基本事項（１）

回路方程式

各素子の電流-電圧特性

素子	基となる物理法則	時間領域での表現	ラプラス変数での表現	周波数領域での表現
抵抗	オームの法則	$v(t) = R \cdot i(t)$	$V(s) = R \cdot I(s)$	$V(j\omega) = R \cdot I(j\omega)$
インダクタ	ファラデーの法則	$v(t) = L\dfrac{di(t)}{dt}$	$V(s) = sL \cdot I(s) - Li(0)$	$V(j\omega) = j\omega L \cdot I(j\omega)$
キャパシタ	ガウスの法則	$v(t) = \dfrac{1}{C}\int_0^t i(\tau)d\tau$	$V(s) = \dfrac{1}{sC}I(s) + \dfrac{v(0)}{s}$	$V(j\omega) = \dfrac{1}{j\omega C}I(j\omega)$
半導体デバイス	半導体モデル	I-V特性, C-V特性	小信号パラメータ（小信号等価回路）	小信号パラメータ（小信号等価回路）

ラプラス変換を使うまでもないので → 微分方程式の解法が複雑
充放電特性の解析では使用

過渡応答（初期値あり）
伝達関数（初期値なし）

周波数応答
（定常状態）

キルヒホッフの法則

各素子の電流-電圧特性

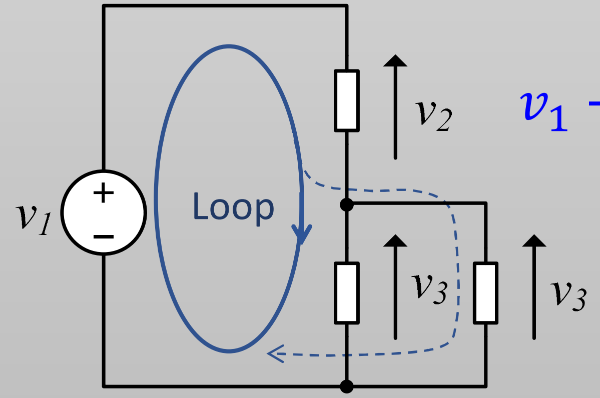
キルヒホッフの電圧法則(KVL)

キルヒホッフの電流法則(KCL)

連立

回路方程式

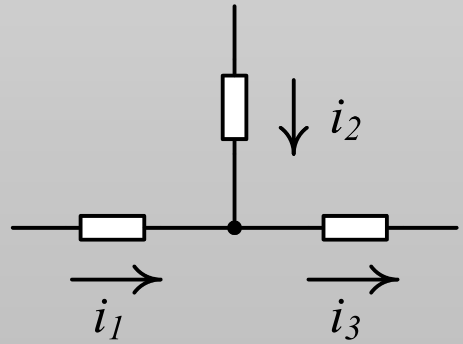
キルヒホッフの電圧法則



$$v_1 - v_2 - v_3 = 0$$

（実線と破線のどちらのループでも成り立つ）

キルヒホッフの電流法則



$$i_1 + i_2 - i_3 = 0$$

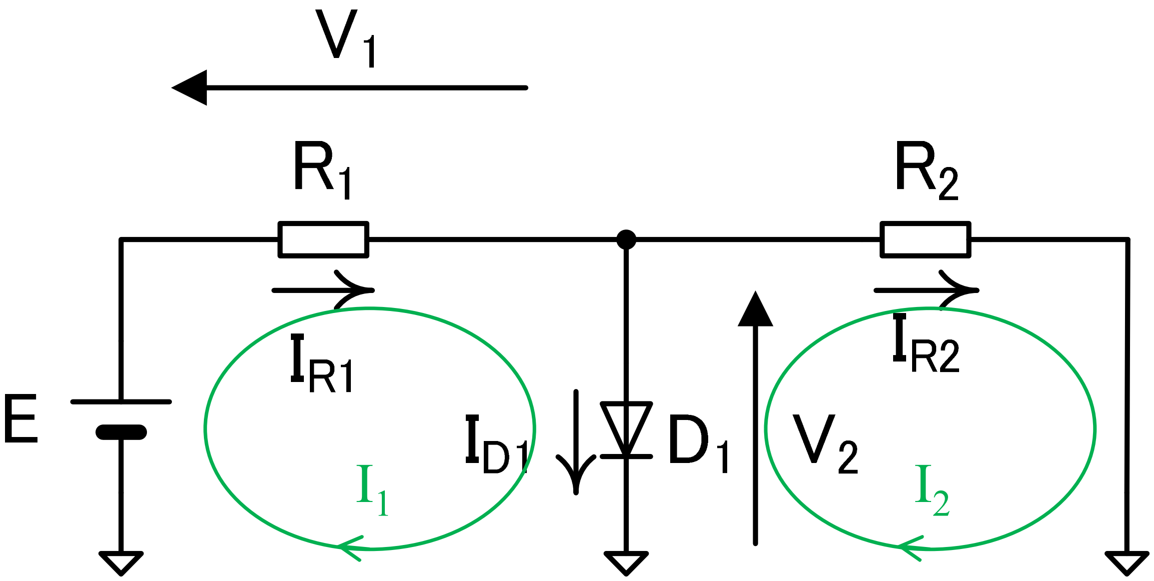
キルヒホッフの法則は、常に成り立つわけではありません。成立条件を把握するために、ガウスの法則とファラデーの法則からキルヒホッフの法則を導出することをおすすめします。

メッシュ電流法と枝電流法

[NOTE] 回路方程式を作成するときに、電流変数として、メッシュ電流（ループ電流）と枝電流を使う方式がある。通常、メッシュ電流を使うと電流変数の数を減らせるため、メッシュ電流を使う人が多いが、電子回路では下記の理由で、枝電流の使用を推奨する。

1. 電流-電圧特性の非線形性
   - 半導体素子は非線形な電流-電圧特性を示すものが多い
   - 非線形な素子では、メッシュ電流の重ね合わせができない（枝電流の計算結果と一致しない）
2. 電流源の端子間電圧は未知変数
   - 半導体素子の等価回路は電流源を含む場合が多い
   - 電流源の端子間電圧が変数になるため、メッシュ電流を使用しても変数の数が減らない

Q1. V_2とI_{D1}に関する回路方程式を求めよ。



$$I_{D1} = I_S(e^{\frac{q}{nkT}V_2} - 1)$$

Branch Current I_{D1}

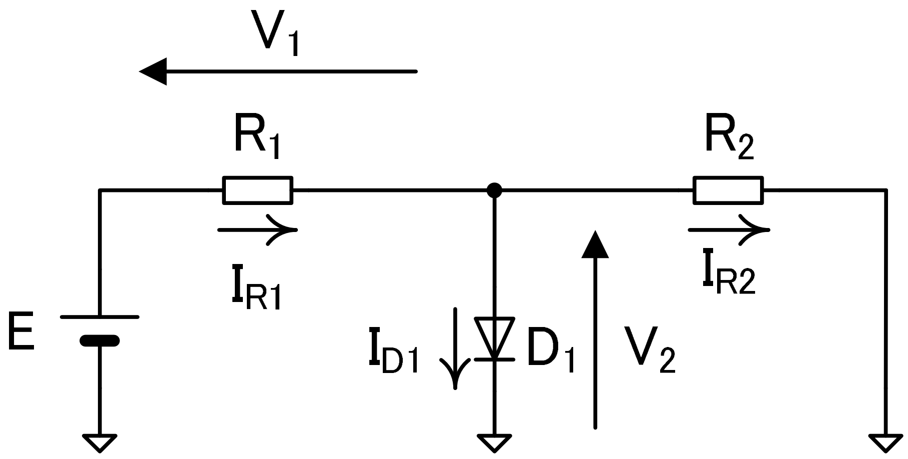
$$V_2 = \frac{nkT}{q}\ln(\frac{I_{D1}}{I_S} + 1)$$

Mesh Currents I_1, I_2

$$V_2 = \frac{nkT}{q}\ln(\frac{I_1 - I_2}{I_S} + 1)$$
$$\neq \frac{nkT}{q}\ln(\frac{I_1}{I_S} + 1) - \frac{nkT}{q}\ln(\frac{-I_2}{I_S} + 1)$$

[NOTE] ダイオードは、非線形特性（電圧と電流が比例しない）を示すため、複数のメッシュ電流により発生する電圧を重ね合わせること（加減算）ができない。

Q1の解答例



各素子のI-V特性

$$
\begin{cases}
V_1 = R_1 \cdot I_{R1} \\
I_{D1} = I_S\left(e^{\frac{q}{nkT}V_2} - 1\right) \\
V_2 = R_2 \cdot I_{R2}
\end{cases}
$$

キルヒホッフの法則

$$
\begin{cases}
I_{R1} - I_{D1} - I_{R2} = 0 \\
E - V_1 - V_2 = 0
\end{cases}
$$

回路方程式

$$
\begin{cases}
E = V_1 + V_2 \\
\frac{1}{R_1}V_1 - \frac{1}{R_2}V_2 - I_S\left(e^{\frac{q}{nkT}V_2} - 1\right) = 0
\end{cases}
$$

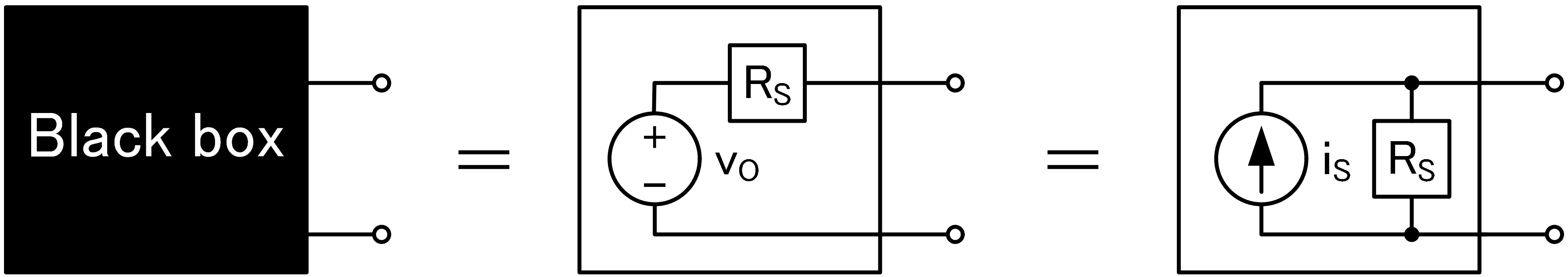
V_1を消去

$$
\begin{cases}
E = \left(\frac{R_1}{R_2} + 1\right)V_2 + R_1 I_S\left(e^{\frac{q}{nkT}V_2} - 1\right) \\
I_{D1} = I_S\left(e^{\frac{q}{nkT}V_2} - 1\right)
\end{cases}
$$

（ただし、このV_2は厳密には解けない）

等価回路の定理

テブナンの定理　　ノートンの定理



内部が線形回路網（または小信号等価回路）

v_O = 開放電圧

i_S = 短絡電流

等価条件：$v_O = R_S i_S$

[NOTE] 複雑な回路を等価回路で簡単化する場合や、電流源と電圧源を等価変換する場合に使用される。直流、交流のどちらでも成り立つが、線形回路（小信号近似）にしか適用できないことに注意。また、R_Sのない理想的な電圧源と電流源は等価変換できない。

Q2. 入力インピーダンスR1、出力インピーダンスR2、出力端子解放時の電圧利得がA_0の増幅回路の動作モデルを電圧制御電流源を用いて表せ。

入出力インピーダンスを考慮した増幅回路の動作モデル