

講義中の注意



- 講義中は、参加者のマイク・カメラの機能はミュート状態になります。
- 進行はスタッフ及び講師が行いますので、指示に従ってください。
- 質疑応答の時間は、参加者のマイクをオンにして質問を受け付けることもあります。希望される方は「チャット欄」で申し出てください。

電験三種 オンライン講座

第10回

FET

(基本特性と増幅回路)

トランジスタとは

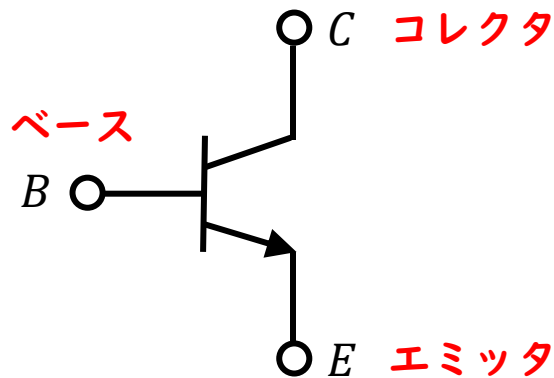
大きく分けて種類は2つ

- ・バイポーラトランジスタ (通称 トランジスタ)

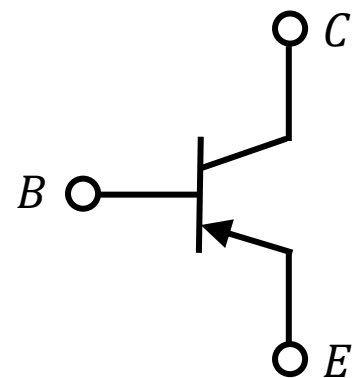
→ベースの電流により、コレクターエミッタ間の電流を制御する

- ・電界効果型トランジスタ (Field Effect Transistor) (通称 FET)

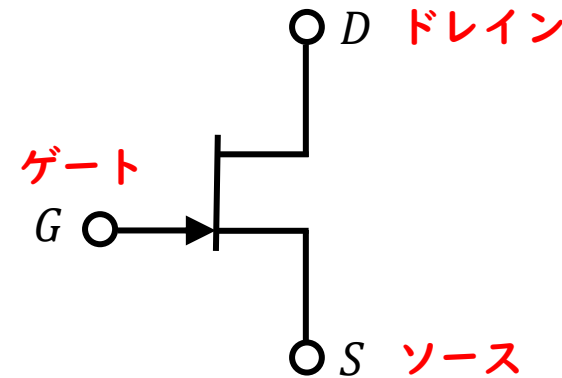
→ゲートの電圧により、ドレインソース間の電流を制御する



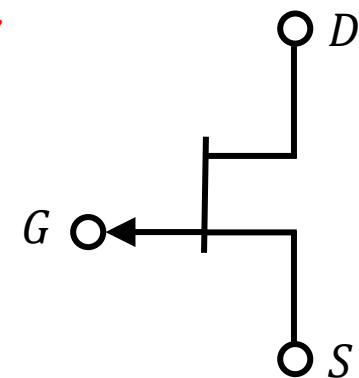
NPN トランジスタ



PNP トランジスタ



N-ch FET



P-ch FET

トランジスタの動作

・バイポーラトランジスタ

$$I_B + I_C = I_E$$

$$I_B \ll I_C < I_E$$

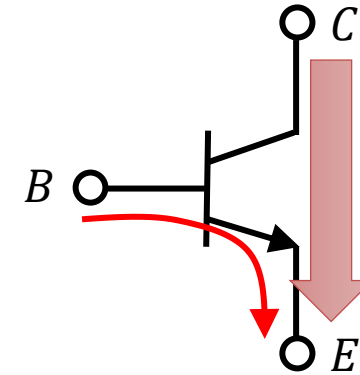
I_B : ベース電流

I_C : コレクタ電流

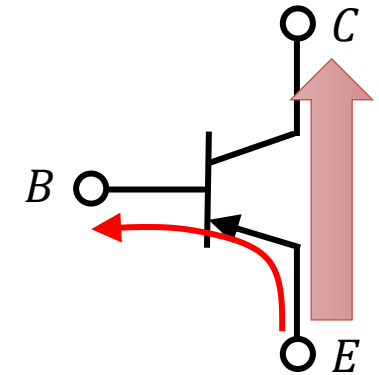
I_E : エミッタ電流

NPNトランジスタ

ベースとコレクタからエミッタへ電流が流れる



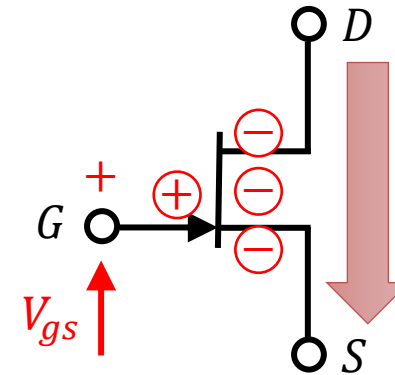
NPNトランジスタ



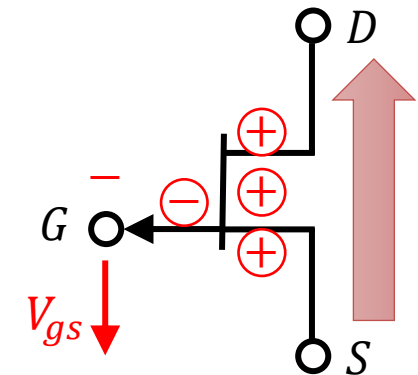
PNPトランジスタ

PNPトランジスタ

エミッタからベースとコレクタへ電流が流れる



N-ch FET



P-ch FET

・電界効果型トランジスタ

N-ch FET: 電子の道を作る ($V_{gs} > 0$)

P-ch FET: 正孔の道を作る ($V_{gs} < 0$)

FET (Field Effect Transistor) ×



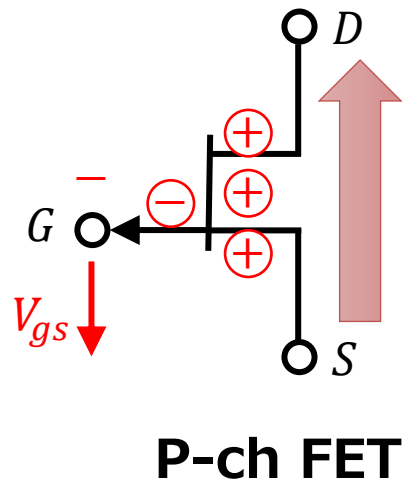
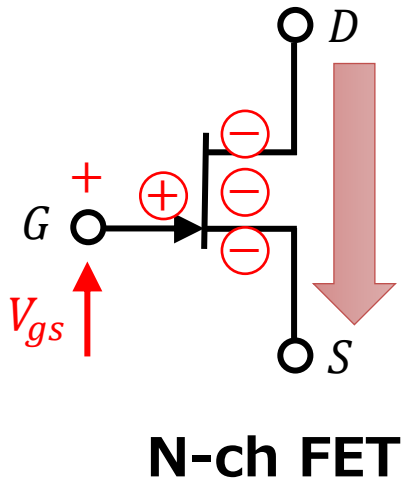
電界効果型トランジスタ (Field Effect Transistor) (通称 FET)

→ゲートの電圧により、ドレイン-ソース間の電流を制御する

FET

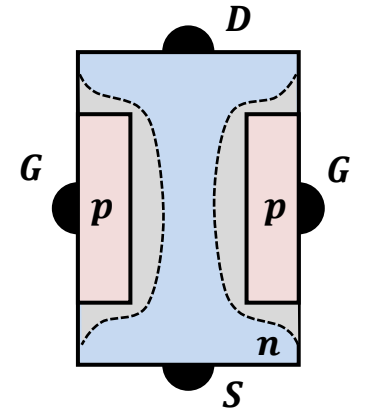
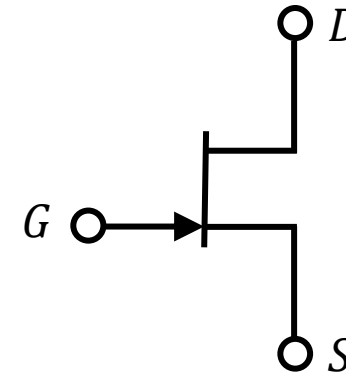
N-ch FET: 電子の道を作る ($V_{gs} > 0$)

P-ch FET: 正孔の道を作る ($V_{gs} < 0$)

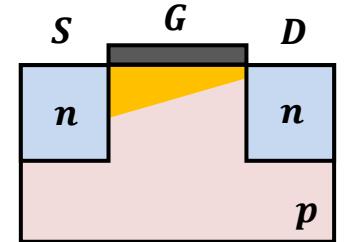
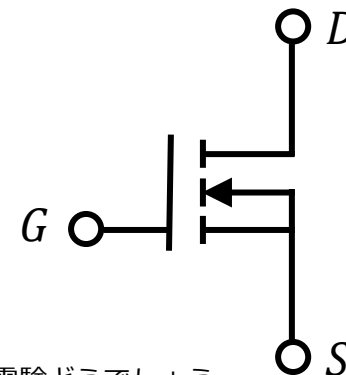


G:ゲート
S:ソース
D:ドレイン

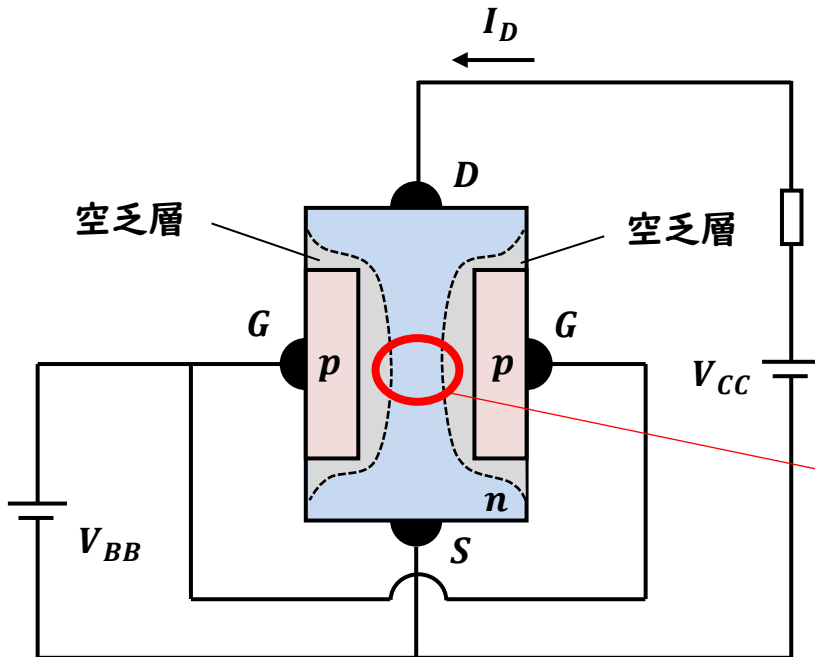
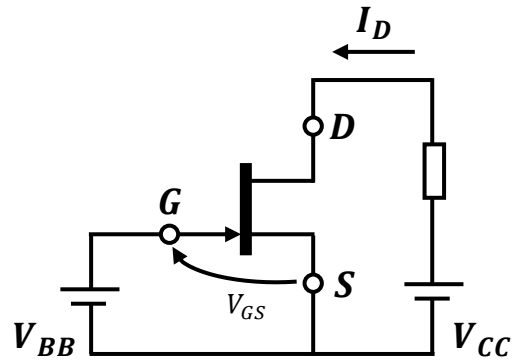
接合型FET



MOSFET



接合型FET (J-FET)

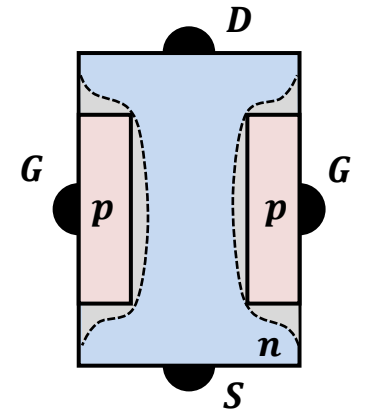
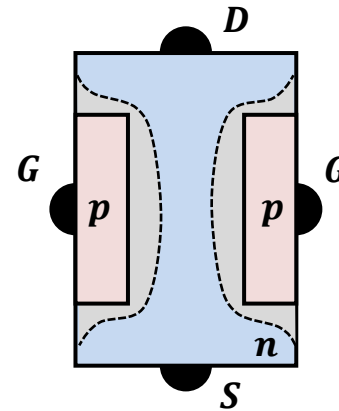
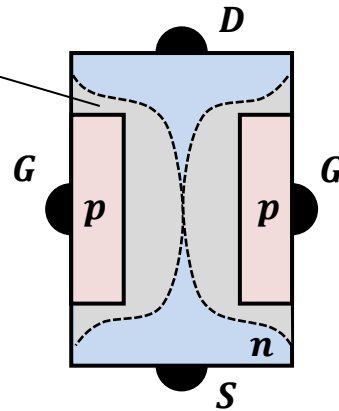


V_{GS} 小
 $V_{BB} = -2V$

V_{GS} 中
 $V_{BB} = -1V$

V_{GS} 大
 $V_{BB} = 0V$

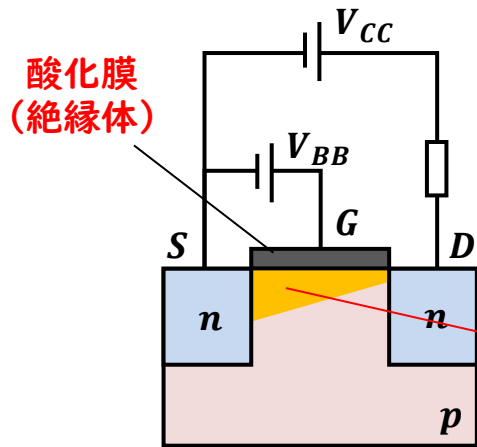
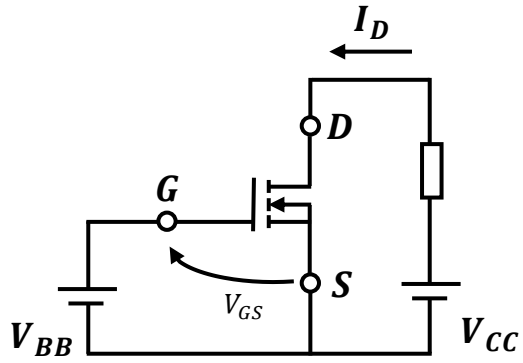
空乏層



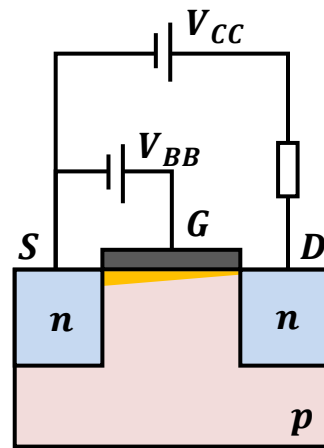
V_{GS} を大きくすると空乏層の幅が変わる
→ D-S間に電流が流れやすくなる

電流の通り道「チャンネル」

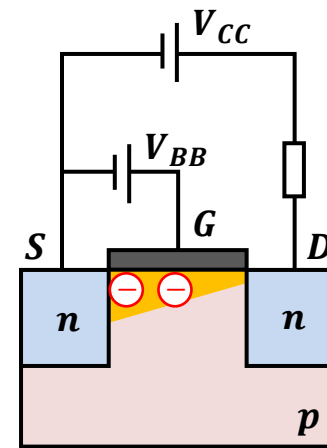
MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor)



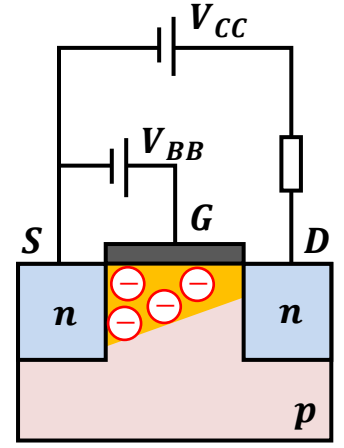
V_{GS} 小
 $V_{BB} = 0V$



V_{GS} 中
 $V_{BB} = 1V$



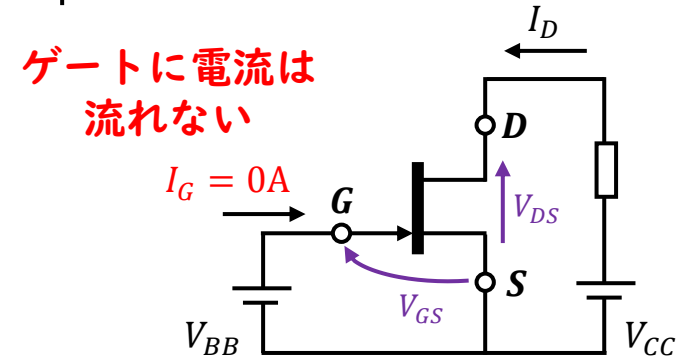
V_{GS} 大
 $V_{BB} = 2V$



V_{GS} を大きくするとG付近に電子が集まる
→D-S間に電流が流れやすくなる

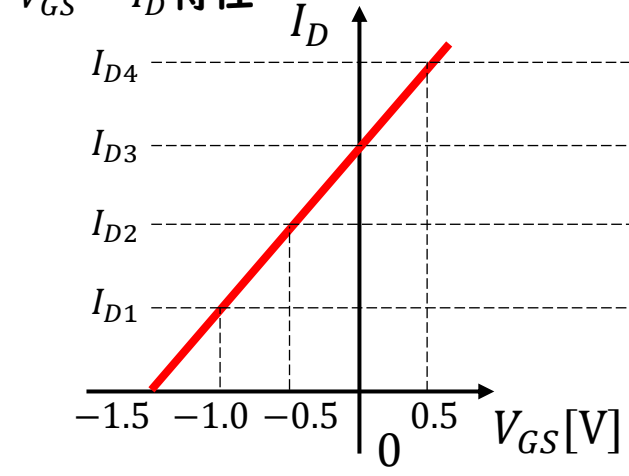
電流の通り道「チャネル」

FETの電流と電圧

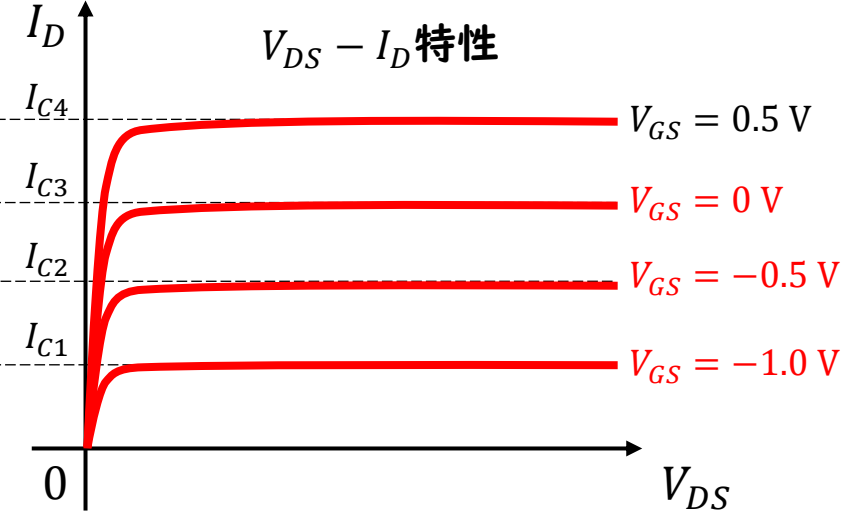


デプレッション型

$V_{GS} - I_D$ 特性

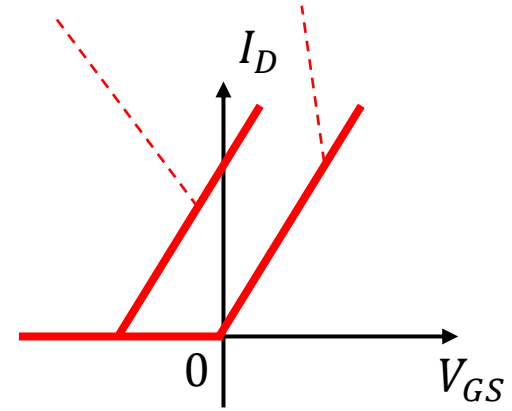


$V_{DS} - I_D$ 特性

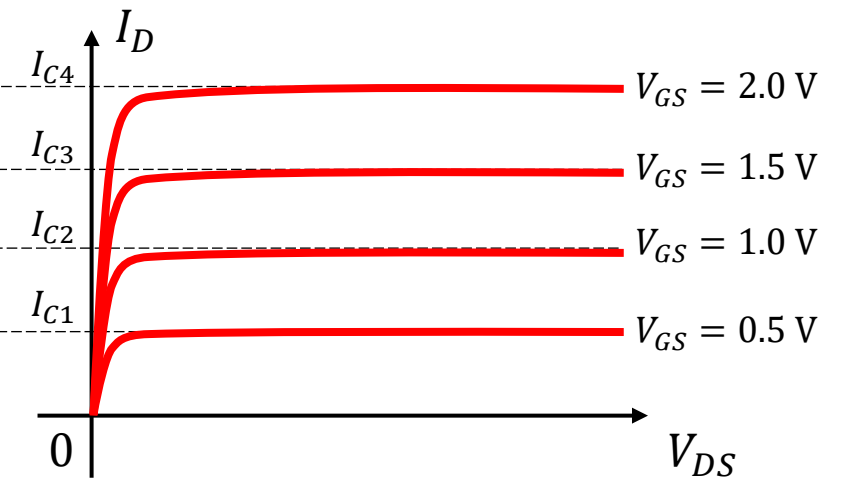
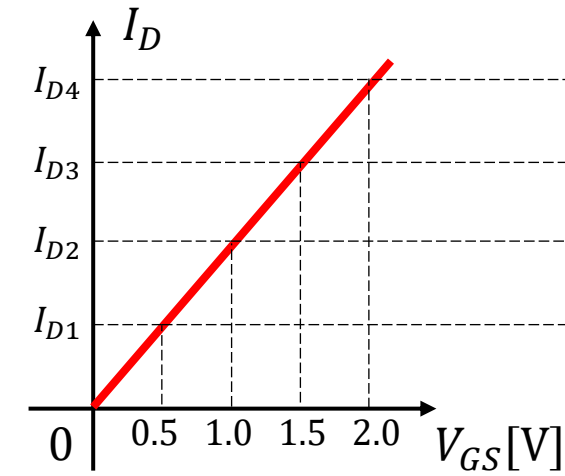


$V_{GS} < 0$ で動作する
デプレッション型

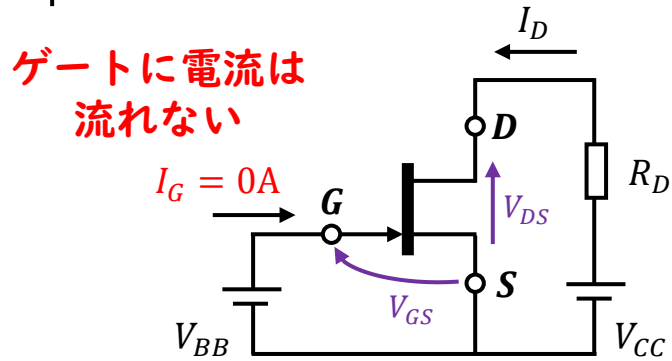
$V_{GS} < 0$ で動作する
エンハンスメント型



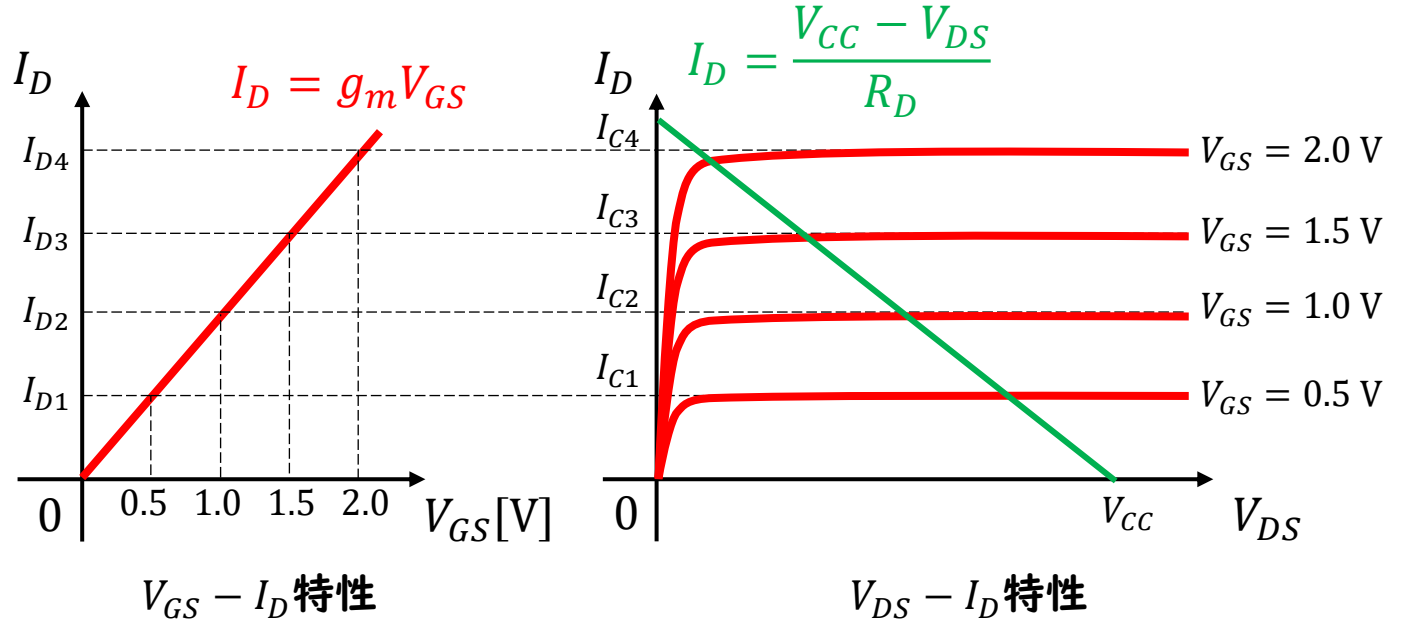
エンハンスメント型



FETの V_{DS} と直流負荷線



エンハンスメント型



$$I_D = g_m V_{GS}$$

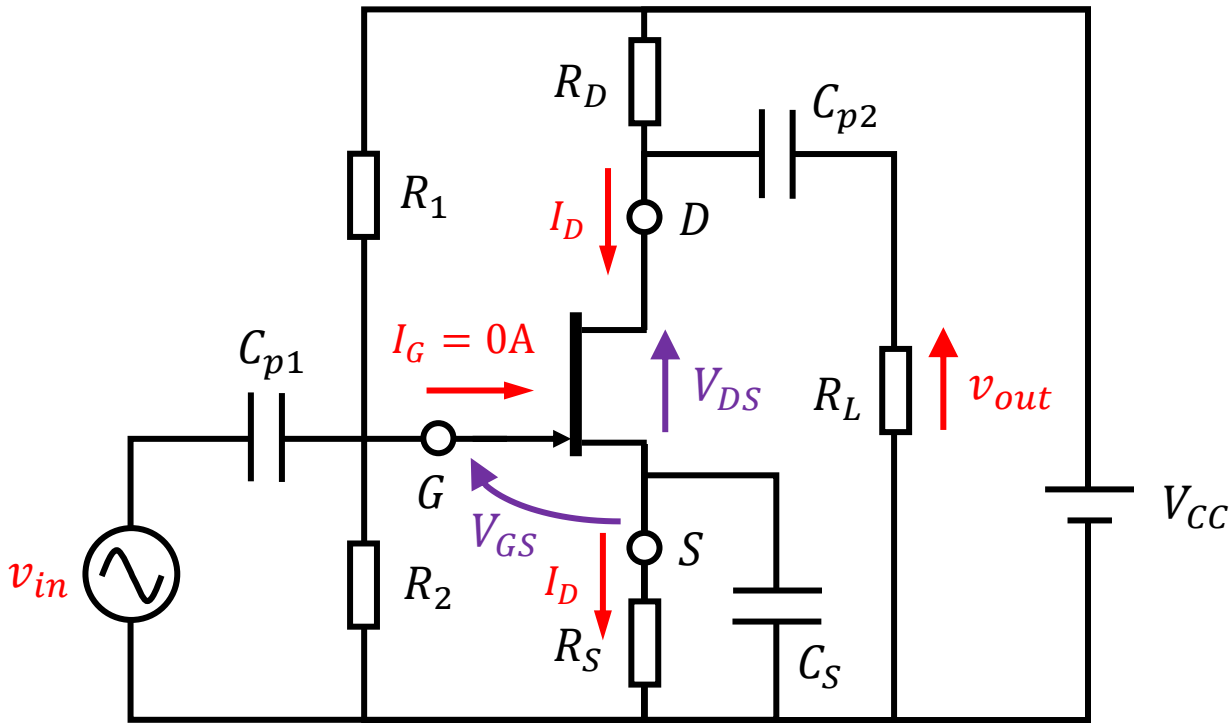
$$V_{CC} = R_D I_D + V_{DS}$$

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

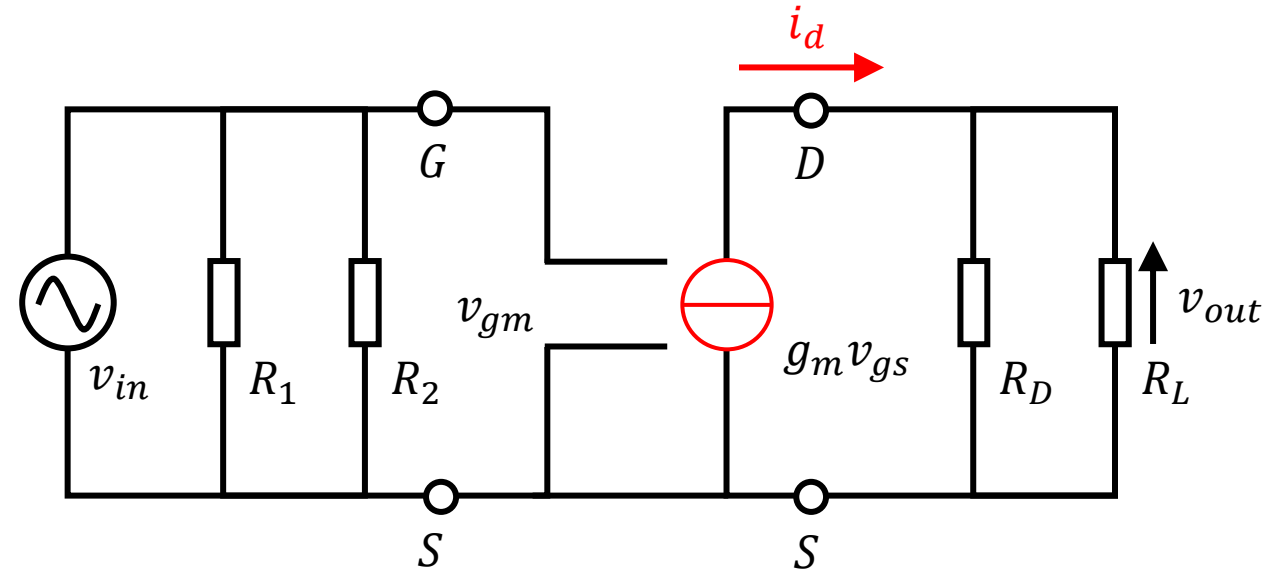
g_m : 相互コンダクタンス
入力電圧 V_{GS} に対する出力電流 I_D の増幅率を表す

トランジスタと同じようにFETも $V_{DS} - I_D$ 特性と直流負荷線から動作点を決定することができる

ソース接地増幅回路と交流等価回路



※ I_G, I_D, V_{GS}, V_{DS} は直流成分



H21 問13

問13 図1にソース接地のFET増幅器の静特性に注目した回路を示す。この回路のFETのドレーン-ソース間電圧 V_{DS} とドレーン電流 I_D の特性は、図2に示す。図1の回路において、ゲート-ソース間電圧 $V_{GS} = -0.1$ [V] のとき、ドレーン-ソース間電圧 V_{DS} [V]、ドレーン電流 I_D [mA] の値として、最も近いものを組み合わせたのは次のうちどれか。

ただし、直流電源電圧 $E_2 = 12$ [V]、負荷抵抗 $R = 1.2$ [k Ω] とする。

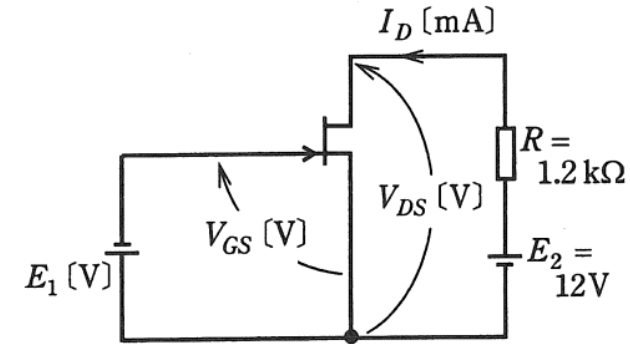


図1

| | V_{DS} | I_D |
|-----|----------|-------|
| (1) | 0.8 | 5.0 |
| (2) | 3.0 | 5.8 |
| (3) | 4.2 | 6.5 |
| (4) | 4.8 | 6.0 |
| (5) | 12 | 8.4 |

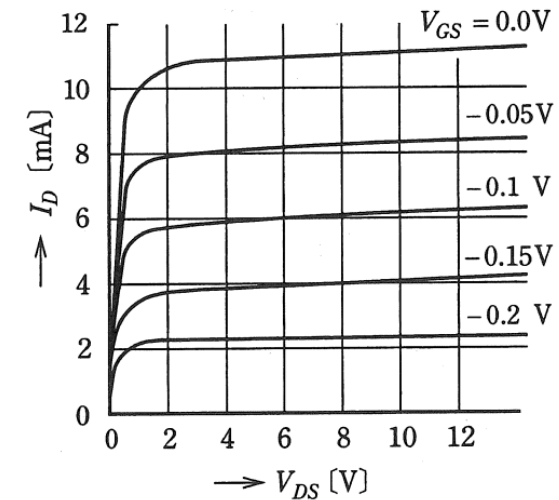


図2

導出のポイント

問13 図1にソース接地のFET増幅器の静特性に注目した回路を示す。この回路のFETのドレーン-ソース間電圧 V_{DS} とドレーン電流 I_D の特性は、図2に示す。図1の回路において、ゲート-ソース間電圧 $V_{GS} = -0.1$ [V] のとき、ドレーン-ソース間電圧 V_{DS} [V]、ドレーン電流 I_D [mA] の値として、最も近いものを組み合わせたのは次のうちどれか。

ただし、直流電源電圧 $E_2 = 12$ [V]、負荷抵抗 $R = 1.2$ [k Ω] とする。

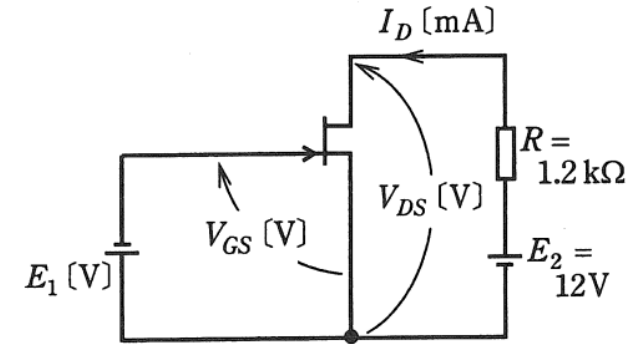


図1

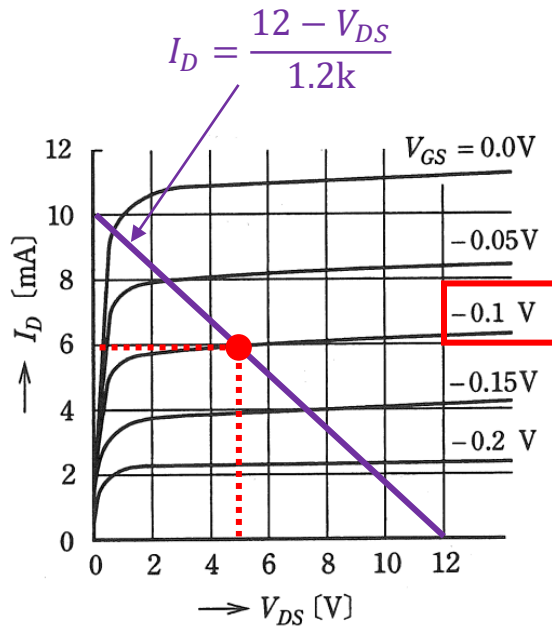


図2

$$E_2 = RI_D + V_{DS}$$

$$I_D = \frac{E_2 - V_{DS}}{R} = \frac{12 - V_{DS}}{1.2k}$$

直流負荷線と $I_D - V_{DS}$ 特性の交点より

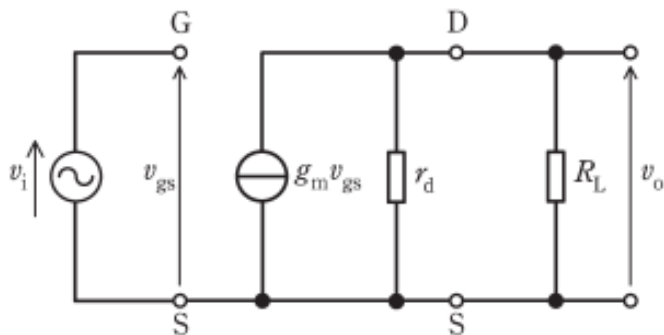
$$V_{DS} = 4.8 \text{ V}$$

$$I_D = 6 \text{ mA}$$

| | V_{DS} | I_D |
|-----|----------|-------|
| (1) | 0.8 | 5.0 |
| (2) | 3.0 | 5.8 |
| (3) | 4.2 | 6.5 |
| (4) | 4.8 | 6.0 |
| (5) | 12 | 8.4 |

R03 問13

問13 図は、電界効果トランジスタ(FET)を用いたソース接地増幅回路の簡易小信号交流等価回路である。この回路の電圧増幅度 $A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right|$ を近似する式として、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、図中のS、G、Dはそれぞれソース、ゲート、ドレインであり、 v_i [V]、 v_o [V]、 v_{gs} [V]は各部の電圧、 g_m [S]はFETの相互コンダクタンスである。また、抵抗 r_d [Ω]は抵抗 R_L [Ω]に比べて十分大きいものとする。



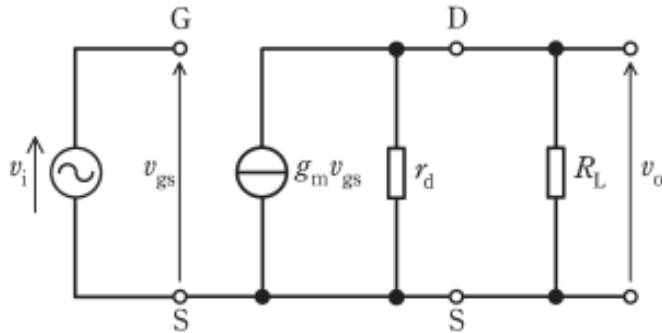
- (1) $g_m R_L$ (2) $g_m r_d$ (3) $g_m (R_L + r_d)$ (4) $\frac{g_m r_d}{R_L}$ (5) $\frac{g_m R_L}{R_L + r_d}$

導出のポイント

問 13 図は、電界効果トランジスタ (FET) を用いたソース接地増幅回路の簡易小信号交流等価回路である。この回路の電圧増幅度 $A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right|$ を近似する式として、正しいものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。ただし、図中の S, G, D はそれぞれソース、ゲート、ドレインであり、 v_i [V]、 v_o [V]、 v_{gs} [V] は各部の電圧、 g_m [S] は FET の相互コンダクタンスである。また、抵抗 r_d [Ω] は抵抗 R_L [Ω] に比べて十分大きいものとする。

号交流等価回路である。この回路の電圧増幅度 $A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right|$ を近似する式として、

正しいものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。ただし、図中の S, G, D はそれぞれソース、ゲート、ドレインであり、 v_i [V]、 v_o [V]、 v_{gs} [V] は各部の電圧、 g_m [S] は FET の相互コンダクタンスである。また、抵抗 r_d [Ω] は抵抗 R_L [Ω] に比べて十分大きいものとする。



$$v_o = g_m v_{gs} \times \left(\frac{r_d R_L}{r_d + R_L} \right) \sim g_m v_{gs} R_L$$

$$v_i = v_{gs}$$

$$A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \left| \frac{g_m v_{gs} R_L}{v_{gs}} \right| = g_m R_L$$

- (1) $g_m R_L$ (2) $g_m r_d$ (3) $g_m (R_L + r_d)$ (4) $\frac{g_m r_d}{R_L}$ (5) $\frac{g_m R_L}{R_L + r_d}$

H24 問18

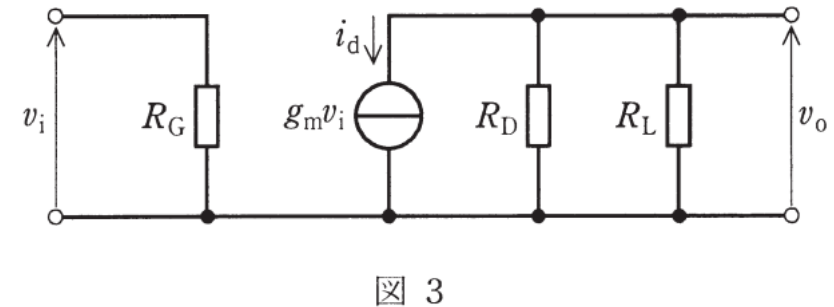
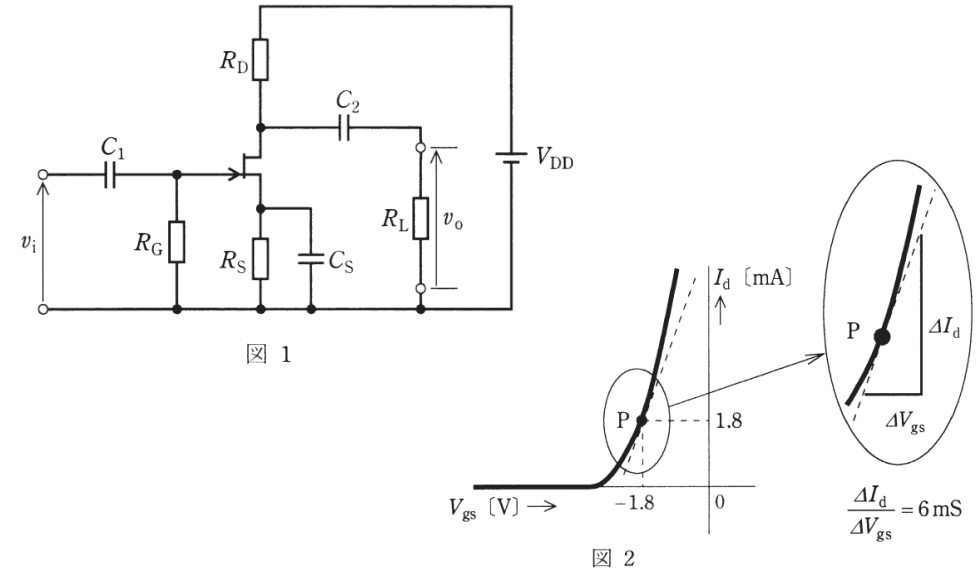
問18 図1は、飽和領域で動作する接合形FETを用いた増幅回路を示し、図中の v_i 並びに v_o はそれぞれ、入力と出力の小信号交流電圧[V]を表す。また、図2は、その増幅回路で使用するFETのゲート-ソース間電圧 V_{gs} [V]に対するドレーン電流 I_d [mA]の特性を示している。抵抗 $R_G = 1$ [M Ω]、 $R_D = 5$ [k Ω]、 $R_L = 2.5$ [k Ω]、直流電源電圧 $V_{DD} = 20$ [V]とすると、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) FETの動作点が図2の点Pとなる抵抗 R_S [k Ω]の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 0.1 (2) 0.3 (3) 0.5 (4) 1 (5) 3

(b) 図2の特性曲線の点Pにおける接線の傾きを読むことで、FETの相互コンダクタンスが $g_m = 6$ [mS]であるとわかる。この値を用いて、増幅回路の小信号交流等価回路をかくと図3となる。ここで、コンデンサ C_1 、 C_2 、 C_S のインピーダンスが使用する周波数で十分に小さいときを考えており、FETの出力インピーダンスが R_D [k Ω]や R_L [k Ω]より十分大きいとしている。この増幅回路の電圧増幅度 $A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right|$ の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 10 (2) 30 (3) 50 (4) 100 (5) 300



導出のポイント

問18 図1は、飽和領域で動作する接合形FETを用いた増幅回路を示し、図中の v_i 並びに v_o はそれぞれ、入力と出力の小信号交流電圧[V]を表す。また、図2は、その増幅回路で使用するFETのゲート-ソース間電圧 V_{gs} [V]に対するドレーン電流 I_d [mA]の特性を示している。抵抗 $R_G = 1$ [M Ω]、 $R_D = 5$ [k Ω]、 $R_L = 2.5$ [k Ω]、直流電源電圧 $V_{DD} = 20$ [V]とすると、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) FETの動作点が図2の点Pとなる抵抗 R_S [k Ω]の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

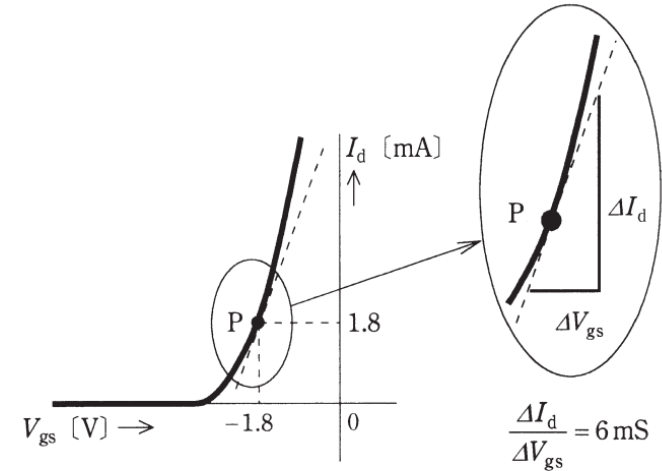


図2

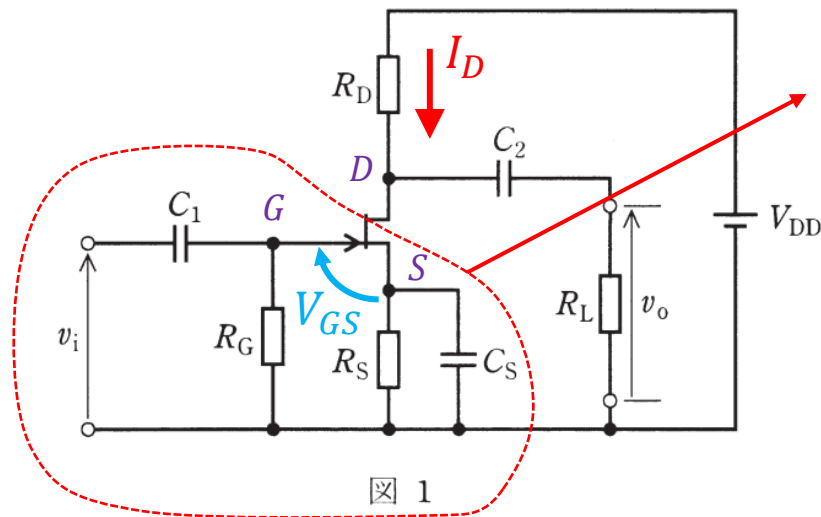
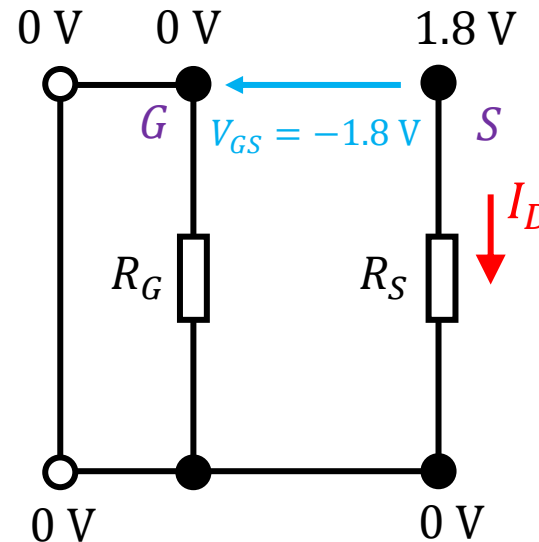


図1



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

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

$$1.8 \text{ V} = R_S I_D = R_S \times 1.8 \text{ mA}$$

$$R_S = \frac{1.8}{1.8 \text{ m}} = 1 \text{ k}\Omega$$

導出のポイント

(b) 図2の特性曲線の点Pにおける接線の傾きを読むことで、FETの相互コンダクタンスが $g_m = 6$ [mS] であるとわかる。この値を用いて、増幅回路の小信号交流等価回路をかくと図3となる。ここで、コンデンサ C_1 , C_2 , C_S のインピーダンスが使用する周波数で十分に小さいときを考えており、FETの出力インピーダンスが R_D [k Ω] や R_L [k Ω] より十分大きいとしている。この増幅回路の電圧増幅度 $A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right|$ の値として、最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

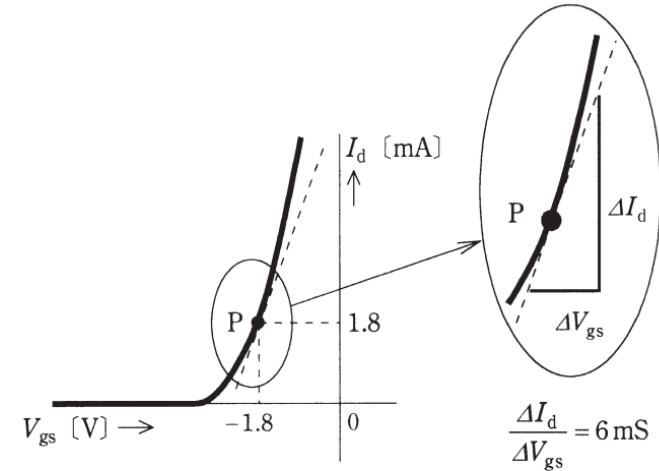


図 2

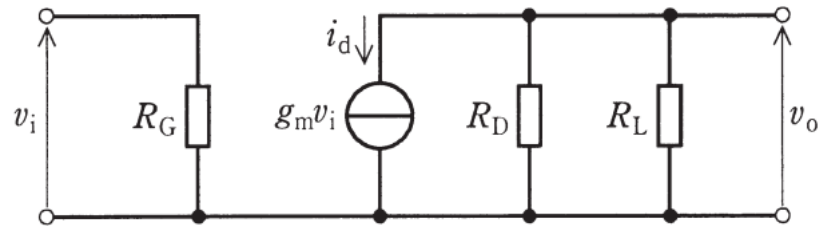


図 3

$$R_D = 5 \text{ k}\Omega$$

$$R_L = 2.5 \text{ k}\Omega$$

$$v_o = -g_m v_{gs} \times \left(\frac{R_D R_L}{R_D + R_L} \right) \sim -g_m v_{gs} \frac{R_D R_L}{R_D + R_L}$$

$$v_i = v_{gs}$$

$$A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \left| \frac{-g_m v_{gs} \frac{R_D R_L}{R_D + R_L}}{v_{gs}} \right| = g_m \frac{R_D R_L}{R_D + R_L}$$

$$= 6 \text{ m} \times \frac{5 \text{ k} \times 2.5 \text{ k}}{5 \text{ k} + 2.5 \text{ k}} = 10$$

H24 問18

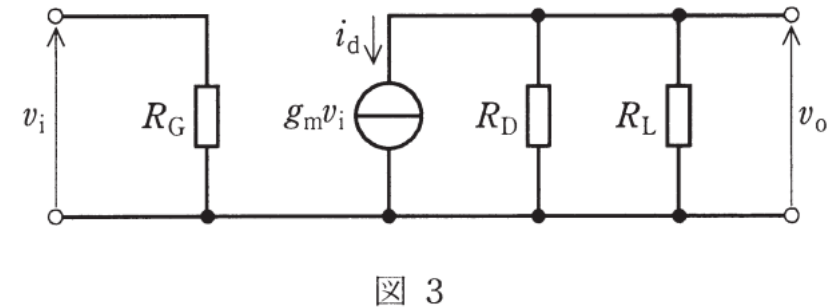
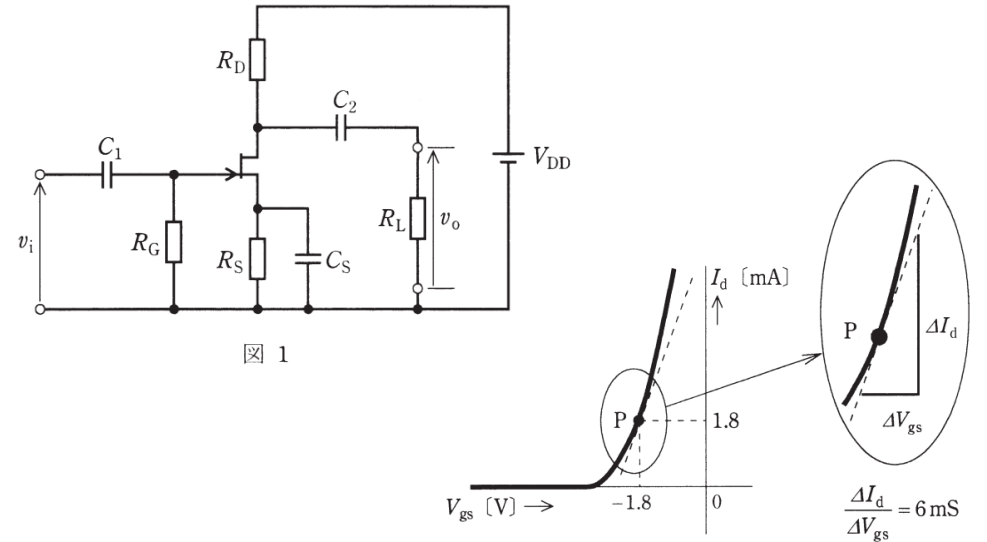
問18 図1は、飽和領域で動作する接合形FETを用いた増幅回路を示し、図中の v_i 並びに v_o はそれぞれ、入力と出力の小信号交流電圧[V]を表す。また、図2は、その増幅回路で使用するFETのゲート-ソース間電圧 V_{gs} [V]に対するドレーン電流 I_d [mA]の特性を示している。抵抗 $R_G = 1$ [M Ω]、 $R_D = 5$ [k Ω]、 $R_L = 2.5$ [k Ω]、直流電源電圧 $V_{DD} = 20$ [V]とすると、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) FETの動作点が図2の点Pとなる抵抗 R_S [k Ω]の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 0.1 (2) 0.3 (3) 0.5 (4) 1 (5) 3

(b) 図2の特性曲線の点Pにおける接線の傾きを読むことで、FETの相互コンダクタンスが $g_m = 6$ [mS]であるとわかる。この値を用いて、増幅回路の小信号交流等価回路をかくと図3となる。ここで、コンデンサ C_1 、 C_2 、 C_S のインピーダンスが使用する周波数で十分に小さいときを考えており、FETの出力インピーダンスが R_D [k Ω]や R_L [k Ω]より十分大きいとしている。この増幅回路の電圧増幅度 $A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right|$ の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 10 (2) 30 (3) 50 (4) 100 (5) 300

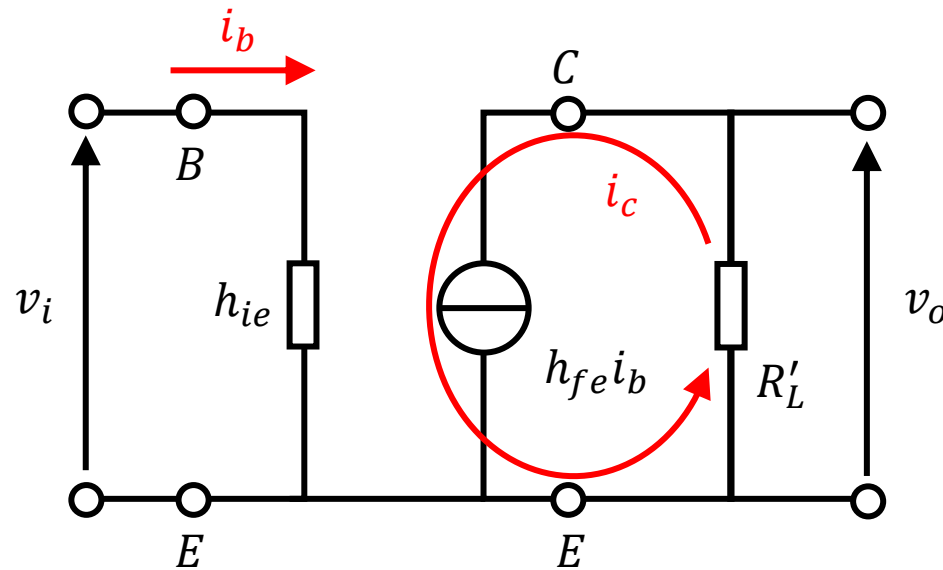
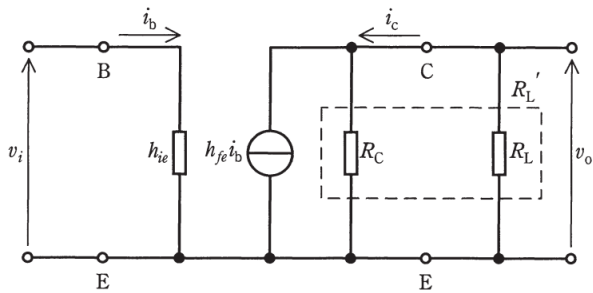


ご聴講ありがとうございました!!

導出のポイント

問13 図は、エミッタ(E)を接地したトランジスタ増幅回路の簡易小信号等価回路である。この回路においてコレクタ抵抗 R_C と負荷抵抗 R_L の合成抵抗が $R_L' = 1\text{k}\Omega$ のとき、電圧利得は 40 dBであった。入力電圧 $v_i = 10\text{mV}$ を加えたときにベース(B)に流れる入力電流 i_b の値 [μA] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、 v_o は合成抵抗 R_L' の両端における出力電圧、 i_c はコレクタ(C)に流れる出力電流、 h_{ie} はトランジスタの入力インピーダンスであり、小信号電流増幅率 $h_{fe} = 100$ とする。



$$A_v[\text{dB}] = 40 = 20 \log_{10}|A_v|$$

$$\log_{10}|A_v| = 2 \rightarrow |A_v| = 10^2 = 100$$

$$|A_v| = \left| \frac{v_o}{v_i} \right|$$

$$v_o = -R_L' h_{fe} i_b$$

$$|A_v| = \left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \left| \frac{-R_L' h_{fe} i_b}{v_i} \right| = \frac{R_L' h_{fe} i_b}{v_i}$$

$$100 = \frac{1\text{k} \times 100 \times i_b}{10\text{m}}$$

$$i_b = \frac{10\text{m}}{1\text{k} \times 100} \times 100 = 10 \times 10^{-6}$$

$$\therefore i_b = 10 \mu\text{A}$$