

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 5 คุณลักษณะมอสเฟต และวงจรวจรไบอัส

หัวข้อเนื้อหา

1. มอสเฟต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor: MOSFET)
2. การไบอัสมอสเฟตนำกระแส
3. ย่านการทำงานของมอสเฟต
4. วงจรวจรไบอัสมอสเฟต
5. บทสรุป

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่ออธิบายคุณลักษณะของมอสเฟต
2. เพื่ออธิบายการทำงานของวงจรวจรไบอัสมอสเฟต
3. เพื่อบอกขั้นตอนการคำนวณหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ในวงจรวจรไบอัสมอสเฟต
4. เพื่อคำนวณหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ในวงจรวจรไบอัสมอสเฟต

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. วิธีสอน
 - 1.1 วิธีสอนแบบบรรยาย
 - 1.2 วิธีสอนแบบอภิปราย
 - 1.3 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ในวงจรวจรไบอัสมอสเฟต
 - 1.4 วิธีสอนแบบเน้นการเรียนรู้ด้วยตนเอง
2. กิจกรรมการเรียนการสอน
 - 2.1 อธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับมอสเฟต
 - 2.2 อธิบายการคำนวณหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ในวงจรวจรไบอัสมอสเฟต
 - 2.3 นักศึกษาทำแบบฝึกหัด
 - 2.4 การบ้าน

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ 1
2. กระดานไวท์บอร์ด
3. แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

การวัดผลและการประเมินผล

1. การเข้าเรียน
2. การบ้าน

3. สอบกลางภาค

4. สอบปลายภาค

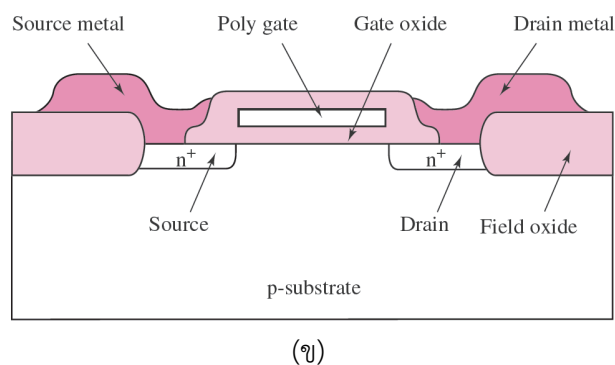
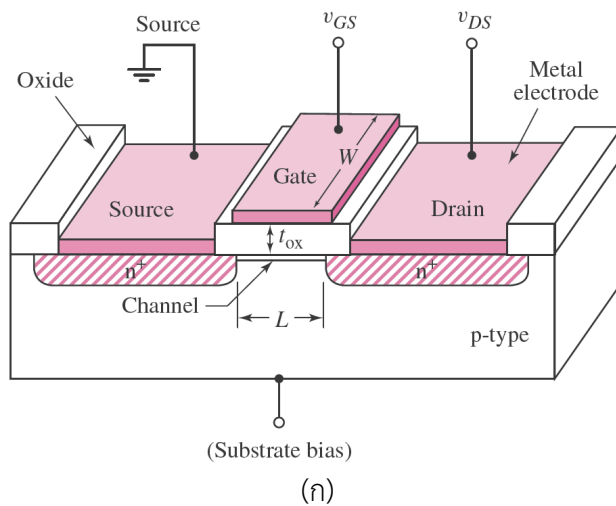
บทที่ 5

คุณลักษณะมอสเฟต และวงจรไบอัส

5.1 มอสเฟต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor: MOSFET)

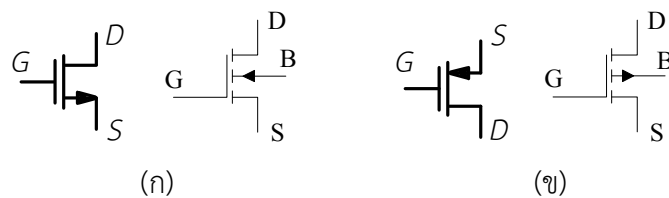
มอสเฟต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor: MOSFET) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีการทำงานในลักษณะที่แปลงแรงดันเป็นกระแส กระแสที่ได้เป็นผลมาจากอิเล็กตรอนหรือโฮล ซึ่งเป็นพาหะข้างมาก (Majority Carrier) ขึ้นอยู่กับว่าอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นมอสเฟตชนิดเอ็น (NMOS) หรือมอสเฟตชนิดพี (PMOS)

มอสเฟตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ มอสเฟตแบบดีพลีชัน (Depletion) และมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ (Enhancement) มอสเฟตแต่ละประเภทยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ชนิด คือ มอสเฟตชนิดเอ็น (NMOS) ซึ่งมีประจุพาหะอิเล็กตรอนเป็นตัวนำกระแส และมอสเฟตชนิดพี (PMOS) ซึ่งมีประจุพาหะโฮลเป็นตัวนำกระแส



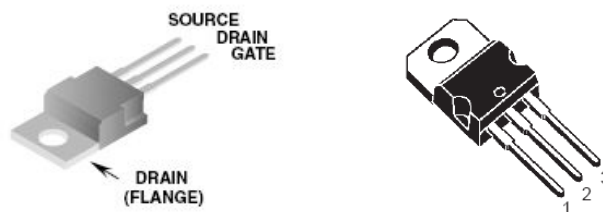
รูปที่ 5.1 โครงสร้างของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ชนิดเอ็น (ก) ภาพ 3 มิติ และ (ข) ภาพหน้าตัด (Donald A. Neamen)

รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์มีนัชนิดเอ็น (NMOS) ขั้วซอส (Source) และขั้วเดรน (Drain) ถูกสร้างขึ้นโดยการแพร่อะตอมสารเจือชนิดเอ็นที่มีความหนาแน่นมาก (Heavily Doped N-Type Region) เข้าไปในฐานรอง (Substrate) ของสารกึ่งตัวนำชนิดพี ซึ่งเป็นแผ่นผลึกซิลิกอนรูปเดี่ยว (Single-Crystal) ที่มีความหนาแน่นน้อย (Lightly Doped P-Type Substrate) ขั้วเกต (Gate) จะเป็นส่วนของโลหะ (Metal) หรือชั้นของโพลีซิลิกอน (Poly-Silicon) ซ้อนอยู่บนชั้นของออกไซด์ระหว่างขั้วเดรนและขั้วซอส โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสองเป็นความยาวของมอสเฟต (Channel Length; L) และมีระยะทางด้านข้าง (Side-Wall) เป็นความกว้างของมอสเฟต (Channel Width; W) โครงสร้างของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์มีนัชนิดพี (PMOS) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์มีนัชนิดเอ็น (NMOS) แต่จะสลับกัน คือ มอสเฟตชนิดพีจะประกอบด้วยผลึกฐานรองชนิดเอ็น (N-Type) ที่มีความหนาแน่นน้อยและการแพร่อะตอมสารเจือชนิดพีที่มีความหนาแน่นมากเข้าไปฐานรองเพื่อเป็นขั้วซอสและขั้วเดรน รูปที่ 5.2 แสดงสัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์มีนัที่วาดมาจากการอ้างอิงโครงสร้างมอสเฟต



รูปที่ 5.2 สัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์มีนัชนิด (ก) NMOS และ (ข) PMOS

รูปที่ 5.3 แสดงอุปกรณ์ภาพมอสเฟตที่ถูกนำไปใช้ในวงจรรขยายของเพาเวอร์แอมป์ปริไฟล์ และวงจรสวิตซ์ชิง คอนเวอร์เตอร์ ตัวอุปกรณ์มอสเฟตสามารถมีกระแสไหลผ่านจำนวนมากได้

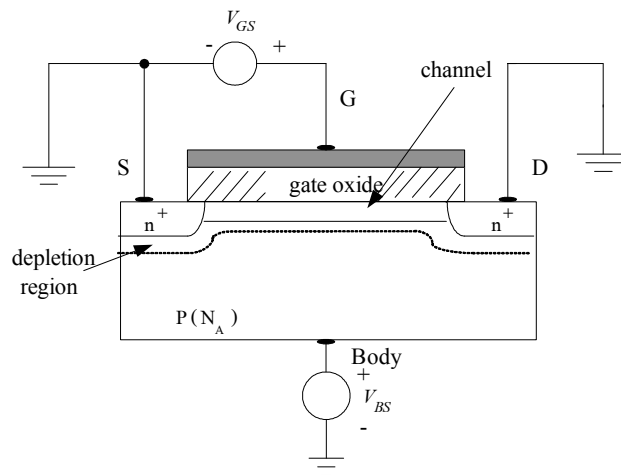


รูปที่ 5.3 อุปกรณ์มอสเฟต

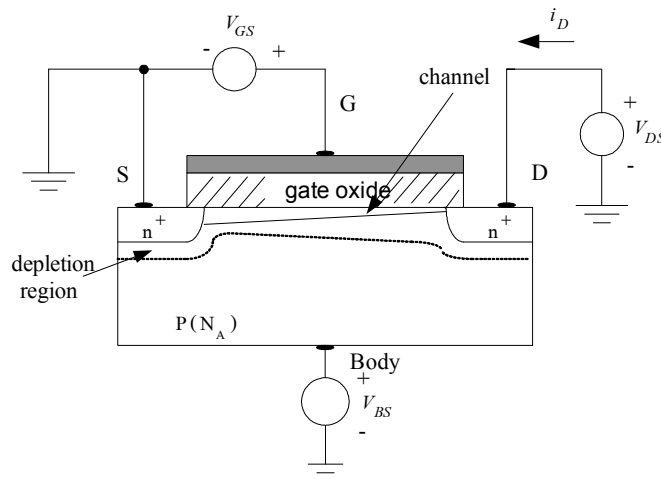
5.2 การไบอัสมอสเฟตนำกระแส (Donald A. Neamen)

รูปที่ 5.4 แสดงการบ่อนแรงดันค่าบวกเข้าที่ขาเกตเทียบกับขาซอส (V_{GS}) ซึ่งแรงดัน V_{GS} มีขนาดเพียงพอจะทำให้เกิดช่องทางเดินของกระแสระหว่างขาซอส และขาเดรน ค่าแรงดันที่ทำให้เกิดช่องทางเดินของกระแสนี้เรียกว่า แรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage : V_T) กระแสไหลผ่านช่องทางเดินกระแสมีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากความต่างศักย์ระหว่างขาเดรนและขาซอสมีค่าเท่ากับศูนย์ สำหรับการเกิดของช่องทางเดินกระแสในมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์มีนัชนิดพี (PMOS) สามารถทำได้โดยบ่อนแรงดันค่าลบเข้าที่เกตเทียบกับซอสให้มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าแรงดันขีดเริ่ม

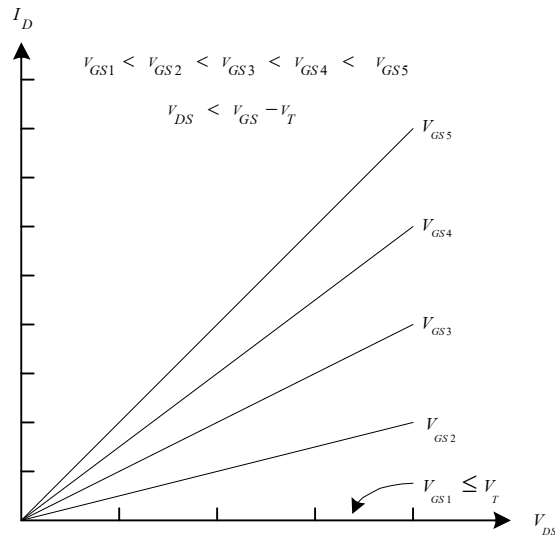
เมื่อป้อนแรงดันบวกระหว่างขาเกตเทียบกับขาซอสให้มีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม และป้อนแรงดันค่าบวกเข้าที่ขาเดรนเทียบกับขาซอส ดังที่แสดงในรูปที่ 5.5 ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้วทั้งสอง ($V_{DS} < V_{GS} - V_T$) กระแสเดรนจะไหลผ่านช่องทางเดินกระแสจากขาเดรนไปยังขาซอส โดยคุณสมบัติของกระแสเดรน (I_D) เมื่อเทียบกับแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขาเดรนและซอส (V_{DS}) ดังที่แสดงในรูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ของกระแสเดรนกับแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขาเดรน และซอสจะเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Region) ลักษณะการทำงานของมอสเฟตช่วงนี้มีลักษณะเป็นความต้านทานเชิงเส้นที่ถูกควบคุมโดยแรงดันที่ขาเกตเทียบกับขาซอส



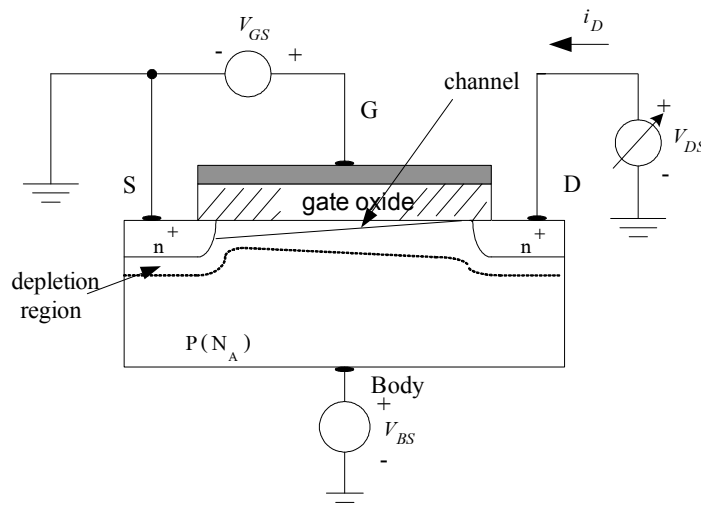
รูปที่ 5.4 การสร้างช่องทางเดินกระแสให้กับมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เม้นท์ชนิดเอ็น



รูปที่ 5.5 การกำหนดจุดการทำงานให้มอสเฟต เมื่อ $V_{GS} > V_T$ และ V_{DS} มีค่าน้อย



รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดัน V_{DS} ที่มีค่าน้อย



รูปที่ 5.7 การกำหนดจุดการทำงานให้มอสเฟต เมื่อ $V_{GS} > V_T$ และปรับค่า V_{DS} มีค่ามากกว่า $V_{GS} - V_T$

เมื่อปรับแรงดัน V_{DS} ให้มีค่ามากขึ้นจนกระทั่ง $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$ ดังรูปที่ 5.7 ลักษณะของช่องทางเดินกระแสจะมีลักษณะที่ลาดเอียงไปทางส่วนของเดรนจนถึงจุดที่เรียกว่าจุดพินชออฟ (Pinched Off) ศักย์ตาไฟฟ้าที่จุดพินชออฟนี้จะมีค่าเท่ากับ $V_{DSAT} = V_{GS} - V_T$ สภาวะดังกล่าวมอสเฟตจะทำงานในย่านอิ่มตัว (Saturation Region)

5.3 ย่านการทำงานของมอสเฟต (Donald A. Neamen)

การแบ่งย่านการทำงานของมอสเฟตพิจารณาจากการจัดไบอัสของมอสเฟตซึ่งได้แก่ แรงดัน V_{GS} V_{DS} และ V_T สามารถแบ่งช่วงการทำงานออกได้เป็น 3 ย่าน (Region) ดังต่อไปนี้

5.3.1 ช่วงคัทออฟ (Cutoff Region); ($V_{GS} < V_T$)

ช่วงคัทออฟ คือช่วงที่มอสเฟตไม่ทำงาน กรณีนี้จะไม่มีความดันครีโอสเฟตจึงทำให้มอสเฟตไม่สามารถนำกระแสเดรน (I_D) ได้

$$I_D = 0 \quad (5.1)$$

5.3.2 ช่วงเชิงเส้น (Linear Region); ($V_{DS} < V_{GS} < V_T$)

ช่วงเชิงเส้น เป็นช่วงที่แรงดันไบอัสที่ขาเกต และขาซอสมีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม ($V_{GS} > V_T$) และแรงดันระหว่าง V_{DS} มีค่าน้อยกว่า $V_{GS} - V_T$ โดยสามารถหากระแส I_D ได้ดังนี้

$$I_D = k \left[(V_{GS} - V_T)V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \quad (5.2)$$

5.3.3 ช่วงอิ่มตัว (Saturation Region); ($V_{DS} \geq V_{GS} < V_T$)

ช่วงอิ่มตัวเป็นช่วงที่แรงดันที่ขาเกต และขาซอสมีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม ($V_{GS} > V_T$) และแรงดัน V_{DS} มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ $V_{GS} - V_T$ สามารถหากระแส I_D ได้ดังนี้

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS}) \quad (5.3)$$

เมื่อ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความนำ (Transconductance Parameter) มีค่าเท่ากับ $\mu_0 C_{OX} W/L$ (AV^2)

μ_0 คือ สภาพความคล่องตัวของอิเล็กตรอน (Electron Mobility) ($cm^2/V\text{-sec}$)

C_{OX} คือ ความจุไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ของเกตออกไซด์ (Oxide Capacitance) (F/cm^2)

I_D คือ the drain current (A)

W คือ the *channel width* of the MOSFET (units of cm)

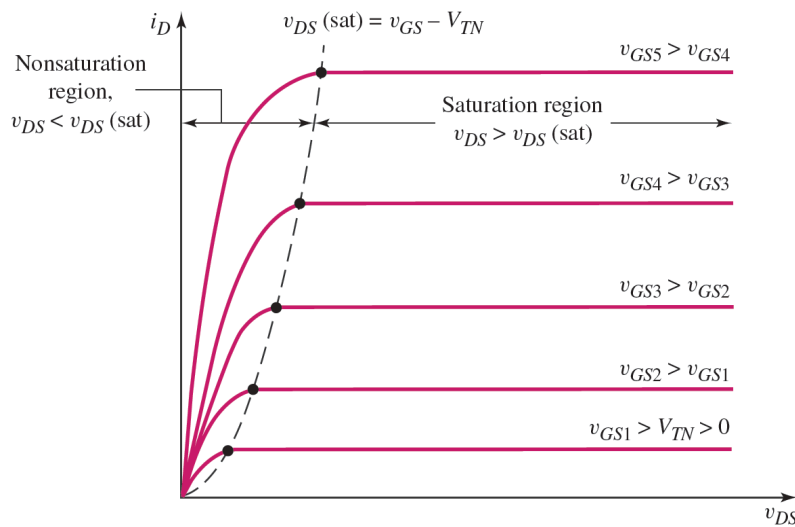
L คือ the *channel length* of the MOSFET (cm)

V_{GS} คือ the gate-to-source voltage (V)

V_{TH} คือ the *threshold voltage* (V)

V_{DS} คือ the drain-to-source voltage (V)

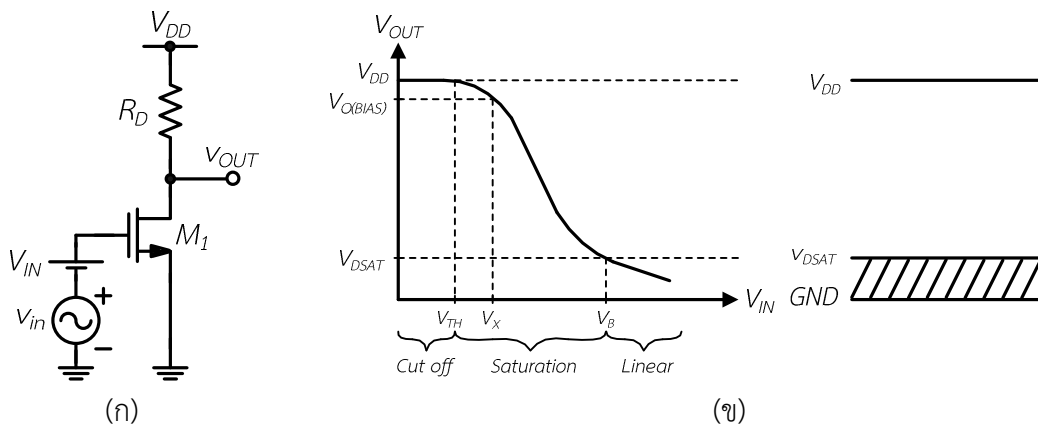
λ คือ แชนแนล เลนจ์ มอดูเลชัน (Channel Length Modulation) (V^{-1})



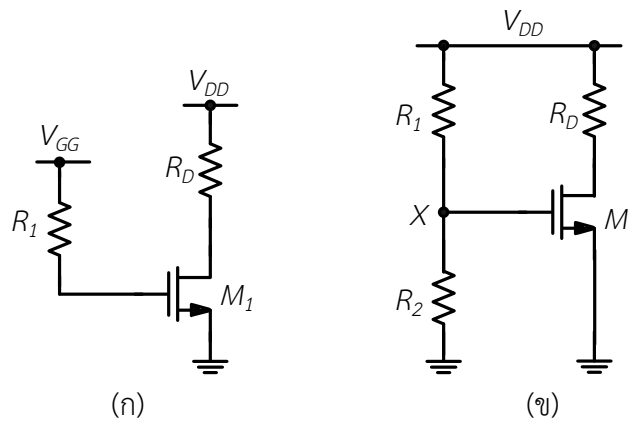
รูปที่ 5.8 คุณสมบัติกระแส-แรงดัน (I-V Characteristic) ของมอสเฟตชนิด NMOS (Donald A. Neamen)

5.4 วงจรไบอัสมอสเฟต (Donald A. Neamen)

การนำมอสเฟตไปใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณหรือวงจรอื่นจะต้องทำการไบอัสมอสเฟตให้ทำงานในย่านอิมิตัว รูปที่ 5.9 (ก) แสดงวงจรเทียบเคียงวงจรถ่ายที่ถูกไบอัสด้วยแรงดันดีซี (V_{IN}) และมีกรุป้อนสัญญาณขนาดเล็ก (v_{in}) รูปที่ 5.9 (ข) แสดงกราฟคุณลักษณะทางดีซี เมื่อทำการไบอัสแรงดันดีซีเข้าที่ขาเกตของมอสเฟตมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์ มอสเฟตไม่นำกระแส ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ V_{DD} เมื่อทำการปรับแรงดันเพิ่มมากขึ้นแต่น้อยกว่าแรงดันขีดเริ่ม มอสเฟตยังไม่นำกระแส ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตยังคงเท่ากับ V_{DD} ช่วงนี้มอสเฟตทำงานในย่านคัทออฟ เมื่อป้อนแรงดันที่ขาเกตมากกว่าแรงดันขีดเริ่ม มอสเฟตเริ่มนำกระแส ทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุต เมื่อแรงดันไบอัสในช่วง $V_{TH} < V_{IN} < V_B$ กระแส I_D ไหลมากขึ้น ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตลดลงเนื่องจากแรงดันส่วนมากจะไปตกคร่อมที่ตัวต้านทาน R_D ช่วงนี้มอสเฟตทำงานในย่านอิมิตัว และเมื่อแรงดันไบอัสในช่วง $V_B < V_{IN}$ ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตลดลงน้อยกว่าแรงดัน V_{DSAT} ช่วงนี้มอสเฟตทำงานในย่านเชิงเส้น



รูปที่ 5.9 (ก) วงจรเทียบเคียงกาไบอัสแรงดันดีซี และการป้อนสัญญาณอินพุต และ (ข) แสดงกราฟคุณลักษณะทางดีซี (วรากร เกษมสุวรรณ)



รูปที่ 5.10 วงจรไบอัสมอสเฟต (ก) ไบอัสด้วย V_{GG} และ (ข) ไบอัสด้วย V_{DD}

การไบอัสมอสเฟตให้ทำงานในย่านอิมิตัวสามารถทำได้ 2 วงจร ดังแสดงในรูปที่ 5.10 เนื่องจากแรงดัน $V_X = V_{GS}$ ดังนั้น แรงดัน V_{GS} เท่ากับ

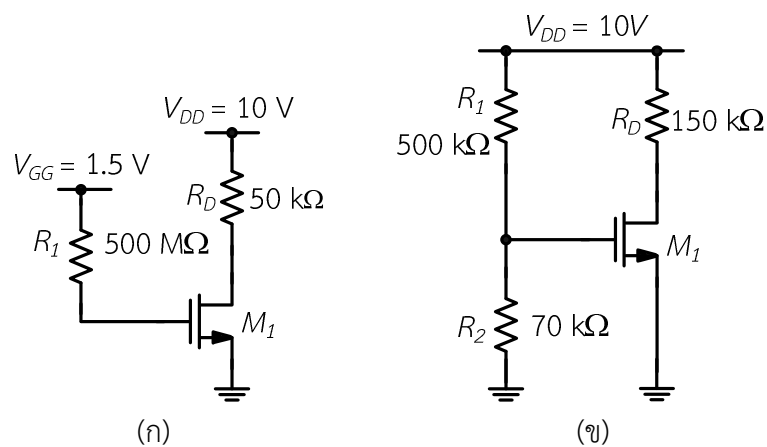
$$V_{GS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} \quad (5.4)$$

กระแส I_D มีค่าเท่ากับ

$$I_D = K_n (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad (5.5)$$

เราสามารถหาค่าแรงดัน V_{DS} ได้

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D \quad (5.6)$$



รูปที่ 5.11 วงจรไบอัสมอสเฟต (ก) ไบอัสด้วย V_{GG} และ (ข) ไบอัสด้วย V_{DD}

ตัวอย่างที่ 5.1 รูปที่ 5.11 (ก) แสดงวงจรไบอัสมอสเฟต กำหนดให้มอสเฟตชนิด N-Channel มี $V_{TH} = 0.7 \text{ V}$ $K_N = 0.1 \text{ mA/V}^2$ และ $\lambda = 0$ ให้หาค่า V_{GS} I_D และ V_{DS} และมอสเฟตทำงานย่านใด

วิธีทำ เนื่องจากกระแส $I_G = 0 \text{ A}$ แรงดัน V_{GS} เท่ากับ

$$V_{GS} = V_{GG} = 1.5 \text{ V} \quad (5.7)$$

กระแส I_D มีค่าเท่ากับ

$$I_D = K_n (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad (5.8)$$

$$I_D = 0.1 \text{ mA/V}^2 (1.5 \text{ V} - 0.7 \text{ V})^2 \quad (5.9)$$

$$I_D = 64 \text{ } \mu\text{A}$$

เราสามารถหาค่าแรงดัน V_{DS} ได้

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D \quad (5.10)$$

$$= 10 \text{ V} - (64 \text{ } \mu\text{A} \times 50 \text{ k}\Omega) \quad (5.11)$$

$$= 6.8 \text{ V}$$

เนื่องจากแรงดัน $V_{DS} = 6.8 \text{ V}$ ซึ่งมากกว่า $V_{GS} - V_{TH}$ ดังนั้น มอสเฟตทำงานย่านอิ่มตัว

ตัวอย่างที่ 5.2 รูปที่ 5.11 (ข) แสดงวงจรไบอัสมอสเฟตแบบแบ่งแรงดัน สมมติให้ $V_{TH} = 0.7 \text{ V}$ $K_N = 0.1 \text{ mA/V}^2$ และ $\lambda = 0$ จงคำนวณหาค่า V_{GS} I_D และ V_{DS} และมอสเฟตทำงานย่านใด

วิธีทำ คำนวณหาค่าแรงดัน V_G ได้ว่า

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} \quad (5.12)$$

$$= \frac{70 \text{ k}\Omega}{70 \text{ k}\Omega + 500 \text{ k}\Omega} \times 10 \text{ V} \quad (5.13)$$

$$= 1.23 \text{ V}$$

เมื่อแทนค่าแรงดัน $V_{GS} = 1.23 \text{ V}$ ในสมการกระแส I_D กระแส I_D มีค่าเท่ากับ

$$I_D = K_n (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad (5.14)$$

$$I_D = 0.1 \text{ mA/V}^2 (1.23 \text{ V} - 0.7 \text{ V})^2 \quad (5.15)$$

$$I_D = 28 \text{ } \mu\text{A}$$

เราสามารถหาค่าแรงดัน V_{DS} ได้

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D \quad (5.16)$$

$$= 10 \text{ V} - (28 \text{ } \mu\text{A} \times 150 \text{ k}\Omega) \quad (5.17)$$

$$= 5.8 \text{ V}$$

เนื่องจากแรงดัน $V_{DS} = 5.8 \text{ V}$ ซึ่งมากกว่า $V_{GS} - V_{TH}$ ดังนั้น มอสเฟตทำงานย่านอิ่มตัว

ตัวอย่างที่ 5.3 กำหนดให้มอสเฟตชนิด N-Channel มี $V_{TH} = 1 \text{ V}$ $K_N = 1 \text{ mA/V}^2$ และ $\lambda = 0$ ให้หาค่า I_D และ V_{DS}

วิธีทำ ทำการหาค่าแรงดัน V_{R1} ได้ว่า

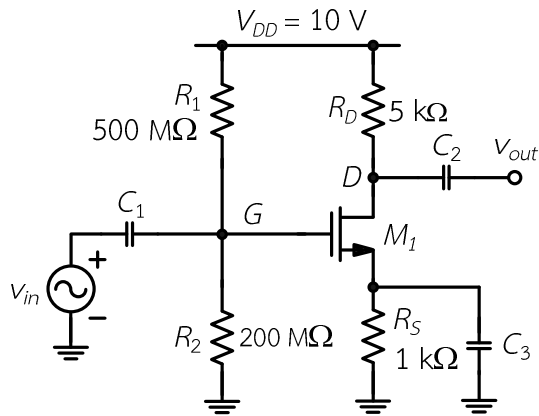
$$V_G = V_{R2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{DD} \quad (5.18)$$

$$= \frac{200 \text{ M}\Omega}{200 \text{ M}\Omega + 500 \text{ M}\Omega} \times 10 \text{ V} \quad (5.19)$$

$$= 2.86 \text{ V}$$

เมื่อแทนค่าแรงดัน $V_G = 2.86 \text{ V}$ ในสมการกระแส I_D กระแส I_D มีค่าเท่ากับ

$$I_D = K_N (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad (5.20)$$



รูปที่ 5.12 วงจรขยายแบบซอสร่วม

$$I_D = K_N (V_G - I_D R_S - V_{TH})^2 \quad (5.21)$$

$$= 1 \text{ mA/V}^2 (2.86 \text{ V} - I_D - 1 \text{ V})^2 \quad (5.22)$$

$$= (1.86 \text{ V} - I_D)^2 \text{ mA} \quad (5.23)$$

$$I_D = 3.46 - 3.72 I_D + I_D^2 \quad (5.24)$$

$$I_D^2 - 4.72 I_D + 3.46 = 0 \quad (5.25)$$

$$I_D = \frac{-b \pm \sqrt{(b)^2 - 4ac}}{2a} \quad (5.26)$$

$$I_D = \frac{4.72 \pm \sqrt{(-4.72)^2 - (4 \times 3.46)}}{2} \quad (5.27)$$

$$I_D = 3.81 \text{ mA}, 0.91 \text{ mA}$$

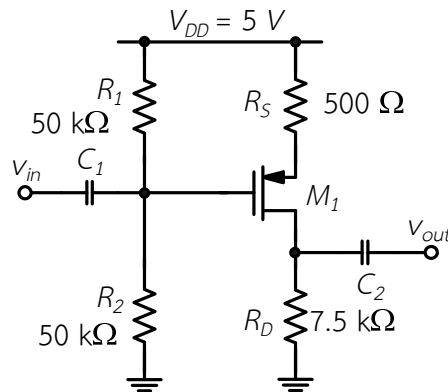
เลือกค่ากระแส $I_D = 0.91 \text{ mA}$ เนื่องจากแทนค่า $V_{GS} = V_G - I_D R_S$ แล้วมากกว่า V_{TH} นำค่ากระแส I_D มาหาค่าแรงดัน V_{DS} ได้

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D \quad (5.28)$$

$$= 10 \text{ V} - (0.91 \text{ mA} \times 6 \text{ k}\Omega) \quad (5.29)$$

$$= 5.46 \text{ V}$$

ตัวอย่างที่ 5.4 กำหนดให้มอสเฟตชนิด P-Channel มี $V_{TH} = 0.8 \text{ V}$ $K_P = 0.2 \text{ mA/V}^2$ และ $\lambda = 0$ ให้หาค่า V_{SG} I_D และ V_{SD}



รูปที่ 5.13 วงจรขยายแบบซอสร์วม

วิธีทำ ทำการหาค่าแรงดัน V_{R1} ได้ว่า

$$V_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} \tag{5.30}$$

$$= \frac{50\text{k}\Omega}{50\text{k}\Omega + 50\text{k}\Omega} \times 5\text{V} \tag{5.31}$$

$$= 2.5 \text{ V}$$

เมื่อแทนค่าแรงดัน $V_{R1} = 2.5 \text{ V}$ ในสมการกระแส I_D กระแส I_D มีค่าเท่ากับ

$$I_D = K_P (V_{SG} - V_{TH})^2 \tag{5.32}$$

$$I_D = K_P (V_{R1} - I_D R_S - V_{TH})^2 \tag{5.33}$$

$$= 0.2\text{mA/V}^2 (2.5\text{V} - 500I_D - 0.8\text{V})^2 \tag{5.34}$$

$$= (0.34 - 0.1I_D)^2 \text{ mA} \tag{5.35}$$

$$I_D = 0.1156 - 0.068I_D + 0.01I_D^2 \tag{5.36}$$

$$0.01I_D^2 - 1.068I_D + 0.1156 = 0 \quad (5.37)$$

$$I_D = \frac{-b \pm \sqrt{(b)^2 - 4ac}}{2a} \quad (5.38)$$

$$I_D = \frac{1.068 \pm \sqrt{(-1.068)^2 - (4 \times 0.01 \times 0.1156)}}{0.02} \quad (5.39)$$

$$I_D = 0.11 \text{ mA}$$

เราสามารถหาค่าแรงดัน V_{DS} ได้

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D \quad (5.40)$$

$$= 5 \text{ V} - (0.11 \text{ mA} \times 8 \text{ k}\Omega) \quad (5.41)$$

$$= 4.12 \text{ V}$$

เนื่องจากแรงดัน $V_{DS} = 4.12 \text{ V}$ ซึ่งมากกว่า $V_{GS} - V_{TH}$ ดังนั้น มอสเฟตทำงานย่านอิ่มตัว

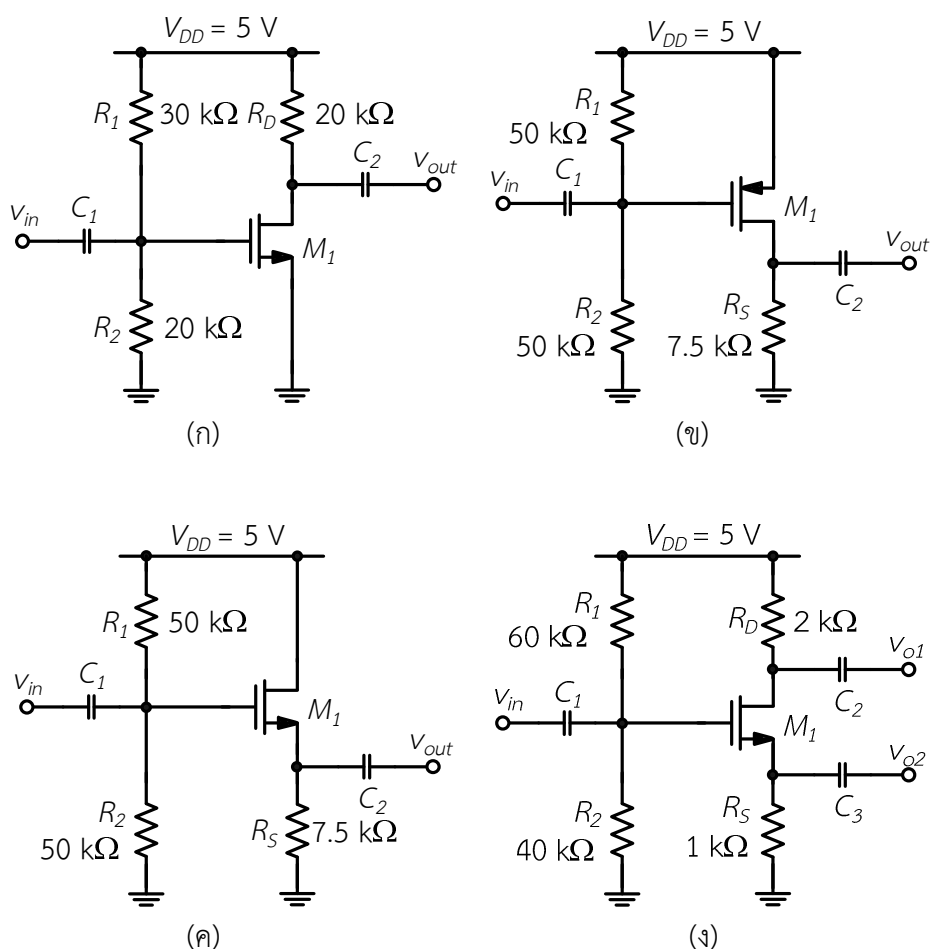
5.5 บทสรุป

มอสเฟต คืออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ถูกนำไปต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณ และวงจรสวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์ กระแสที่ไหลผ่านตัวมอสเฟตจะถูกควบคุมด้วยแรงดัน V_{GS} เมื่อป้อนแรงดัน V_{GS} มากกว่าแรงดันขีดเริ่มมอสเฟตจึงจะมีกระแสไหล และไหลคงที่เมื่อมอสเฟตทำงานในย่านอิ่มตัว การนำมอสเฟตไปต่อเป็นวงจรขยายจะต้องถูกไบอัสให้เหมาะเพื่อไม่ให้วงจรขยายสัญญาณผิดเพี้ยน การไบอัสมอสเฟตแบบแบ่งแรงดันจะใช้ตัวต้านทานแบ่งแรงดันเพื่อไบอัสให้กับมอสเฟต การไบอัสคงที่ใช้ตัวต้านทานต่อระหว่างแรงดันไบอัสกับขาเกต นักศึกษาสามารถนำวิธีการทดลองหาค่าคุณลักษณะของมอสเฟตไปประยุกต์ใช้หาค่าแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟตเบอร์อื่น ๆ ได้ การทดลองต่อวงจรไบอัสมอสเฟตจะเป็นการฝึกทักษะการต่อวงจร และรู้ถึงการไบอัสแรงดันที่เหมาะสมให้กับมอสเฟต

แบบฝึกหัดท้ายบท

- รูปที่ 5.19 (ก) แสดงวงจรขยายขอสรรม กำหนดให้มอสเฟตชนิด N-Channel มี $K_N = 0.1 \text{ mA/V}^2$ และ $V_{TH} = 1 \text{ V}$ ให้หาค่า V_{GS} I_D และ V_{DS}

2. รูปที่ 5.19 (ข) แสดงวงจรขยายซอร์่วม กำหนดให้มอสเฟตชนิด P-Channel มี $K_p = 0.2 \text{ mA/V}^2$ และ $V_{TH} = -1.2 \text{ V}$ ให้หาค่า V_{GS} I_D และ V_{DS}
3. กำหนดให้วงจรรูปที่ 5.19 (ค) วงจรตามแรงดัน กำหนดให้มอสเฟตชนิด N-Channel มี $K_N = 0.5 \text{ mA/V}^2$ และ $V_{TH} = 1 \text{ V}$ ให้หาค่า V_{GS} I_D และ V_{DS}
4. รูปที่ 5.19 (ง) แสดงวงจรขยาย กำหนดให้มอสเฟตชนิด N-Channel มี $K_N = 0.5 \text{ mA/V}^2$ และ $V_{TH} = 1 \text{ V}$ ให้หาค่า V_{GS} I_D และ V_{DS}



รูปที่ 5.19 (ก) วงจรขยายซอร์่วมชนิด N-channel MOSFET (ข) วงจรขยายซอร์่วมชนิด P-channel MOSFET (ค) วงจรตามแรงดัน และ (ง) วงจรไบอัสมอสเฟต

