ອີເລັກໂຕຣນິກຂັ້ນສູງ

Advanced Electronics

ສອນໂດຍ: ອຈ. ປທ. ແກ້ວກັນລະຍາ ສີຫາລາດ
Tel & WhatsApp: 020 55607618
Email: ke.sihalath.nuol.edu.la

ບົດທີ 3
ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງເຟດ
(FET Small Signal Analysis)

- ເພື່ອສຶກສາຄຸນລັກສະນະຂອງວົງຈອນທຽບເທົ່າສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET
  - ວົງຈອນທຽບເທົ່າສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ JFET
  - ວົງຈອນທຽບເທົ່າສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ D-MOSFET
  - ວົງຈອນທຽບເທົ່າສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ E-MOSFET
    - ວົງຈອນຂະຫຍາຍແບບເກດຮ່ວມ (CG)
    - ວົງຈອນຂະຫຍາຍແບບຊອດຮ່ວມ (CS)
    - ວົງຈອນຂະຫຍາຍແບບເດຣນຮ່ວມ (CD)

3.1 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET:

- ຄ່າພາຣາມິເຕີຂອງວົງຈອນຂະຫຍາຍ
  - Voltage gain : *Av*
  - Input Impedance : *Zi* (*Ri*)
  - Output Impedance : *Zo* (*Ro*)

3.1 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET:

- ຄຸນສົມບັດຂອງວົງຈອນຂະຫຍາຍທີ່ໃຊ້ FET
  - ມີອັດຕາແຮງດັນສູງ
  - ມີອິນພຸດອິມພິແດນສູງ
  - ສິ້ນເປືອງກຳລັງພະລັງງານນ້ອຍ
  - ຕອບສະໜອງຄວາມຖີ່ໄດ້ດີກວ່າ

3.1 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET:

- ເຟດທີ່ນຳມາໃຊ້ໃນວົງຈອນຂະຫຍາຍສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍ ເພື່ອໃຫ້ໄດ້ອັດຕາຂະຫຍາຍແຮງດັນ ແລະ Zi ທີ່ມີຄ່າສູງ (ເຊິ່ງເປັນຄຸນສົມບັດທີ່ດີຂອງວົງຈອນຂະຫຍາຍ) ທັງເຈເຟດ ແລະ ດີມອດສະເຟດ ມີວົງຈອນທຽບເທົ່າຂອງວົງຈອນຂະຫຍາຍຄືກັນ ແຕ່ດີມອດສະເຟດມີ Zi ສູງກວ່າເຈເຟດ
- ເຮົາຄວບຄຸມກະແສເອົ້າພຸດ (I_C) ຂອງທຣນຊິດເຕີ BJT ໄດ້ໂດຍໃຊ້ I_B ແຕ່ໃນກໍລະນີຂອງເຟດຈະຄວບຄຸມກະແສເອົ້າພຸດ (I_D) ໄດ້ໂດຍໃຊ້ V_{GS} ອັດຕາຂະຫຍາຍກະແສຂອງທຣານຊິດເຕີ BJT ຄື β ແຕ່ເຟດຈະມີອັດຕາຂະຫຍາຍຄວາມນຳ (Transconductance, g_m) ແລະຄວາມຕ້ານທານລະຫວ່າງຂົ້ວ D ກັບຂົ້ວ S (Resistance Between Drain to Source, r_d) ເປັນອົງປະກອບສຳຄັນຂອງຕົວປະກອບການຂະຫຍາຍ (Amplification Factor) ການຫາຄ່າ g_m ແລະ r_d ຈະງ່າຍຂຶ້ນຖ້າເຮົາໃຊ້ແບບຈຳລອງເຟດມາຮ່ວມພິຈາລະນາ

3.2 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: *Small-Signal Model*

- ວົງຈອນທຽບເທົ່າຫຼືແບບຈຳລອງຂອງວົງຈອນຂະຫຍາຍສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍມີອັດຕາການຂະຫຍາຍຄວາມນຳ (g_m) ປະກອບນຳຫາໄດ້ຈາກສົມຜົນ

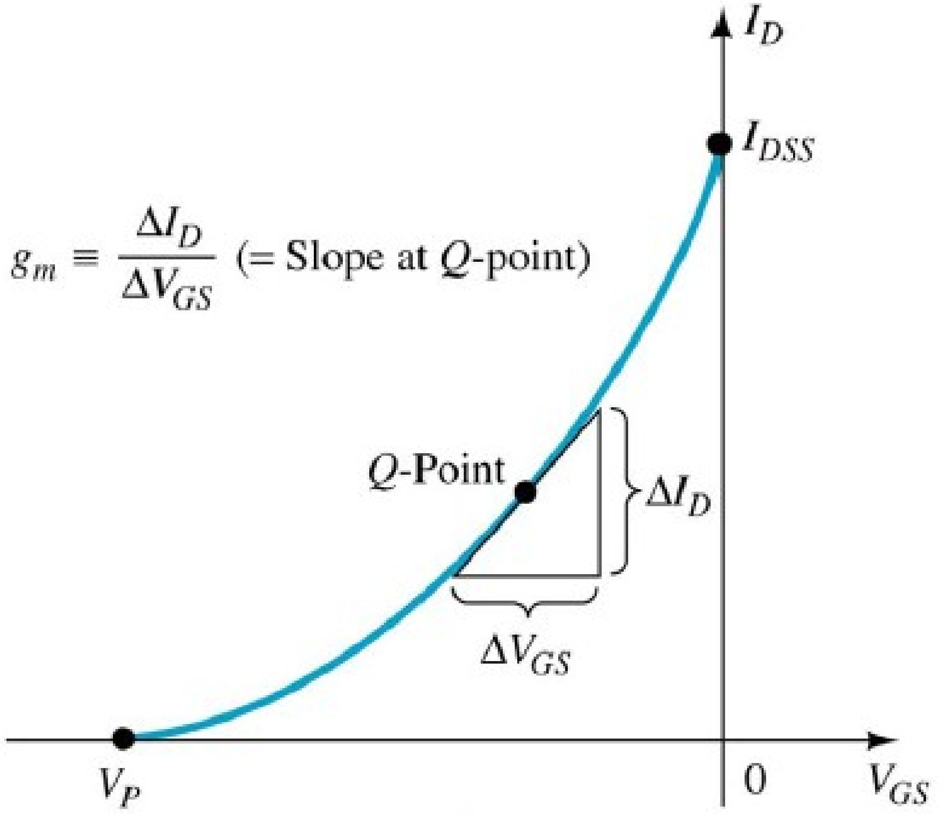
$$g_m = g_{m0}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \quad \text{ແລະ} \quad g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}$$

- ຄ່າ g_{m0} ເປັນຄ່າອັດຕາການຂະຫຍາຍຄວາມນຳທີ່ຈຸດ $V_{GS} = 0$ ເຊິ່ງເປັນຄ່າສູງສຸດຂອງ g_m ດັ່ງນັ້ນຄ່າ g_m ຕ້ອງຕ່ຳກວ່າຄ່າ g_{m0} ສະເໝີ

3.2 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: Small-Signal Model

- **ການຫາຄ່າ g_m ຈາກເສັ້ນຖ່າຍໂອນ**
- ການຫາຄ່າ g_m ທີ່ຈຸດ Q ເຮັດໄດ້ໂດຍໃຊ້ສົມຜົນຂອງ g_m ມາພິຈາລະນາຄວາມຊັນທີ່ຈຸດ Q (Slop at Q-Point) ຂອງສັ້ນຖ່າຍຖ່າຍໂອນລຸ່ມນີ້:

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



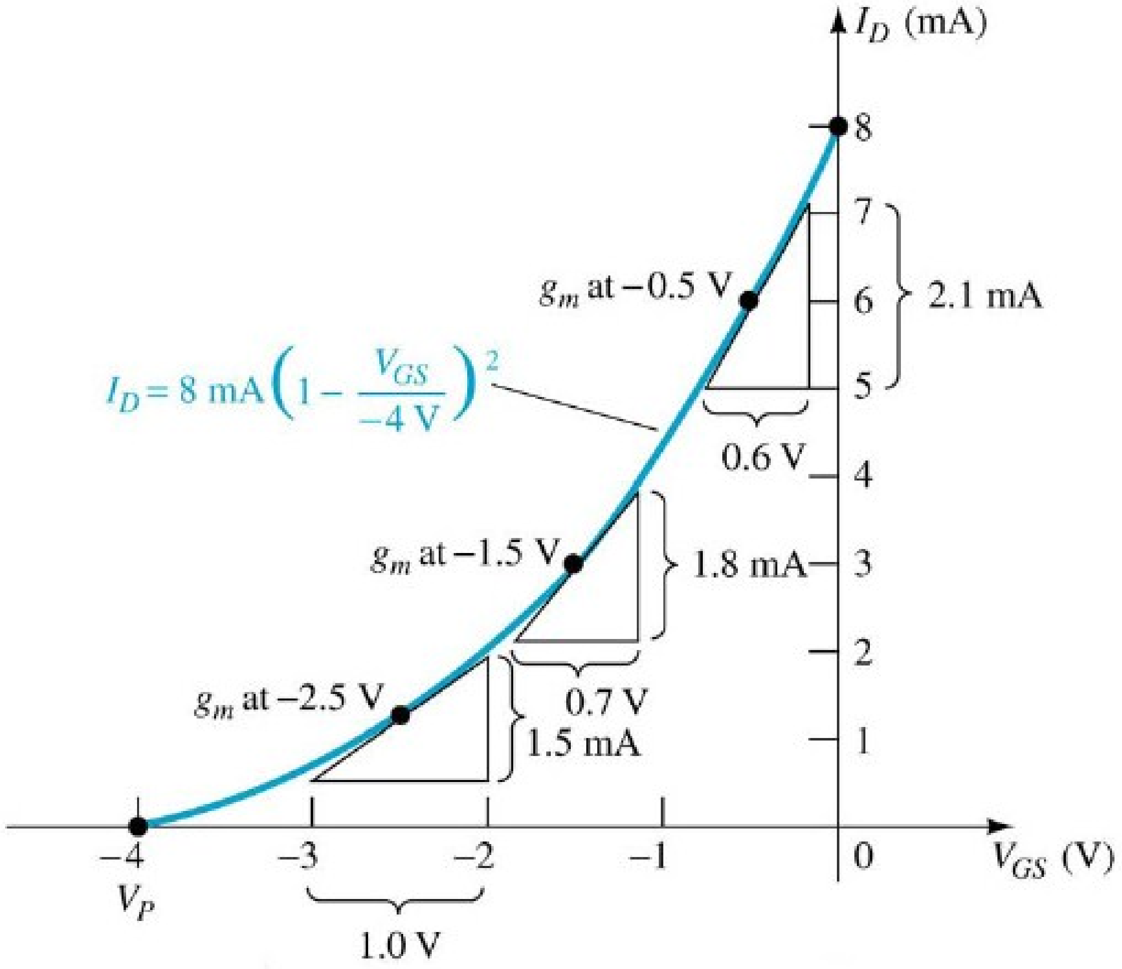
ເມື່ອ ΔI_D : ອັດຕາການປ່ຽນແປງຂອງກະແສທີ່ຈຸດ Q

ΔV_{GS} : ອັດຕາການປ່ຽນແປງຂອງແຮງດັນທີ່ຈຸດ Q

3.2 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: *Small-Signal Model*

ຕົວຢ່າງທີ່ 3.1: ຈົ່ງໃຊ້ເສັ້ນຖ່າຍໂອນຫາຄ່າ g_m ຂອງເຈເຟດທີ່ $I_{DSS} = 8mA$ ແລະ $V_P = -4V$ ທີ່ຈຸດ Q Point ມີຄ່າ V_{GSQ} ດັ່ງນີ້:

- (a) $V_{GSQ} = -0.5V$
- (b) $V_{GSQ} = -1.5V$
- (c) $V_{GSQ} = -2.5V$



3.2 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: *Small-Signal Model*

ແຕ້ມເສັ້ນຖ່າຍໂອນດັ່ງຮູບລຸ່ມນີ້:

(a) ທີ່ $V_{GSQ} = -0.5V$

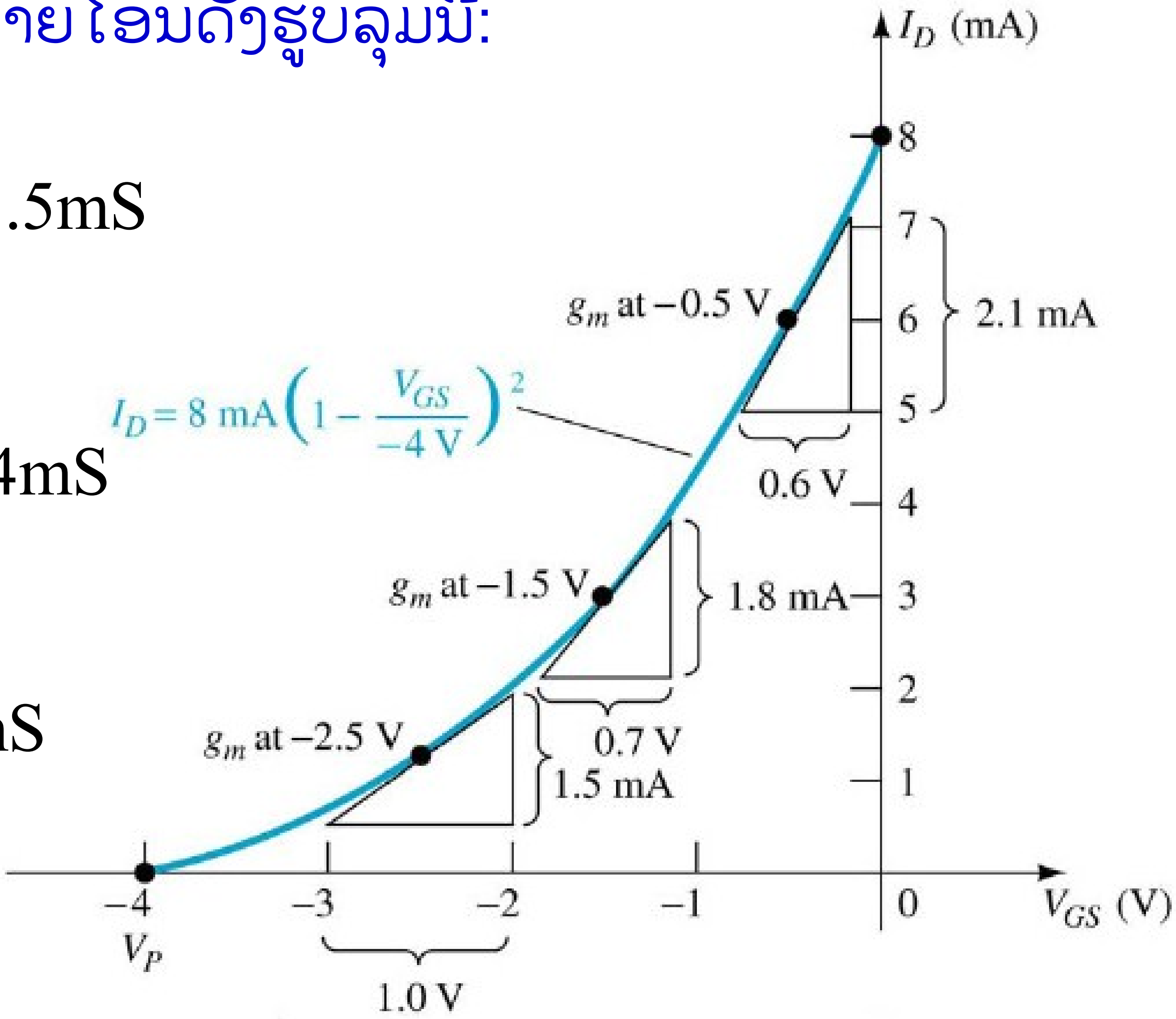
$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \frac{2.1mA}{0.6V} = 3.5mS$$

(b) ທີ່ $V_{GSQ} = -1.5V$

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \frac{1.8mA}{0.75V} = 2.4mS$$

(c) ທີ່ $V_{GSQ} = -2.5V$

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \frac{1.5A}{1V} = 1.5mS$$



3.2 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: *Small-Signal Model*

ຕົວຢ່າງທີ່ 3.2: ຈາກຕົວຢ່າງທີ່ 3.1 ຈົ່ງໃຊ້ວິທີທາງຄະນິດສາດຫາຄ່າ g_m ຂອງເຈເຟດ ແລະປຽບທຽບຜົນຮັບກັບຕົວຢ່າງທີ່ 3.1

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

(a) ທີ່ $V_{GSQ} = -0.5V$

$$g_m = g_{m0}\left(1 - \frac{V_{GS_Q}}{V_P}\right) = 4mS\left(1 - \frac{-0.5V}{-4V}\right) = 3.5mS$$

(b) ທີ່ $V_{GSQ} = -1.5V$

$$g_m = g_{m0}\left(1 - \frac{V_{GS_Q}}{V_P}\right) = 4mS\left(1 - \frac{-1.5V}{-4V}\right) = 2.5mS$$

(c) ທີ່ $V_{GSQ} = -2.5V$

$$g_m = g_{m0}\left(1 - \frac{V_{GS_Q}}{V_P}\right) = 4mS\left(1 - \frac{-2.5V}{-4V}\right) = 1.5mS$$

3.2 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: *Small-Signal Model*

Mathematic Determination of g_m

$$g_m = \left.\frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}\right|_{Q-pt} = \left.\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}\right|_{Q-pt}$$

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

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

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

ຄ່າ g_m ທີ່ $V_{GS} = 0V$:

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

ດັ່ງນັ້ນຄ່າ g_m ມີສູດເປັນ:

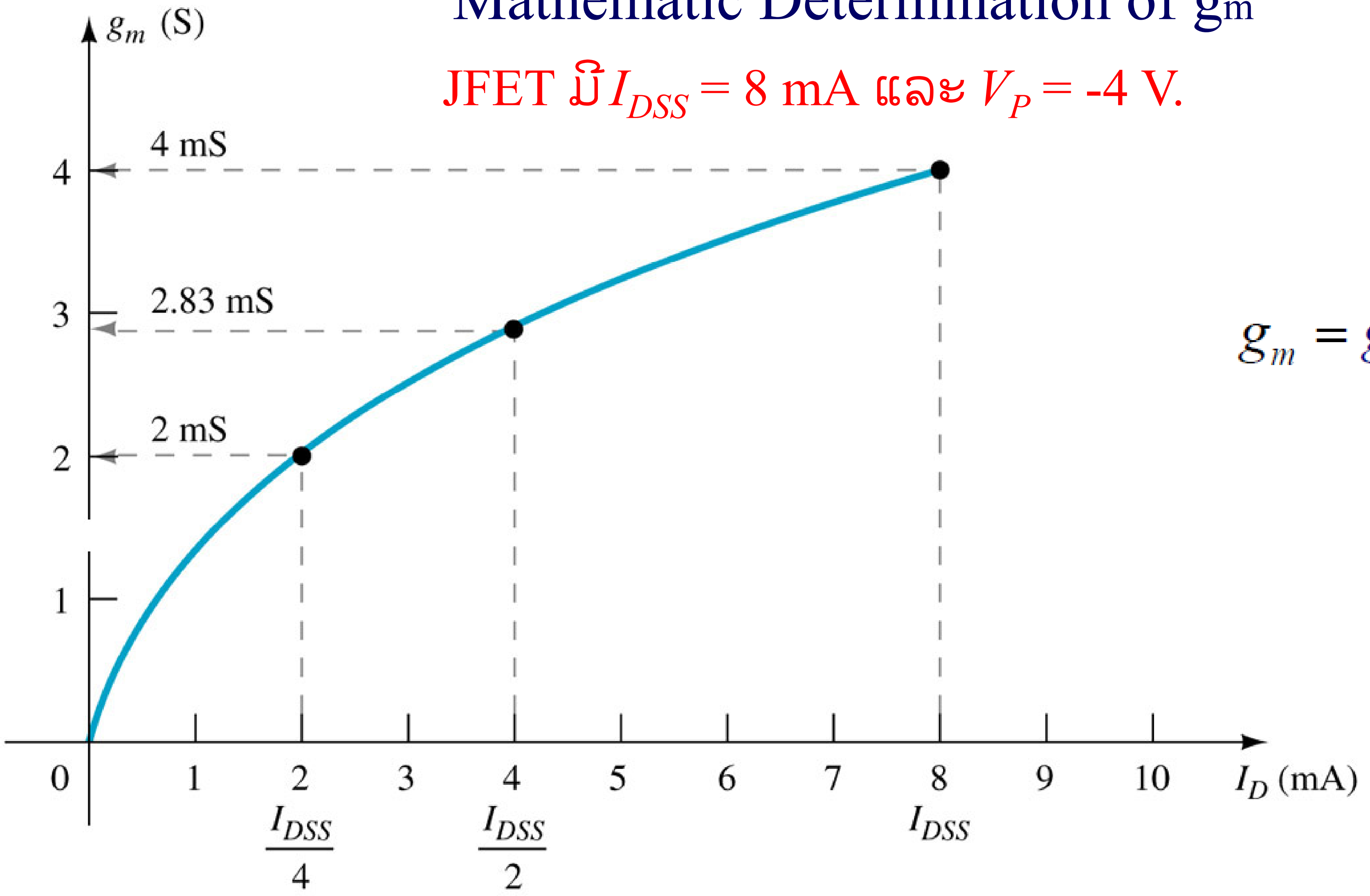
$$g_m = g_{m0}\left(1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right)$$

$$= g_{m0}\sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}$$

3.2 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: *Small-Signal Model*

Mathematic Determination of g_m

JFET ມີ I_{DSS} = 8 mA ແລະ V_P = -4 V.



$$g_m = g_{m0}\sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}$$

3.2 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: *Small-Signal Model*

- Input Impedance (Zi)

$$Z_i = \infty \ \Omega$$

- Output Impedance (Zo)

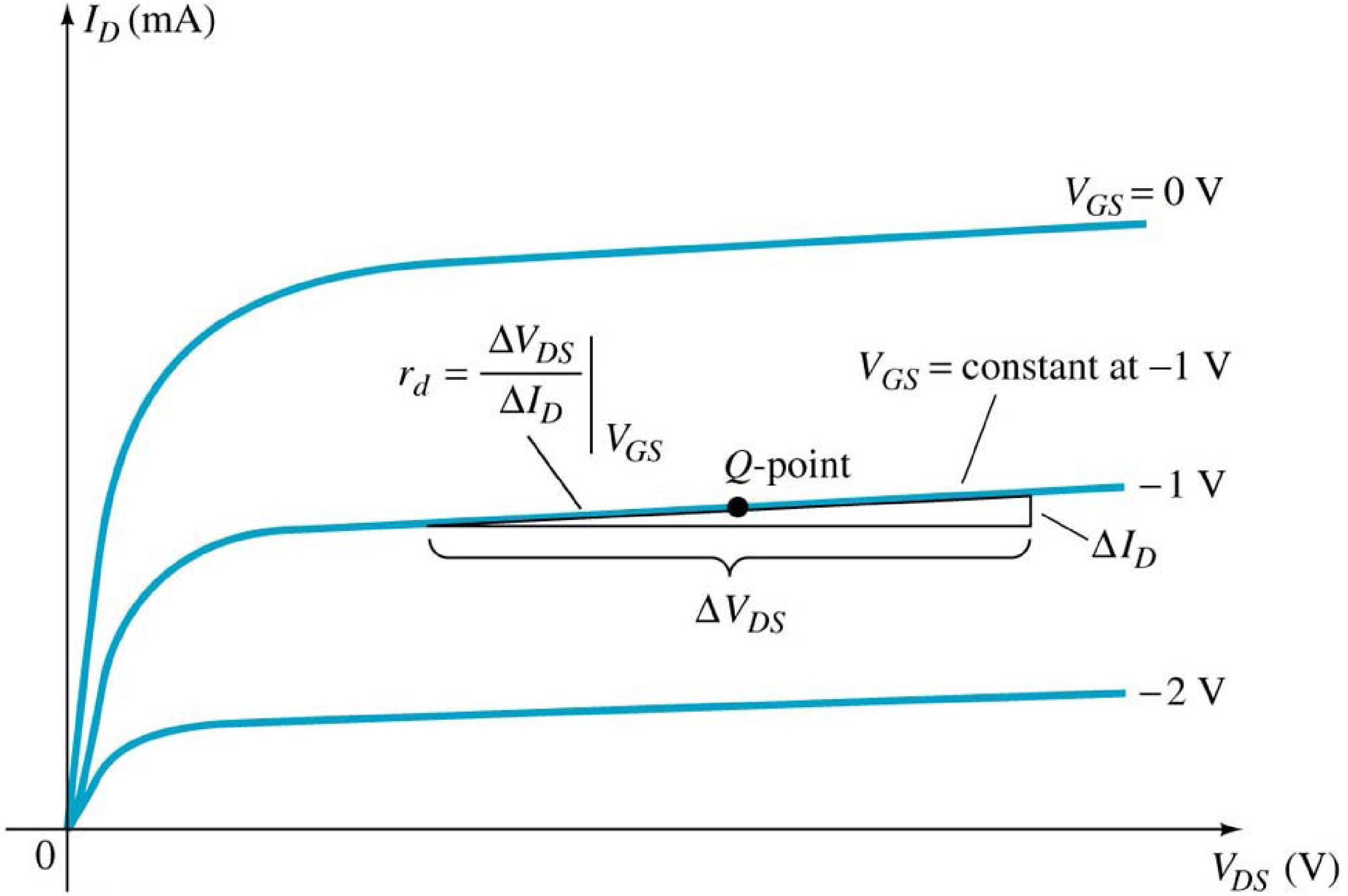
$$Z_o = r_d = \frac{1}{y_{os}} \ \Omega$$

- Y_{os} : admittance equivalent circuit parameter ໃນ FET specification sheets.

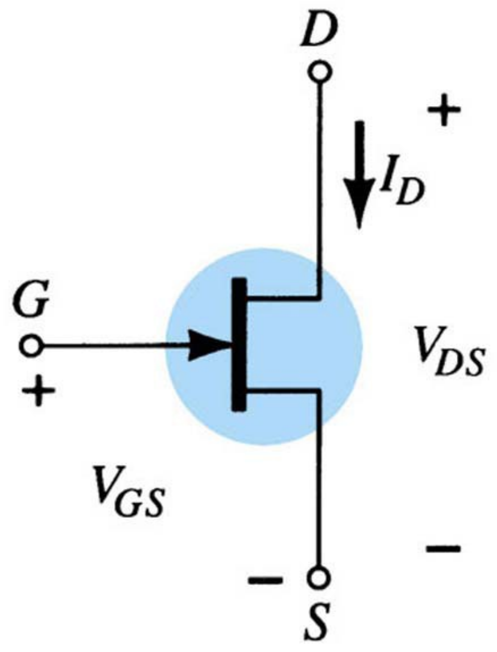
3.2 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: *Small-Signal Model*

- Output Impedance (Zo)

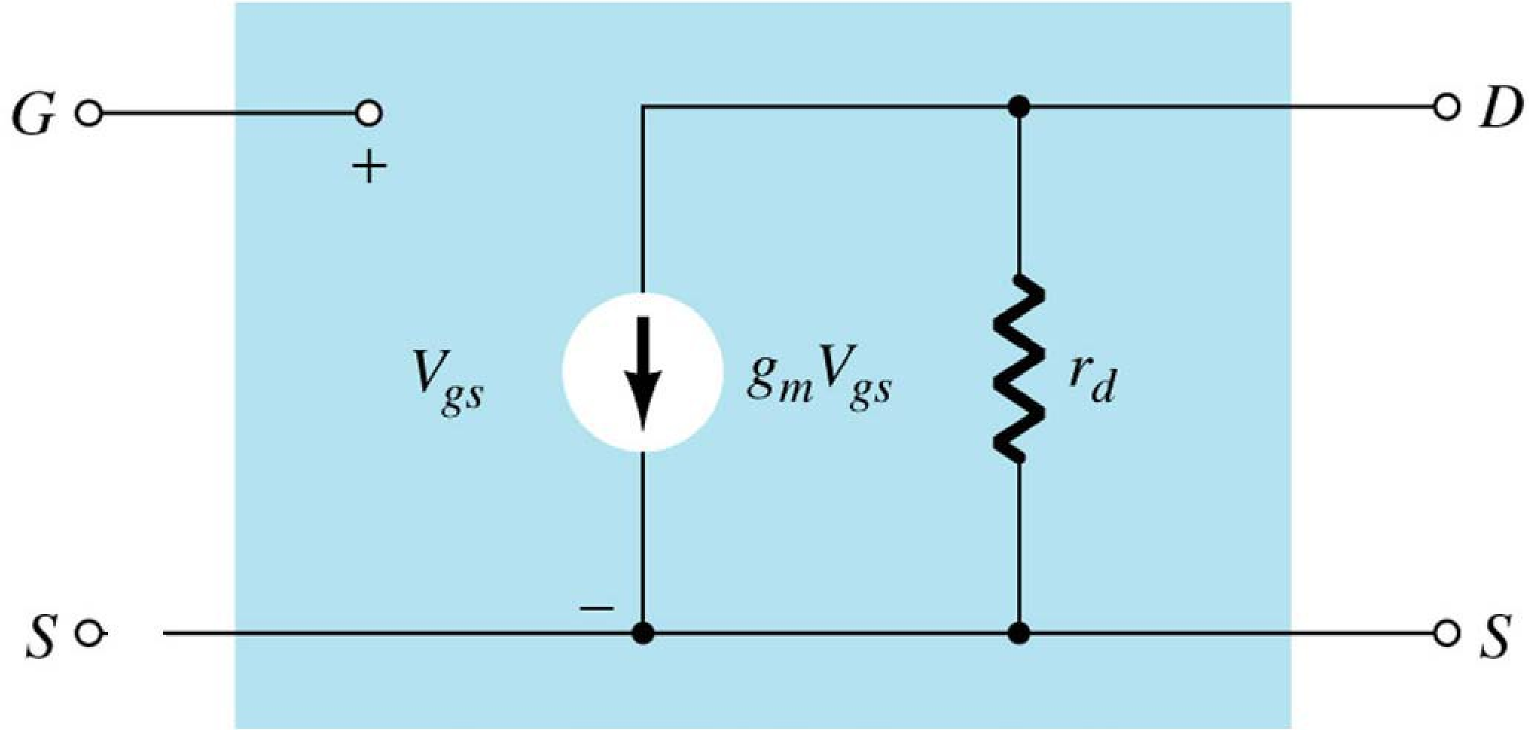
$$r_d = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D}$$



3.2 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: *Small-Signal Model*



FET small signal Equivalent Circuit



3.2 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: *Small-Signal Model*

- ການແທນວົງຈອນທຽບເທົ່າສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງເຟດໃນວົງຈອນຂະຫຍາຍສາມາດແທນວົງຈອນທຽບເທົ່າສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງທຣານຊິດເຕີສະໜາມໄຟຟ້າໃນວົງຈອນຂະຫຍາຍທີ່ແບ່ງໄດ້ດັ່ງນີ້:

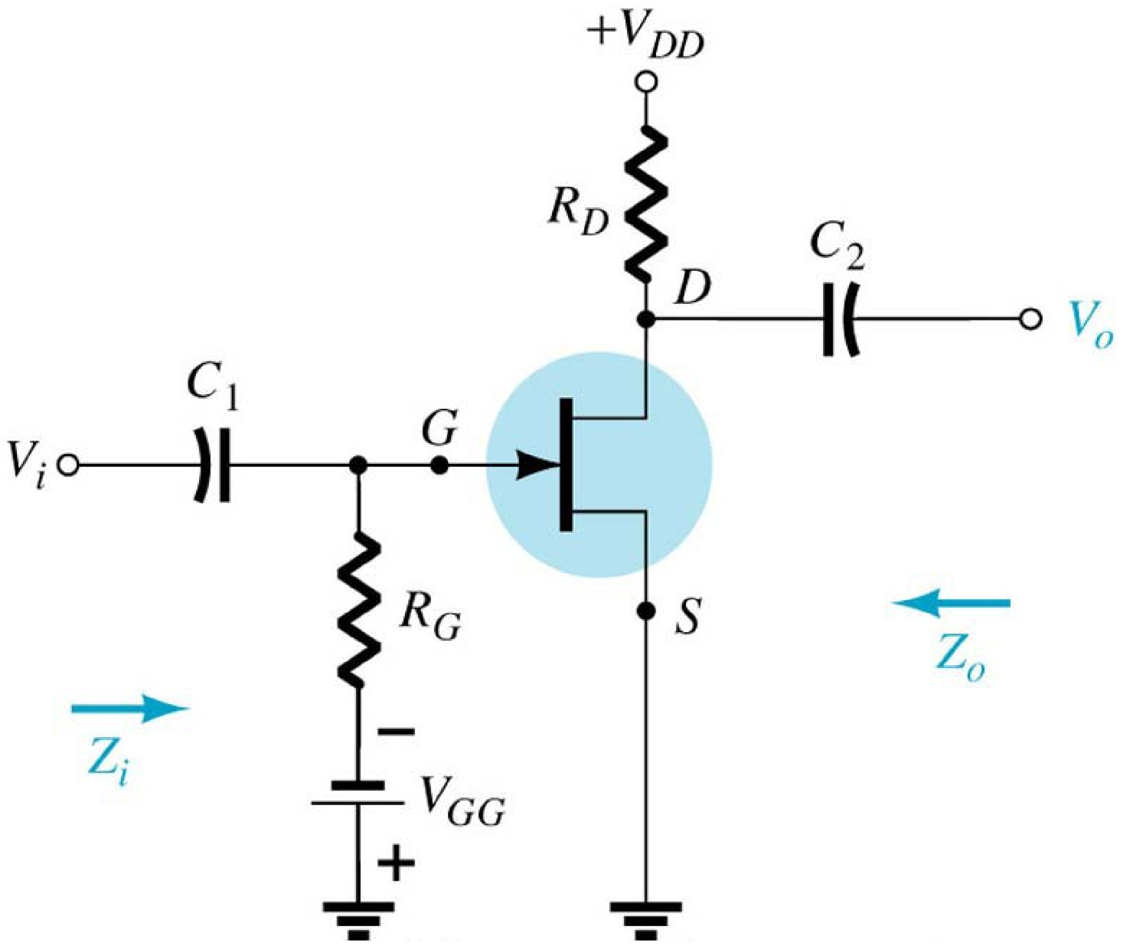
    - Common Source (CS.) Amplifier

    - Common Gate (CG.) Amplifier

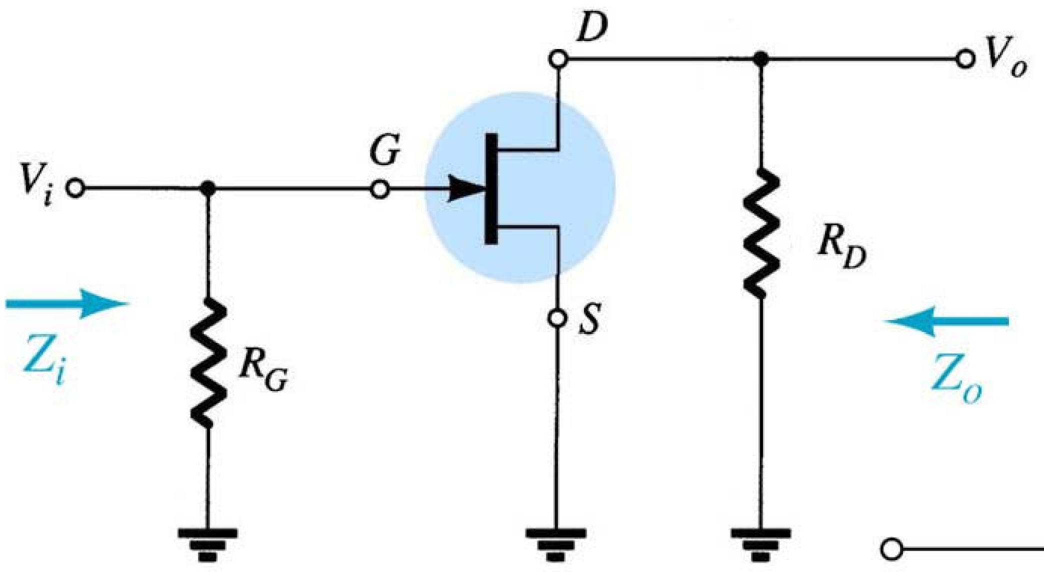
    - Common Drain (CD.) Amplifier

3.3 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ທີ່ມີການໄບແອັດເກດ*

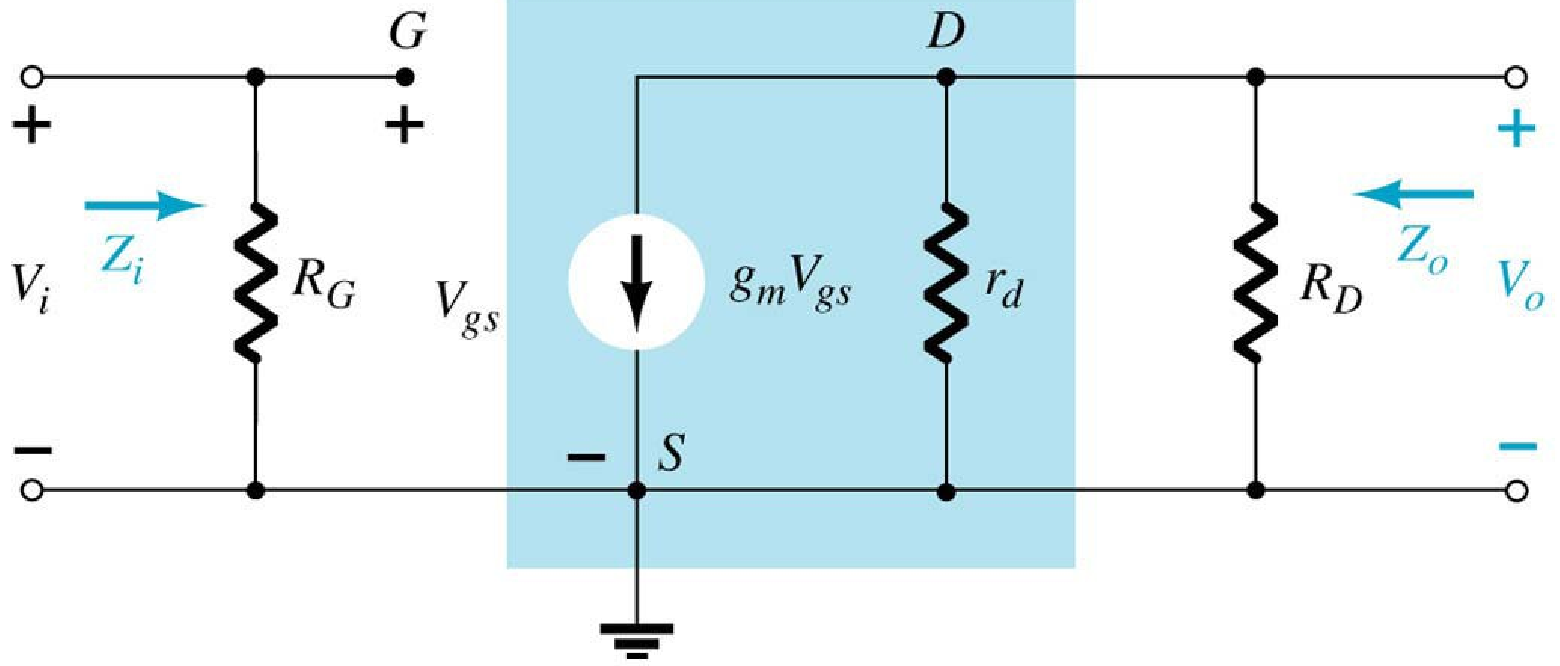
- ການຈັດວົງຈອນໄບແອັດເກດ



3.3 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ທີ່ມີການໄບແອັດເກດ

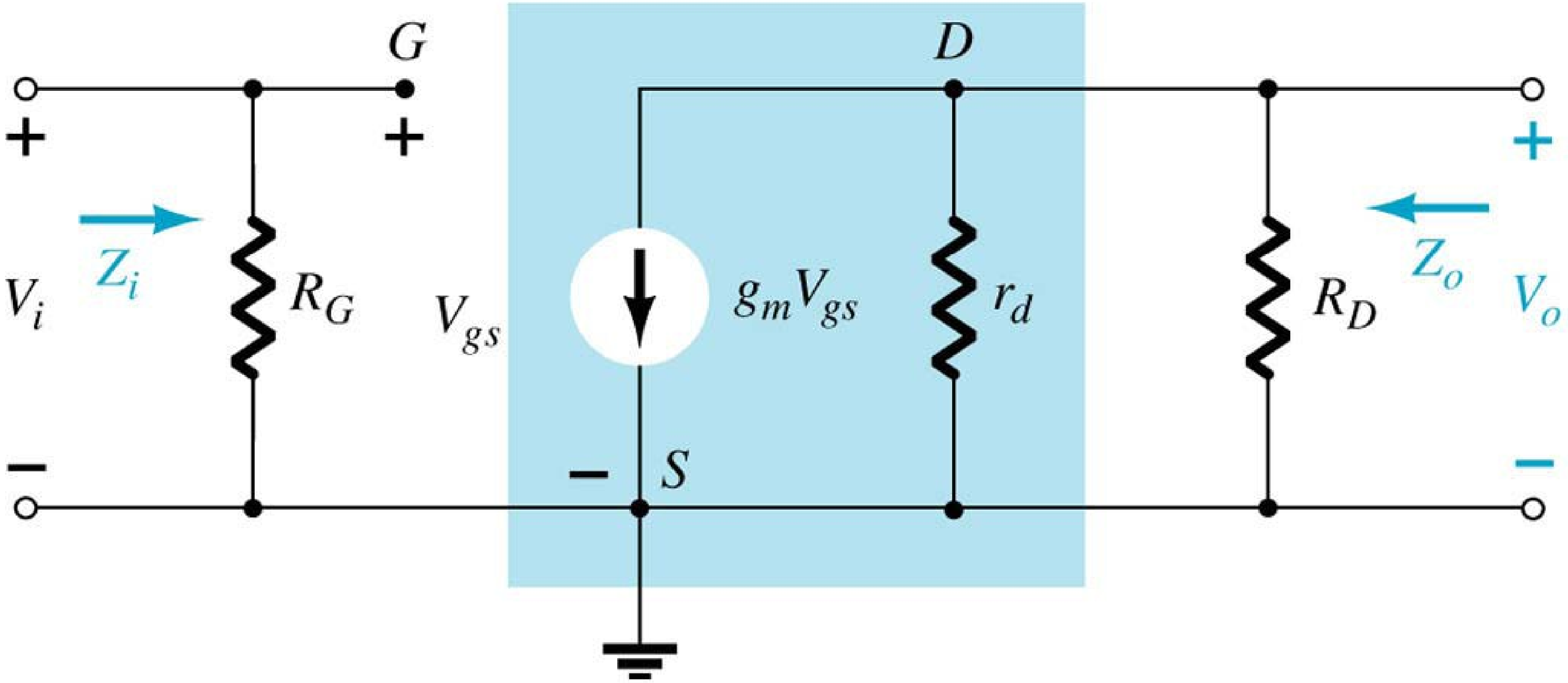


ac and small signal Equivalent Circuit



3.3 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ທີ່ມີການໄບແອັດເກດ*

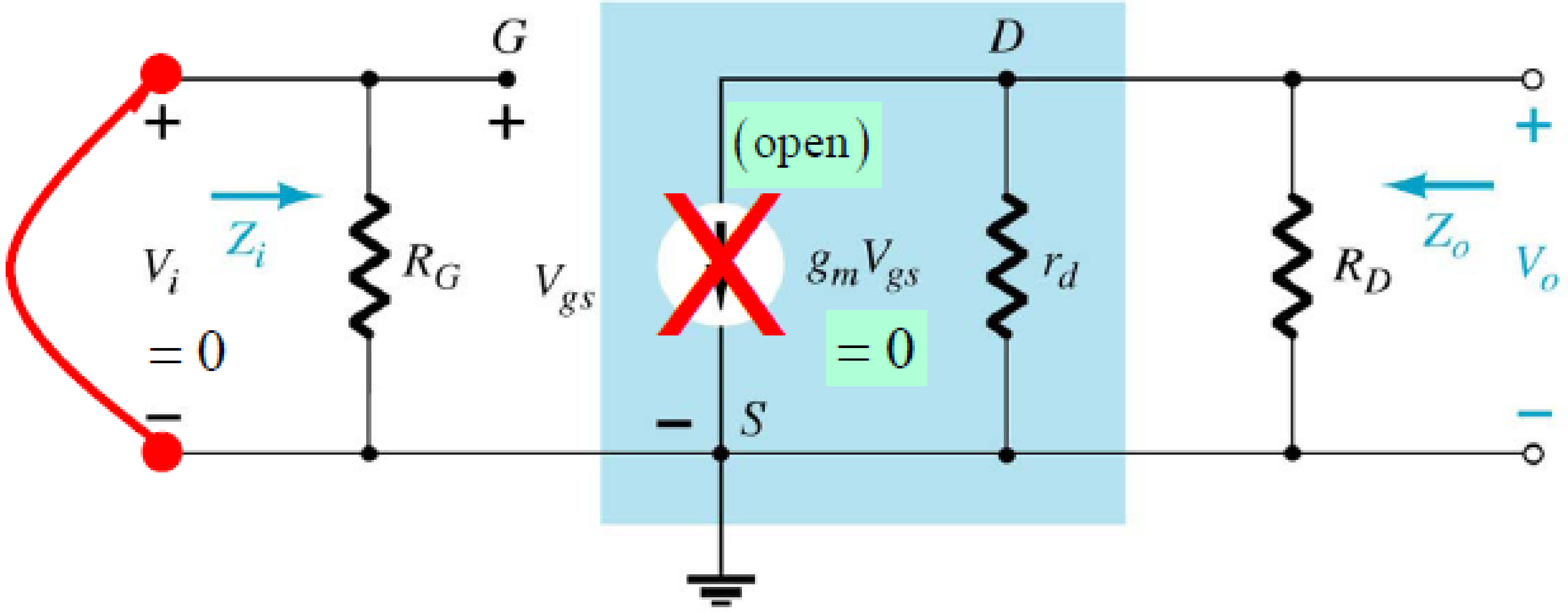
- Input Impedance (Zi)



$$Z_i = R_G$$

3.3 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ທີ່ມີການໄບແອັດເກດ*

- Output Impedance (Zo) : ໂດຍໃຫ້ $V_i = 0$

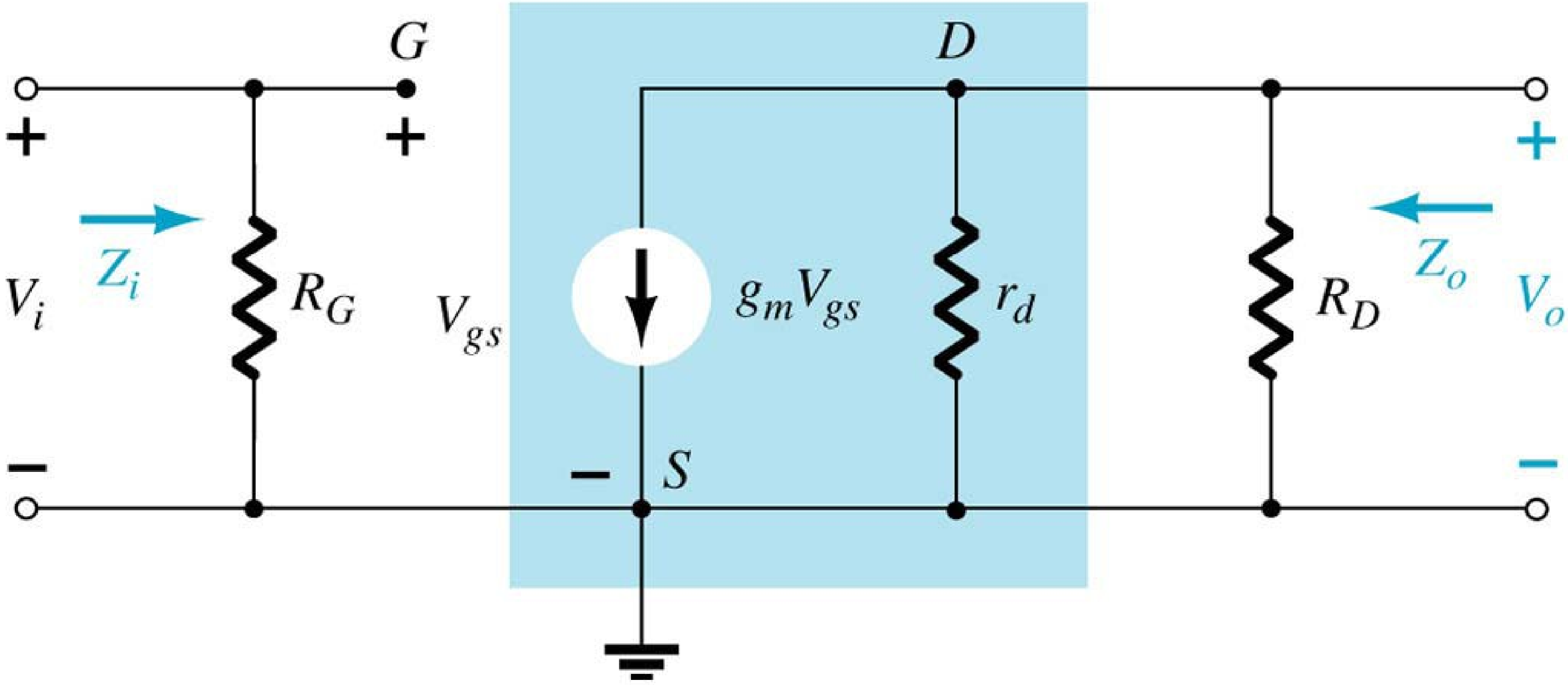


$$Z_o = r_d \| R_D$$

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

3.3 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ທີ່ມີການໄບແອັດເກດ

- Voltage Gain



$$V_o = -g_m V_{gs}\left(r_d \| R_D\right)$$

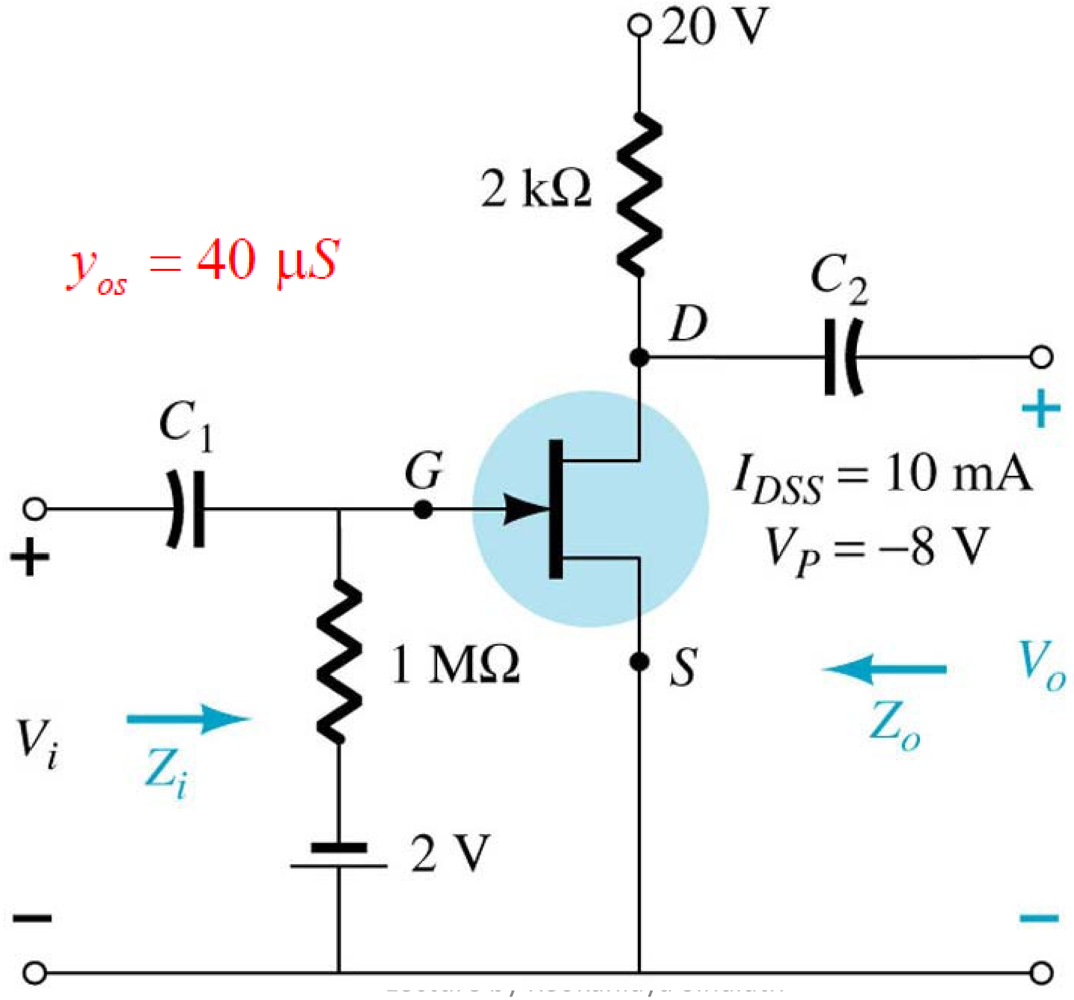
$$V_i = V_{gs}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m\left(r_d \| R_D\right)$$

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

3.3 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ທີ່ມີການໄບແອັດເກດ*

ຕົວຢ່າງທີ່ 3.3: ຈາກວົງຈອນຈົ່ງຊອກຫາ g_m, r_d, Z_i, Z_o, A_v



3.3 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ທີ່ມີການໄບແອັດເກດ*

ຄຳຕອບ

$$V_{GS} = -V_{GG} = -2V$$

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 10mA\left(1 - \frac{-2V}{-8V}\right)^2 = 5.625mA$$

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

ຫຼື $$g_m = g_{m0}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) = 2.5mS\left(1 - \frac{-2V}{-8V}\right) = 1.875mS$$

$$g_m = g_{m0}\sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} = 2.5mS\sqrt{\frac{5.625mA}{10mA}} = 1.875mS$$

3.3 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ທີ່ມີການໄບແອັດເກດ*

ຄຳຕອບ

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

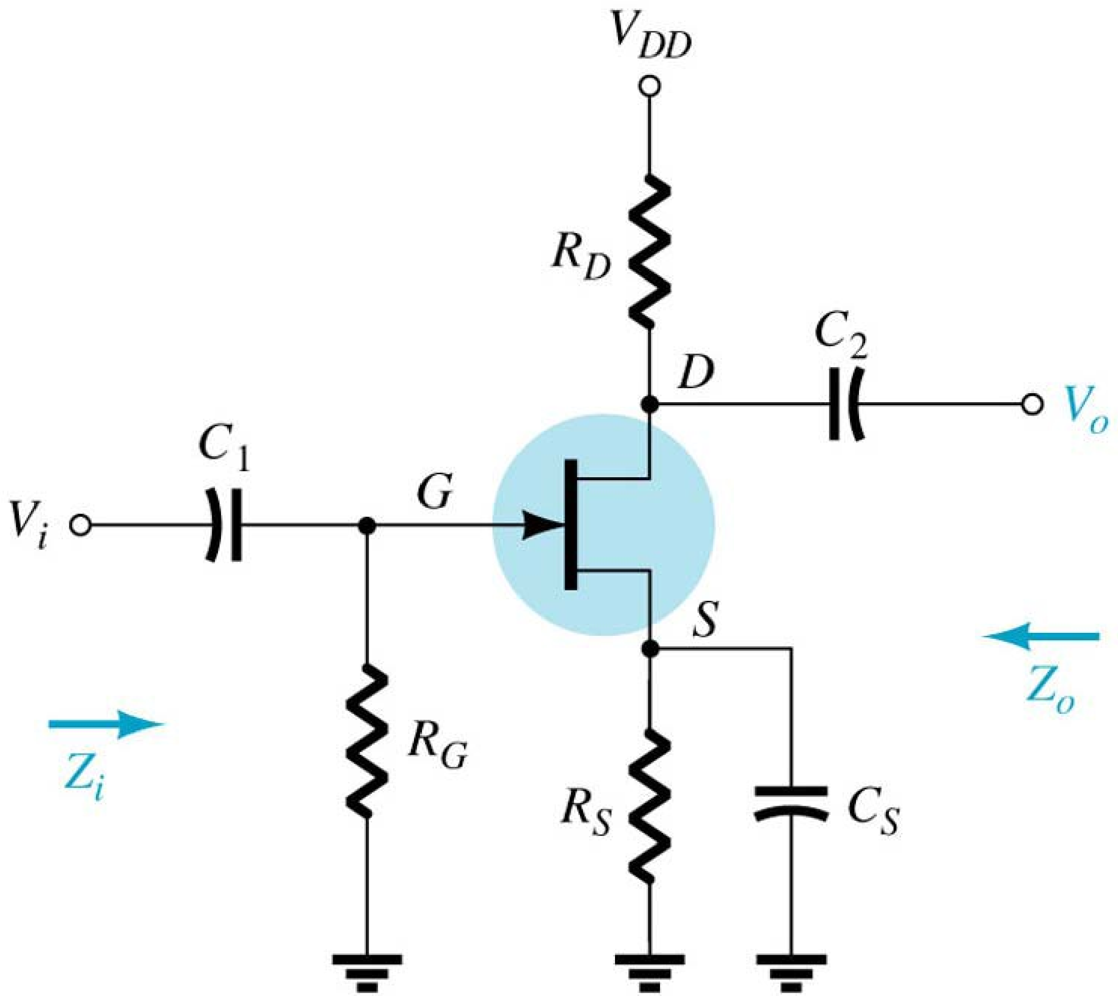
$$Z_i = R_G = 1M\Omega$$

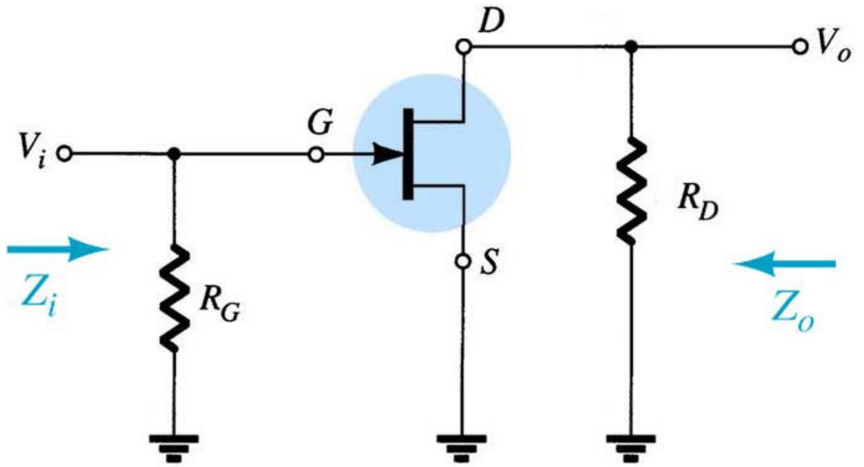
$$Z_o = r_d \,||\, R_D = 25k\Omega \,||\, 2k\Omega = 1.85k\Omega$$

$$A_v = -g_{m0}\left(r_d \,||\, R_D\right) = -2.5mS \times 1.85k\Omega = -4.625$$

3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ໄບແອັດຢ້ອນກັບ*

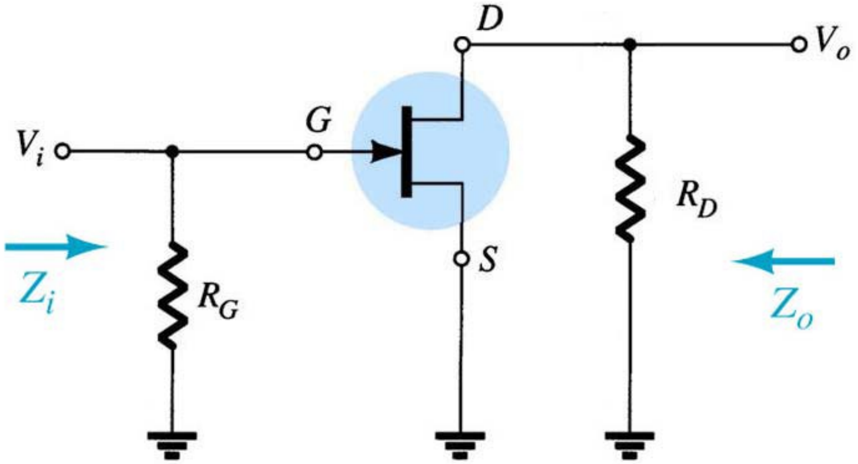
- ການຈັດວົງຈອນຂອງການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

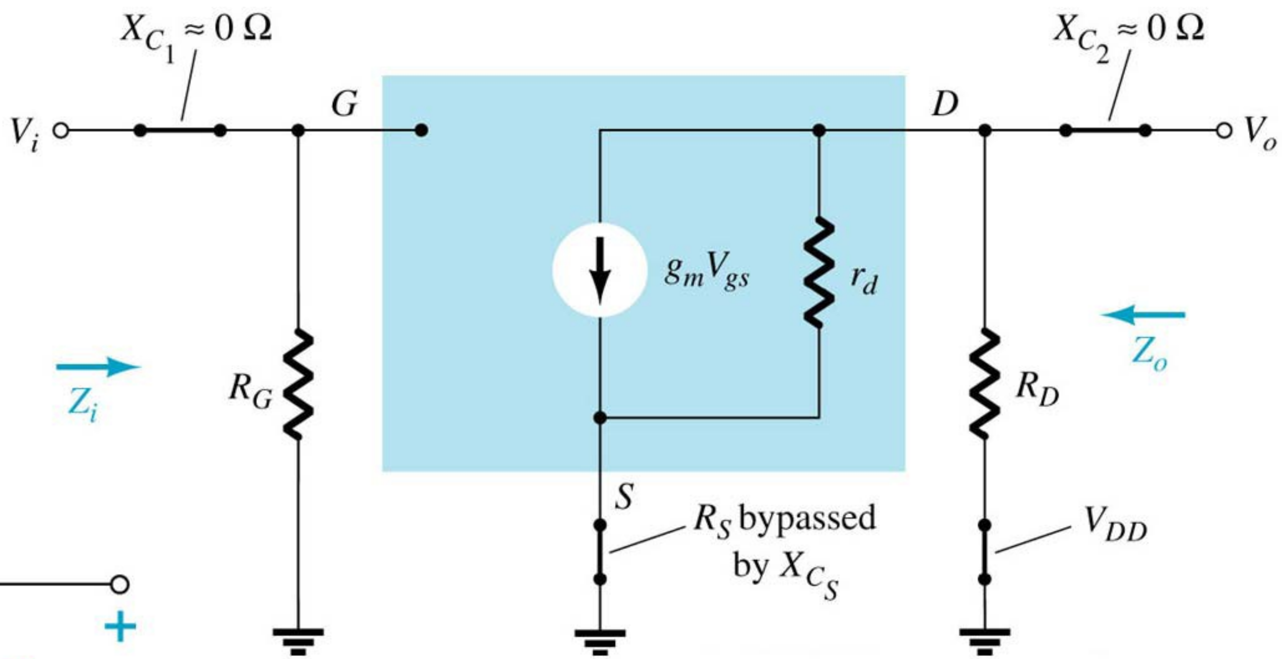


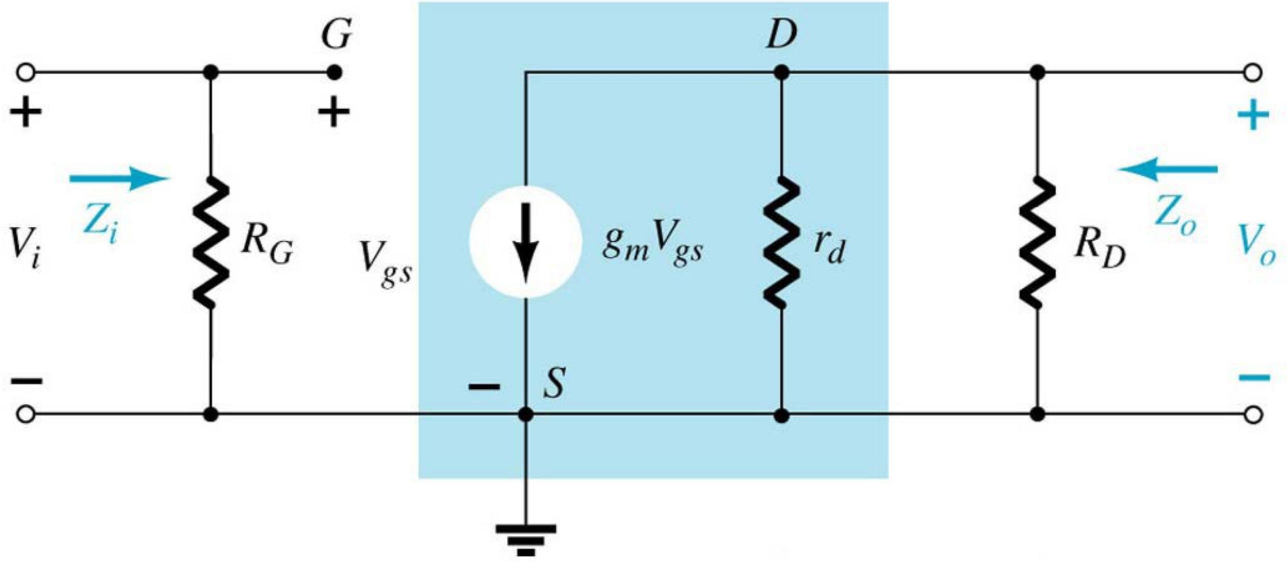


3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ໄບແອັດຢ້ອນກັບ*

ac and small signal Equivalent Circuit

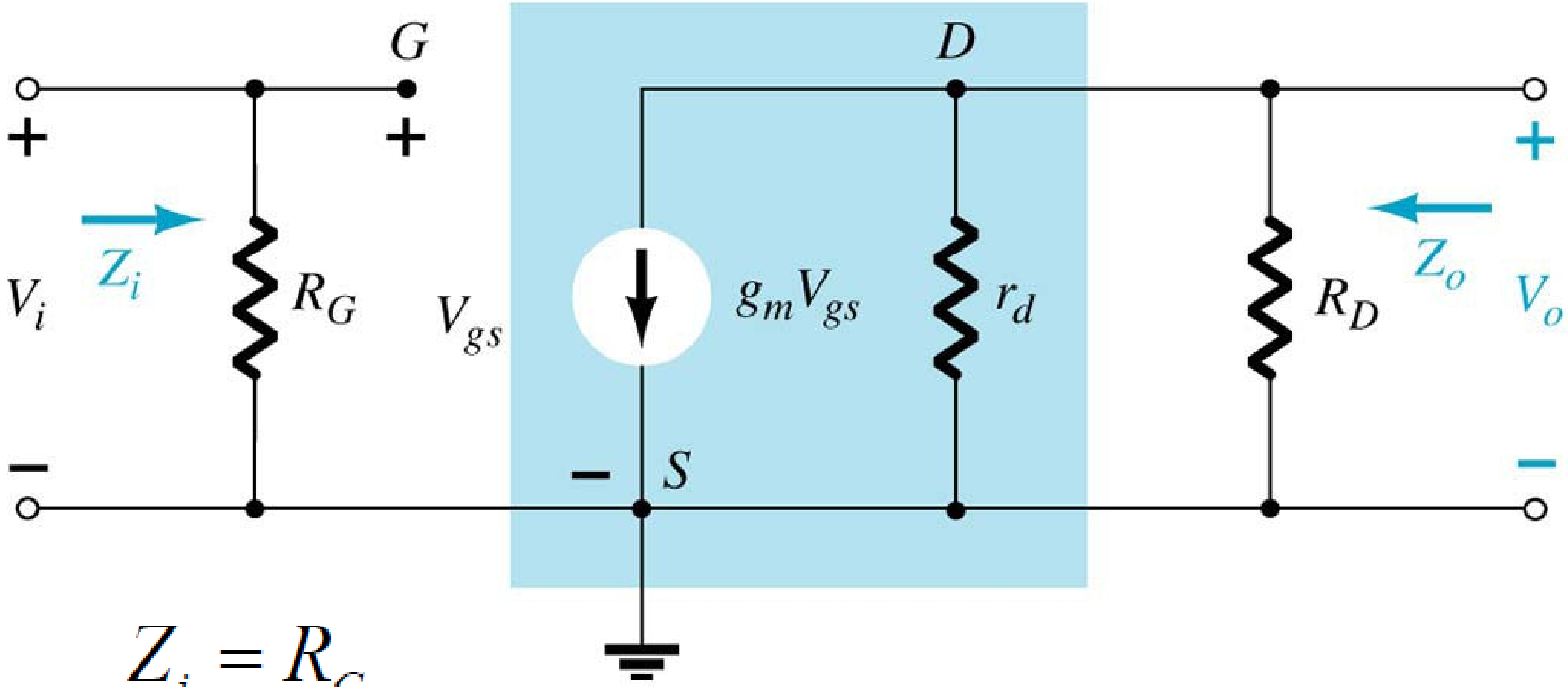






3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດຍ້ອນກັບ

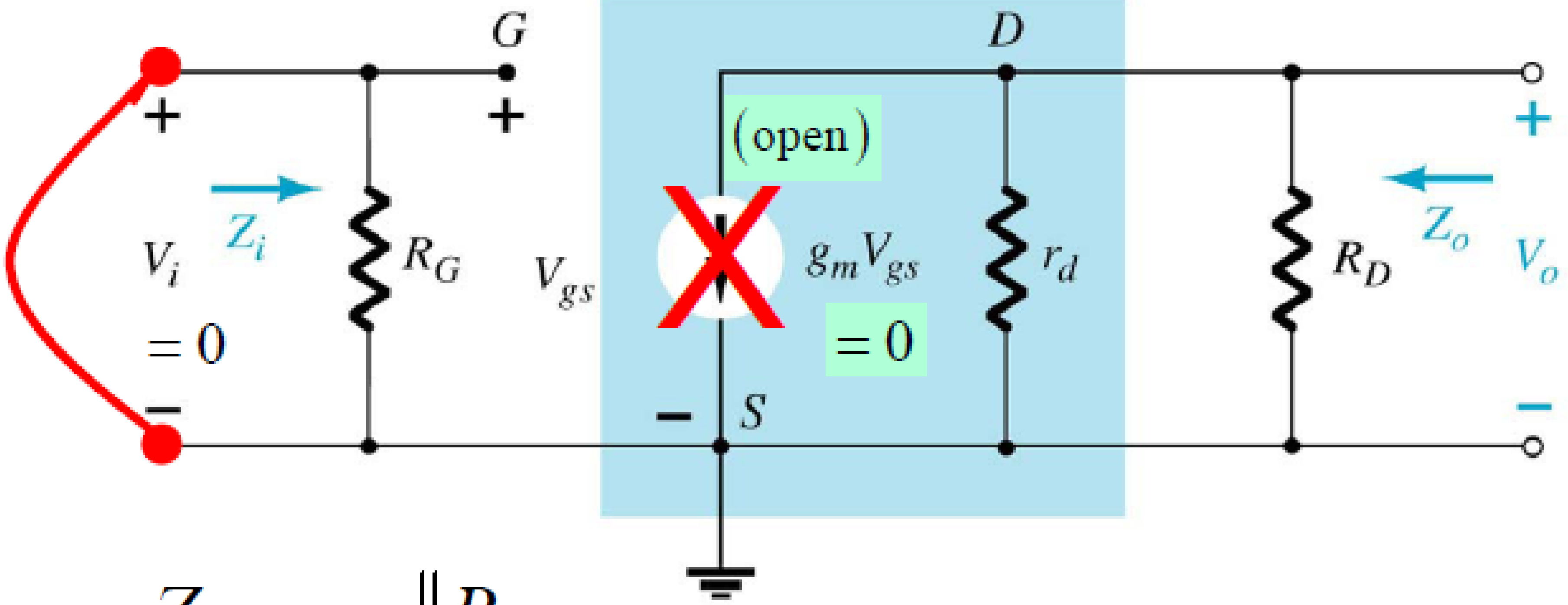
- Input Impedance (Zi)



$$Z_i = R_G$$

3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ໄບແອັດຍ້ອນກັບ*

- Output Impedance (Zo) : ໂດຍໃຫ້ $V_i = 0$

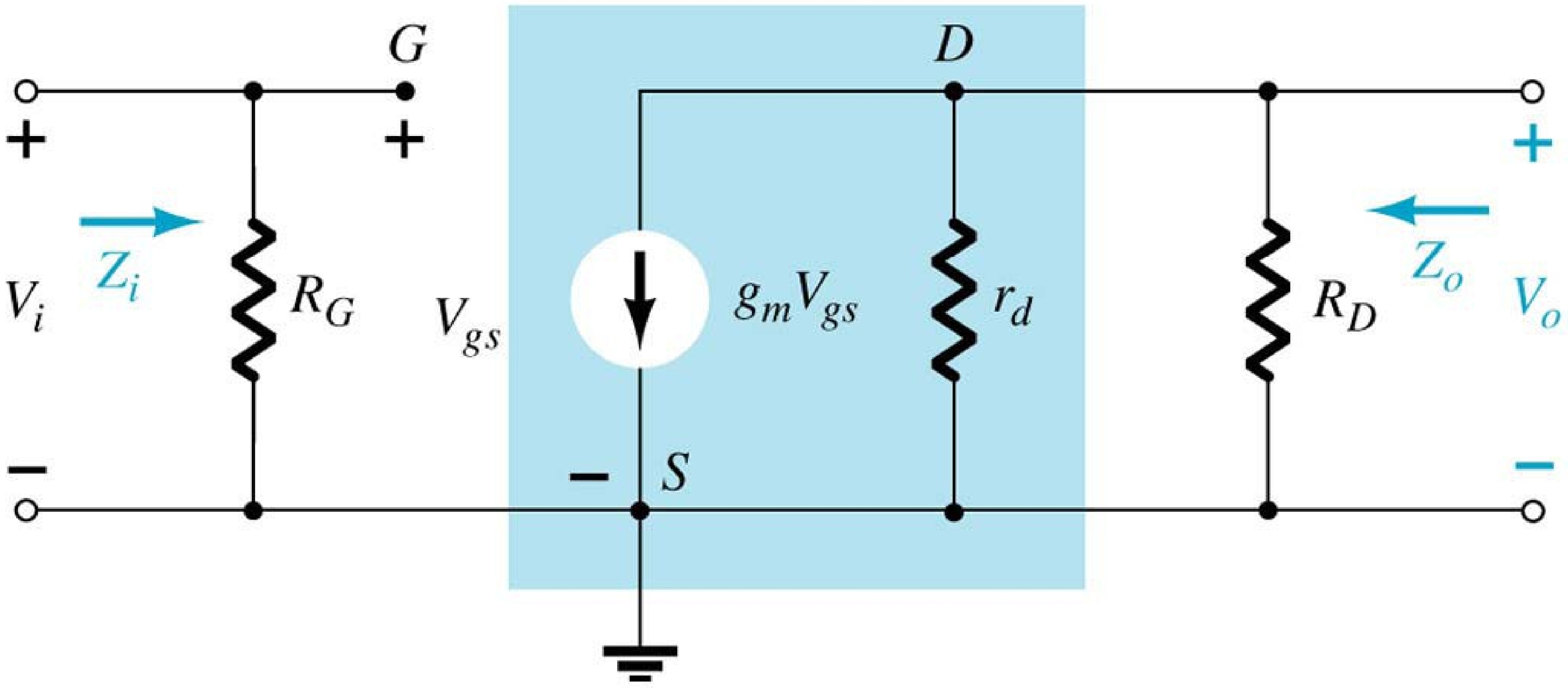


$$Z_o = r_d \| R_D$$

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

3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດຍ້ອນກັບ

- Voltage Gain



$$V_o = -g_m V_{gs}\left(r_d \| R_D\right)$$

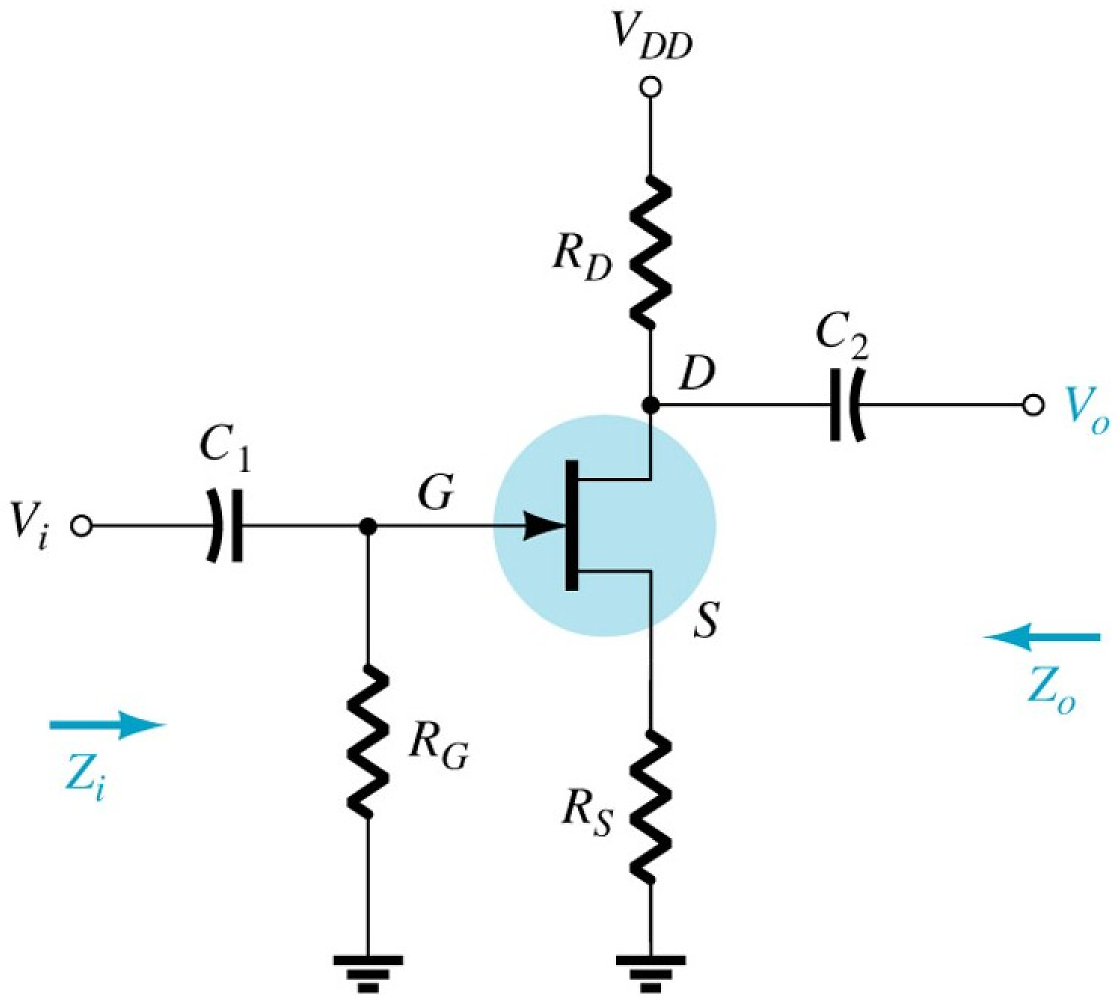
$$V_i = V_{gs}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m\left(r_d \| R_D\right)$$

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

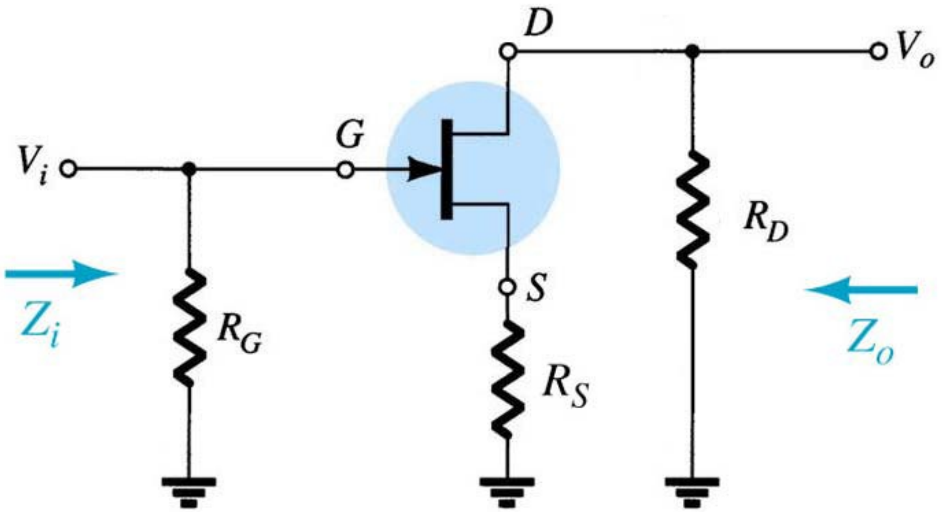
3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ໄບແອັດຍ້ອນກັບ*

- Unbypass R_S

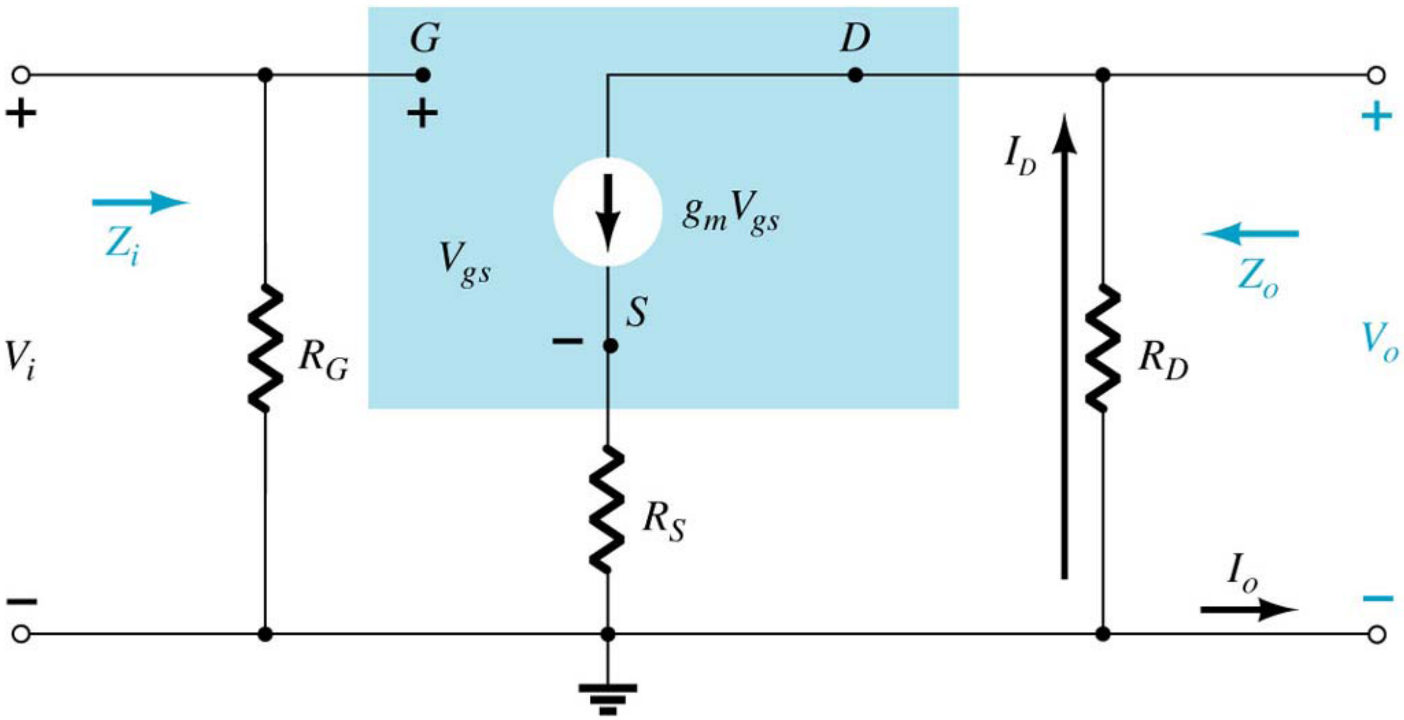


3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ໄບແອັດຢ້ອນກັບ*

- Unbypass R_S ເມື່ອ $r_d = \infty$



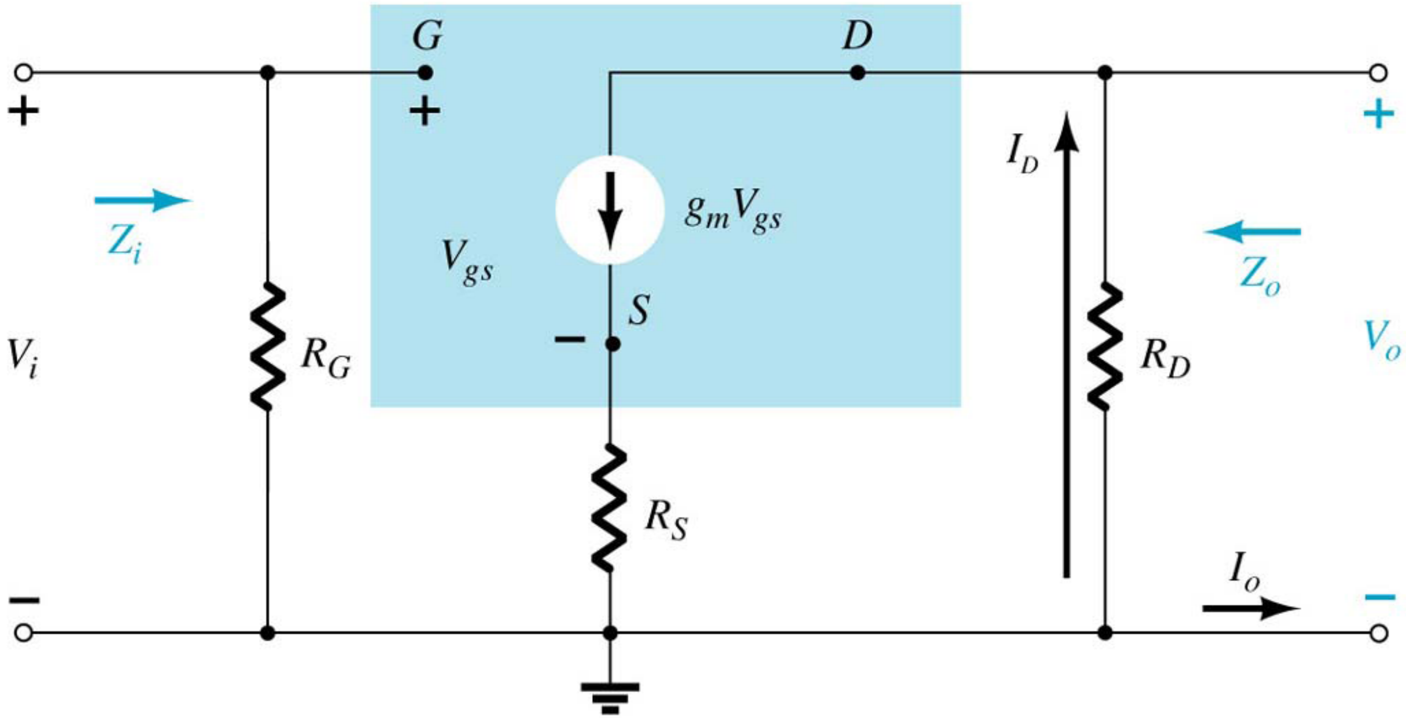
ac and small signal Equivalent Circuit



3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດຢ້ອນກັບ

- Unbypass R_S ເມື່ອ $r_d = \infty$
- Input Impedance (Zi) :

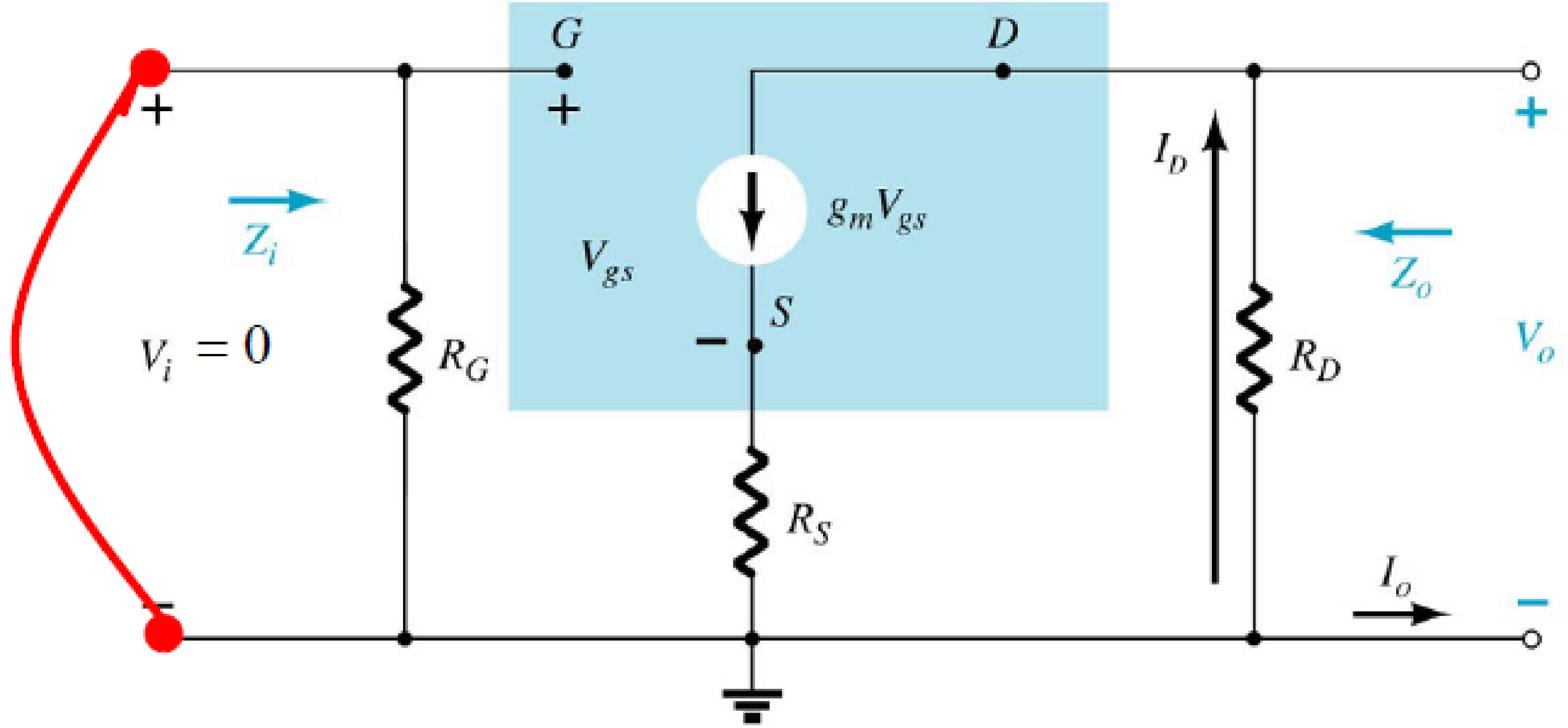
$$Z_i = R_G$$



3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດຍ້ອນກັບ

- Unbypass R_S ເມື່ອ $r_d = \infty$
- Output Impedance (Zo) : โดยให้ $V_i = 0$

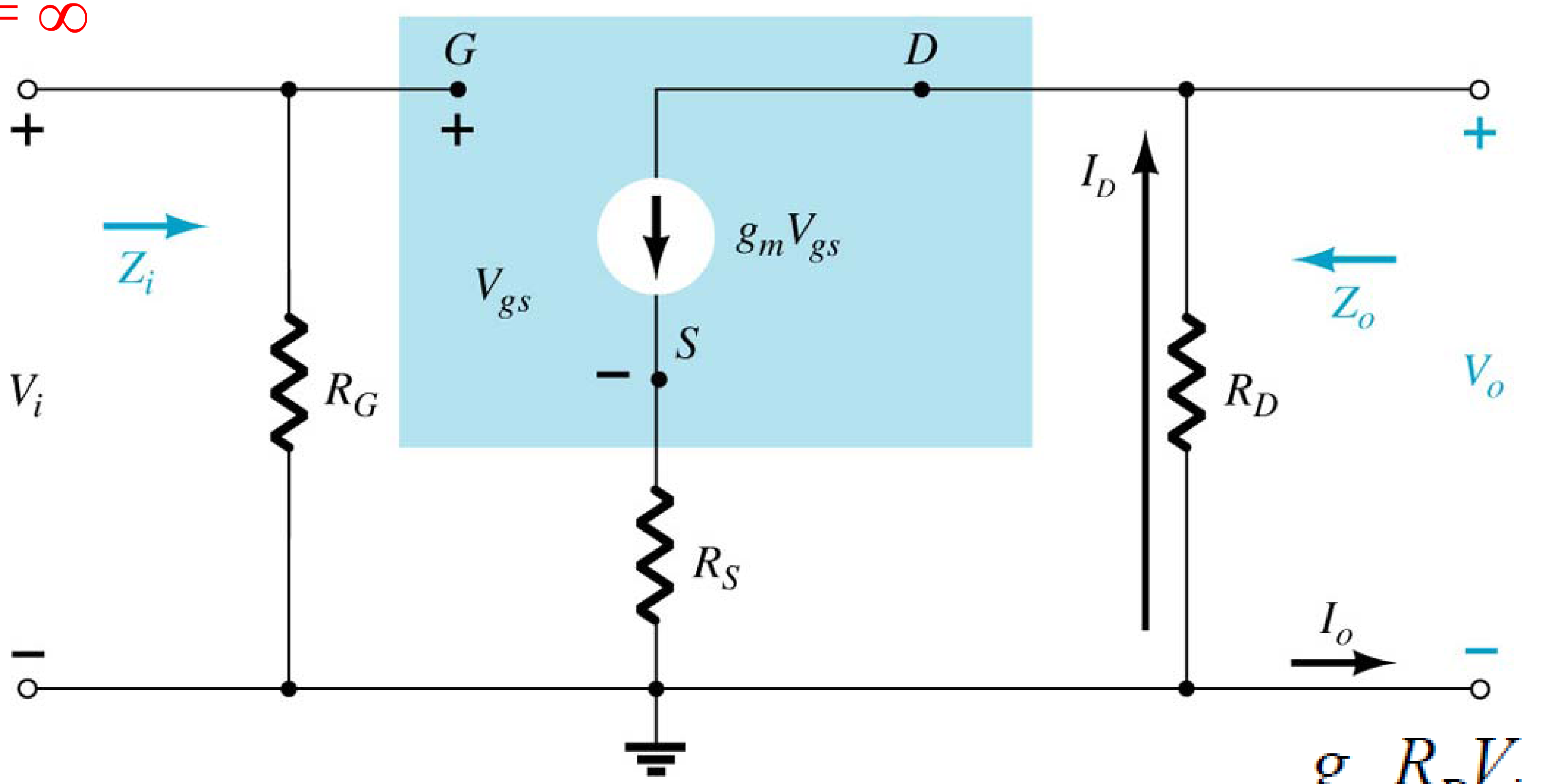
$$Z_o \approx R_D$$



3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດຍ້ອນກັບ

Unbypass R_S ເມື່ອ $r_d = \infty$

- Voltage Gain



$$V_i = V_{gs} + V_{R_s}$$

$$= i_g Z_{gs} + g_m V_{gs} R_S$$

$$= 0 + g_m V_{gs} R_S \quad ; \ i_g = 0$$

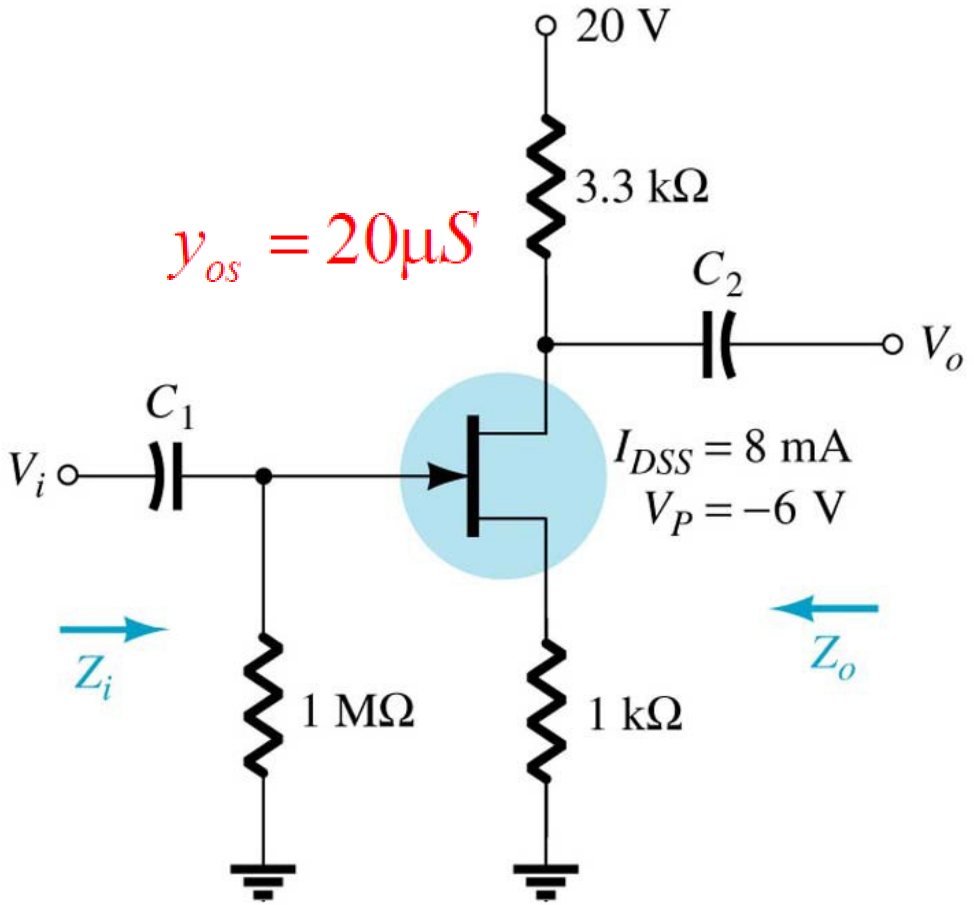
$$V_{gs} = \frac{V_i}{g_m R_S}$$

$$V_o = -g_m V_{gs} R_D = -\frac{g_m R_D V_i}{g_m R_S}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_D}{R_S}$$

3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: *ໄບແອັດຍ້ອນກັບ*

ຕົວຢ່າງທີ່ 3.4: ຈາກວົງຈອນຈົ່ງຊອກຫາ g_m, r_d, Z_i, Z_o, A_v



3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດຍ້ອນກັບ

- ໃຊ້ວິທີການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ ຄຳຕອບ

$$a = \frac{I_{DSS}R_S}{|V_P|^2} = \frac{8mA \times 1k\Omega}{6^2} = 0.22$$

$$b = \frac{2I_{DSS}R_S}{|V_P|} + 1 = \frac{2 \times 8mA \times 1k\Omega}{6} = 3.67$$

$$c = I_{DSS}R_S = 8mA \times 1k\Omega = 8$$

$$V_{GS}\Big|_{n-channl} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(3.67) + \sqrt{(3.67)^2 - (4 \times 0.22 \times 8)}}{2 \times 0.22}$$

$$= -2.59V$$

3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດຍ້ອນກັບ

- ໃຊ້ວິທີການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ ຄຳຕອບ

$$I_D = I_{DSS}\left(1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 8mA\left(1-\frac{-2.59V}{-6V}\right)^2 = 2.59mA$$

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2\times 8mA}{|-6V|} = 2.66mS$$

$$g_m = g_{m0}\left(1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right) = 2.66mS\left(1-\frac{-2.59V}{-6V}\right) = 1.51mS$$

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

3.4 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດຍ້ອນກັບ

bypass R_S

ຄຳຕອບ

$$Z_i = R_G = 1M\Omega$$

$$Z_o = r_d \,||\, R_D = 50k\Omega \,||\, 3.3k\Omega = 2.83k\Omega$$

$$A_v = -g_{m0}\left(r_d \,||\, R_D\right) = 2.66mS \times 2.83k\Omega = -7.52$$

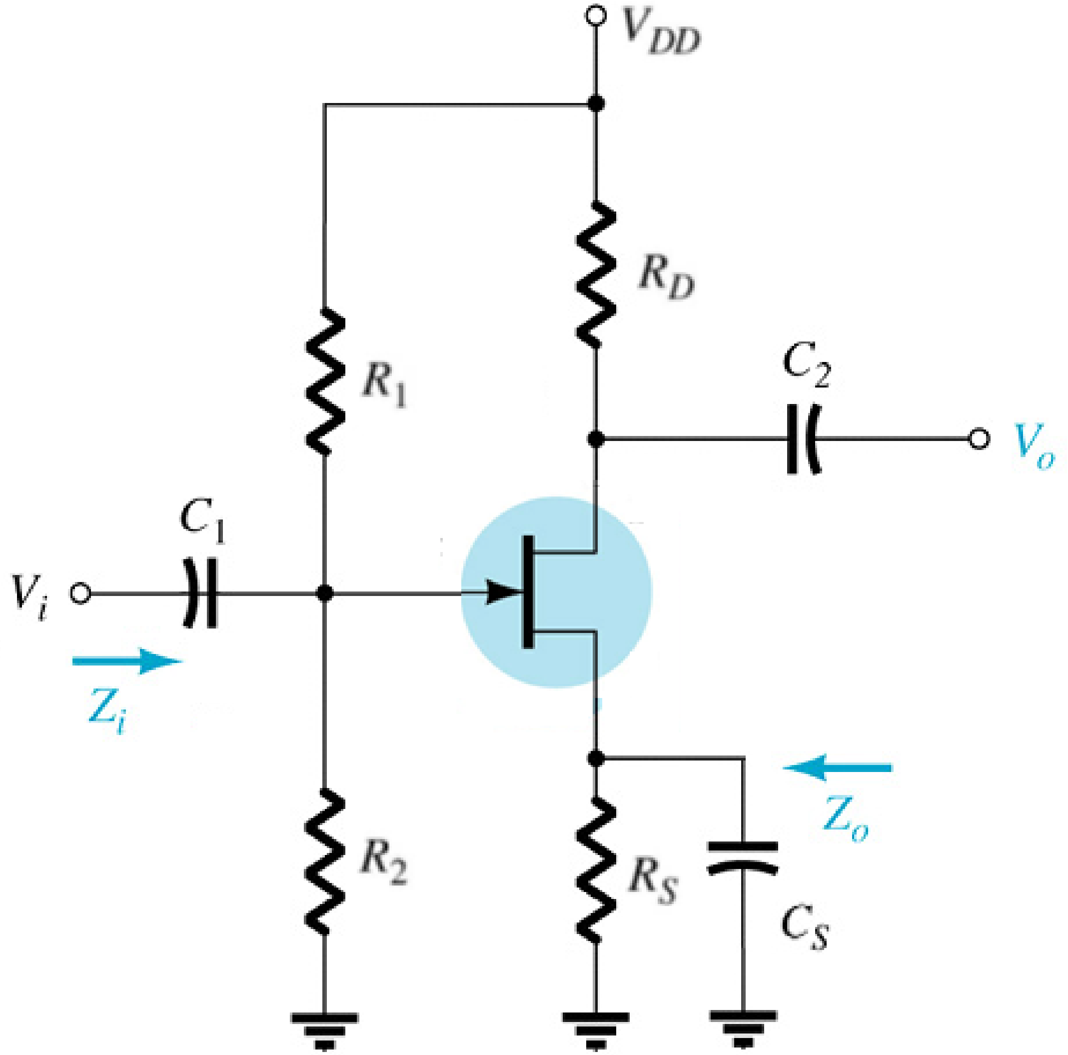
Unbypass R_S

$$Z_o \cong R_D = 3.3k\Omega$$

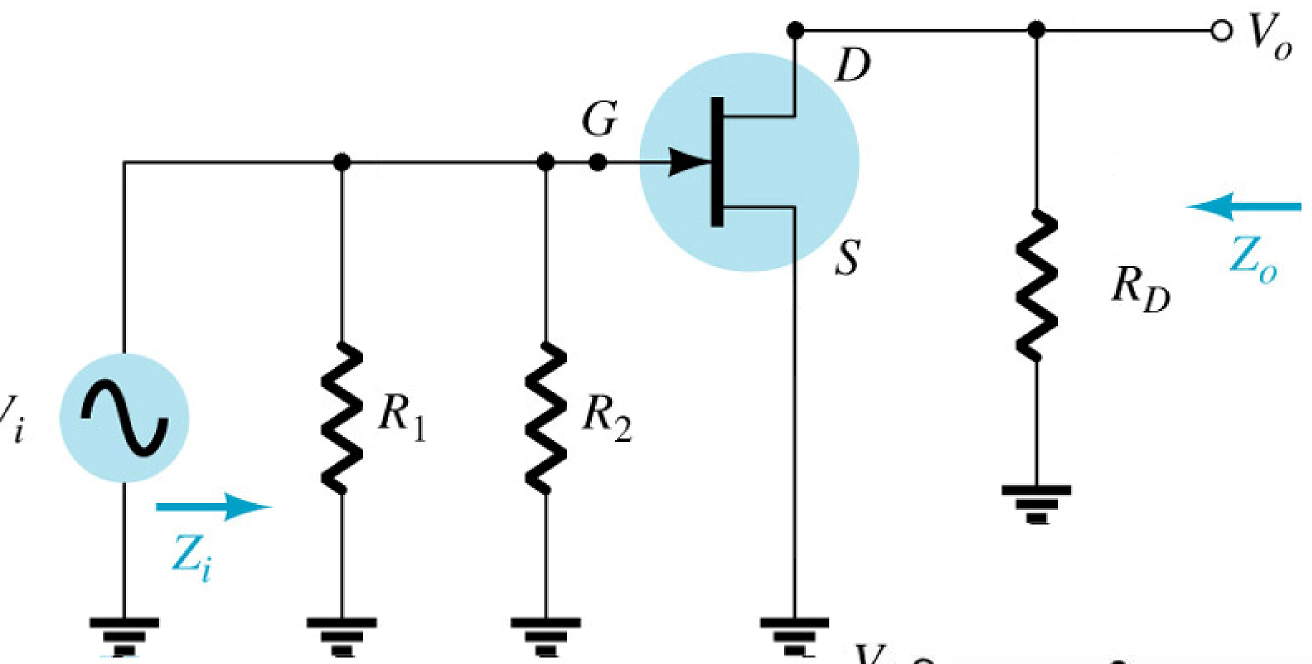
$$A_v = -\frac{R_D}{R_S} = \frac{3.3k\Omega}{1k} = -3.3$$

3.5 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

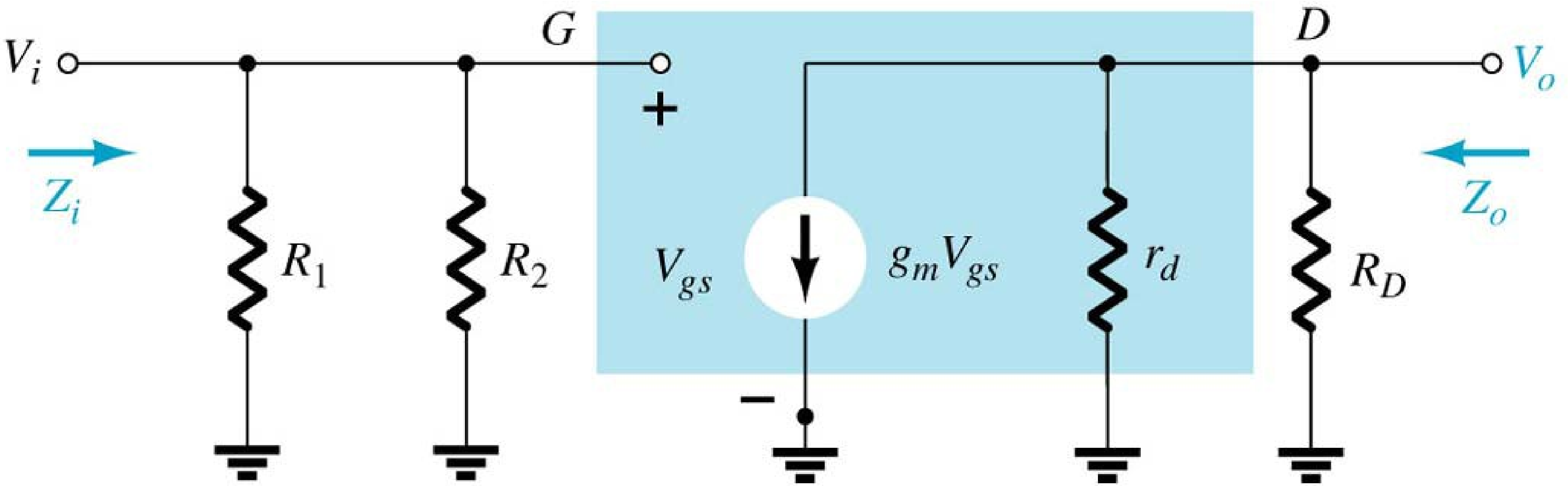
- ການຈັດວົງຈອນຂອງການໄບແອັດຍ້ອນກັບ



3.5 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

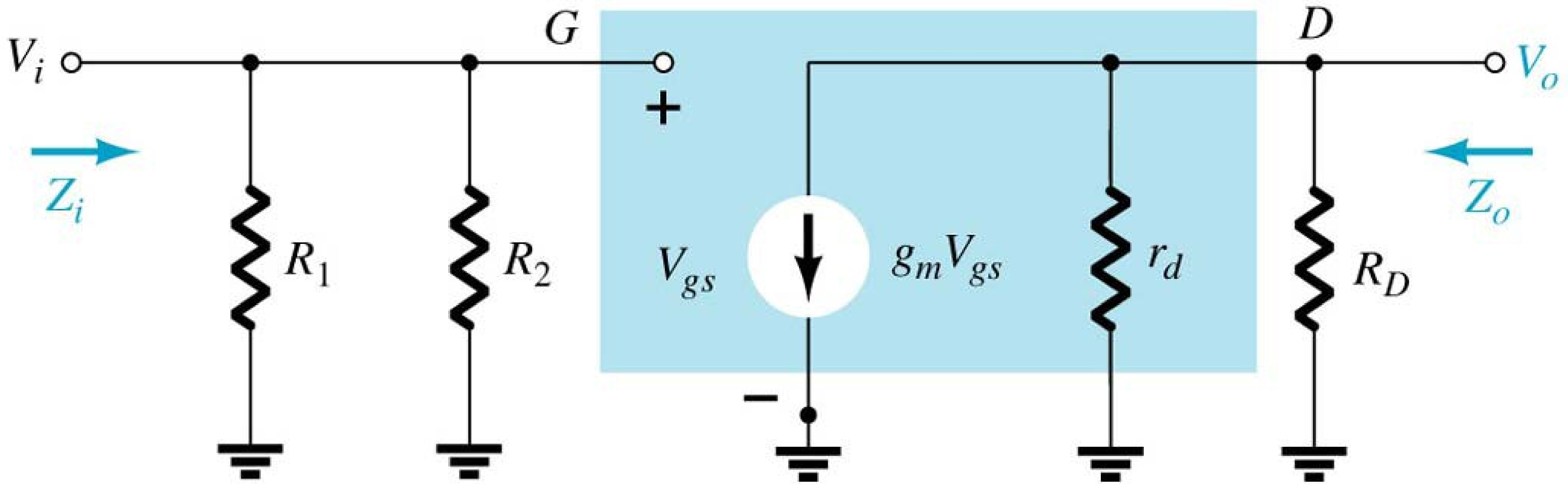


ac and small signal
Equivalent Circuit



3.5 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

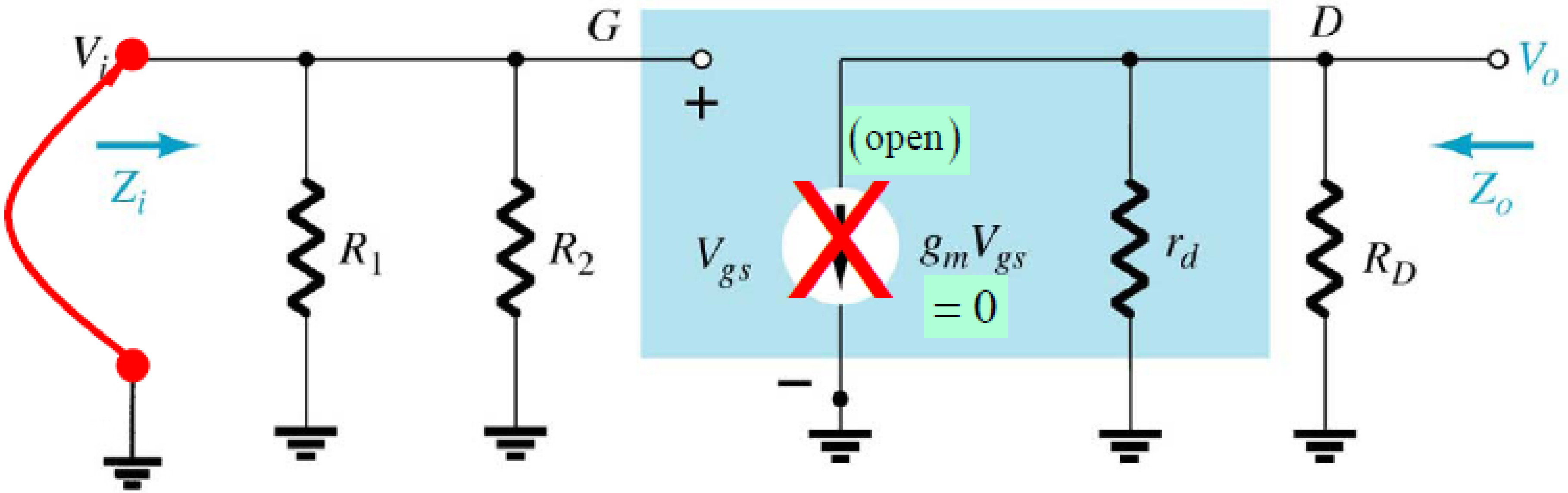
- Input Impedance (Zi)



$$Z_i = R_1 \| R_2$$

3.5 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

- Output Impedance (Zo) : ໂດຍໃຫ້ $V_i = 0$

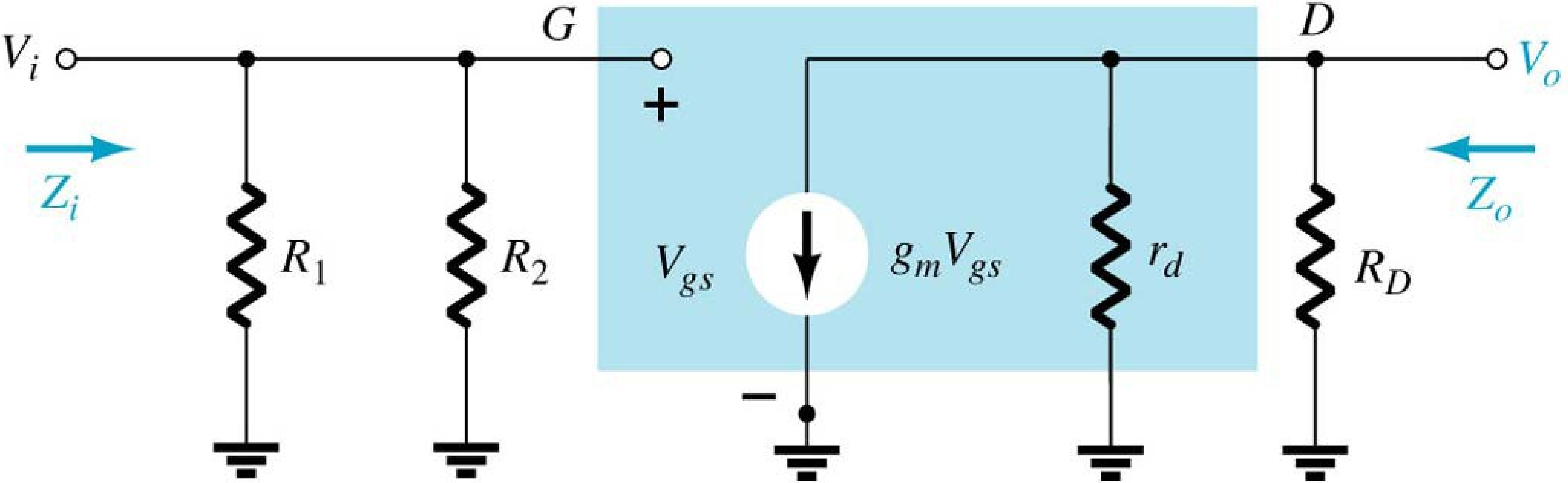


$$Z_o = r_d \| R_D$$

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

3.5 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CS: ໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

- Voltage Gain



$$V_o = -g_m V_{gs}\left(r_d \| R_D\right)$$

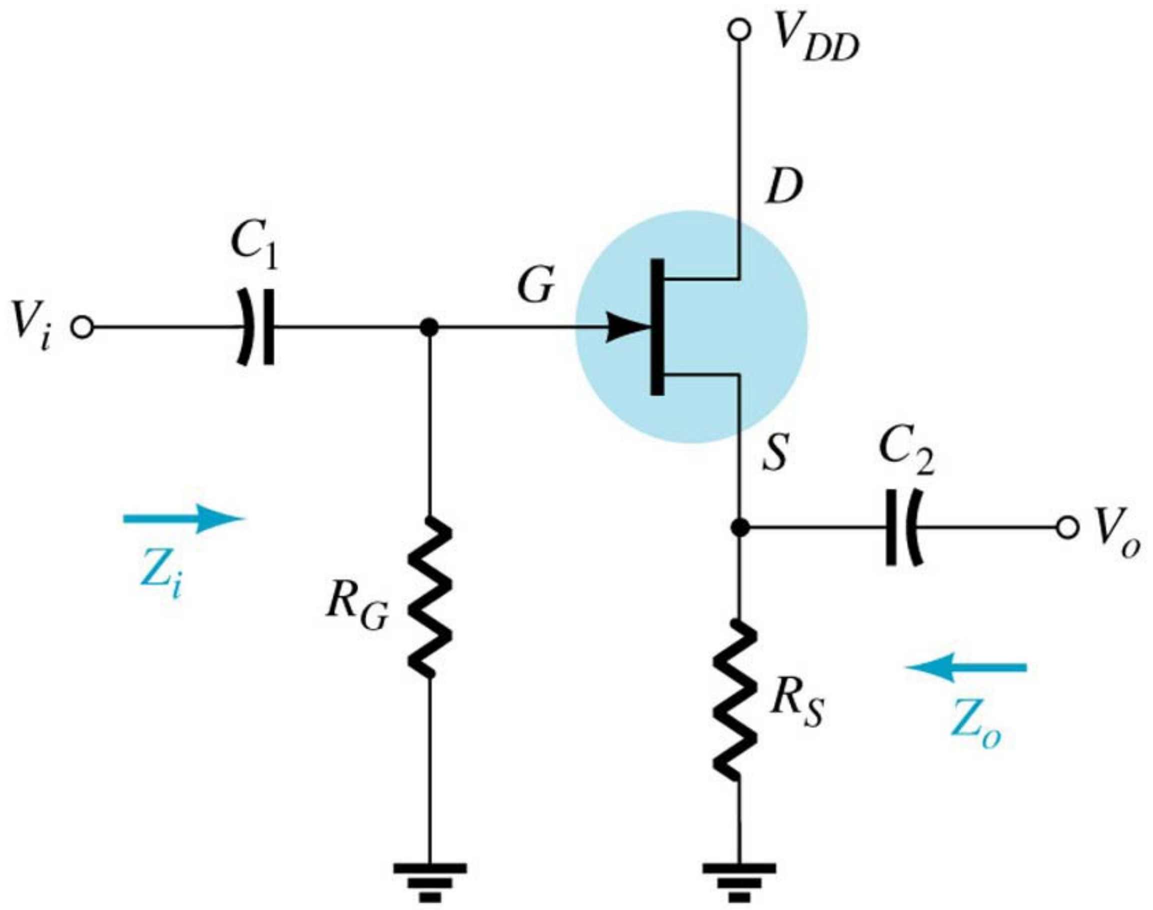
$$V_i = V_{gs}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m\left(r_d \| R_D\right)$$

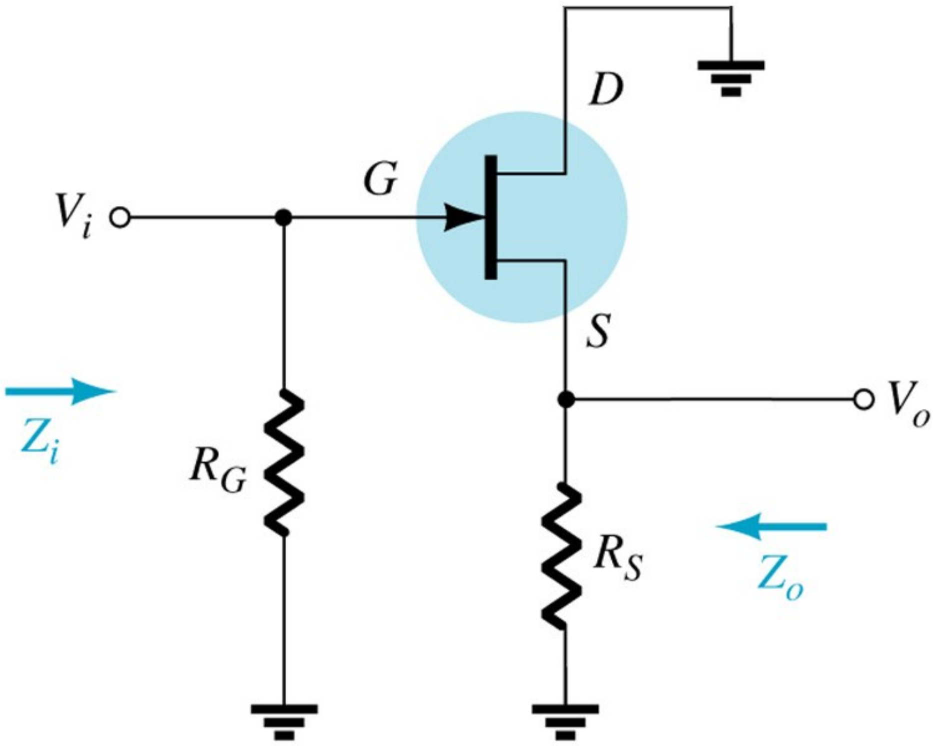
$$\cong -g_m R_D \Big|_{r_d \geq 10 R_D}$$

3.6 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CD

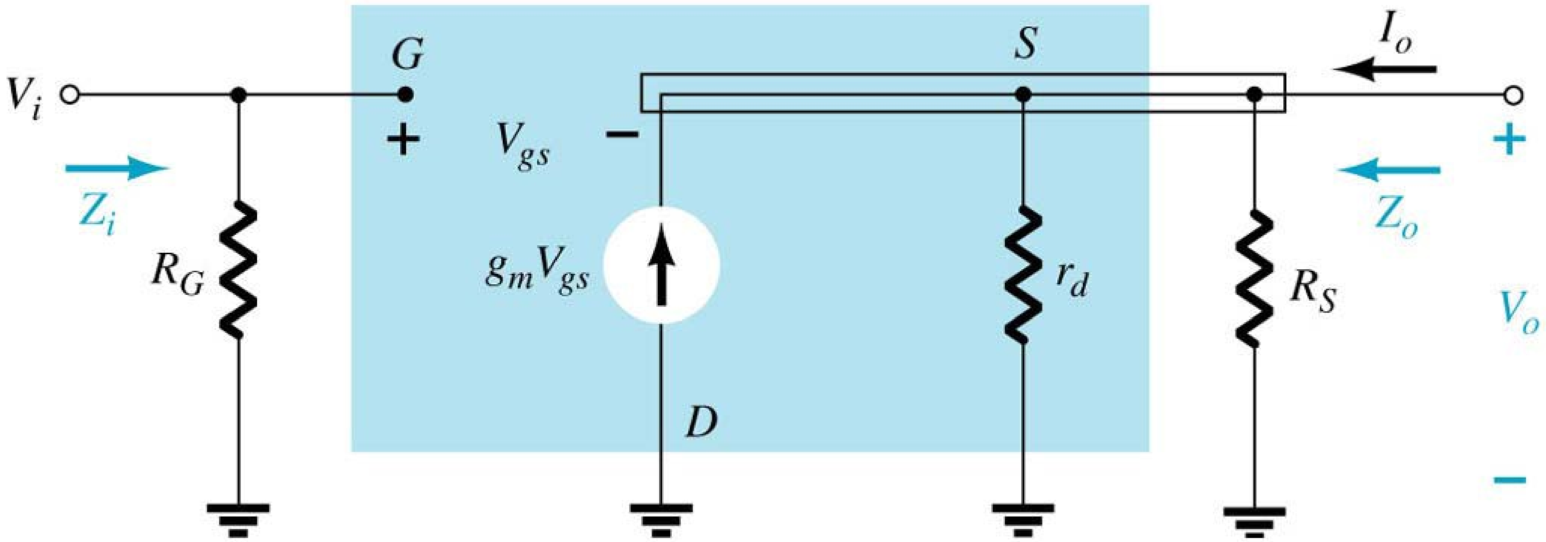
- ການຈັດການວົງຈອນເດຣນຮ່ວມ



3.6 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CD

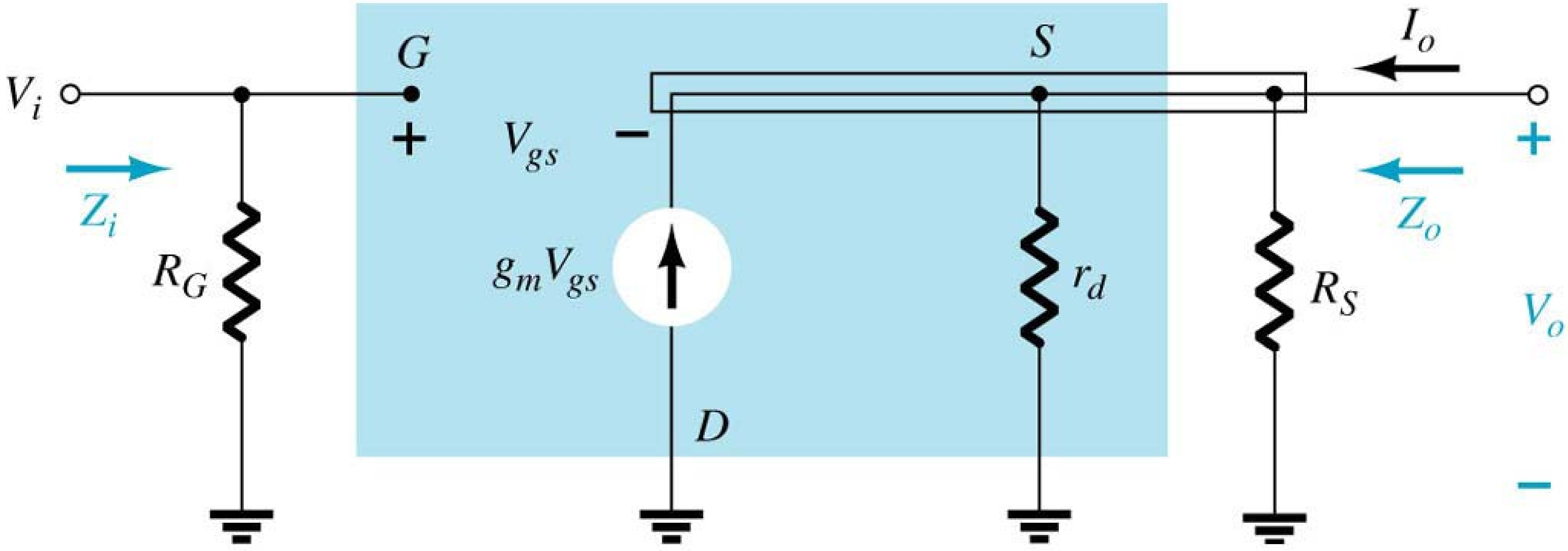


ac and small signal Equivalent Circuit



3.6 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CD

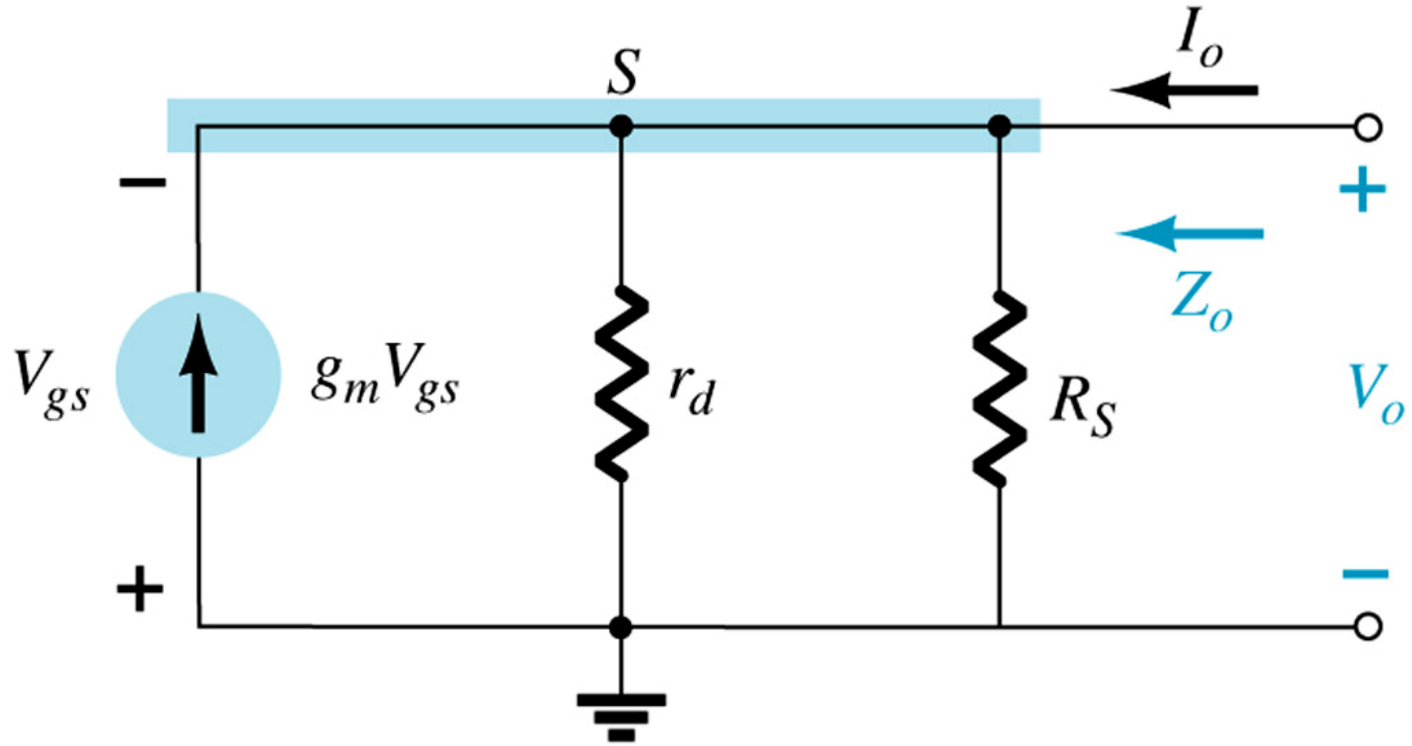
- Input Impedance (Zi)



$$Z_i = R_G$$

3.6 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CD

- Output Impedance (Zo) : ໂດຍໃຫ້ $V_i = 0$



ເມື່ອໃຊ້ KVL ທີ່ໂນດຂາ S

$$I_o + g_m V_{gs} = I_{r_d} + I_{R_S}$$

3.6 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CD

Output Impedance (Zo) : ໂດຍໃຫ້ $V_i = 0$

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

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

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

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

$$Z_o = \frac{V_o}{I_o} = \frac{1}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_S} + g_m}$$

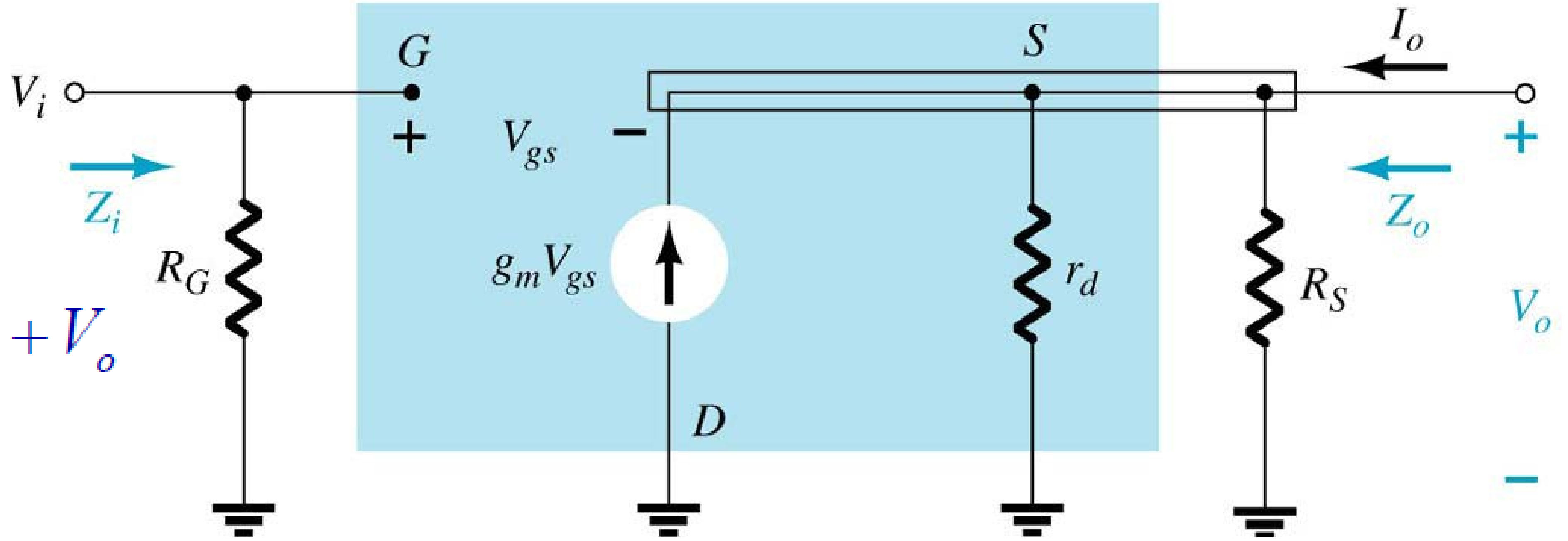
$$= \frac{1}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_S} + \frac{1}{1/g_m}}$$

$$= r_d \| R_S \| 1/g_m$$

$$\cong R_S \| 1/g_m \Big|_{r_d \geq 10R_S}$$

3.6 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CD

- Voltage Gain



$$V_i = V_{gs} + V_o$$

$$V_o = g_m\left(V_i - V_o\right)\left(r_d \| R_S\right)$$

$$= g_m V_i\left(r_d \| R_S\right) - g_m V_o\left(r_d \| R_S\right)$$

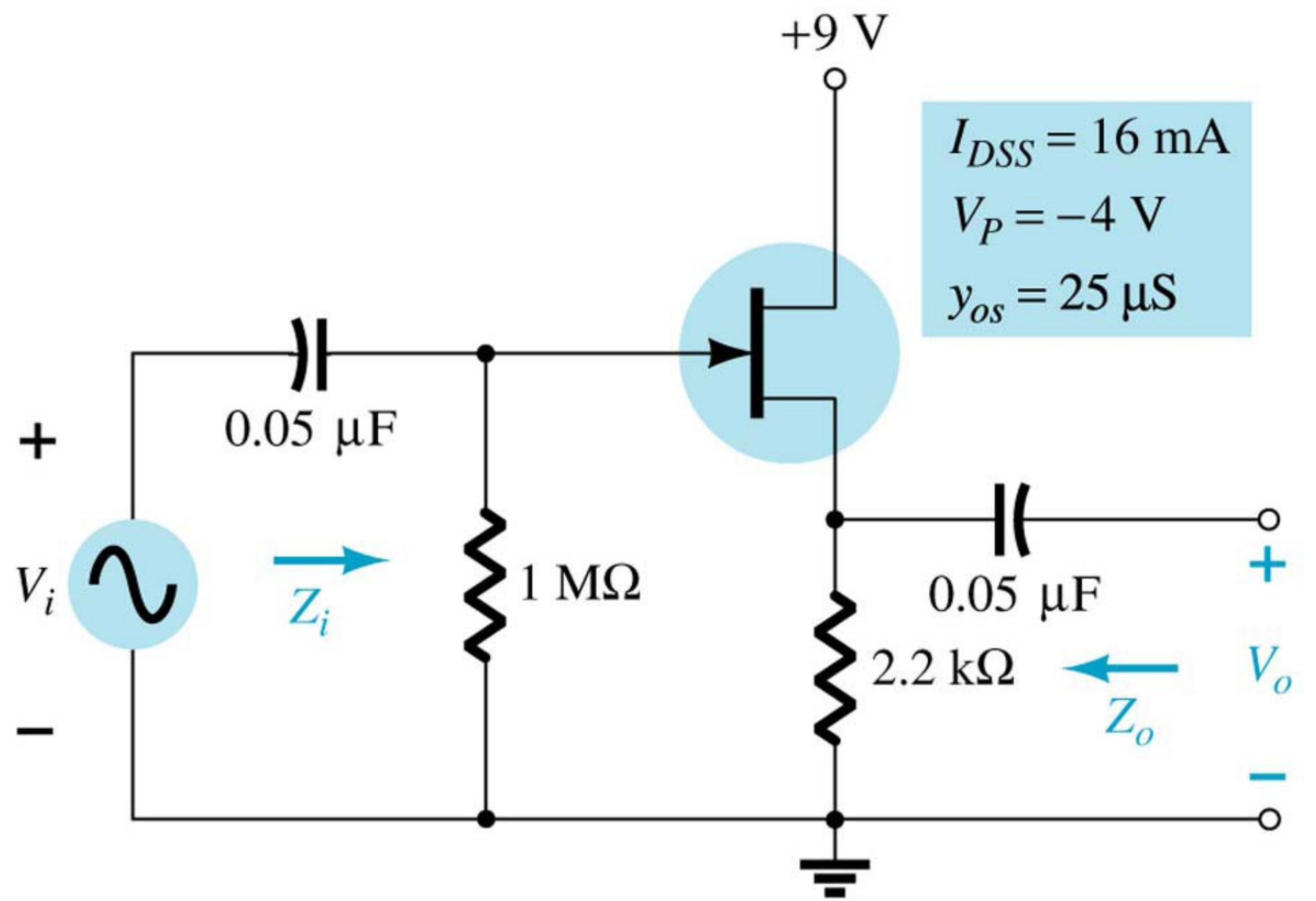
$$V_o\left[1 + g_m\left(r_d \| R_S\right)\right] = g_m V_i\left(r_d \| R_S\right)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{g_m\left(r_d \| R_S\right)}{1 + g_m\left(r_d \| R_S\right)}$$

$$\cong \left.\frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S}\right|_{r_d \geq 10 R_S}$$

3.6 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CD

ຕົວຢ່າງທີ່ 3.5: ຈາກວົງຈອນຈົ່ງຊອກຫາ g_m, r_d, Z_i, Z_o, A_v



3.6 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CD

ຄຳຕອບ

- ຈາກການວິເຄາະໄບແອັດ dc ເຮັດໃຫ້ໄດ້ V_{GSQ} = -2.86V

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

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

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

3.6 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: JFET: CD

ຄຳຕອບ

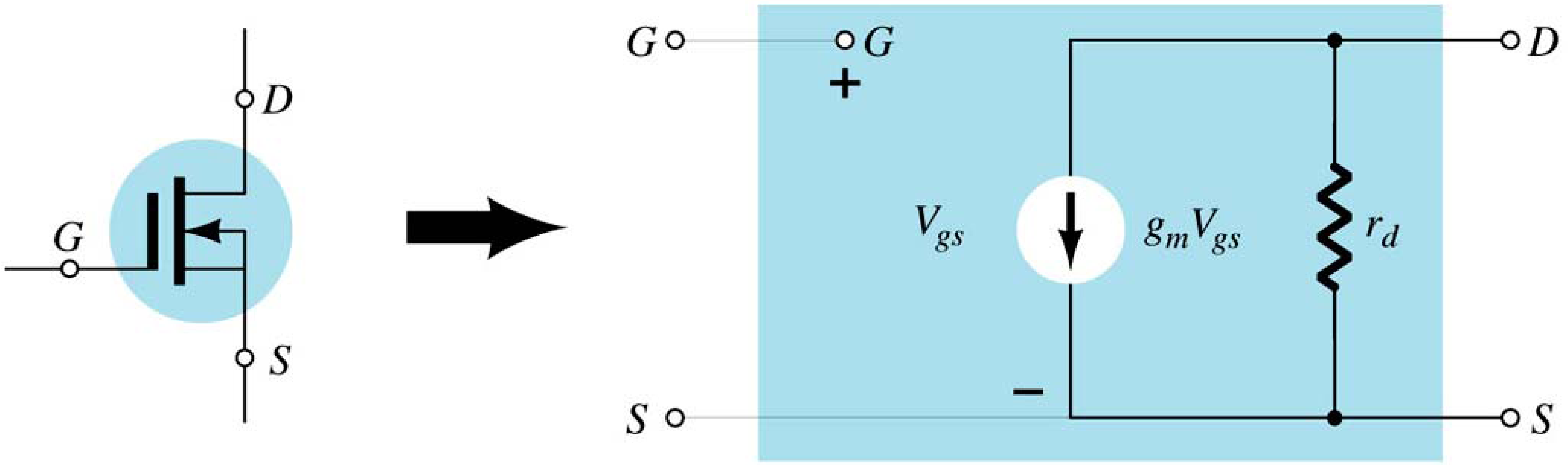
$$A_V = \frac{g_m(R_S || r_d)}{1 + g_m(R_S || r_d)} = \frac{2.28mS(2.2k\Omega || 40k\Omega)}{1 + 2.28mS(2.2k\Omega || 40k\Omega)} = 0.83$$

$$Z_i = R_G = 1M\Omega$$

$$Z_o = R_S || \frac{1}{g_m} = 2.2k\Omega || \frac{1}{2.28mS} = 366.87\Omega$$

3.7 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: D-MOSFET

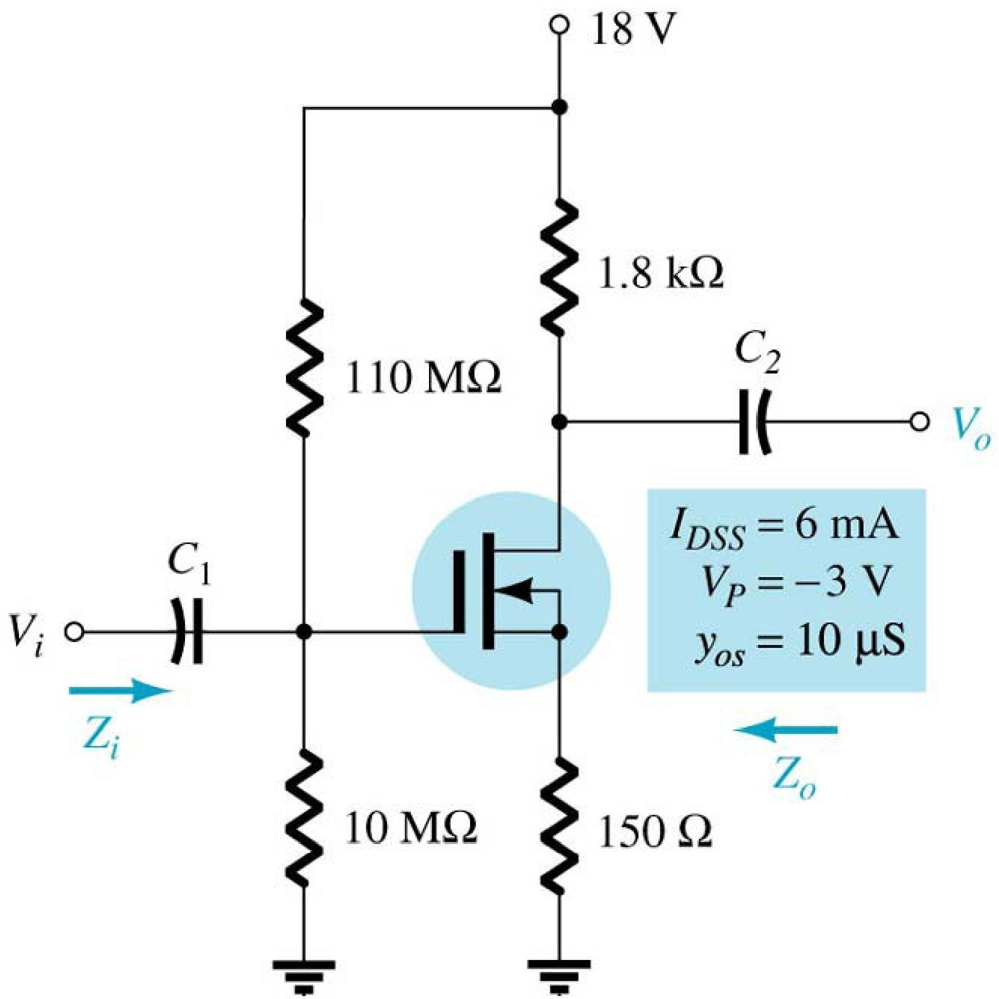
ac and small signal Equivalent Circuit



- I_D ເປັນໄປຕາມສົມຜົນ Shocklay
- V_{GS} ສາມາດເປັນໄດ້ທັງຄ່າບວກແລະລົບ
- ຄ່າ g_m ສາມາດມີຄ່າຫຼາຍກວ່າຄ່າ g_{m0} ໄດ້

3.7 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: D-MOSFET

ຕົວຢ່າງທີ່ 3.6: ຈາກວົງຈອນຈົ່ງຊອກຫາ g_m, r_d, Z_i, Z_o, A_v



ເມື່ອ $V_{GSQ} = 0.35$ V

$I_{DQ} = 7.6$ mA

ມີ C_S

3.7 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: D-MOSFET

- **ຕົວຢ່າງທີ່ 3.6:** ຈາກວົງຈອນຈົ່ງຊອກຫາ g_m, r_d, Z_i, Z_o, A_v

ຄຳຕອບ

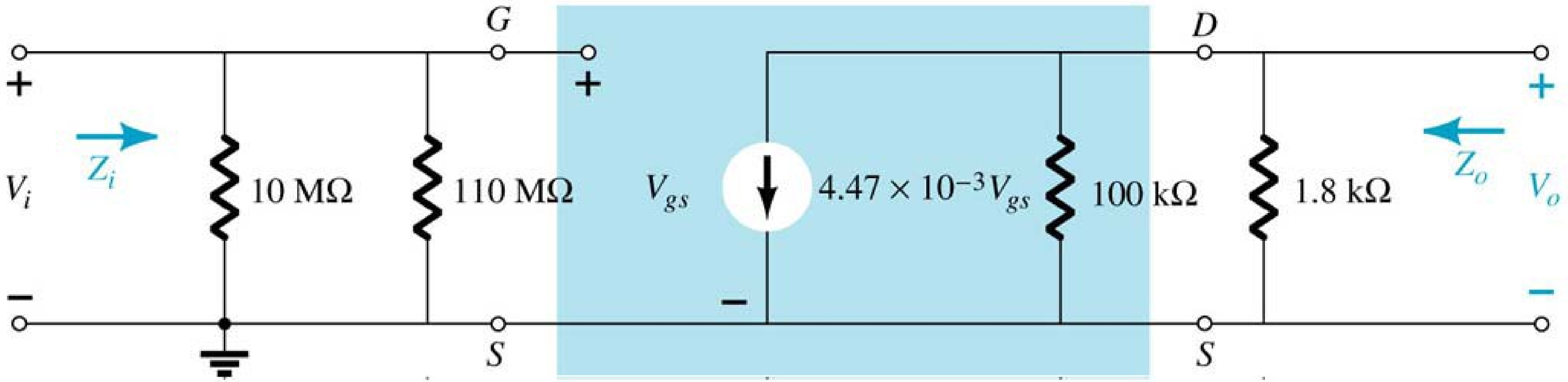
$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2\times 6mA}{3V} = 4mS$$

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

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

3.7 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: D-MOSFET

ຄຳຕອບ



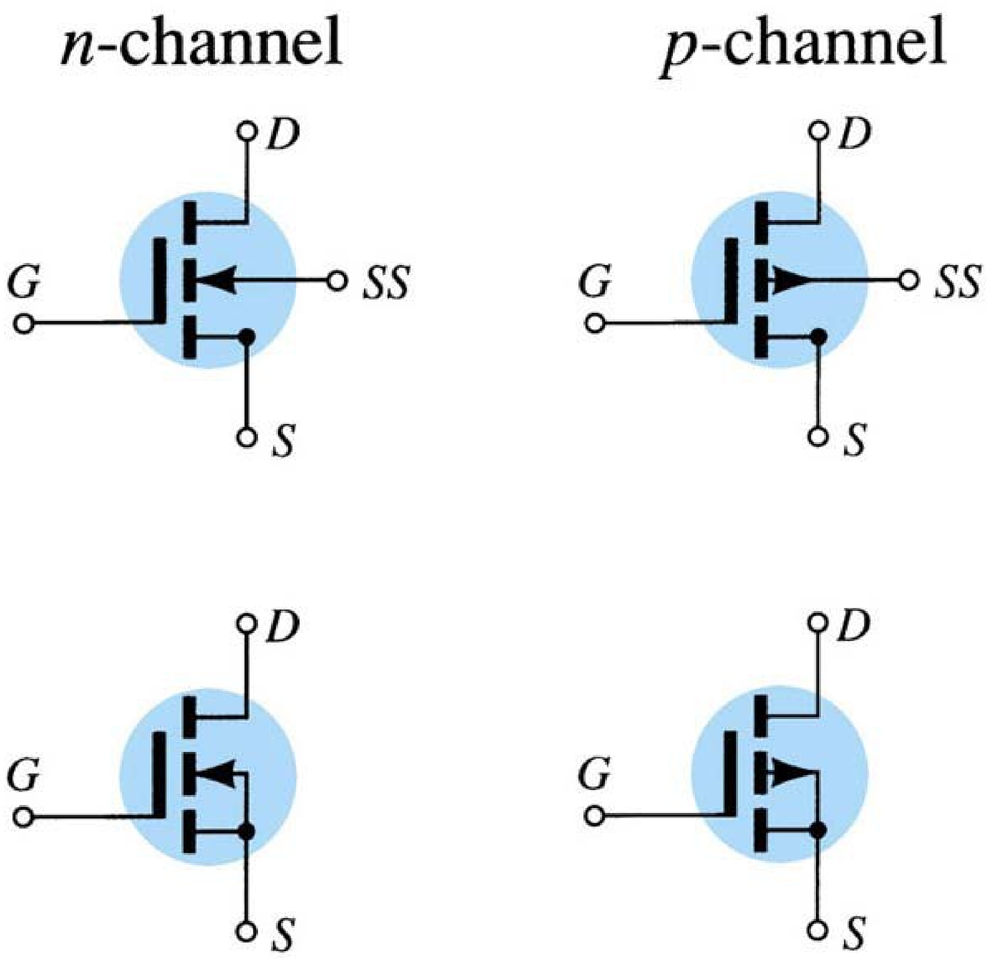
$$Z_i = R_1 \| R_2 = 10M\Omega \| 110M\Omega = 9.17k\Omega$$

$$Z_o = r_d \| R_D = 100k\Omega \| 1.8k\Omega = 1.77k\Omega$$

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

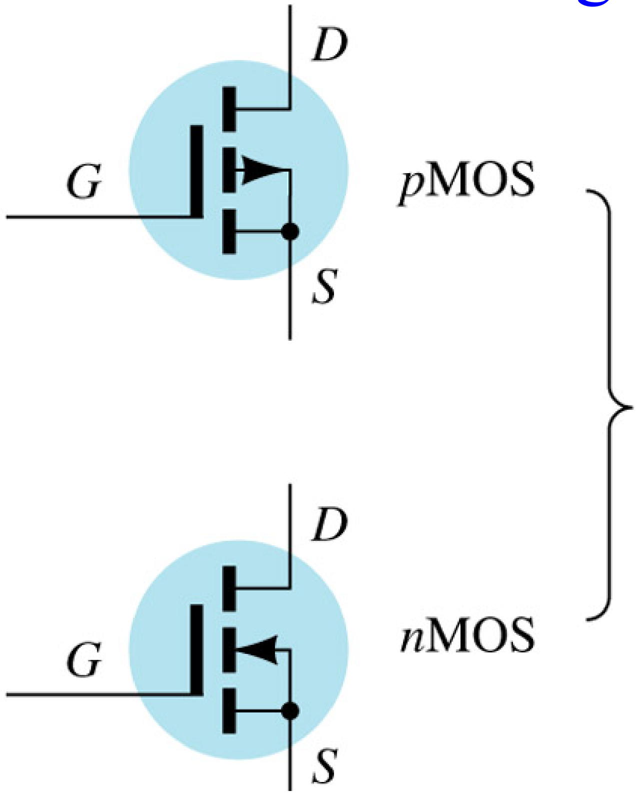
3.8 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: E-MOSFET

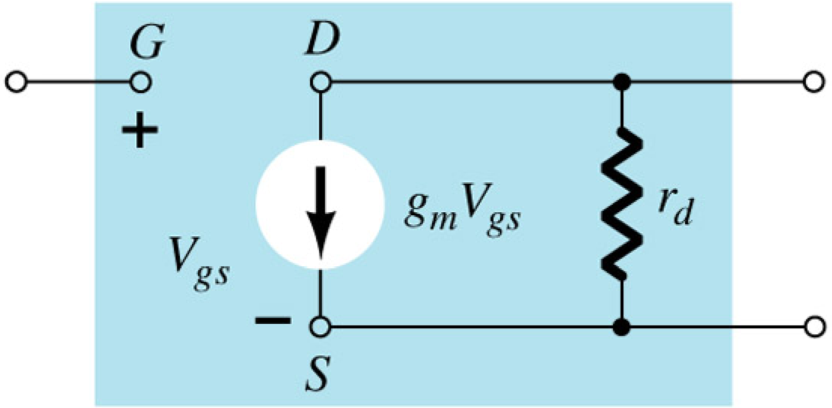
- E-MOSFETs ມີ 2 ຊະນິດຄື
  - nMOS ຫຼື n-channel MOSFETs
  - pMOS ຫຼື p-channel MOSFETs



3.8 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: E-MOSFET

ac and small signal Equivalent Circuit





$$g_m = |y_{fs}| \;,\; r_d = \frac{1}{|y_{os}|}$$

$$I_D = k\left(V_{GS} - V_{GS(Th)}\right)^2$$

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

3.8 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: E-MOSFET

Determination of g_m

$$g_m = \left.\frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}\right|_{Q-pt} = \left.\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}\right|_{Q-pt}$$

$$= \frac{\partial\, k\left(V_{GS} - V_{GS(Th)}\right)^2}{\partial V_{GS}}$$

$$= \frac{2k\left(V_{GS} - V_{GS(Th)}\right)\partial\left(V_{GS} - V_{GS(Th)}\right)}{\partial V_{GS}}$$

$$= 2k\left(V_{GS} - V_{GS(Th)}\right)$$

ຄ່າ k ຫາຄ່າໄດ້ຈາກການໄບແອັດ

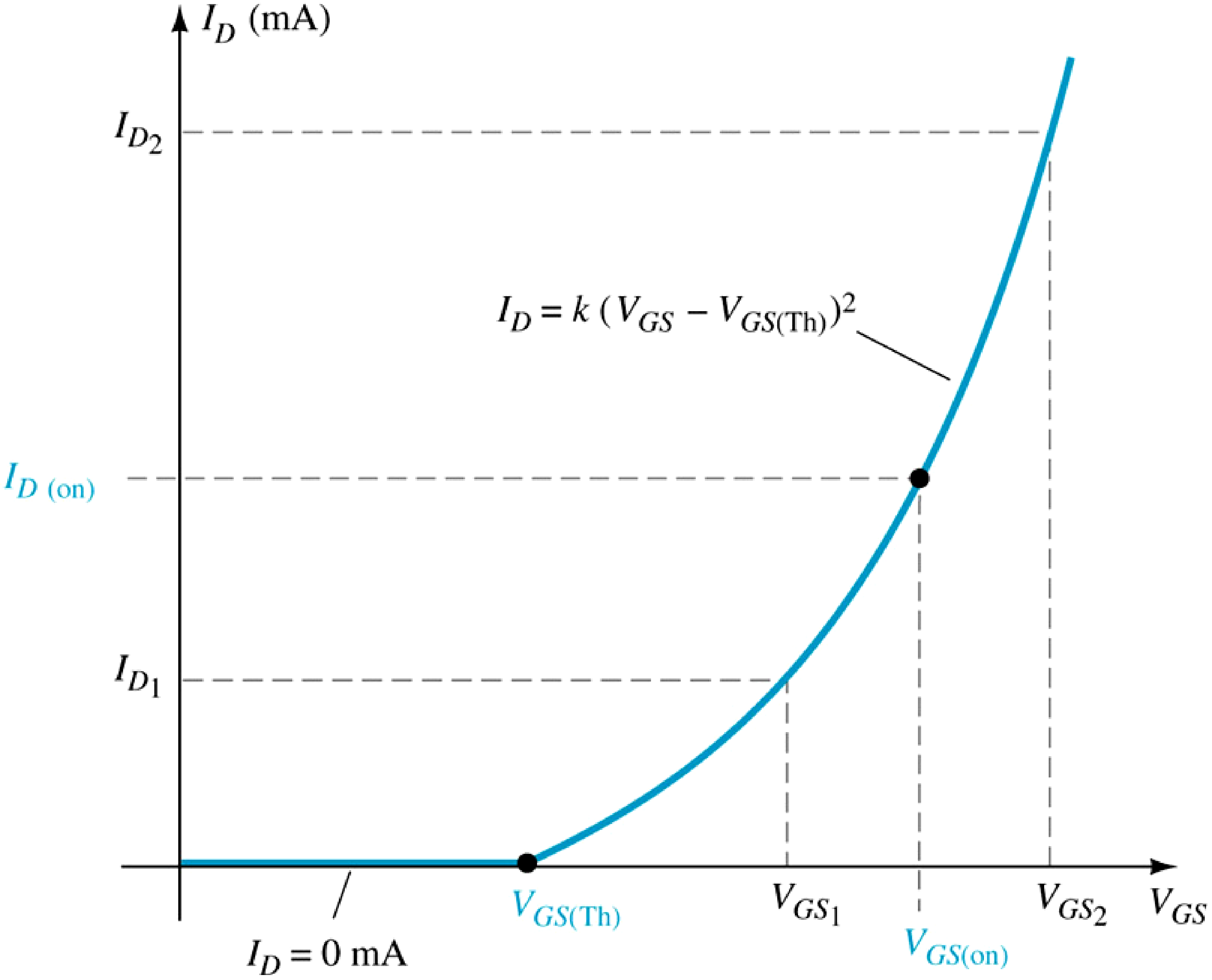
3.8 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: E-MOSFET

ການຖາຍໂອນຄຸນລັກສະນະ Enhancement MOSFET

$$I_D = k\left(V_{GS} - V_{GS(Th)}\right)^2$$

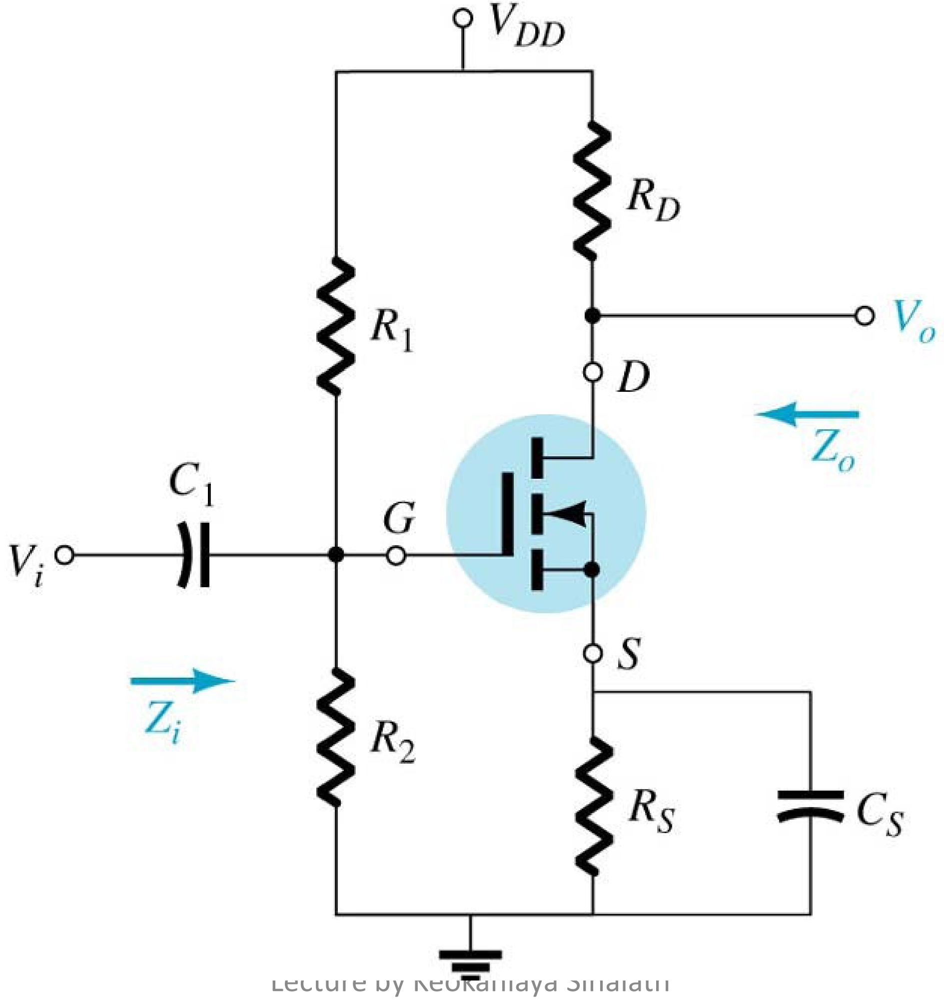
$$I_{D(on)} = k\left(V_{GS(on)} - V_{GS(Th)}\right)^2$$

$$k = \frac{I_{D(on)}}{\left(V_{GS(on)} - V_{GS(Th)}\right)^2}$$



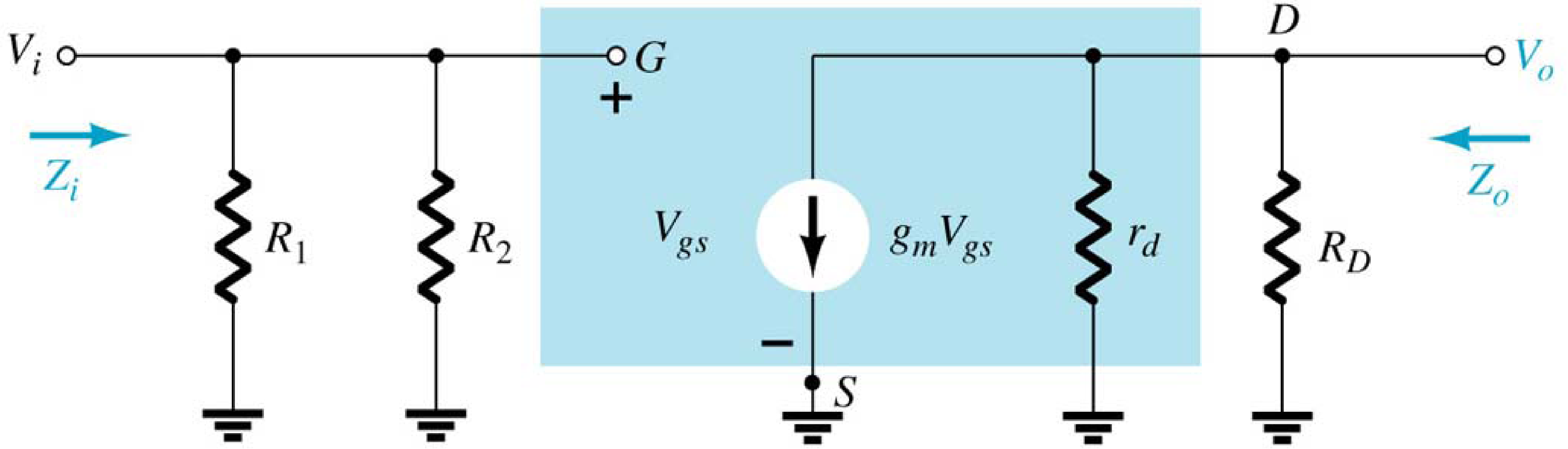
3.8 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: E-MOSFET: *ໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ*

- ການຈັດການການວົງຈອນໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ



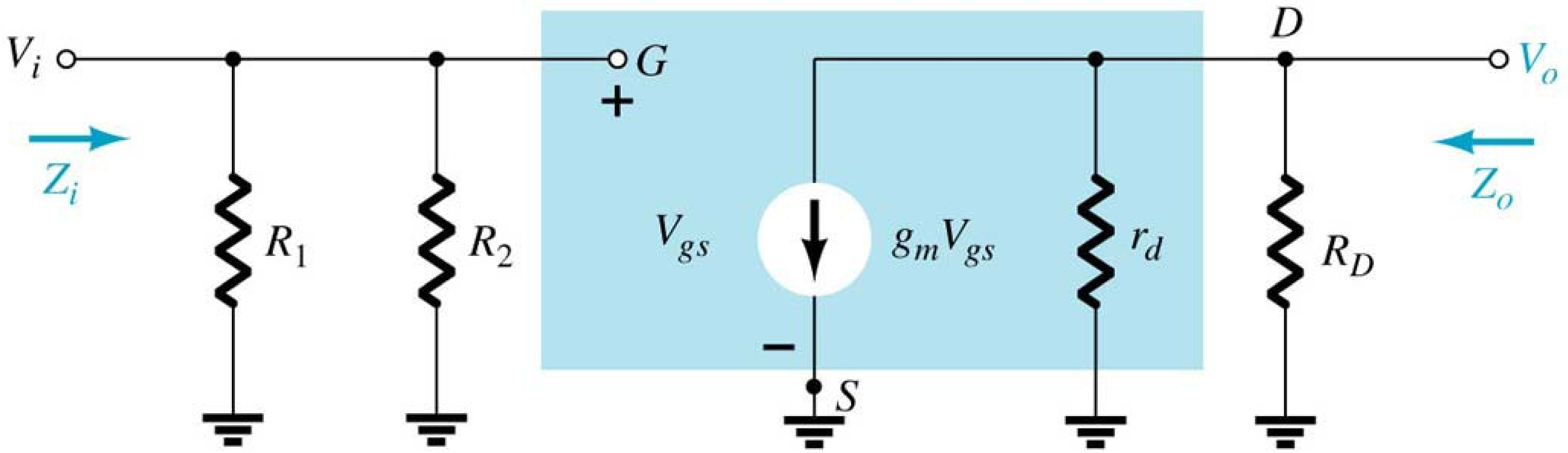
3.8 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: E-MOSFET: ໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

small signal Equivalent Circuit



3.8 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: E-MOSFET: ໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

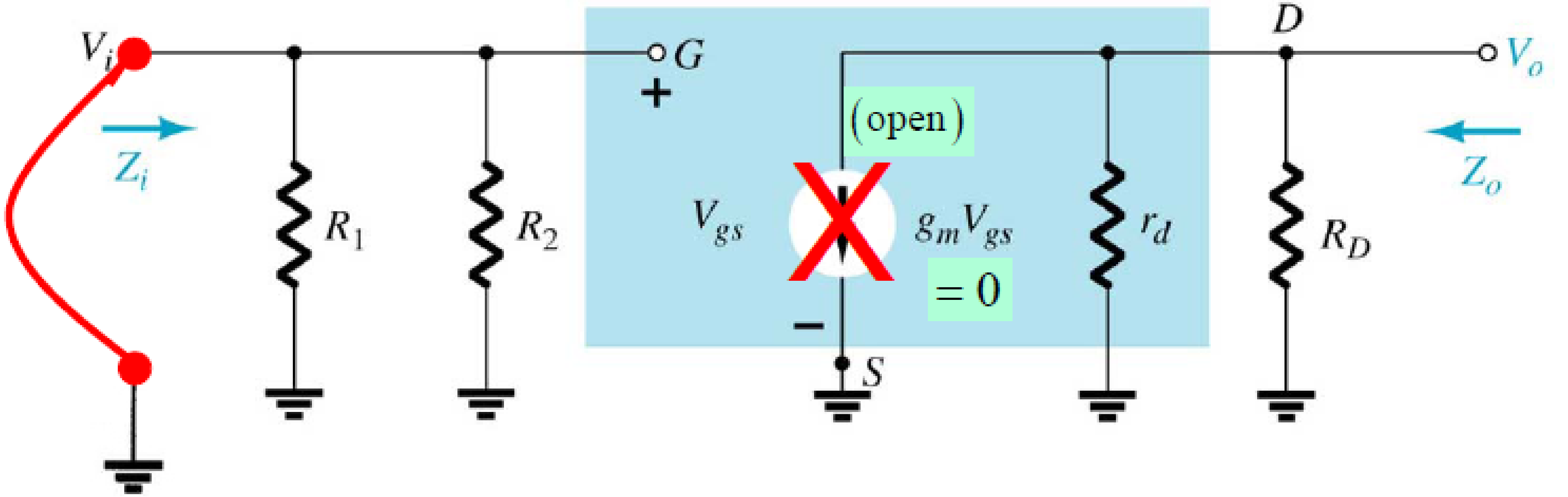
- Input Impedance (Zi)



$$Z_i = R_1 \| R_2$$

3.8 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: E-MOSFET: ໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

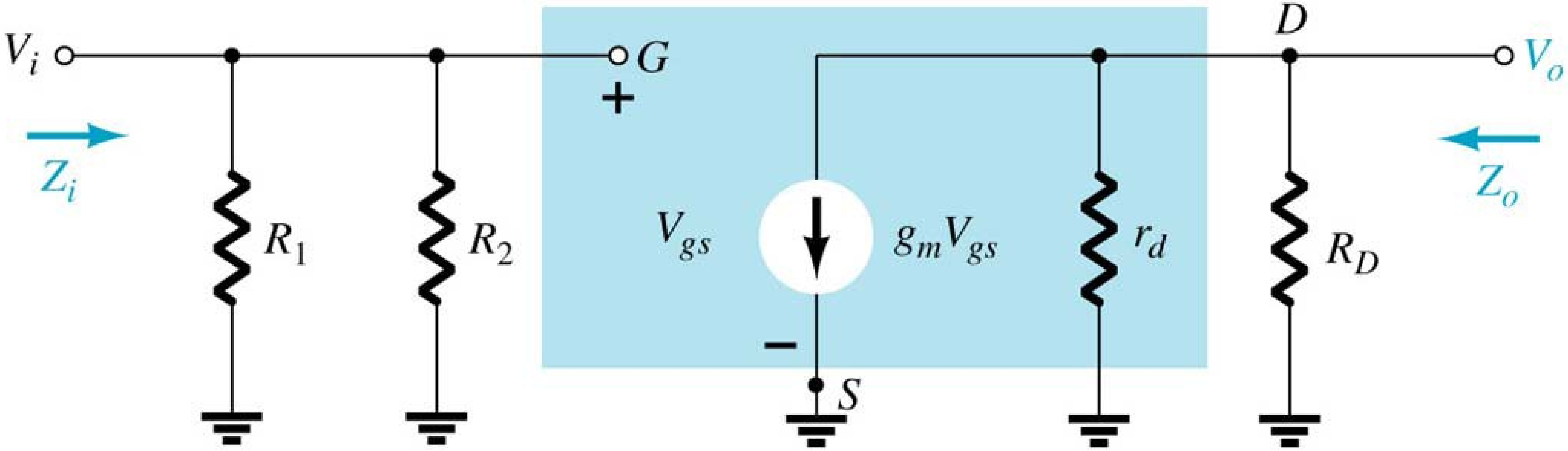
- Output Impedance (Zo) : ໂດຍໃຫ້ $V_i = 0$



$$Z_o = r_d \| R_D$$

3.8 ການວິເຄາະສັນຍານຂະໜາດນ້ອຍຂອງ FET: E-MOSFET: ໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

- Voltage Gain



$$V_o = -g_m V_{gs}\left(r_d \| R_D\right)$$

$$V_i = V_{gs}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m\left(r_d \| R_D\right)$$

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

ຈົບບົດຮຽນທີ 3