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	$v(t) = \dfrac{1}{C}\displaystyle\int_0^t i(\tau)d\tau$	$V(s) = \dfrac{1}{sC}I(s) + \dfrac{v(0)}{s}$	$V(j\omega) = \dfrac{1}{j\omega C}I(j\omega)$
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）
定常状態応答（初期値なし）

周波数特性

キルヒホッフの法則

各素子の電流-電圧特性

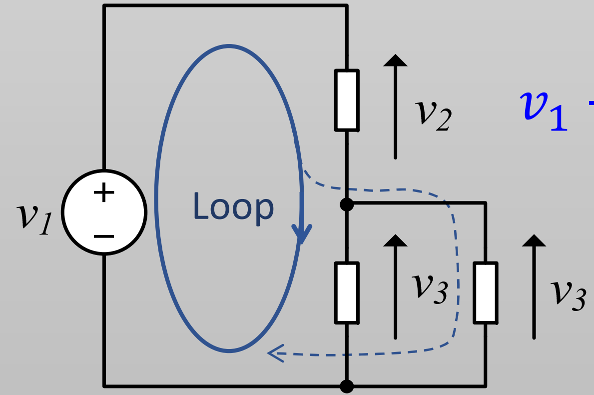
キルヒホッフの電圧法則(KVL)

キルヒホッフの電流法則(KCL)

連立

回路方程式

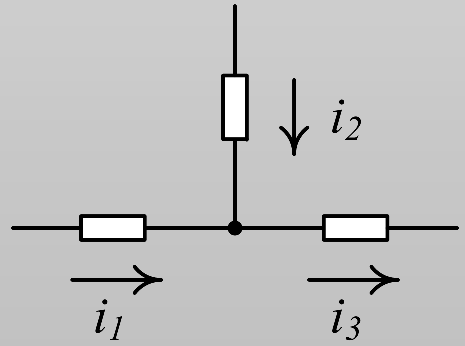
キルヒホッフの電圧法則



$$v_1 - v_2 - v_3 = 0$$

（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



$$i_1 + i_2 - i_3 = 0$$

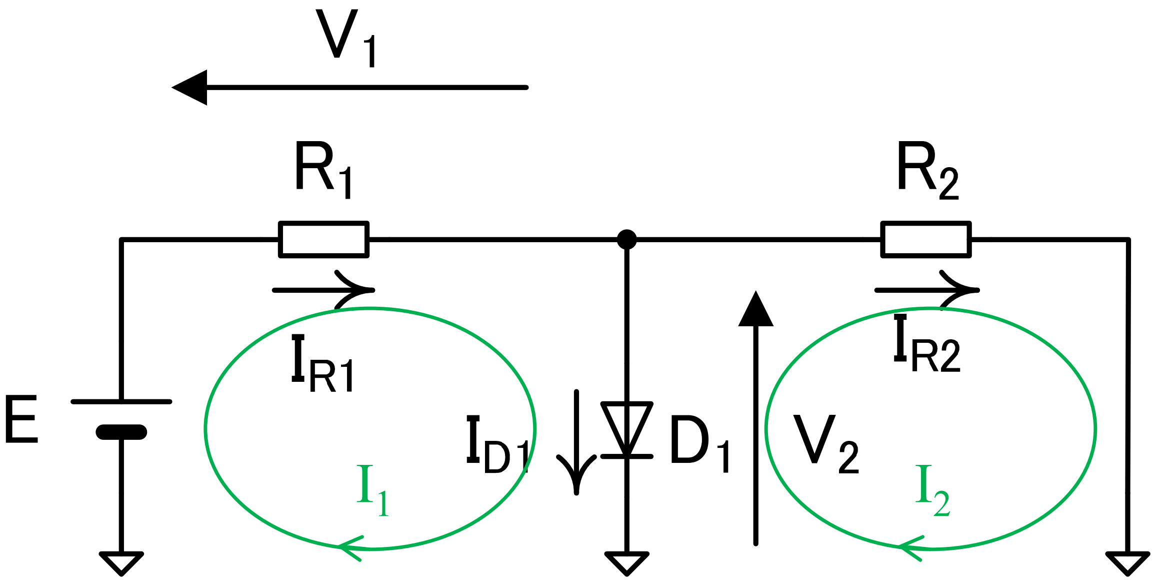
キルヒホッフの法則は、常に成り立つわけではありません。成立条件を把握するために、ガウスの法則とファラデーの法則からキルヒホッフの法則を導出できるようにしておくことをおすすめします。

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}

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

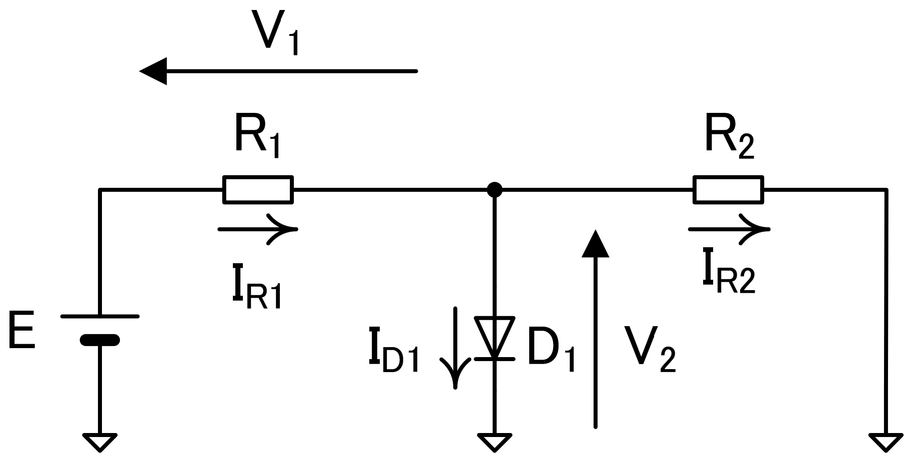
Mesh Currents I_1, I_2

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

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

[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

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

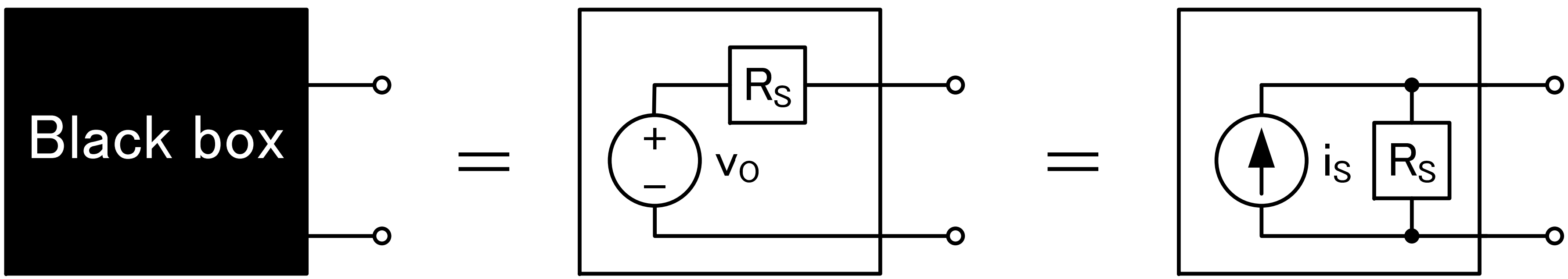
V_1を消去

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

（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