

$$R_1 = 18M\Omega, R_2 = 910M\Omega$$

$$R_3 = 8k\Omega, R_D = 770k\Omega$$

$$g_m = 8.05 \text{ mS}, R_D = 770k\Omega$$

หน้าที่ ๑ / ๑๕

ใบเนื้อหา

วิชา วงจรอิเล็กทรอนิกส์ 1

เรื่อง วงจรทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าขยายสัญญาณ

ภาคเรียนที่ ๒ / ๒๕๖๐cc

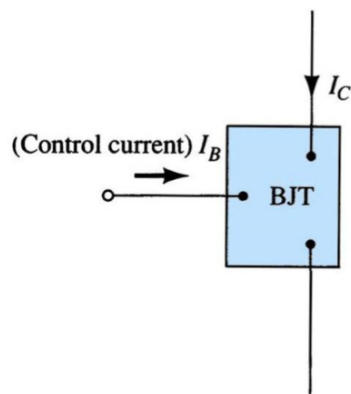
ชั้น ปริญญาตรี

วงจรทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าขยายสัญญาณ

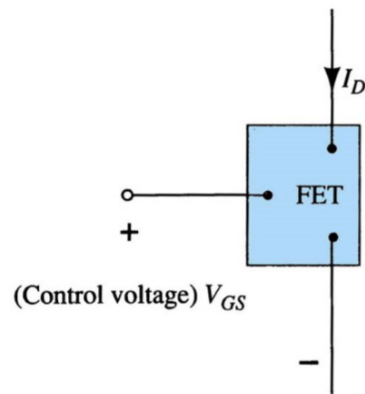
FET (Field Effect Transistor)

เฟตจะประกอบด้วยชั้นสารซิลิกอน N ซึ่งได้รับการแพร่ลงบนรอยต่อของชั้นสารพีและเอ็นเฟตมีขาต่อใช้งาน 3 ขา คือ ขาเกต(gate), เดรน (drain) และซอร์ส (source) ระหว่างขาเดรนกับซอร์สจะได้รับไบแอสตรง ดังนั้นกระแสจะไหลจากขาเดรนไปยังขาซอร์สความสามารถในการนำกระแสของเฟตจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ขาเกตถ้าหากแรงดันที่เกตเป็นลบมากกระแสก็จะไหลน้อยและถ้าหากแรงดันที่ขาเกตเป็นลบถึงค่าหนึ่ง ก็จะทำให้ไม่มีกระแสเดรนไหลเลย แรงดันเกตที่ค่านี้เรียกว่า แรงดันพิตช์ออฟ (pitchoff voltage) โดยปกติมีค่าประมาณ -5 โวลต์

Current Control Device



Voltage Control Device



ภาพที่ ๑ ความแตกต่าง BJT และ FET

ความแตกต่าง BJT และ FET คือการทำงานของทรานซิสเตอร์ BJT จะขึ้นอยู่กับกระแสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ BJT แต่ส่วน FET การทำงานของทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า จะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ขาเกต และขาซอร์ส โดยสรุปก็คือ ทรานซิสเตอร์ BJT ใช้กระแสคอนโทรลให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน แต่ส่วนทรานซิสเตอร์ FET ใช้แรงดันคอนโทรลให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน

$$R_1 = 18M\Omega, R_2 = 910M\Omega$$

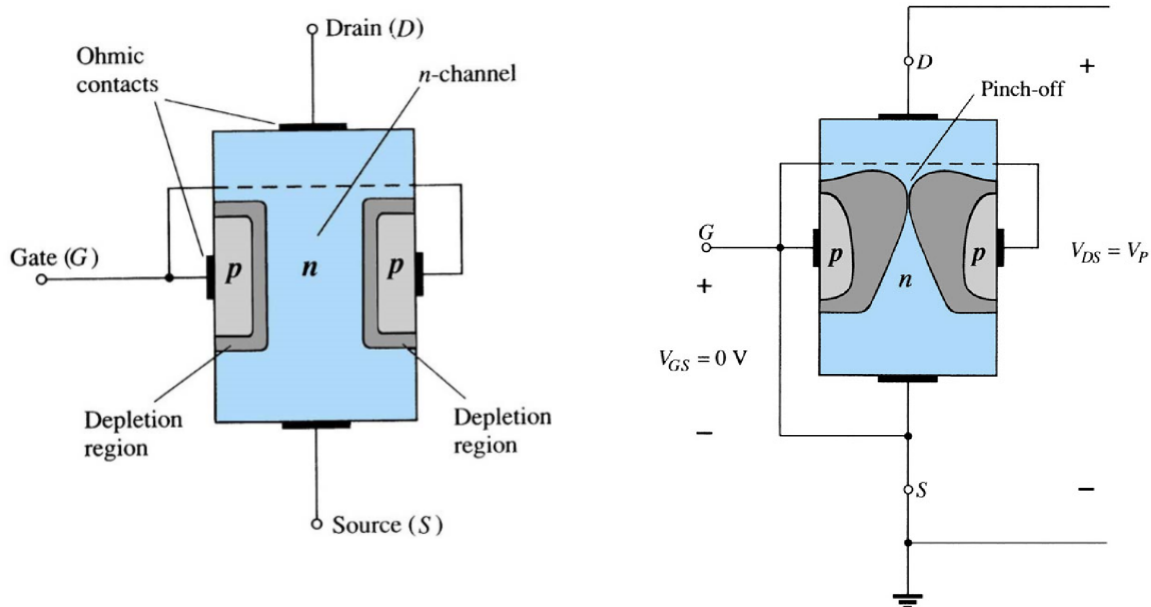
$$R_o = 1.8k\Omega, R_D = 1.7700k\Omega$$

$$g_m = 8.05 \text{ mS}, R_D = -4.47 \text{ mS} \times 1.8k$$

หน้าที่ ๒ /
๑๕

โครงสร้าง JFET n-channel

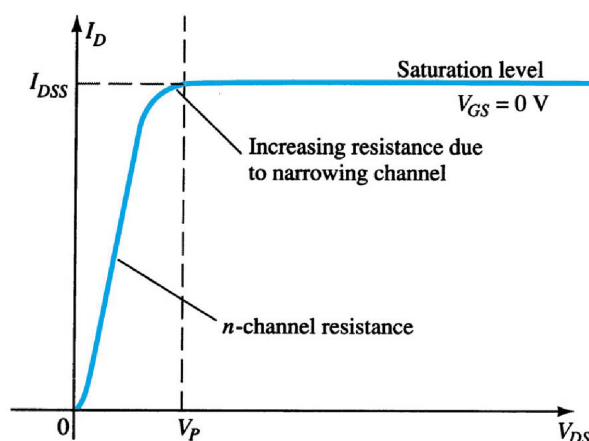
เจฟเทตมีขาต่อใช้งาน 3 ขา คือ ขาเกต (Gate: G), เดรน (Drain: D) และซอร์ส (Source: S) กระแสไฟฟ้าจะสามารถไหลจากขาเดรนไปยังขาซอร์สของเจฟเทตได้ เมื่อมีการไบอัสตรงระหว่างขาเดรนกับซอร์ส



ภาพที่ ๒ โครงสร้างทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า JFET n-channel

ถ้า $V_{GS} = 0$ และ V_{DS} มีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเขตปลอดพาหะกว้างจนกันพอดี จะทำให้กระแสที่ไหลใน n-channel (I_D) จะไหลคงที่ ซึ่งถ้าเพิ่ม V_{DS} ขึ้นอีก ($V_{DS} > V_P$) JFET จะทำงานในสภาวะอิ่มตัว (I_D คงที่)

เมื่อ $V_{GS} = 0$, V_{DS} มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นบวก



ภาพที่ ๒

- การเพิ่มขึ้นของ V_{DS} จะไม่ทำให้กระแส I_D เพิ่มขึ้น แทน V_{DS} ที่ pinch-off ด้วย V_P หรือ $V_{DS(sat)}$ หรือ $V_{GS(off)}$

$$R_1 = 18M\Omega, R_2 = 910M\Omega$$

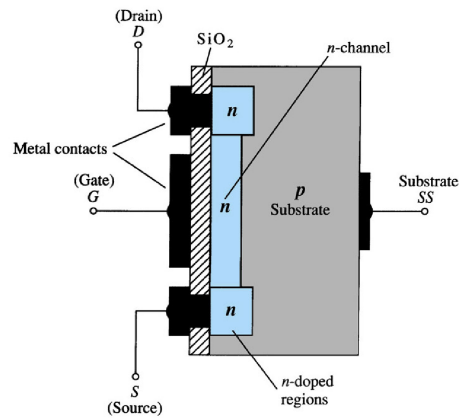
$$R_0 = 8k\Omega, R_D = 1.770k\Omega$$

$$g_m = -8.05 R_D = -4.47mS \times 1.8k$$

- กระแส I_D ในสภาวะ saturation แทนด้วย $I_{DSS}(V_{GS}=0)$

- ค่า Ohmic ของ channel จะมีค่าสูง

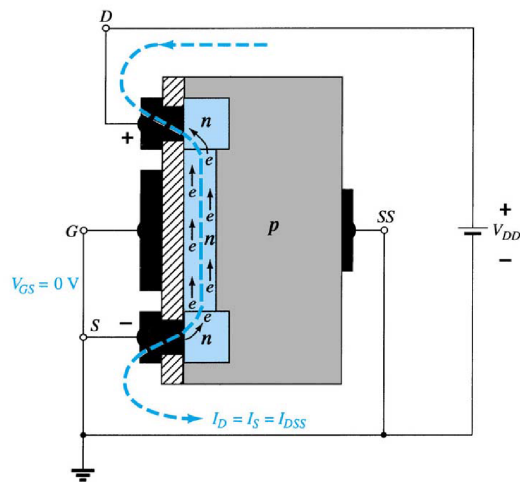
โครงสร้าง D-MOSFET n-channel



ภาพที่ ๒

ขา Drain (D) และขา Source (S) จะต่อกับสาร n โดยที่สาร n ถูกต่อถึงกัน n-channel โดยที่ n-channel ถูกต่อกับขา Gate (G) โดยมี SiO₂ บางๆ กันอยู่ และสาร n จะอยู่บนสาร p – substrate ซึ่งสามารถต่อได้อีกหนึ่งขาเรียกว่า SS

การทำงานของ Depletion-MOSFET เมื่อ $V_{GS} = 0$



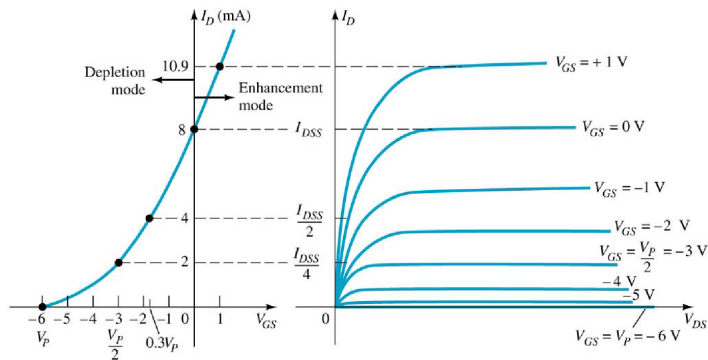
ภาพที่ ๒ การทำงานของ Depletion-MOSFET เมื่อ $V_{GS} = 0$

DMOSFET สามารถทำงานได้ 2 modes คือ Depletion mode และ Enhancement mode

$$R_1 = 18 \text{ M}\Omega, R_2 = 910 \text{ M}\Omega$$

$$R_0 = 1.8 \text{ k}\Omega, R_D = 1.7 \text{ M}\Omega$$

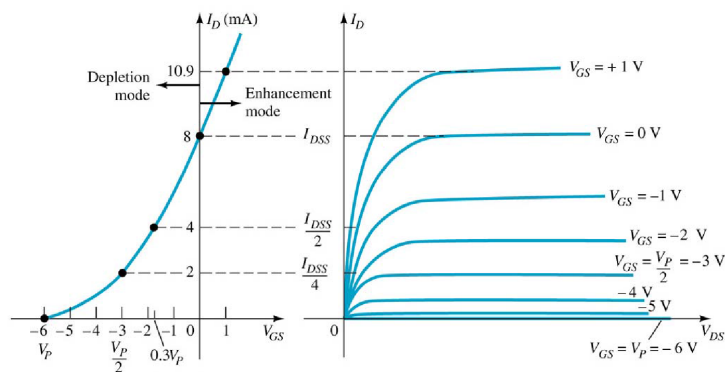
$$A_v = -g_m R_D = -4.47 \text{ mS} \times 1.8 \text{ k}\Omega$$



ภาพที่ ๒ Depletion mode

คุณลักษณะของ D-MOSFET จะเหมือนกับ JFET

เมื่อ $V_{GS} = 0$ จะได้ $I_D = I_{DSS}$ แต่ถ้า $V_{GS} < 0$ จะได้ $I_D < I_{DSS}$ สมการของกระแส I_D เหมือนกับกระแส I_D ของ JFET



ภาพที่ ๒ Enhancement mode

เมื่อ $V_{GS} > 0$ จะได้ $I_D > I_{DSS}$

สมการของกระแส I_D เหมือนกับกระแส I_D ของ JFET (แทน V_{GS} เป็นค่าบวก)

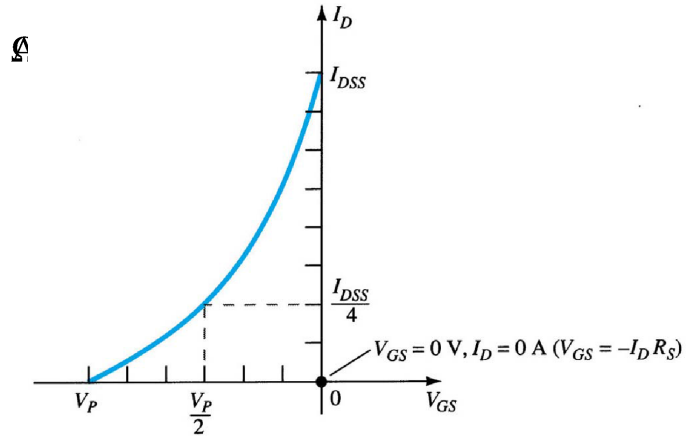
ค่าพารามิเตอร์ในวงจรขยาย

- Voltage gain : A_v
- Input Impedance : Z_i
- Output Impedance : Z_o

ความสัมพันธ์ของแรงดัน V_{GS} และกระแส I_D เขียนอยู่ในรูปของสมการ Shockley ดังนี้

$$R_1 = 18 \text{ M}\Omega, R_2 = 910 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 1.8 \text{ k}\Omega, R_2 = 1.77 \text{ k}\Omega$$



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

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

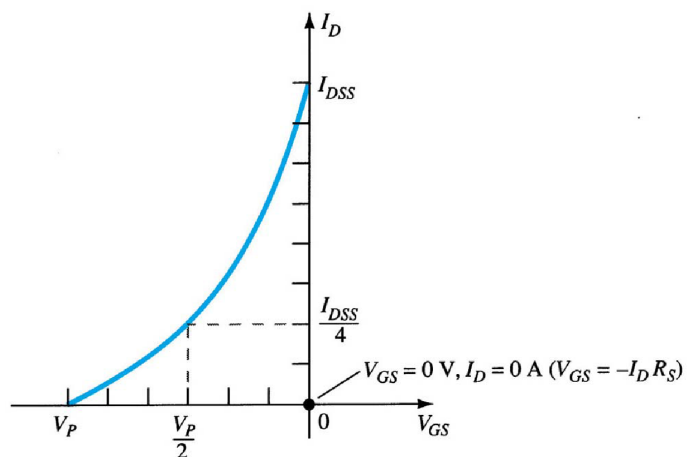
$$\sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} = 1 - \frac{V_{GS}}{V_P}$$

$$V_{GS} = V_P \left(1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} \right)$$

การวิเคราะห์วงจรโดยใช้กราฟถ่ายโอนร่วมกับการคำนวณ

- เขียนกราฟถ่ายโอนโดยใช้สมการชอเคลียตามตารางความสัมพันธ์ของกระแส I_D และแรงดัน V_{GS}

V_{GS}	I_D
0	I_{DSS}
$0.3V_P$	$I_{DSS}/2$
$0.5V_P$	$I_{DSS}/4$
V_P	0



ภาพที่ ๒

$$R_1 = 18M\Omega \parallel R_2 = 910M\Omega$$

$$R_o = 8k\Omega \parallel R_D = 1.77M\Omega$$

$$A_v = -g_m R_o = -4.47mS \times 1.8k$$

2. หากระแสและแรงดันที่จุด Q โดยลากเส้นไบแอสไฟตรง(เกิดจากจุด 2 จุด)ให้ไปตัดกับกราฟการถ่ายโอน

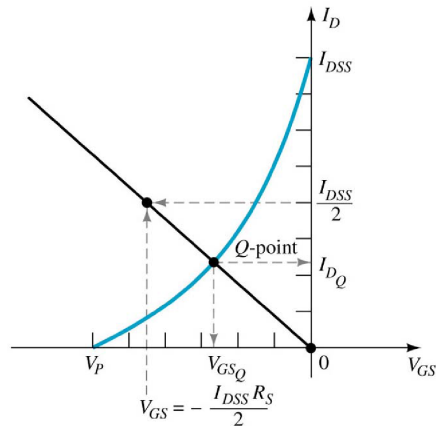
- จุดที่ 1 ที่ $I_D = 0$

- จุดที่ 2 ที่ $I_D > 0$ (เช่น $I_D = I_{DSS}/2$)

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

$$V_{GS}|_{I_D=0} = -(0)R_S = 0V$$

$$V_{GS}|_{I_D=\frac{I_{DSS}}{2}} = -\frac{I_{DSS}R_S}{2}$$



การวิเคราะห์วงจรการคำนวณทางคณิตศาสตร์

จากสมการค่ากระแส I_D ของ
วงจรไบแอสป้อนกลับ

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

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

หาค่า V_{GS} จากความสัมพันธ์

$$-\frac{V_{GS}}{R_S} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$-V_{GS} = I_{DSS} R_S \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$-V_{GS} = I_{DSS} R_S \left(1 + \frac{V_{GS}}{|V_P|} \right)^2$$

$$-V_{GS} = I_{DSS} R_S \left(1 + \frac{2V_{GS}}{|V_P|} + \frac{V_{GS}^2}{|V_P|^2} \right)$$

$$= \frac{I_{DSS} R_S}{|V_P|^2} V_{GS}^2 + \frac{2I_{DSS} R_S}{|V_P|} V_{GS} + I_{DSS} R_S$$

$$0 = \frac{I_{DSS} R_S}{|V_P|^2} V_{GS}^2 + \left(\frac{2I_{DSS} R_S}{|V_P|} + 1 \right) V_{GS} + I_{DSS} R_S$$

จากสมการกำลังสอง (Quadratic Equation)

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad \parallel \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$R_1 = 18M\Omega \parallel R_2 = 910M\Omega$$

$$R_o = 1.8k\Omega \parallel R_D = 1.77001k\Omega$$

$$A_v = -g_m R_o = -4.47mS \times 1.8k$$

เทียบกับสมการกำลังสองจะได้

$$a = \frac{I_{DSS} R_S}{|V_P|^2}, \quad b = \frac{2I_{DSS} R_S}{|V_P|} + 1, \quad c = I_{DSS} R_S$$

ดังนั้นสมการหาค่า V_{GS} เท่ากับ

$$V_{GS}|_{n-channel} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$V_{GS}|_{p-channel} = \frac{+b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแส I_D เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงแรงดัน V_{GS} เมื่อแทนด้วย Transconductance factor

$$\Delta I_D = g_m \Delta V_{GS}$$

Transconductance อัตราขยายความนำ

ความสัมพันธ์ของแรงดัน V_{GS} (input) กับ I_D (output) อัตราขยายความนำโดยที่แทนอัตราขยายความนำด้วยสัญลักษณ์ g_m

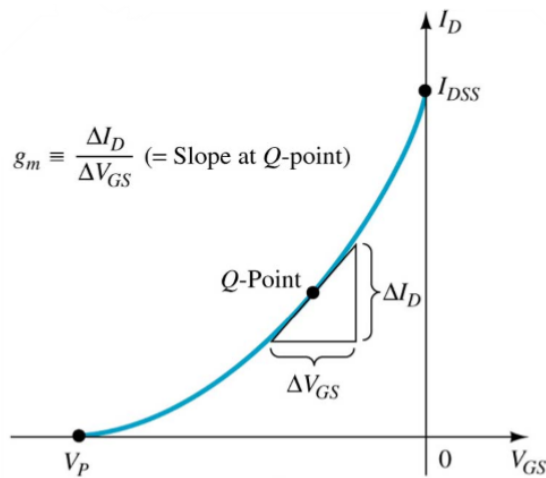
$$\bullet \quad g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

Graphical Determination of g_m

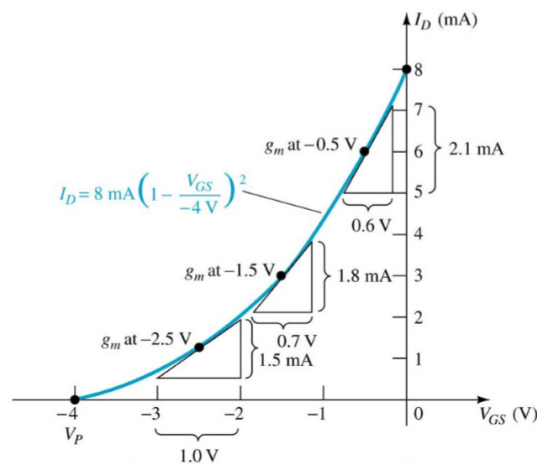
$$R_1 = 18\text{M}\Omega \parallel R_2 = 910\text{M}\Omega$$

$$R_o = 1.8\text{k}\Omega \parallel R_D = 1.77\text{k}\Omega$$

$$A_v = g_m R_o = -4.47\text{mS} \times 1.8\text{k}$$



ภาพที่ ๓ กราฟแสดงอัตราขยายความนำ



ภาพที่ ๔ กราฟแสดงอัตราขยายความนำที่ I_D ค่าต่าง ๆ

Mathematic Determination of g_m

$$\begin{aligned} g_m &= \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \right|_{Q-pt} = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right|_{Q-pt} \\ &= \frac{\partial I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2}{\partial V_{GS}} \\ &= \frac{2I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \partial \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)}{\partial V_{GS}} \\ &= \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \end{aligned}$$

ค่า g_m ที่ $V_{GS} = 0\text{ V}$:

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{0}{V_P}\right) = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}$$

ดังนั้นค่า g_m มีสมการเป็น :

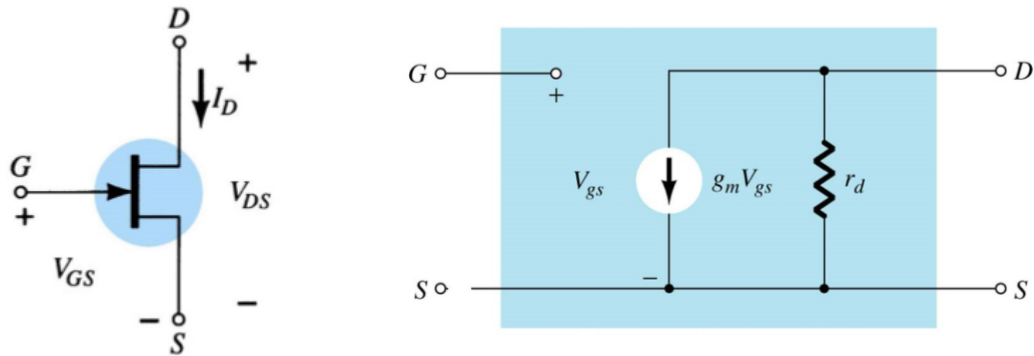
$$\begin{aligned} g_m &= g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \\ &= g_{m0} \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} \end{aligned}$$

$$R_1 = 18M\Omega, R_2 = 910k\Omega$$

$$R_D = 1.8k\Omega, R_D = 1.77k\Omega$$

$$A_v = -g_m R_D = -4.47mS \times 1.8k$$

วงจรสมมูลขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า

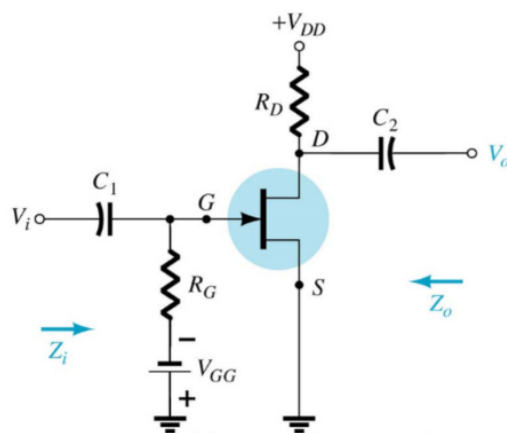


ภาพที่ ๕ วงจรสมมูลขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า

การแทนวงจรสมมูลสัญญาณเล็กของ FET ในวงจรขยายสามารถแทนวงจรสมมูลสัญญาณเล็กของทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าในวงจรขยาย ที่แบ่งได้ดังนี้

- Common Drain Amplifier
- Common Gate Amplifier
- Common Source Amplifier

การจัดวงจรของการไบแอสเกต

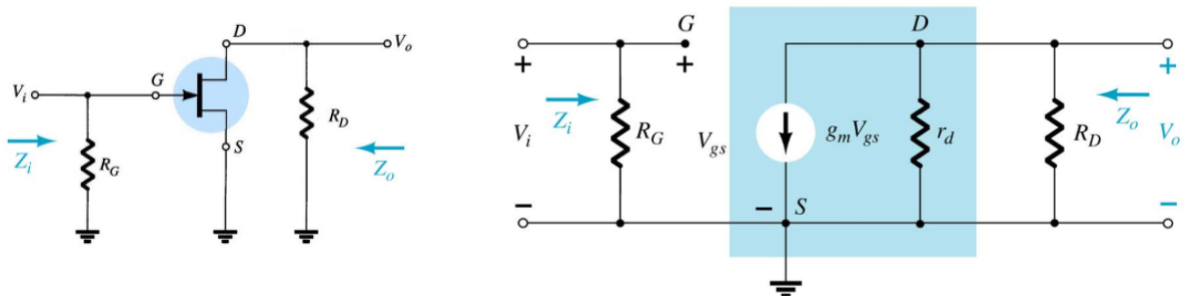


$$R_1 = 1\text{M}\Omega \parallel R_2 = 910\text{k}\Omega$$

$$R_o = 1.8\text{k}\Omega \parallel R_D = 1.77\text{k}\Omega$$

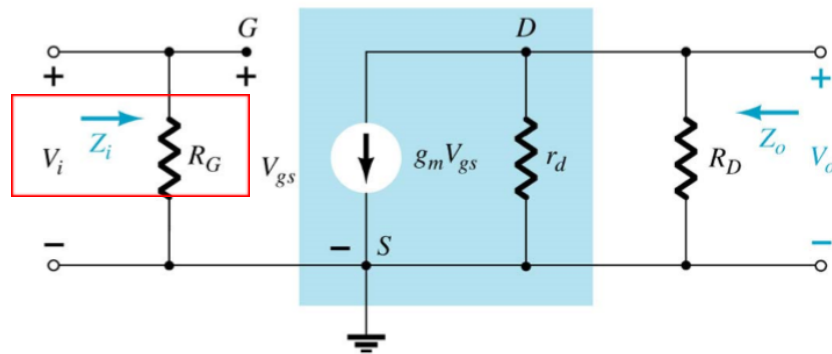
$$A_v = -g_m R_D = -4.47\text{mS} \times 1.8\text{k}$$

จากวงจรการไบแอสเกตสามารถนำมาเขียนรูปวงจรสมมูลขนาดเล็ก



ภาพที่ ๗ วงจรสมมูลขนาดเล็กของวงจรขยาย

ในการหาค่า อินพุตอิมพีแดนซ์สามารถหาได้โดยจากวงจรสมมูลจากแหล่งจ่าย V_i จะได้ค่า $Z_i = R_G$



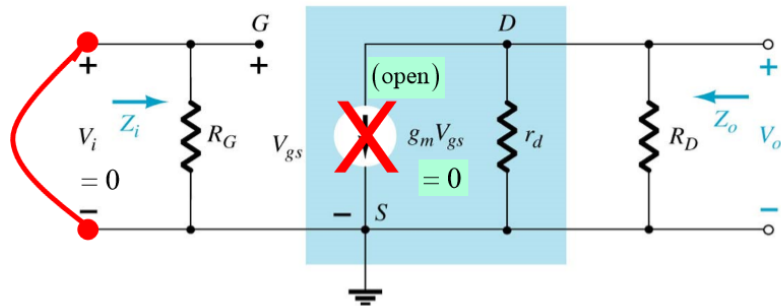
ภาพที่ ๘ วงจรสมมูลขนาดเล็กของวงจรขยาย

การหาค่า เอาต์พุตอิมพีแดนซ์สามารถหาได้โดยจากวงจรสมมูลจากแหล่งจ่าย V_o โดยให้แหล่งจ่าย V_i มีค่าเท่ากับ 0 โดยการ ช็อตแหล่งจ่าย V_i จะได้ $Z_o = r_d \parallel R_D$

$$R_1 = 1\text{M}\Omega \parallel R_2 = 910\text{k}\Omega$$

$$R_o = 1.8\text{k}\Omega \parallel R_D = 1.77\text{k}\Omega$$

$$A_v = -g_m R_o = -4.47\text{mS} \times 1.8\text{k}$$



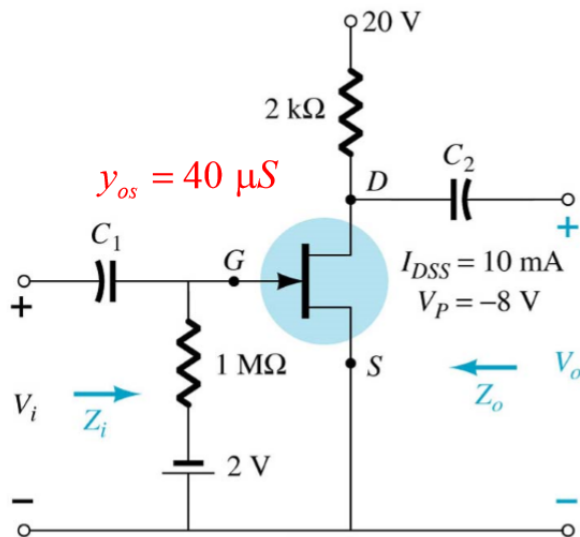
ภาพที่ ๙ การหา Z_o โดยทำการชอร์ต $V_i = 0$

อัตราขยายแรงดัน A_v

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m V_{gs} (r_d \parallel R_D)}{V_{gs}} = -g_m (r_d \parallel R_D)$$

$$A_v \cong -g_m R_D \big|_{r_d \geq 10 R_D}$$

ตัวอย่างที่ 1 จากวงจรจงหา g_m, r_d, Z_i, Z_o, A_v



วิธีทำ

$$Z_i = R_1 \parallel R_2 = 910 \text{ k}\Omega$$

$$Z_o = R_D \parallel r_d = 1.77 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = -g_m R_D = -4.47 \text{ mS} \times 1.8 \text{ k}\Omega$$

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(10 \text{ mA})}{8 \text{ V}} = 2.5 \text{ mS}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P} \right) = 2.5 \text{ mS} \left(1 - \frac{-2 \text{ V}}{-8 \text{ V}} \right) = 1.88 \text{ mS}$$

$$r_d = \frac{1}{y_{OS}} = \frac{1}{40 \mu\text{S}} = 25 \text{ k}\Omega$$

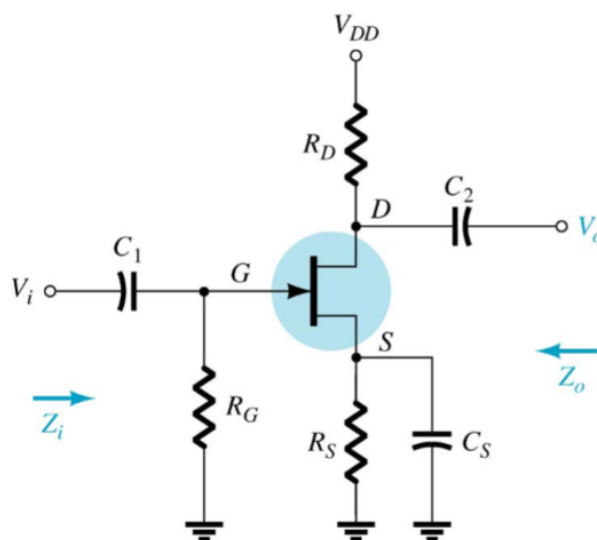
$$Z_i = R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

$$Z_o = R_D \parallel r_d = 2 \text{ k}\Omega \parallel 25 \text{ k}\Omega = 1.85 \text{ k}\Omega$$

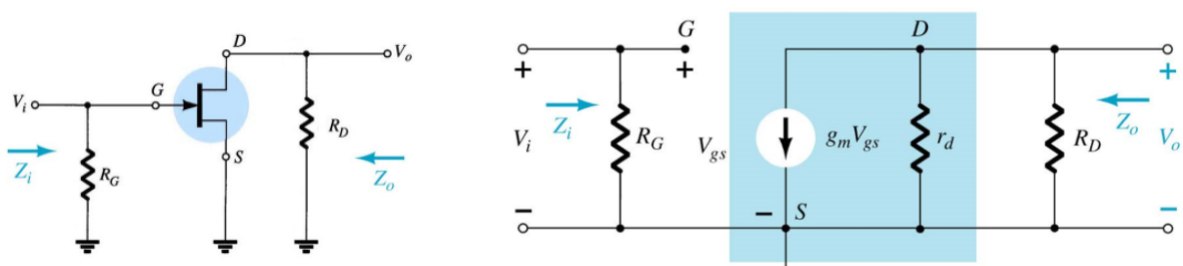
$$A_v = -g_m (R_D \parallel r_d) = -(1.88 \text{ mS})(1.85 \text{ k}\Omega) = -3.48$$

การจัตวงจรของการไบแอสป้อนกลับ

บ



จากวงจรการไบแอสป้อนกลับสามารถนำมาเขียนรูปวงจรสมมูลขนาดเล็ก



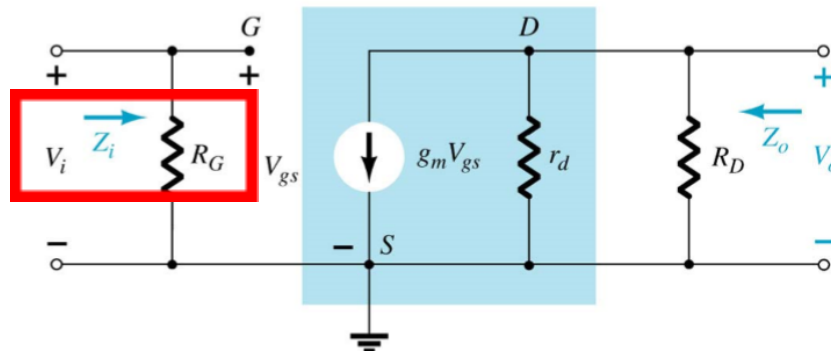
$$R_1 = 18M\Omega \parallel R_2 = 910M\Omega$$

$$R_o = 1.8k\Omega \parallel R_D = 1.7700k\Omega$$

$$A_v = -g_m R_D = -4.47mS \times 1.8k$$

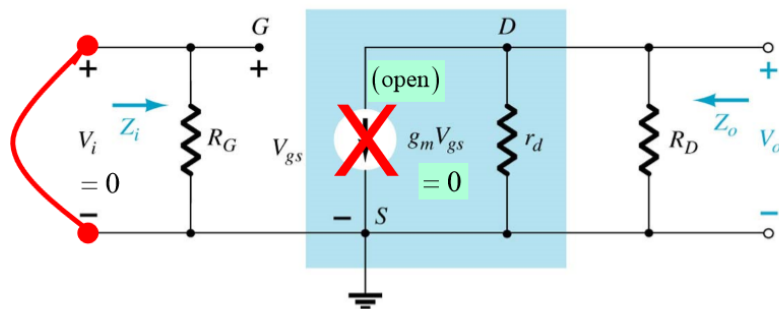
ภาพที่ ๑๑ วงจรสมมูลขนาดเล็กของวงจรขยาย

ในการหาค่า อินพุตอิมพีแดนซ์สามารถหาได้โดยจากวงจรสมมูลจากแหล่งจ่าย V_i จะได้ค่า $Z_i = R_G$



ภาพที่ ๑๒ วงจรสมมูลขนาดเล็กของวงจรขยาย

การหาค่า เอาต์พุตอิมพีแดนซ์สามารถหาได้โดยจากวงจรสมมูลจากแหล่งจ่าย V_o โดยให้แหล่งจ่าย V_i มีค่าเท่ากับ 0 โดยการ ชอร์ตแหล่งจ่าย V_i จะได้ $Z_o = r_d \parallel R_D$



ภาพที่ ๑๓ การหา Z_o โดยทำการชอร์ต $V_i = 0$

อัตราขยายแรงดัน A_v

$$R_1 \parallel R_2 = 910 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = r_d \parallel R_D = 1.77 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = -g_m R_o = -4.47 \text{ mS} \times 1.8 \text{ k}\Omega$$

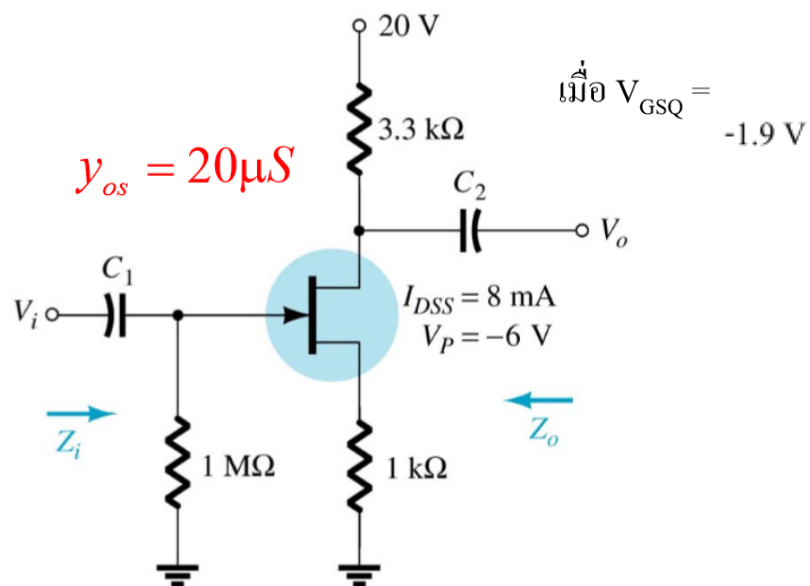
$$V_o = -g_m V_{gs} (r_d \parallel R_D)$$

$$V_i = V_{gs}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m V_{gs} (r_d \parallel R_D)}{V_{gs}} = -g_m (r_d \parallel R_D)$$

$$A_v \cong -g_m R_D \big|_{r_d \geq 10 R_D}$$

ตัวอย่างที่ 2 จากวงจรจงหา g_m, r_d, Z_i, Z_o, A_v



วิธีทำ

$$R_1 \parallel R_2 = 910 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = R_d \parallel R_D = 1.77 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = -g_m R_o = -4.47 \text{ mS} \times 1.8 \text{ k}$$

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(8 \text{ mA})}{6 \text{ V}} = 2.67 \text{ mS}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P} \right) = 2.67 \text{ mS} \left(1 - \frac{-2.6 \text{ V}}{-6 \text{ V}} \right) = 1.51 \text{ mS}$$

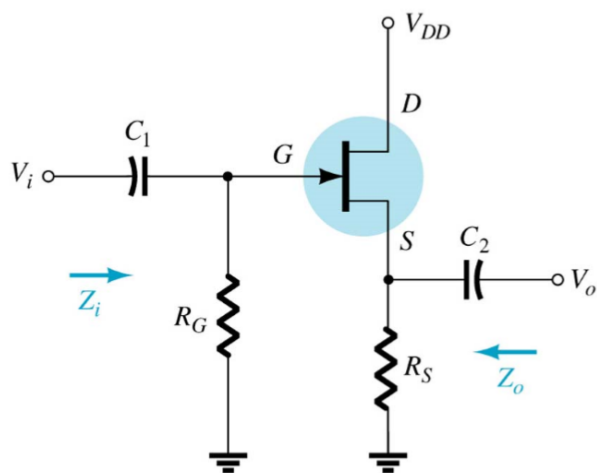
$$r_d = \frac{1}{y_{OS}} = \frac{1}{20 \mu\text{S}} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$Z_i = R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

$$Z_o = R_D = 3.3 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_s + \frac{R_D + R_s}{r_d}} = \frac{-(1.51 \text{ mS})(3.3 \text{ k}\Omega)}{1 + (1.51 \text{ mS})(1 \text{ k}\Omega) + \frac{3.3 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega}{50 \text{ k}\Omega}}$$

การจัดวงจรเดรนร่วม

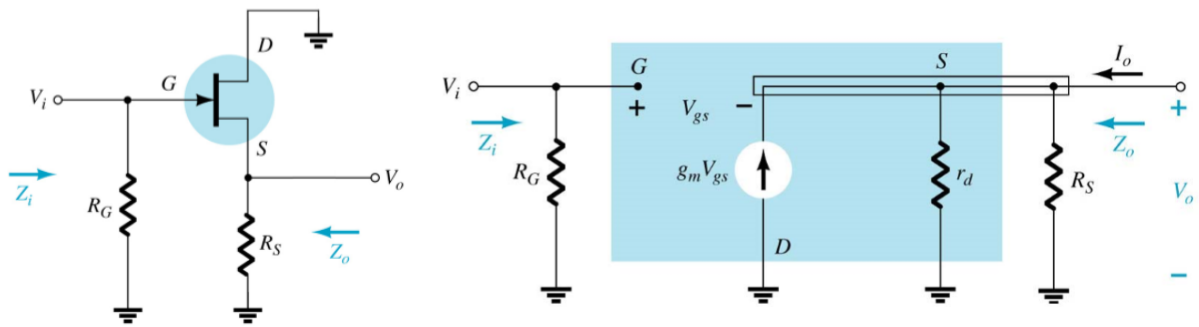


จากวงจรการจัดวงจรเดรนร่วมสามารถนำมาเขียนรูปวงจรสมมูลขนาดเล็ก

$$R_1 = 1\text{M}\Omega, R_2 = 910\text{M}\Omega$$

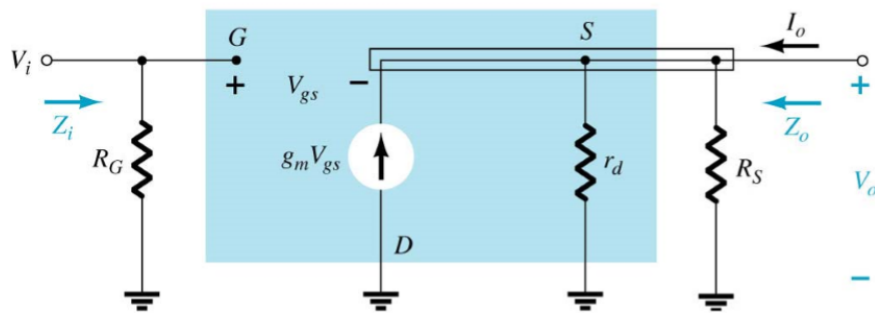
$$R_G = 1.8\text{k}\Omega, R_D = 1.7\text{k}\Omega$$

$$A_v = -g_m R_D = -4.47\text{mS} \times 1.8\text{k}$$



ภาพที่ ๑๕ วงจรสมมูลขนาดเล็กของวงจรขยาย

ในการหาค่า อินพุตอิมพีแดนซ์สามารถหาได้โดยจากวงจรสมมูลจากแหล่งจ่าย V_i จะได้ค่า $Z_i = R_G$



ภาพที่ ๑๖ วงจรสมมูลขนาดเล็กของวงจรขยาย

การหาค่า เอาต์พุตอิมพีแดนซ์สามารถหาได้โดยจากวงจรสมมูลจากแหล่งจ่าย V_o โดยให้แหล่งจ่าย V_i มีค่าเท่ากับ 0 โดยการ ชอร์ตแหล่งจ่าย V_i

เมื่อใช้ KCL ที่โนด S

$$I_o + g_m V_{gs} = I_{r_d} + I_{R_s} = \frac{V_o}{r_d} + \frac{V_o}{R_s}$$

$$I_o = V_o \left(\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_s} \right) - g_m V_{gs}$$

$$= V_o \left(\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_s} \right) - g_m (-V_o)$$

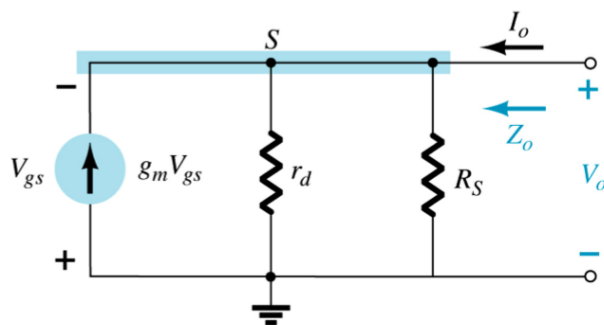
$$= V_o \left(\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_s} + g_m \right)$$

$$R_1 = 18M \parallel R_2 = 910M \Omega$$

$$R_o = 1.8k \parallel R_D = 1.7700k \parallel$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{g_m R_D}{1 + g_m R_D} = -4.47mS \times 1.8k$$

$$\begin{aligned} Z_o &= \frac{V_o}{I_o} = \frac{1}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_s} + g_m} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_s} + \frac{1}{1/g_m}} \\ &= r_d \parallel R_s \parallel \frac{1}{g_m} \\ &= R_s \parallel \frac{1}{g_m} \Big|_{r_d \geq 10R_s} \end{aligned}$$



ภาพที่ ๑๗ การหา Z_o โดยทำการชอร์ต $V_i = 0$

อัตราขยายแรงดัน A_v

$$V_o = g_m (V_i - V_o) (r_d \parallel R_s)$$

$$V_o = g_m V_i (r_d \parallel R_s) - g_m V_o (r_d \parallel R_s)$$

$$V_o [1 + g_m (r_d \parallel R_s)] = g_m V_i (r_d \parallel R_s)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{g_m (r_d \parallel R_s)}{1 + g_m (r_d \parallel R_s)}$$

$$\approx \frac{g_m R_s}{1 + g_m R_s} \Big|_{r_d \geq 10R_s}$$

$$R_1 = 1\text{M}\Omega \parallel R_2 = 910\text{k}\Omega$$

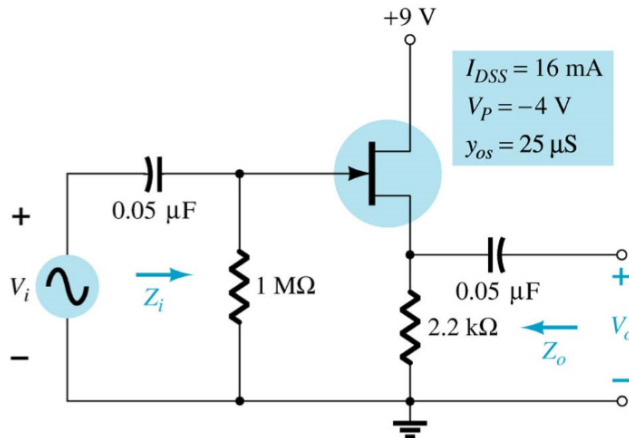
$$R_o = 1.8\text{k}\Omega \parallel R_D = 1.77\text{k}\Omega$$

$$A_v = -g_m R_o = -4.47\text{mS} \times 1.8\text{k}$$

ตัวอย่างที่ 3 จากวงจรจงหา g_m, r_d, Z_i, Z_o, A_v

เมื่อ $V_{GSQ} =$

วิธีทำ



$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(16\text{mA})}{4\text{V}} = 8\text{mS}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P} \right) = 8\text{mS} \left(1 - \frac{-2.86\text{V}}{-4\text{V}} \right) = 2.28\text{mS}$$

$$r_d = \frac{1}{y_{OS}} = \frac{1}{25\mu\text{S}} = 40\text{k}\Omega$$

$$Z_i = R_G = 1\text{M}\Omega$$

$$Z_o = r_d \parallel R_s \parallel \frac{1}{g_m} = 40\text{k}\Omega \parallel 2.2\text{k}\Omega \parallel \frac{1}{2.28\text{mS}}$$

$$A_v = \frac{-g_m (r_d \parallel R_s)}{1 + -g_m (r_d \parallel R_s)} = \frac{(2.28\text{mS})(40\text{k}\Omega \parallel 2.2\text{k}\Omega)}{1 + (2.28\text{mS})(40\text{k}\Omega \parallel 2.2\text{k}\Omega)} = \frac{4.77}{1 + 1.77} =$$

หน้า ๑๔/
๑๕

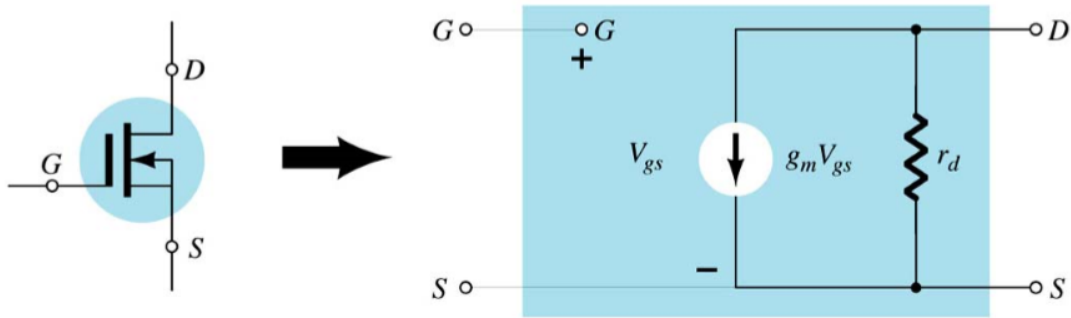
D – Mosfet

วงจรสมมูลขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า

$$R_1 = 18 \text{ M}\Omega \parallel R_2 = 910 \text{ M}\Omega$$

$$R_o = 1.8 \text{ k}\Omega \parallel R_D = 1.77 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = \frac{g_m}{g_m + R_o} = -4.47 \text{ mS} \times 1.8 \text{ k}$$



ภาพที่ ๑๗ วงจรสมมูล D - Mosfet

คุณสมบัติ

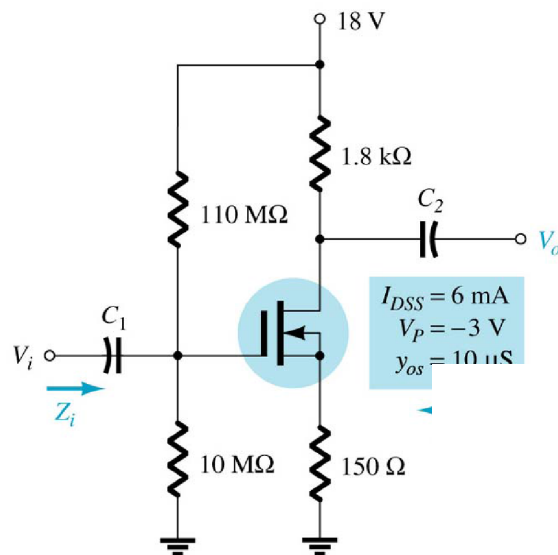
- I_D เป็นไปตามสมการ Shockley
- V_{GS} สามารถเป็นได้ทั้งค่าบวกและลบ
- ค่า g_m สามารถมีค่าที่มากกว่าค่า g_{m0}

ตัวอย่างที่ 4 จากวงจรจงหา g_m, r_d, Z_i, Z_o, A_v

เมื่อ

$$V_{GSQ} = 0.35 \text{ V}$$

$$I_{DQ} = 7.6 \text{ mA}$$



$$R_1 = 10\text{ M}\Omega \parallel R_2 = 910\text{ k}\Omega$$

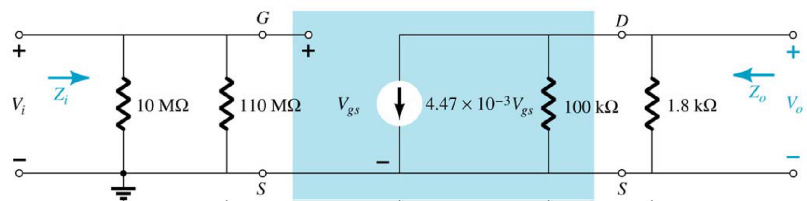
$$R_o = 1.8\text{ k}\Omega \parallel R_D = 1.77\text{ k}\Omega$$

$$A_v = g_m R_D = -4.47\text{ mS} \times 1.8\text{ k}$$

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} = \frac{2 \times 6\text{ mA}}{3\text{ V}} = 4\text{ mA}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS_Q}}{V_p} \right) = 4\text{ mS} \left(1 - \frac{0.35\text{ V}}{-3\text{ V}} \right) = 4.47\text{ mS}$$

$$r_d = \frac{1}{y_{os}} = \frac{1}{10\mu\text{S}} = 100\text{ k}\Omega$$



หนังสืออ้างอิง

๑. อุดุลย์ กัลยาแก้ว . อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร . กรุงเทพฯ : เจริญรุ่งเรืองการพิมพ์, ๒๕๔๖.
๒. นภัทร วัจนเทพินทร์ . อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ . นนทบุรี : สกายบุ๊กส์ , ๒๕๔๒.8

$$R_1 = 18M\Omega \parallel R_2 = 910M\Omega$$

$$R_o = 1.8k\Omega \parallel R_D = 1.7700k\Omega$$

$$A_v = -g_m R_D = -4.47mS \times 1.8k$$

ใบทดสอบ

วิชา วงจรอิเล็กทรอนิกส์ 1

ภาคเรียนที่ ๒ / ๒๕๕๙

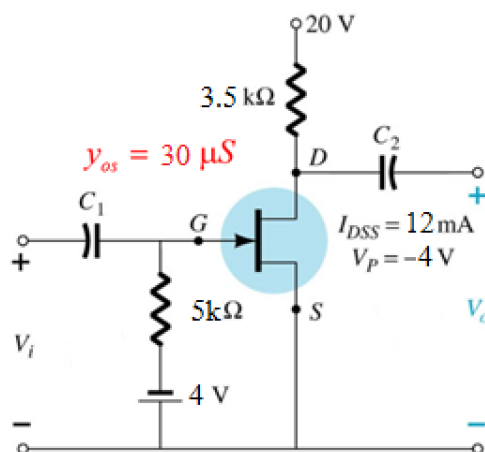
เรื่อง วงจรทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าขยายสัญญาณ

ชั้น ปริญญาตรี

ชื่อ.....เลขที่.....วันที่.....

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายวงกลมล้อมรอบข้อคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

จากวงจรตอบคำถาม ๑ - ๒ หาค่าพารามิเตอร์ในวงจรขยายแบบเกตร่วมจงคำนวณหาค่าต่อไปนี้



๑. เอพท์พุตอิมพีแดนซ์ Z_o มีค่าเท่าไร

ก. $2.87k\Omega$

ข. $3.17k\Omega$

ค. $4.58k\Omega$

ง. $4.73k\Omega$

$$R_1 = 18 \text{ M}\Omega \parallel R_2 = 910 \text{ M}\Omega$$

$$R_o = 1.8 \text{ k}\Omega \parallel R_D = 1.77 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = -g_m R_o = -4.47 \text{ mS} \times 1.8 \text{ k}$$

๒. อินพุตอิมพีแดนซ์ Z_i มีค่าเท่าไร

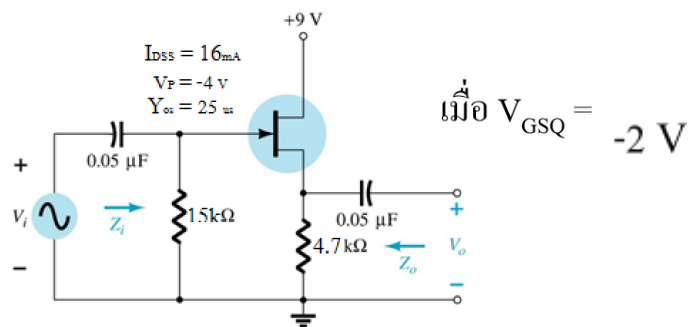
ก. $1.5 \text{ k}\Omega$

ข. $2 \text{ k}\Omega$

ค. $3.5 \text{ k}\Omega$

ง. $5 \text{ k}\Omega$

จากวงจรตอบคำถาม ๓ - ๔ หาค่าพารามิเตอร์ในวงจรขยายแบบเดรนร่วมจงคำนวณหาค่าต่อไปนี้



๓. อัตราขยายความนำ g_m มีค่าเท่าไร

ก. 1 mS

ข. 2 mS

ค. 3 mS

ง. 4 mS

๔. อัตราขยายแรงดัน A_v มีค่าเท่าไร

ก. 0.95

ข. 1.48

ค. 2.80

ง. 3.54

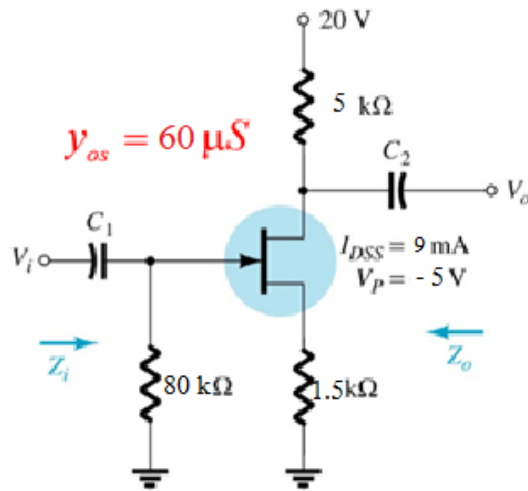
จากวงจรตอบคำถาม ๕ - ๖ หาค่าพารามิเตอร์ในวงจรขยายแบบการไบแอสป้อนกลับร่วมจงคำนวณหาค่าต่อไปนี้

$$\text{เมื่อ } V_{GSQ} = -1.5 \text{ V}$$

$$R_1 = 18 \text{ M}\Omega \parallel R_2 = 910 \text{ M}\Omega$$

$$R_o = 1.8 \text{ k}\Omega \parallel R_D = 1.77 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = -g_m R_D = -4.47 \text{ mS} \times 1.8 \text{ k}$$



๕. การทำให้วงจรการไบแอสป้อนกลับให้เป็นวงจรเปิดได้ต้องทำอะไร

ก. ปลด คาปาซิเตอร์

ข. ซื้ดแหล่งจ่าย V_i

ค. ซื้ดแหล่งจ่าย V_o

ง. ซื้ดแหล่งจ่าย V_i และ V_o

๖. V_{in} มีค่าเท่ากับอะไร

ก. R_G

ข. V_{GS}

ค. V_{CC}

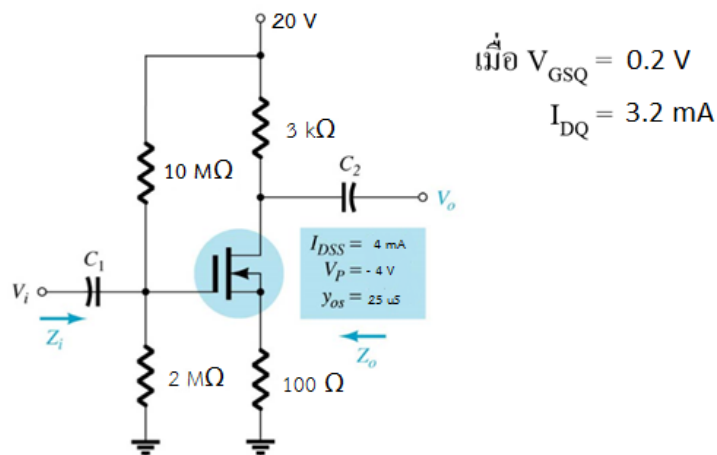
ง. V_o

จากวงจรตอบคำถาม ๗ - ๘ หาค่าพารามิเตอร์ในวงจรขยายแบบการไบแอสป้อนกลับร่วมจงคำนวณหาค่าต่อไปนี้

$$R_1 = 10 \text{ M}\Omega, R_2 = 910 \text{ k}\Omega$$

$$R_G = 1.8 \text{ k}\Omega, R_D = 1.7 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = -g_m R_D = -4.47 \text{ mS} \times 1.8 \text{ k}\Omega$$



๗. อัตราขยายความนำ g_m มีค่าเท่าไร

ก. 1.8mS

ข. 1.9mS

ค. 2mS

ง. 2.1mS

๘. อัตราขยายแรงดัน A_v มีค่าเท่าไร

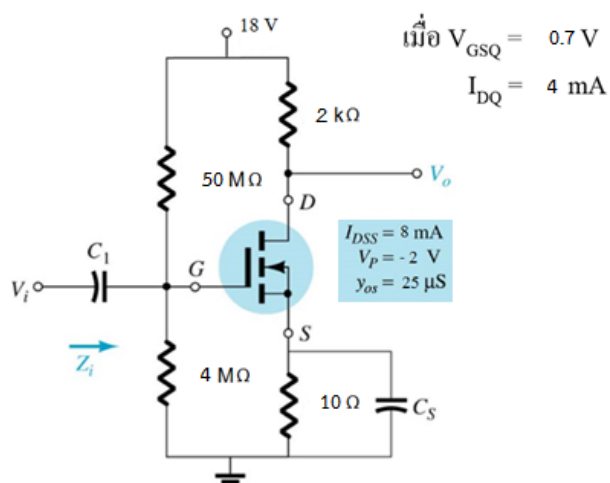
ก. 5

ข. 5.3

ค. 6

ง. 6.3

จากวงจรตอบคำถาม ๙ - ๑๐ หาค่าพารามิเตอร์ในวงจรขยายแบบการไบแอสป้อนกลับร่วมจงคำนวณหาค่าต่อไปนี้



๙. อัตราขยายความนำ g_m มีค่าเท่าไร

ก. 6mS

ข. 7mS

ค. 8mS

ง. 9mS

$$R_1 = 18M \parallel R_2 = 910M \Omega$$

$$R_o = 1.8k \parallel R_D = 1.7700k \parallel$$

$$A_v = -g_m R_D = -4.47mS \times 1.8k$$

๑๐. อัตราขยายแรงดัน A_v มีค่าเท่าไร

ก. 13

ข. 14

ค. 15

ง. 16

เฉลยใบทดสอบ

วิชา วงจรอิเล็กทรอนิกส์ 1

เรื่อง วงจรทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าขยายสัญญาณ

ภาคเรียนที่ ๒ / ๒๕๖๐

ชั้น ปวช. ๑

ข้อ ๑. ข. $3.17k \Omega$

$$r_d = \frac{1}{y_{os}}$$

$$= \frac{1}{30\mu S}$$

$$r_d = 25k\Omega$$

$$Z_o = r_d \parallel R_D$$

$$= 33.33k\Omega \parallel 3.5k\Omega$$

$$Z_o = 3.17k\Omega$$

ข้อ ๒. ง. $5k \Omega$

$$Z_i = R_G$$

$$Z_i = 5k\Omega$$

ข้อ ๓. ง. $4ms$

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|}$$

$$= \frac{2 \times 16mA}{4V}$$

$$R_1 = 18M\Omega \parallel R_2 = 910M\Omega$$

$$R_o = 1.8k\Omega \parallel R_D = 1.77001k\Omega$$

$$A_v = \frac{g_m}{g_m + \frac{1}{R_o}} = -4.47mS \times 1.8k$$

$$g_{m0} = 8ms$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p} \right)$$

$$= 8ms \left(1 - \frac{-2}{-4} \right)$$

$$g_m = 4ms$$

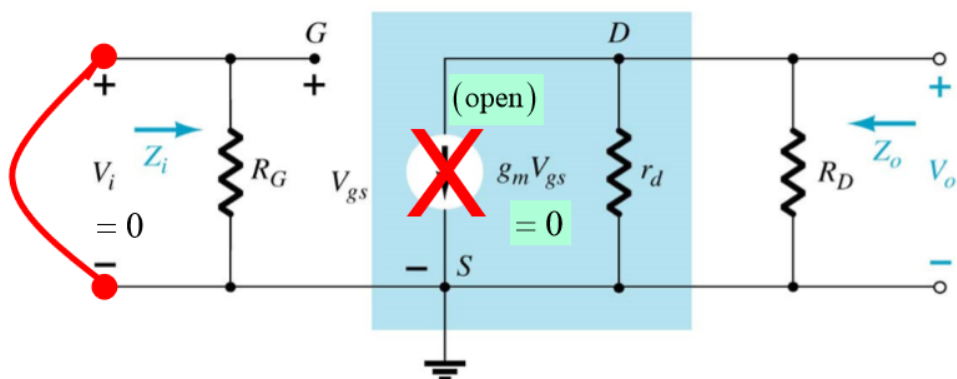
ข้อ ๔. ก. 0.95

$$A_v = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S}$$

$$= \frac{4ms \times 4.7k}{1 + 4ms \times 4.7k}$$

$$= 0.95$$

ข้อ ๕. ข. ซื่อดแหล่งจ่าย Vi

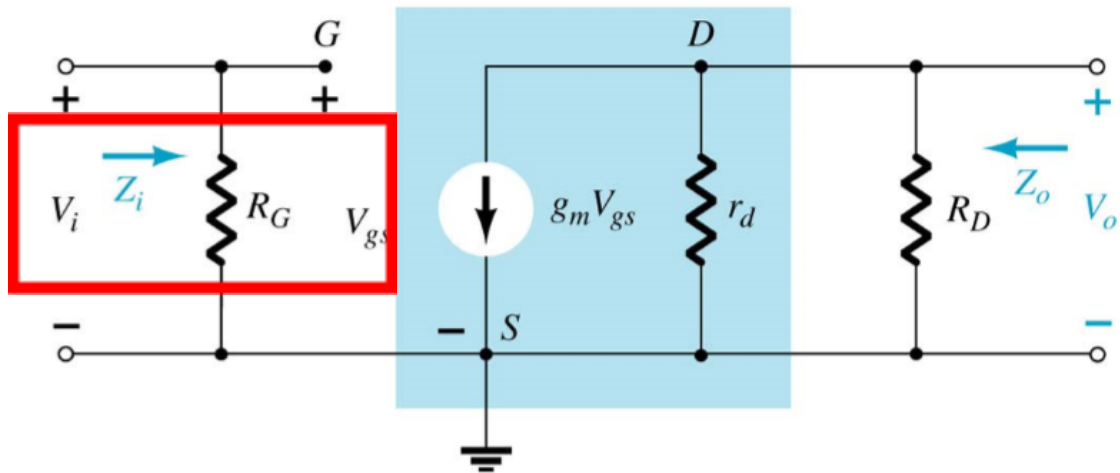


ข้อ ๖. ข. VGS

$$R_1 = 1\text{M}\Omega \parallel R_2 = 910\text{k}\Omega$$

$$R_o = 1.8\text{k}\Omega \parallel R_D = 1.77\text{k}\Omega$$

$$A_v = g_m R_o = -4.47\text{mS} \times 1.8\text{k}$$



ข้อที่ ๗. ง. 2.1mS

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} = \frac{2 \times 4\text{mA}}{4\text{V}} = 2\text{mA}$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS_Q}}{V_p} \right) = 2\text{mA} \left(1 - \frac{0.2}{-4} \right) = 2.1\text{mS}$$

$$r_d = \frac{1}{y_{os}} = \frac{1}{25\mu\text{S}} = 40\text{k}\Omega$$

ข้อที่ ๘. ง. 6.3

$$R_1 \parallel R_2 = 10M\Omega \parallel 2M\Omega$$

$$R_o = r_d \parallel R_D = 40k\Omega \parallel 3k\Omega$$

$$A_v = -g_m R_D = -4.47mS \times 1.8k$$

$$Z_i = R_1 \parallel R_2 = 10M\Omega \parallel 2M\Omega = 1.6M\Omega$$

$$Z_o = r_d \parallel R_D = 40k\Omega \parallel 3k\Omega = 2.79k\Omega$$

$$A_v = -g_m R_D = -2.1mS \times 3k\Omega = 6.3$$

ข้อที่ ๙. ค. 8mS

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} = \frac{2 \times 8mS}{2V} = 8mS$$

ข้อที่ ๑๐.

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS_Q}}{V_p} \right) = 8mS \left(1 - \frac{0.7}{-2} \right) = 10.8mS$$

จ. 16

$$r_d = \frac{1}{y_{os}} = \frac{1}{25\mu S} = 40k\Omega$$

$$Z_i = R_1 \parallel R_2 = 50M\Omega \parallel 4M\Omega = 3.7M\Omega$$

$$Z_o = r_d \parallel R_D = 40k\Omega \parallel 2k\Omega = 1.9k\Omega$$

$$A_v = -g_m R_D = -8mS \times 2k\Omega = 16$$