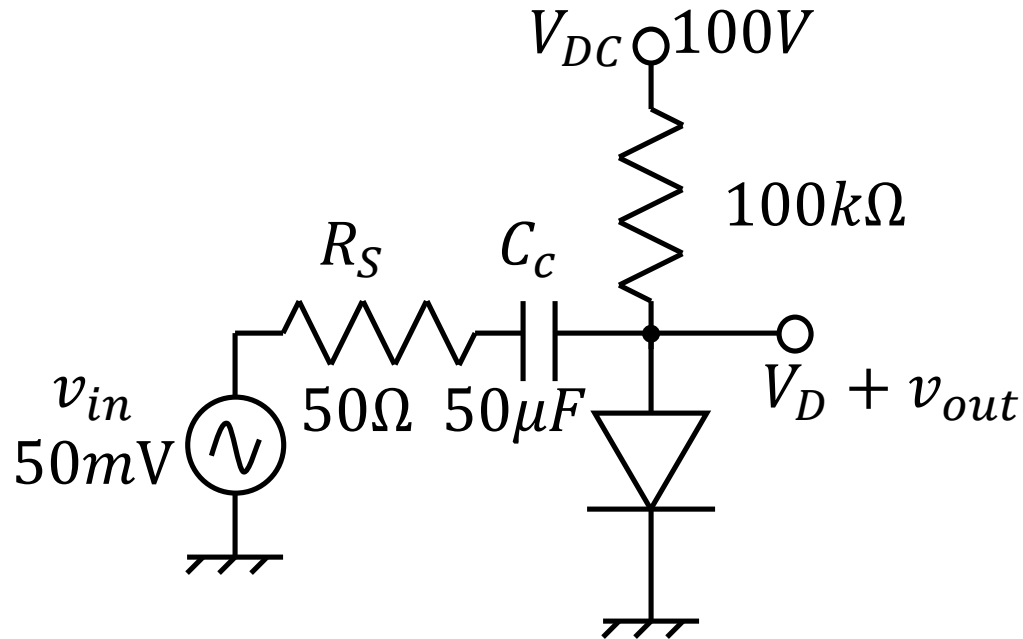


4.半導体ダイオードと 非線形モデリング

半導体ダイオードは

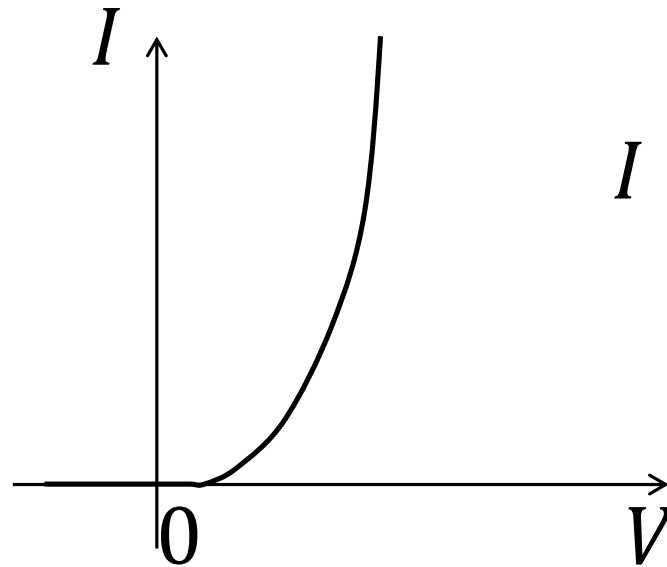
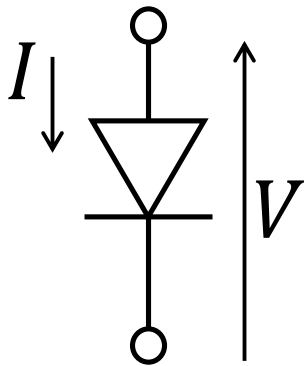
- BJTの基本
- 集積回路に利用
- 非線形素子
 - 大信号モデル
 - 小信号モデル
- 多くの応用

ダイオードを含む回路



- ダイオードの順方向直流電圧降下を $V_D=0.7V$ とするとき v_{out} を求めよ
- 低域遮断周波数を求めよ
- v_{in} が一定のとき v_{out} を変化するための方法を考えよ

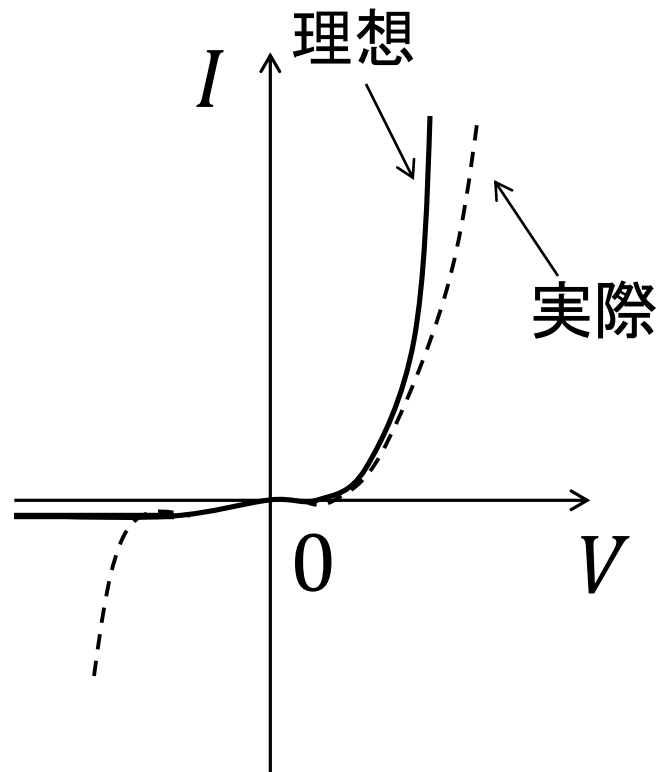
pn接合



$$I = I_S \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

q : 電子の電荷: $1.6021892 \times 10^{-19} C$
 k : ボルツマン定数: $1.38054 \times 10^{-23} J/K$
 T : 絶対温度: K

実際のpn接合ダイオード



ダイオードの静電容量

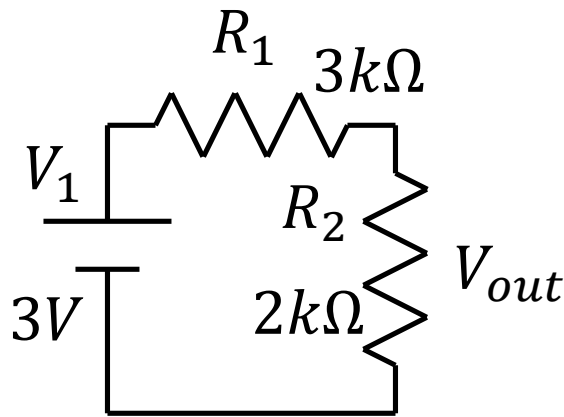
$$C = \frac{dQ}{dV}$$

- 空乏層容量 $C_T = \frac{K_1}{(\psi_0 - V)^m}$
- 拡散容量 $C_D = K_2 I$

の和

非線形モデリング

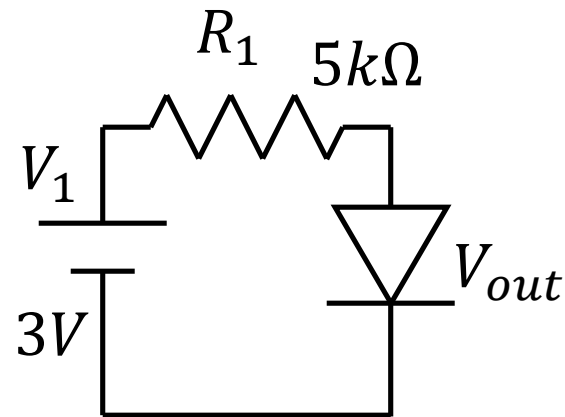
線形回路



$$I = \frac{V_1}{R_1 + R_2} = \frac{3}{5k} = 0.6mA$$

$$V_{out} = IR_2 = 2k \times 0.6m = 1.2V$$

非線形回路



$$I = 10^{-14} \left(e^{\frac{V_{out}}{0.026}} - 1 \right)$$

$$V_1 = IR_1 + V_{out}$$

例えば反復代入により

$$I = 0.47mA$$

$$V_{out} = 0.64V$$

SPICEシミュレーション

DIODE CIRCUIT

V1 1 0 3

RS 1 2 5K

D1 2 0 DIODE

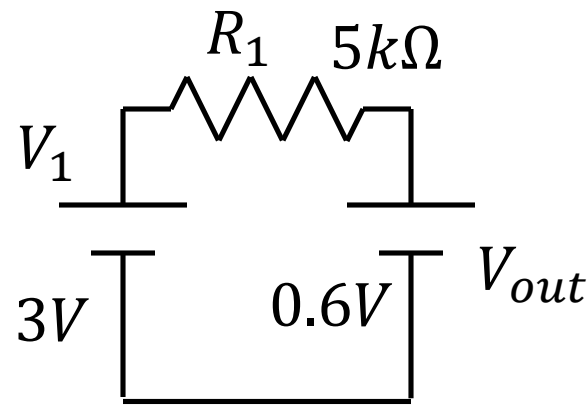
.MODEL DIODE D IS=1.E-14

.PROBE

.END

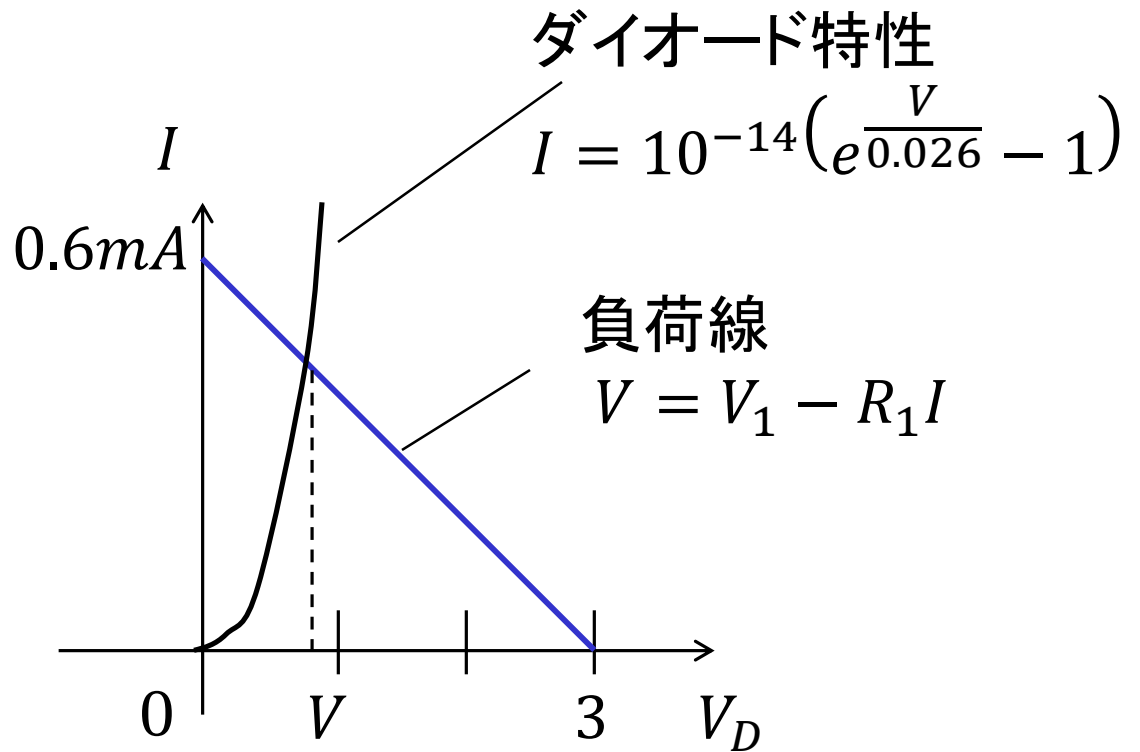
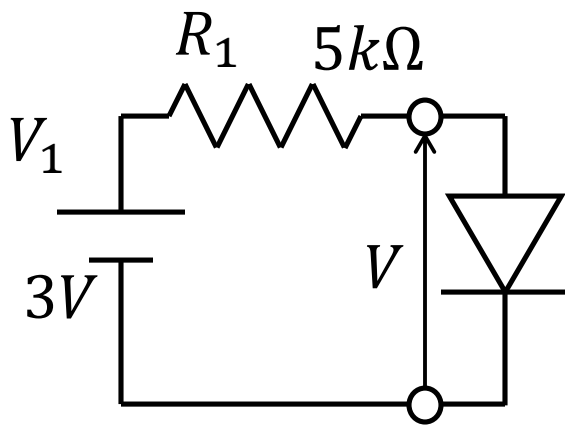
V2=0.6357

順方向ダイオードの単純な線形モデル



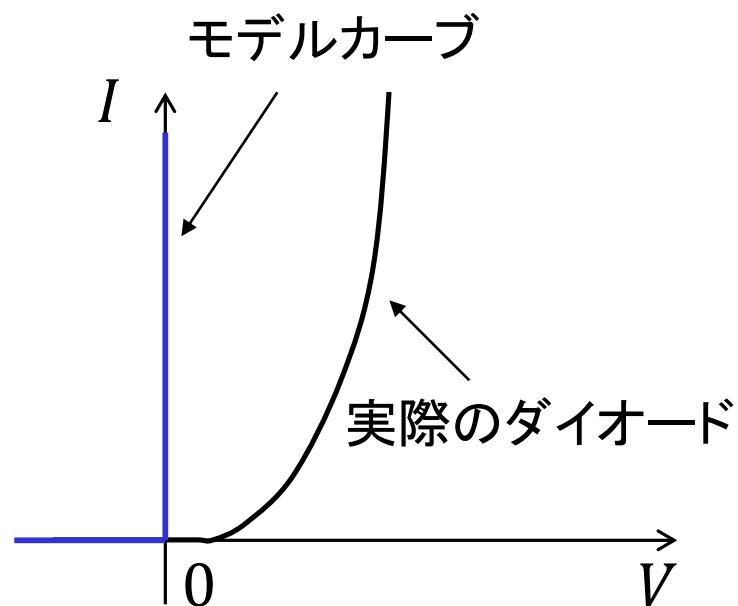
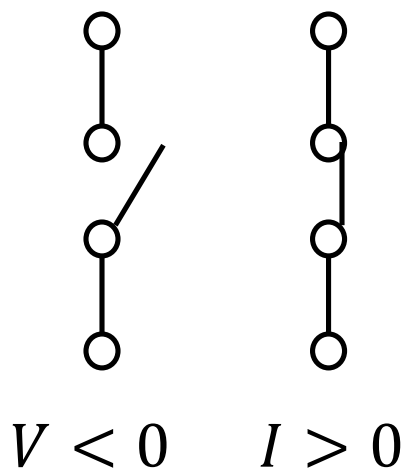
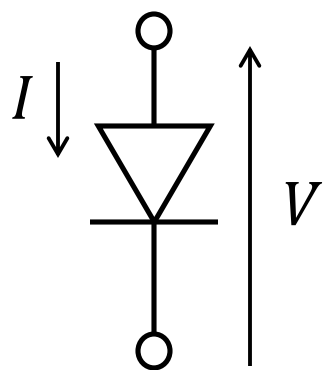
$$I = \frac{V_1 - 0.6}{5k} = 0.48mA$$
$$V_{out} = 0.6V$$

負荷線



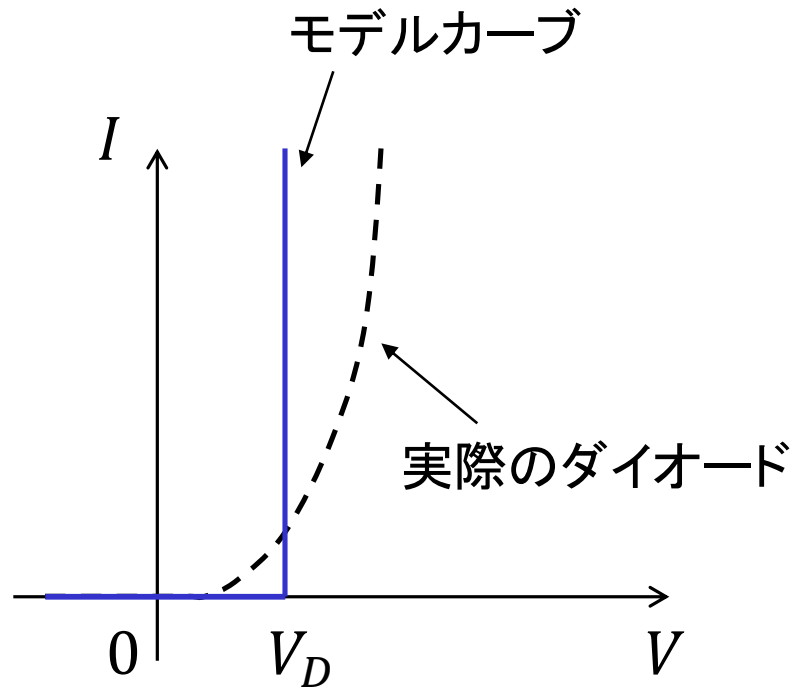
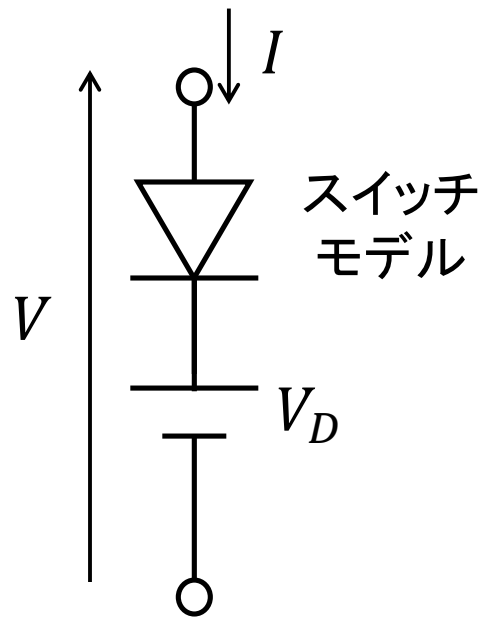
ダイオードモデル(1)

□ モデル



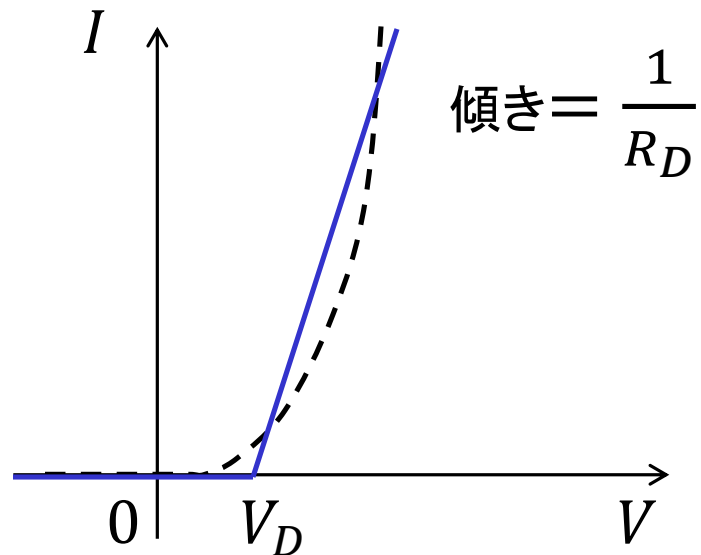
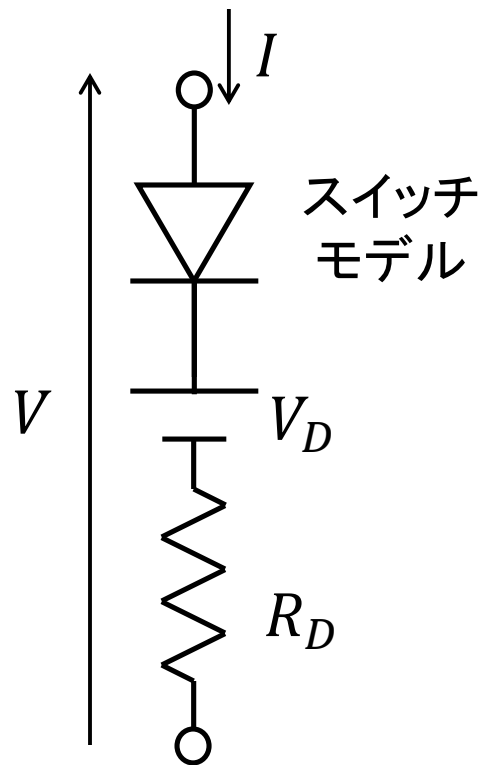
ダイオードモデル(2)

付モデル



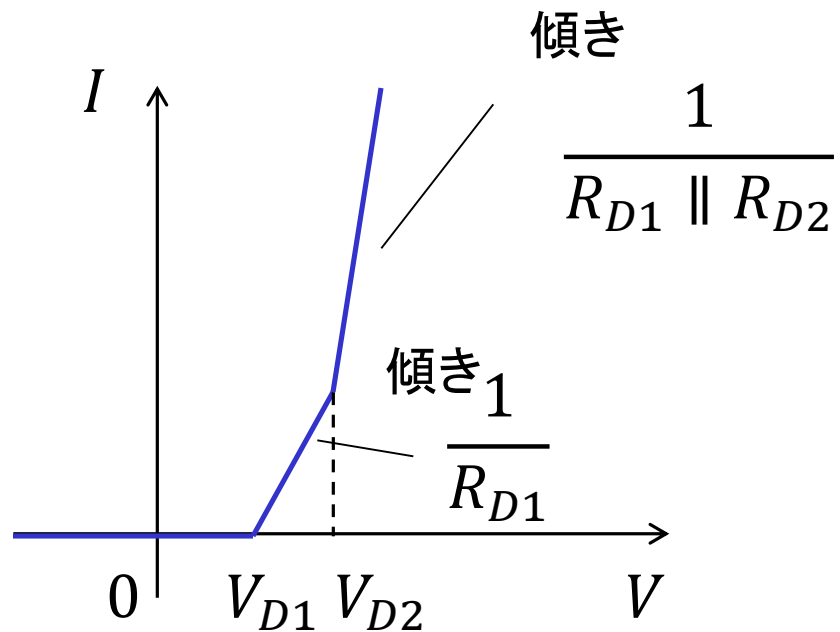
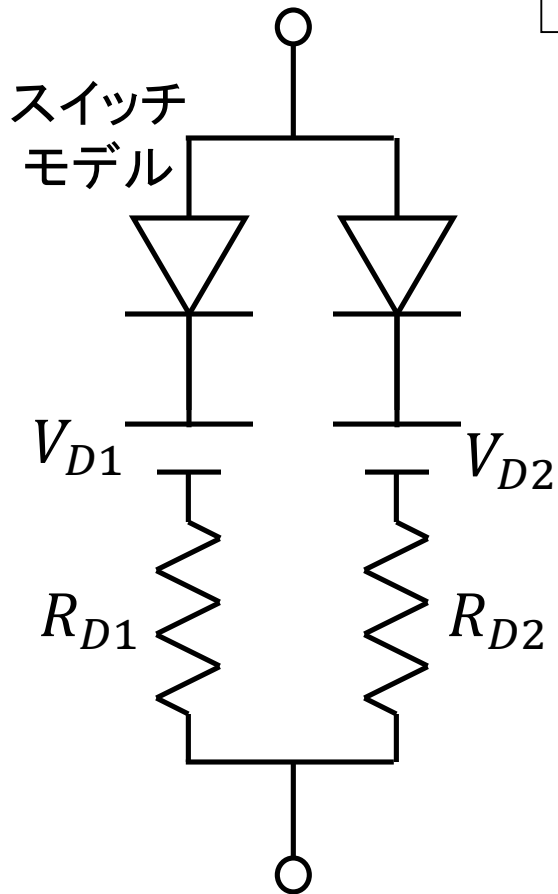
ダイオードモデル(3)

オフセットと有限傾き付 モデル



ダイオードモデル(4)

□モデル

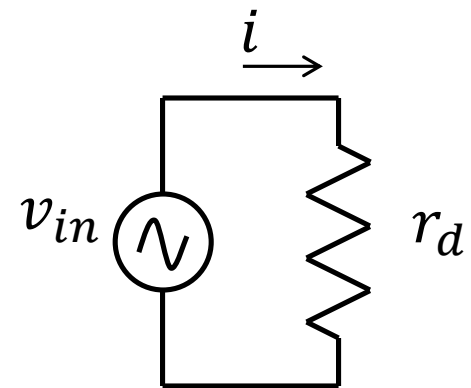
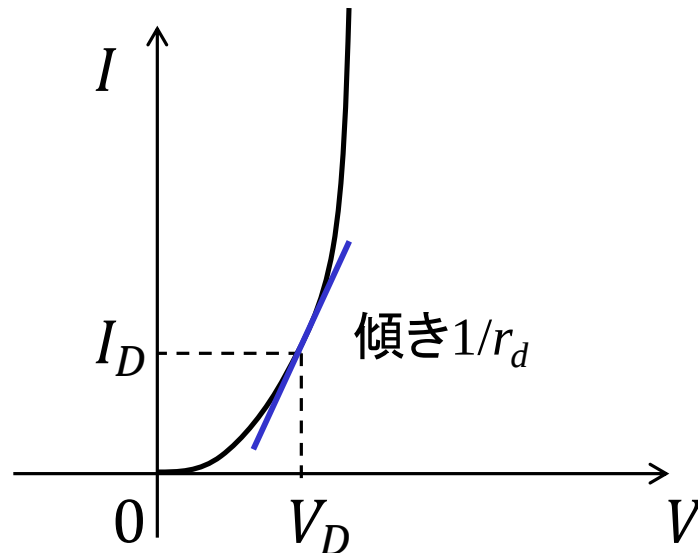
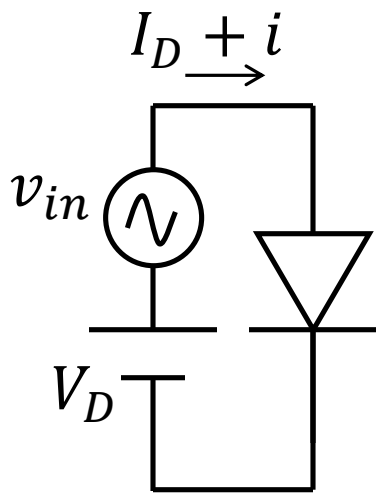


低周波小信号ダイオードモデル

$$I = I_S \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \cong I_S e^{\frac{qV}{kT}} \quad (\text{順方向})$$

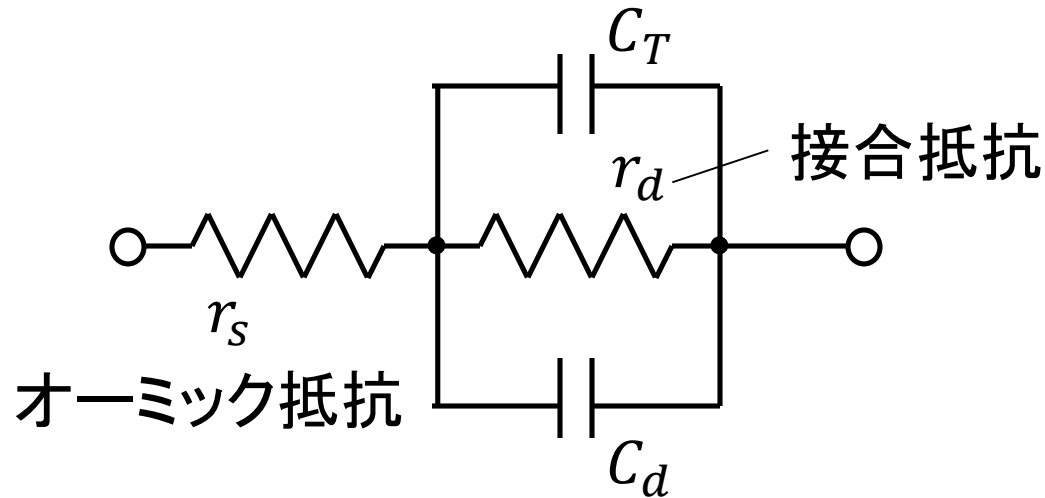
$$\frac{dI}{dV} = \frac{q}{kT} I_S e^{\frac{qV}{kT}} \cong \frac{q}{kT} I$$

$$r_d = \frac{kT}{qI} = \frac{0.026}{I} \quad (\text{常温})$$



小信号等価回路

高周波ダイオードモデル

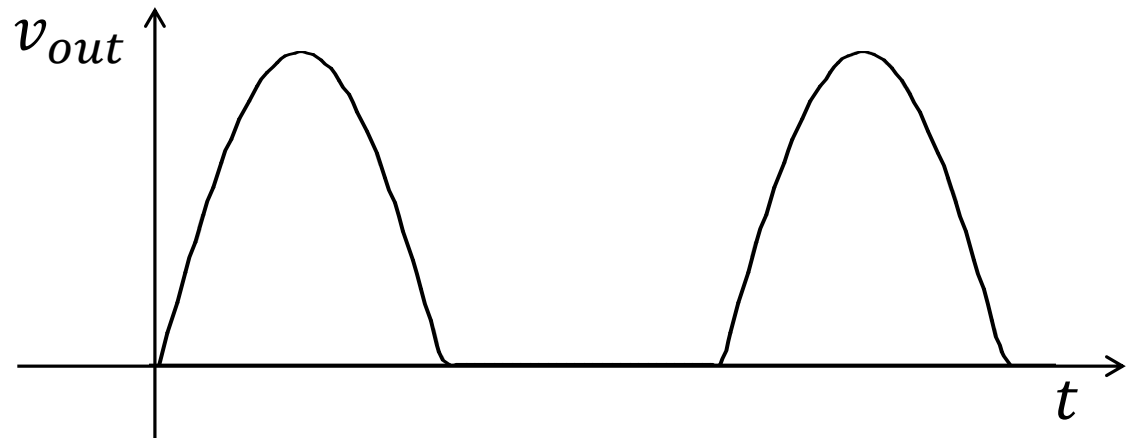
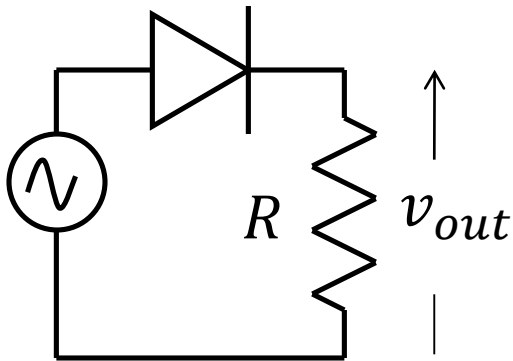


$$\text{空乏層容量 } C_T = \frac{K_1}{(\psi_0 - V)^m}$$

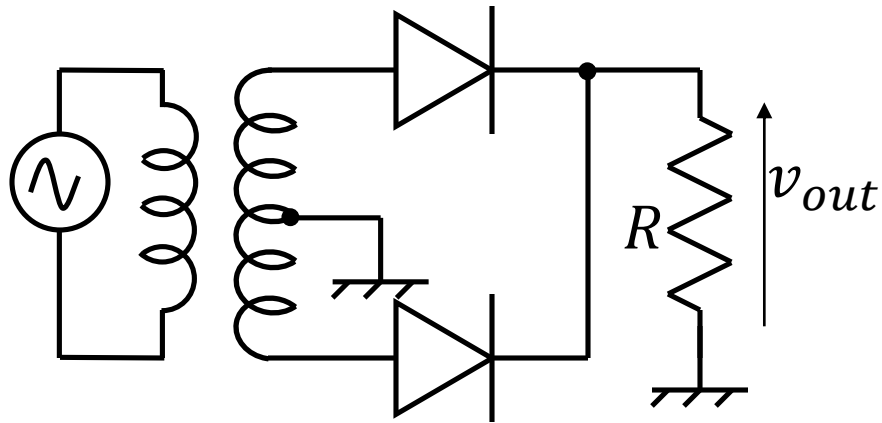
$$\text{拡散容量 } C_d = K_2 I$$

ダイオードの応用 (1) 整流

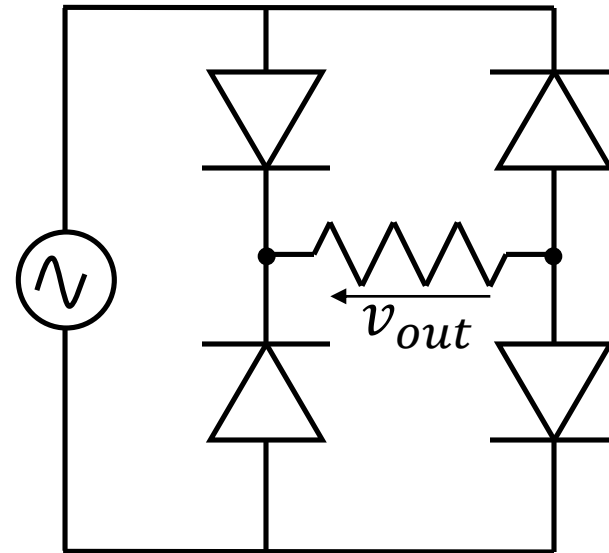
半波整流



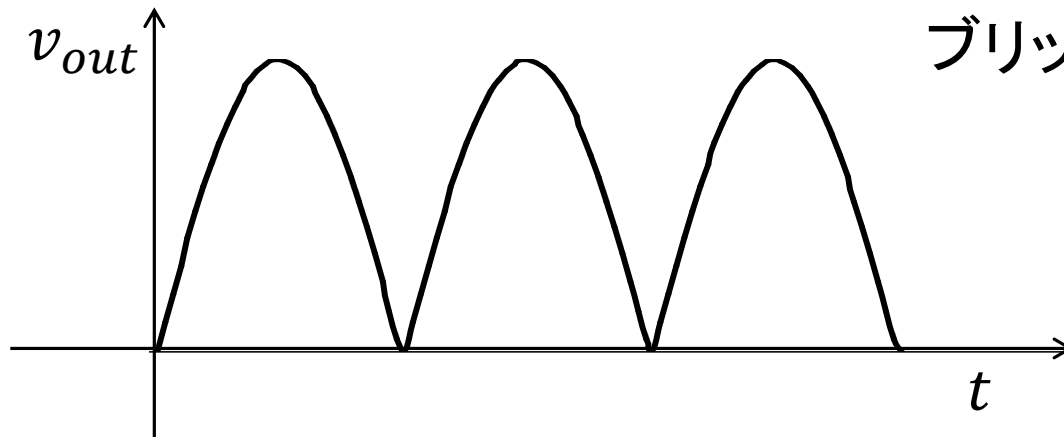
(2)全波整流



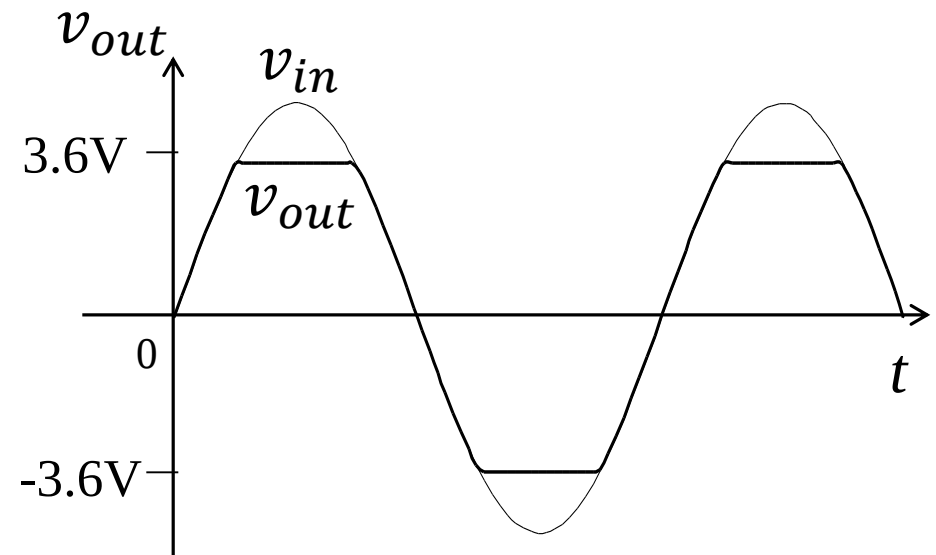
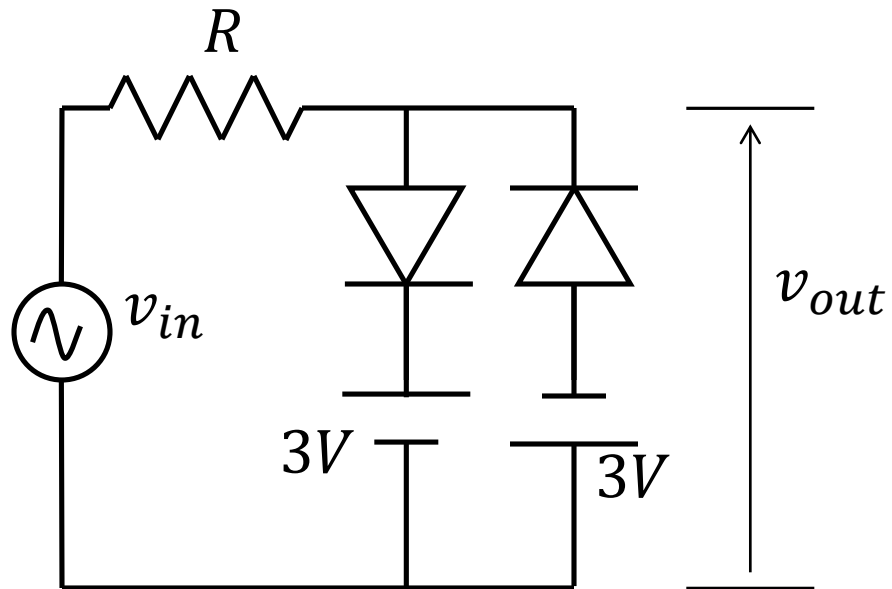
中央タップ付トランス入力型



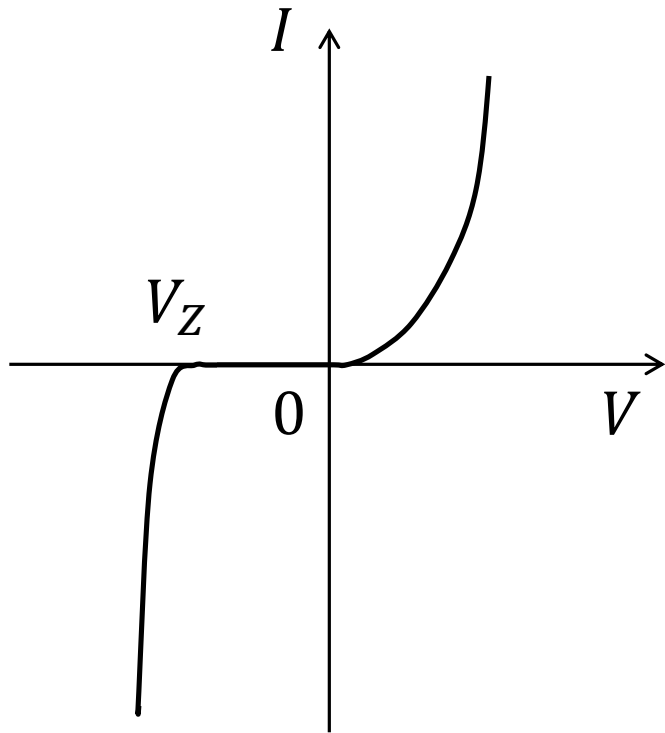
ブリッジ型



(3) クリッピング回路

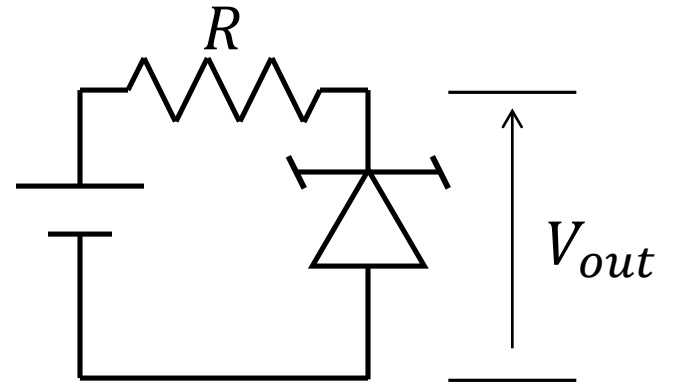


ブレイクダウン



定電圧性

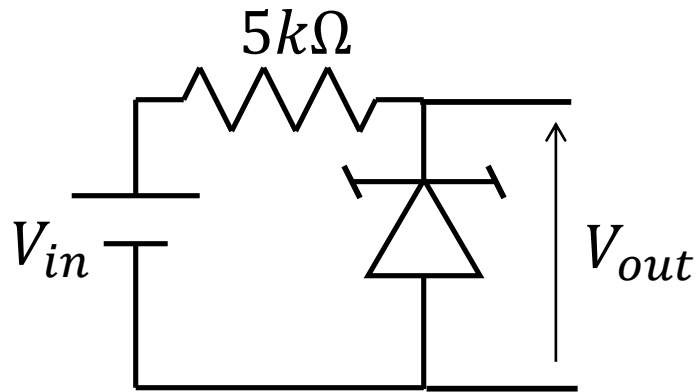
V_Z : 2.6 ~ 200V



次週予告

- MOSFETの構造と動作
- MOSFETのモデル
- MOSFETを用いる増幅回路
- etc.

練習問題

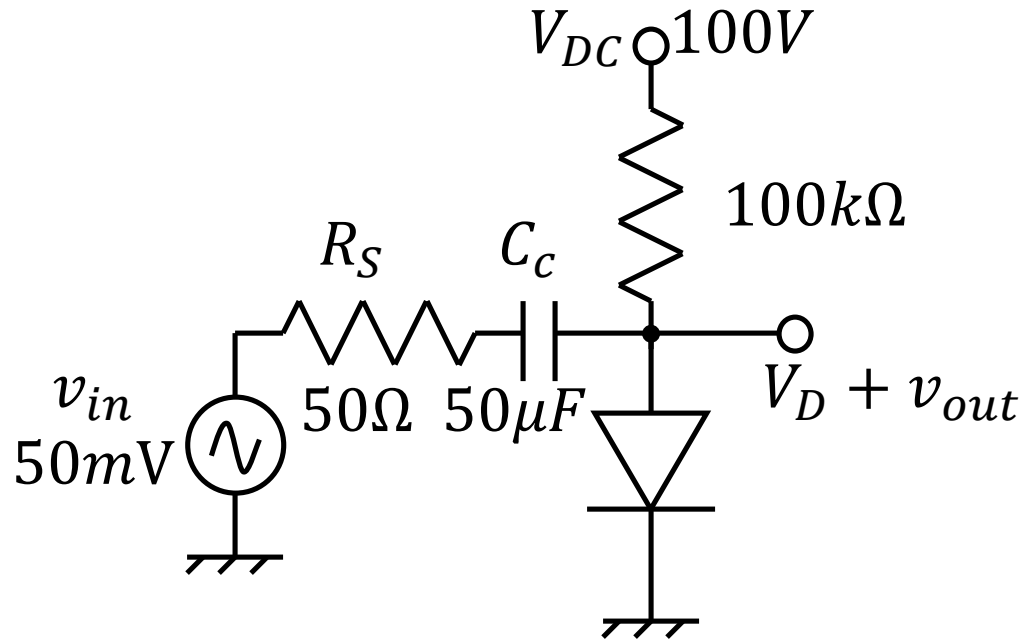


$V_{in} = 10V$ のとき $V_{out} = 6V$ 、
 $V_{in} = 20V$ のとき $V_{out} = 6.1V$ とする
定電圧ダイオードの内部抵抗を求めよ

$$I_1 = \frac{10 - 6}{5k} = 0.8mA, \quad I_2 = \frac{20 - 6.1}{5k} = 2.78mA$$
$$r_Z = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{6.1 - 6}{2.78 - 0.8} = \frac{0.1}{1.98} = 0.051\Omega = 51\Omega$$

この内部抵抗はブレークダウン領域の傾き

宿題4



- ダイオードの順方向直流電圧降下を $V_D = 0.7\text{V}$ とするとき小信号分出力電圧 v_{out} を求めよ
- 低域遮断周波数を求めよ
- v_{in} が一定のとき v_{out} を変化するための方法を考えよ