ความกว้างของ Depletion Region เปลี่ยนแปลงไป สามารถหาค่ากระแสเดรน (I_D) ได้จากสมการ

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2$$

มอสเฟตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ มอสเฟตแบบดีพลีชัน (Depletion) และ มอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ (Enhancement) มอสเฟตแต่ละประเภทยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ชนิด คือ มอสเฟตชนิดเอ็น ซึ่งมีประจุพาหะอิเล็กตรอนเป็นตัวนำกระแส และมอสเฟตชนิด พี ซึ่งมีประจุพาหะโฮลเป็นตัวนำกระแส มอสเฟต คืออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ถูกนำไปต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณ และวงจรสวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์ กระแสที่ไหลผ่านตัวมอสเฟตจะถูกควบคุมด้วยแรงดัน V_{GS} เมื่อป้อนแรงดัน V_{GS} มากกว่าแรงดันเทรชโฮล มอสเฟตจึงจะมีกระแสไหล และไหลคงที่เมื่อมอสเฟตทำงานในย่านอิ่มตัว การ

นำมอสเฟตไปต่อเป็นวงจรขยายจะต้องถูกไบอัสให้เหมาะสมเพื่อให้วงจรขยายสัญญาณผิดเพี้ยน ดังนั้นสามารถหาค่า I_D ได้ดังนี้

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2 \quad \text{มอสเฟตแบบดีพลีชัน (Depletion)}$$

$$I_D = K \left[V_{GS} - V_{GS(th)} \right]^2 \quad \text{มอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ (Enhancement)}$$

แบบฝึกหัด

แบบฝึกหัดหน่วยที่ 6 คุณสมบัติและการวิเคราะห์การทำงานของ เฟตทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง
(Characteristic And Analysis FET DC Bias Circuit)

คำสั่ง จงตอบคำถามให้สมบูรณ์และถูกต้อง ใช้เวลาทำแบบฝึกหัด 20 นาที (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

1. อธิบายหลักการทำงานของเจเฟต

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. จากรูปที่ 1 เป็นวงจร Fixed Bias Circuit N-Channel J-FET จงคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) V_{GS}

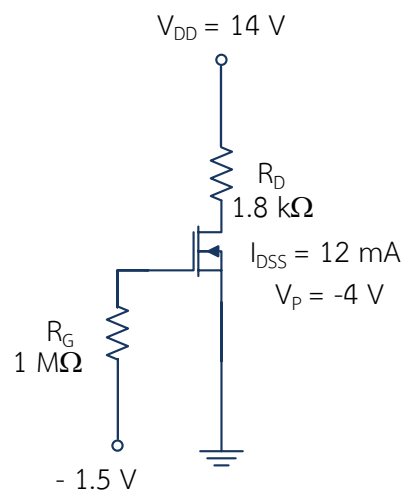
(2) I_D

(3) V_{DS}

(4) V_D

(5) V_G

(6) V_S



รูปที่ 1 วงจร Fixed Bias Circuit N-Channel J-FET

4. ดีฟิชั่นมอสเฟตตัวหนึ่งมีค่า $I_{DSS}=8\text{ mA}$ และ $V_{GS(off)}=-5\text{ V}$ จงคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

(1) บอกชนิดของดีฟิชั่นมอสเฟต

(2) ค่า I_D ที่ $V_{GS}=-4\text{ V}$

(3) ค่า I_D ที่ $V_{GS}=+4\text{ V}$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

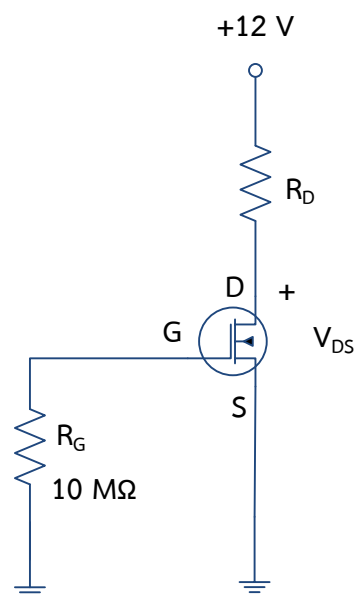
.....

.....

.....

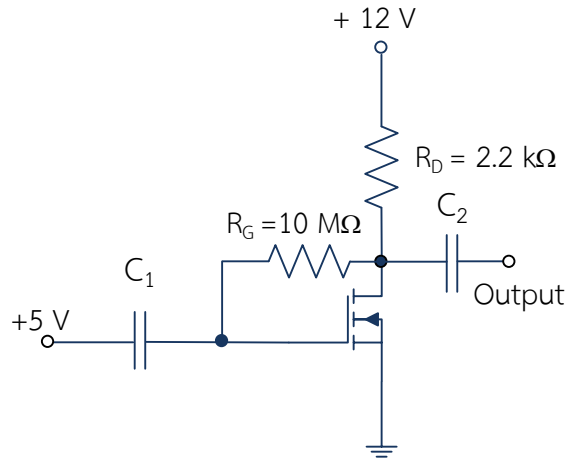
5. จากวงจรในรูปที่ 4 วงจรไบอัสดีฟิชั่นมอสเฟตแบบ Zero Biasing กำหนดค่าดังนี้

$V_{GS(off)}=-6\text{ V}$ และ $I_{DSS}=8\text{ mA}$ จงคำนวณหาค่าแรงดันระหว่างขาเดรนและซอร์ส



รูปที่ 4 วงจรไบอัสดีฟิชั่นมอสเฟตแบบ Zero Biasing

6. จากวงจรในรูปที่ 6 กำหนดค่าดังนี้ $V_{GS(th)} = 3\text{ V}$ จงคำนวณหาค่ากระแสเดรน (I_D)



รูปที่ 6 จงจรไบอัสแบบป้อนกลับที่เดรนของเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟต

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบทดสอบก่อนเรียน

หน่วยที่ 6 คุณสมบัติและการวิเคราะห์การทำงานของเฟตทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (Characteristic And Analysis FET DC Bias Circuit)

คำชี้แจง

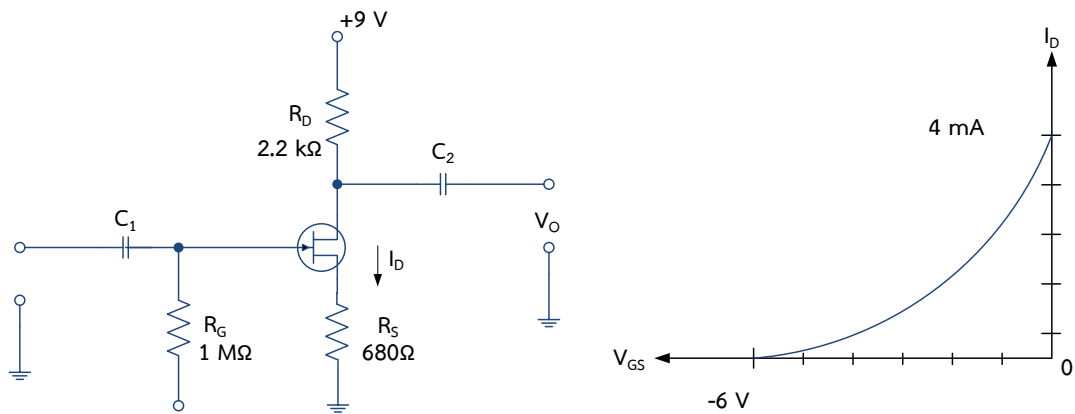
1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที

1. ข้อใดกล่าวถึงการทำงานของเจฟตได้ถูกต้อง
 - ก. การให้แรงดันไบอัสกลับระหว่างขาเดรนกับขาซอร์ส
 - ข. ใช้กระแสที่ขาเกตควบคุมกระแสที่ไหลจากขาเดรนไปขาซอร์ส
 - ค. การให้แรงดันไบอัสกลับที่ขาเกต เพื่อควบคุมกระแสไหลของเจฟต
 - ง. การให้แรงดันไบอัสตรงที่ขาเกต เพื่อควบคุมกระแสไหลของเจฟต
 - จ. การให้แรงดันไบอัสกลับที่ขาเกต เพื่อควบคุมแรงดันของเจฟต
2. ดีพลีชันมอสเฟตชนิด P-Channel เมื่อให้แรงดัน V_{GS} เป็นบวกแสดงว่าทำงานตรงกับข้อใด
 - ก. Depletion Mode
 - ข. Enhancement Mode
 - ค. Cutoff
 - ง. Saturation
 - จ. Open Circuit
3. ดีพลีชันมอสเฟตไบอัสด้วยแรงดัน $V_{GS}=0$ V ข้อมูลใน Data Sheet กำหนดให้ $I_{DSS}=20$ mA และ $V_{GS(off)}=-5$ V ค่ากระแส I_D ตรงกับข้อใด

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2$$

- ก. 0 mA
- ข. หาค่าไม่ได้
- ค. 10 mA
- ง. 20 mA
- จ. I_{DSS}

4. จากวงจรดังรูปที่ 1 หาค่า I_D และ V_{GS} จากจุดการทำงานของวงจรโดยใช้กราฟ



รูปที่ 1 การไบอัสเจฟfet N-Channel J-FET แบบ Self Bias และกราฟคุณลักษณะการถ่ายโอน
วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 4

ก. $I_D = 2.2\text{ mA}$, $V_{GS} = -1.25\text{ V}$

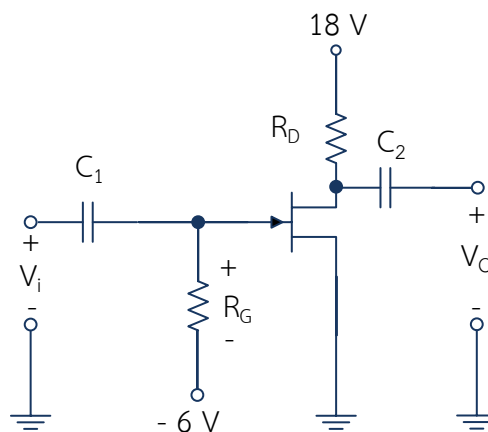
ข. $I_D = 3.6\text{ mA}$, $V_{GS} = -5.29\text{ V}$

ค. $I_D = 3.2\text{ mA}$, $V_{GS} = 2.45\text{ V}$

ง. $I_D = 4.4\text{ mA}$, $V_{GS} = 5.25\text{ V}$

จ. $I_D = 5.7\text{ mA}$, $V_{GS} = 6.71\text{ V}$

5. จากวงจรดังรูปที่ 2 กำหนดให้ $V_{GS(off)} = -10\text{ V}$, $I_{DSS} = 16\text{ mA}$ ข้อใดคือค่า I_D ของวงจร



รูปที่ 2 การไบอัสเจฟfet N-Channel J-FET แบบคงที่ วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 5

ก. 2 mA

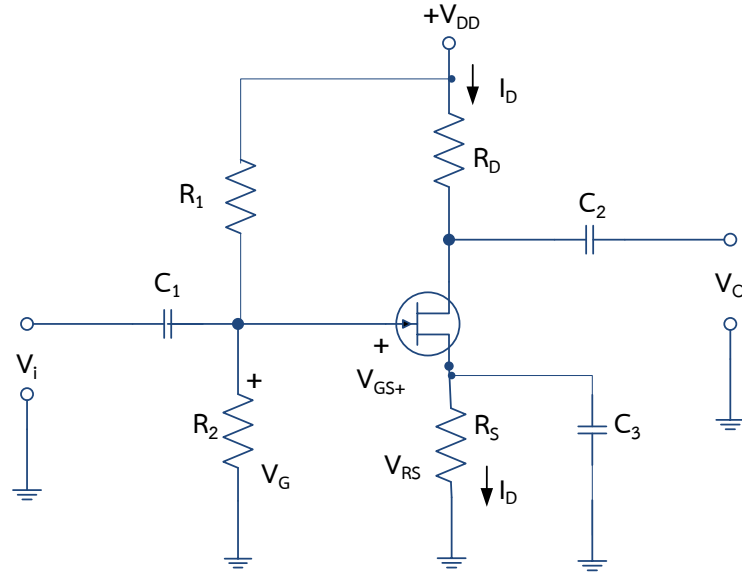
ข. 4 mA

ค. 6 mA

ง. 8 mA

จ. 10 mA

6. จากวงจรดังรูปที่ 3 ข้อใดคือสมการหาค่า V_{DS}



รูปที่ 3 การไบอัสเจฟเกต N-Channel J-FET แบบ Voltage Divider Bias วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 6

- ก. $V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D - R_S)$
 - ข. $V_{DS} = V_{DD} + I_D(R_D - R_S)$
 - ค. $V_{DS} = V_{DD} - I_S(R_D + R_S)$
 - ง. $V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S)$
 - จ. $V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_G + R_S)$
7. ดีฟลิชั่นมอสเฟตตัวหนึ่งมีค่า $I_{DSS} = 8 \text{ mA}$ และ $V_{GS(off)} = -5 \text{ V}$ จงคำนวณหาค่า I_D ที่ $V_{GS} = -4 \text{ V}$
- ก. 0.11 mA
 - ข. 0.25 mA
 - ค. 0.29 mA
 - ง. 0.32 mA
 - จ. 0.46 mA

8. เอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตตัวหนึ่งมีค่าใน Data Sheet ดังนี้ $I_{D(on)} = 10 \text{ mA}$, $V_{GS} = -12 \text{ V}$, $V_{GS(th)} = -3 \text{ V}$ จงคำนวณหาค่ากระแสเดรนเมื่อ $V_{GS} = -6 \text{ V}$

$$K = \frac{I_{D(on)}}{[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2}$$

$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$$

ก. 1.5 mA

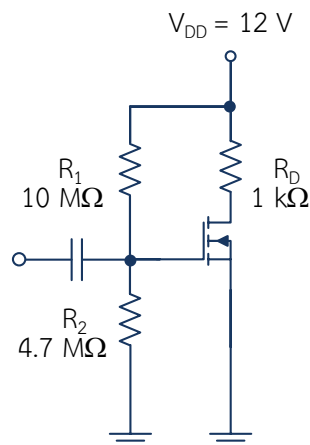
ข. 2.0 mA

ค. 3.0 mA

ง. 4.5 mA

จ. 5.1 mA

9. จากวงจรในรูปที่ 4 กำหนดค่าดังนี้ $I_{D(on)} = 3 \text{ mA}$ ที่ $V_{GS} = 6 \text{ V}$ และ $V_{GS(th)} = 2 \text{ V}$ จงคำนวณหา V_{GS}



รูปที่ 4 วงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตแบบแบ่งแรงดัน วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 9

ก. 2.25 V

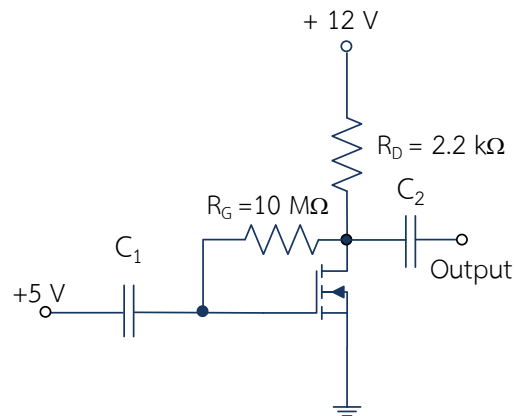
ข. 3.84 V

ค. 4.91 V

ง. 5.28 V

จ. 6.51 V

10. จากวงจรในรูปที่ 5 กำหนดค่าดังนี้ $V_{GS(th)} = 3\text{ V}$ จงคำนวณหาค่ากระแสเดรน (I_D)



รูปที่ 5 วงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตแบบป้อนกลับที่เดรน วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 10

- ก. 3.18 mA
- ข. 4.63 mA
- ค. 5.84 mA
- ง. 6.25 mA
- จ. 7.32 mA

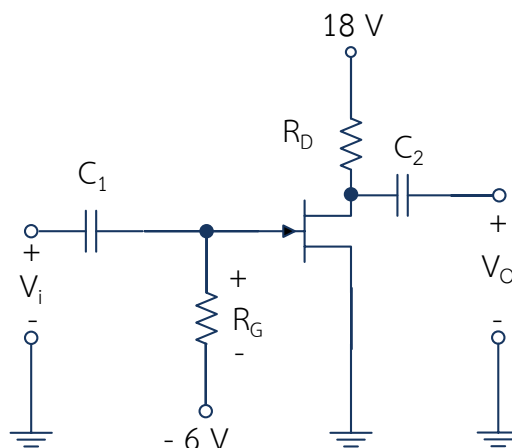
แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 6 คุณสมบัติและการวิเคราะห์การทำงานของเฟตทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (Characteristic And Analysis FET DC Bias Circuit)

คำชี้แจง

1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที

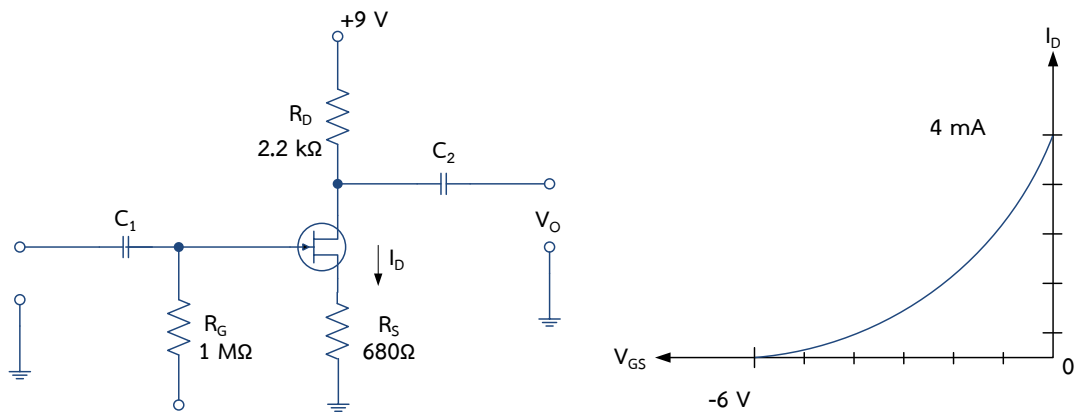
1. ข้อใดกล่าวถึงการทำงานของเจฟตได้ถูกต้อง
 - ก. การให้แรงดันไบอัสกลับระหว่างขาเดรนกับขาซอร์ส
 - ข. ใช้กระแสที่ขาเกตควบคุมกระแสที่ไหลจากขาเดรนไปขาซอร์ส
 - ค. การให้แรงดันไบอัสกลับที่ขาเกต เพื่อควบคุมกระแสไหลของเจฟต
 - ง. การให้แรงดันไบอัสตรงที่ขาเกต เพื่อควบคุมกระแสไหลของเจฟต
 - จ. การให้แรงดันไบอัสกลับที่ขาเกต เพื่อควบคุมแรงดันของเจฟต
2. ข้อใดคือความหมายของค่าทรานส์คอนดักแตนซ์ของ J-FET (g_m)
 - ก. อัตราขยายแรงดัน
 - ข. ค่าความนำในการส่งผ่าน
 - ค. อัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสเดรน
 - ง. อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เกตและซอร์ส
 - จ. อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เกตและเดรน
3. จากวงจรดังรูปที่ 1 กำหนดให้ $V_{GS(off)} = -10\text{ V}$, $I_{DSS} = 16\text{ mA}$ ข้อใดคือค่า I_D ของวงจร



รูปที่ 1 การไบอัสเจฟต N-Channel J-FET แบบคงที่ วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 3

- ก. 2 mA
- ข. 4 mA
- ค. 6 mA
- ง. 8 mA
- จ. 10 mA

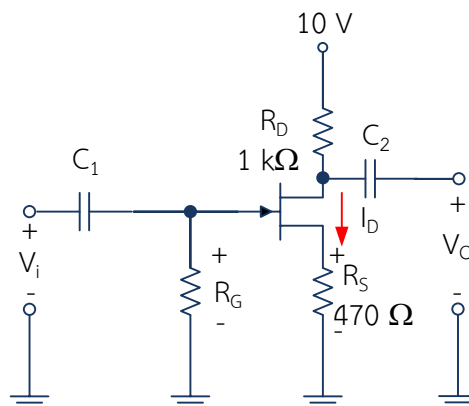
4. จากวงจรดังรูปที่ 2 หาค่า I_D และ V_{GS} จากจุดการทำงานของวงจรโดยใช้กราฟ



รูปที่ 2 การไบอัสเจฟेट N-Channel J-FET แบบ Self Bias และกราฟคุณลักษณะการถ่ายโอน
วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 4

- ก. $I_D = 2.2 \text{ mA}$, $V_{GS} = -1.25 \text{ V}$
- ข. $I_D = 3.6 \text{ mA}$, $V_{GS} = -5.29 \text{ V}$
- ค. $I_D = 3.2 \text{ mA}$, $V_{GS} = 2.45 \text{ V}$
- ง. $I_D = 4.4 \text{ mA}$, $V_{GS} = 5.25 \text{ V}$
- จ. $I_D = 5.7 \text{ mA}$, $V_{GS} = 6.71 \text{ V}$

5. จากวงจรกำหนดให้กระแสเดรน $I_D = 5 \text{ mA}$ จงหาค่า V_{GS}



รูปที่ 3 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 5

ก. 0.58 V

ข. 1.76 V

ค. -2.35

ง. -4.54 V

จ. -6.71 V

6. ดีพลีชั้นมอสเฟตไบอัสด้วยแรงดัน $V_{GS}=0$ V ข้อมูลใน Data Sheet กำหนดให้ $I_{DSS}=20$ mA และ $V_{GS(off)}=-5$ V ค่ากระแส I_D ตรงกับข้อใด

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2$$

ก. 0 mA

ข. หาค่าไม่ได้

ค. 10 mA

ง. 20 mA

จ. I_{DSS}

7. เอนฮานซ์เมนต์มอสเฟตตัวหนึ่งมีค่าใน Data Sheet ดังนี้ $I_{D(on)}=10$ mA , $V_{GS}=-12$ V $V_{GS(th)}=-3$ V จงคำนวณหาค่ากระแสเดรนเมื่อ $V_{GS}=-6$ V

$$K = \frac{I_{D(on)}}{[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2}$$

$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$$

ก. 1.5 mA

ข. 2.0 mA

ค. 3.0 mA

ง. 4.5 mA

จ. 5.1 mA

8. ดีพลีชั้นมอสเฟตตัวหนึ่งมีค่า $I_{DSS} = 8$ mA และ $V_{GS(off)} = -5$ V เมื่อ $V_{GS} = -4$ V จงหาค่า I_D มีค่าเท่ากับข้อใด

ก. 0.11 mA

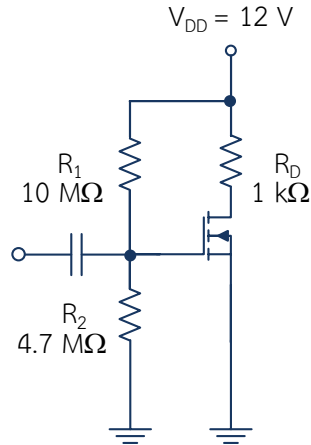
ข. 0.25 mA

ค. 0.29 mA

ง. 0.32 mA

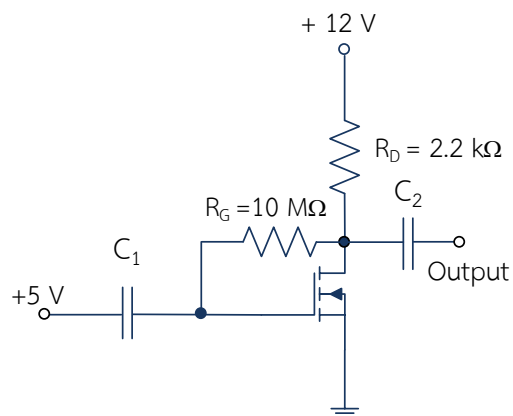
จ. 0.46 mA

9. จากวงจรในรูปที่ 4 กำหนดค่าดังนี้ $I_{D(on)} = 3 \text{ mA}$ ที่ $V_{GS} = 6 \text{ V}$ และ $V_{GS(th)} = 2 \text{ V}$
จงคำนวณหาค่า V_{GS}



รูปที่ 4 วงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนตัมอสเฟตแบบแบ่งแรงดัน วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 9

- ก. 2.25 V
ข. 3.84 V
ค. 4.91 V
ง. 5.28 V
จ. 6.51 V
10. จากวงจรในรูปที่ 5 กำหนดค่าดังนี้ $V_{GS(th)} = 3 \text{ V}$ จงคำนวณหาค่ากระแสเดรน (I_D)



รูปที่ 5 วงจรไบอัสเอนฮานซ์เมนตัมอสเฟตแบบป้อนกลับที่เดรน วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 10

- ก. 3.18 mA
ข. 4.63 mA
ค. 5.84 mA
ง. 6.25 mA
จ. 7.32 mA

บรรณานุกรม

- เจน สงสมพันธุ์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์. ปทุมธานี : สถาบัน
อิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพมหานคร. 2552.
- นภัทร วัจนเทพพินท์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์. 2538.
- ทรงพล กาญจนชูชัย. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556.
- ธันต์ ศรีสกุล. พื้นฐานการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ: วิดีโอ กรุ๊ป. 2552.
- สุคนธ์ พุ่มศรี. การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ,
2558.
- สายัณต์ ชื่นอารมณ์. วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ:ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ. 2552.
- Albert Malvino and David J. Bates. **Electronic Principles**. Seventh Edition. New
York: McGraw-Hill. 2007.
- Robert Boylestad and Louis Nashelsky. **Electronic Devices And Circuit Theory**,
Seventh Edition: New Jersey. Prentice Hall.
- http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_1.html

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

	ใบงานที่ 6.1	หน่วยที่ 6
	รหัสวิชา 3105-1003 วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย คุณสมบัติและการวิเคราะห์การทำงานของ เฟต ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง	คาบรวม 10
ชื่อเรื่อง	คุณสมบัติของ เฟต ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง	จำนวนคาบ 3

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ต่วงจรไบอัสเฟตเพื่อทดลองตามใบงานได้อย่างถูกต้อง
2. วัด อ่านค่า แรงดันและกระแสในวงจรตามที่ใบงานกำหนดได้อย่างถูกต้อง
3. เขียนกราฟคุณลักษณะสมบัติของเฟตได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (จิตพิสัย) ที่มีการบูรณาการตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

1. ความรับผิดชอบ
2. ความมีวินัย
3. การตรงต่อเวลา
4. ความมีมนุษยสัมพันธ์
5. ความรู้และทักษะวิชาชีพ
6. ความสนใจใฝ่หาความรู้
7. การพึ่งตัวเอง
8. มีความเพียร
9. รู้รักสามัคคี
10. การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

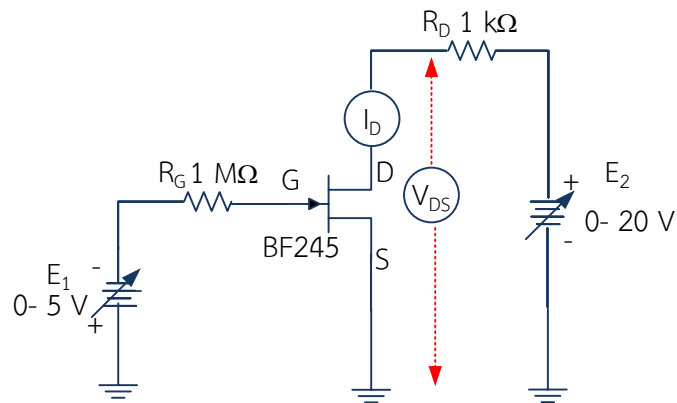
- | | |
|--|---------------|
| 1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์หรือแอนะล็อกมัลติมิเตอร์ | 2 เครื่อง |
| 2. แหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ 0-30 V 3 A | 2 เครื่อง |
| 3. ตัวต้านทานคาบคที่ 1 M Ω , 1 k Ω , 4.7 k Ω , 330 Ω , 560 Ω
3.6 k Ω , 5.6 k Ω , 10 k Ω | อย่างละ 1 ตัว |
| 4. เจเฟต เบอร์ BF245 | 1 ตัว |
| 5. แผงประกอบวงจรและสายต่อวงจร | 1 ชุด |

ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติใบงาน

1. ต่วงจรทดลองตามรูปที่ 6.1.1

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)



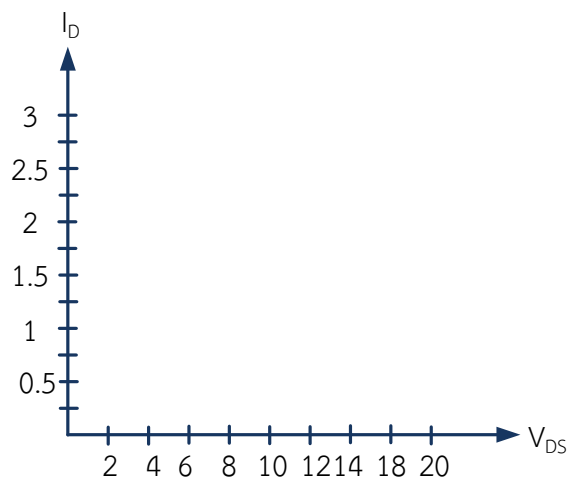
รูปที่ 6.1.1 แสดงการต่อวงจรข้อ 1

2. ปรับแหล่งจ่ายแรงดัน E_1 และ E_2 ให้ได้ค่า V_{GS} ตามตารางที่ 6.1.1 จากนั้นใช้มัลติมิเตอร์วัดกระแส I_D บันทึกค่ากระแส I_D ลงในตารางที่ 6.1.1

ตารางที่ 6.1.1 บันทึกผลการทดลองข้อ 2

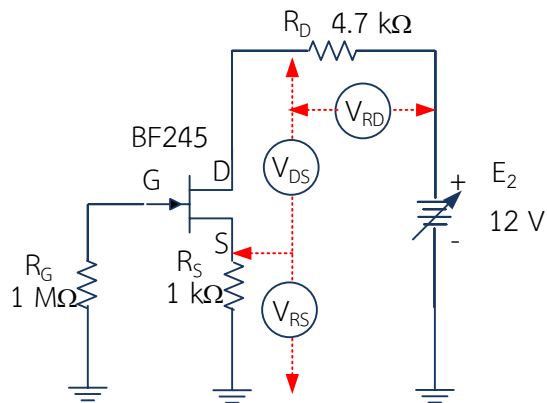
$E_1(V_G)$	V_{DS} (Voltage) โดยการปรับ E_2											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	I_D
-1.5												mA
-1												mA
-0.5												mA
0												mA

3. นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 6.1.1 มาเขียนกราฟลักษณะสมบัติของเฟตที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของ I_D , V_{DS} ที่ V_G ค่าต่างๆ ลงในรูปที่ 6.1.2



รูปที่ 6.1.2 กราฟแสดงคุณลักษณะของเฟต

4. ต่อวงจรทดลองตามรูปที่ 6.1.3



รูปที่ 6.1.3 แสดงการต่อวงจรข้อ 4

5. เปลี่ยนค่า R_S ตามตารางที่ 6.1.2 โดยให้ R_D คงที่ $4.7\text{ k}\Omega$ จากนั้นบันทึกค่าของ V_{RS} , I_D , V_{DS} , V_{RD} ลงในตารางที่ 6.1.2

ตารางที่ 6.1.2 บันทึกผลการทดลองข้อ 5

$R_S (\Omega)$	$I_D (\text{mA})$	$V_{RS} (\text{V})$	$V_{DS} (\text{V})$	$V_{RD} (\text{V})$
0				
330				
560				
1 k				
3.6 k				
5.6 k				
10 k				

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามการทดลอง

1. เปรียบเทียบการทำงานของเฟต กับ ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. ยกตัวอย่างวงจรที่นำ JFET ไปใช้งานจริงมา 1 วงจร ให้ออกด้วยว่าวงจรดังกล่าวอยู่ในอุปกรณ์อะไร JFET นั้นทำงานอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

	ใบงานที่ 6.2	หน่วยที่ 6
	รหัสวิชา 3105-1003 วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วย คุณสมบัติและการวิเคราะห์การทำงานของ เฟต ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง	คาบรวม 10
ชื่อเรื่อง	คุณสมบัติของ เฟต ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง	จำนวนคาบ 3

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ต่วงจรไบอัสมอสเฟตเพื่อทดลองตามใบงานได้อย่างถูกต้อง
2. วัด อ่านค่า แรงดันและกระแสในวงจรตามที่ใบงานกำหนดได้อย่างถูกต้อง
3. เขียนกราฟคุณลักษณะของมอสเฟตได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (จิตพิสัย) ที่มีการบูรณาการตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

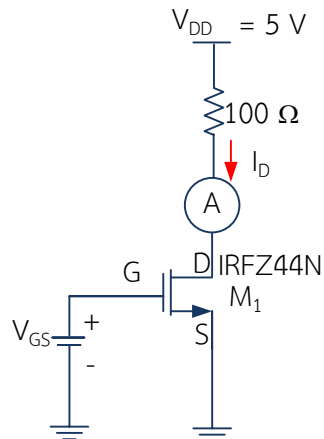
1. ความรับผิดชอบ
2. ความมีวินัย
3. การตรงต่อเวลา
4. ความมีมนุษยสัมพันธ์
5. ความรู้และทักษะวิชาชีพ
6. ความสนใจใฝ่หาความรู้
7. การพึ่งตัวเอง
8. มีความเพียร
9. รู้รักสามัคคี
10. การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---|-----------|
| 1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์หรือแอนะล็อกมัลติมิเตอร์ | 2 เครื่อง |
| 2. แหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ 0-30 V 3 A | 2 เครื่อง |
| 3. ตัวต้านทานค่าคงที่ 500 MΩ, 1 kΩ, 100 Ω และ 500 Ω อย่างละ | 1 ตัว |
| 4. มอสเฟต เบอร์ IRFZ44N | 1 ตัว |
| 5. แผงประกอบวงจรและสายต่อวงจร | 1 ชุด |

ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติใบงาน

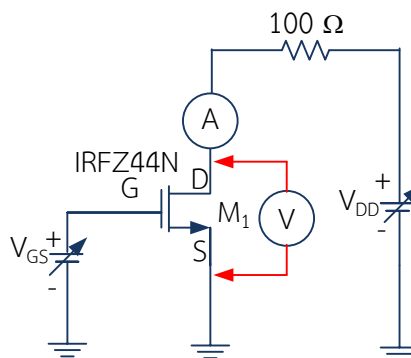
1. ต่วงจรทดลองตามรูปที่ 6.2.1

รูปที่ 6.2.1 วงจรทดลองหาค่า V_{th} มอสเฟต

2. ปรับค่าแรงดัน V_{GS} ตามตารางที่ 6.2.1 วัดค่า I_D และ V_{DS} บันทึกผลการทดลองลงในตาราง ตารางที่ 6.2.1 ผลการทดลองปรับค่าแรงดัน V_{GS}

V_{GS}	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3	V
V_{DS}										
I_D										

3. ต่อวงจรในรูปที่ 6.2.2 ป้อนแรงดัน V_{GS} และ V_{DS} ตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 6.2.2 เพื่อวัดหากระแสเดรน พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลองลงในตาราง

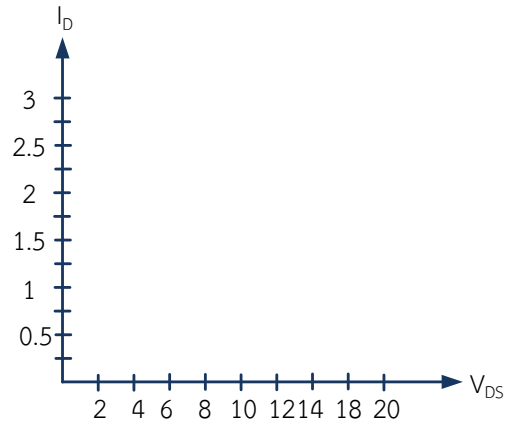


รูปที่ 6.2.2 วงจรทดลองหาค่าคุณลักษณะของมอสเฟต

ตารางที่ 6.2.2 บันทึกผลการทดลองตามข้อ 3

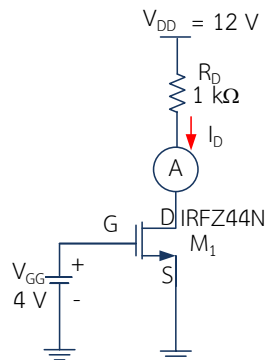
V_{DS}	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	4	V
I_D (mA)											$V_{GS} = 0 \text{ V}$
I_D (mA)											$V_{GS} = 1 \text{ V}$
I_D (mA)											$V_{GS} = 2 \text{ V}$
I_D (mA)											$V_{GS} = 3 \text{ V}$

4. นำค่าที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 6.2.2 มาพล็อตกราฟในรูปที่ 6.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_{DS} กับ I_D



รูปที่ 6.2.3 กราฟแสดงคุณลักษณะของมอสเฟต

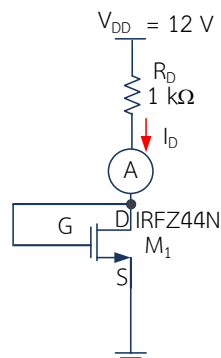
5. ต่อดวงจรในรูปที่ 6.2.4 วัดกระแส I_D และวัดแรงดัน V_{DS} พร้อม บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 6.2.4 วงจรไบอัสมอสเฟต

$I_D = \dots\dots\dots$ $V_{DS} = \dots\dots\dots$

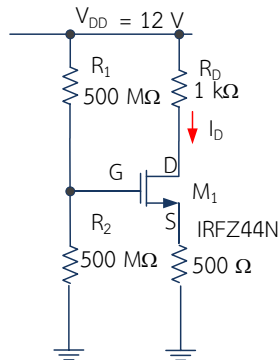
6. ต่อดวงจรในรูปที่ 6.2.5 วัดกระแส I_D วัดแรงดัน V_{GS} และวัดแรงดัน V_{DS} พร้อม บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 6.2.5 วงจรไบอัสมอสเฟต

$V_{GS} = V_{DS} = \dots\dots\dots$ $I_D = \dots\dots\dots$

7. ต่วงจรในรูปที่ 6.2.6 วัดกระแส I_D วัดแรงดัน V_{GS} และวัดแรงดัน V_{DS} พร้อม บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 6.2.6 วงจรไบอัสมอสเฟต

$V_{GS} = \dots\dots\dots$ $I_D = \dots\dots\dots$ $V_{DS} = \dots\dots\dots$

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามการทดลอง

1. กราฟคุณลักษณะของมอสเฟตบอกอะไรบ้าง และนำไปใช้ประโยชน์อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

2. แรงดัน Threshold voltage ของมอสเฟตมีค่าเท่าไร

.....

.....

.....

.....

.....