



ອີເລັກໂຕຣນິກຂັ້ນສູງ

Advanced Electronics

ສອນໂດຍ: ອຈ. ປທ. ແກ້ວກັນລະຍາ ສີຫາລາດ

Tel & WhatsApp: 020 55607618

Email: ke.sihalath.nuol.edu.la

ບົດທີ 2

ການໄບແອັດທຣານຊິດເຕີສະໜາມໄຟຟ້າ (Field Effect Transistor Biasing)

ຈຸດປະສົງ

ເພື່ອສຶກສາການໄບແອັດທຣານຊິດເຕີສະໜາມໄຟຟ້າ

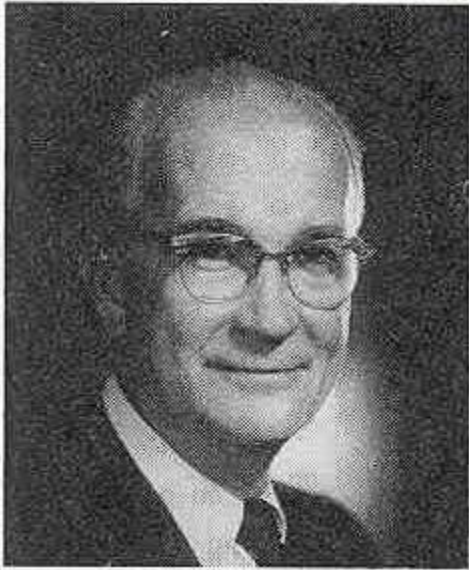
- ການໄບແອັດ JFET
- ການໄບແອັດ D-MOSFET
- ການໄບແອັດ E-MOSFET
- ການໄບແອັດ ເກດ
- ການໄບແອັດຍ້ອນກັບ
- ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

2. ການໄບແອັດ FET: JFET

- ການໄບແອັດ JFET
 - ການໄບແອັດເກດ (Gate Biasing)
 - ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ (Feedback Biasing)
 - ການໄບແອັດແບບແບ່ງແຮງດັນ (Voltage Divider Biasing)

2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດເກດ

ສົມຜົນຊ້ອກລໍ



ສົມຜົນກະແສຂອງ

JFET ແລະ D-MOSFET

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

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

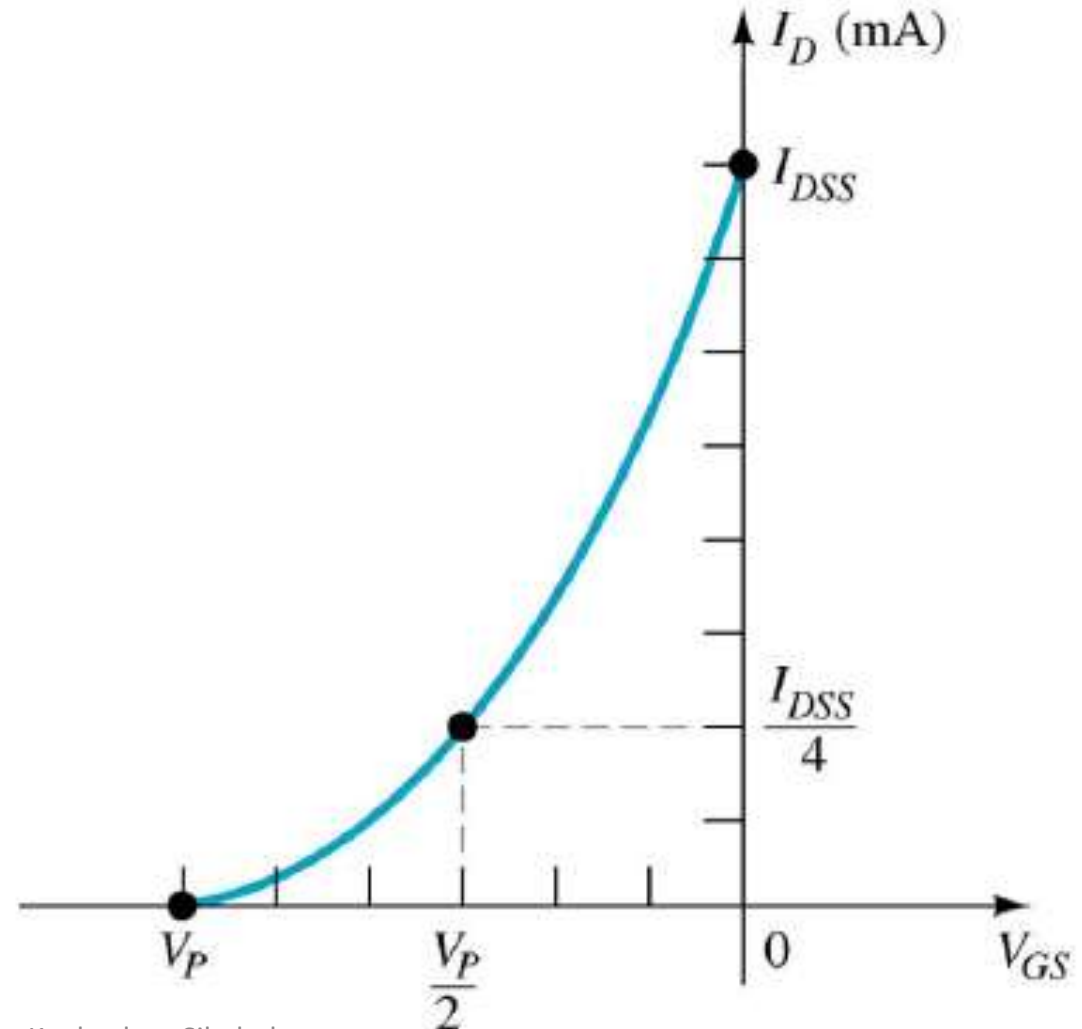
$$\sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} = 1 - \frac{V_{GS}}{V_P}$$

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

2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດເກດ

- ຄວາມສຳພັນຂອງກະແສ I_D ແລະ ແຮງດັນ V_{GS}

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



2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດເກດ

ການຈັດວົງຈອນຂອງການໄບແອັດເກດ ຫຼື ເອີ້ນວ່າ: ການຈັດໄບແອັດຄົງທີ່ (Fixed Bias) ນັ້ນສາມາດເຮັດໄດ້ ໂດຍໃຊ້ແຫຼ່ງຈ່າຍໄຟຕໍ່ແບບໄບແອັດປິ່ນໃຫ້ແກ່ຂາເກດກັບຂາຊອດ ໃຊ້ແຫຼ່ງຈ່າຍໄຟ V_{GG} ເປັນຕົວປ້ອນແຮງດັນໄບແອັດຢ້ອນກັບໃຫ້ກັບເຟດ (ໃຊ້ຕົວຫຍໍ້ວ່າ V_{GS}) ເຊິ່ງຈະເປັນຜົນເຮັດໃຫ້ບໍ່ມີກະແສໄຫຼຜ່ານ R_G ຫຼື ຂົ້ວຂອງເກດນັ້ນຈະເປັນ $I_G = 0\text{mA}$

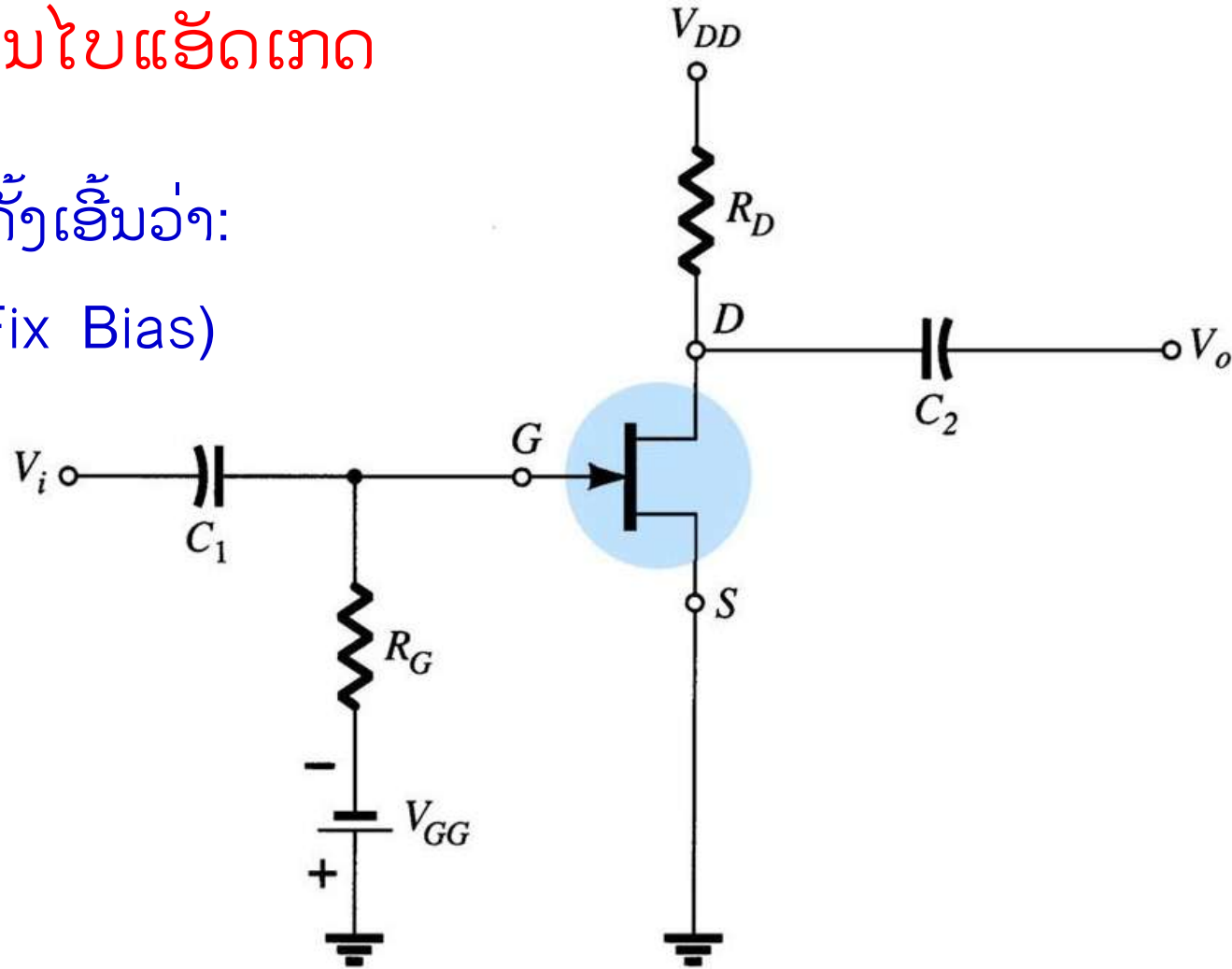
2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດເກດ

ເມື່ອຂາເກດແລະຂາຊອດໄດ້ຮັບໄບແອັດປື້ນກໍຈະບໍ່ມີກະແສໄຫຼຜ່ານ ຮອຍຕໍ່ແລະກະແສໄຟຟ້າກໍບໍ່ສາມາດໄຫຼຜ່ານ **C** ໄດ້ ດັ່ງນັ້ນ ຈຶ່ງບໍ່ມີກະແສໄຫຼ ຜ່ານ **R_G** ສະຫຼຸບໄດ້ວ່າ: ແຫຼ່ງຈ່າຍໄຟ **V_{GG}** ເຮັດໃຫ້ເກີດແຮງດັນ **V_{GS}** ເພື່ອ ໄບແອັດປື້ນກັບ N-channel JFET ແຕ່ບໍ່ມີກະແສໄຫຼຈາກແຫຼ່ງຈ່າຍໄຟ **V_{GG}** ການທີ່ໃສ່ **R_G** ໄວ້ ເພື່ອເປັນຕົວຮັບສັນຍານໄຟສະຫຼັບທີ່ປ້ອນເຂົ້າມາທາງອິນ ພຸດ ແລະ ໄຫຼຜ່ານ **C** ມາ ຕົກຄ່ອມ **R_G**

2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດເກດ

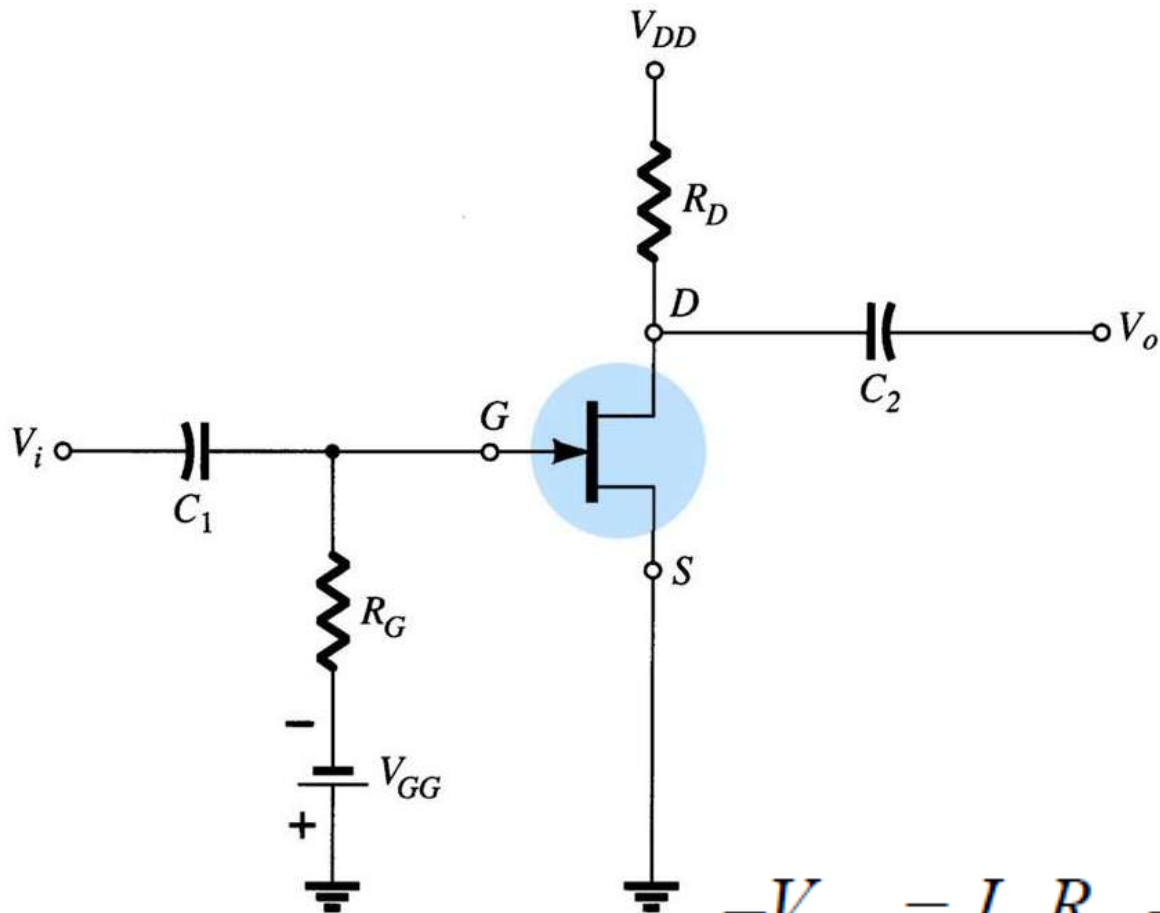
ການຈັດວົງຈອນຂອງການໄບແອັດເກດ

ການໄບແອັດເກດບາງຄັ້ງເອີ້ນວ່າ:
ການໄບແອັດຄົງທີ່ (Fix Bias)



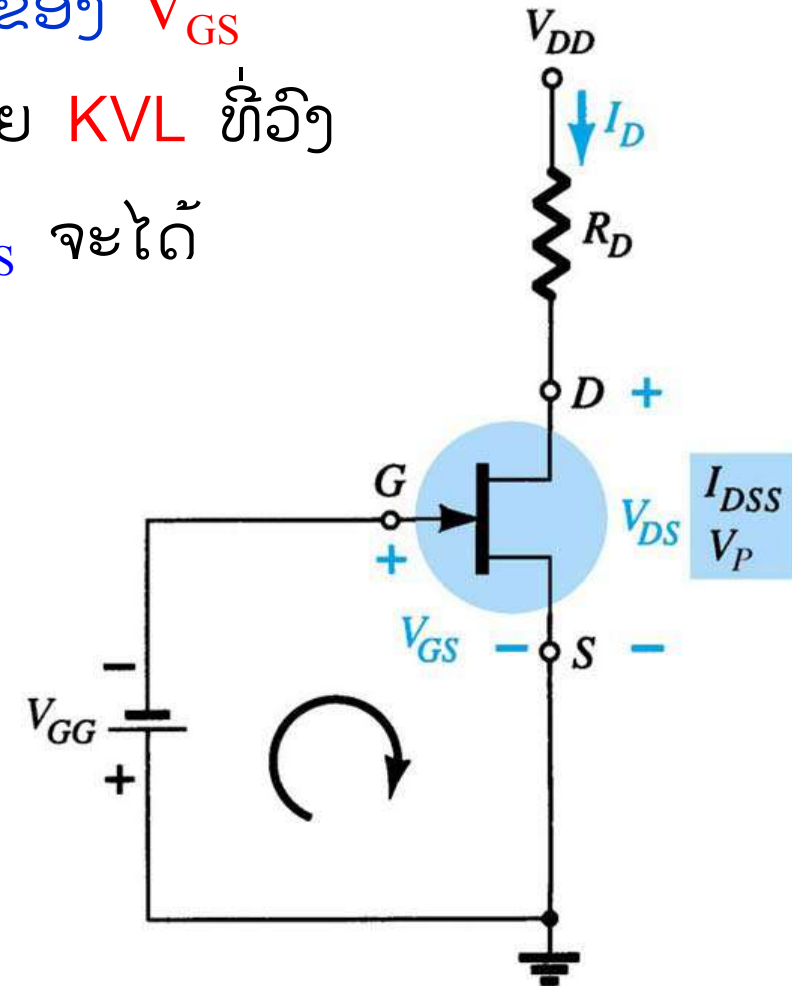
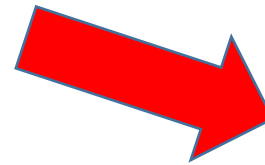
2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດເກດ

ວົງຈອນວົງປິດຂອງ V_{GS}
 ຂຽນສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງ
 ປິດທີ່ຜ່ານ V_{GS} ຈະໄດ້

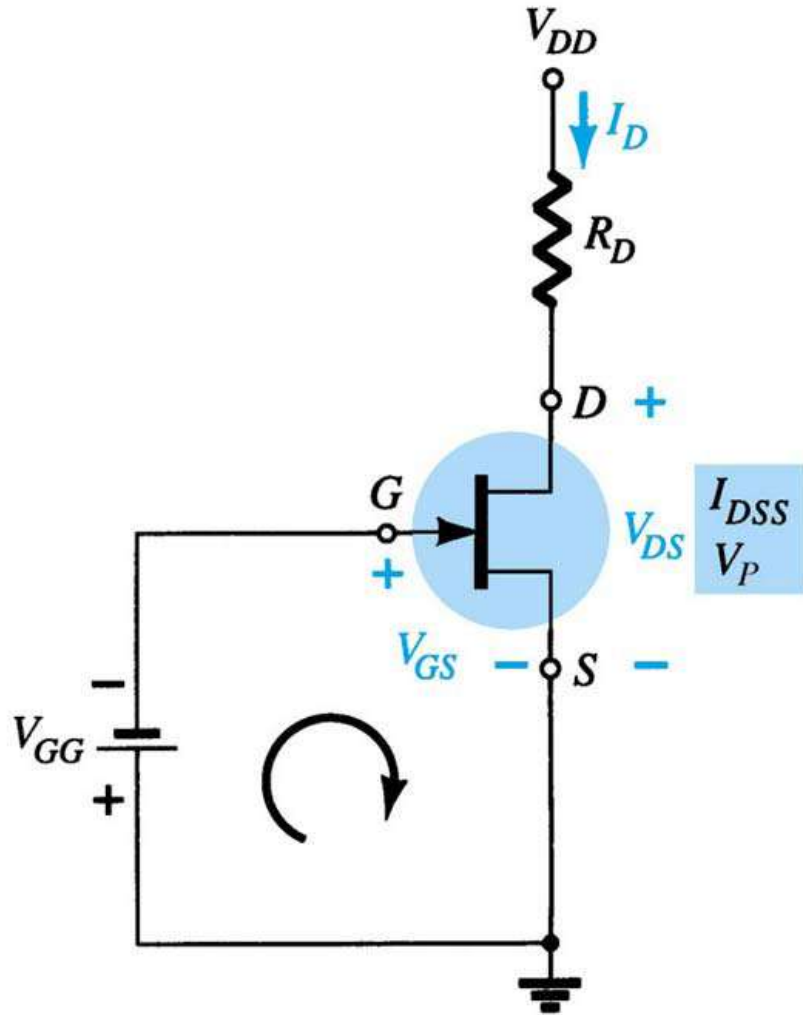


$$-V_{GG} = I_G R_G + V_{GS}$$

$$-V_{GG} = V_{GS} \quad ; I_G = 0$$



2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດເກດ



ວົງຈອນວົງປິດຂອງ V_{DS}
ຂຽນສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງ
ປິດທີ່ຜ່ານ V_{DS} ຈະໄດ້

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

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

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

2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດເກດ

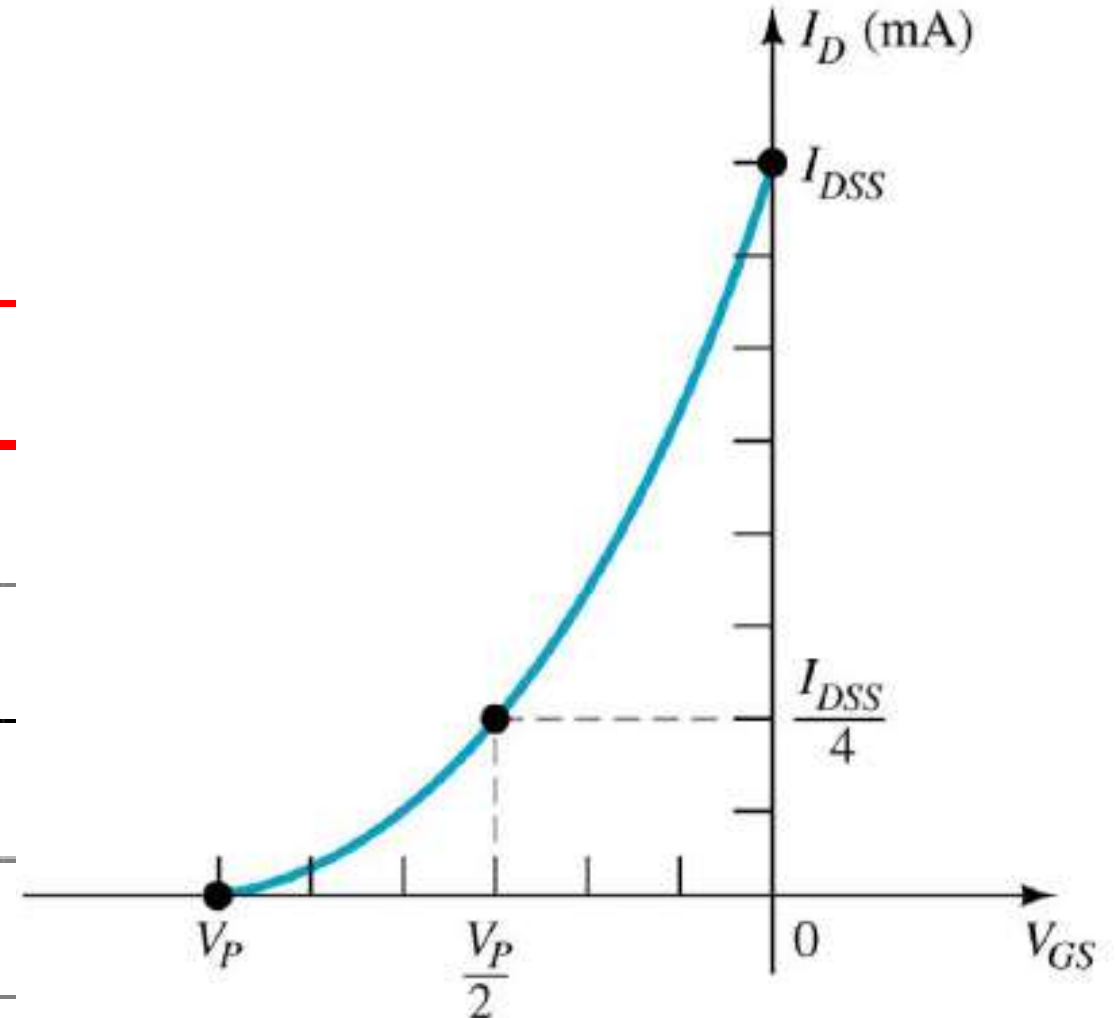
ການວິເຄາະວົງຈອນໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນຮ່ວມກັບການຄຳນວນ

1. ຂຽນກຣາບຖ່າຍໂອນໂດຍໃຊ້ສົມຜົນຊ້ອກລ່າ

ຕາມຕາຕະລາງຄວາມສຳພັນຂອງກະແສ I_D

ແລະ ແຮງດັນ V_{GS}

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



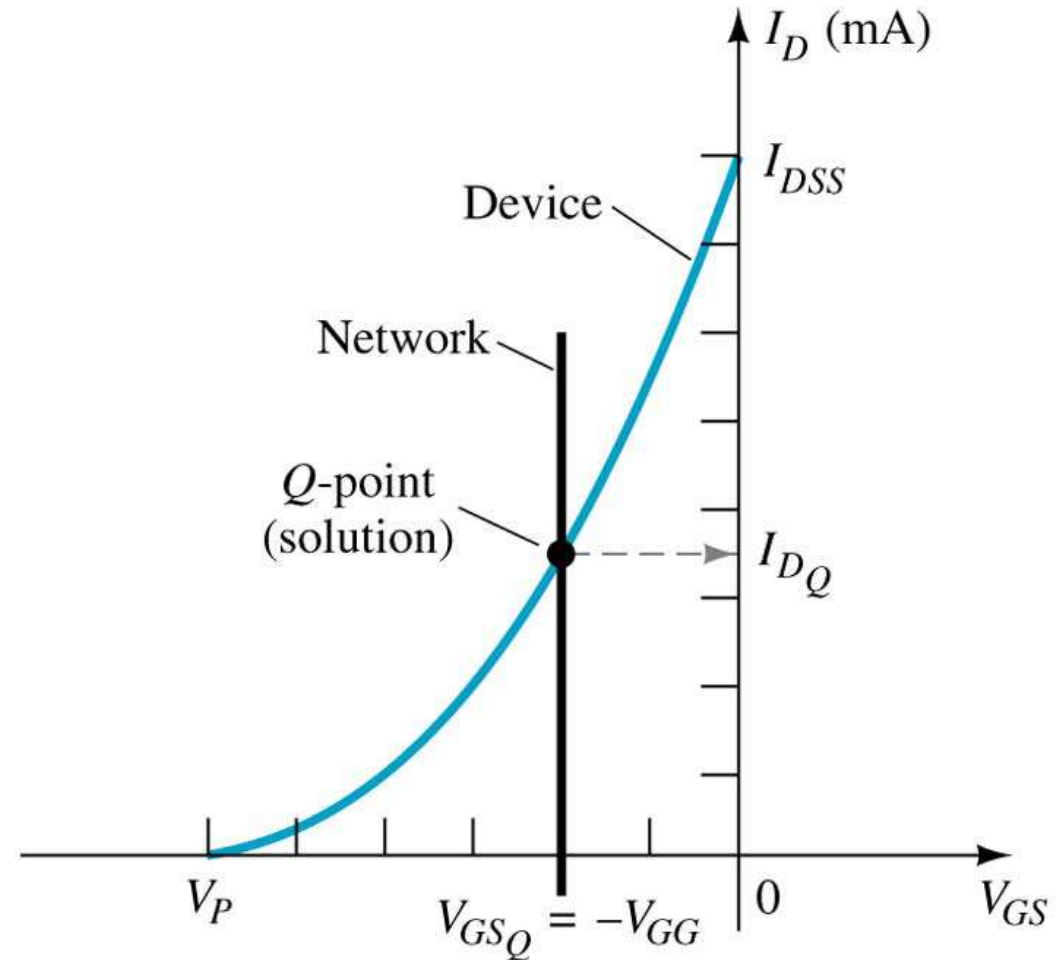
2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດເກດ

ການວິເຄາະວົງຈອນໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນຮ່ວມກັບການຄຳນວນ

2. ການຫາກະແສແລະແຮງດັນທີ່ຈຸດ Q

ໂດຍຂີດເສັ້ນໄບແອັດໄຟກົງໃຫ້ໄປຕັດ

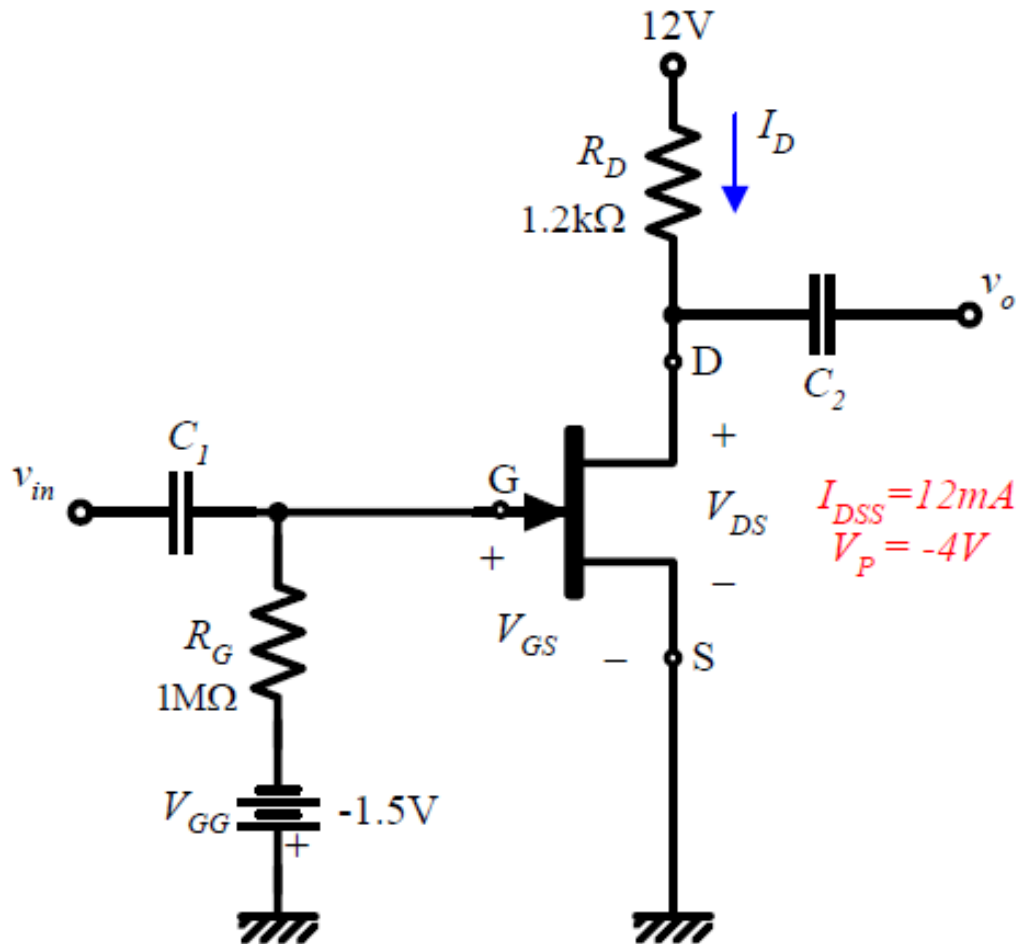
ກັບກຣາບຖ່າຍໂອນ



2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດເກດ

ຕົວຢ່າງທີ່ 2.1: ຈົ່ງຄຳນວນຫາແຮງດັນ V_{DS} ແລະກະແສ I_D

ຄຳຕອບ



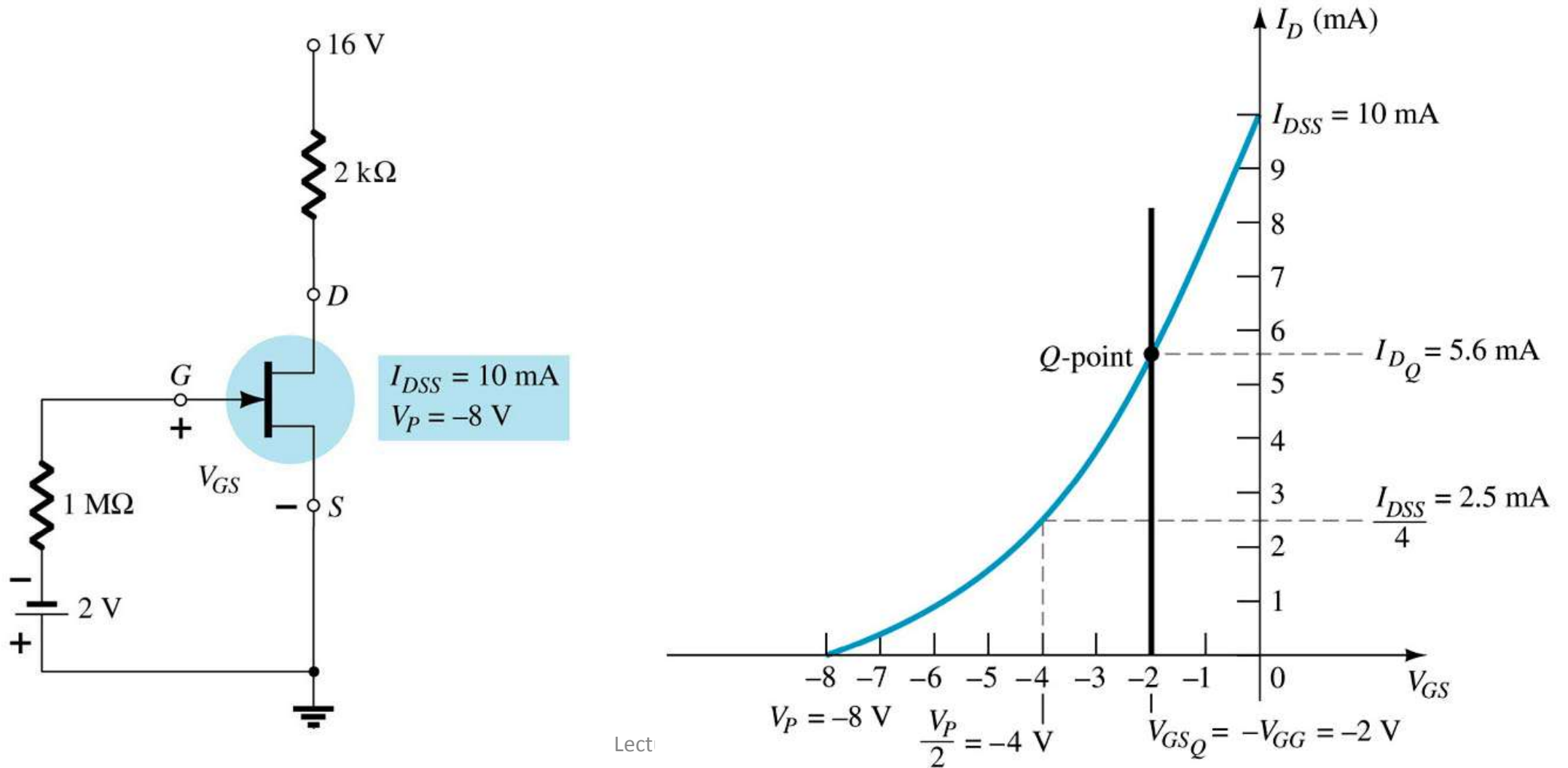
$$V_{GS} = V_{GG} = -1.5 \text{ V}$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 = 12 \text{ mA} \left(1 - \frac{-1.5 \text{ V}}{-4 \text{ V}} \right)^2 = 4.69 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_{DD} - I_D R_D \\ &= 12 \text{ V} - (4.69 \text{ mA} \times 1.2 \text{ k}\Omega) \\ &= 6.4 \text{ V} \end{aligned}$$

2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດເກດ

ຕົວຢ່າງທີ່ 2.2: ຈົ່ງຄຳນວນຫາແຮງດັນ V_{GS} , I_D , V_{DS} , V_D , V_G , V_S



2.1 ການໄບແອັດ FET: **JFET:** ການໄບແອັດເກດ

ຄຳຕອບ

$$\begin{aligned} V_{GS} &= V_{GG} \\ &= -2 \text{ V} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_{DD} - I_D R_D \\ &= 16 \text{ V} - (5.625 \text{ mA} \times 2 \text{ k}\Omega) \\ &= 4.75 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_D = V_{DS} = 4.75 \text{ V}$$

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

$$V_G = V_{GS} = -2 \text{ V}$$

2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET:** ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ການໄບແອັດຢ້ອນກັບບາງຄັ້ງເອີ້ນວ່າ: ການໄບແອັດດ້ວຍຕົວເອງ (Self Bias)

ໝາຍເຖິງການໄບແອັດເກດຂອງເຈເຟດດ້ວຍຕົວທານຕ້ານ R_G ຕໍ່ລົງກຣາວນັ້ນຄື $V_G = 0V$ ເຊິ່ງປົກກະຕິຂາເກດຈະຕ້ອງໄດ້ຮັບໄບແອັດປີ້ນ ໃນກໍລະນີໄບແອັດດ້ວຍຕົວເອງກະແສ I_G ຈະເປັນພຽງກະແສທີ່ມີຄ່ານ້ອຍຫຼາຍ ການໄບແອັດດ້ວຍຕົວເອງຂອງເຈເຟດຊະນິດ N Channel ດັ່ງຮູບ ເມື່ອ $V_G = 0V$ ຈະເຮັດໃຫ້ແຮງດັນຕົກຄ່ອມ R_G ເປັນສູນຄືກັນ

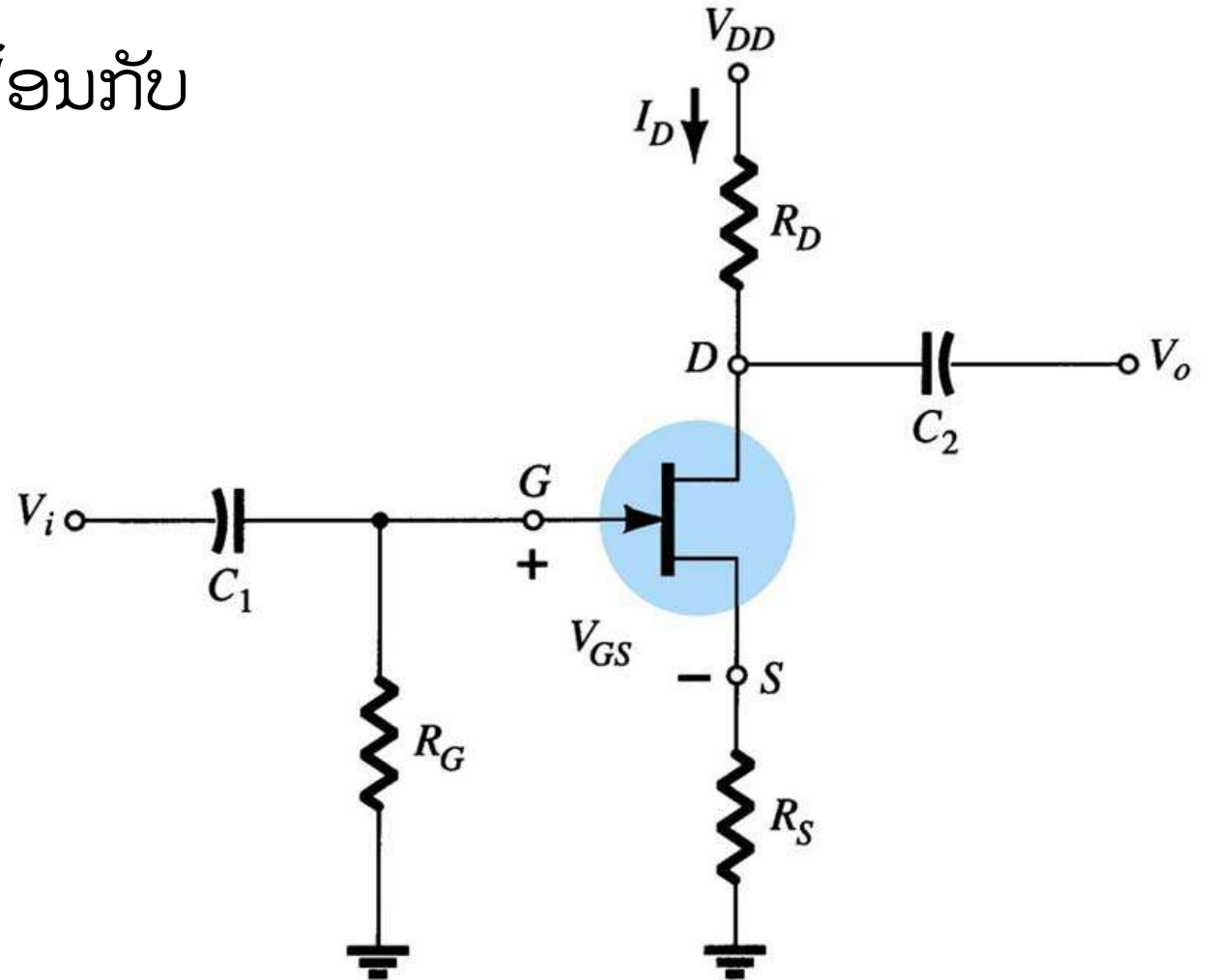
2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ການຈັດວົງຈອນຂອງການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

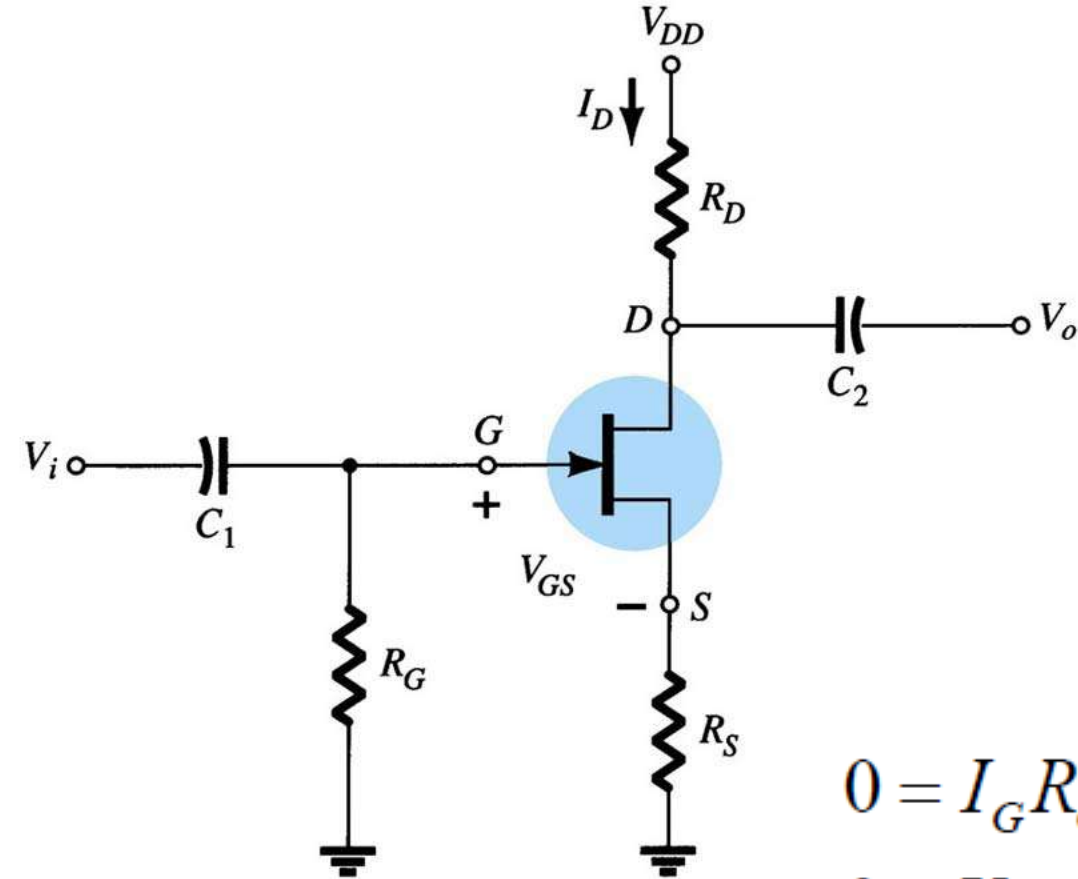
ການໄບແອັດຢ້ອນກັບບາງຄັ້ງເອີ້ນ

ວ່າ: ການໄບແອັດດ້ວຍຕົວເອງ

(Self Bias)



2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

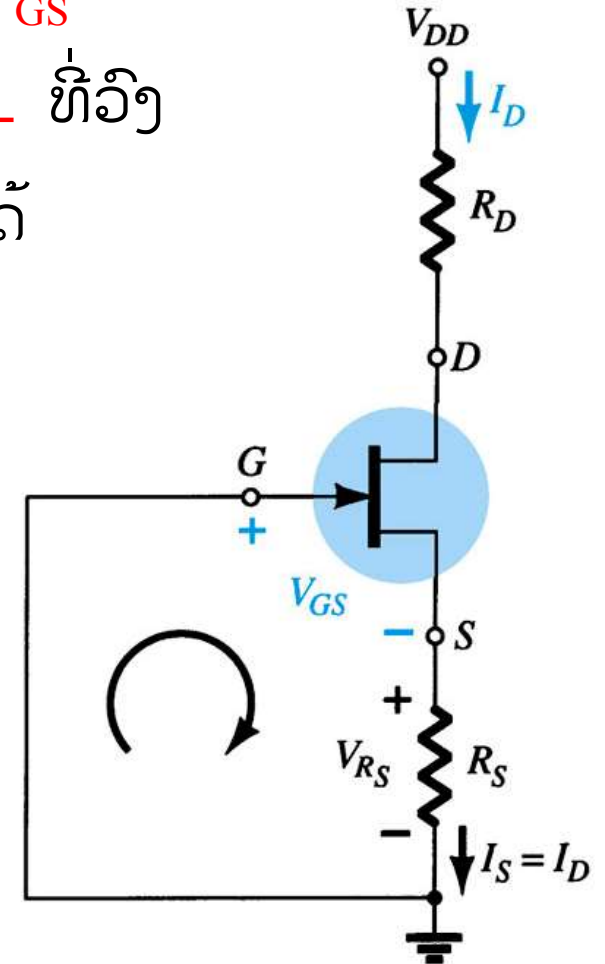


ວົງຈອນວົງປິດຂອງ V_{GS}
 ຂຽນສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງ
 ປິດທີ່ຜ່ານ V_{GS} ຈະໄດ້

$$0 = I_G R_G + V_{GS} + I_S R_S$$

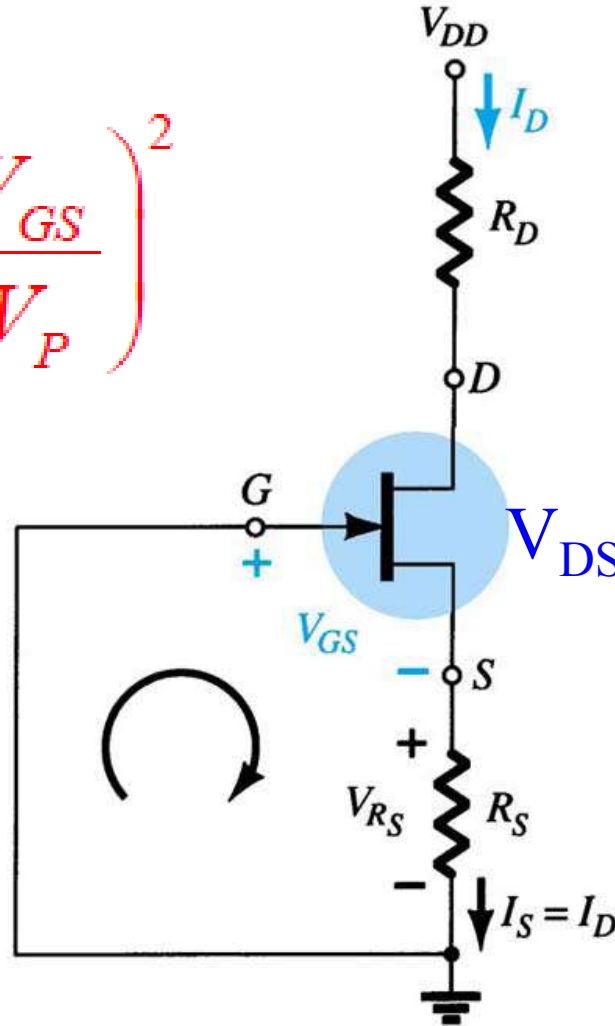
$$0 = V_{GS} + I_S R_S \quad ; I_G = 0$$

$$V_{GS} = -I_D R_S \quad ; I_D = I_S$$



2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

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



ວົງຈອນວົງປິດຂອງ V_{DS}

ຂຽນສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງ

ປິດທີ່ຜ່ານ V_{DS} ຈະໄດ້

$$V_{DD} = I_D R_D + V_{DS} + I_D R_S$$

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

$$V_S = I_D R_S$$

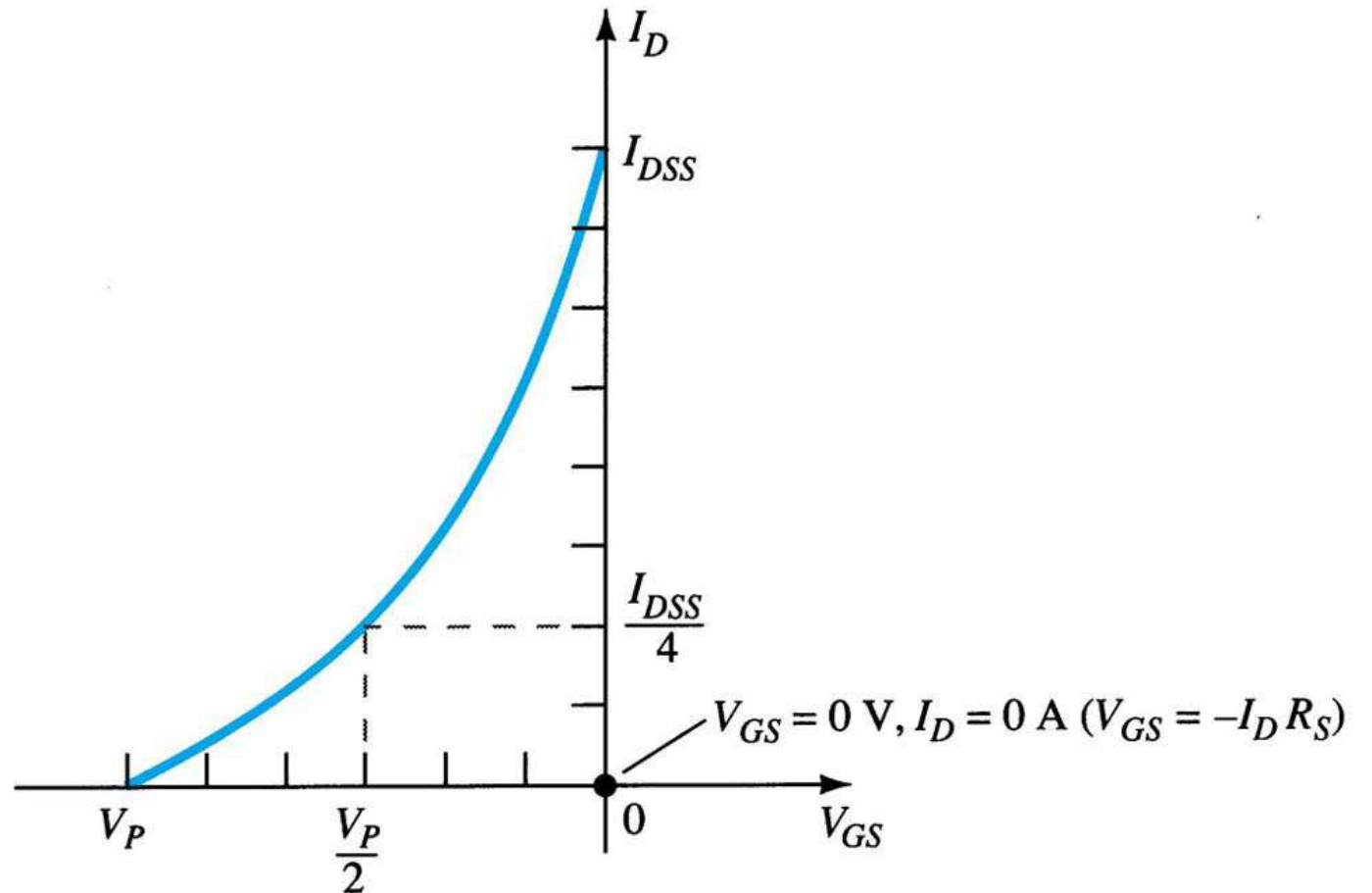
$$\begin{aligned} V_D &= V_{DS} + V_S \\ &= V_{DD} - I_D R_D \end{aligned}$$

2.2 ການໄບແອັດ FET: JFET: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ການວິເຄາະວົງຈອນໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນຮ່ວມກັບການຄຳນວນ

1. ຂຽນກຣາບຖ່າຍໂອນໂດຍໃຊ້ສົມຜົນຊ້ອກເລ່ຕາມຕາຕະລາງຄວາມສຳພັນຂອງກະແສ I_D ແລະ ແຮງດັນ V_{GS}

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



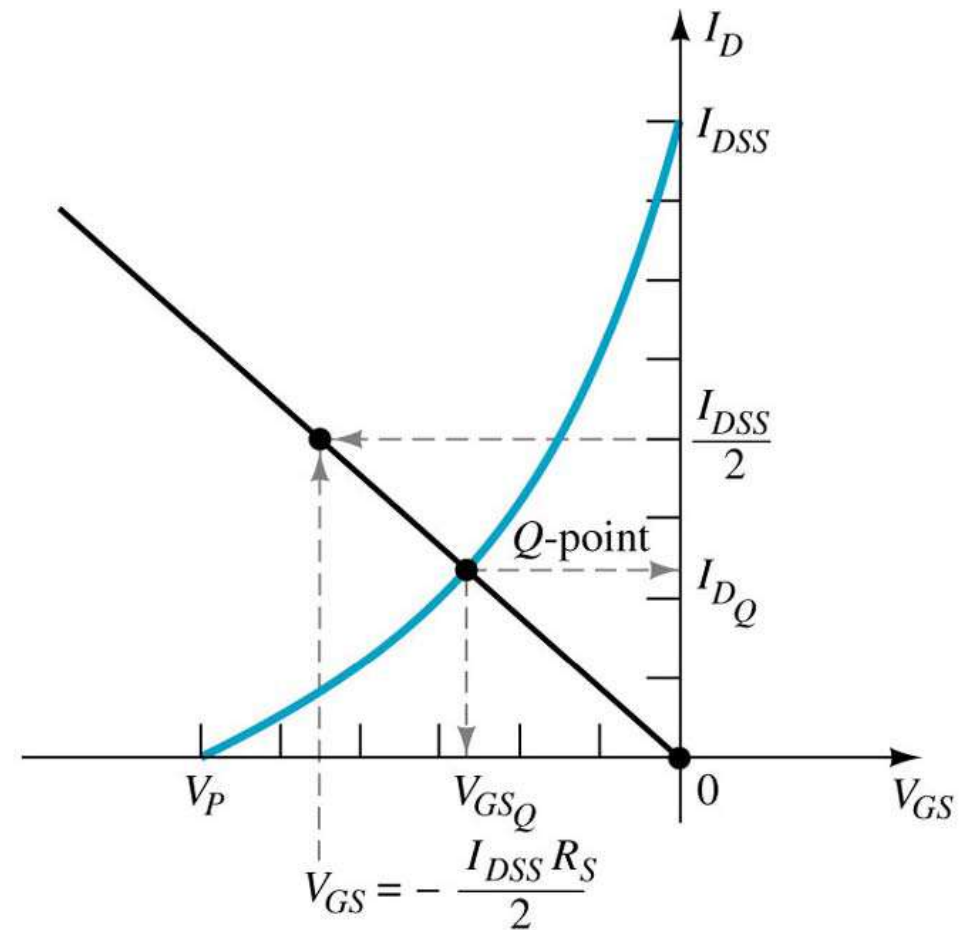
2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET:** ການໄບແອັດຍ້ອນກັບ

ການວິເຄາະວົງຈອນໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນຮ່ວມກັບການຄຳນວນ

2. ການຫາກະແສແລະແຮງດັນທີ່ຈຸດ Q ໂດຍຂີດເສັ້ນໄບແອັດໄຟກົງ
(ເກີດຈາກຈຸດ 2 ຈຸດ) ໃຫ້ໄປຕັດກັບກຣາບຖ່າຍໂອນ

- ຈຸດທີ່ 1 ທີ່ $I_D = 0$
- ຈຸດທີ່ 2 ທີ່ $I_D > 0$ (ເຊັ່ນ $I_{DSS}/2$)

$$V_{GS} = -I_D R_S$$
$$V_{GS} \big|_{I_D=0} = -(0) R_S = 0V$$
$$V_{GS} \big|_{I_D=\frac{I_{DSS}}{2}} = -\frac{I_{DSS} R_S}{2}$$



2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ການວິເຄາະວົງຈອນ ໂດຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

ຈາກສົມຜົນຄ່າກະແສ I_D ຂອງ
ວົງຈອນໄບແອັດຢ້ອນກັບ

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

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

ຫາຄ່າ V_{GS} ຈາກຄວາມສຳພັນ

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

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

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

2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດຍ້ອນກັບ

ການວິເຄາະວົງຈອນ ໂດຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

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

ຈາກສົມຜົນກຳລັງສອງ (Quadratic Equation)

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

2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET:** ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ການວິເຄາະວົງຈອນ ໂດຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

ທຽບສົມຜົນກຳລັງສອງຈະໄດ້:

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

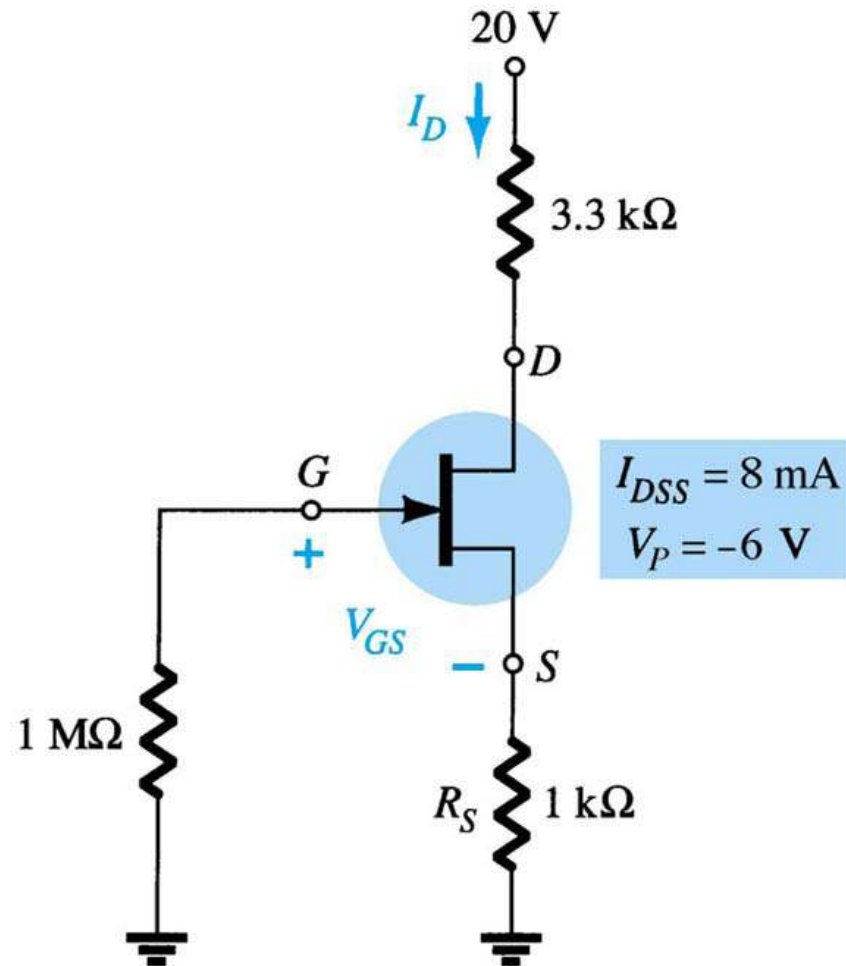
ດັ່ງນັ້ນການຫາຄ່າ V_{GS} ເທົ່າກັບ

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

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

2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ຕົວຢ່າງທີ່ 2.3: ຈົ່ງຄຳນວນຫາແຮງດັນ V_{GS} , I_D , V_{DS} , V_D , V_G , V_S



2.2 ການໄບແອັດ FET: JFET: ການໄບແອັດຍ້ອນກັບ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນ

1. ຂຽນກຣາບຖ່າຍໂອນໂດຍໃຊ້ສົມຜົນຊ້ອກລ່ວງຕາຕະລາງຄວາມສຳພັນຂອງ ກະແສ I_D ແລະ ແຮງດັນ V_{GS} ຈະໄດ້

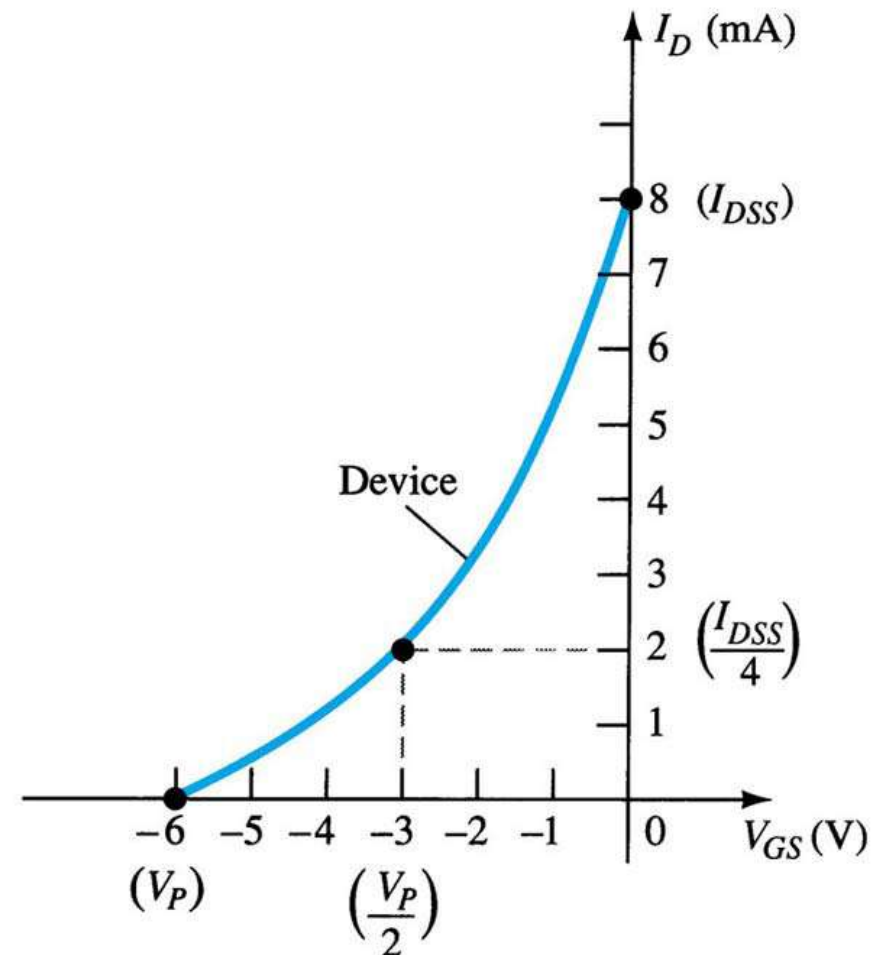
$$I_D = 8\text{mA} \left(1 - \frac{V_{GS}}{-6\text{V}} \right)^2$$

$$I_D \big|_{V_{GS}=0} = 8\text{mA}$$

$$I_D \big|_{V_{GS}=-1.8\text{V}} = 3.92\text{mA}$$

$$I_D \big|_{V_{GS}=-3\text{V}} = 2\text{mA}$$

$$I_D \big|_{V_{GS}=-6\text{V}} = 0$$



2.2 ການໄບແອັດ FET: JFET: ການໄບແອັດຍ້ອນກັບ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ໂດຍໃຊ້ກຳລັງກຳນົດໂອນ

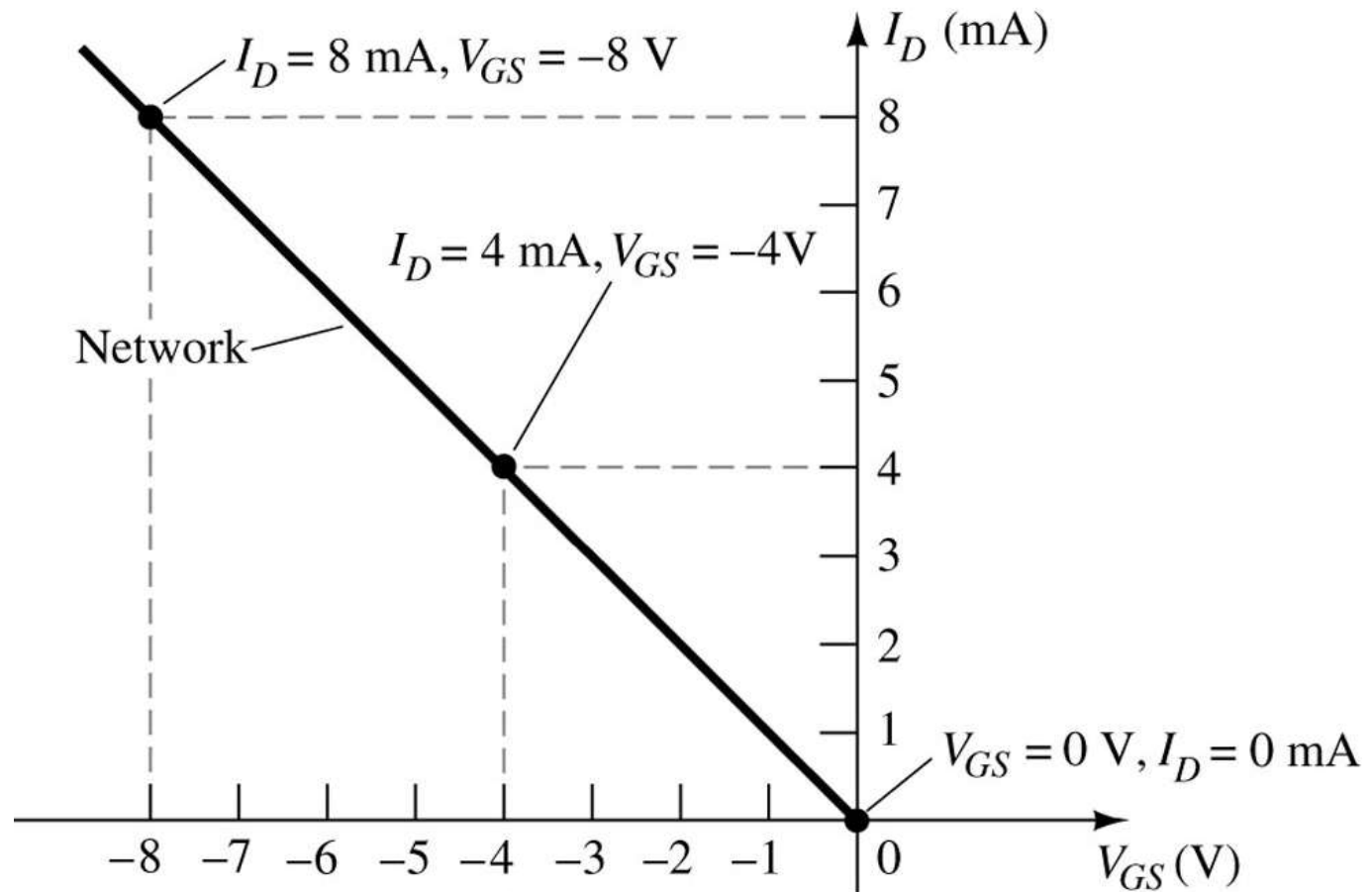
2. ຫາເສັ້ນໄບແອັດໄຟກົງ (ເກີດຈາກຈຸດ 2 ຈຸດ)

- ຈຸດທີ 1 ທີ່ $I_D=0$
- ຈຸດທີ 2 ທີ່ $I_D=I_{DSS}/2=4\text{mA}$

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

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

$$V_{GS} \big|_{I_D=4\text{mA}} = -4\text{V}$$



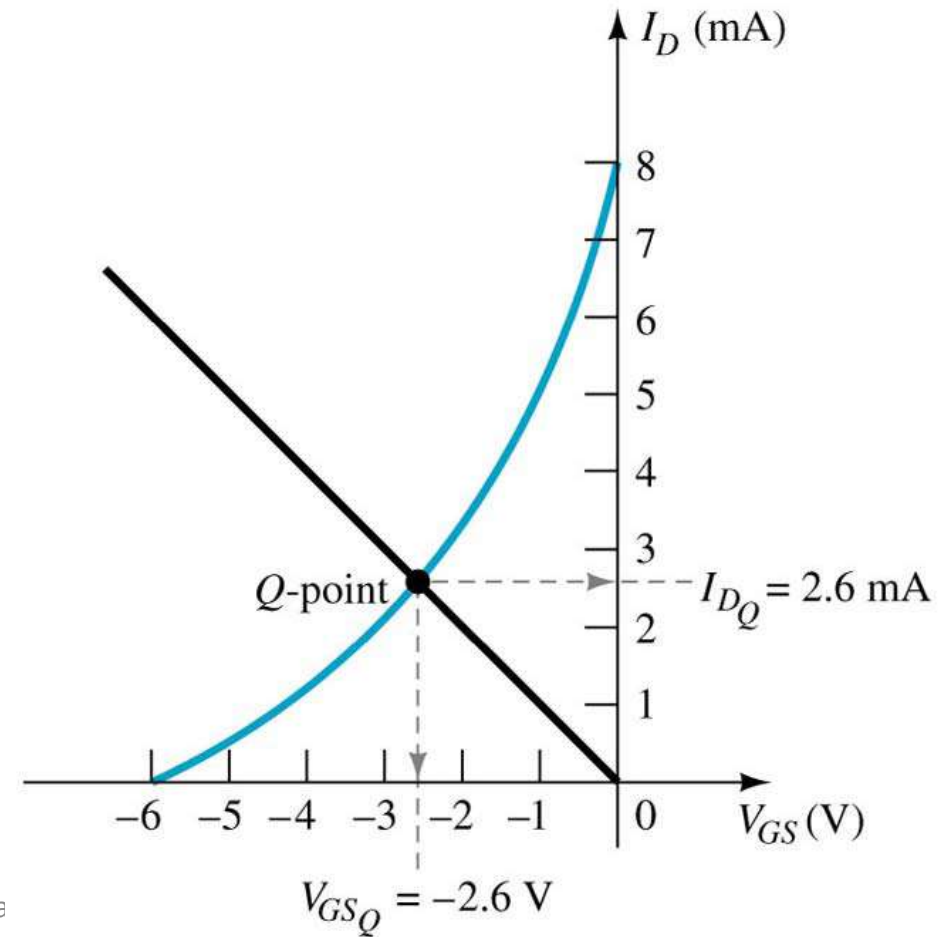
2.2 ການໄບແອັດ FET: JFET: ການໄບແອັດຍ້ອນກັບ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນ

3. ການຫາກະແສແລະແຮງດັນທີ່ຈຸດ Q ໂດຍໃຊ້ການວາງຊ້ອນກັນຂອງຜົນທີ່ໄດ້
ຈາກຂໍ້ 1 ແລະ ຂໍ້ 2 ຈະໄດ້:

$$V_{GS}|_{Q\text{-point}} = -2.6V$$

$$I_D|_{Q\text{-point}} = 2.6\text{mA}$$



2.2 ການໄບແອັດ FET: JFET: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ຈາກການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

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

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

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

ດັ່ງນັ້ນການຫາຄ່າ V_{GS} ເທົ່າກັບ

$$\begin{aligned} V_{GS}|_{n\text{-channel}} &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(3.67) + \sqrt{(3.67)^2 - (4 \times 0.22 \times 8)}}{2 \times 0.22} \\ &= -2.59\text{V} \end{aligned}$$

2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET:** ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ດັ່ງນັ້ນ ບັນດາຄ່າແຮງດັນຕ່າງໆ ຈະໄດ້ດັ່ງນີ້:

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

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_{DD} - I_D (R_D + R_S) \\ &= 20\text{ V} - 2.59\text{mA} (3.3\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega) \\ &= 8.86\text{ V} \end{aligned}$$

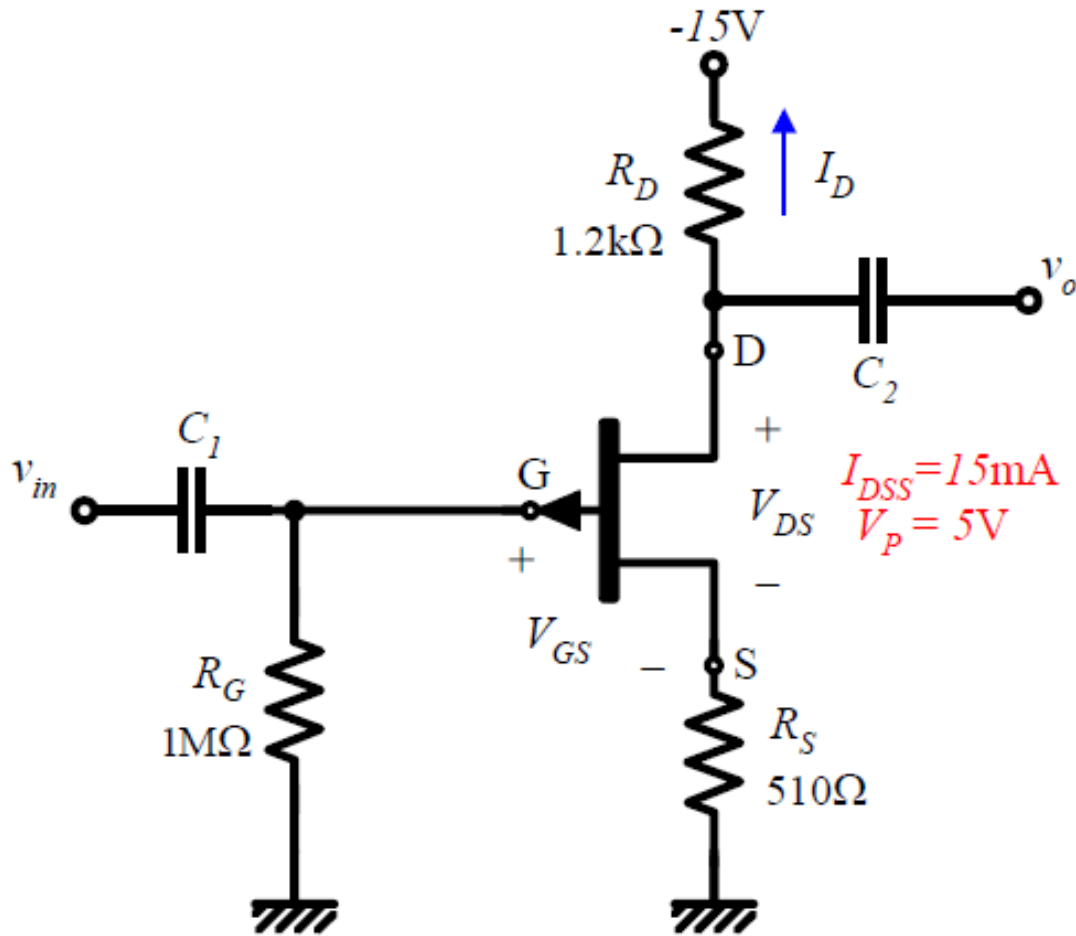
$$\begin{aligned} V_S &= I_D R_S = 2.59\text{mA} \times 1\text{k}\Omega \\ &= 2.59\text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_D &= V_{DS} + V_S \\ &= (8.86 + 2.59)\text{ V} \\ &= 11.45\text{ V} \end{aligned}$$

$$V_G = I_G R_G = 0$$

2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET:** ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ຕົວຢ່າງທີ່ 2.4: ຈົ່ງຄຳນວນຫາແຮງດັນ V_{GS} , I_D , V_{DS} , V_D , V_G , V_S



2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET:** ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

- ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ຈາກການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

$$a = \frac{I_{DSS}R_S}{|V_P|^2} = \frac{15\text{mA} \times 510\Omega}{5^2} = 0.306$$

$$b = \frac{2I_{DSS}R_S}{|V_P|} + 1 = \frac{2 \times 15\text{mA} \times 510\Omega}{5} + 1 = 4.06$$

$$c = I_{DSS}R_S = 15\text{mA} \times 510\Omega = 7.65$$

ດັ່ງນັ້ນການຫາຄ່າ V_{GS} ເທົ່າກັບ

$$V_{GS}|_{p\text{-channel}} = \frac{+b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{+(4.06) - \sqrt{(4.06)^2 - (4 \times 0.306 \times 7.65)}}{2 \times 0.306} \\ = 2.27\text{V}$$

2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ດັ່ງນັ້ນ ບັນດາຄ່າແຮງດັນຕ່າງໆ ຈະໄດ້ດັ່ງນີ້:

$$\begin{aligned} I_D &= I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \\ &= 15\text{mA} \left(1 - \frac{2.27\text{ V}}{5\text{ V}} \right)^2 \\ &= 4.47\text{ mA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_{DD} + I_D (R_D + R_S) \\ &= -15\text{V} + 4.47\text{mA} (1.2\text{k}\Omega + 510\Omega) \\ &= -7.35\text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_S &= -I_D R_S \\ &= -4.47\text{mA} \times 510\Omega \\ &= -2.28\text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_D &= V_{DS} + V_S \\ &= (-7.35 - 2.28)\text{ V} \\ &= -9.63\text{ V} \end{aligned}$$

$$V_G = I_G R_G = 0$$

2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET:** ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ການໄບແອັດຈຸດເຄິ່ງກາງ (Midpoint Bias)

ການໄບແອັດເພດໃຫ້ຈຸດທຳງານຢູ່ເຄິ່ງກາງຂອງກຣາບຄຸນລັກສະນະຖ່າຍໂອນນັ້ນ ຈະເປັນຜົນໃຫ້ $I_D = I_{DSS}/2$ ໃນກໍລະນີນີ້ການແກວ່ງຂອງກະແສເດຣນຈະສາມາດທຳງານໄດ້ສູງສຸດຈາກຄ່າ I_{DSS} ຈົນເຖິງ 0 mA ເຊິ່ງຄ່າໂດຍປະມານຂອງ $I_{DSS}/2$ ຈະເປັນຈິງເມື່ອ

$$V_{GS} = \frac{V_P}{3.414}$$

ດັ່ງນັ້ນເມື່ອກຳນົດໃຫ້ $V_{GS} = V_{GS(off)}/3.414$ ຈະເປັນຜົນເຮັດໃຫ້ຈຸດທຳງານຂອງເພດຢູ່ທີ່ຈຸດເຄິ່ງກາງຂອງ ກຣາບຄຸນລັກສະນະຖ່າຍໂອນ ດັ່ງນັ້ນຈະໄດ້

$$V_D = \frac{V_{DD}}{2}$$

2.2 ການໄບແອັດ FET: **JFET:** ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ທີ່ມາຂອງຕົວຫານ 3.414 ກຳນົດໃຫ້ $I_D = 0.5I_{DSS}$ ແທນລົງໃນສົມຜົນຊ້ອກລ່ວ

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

$$0.5 I_{DSS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$0.5 = \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$\sqrt{0.5} = 1 - \frac{V_{GS}}{V_P}$$

$$0.707 = 1 - \frac{V_{GS}}{V_P}$$

$$\frac{V_{GS}}{V_P} = 0.2929$$

$$V_{GS} = 0.2929 V_P \quad \leftarrow 0.2929 = 1/3.414$$

$$V_{GS} \cong 0.3 V_P$$

$$V_{GS} = \frac{V_P}{3.414}$$

2.3 ການໄບແອັດ FET: **JFET:** ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

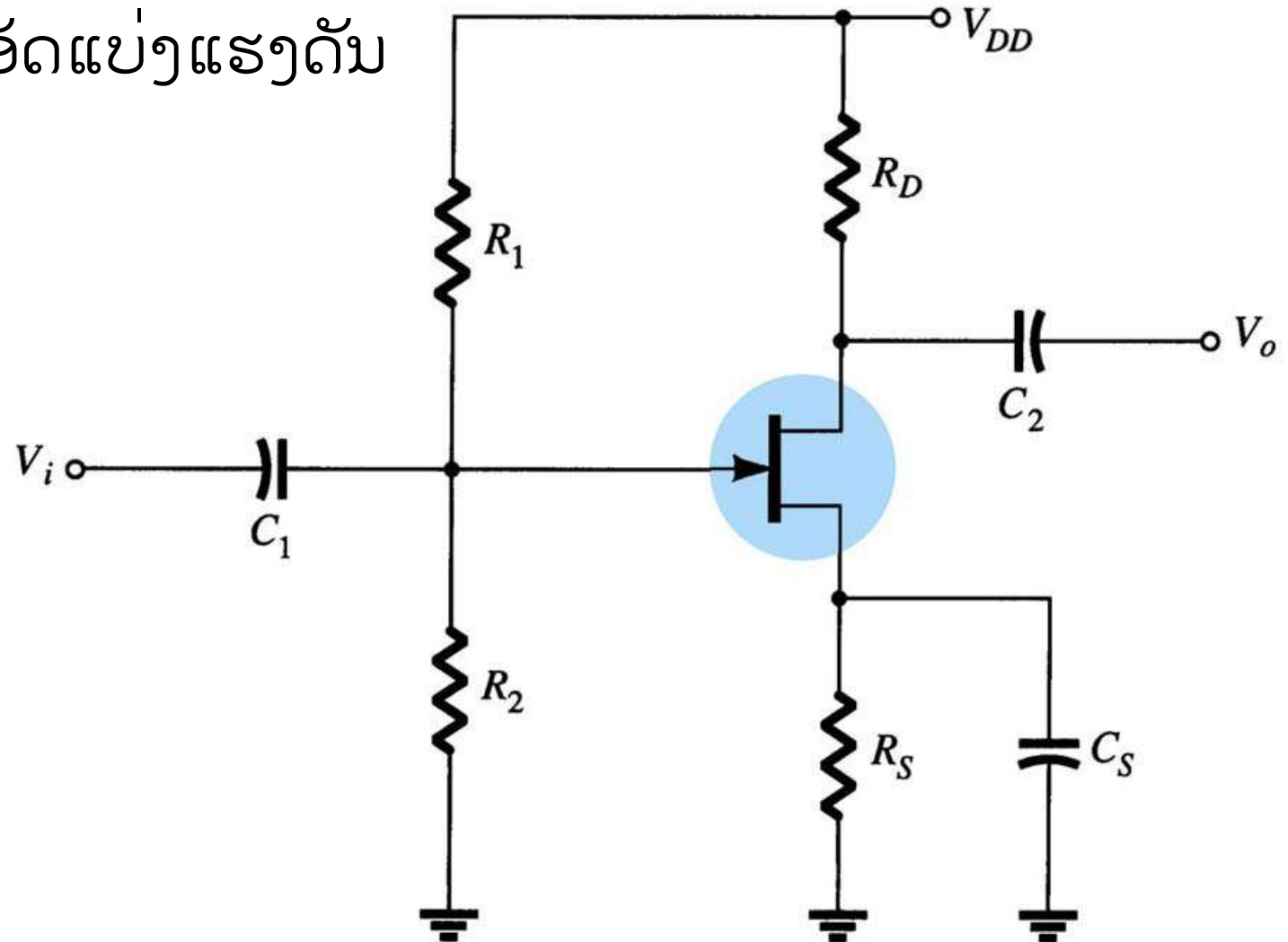
ເຮົາສາມາດປັບປຸງການຈັດໄບແອັດໃຫ້ກັບວົງຈອນເຈເຟດໃຫ້ມີປະສິດທິພາບດີຂຶ້ນ ເຊິ່ງຈະທຳການປັບປຸງວົງຈອນ ໂດຍເພີ່ມຕົວຕ້ານທານແບ່ງແຮງດັນທີ່ຂາເກດ ໂດຍຕໍ່ລະຫວ່າງແຫຼ່ງຈ່າຍກັບຂາເກດແລະກວາວ ການໄບແອັດແບບນີ້ຄ້າຍກັບທຣານຊິດເຕີ ຫຼື ເອີ້ນວ່າ: ສະເຕບິໄລ (Stabilized) ກໍໄດ້.

2.3 ການໄບເອັດ FET: **JFET**: ການໄບເອັດແບ່ງແຮງດັນ

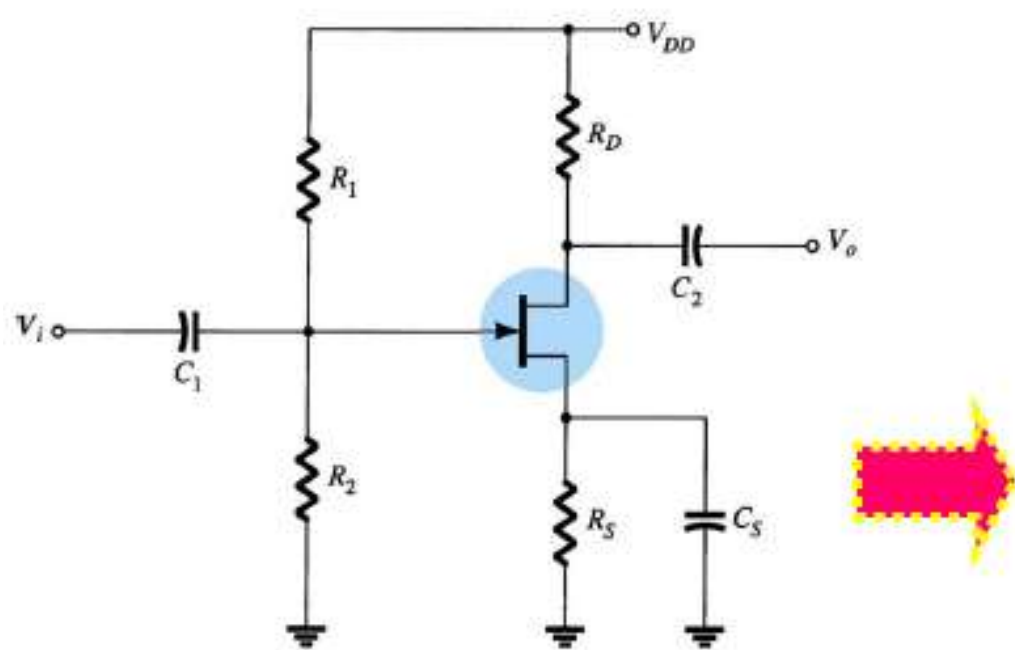
ການຈັດວົງຈອນຂອງການໄບເອັດແບ່ງແຮງດັນ

ການໄບເອັດແບ່ງແຮງດັນຈະ
ມີແຮງດັນທີ່ຂາເກດ ທີ່ໄດ້ຈາກ
ການແບ່ງດັນຂອງ R_1, R_2

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

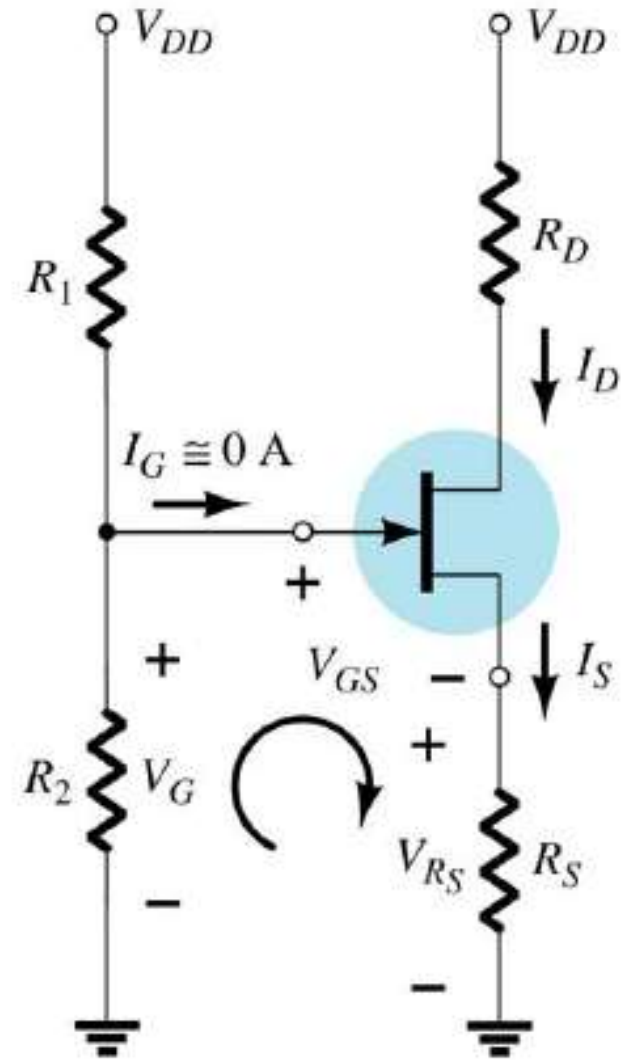


2.3 ການໄບເອັດ FET: **JFET**: ການໄບເອັດແບ່ງແຮງດັນ

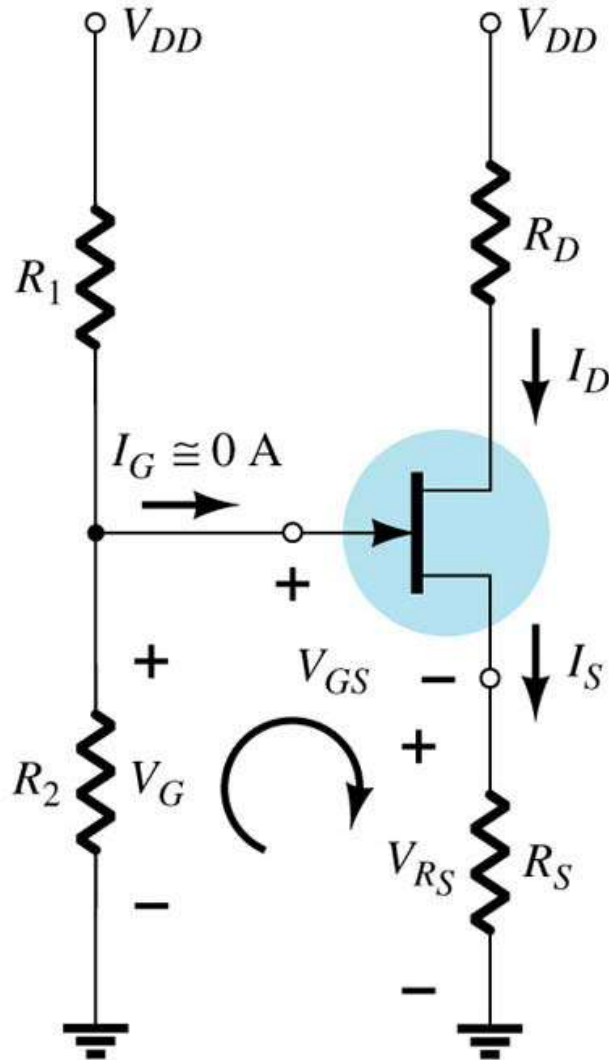


$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S)$$

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



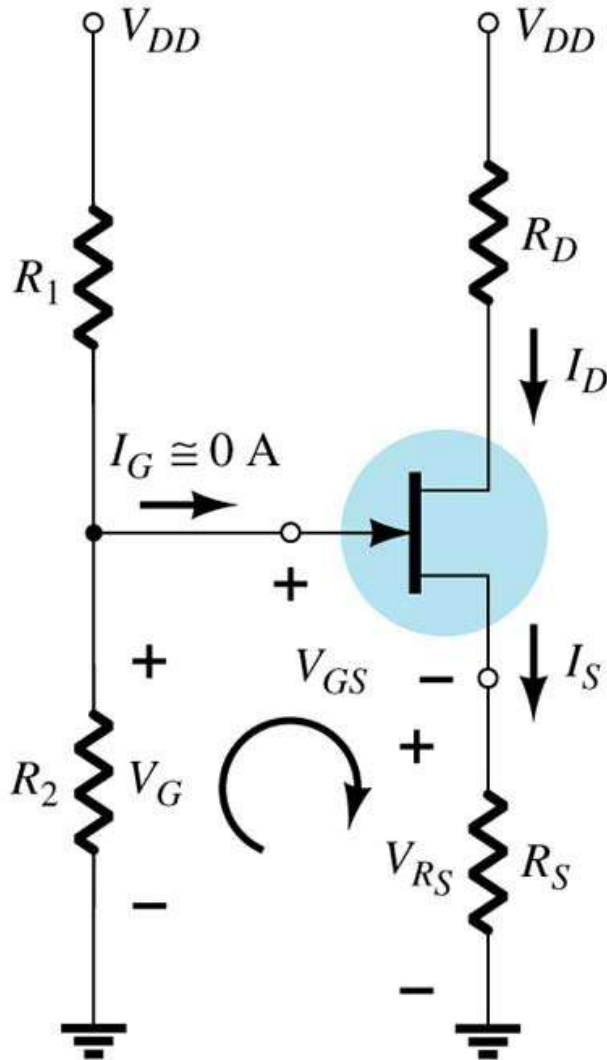
2.3 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ



ວົງຈອນວົງປິດຂອງ V_{GS}
ຂຽນສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງ
ປິດທີ່ຜ່ານ V_{GS} ຈະໄດ້

$$\begin{aligned} V_{GS} &= V_G - V_S \\ V_{GS} &= V_G - I_D R_S \\ &= \frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2} - I_D R_S \end{aligned}$$

2.3 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ



ວົງຈອນວົງປິດຂອງ V_{DS}

ຂຽນສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງ
ປິດທີ່ຜ່ານ V_{DS} ຈະໄດ້

$$V_{DD} = I_D R_D + V_{DS} + I_D R_S$$

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

$$V_S = I_D R_S$$

$$\begin{aligned} V_D &= V_{DS} + V_S \\ &= V_{DD} - I_D R_D \end{aligned}$$

2.3 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ການວິເຄາະວົງຈອນໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນຮ່ວມກັບການຄຳນວນ

1. ຂຽນກຣາບຖ່າຍໂອນໂດຍໃຊ້ສົມຜົນຊ້ອກເລ່ຕາມຕາຕະລາງຄວາມສຳພັນຂອງກະແສ

I_D ແລະ ແຮງດັນ V_{GS} ຈະໄດ້

2. ຫາເສັ້ນໄບແອັດໄຟກົງ

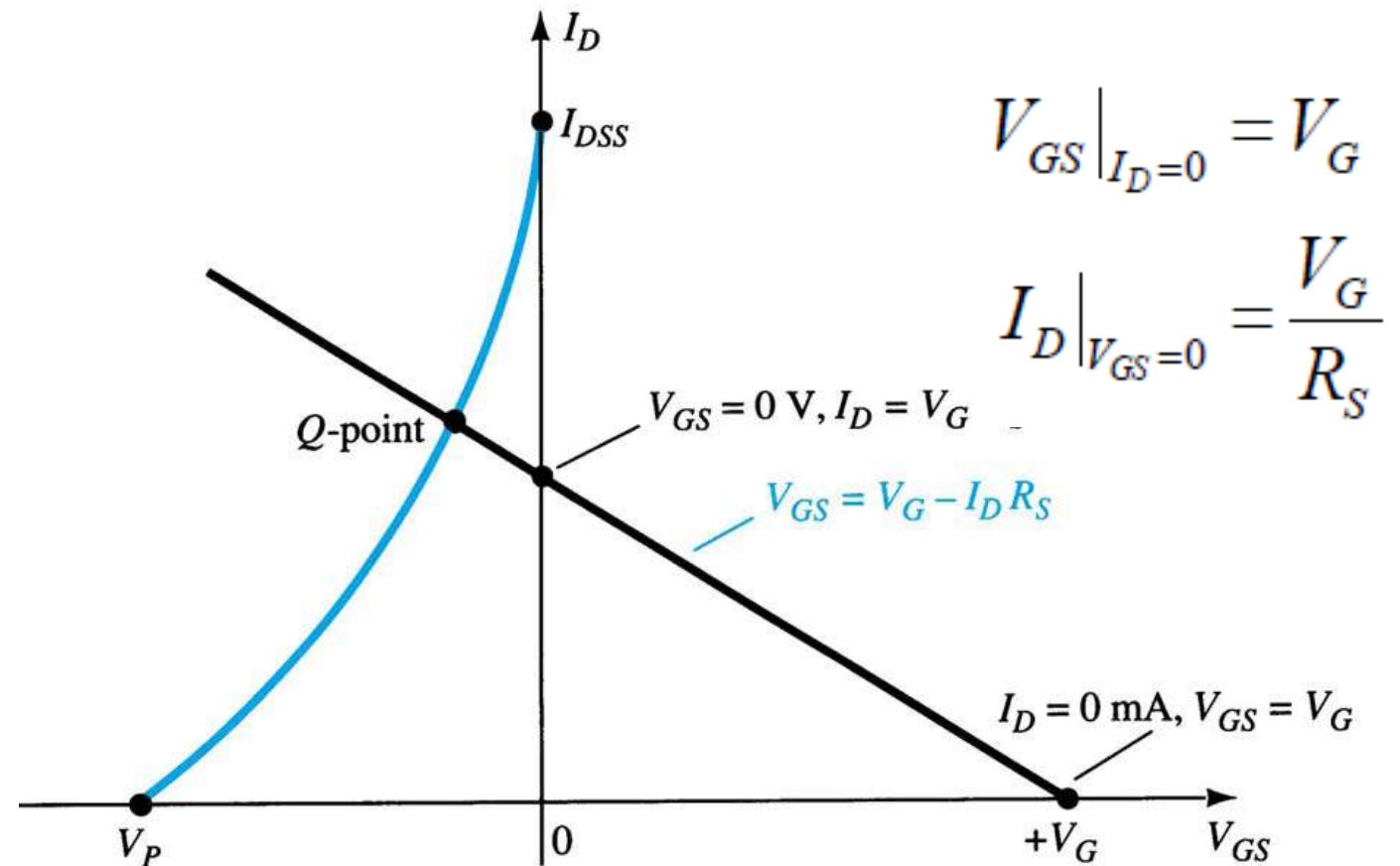
(ເກີດຈາກຈຸດ 2 ຈຸດ)

- ຈຸດທີ່ 1 ທີ່ $I_D = 0$

- ຈຸດທີ່ 2 ທີ່ $V_{GS} = 0$

ເມື່ອພິຈາລະນາສົມຜົນ

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

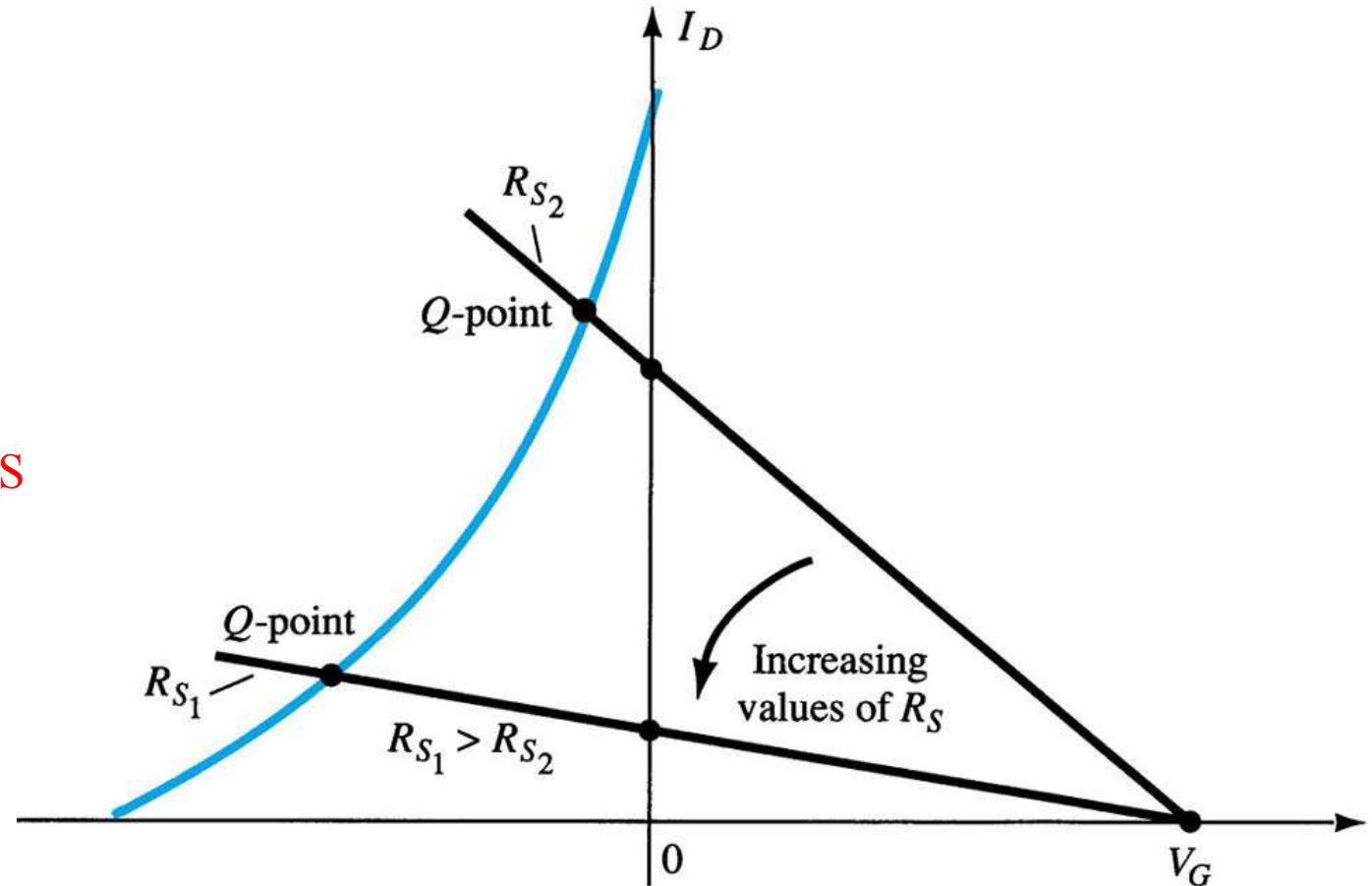


2.3 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ການວິເຄາະວົງຈອນໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນຮ່ວມກັບການຄຳນວນ

3. ການຫາກະແສແລະແຮງດັນທີ່ຈຸດ Q ໂດຍຂີດເສັ້ນໄບແອັດກົງໃຫ້ຕັດກັບກຣາບຖ່າຍໂອນ

ກະແສ I_D ຈະລຸດລົງເມື່ອເພີ່ມ R_S



2.3 ການໄບເອັດ FET: **JFET**: ການໄບເອັດແບ່ງແຮງດັນ

ການວິເຄາະວົງຈອນໂດຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

ຈາກສົມຜົນຄ່າກະແສ I_D ຂອງ
ວົງຈອນໄບເອັດແບ່ງແຮງດັນ

$$\begin{aligned} V_{GS} &= V_G - V_S \\ &= V_G - I_D R_S \end{aligned}$$

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

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

ຫາຄ່າ V_{GS} ຈາກຄວາມສຳພັນ

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

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

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

2.3 ການໄບແອັດ FET: JFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ການວິເຄາະວົງຈອນໂດຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

ຫາຄ່າ V_{GS} ຈາກຄວາມສຳພັນ

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

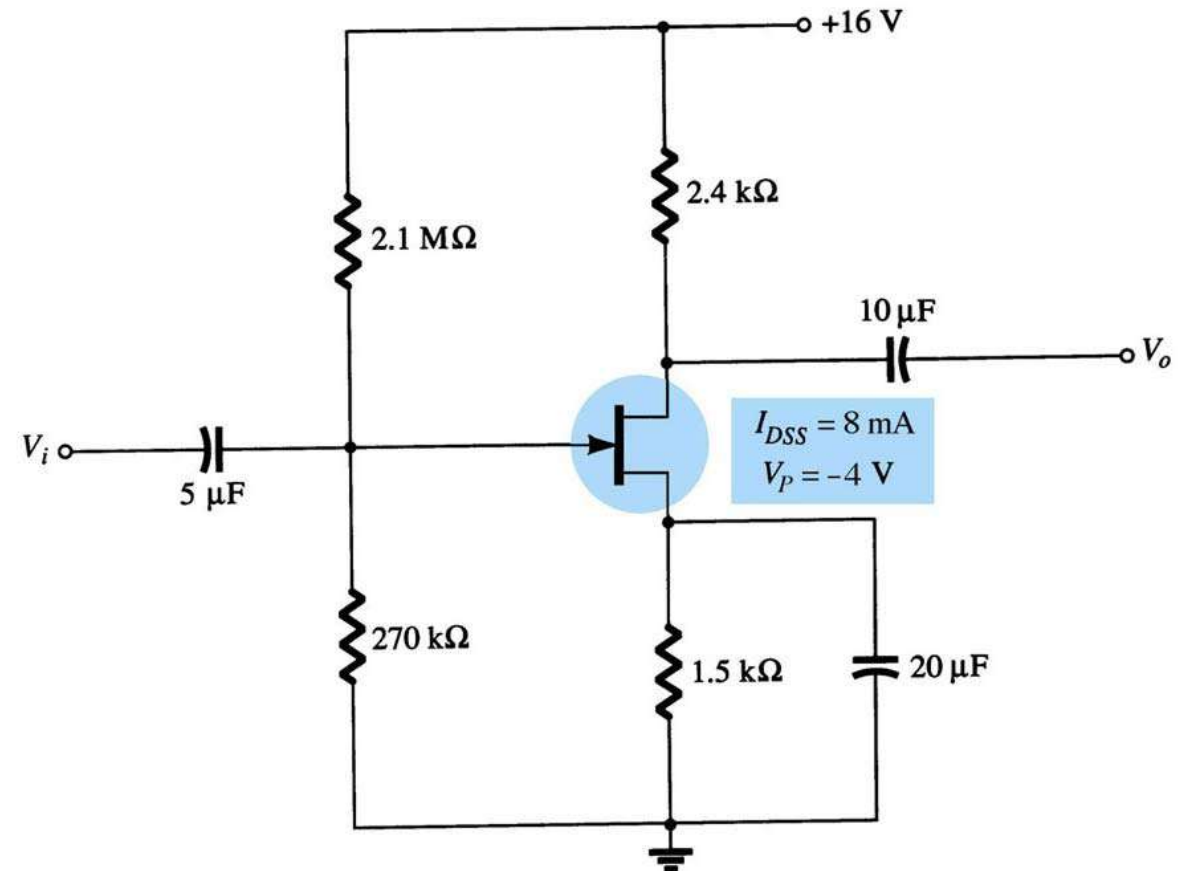
$$= \frac{I_{DSS} R_S}{|V_P|^2} V_{GS}^2 + \frac{2I_{DSS} R_S}{|V_P|} V_{GS} + I_{DSS} R_S$$

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

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

ຕົວຢ່າງທີ 2.5: ຈົງຄຳນວນຫາແຮງດັນ

$V_{GS}, I_D, V_D, V_S, V_{DS}, V_{DG}$



2.3 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນ

1. ຂຽນກຣາບຖ່າຍໂອນໂດຍໃຊ້ສົມຜົນຊ້ອກລ່ວມຕາຕະລາງຄວາມສຳພັນຂອງກະແສ I_D ແລະ ແຮງດັນ V_{GS} ຈະໄດ້

$$I_D = 8\text{mA} \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4\text{V}} \right)^2$$

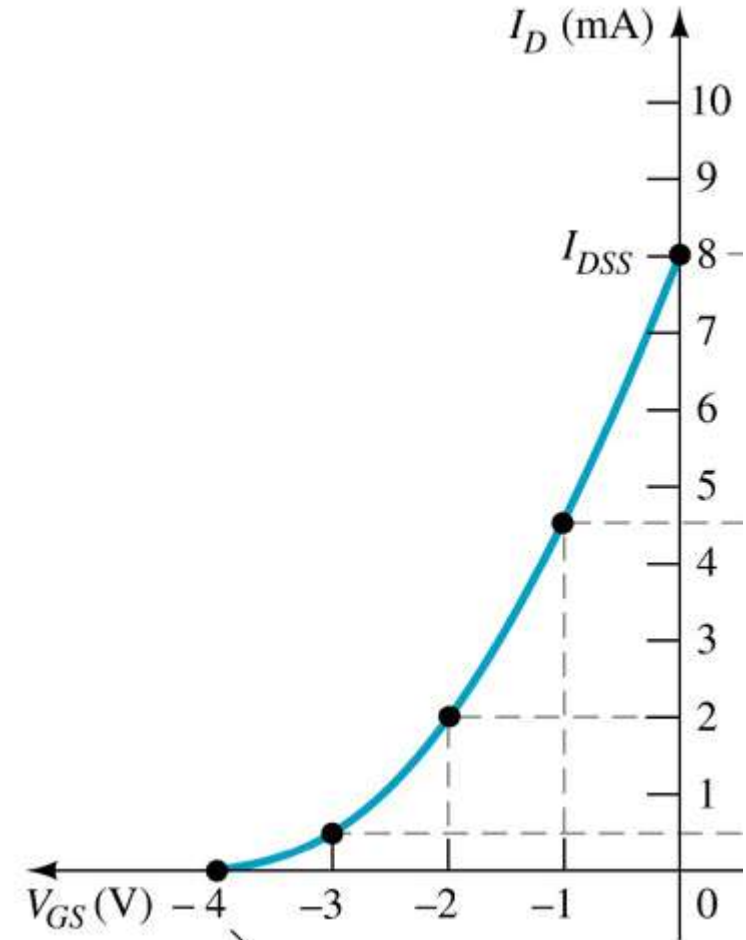
$$I_D|_{V_{GS}=0} = 8\text{mA}$$

$$I_D|_{V_{GS}=-1\text{V}} = 4.5\text{mA}$$

$$I_D|_{V_{GS}=-2\text{V}} = 2\text{mA}$$

$$I_D|_{V_{GS}=-3\text{V}} = 0.5\text{mA}$$

$$I_D|_{V_{GS}=-4\text{V}} = 0$$



2.3 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນ

2. ຫາເສັ້ນໄບແອັດໄຟກົງ

(ເກີດຈາກຈຸດ 2 ຈຸດ)

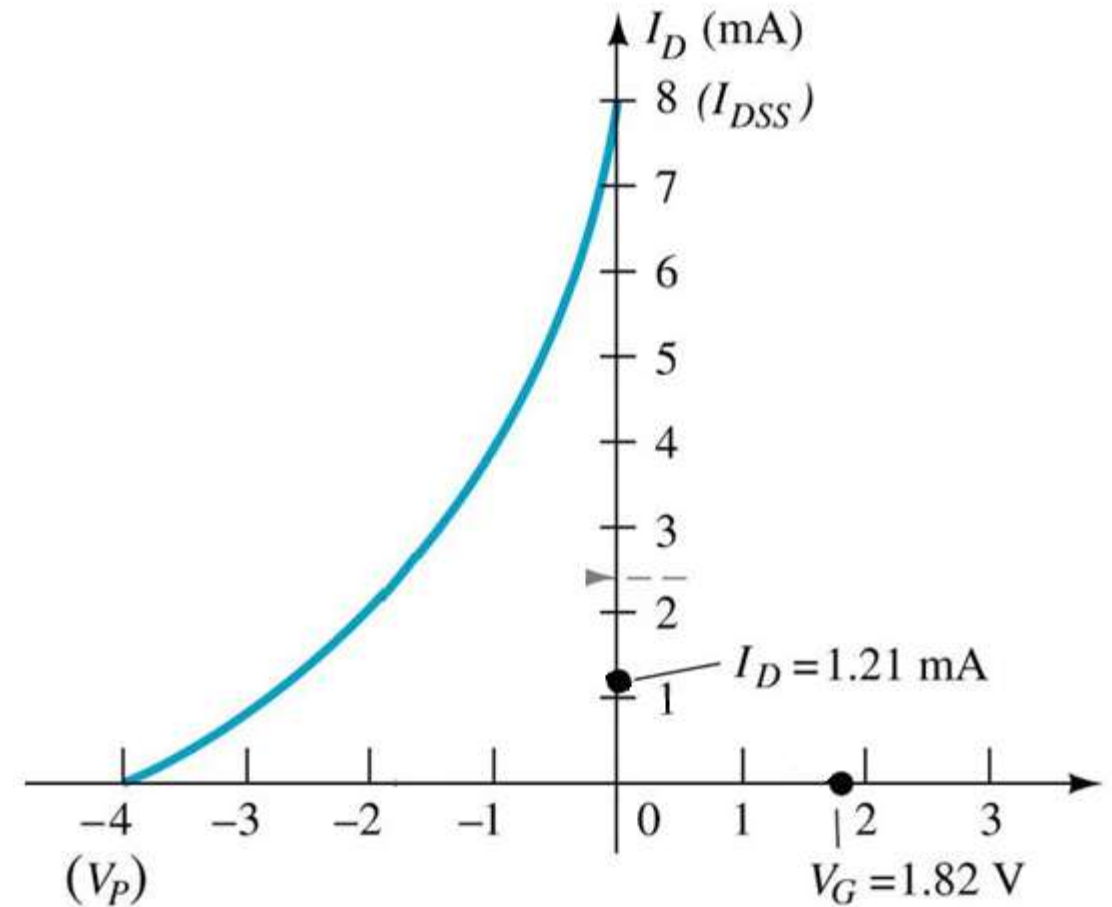
- ຈຸດທີ່ 1 ທີ່ $I_D = 0$; $V_{GS} = V_G = 1.82V$

$$V_G = \frac{V_{DD}R_2}{R_1 + R_2} = \frac{16V \times 270k\Omega}{2.1M\Omega + 270k\Omega} = 1.82V$$

- ຈຸດທີ່ 2 ທີ່ $V_{GS} = 0$; $I_D = V_G / R_S = 1.21mA$

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

$$I_D = V_G / R_S = 1.21mA$$



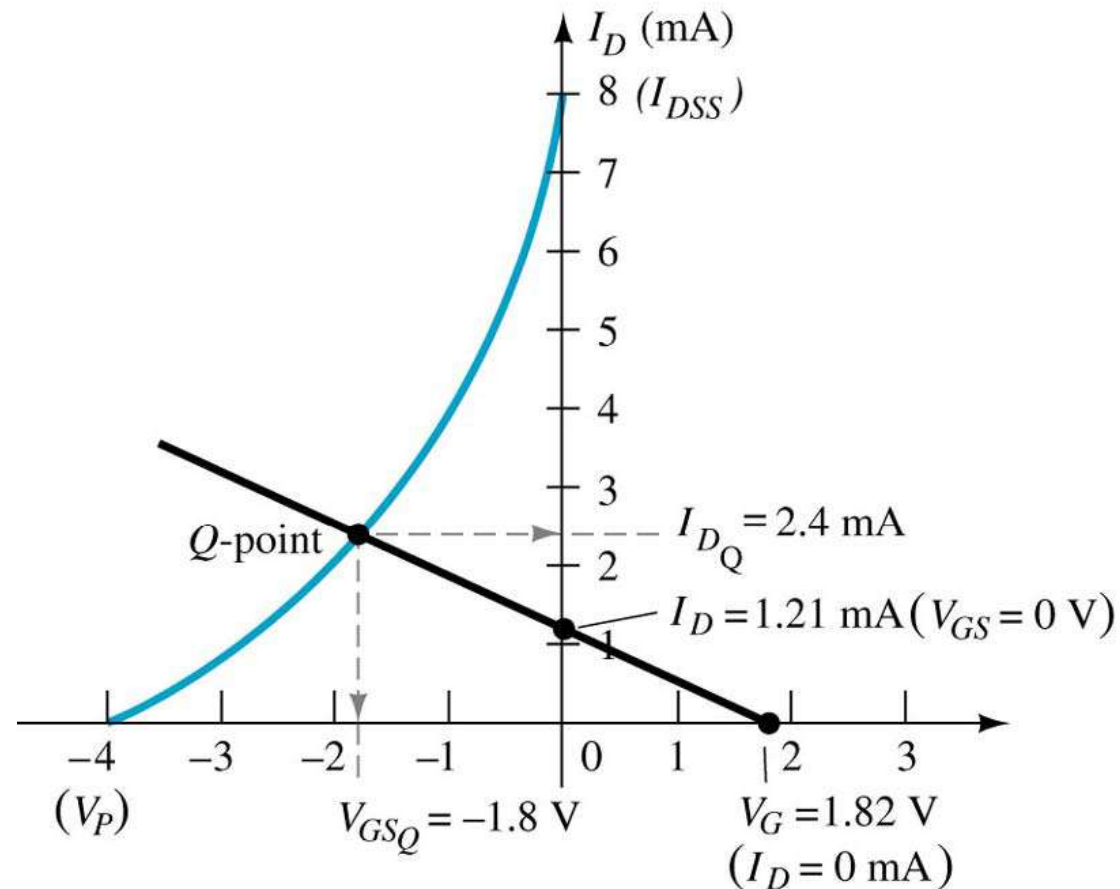
2.3 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນ

3. ການຫາກະແສແລະແຮງດັນທີ່ຈຸດ Q ໂດຍໃຊ້ການວາງຊ້ອນກັນຂອງຜົນທີ່ໄດ້
ຈາກຂໍ້ 1 ແລະ ຂໍ້ 2 ຈະໄດ້:

$$V_{GS}|_{Q\text{-point}} = -1.8V$$

$$I_D|_{Q\text{-point}} = 2.4\text{mA}$$



2.3 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

- ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ຈາກການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

$$a = \frac{I_{DSS} R_S}{|V_P|^2} = \frac{8\text{mA} \times 1.5\text{k}\Omega}{4^2} = 0.75$$

$$b = \frac{2I_{DSS} R_S}{|V_P|} + 1 = \frac{2 \times 8\text{mA} \times 1.5\text{k}\Omega}{4} + 1 = 7$$

$$c = I_{DSS} R_S - |V_G| = (8\text{mA} \times 1.5\text{k}\Omega) - 1.82\text{V} = 10.18$$

ດັ່ງນັ້ນການຫາຄ່າ V_{GS} ເທົ່າກັບ

$$\begin{aligned} V_{GS}|_{n\text{-channel}} &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(7) + \sqrt{(7)^2 - (4 \times 0.75 \times 10.18)}}{2 \times 0.75} \\ &= -1.8\text{V} \end{aligned}$$

2.3 ການໄບແອັດ FET: **JFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ດັ່ງນັ້ນ ບັນດາຄ່າຕ່າງໆ ທີ່ຫາໄດ້:

$$\begin{aligned} I_D &= I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \\ &= 8\text{mA} \left(1 - \frac{-1.8\text{V}}{-4\text{V}} \right)^2 \\ &= \mathbf{2.42\text{ mA}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_{DD} - I_D (R_D + R_S) \\ &= 16\text{V} - 2.42\text{mA} (2.4\text{k}\Omega + 1.5\text{k}\Omega) \\ &= \mathbf{6.56\text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_S &= I_D R_S \\ &= 2.42\text{mA} \times 1.5\text{k}\Omega \\ &= \mathbf{3.63\text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_D &= V_{DS} + V_S \\ &= (6.56 + 3.63)\text{ V} \\ &= \mathbf{10.19\text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{DG} &= V_D - V_G \\ &= (10.19 - 1.82)\text{ V} \\ &= \mathbf{8.37\text{ V}} \end{aligned}$$

ການໄບແອັດ FET: D-MOSFET:

ການໄບແອັດ D-MOSFET

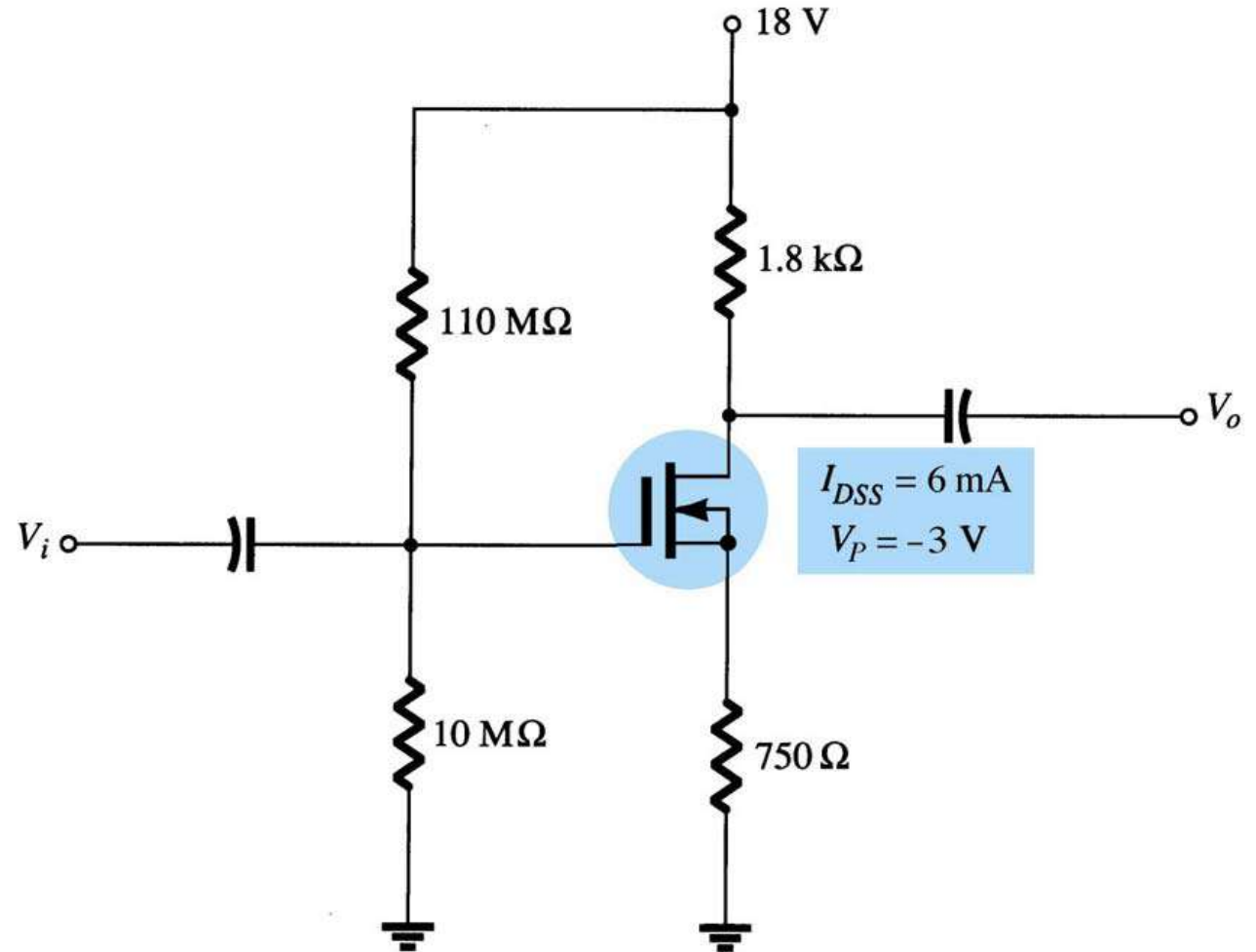
ການໄບແອັດ D-MOSFET ຈະມີລັກສະນະຄືກັນກັບການໄບແອັດ JFET ແຕ່ຈະແຕກຕ່າງທີ່ D-MOSFET ສາມາດທຳງານໃນໂມດ Enhancement ໄດ້ (ມີກະແສ I_D ຫຼາຍກວ່າ I_{DSS})

2.4 ການໄບແອັດ FET: D-MOSFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ຕົວຢ່າງທີ່ 2.6: ຈົ່ງຄຳນວນຫາແຮງດັນ V_{GS} , I_D , V_{DS}

ຫາ V_G ມີຄ່າເທົ່າກັບ

$$\begin{aligned} V_G &= \frac{V_{DD} R_2}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{18\text{V} \times 10\text{M}\Omega}{110\text{M}\Omega + 10\text{M}\Omega} \\ &= 1.5\text{V} \end{aligned}$$



2.4 ການໄບແອັດ FET: D-MOSFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

- ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ຈາກການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

$$a = \frac{I_{DSS}R_S}{|V_P|^2} = \frac{6\text{mA} \times 750\Omega}{3^2} = 0.5$$

$$b = \frac{2I_{DSS}R_S}{|V_P|} + 1 = \frac{2 \times 6\text{mA} \times 750\Omega}{3} + 1 = 4$$

$$c = I_{DSS}R_S - |V_G| = (6\text{mA} \times 750\Omega) - 1.5\text{V} = 3$$

ດັ່ງນັ້ນການຫາຄ່າ V_{GS} ເທົ່າກັບ

$$V_{GS}|_{n\text{-channel}} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(4) + \sqrt{(4)^2 - (4 \times 0.5 \times 3)}}{2 \times 0.5} = -0.84\text{V}$$

2.4 ການໄບແອັດ FET: D-MOSFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ດັ່ງນັ້ນ ບັນດາຄ່າຕ່າງໆ ທີ່ຫາໄດ້:

$$\begin{aligned} I_D &= I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \\ &= 6\text{mA} \left(1 - \frac{-0.84\text{V}}{-3\text{V}} \right)^2 \\ &= 3.11\text{ mA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_{DD} - I_D (R_D + R_S) \\ &= 18\text{V} - 3.11\text{mA} (1.8\text{k}\Omega + 750\Omega) \\ &= 10.07\text{ V} \end{aligned}$$

2.5 ການໄບແອັດ FET: E-MOSFET:

ການໄບແອັດ E-MOSFET

ການໄບແອັດ E-MOSFET ນັ້ນຈະຕ້ອງໃຫ້ແຮງດັນ V_{GS} ຫຼາຍກວ່າແຮງດັນ Threshold ($V_{GS(Th)}$ ຫຼື V_T ຫຼື V_{TN}) ຈຶ່ງຈະເຮັດໃຫ້ E-MOSFET ເລີ່ມມີກະແສ I_D ໄຫຼ (ເຊິ່ງ E-MOSFET ຈະທຳງານໃນຊ່ວງ saturation) ໂດຍມີ I_D ມີສົມຜົນຄື

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

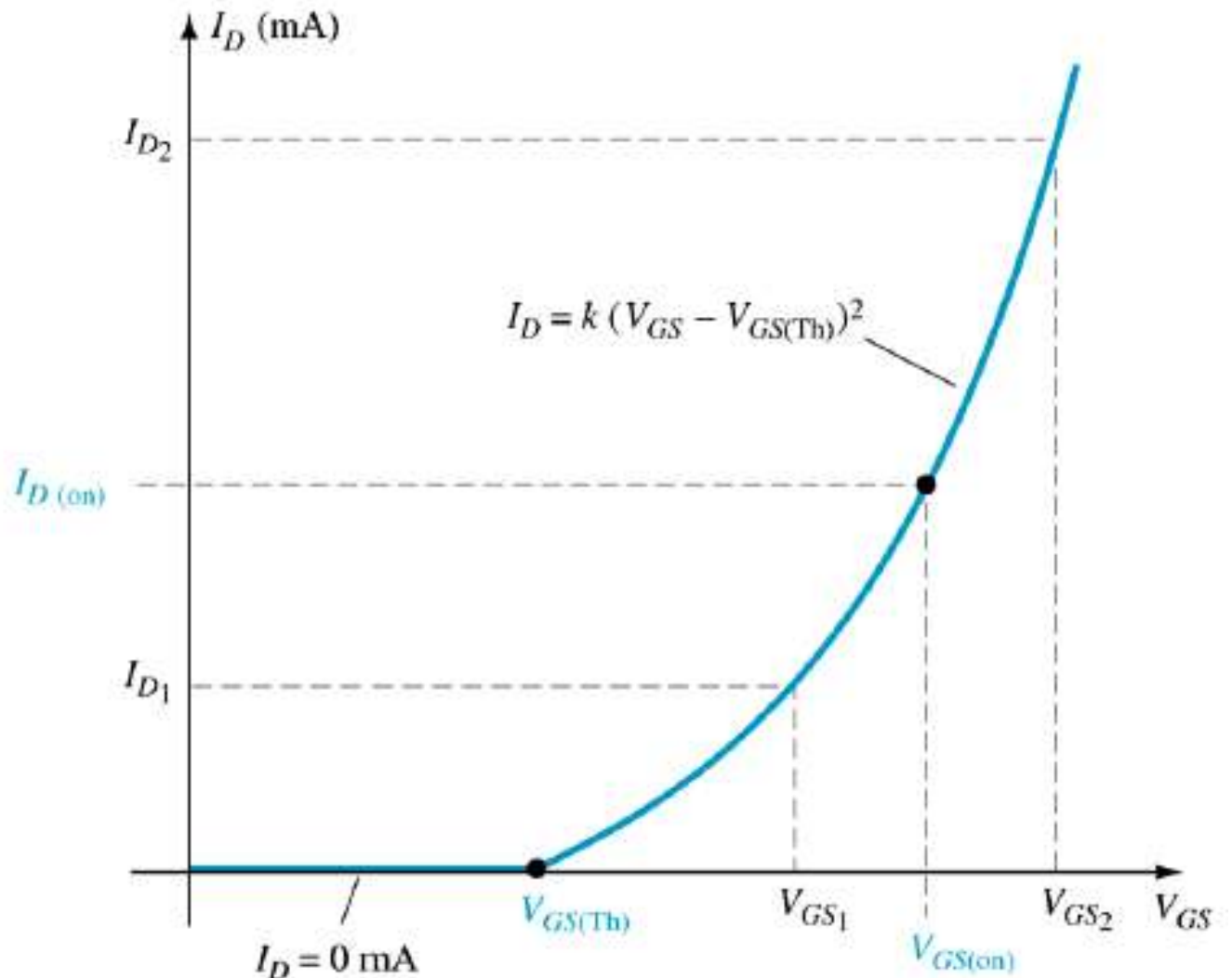
2.5 ການໄບແອັດ FET: E-MOSFET:

ຄຸນລັກສະນະການຖ່າຍໂອນ Enhancement MOSFET

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

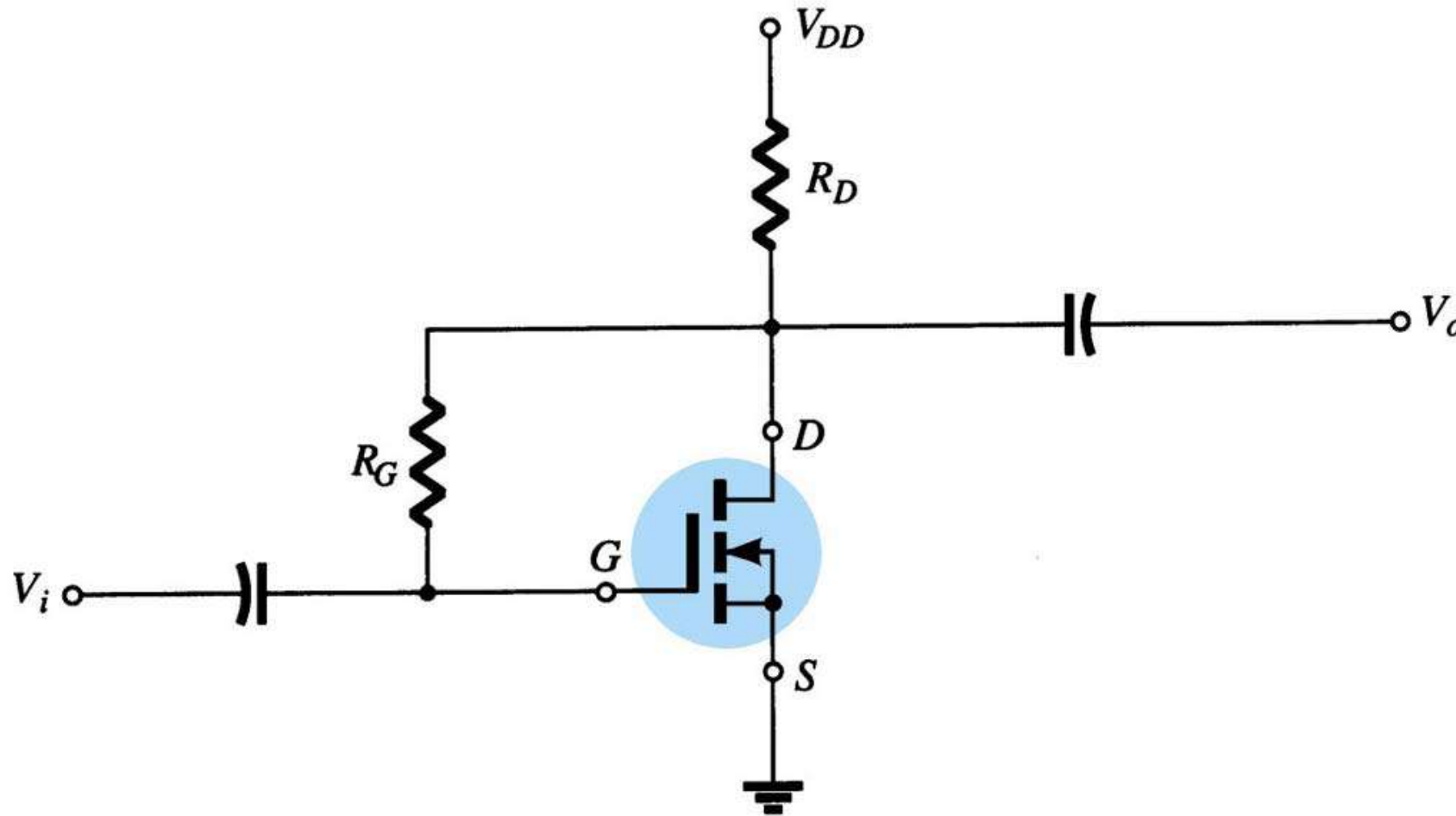
$$I_{D(on)} = k(V_{GS(on)} - V_{GS(Th)})^2$$

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

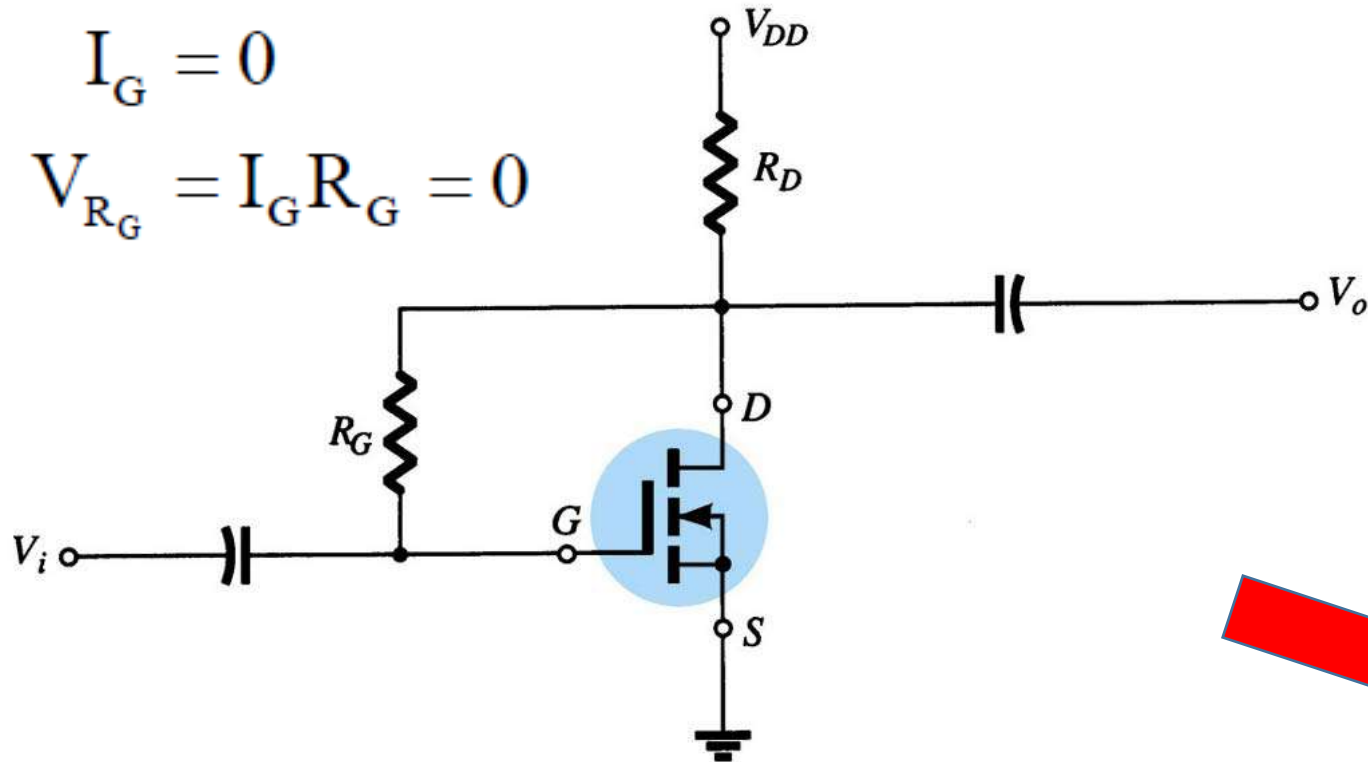


2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET:** ການໄບແອັດຍ້ອນກັບ

- ການຈັດວົງຈອນສໍາລັບການໄບແອັດຍ້ອນກັບຂອງ E-MOSFET

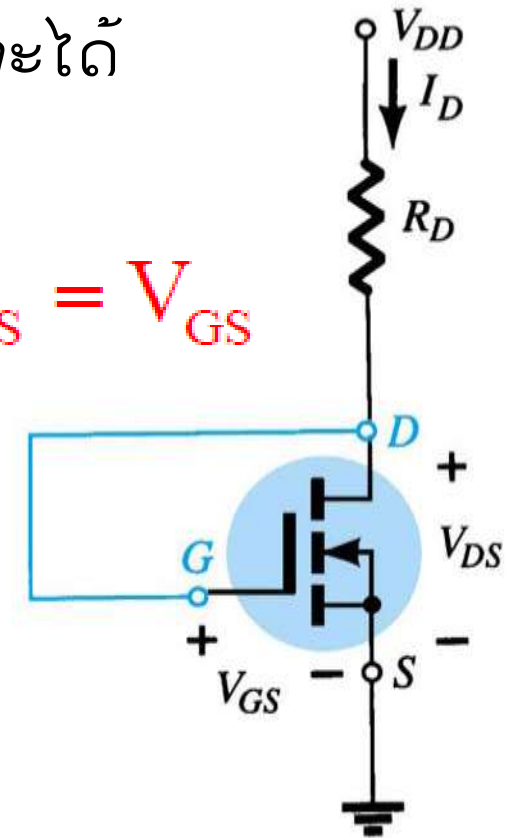


2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ



ວົງຈອນວົງປິດຂອງ V_{GS}
ຂຽນສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງ
ປິດທີ່ຜ່ານ V_{GS} ຈະໄດ້

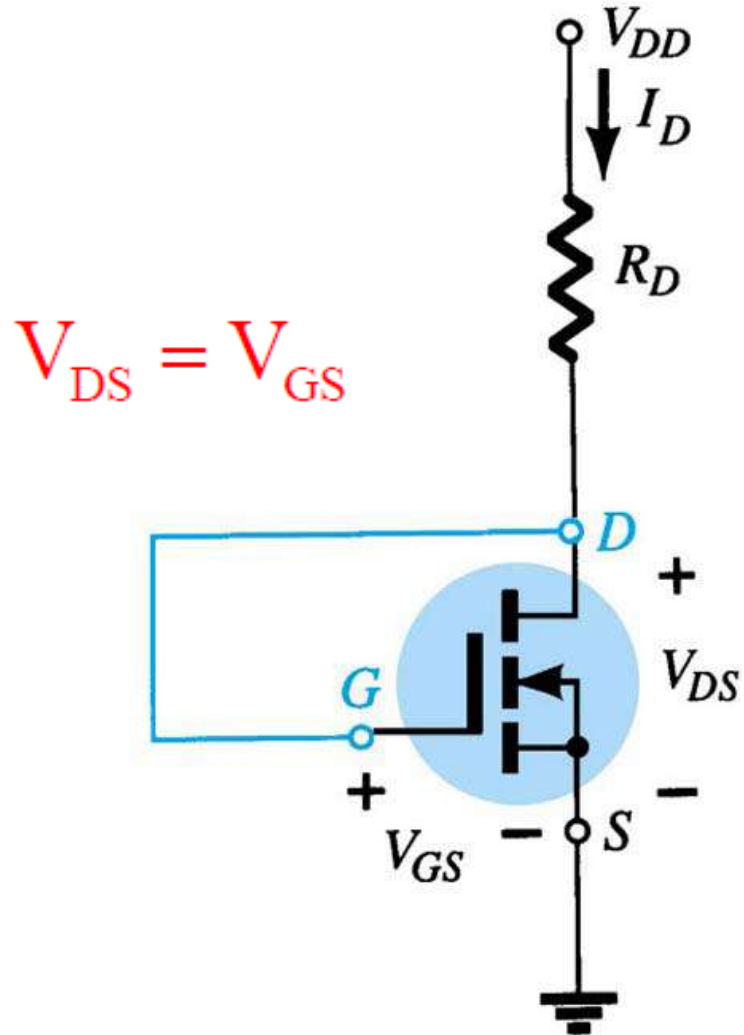
$$V_{DS} = V_{GS}$$



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

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

2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ



ວົງຈອນວົງປິດຂອງ V_{DS}
ຂຽນສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງ
ປິດທີ່ຜ່ານ V_{DS} ຈະໄດ້

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

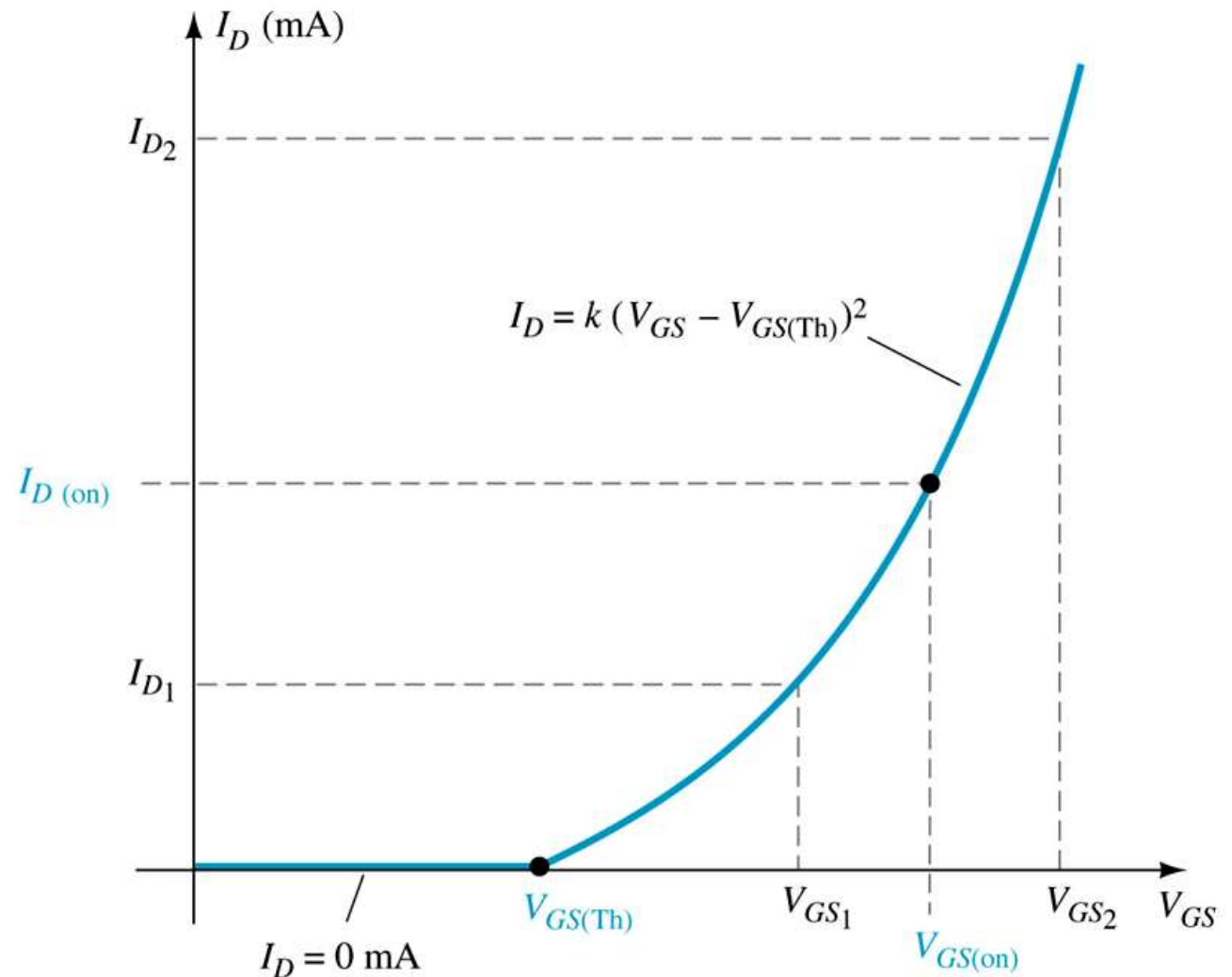
$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

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

2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ການວິເຄາະວົງຈອນ ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນຮ່ວມກັບການຄຳນວນ

1. ຂຽນກຣາບຖ່າຍໂອນໂດຍໃຊ້ສົມ
ຜົນກະແສ I_D ແລະແຮງດັນ V_{GS}
ຢ່າງນ້ອຍ 2 ຄ່າ ໂດຍຢູ່ລະຫວ່າງ
 $V_{GS(Th)}$ ກັບ $V_{GS(on)}$ ແລະຫຼາຍ
ກວ່າ $V_{GS(on)}$



2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ການວິເຄາະວົງຈອນ ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນຮ່ວມກັບການຄຳນວນ

2. ຫາເສັ້ນໄບແອັດໄຟກົງ

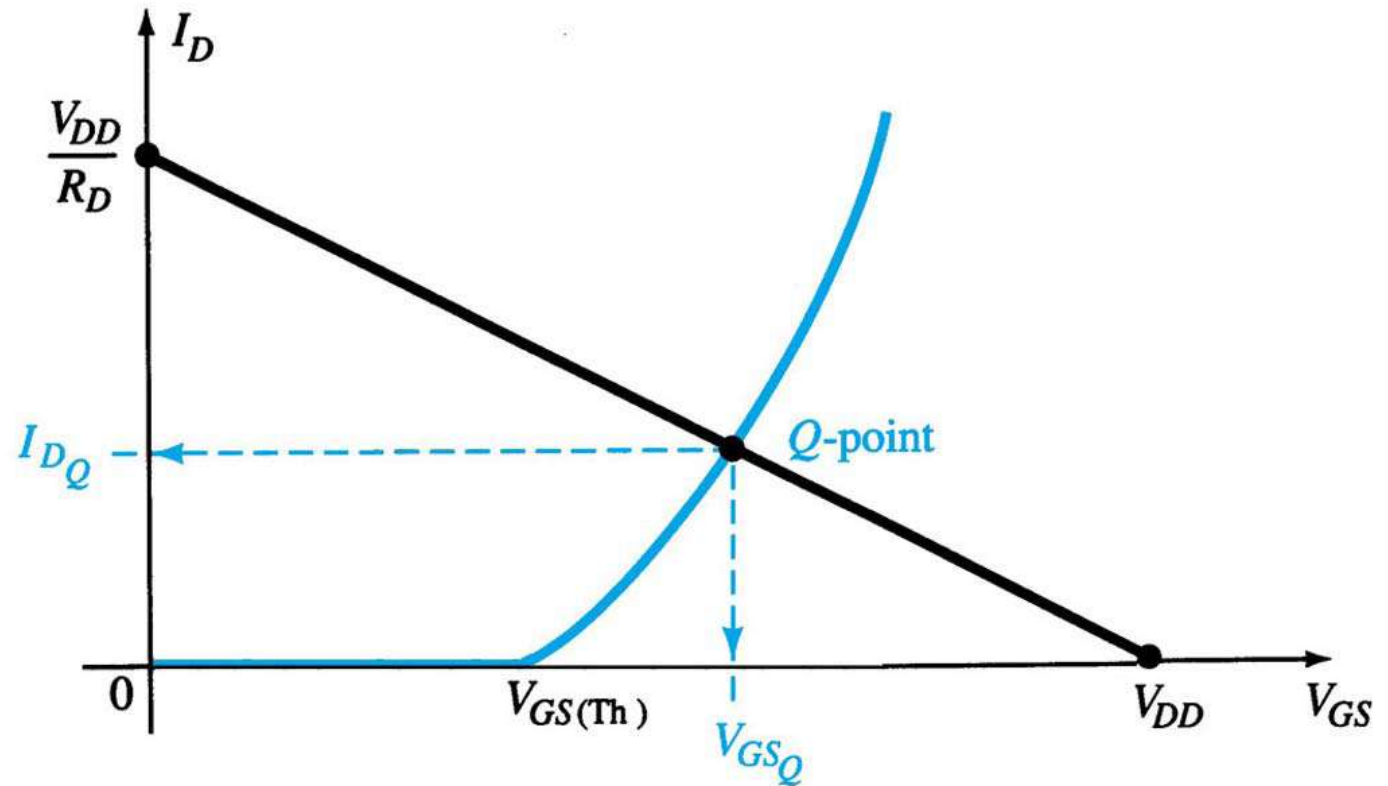
(ເກີດຈາກຈຸດ 2 ຈຸດ)

ຈຸດທີ່ 1 ທີ່ $I_D = 0$;

-ຈຸດທີ່ 2 ທີ່ $V_{GS} = 0$

ເມື່ອພິຈາລະນາສົມຜົນ

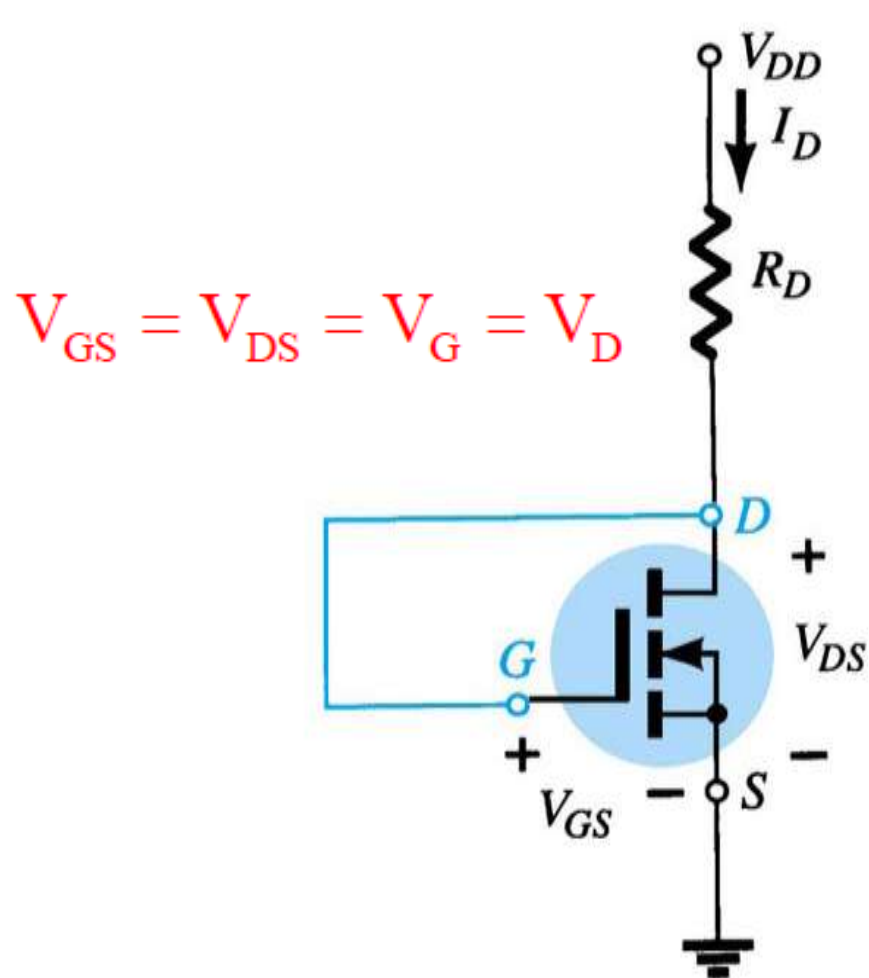
$$V_{GS} = V_{DD} - I_D R_D$$



3. ການຫາກະແສແລະແຮງດັນທີ່ຈຸດ Q ໂດຍຂີດເສັ້ນໄບແອັດກົງໃຫ້ຕັດກັບກຣາບຖ່າຍໂອນ

2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ການວິເຄາະວົງຈອນ ໂດຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ



$$I_D = k(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2 \quad \dots(a)$$

ສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງປິດທີ່ຜ່ານ V_{DS} ຈະໄດ້

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

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

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

$$V_{GS} = V_{DS} = V_G = V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{GS}}{R_D} \quad \dots(b)$$

2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ການວິເຄາະວົງຈອນ ໂດຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

ທຽບສົມຜົນ (a) ກັບ (b)

$$\frac{V_{DD} - V_{GS}}{R_D} = k(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2$$

$$V_{DD} - V_{GS} = kR_D(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2$$

$$V_{DD} - V_{GS} = kR_D(V_{GS}^2 - 2V_{GS}V_{GS(Th)} + V_{GS(Th)}^2)$$

$$V_{DD} - V_{GS} = kR_D V_{GS}^2 - 2kR_D V_{GS} V_{GS(Th)} + kR_D V_{GS(Th)}^2$$

$$0 = kR_D V_{GS}^2 - 2kR_D V_{GS} V_{GS(Th)} + kR_D V_{GS(Th)}^2 - V_{DD} + V_{GS}$$

$$0 = kR_D V_{GS}^2 + (1 - 2kR_D V_{GS(Th)})V_{GS} + (kR_D V_{GS(Th)}^2 - V_{DD})$$

2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ການວິເຄາະວົງຈອນຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

$$0 = kR_D V_{GS}^2 + (1 - 2kR_D V_{GS(Th)}) V_{GS} + (kR_D V_{GS(Th)}^2 - V_{DD})$$

ທຽບກັບສົມຜົນກຳລັງສອງຈະໄດ້

$$a = kR_D, \quad b = 1 - 2kR_D |V_{GS(Th)}|, \quad c = kR_D V_{GS(Th)}^2 - |V_{DD}|$$

ດັ່ງນັ້ນການຫາຄ່າ V_{GS} ເທົ່າກັບ

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

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

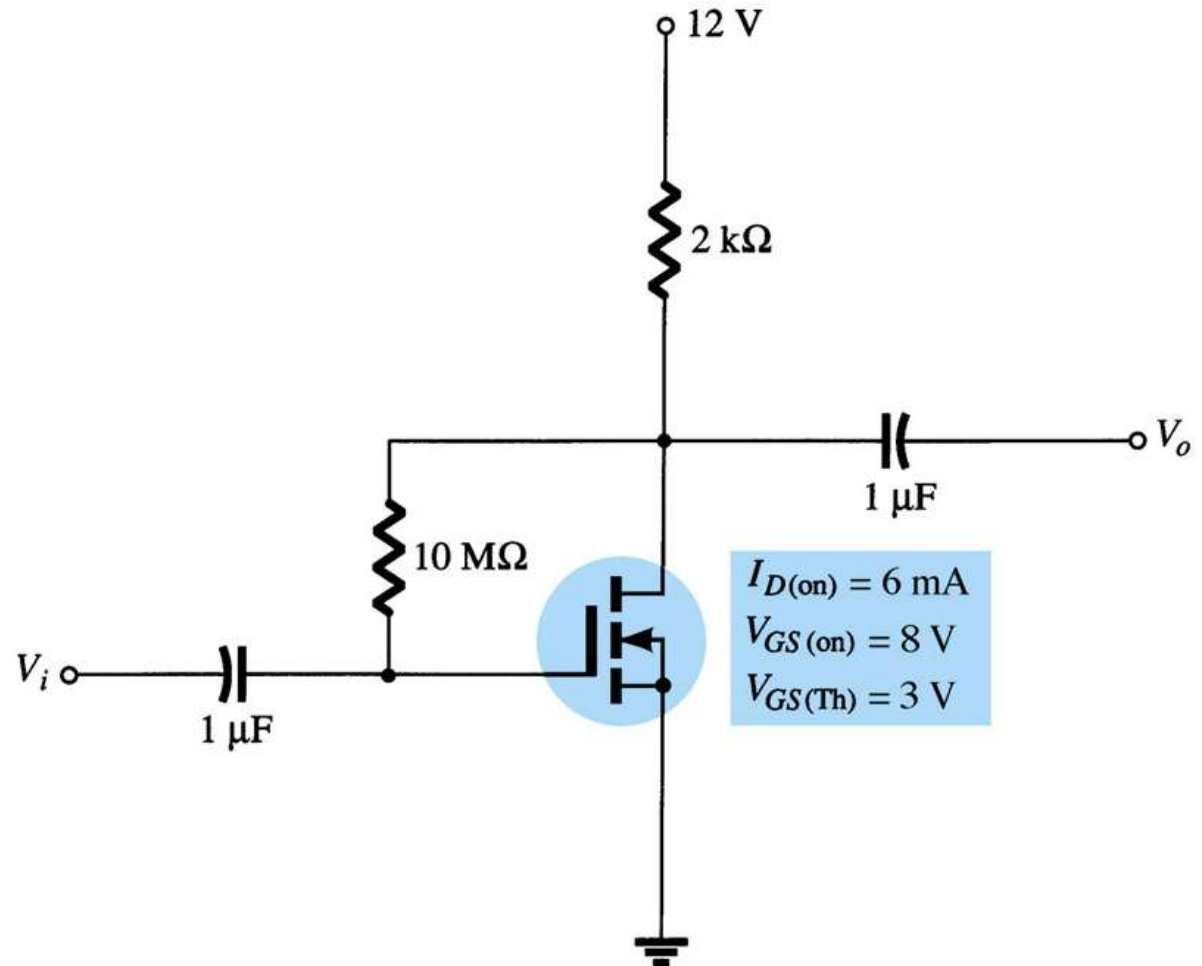
$$V_{GS}|_{p-channel} = \frac{+b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ຕົວຢ່າງທີ່ 2.7: ຈົ່ງຄຳນວນຫາແຮງດັນ V_{GS} , I_D , V_{DS}

ຫາ k ມີຄ່າເທົ່າກັບ

$$\begin{aligned} k &= \frac{I_{D(on)}}{\left(V_{GS(on)} - V_{GS(Th)}\right)^2} \\ &= \frac{6\text{mA}}{(8\text{V} - 3\text{V})^2} \\ &= \mathbf{0.24\text{ mA/V}^2} \end{aligned}$$



2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນ

1. ຂຽນກຣາບຖ່າຍໂອນໂດຍໃຊ້ສົມ

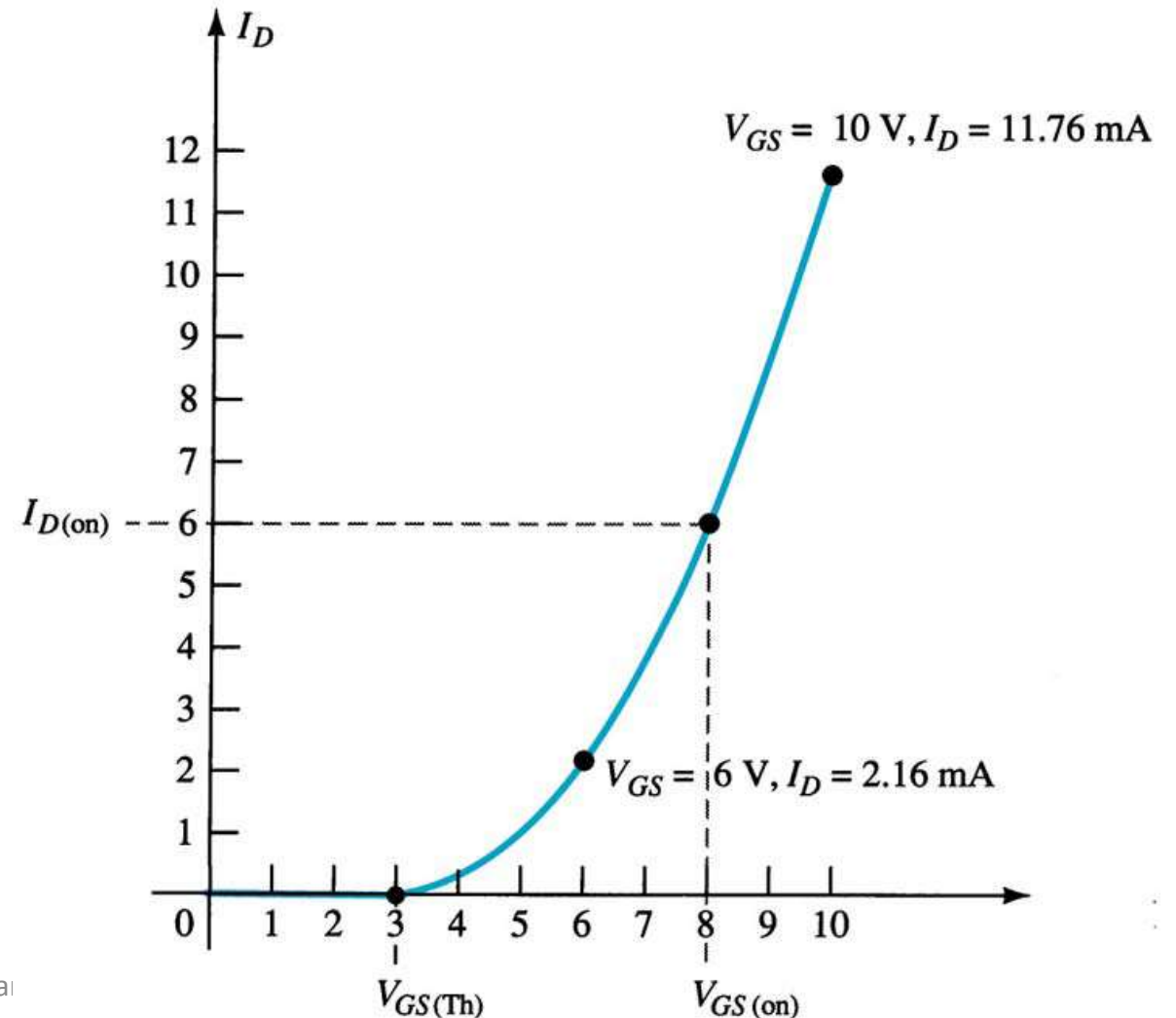
ຜົນກະແສ I_D ແລະແຮງດັນ V_{GS}
ຢ່າງນ້ອຍ 2 ຄ່າ ໂດຍຢູ່ລະຫວ່າງ

$V_{GS(Th)}$ ກັບ $V_{GS(on)}$ ແລະຫຼາຍ
ກວ່າ $V_{GS(on)}$

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

$$I_D|_{V_{GS}=6V} = 2.16 \text{ mA}$$

$$I_D|_{V_{GS}=10V} = 11.76 \text{ mA}$$



2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດຍ້ອນກັບ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນ

2. ຫາເສັ້ນໄບແອັດໄຟກົງ

(ເກີດຈາກຈຸດ 2 ຈຸດ)

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

-ຈຸດທີ່ 1 ທີ່ $I_D = 0$; $V_{GS} = V_{DD} = 12V$

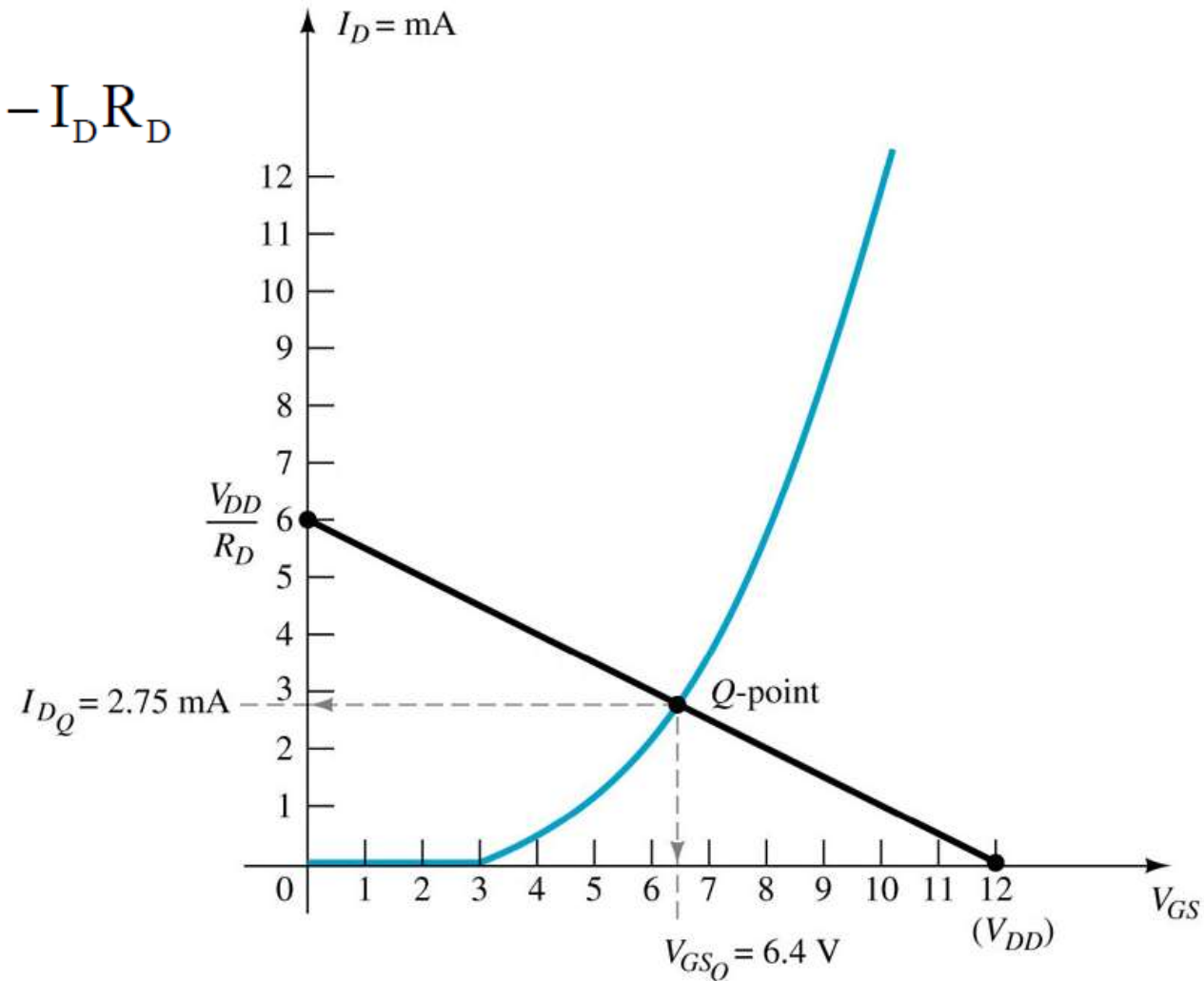
-ຈຸດທີ່ 2 ທີ່ $V_{GS} = 0$; $I_D = V_{DD} / R_D = 6mA$

3. ຫາຄ່າກະແສແລະແຮງດັນທີ່ຈຸດ Q

$$V_{GS}|_{Q\text{-point}} = 6.4V$$

$$I_D|_{Q\text{-point}} = 2.75mA$$

$$V_{DS} = V_{GS} = 6.4V$$



2.5 ການໄບແອັດ FET: E-MOSFET: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ເມື່ອໃຊ້ການວິເຄາະວົງຈອນໂດຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

$$a = kR_D = 0.24 \text{ mA} / \text{V}^2 \times 2\text{k}\Omega = 0.48$$

$$b = 1 - 2kR_D |V_{GS(\text{Th})}| = 1 - (2 \times 0.24 \text{ mA} / \text{V}^2 \times 2\text{k}\Omega \times |3\text{V}|) = -1.88$$

$$c = kR_D V_{GS(\text{Th})}^2 - |V_{DD}| = (0.24 \text{ mA} / \text{V}^2 \times 2\text{k}\Omega \times 3^2 \text{ V}^2) - |12| = -7.68$$

2.5 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດຢ້ອນກັບ

ເມື່ອໃຊ້ການວິເຄາະວົງຈອນ ໂດຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

ດັ່ງນັ້ນການຫາຄ່າ V_{GS} ເທົ່າກັບ

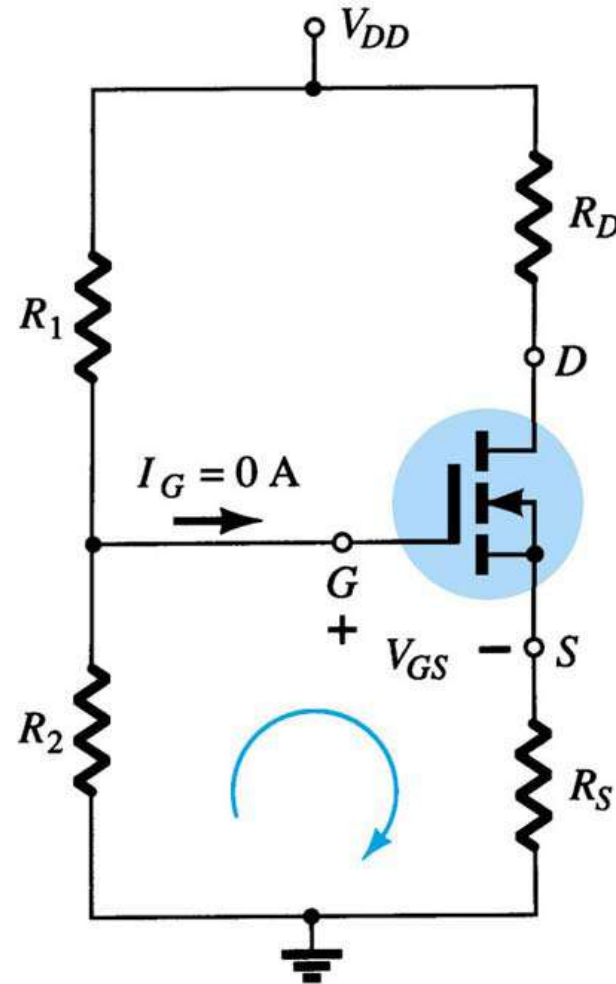
$$\begin{aligned} V_{GS}|_{n-channel} &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-(-1.88) + \sqrt{(-1.88)^2 - 4 \times 0.48 \times (-7.68)}}{2 \times 0.48} \\ &= \frac{1.88 + \sqrt{18.28}}{0.96} = 6.41V \end{aligned}$$

$$I_D = k(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2 \quad \dots(a) = 2.79mA$$

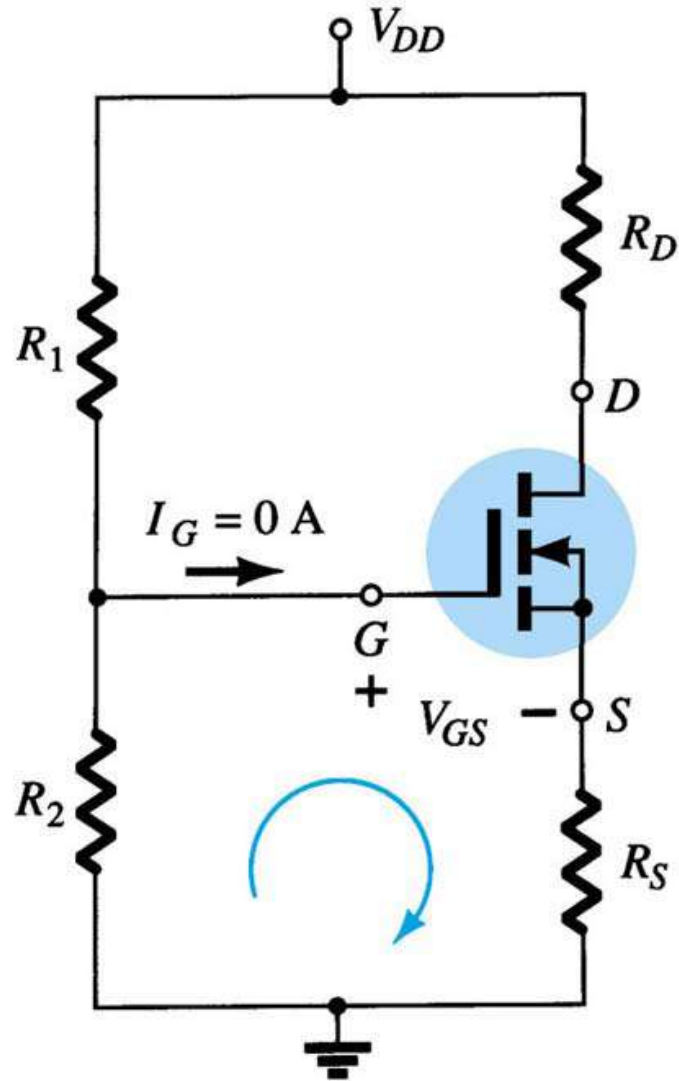
2.6 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET:** ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ການຈັດວົງຈອນສໍາລັບການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ E-MOSFET

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



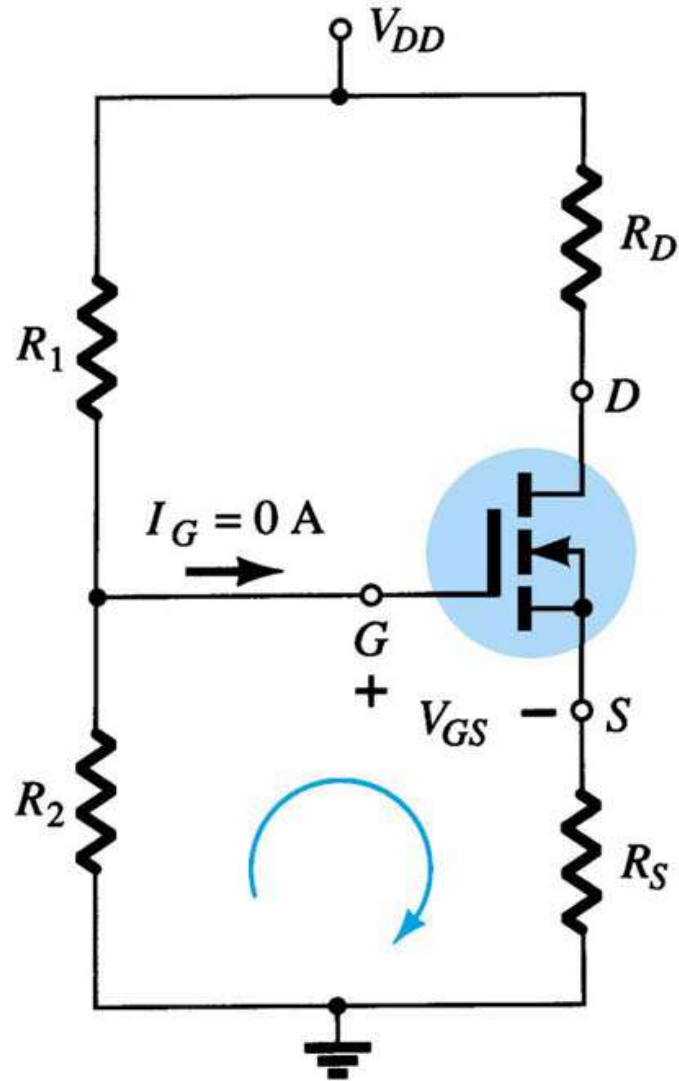
2.6 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ



ວົງຈອນວົງປິດຂອງ V_{GS}
ຂຽນສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງ
ປິດທີ່ຜ່ານ V_{GS} ຈະໄດ້

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

2.6 ການໄບແອັດ FET: E-MOSFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ



ວົງຈອນວົງປິດຂອງ V_{DS}

ຂຽນສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງ

ປິດທີ່ຜ່ານ V_{DS} ຈະໄດ້

$$V_{DD} = V_{DS} + I_D R_D + I_D R_S$$

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

2.6 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ການວິເຄາະວົງຈອນ ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນຮ່ວມກັບການຄຳນວນ

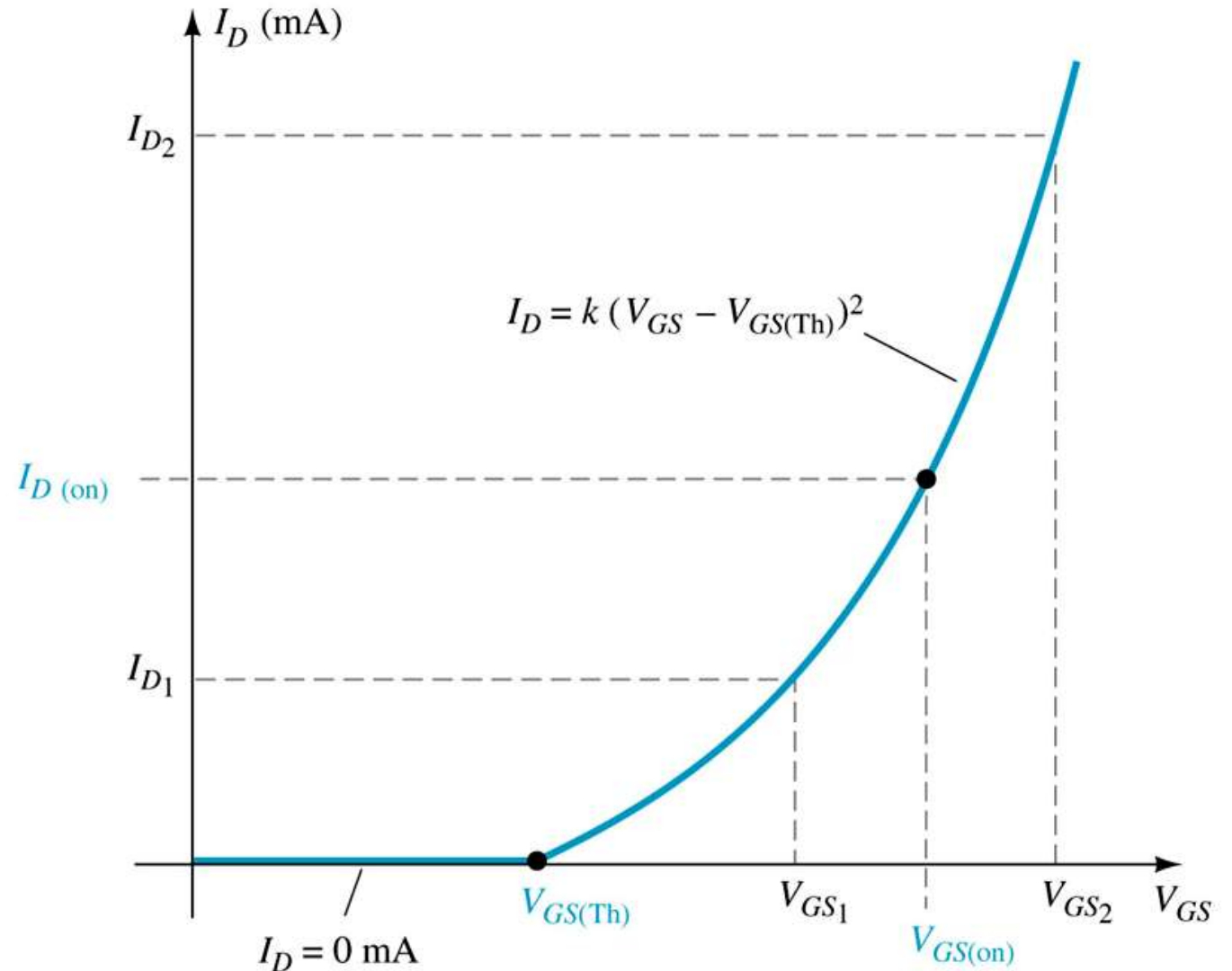
1. ຂຽນກຣາບຖ່າຍໂອນໂດຍໃຊ້ສົມ

ຜົນກະແສ I_D ແລະແຮງດັນ V_{GS}

ຢ່າງນ້ອຍ 2 ຄ່າ ໂດຍຢູ່ລະຫວ່າງ

$V_{GS(Th)}$ ກັບ $V_{GS(on)}$ ແລະຫຼາຍ

ກວ່າ $V_{GS(on)}$



2.6 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ການວິເຄາະວົງຈອນ ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນຮ່ວມກັບການຄຳນວນ

2. ຫາເສັ້ນໄບແອັດໄຟກົງ

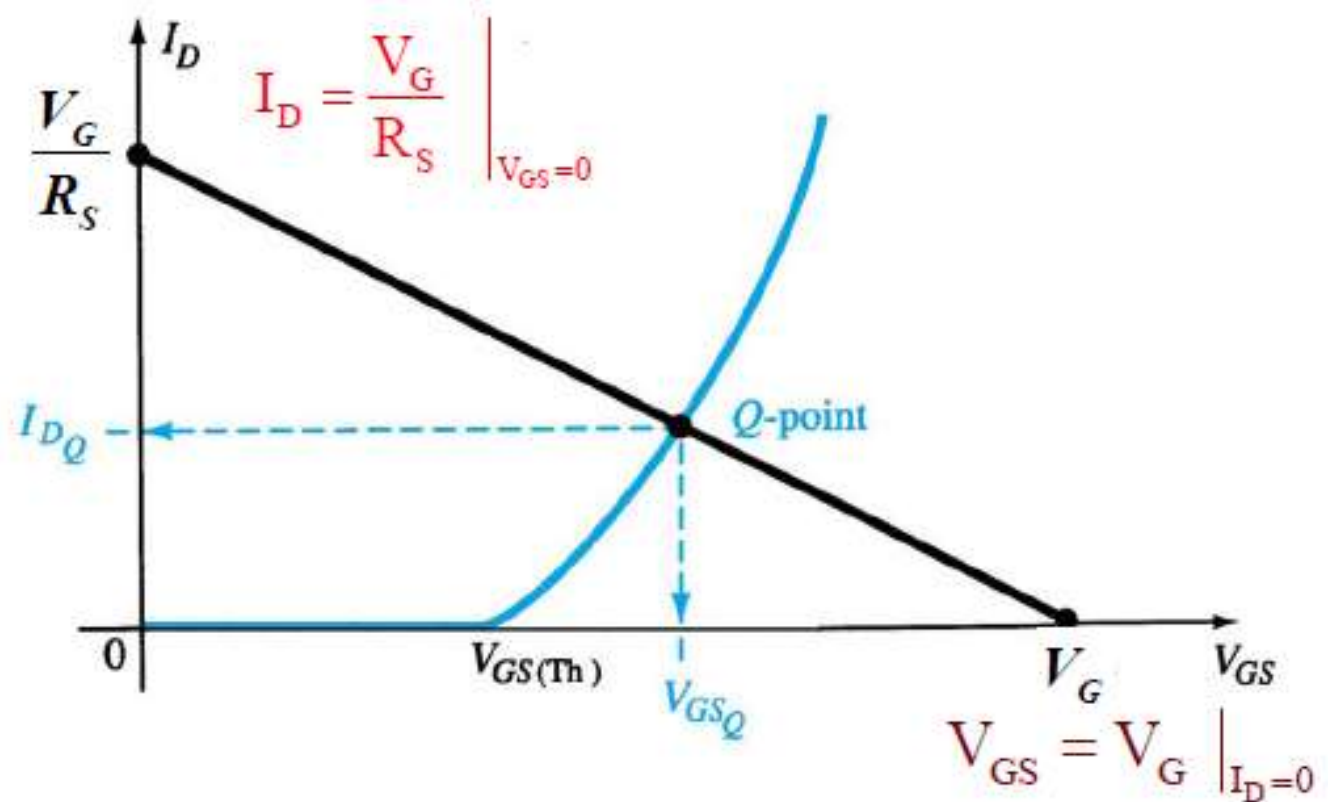
(ເກີດຈາກຈຸດ 2 ຈຸດ)

ຈຸດທີ່ 1 ທີ່ $I_D = 0$;

-ຈຸດທີ່ 2 ທີ່ $V_{GS} = 0$

ເມື່ອພິຈາລະນາສົມຜົນ

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

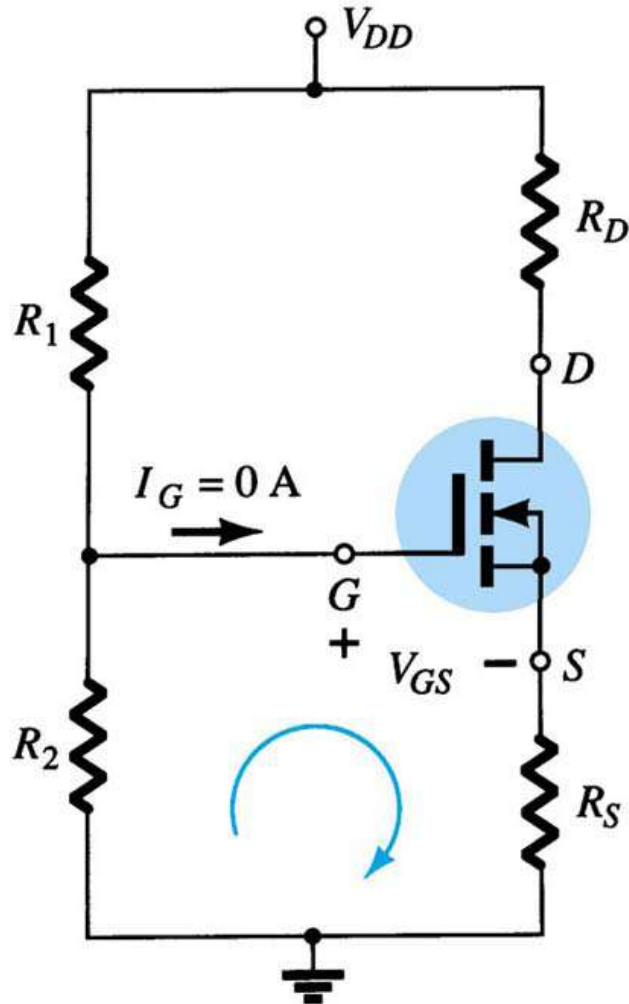


3. ການຫາກະແສແລະແຮງດັນທີ່ຈຸດ Q ໂດຍຂີດເສັ້ນໄບແອັດກົງໃຫ້ຕັດກັບກຣາບຖ່າຍໂອນ

2.6 ການໄບແອັດ FET: E-MOSFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ການວິເຄາະວົງຈອນ ໂດຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

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



$$I_D = k(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2 \quad \dots (a)$$

ສົມຜົນດ້ວຍ **KVL** ທີ່ວົງປິດທີ່ຜ່ານ V_{DS} ຈະໄດ້

$$V_G = V_{GS} + I_D R_S$$

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

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S} \quad \dots (b)$$

2.6 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ການວິເຄາະວົງຈອນດ້ວຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

ທຽບສົມຜົນ (a) ກັບ (b)

$$\frac{V_G - V_{GS}}{R_s} = k(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2$$

$$V_G - V_{GS} = kR_s(V_{GS} - V_{GS(Th)})^2$$

$$V_G - V_{GS} = kR_s(V_{GS}^2 - 2V_{GS}V_{GS(Th)} + V_{GS(Th)}^2)$$

$$V_G - V_{GS} = kR_s V_{GS}^2 - 2kR_s V_{GS} V_{GS(Th)} + kR_s V_{GS(Th)}^2$$

$$0 = kR_s V_{GS}^2 - 2kR_s V_{GS} V_{GS(Th)} + kR_s V_{GS(Th)}^2 - V_G + V_{GS}$$

$$0 = kR_s V_{GS}^2 + (1 - 2kR_s V_{GS(Th)})V_{GS} + (kR_s V_{GS(Th)}^2 - V_G)$$

2.6 ການໄບແອັດ FET: **E-MOSFET**: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ການວິເຄາະວົງຈອນດ້ວຍຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

$$0 = kR_s V_{GS}^2 + (1 - 2kR_s V_{GS(Th)}) V_{GS} + (kR_s V_{GS(Th)}^2 - V_G)$$

ທຽບກັບສົມຜົນກຳລັງສອງຈະໄດ້

$$a = kR_s, \quad b = 1 - 2kR_s |V_{GS(Th)}|, \quad c = kR_s V_{GS(Th)}^2 - |V_G|$$

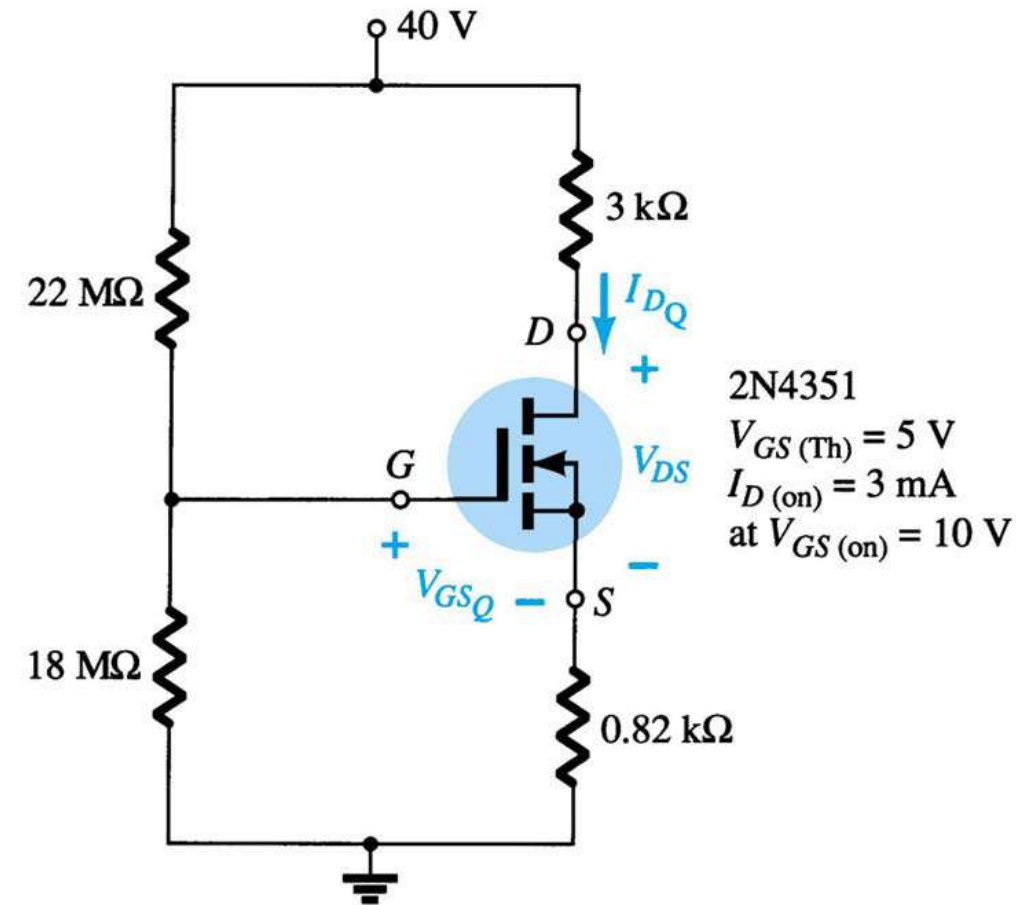
ດັ່ງນັ້ນການຫາຄ່າ V_{GS} ເທົ່າກັບ

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

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

2.6 ການໄບແອັດ FET: E-MOSFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ຕົວຢ່າງທີ 10: ຈົ່ງຄຳນວນຫາແຮງດັນ V_{GS} , I_D , V_{DS}



ຫາ k ມີຄ່າເທົ່າກັບ

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

$$= \frac{3\text{ mA}}{(10\text{ V} - 5\text{ V})^2}$$

$$= 0.12\text{ mA/V}^2$$

ຫາຄ່າ V_G ມີຄ່າເທົ່າກັບ

$$V_G = \frac{V_{DD} R_2}{R_1 + R_2} = \frac{40\text{ V} \times 18\text{ M}\Omega}{22\text{ M}\Omega + 18\text{ M}\Omega} = 18\text{ V}$$

2.6 ການໄບແອັດ FET: E-MOSFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນ

1. ຂຽນກຣາບຖ່າຍໂອນໂດຍໃຊ້ສົມ

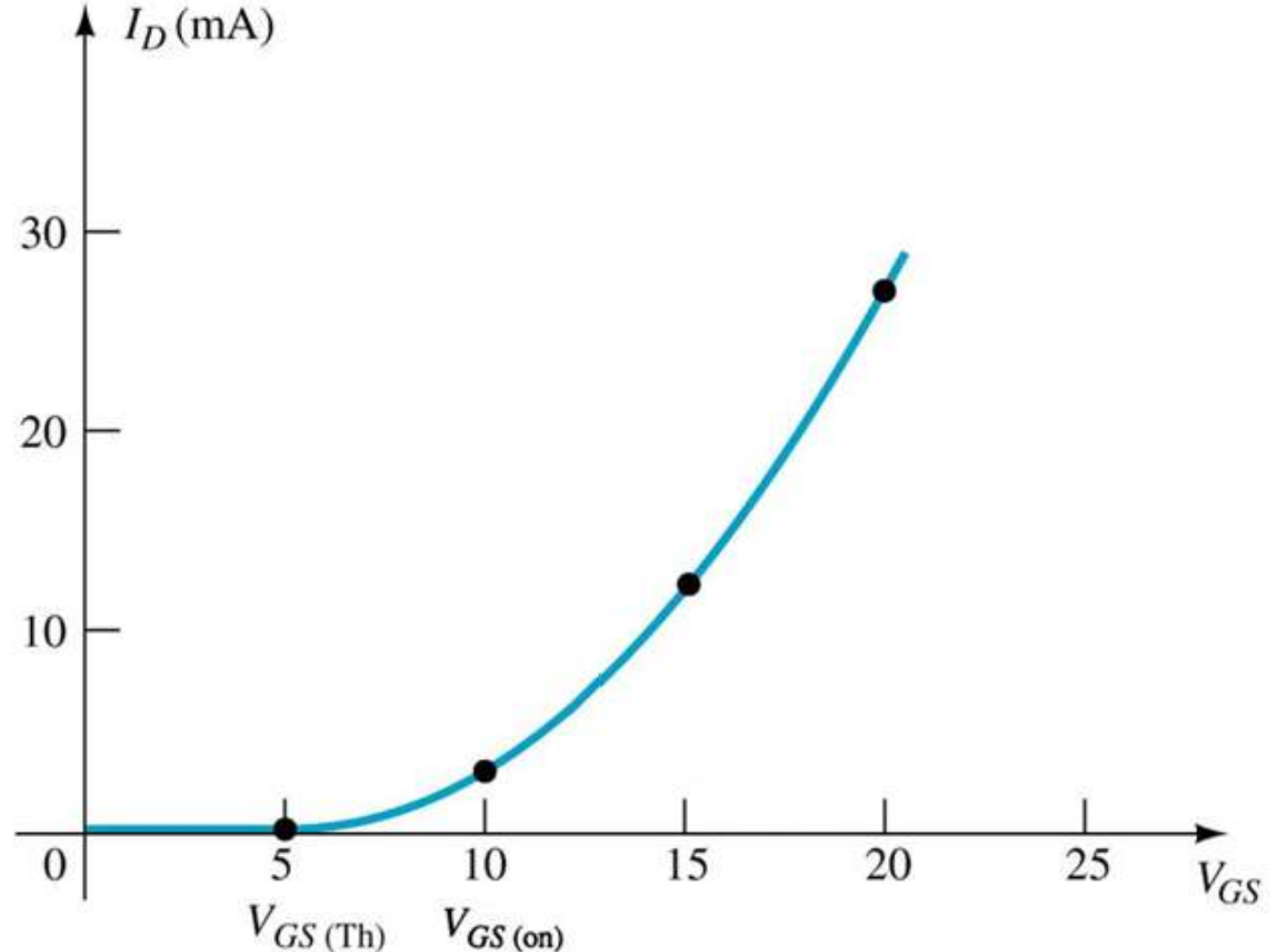
ຜົນກະແສ I_D ແລະແຮງດັນ V_{GS}
ຢ່າງນ້ອຍ 2 ຄ່າ ໂດຍຢູ່ລະຫວ່າງ

$V_{GS(Th)}$ ກັບ $V_{GS(on)}$ ແລະຫຼາຍ
ກວ່າ $V_{GS(on)}$

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

$$I_D|_{V_{GS}=6V} = 0.12 \text{ mA}$$

$$I_D|_{V_{GS}=20V} = 27 \text{ mA}$$



2.6 ການໄບແອັດ FET: E-MOSFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນ

2. ຫາເສັ້ນໄບແອັດໄຟກິງ

(ເກີດຈາກຈຸດ 2 ຈຸດ)

-ຈຸດທີ່ 1 ທີ່ $I_D = 0$; $V_{GS} = V_G = 18V$

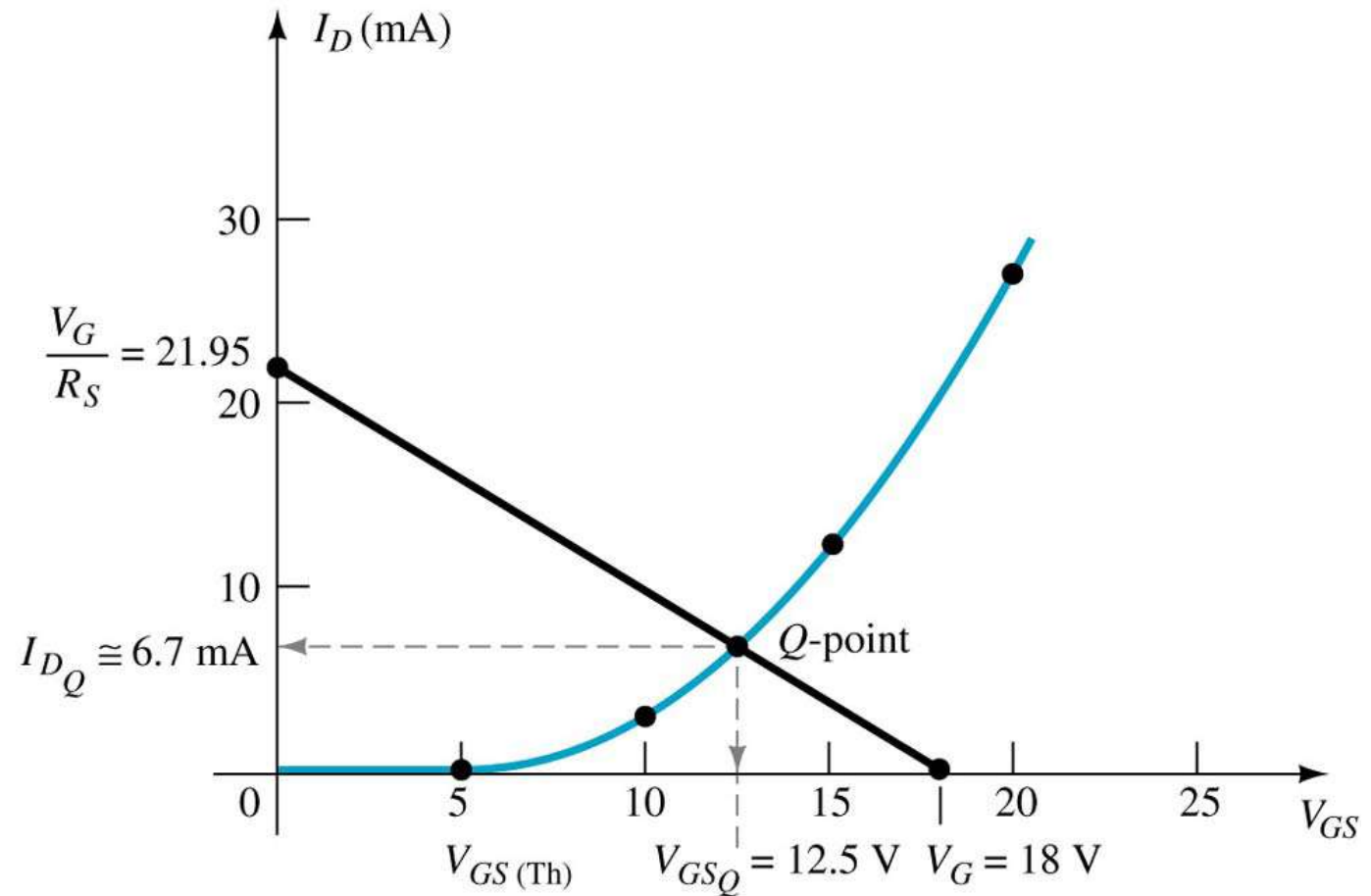
-ຈຸດທີ່ 2 ທີ່ $V_{GS} = 0$;

$$I_D = V_G / R_S = 21.95 \text{ mA}$$

3. ຫາຄ່າກະແສແລະແຮງດັນທີ່ຈຸດ Q

$$V_{GS}|_{Q\text{-point}} = 12.5V$$

$$I_D|_{Q\text{-point}} = 6.7 \text{ mA}$$



2.6 ການໄບແອັດ FET: E-MOSFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ວິເຄາະຫາ I_D ແລະ V_{GS} ໂດຍໃຊ້ກຣາບຖ່າຍໂອນ
ຫາຄ່າ V_{DS} ມີຄ່າເທົ່າກັບ

$$V_{DD} = V_{DS} + I_D R_D + I_D R_S$$

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

$$= 40V - 6.7mA (3k\Omega + 820\Omega)$$

$$= 14.4V$$

2.6 ການໄບແອັດ FET: E-MOSFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ເມື່ອວິເຄາະວົງຈອນດ້ວຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

$$a = kR_s = 0.12 \text{ mA/V}^2 \times 0.82 \text{ k}\Omega = 0.0984$$

$$b = 1 - 2kR_s |V_{GS(Th)}| = 1 - (2 \times 0.12 \text{ mA/V}^2 \times 0.82 \text{ k}\Omega \times |5 \text{ V}|) = 0.016$$

$$c = kR_s V_{GS(Th)}^2 - |V_G| = (0.12 \text{ mA/V}^2 \times 0.82 \text{ k}\Omega \times 5^2 \text{ V}^2) - |18| = -15.15$$

-15.54

2.6 ການໄບແອັດ FET: E-MOSFET: ການໄບແອັດແບ່ງແຮງດັນ

ເມື່ອວິເຄາະວົງຈອນດ້ວຍການຄຳນວນທາງຄະນິດສາດ

ດັ່ງນັ້ນການຫາຄ່າ V_{GS} ເທົ່າກັບ

$$\begin{aligned} V_{GS} |_{n-channel} &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-(0.016) + \sqrt{(0.016)^2 - 4 \times 0.0984 \times (-15.54)}}{2 \times 0.0984} \\ &= \frac{-0.016 + \sqrt{6.1168}}{0.1968} = 12.49V \end{aligned}$$

ຈົບບົດຮຽນທີ 2