

# 補足説明

質問：教科書ではトランジスタの特性としてアーリ電圧が出てきますが、これは何で、どのように使用しますか。

電気電子コースの講義では説明しませんでした。MOSFETでは飽和領域の $I_D$ - $V_{DS}$ 特性、BJTでは活性領域の $I_C$ - $V_{CE}$ 特性に表れるパラメータ $V_A$ です。（次式では、 $V_{CE(sat)}$ 、 $V_{OV}$ を無視）

BJT

$$I_C = I_S e^{\frac{q}{kT} V_{BE}} \left( 1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right)$$

MOSFET

$$I_D = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \left( 1 + \frac{V_{DS}}{V_A} \right)$$

両トランジスタの活性領域または飽和領域において、電流 $I_C$ または $I_D$ は、 $V_{CE}$ または $V_{DS}$ に対してほぼ一定であり、電流源としての性質を持っていますが、ベース幅変調(BJT)、チャンネル長変調(MOSFET)という現象のため、電流は完全に一定ではなく、 $V_{CE}$ または $V_{DS}$ に比例して電流値が僅かに増加します（上式のシアンの部分）。この**比例係数の逆数がアーリ電圧 $V_A$** (Early voltage)です。従って、アーリ電圧が大きいほど、 $I_C$ または $I_D$ は理想電流源に近くなります。MOSFETの場合は**チャンネル長変調パラメータ $\lambda$ の逆数**に相当します（ $\lambda = 1/V_A$ ）。直流バイアスの計算では、 $V_A = \infty$ として、 $V_{CE}$ または $V_{DS}$ の項を無視して問題ありませんが、**小信号等価回路の出力コンダクタンス**を求めるときに必要になります（次頁参照）。

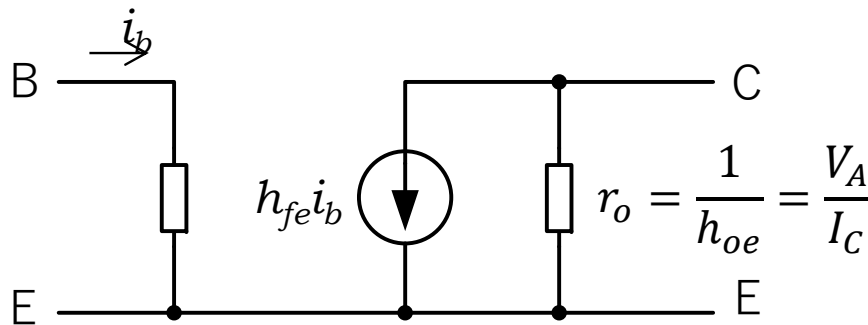
# BJTとMOSFETの出力コンダクタンス

各トランジスタの小信号交流等価回路における、出力コンダクタンスまたは出力抵抗は以下のように求められ、バイアス電流から小信号パラメータを求めるときに必要となります。

BJT

$$I_C = I_S e^{\frac{q}{kT} V_{BE}} \left( 1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right)$$

$$h_{oe} = \frac{dI_C}{dV_{CE}} = I_S e^{\frac{q}{kT} V_{BE}} \frac{1}{V_A} = \frac{\frac{I_C}{V_A}}{1 + \frac{V_{CE}}{V_A}} \approx \frac{I_C}{V_A}$$



MOSFET

$$I_D = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \left( 1 + \frac{V_{DS}}{V_A} \right)$$

$$g_{ds} = \frac{dI_D}{dV_{DS}} = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \frac{1}{V_A} = \frac{\frac{I_D}{V_A}}{1 + \frac{V_{DS}}{V_A}} \approx \frac{I_D}{V_A} = \lambda I_D$$

