

回路とシステム  
第八回  
1ポート回路  
テブナン・ノートン回路  
舟木 剛  
2023年11月29日2限

# 講義計画

- 回路方程式 1回
  - 節点方程式と閉路方程式
- ラプラス変換による回路解析 1回
- 線形回路の応答 2回
  - 零入力応答(重ね合わせの理、零入力応答の時間応答、漸近安定性)
  - 零状態応答(伝達関数、重ね合わせの理、インパルス応答と合成積、安定伝達関数、周波数応答)
- 1ポート回路 3回
  - テブナン・ノートンの定理
  - 安定性と正実性(開放安定性、短絡安定性、正実関数)
- 2ポート回路 4回
  - 2ポート回路の行列表現
  - 相反2ポート回路
  - 相互接続
  - 分布定数回路の等価回路(T形等価回路、 $\pi$ 形等価回路)
- 状態方程式による回路解析 2回
  - 状態方程式の導出(状態変数、状態方程式、出力方程式)
  - 状態方程式の解(零入力応答、零状態応答)
- 三相交流 1回
  - 平衡三相回路

# テブナン・ノートン変換

- テブナン等価回路の短絡電流

- $I_{sh} = \frac{E_{eq}}{Z_{eq}} = \frac{V_{op}}{Z_{eq}}$

- ノートン等価回路の開放電圧

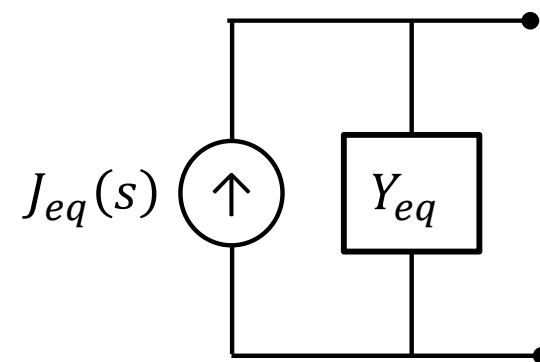
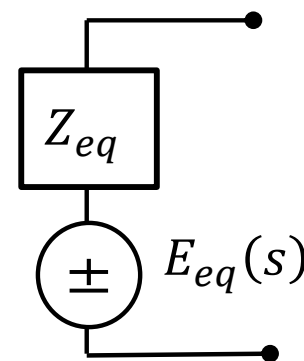
- $V_{op} = \frac{J_{eq}}{Y_{eq}} = \frac{I_{sh}}{Y_{eq}}$

- 等価回路のインピーダンス

- $Z_{eq} = \frac{V_{op}}{I_{sh}}$

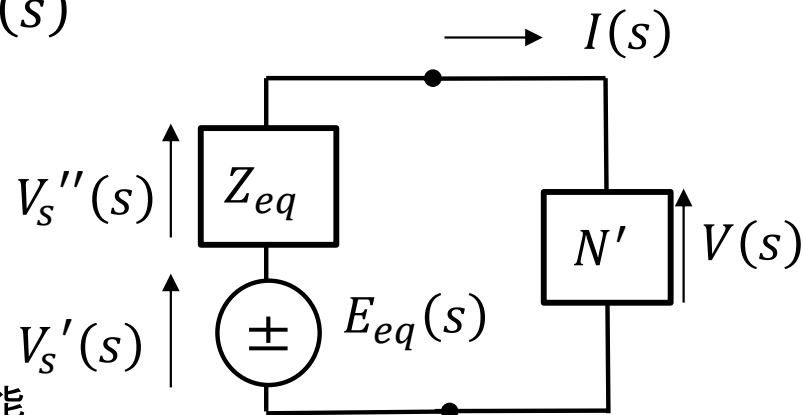
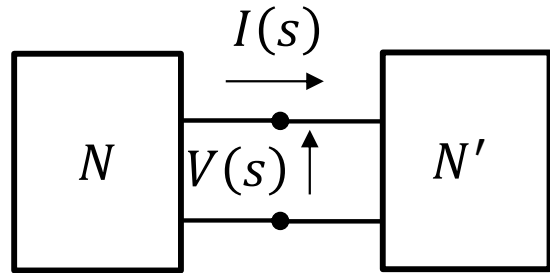
- 等価回路のアドミタンス

- $Y_{eq} = \frac{I_{sh}}{V_{op}}$



# テブナン等価回路

- ポート電圧 $V(s)$ の重ね合わせの理
  - $V(s) = V_s'(s) + V_s''(s) = E_{eq}(s) - Z_{eq}(s)I(s)$ 
    - $V_s'(s)$ :  $N$ の内部電源と初期値で決まる電圧。開放電圧 ( $I(s) = 0$ )
      - $V_s'(s) = V_{op}(s) = E_{eq}(s)$
    - $V_s''(s)$ :  $N$ の内部電源と初期値を0として,  $I(s)$ により決まる電圧
      - $V_s''(s) = -Z_{eq}(s)I(s)$



回路 $N$ のポートに負荷 $N'$ を接続した状態

# ノートン等価回路

- ポート電流 $I(s)$ の重ね合わせの理

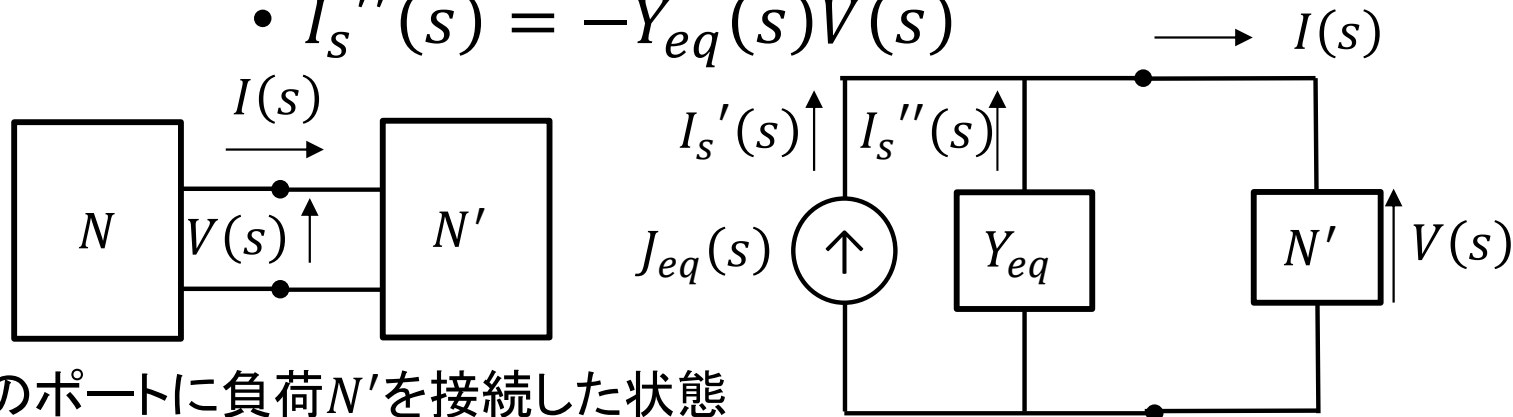
- $I(s) = I_s'(s) + I_s''(s) = J_{eq}(s) - Y_{eq}(s)V(s)$

- $I_s'(s)$ :  $N$ の内部電源と初期値で決まる電流。短絡電流 ( $V(s) = 0$ )

- $I_s'(s) = I_{sh}(s) = J_{eq}(s)$

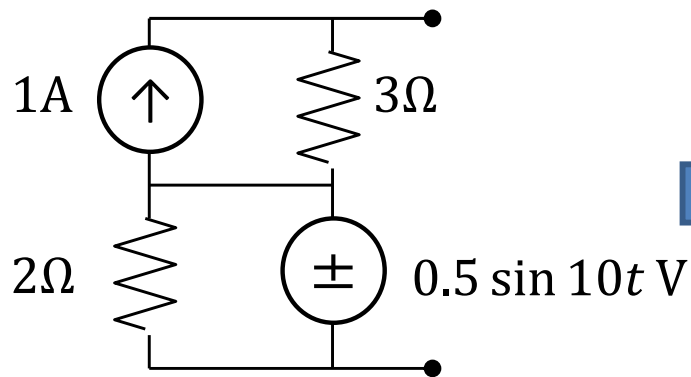
- $I_s''(s)$ :  $N$ の内部電源と初期値を0として,  $V(s)$ により決まる電流

- $I_s''(s) = -Y_{eq}(s)V(s)$



回路 $N$ のポートに負荷 $N'$ を接続した状態

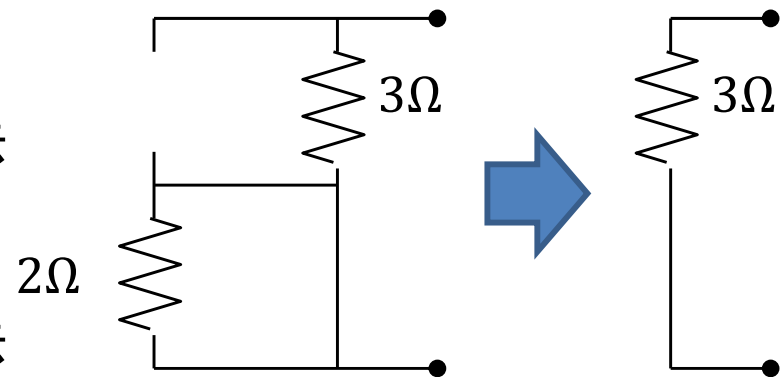
# テブナン等価回路導出例



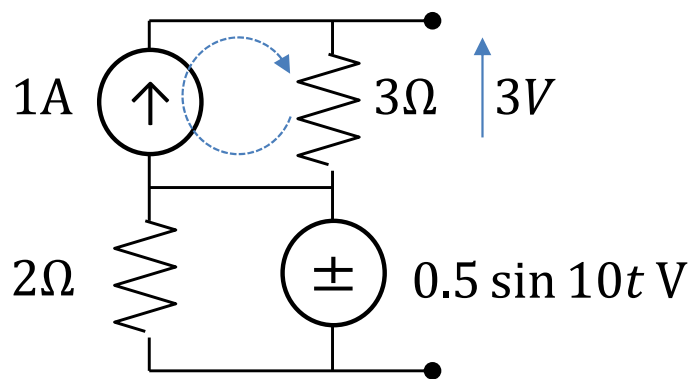
ポートの開放電圧

電流源  
開放除去

電圧源  
短絡除去

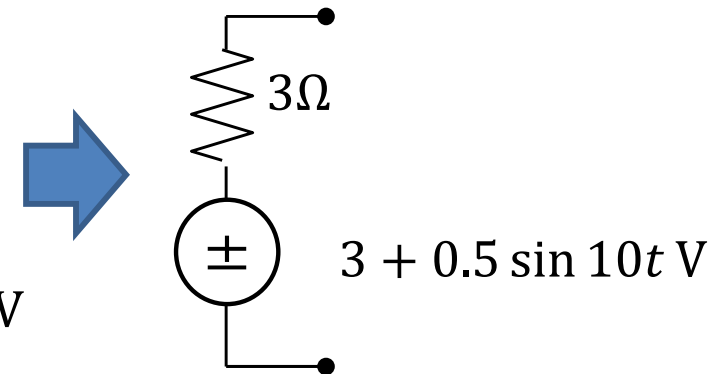


ポートから見た  
インピーダンス

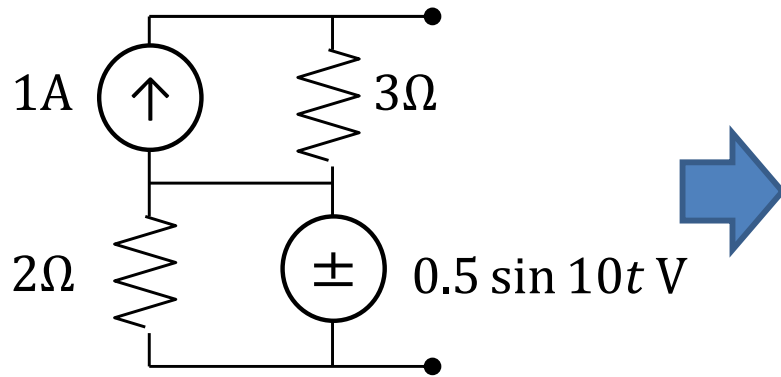


$3 + 0.5 \sin 10t \text{ V}$

テブナン等価回路

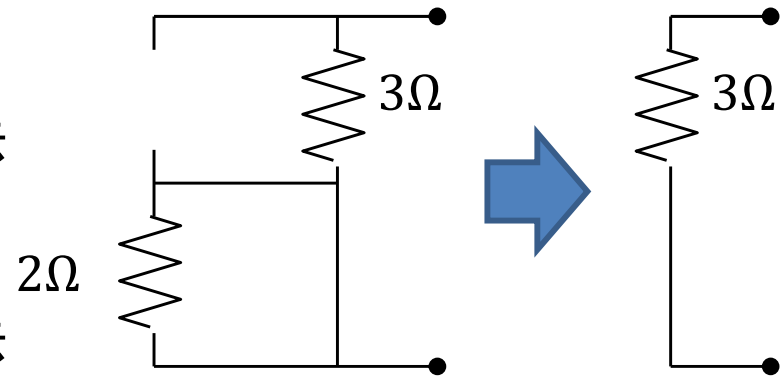


# ノートン等価回路導出例



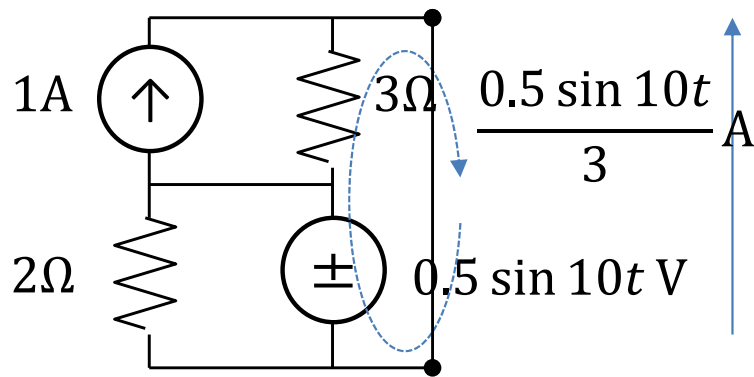
電流源  
開放除去

電圧源  
短絡除去

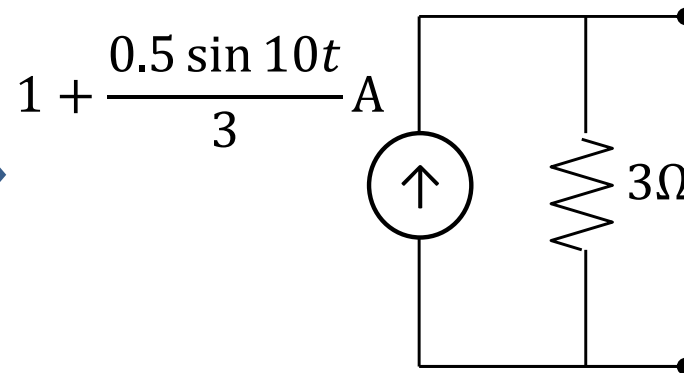


ポートから見た  
アドミタンス

ポートの短絡電流

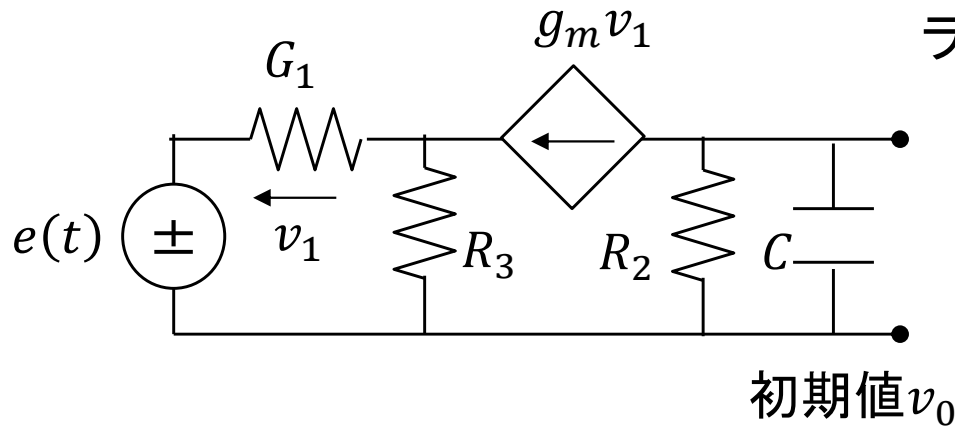


ノートン等価回路

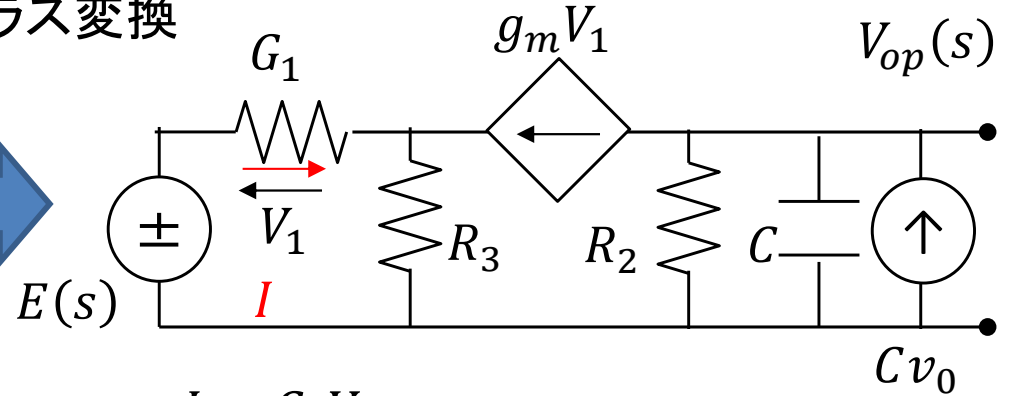


# テブナン・ノートン等価回路例

従属電源・初期値付



ラプラス変換



開放電圧

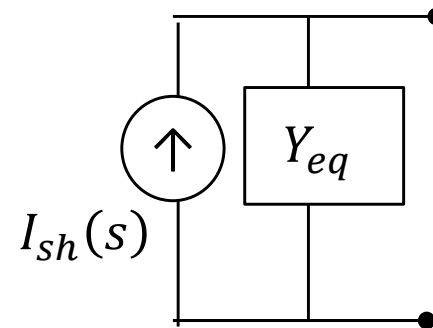
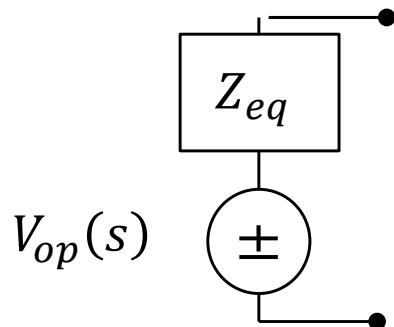
$$V_{op}(s) = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + sC} (Cv_0 - g_m V_1)$$

$$= \frac{R_2}{1 + sCR_2} \left( Cv_0 - g_m \frac{E}{1 + R_3(G_1 + g_m)} \right)$$

$$I = G_1 V_1$$

$$\begin{aligned} \text{KVL } E &= V_1 + R_3(I + g_m V_1) \\ &= V_1 + R_3(G_1 + g_m)V_1 \\ &= \{1 + R_3(G_1 + g_m)\}V_1 \end{aligned}$$

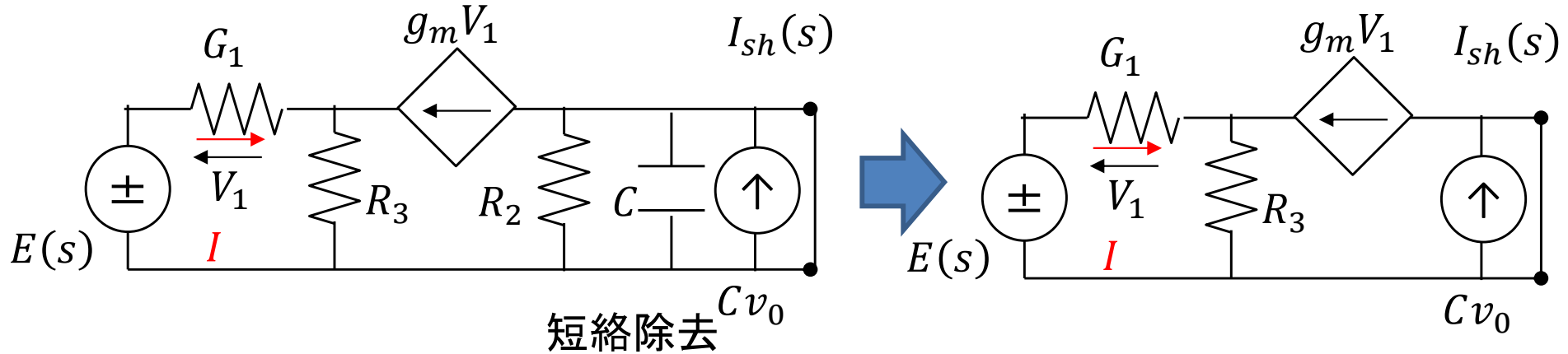
$$V_1 = \frac{E}{1 + R_3(G_1 + g_m)}$$





# テブナン・ノートン等価回路例

短絡電流



テブナン等価回路インピーダンス

$$I_{sh} = Cv_0 - g_m V_1$$

$$= Cv_0 - g_m \frac{E}{1 + R_3(G_1 + g_m)}$$

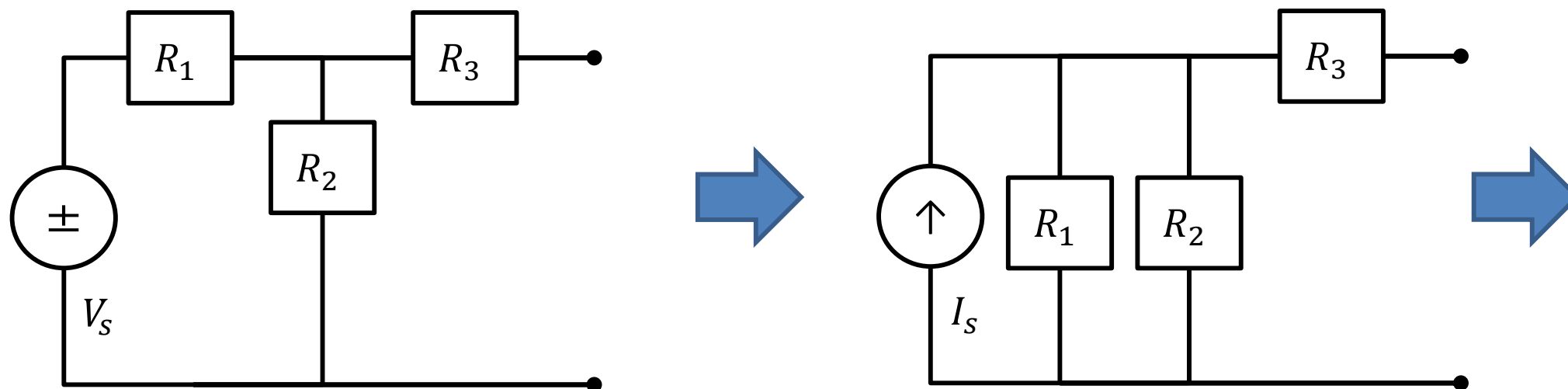
$$Z_{eq}(s) = \frac{V_{op}}{I_{sh}} = \frac{\frac{R_2}{1 + sCR_2} \left( Cv_0 - g_m \frac{E}{1 + R_3(G_1 + g_m)} \right)}{Cv_0 - g_m \frac{E}{1 + R_3(G_1 + g_m)}}$$

$$= \frac{R_2}{1 + sCR_2}$$

$$Y_{eq}(s) = \frac{1}{Z_{eq}(s)} = \frac{1 + sCR_2}{R_2}$$

# テブナン・ノートン回路

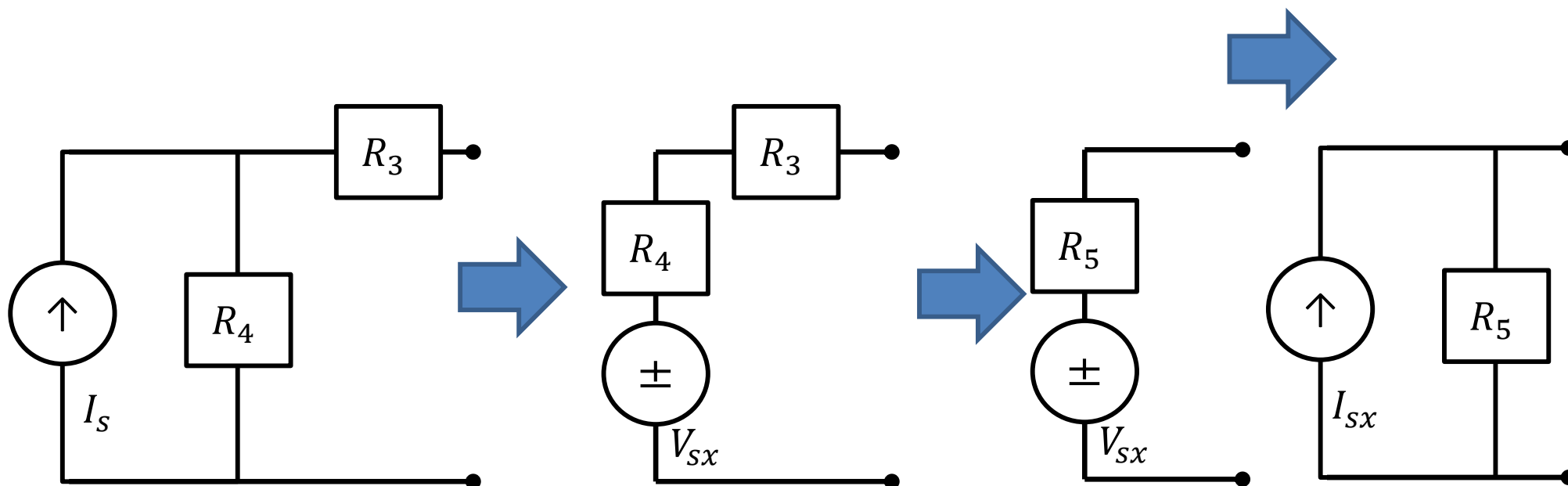
例1



$$I_s = \frac{V_s}{R_1}$$

# テブナン・ノートン回路

例1



$$R_4 = R_1 // R_2$$

$$\frac{1}{R_4} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

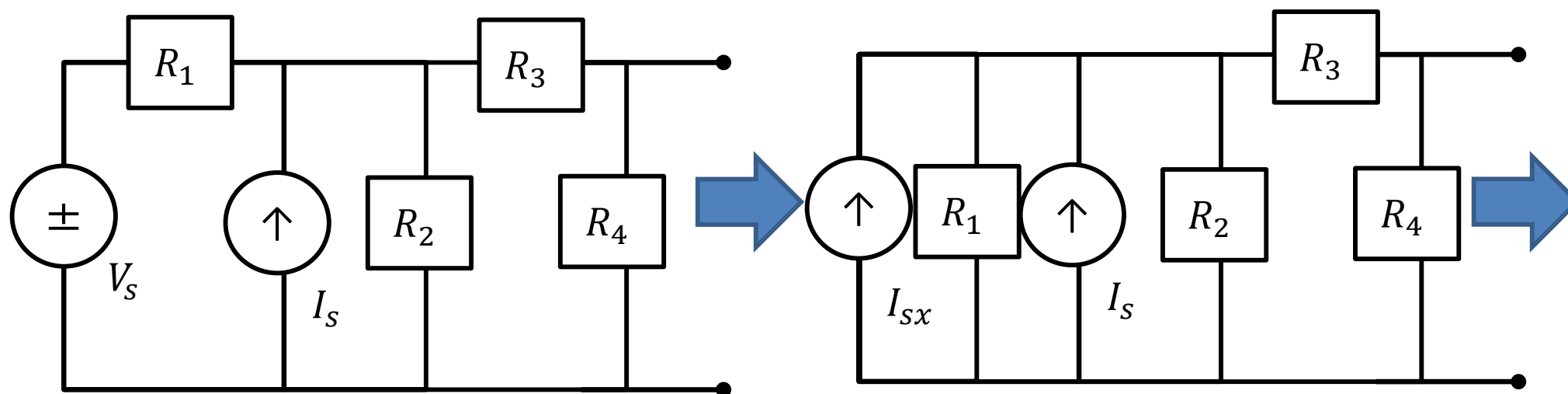
$$V_{sx} = R_4 I_s$$

$$R_5 = R_3 + R_4$$

$$I_{sx} = \frac{V_{sx}}{R_5}$$

# テブナン・ノートン回路

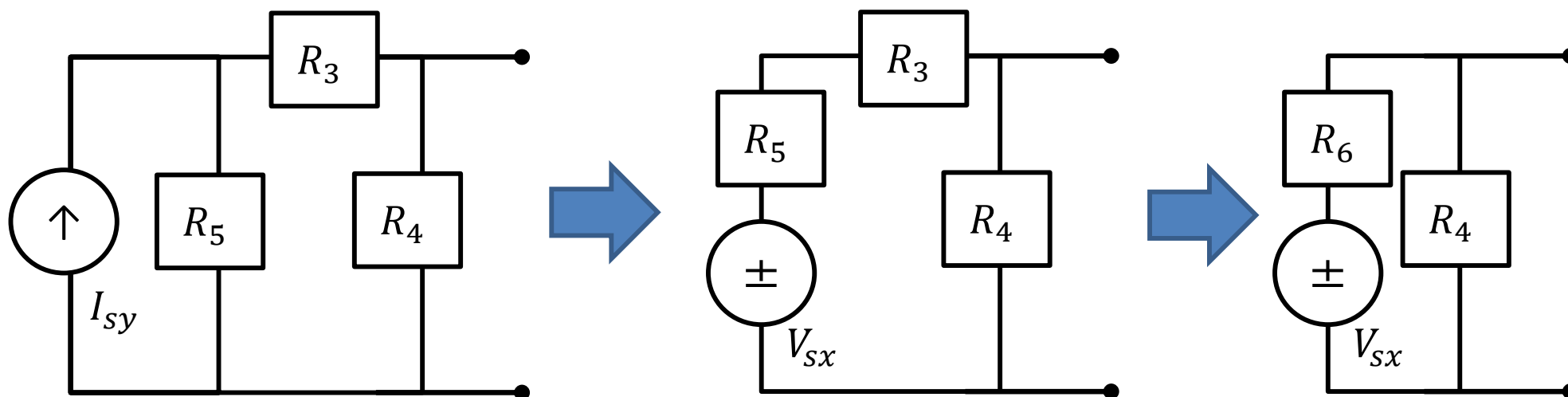
例2



$$I_{sx} = \frac{V_s}{R_1}$$

# テブナン・ノートン回路

例2



$$I_{sy} = I_s + I_{sx}$$

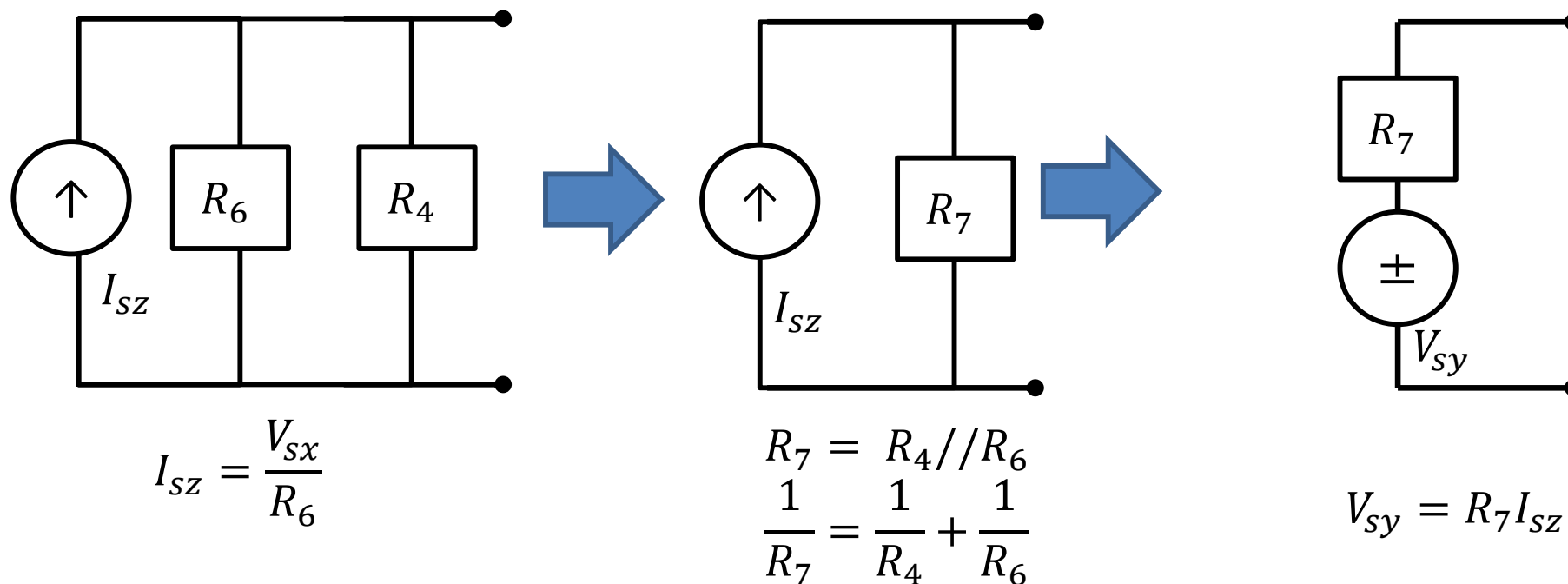
$$R_5 = R_1 // R_2$$
$$\frac{1}{R_5} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$V_{sx} = R_5 I_{sy}$$

$$R_6 = R_3 + R_5$$

# テブナン・ノートン回路

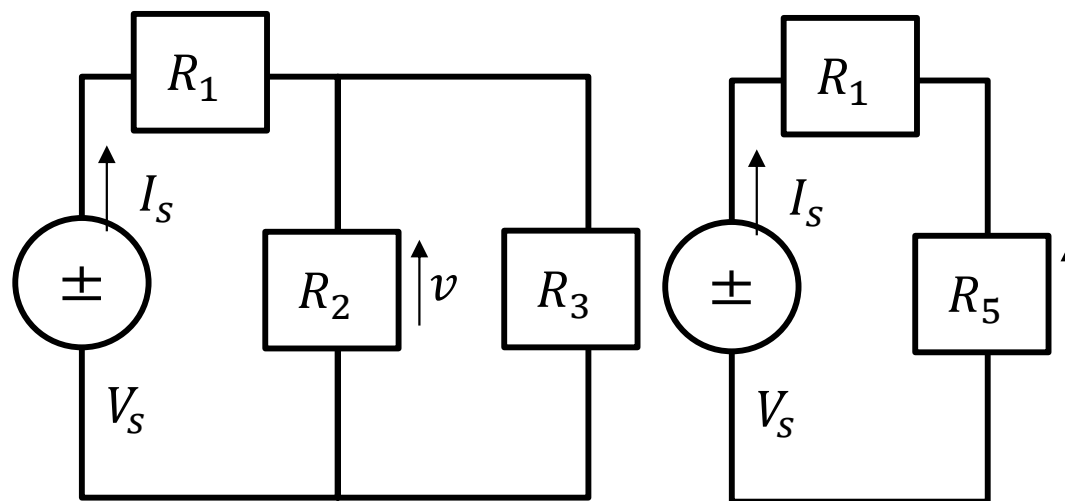
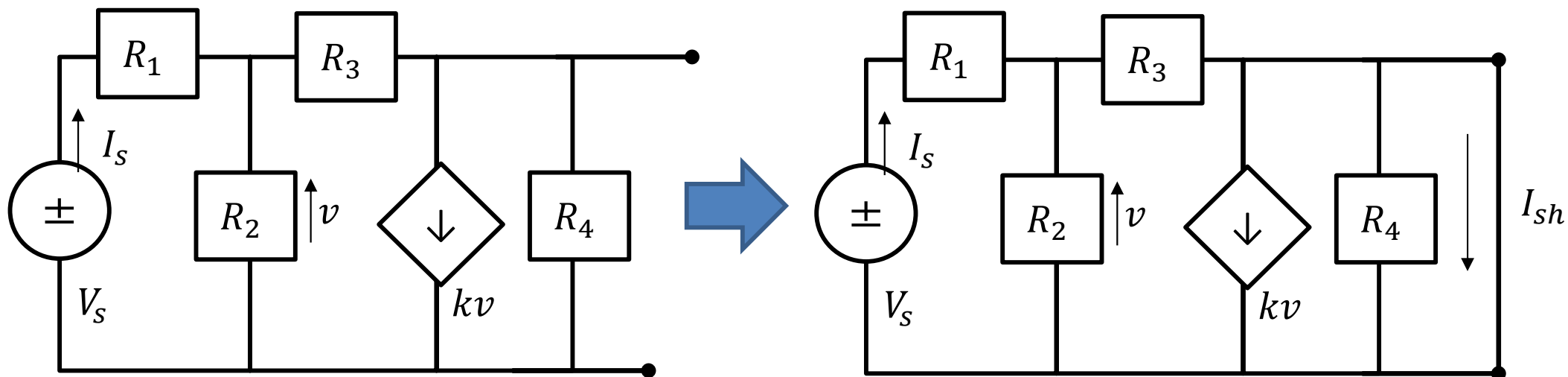
例2



# テブナン・ノートン回路

例3

ノートン等価回路の  
短絡電流  $I_{sh}$  を求める



$$R_5 = R_2 // R_3$$

$$\frac{1}{R_5} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$I_s = \frac{V_s}{R_1 + R_5}$$

$$v = \frac{R_5}{R_1 + R_5} V_s$$

$$kv = k \frac{R_5}{R_1 + R_5} V_s$$

$$I_{sh} = I_s - kv - \frac{v}{R_2}$$

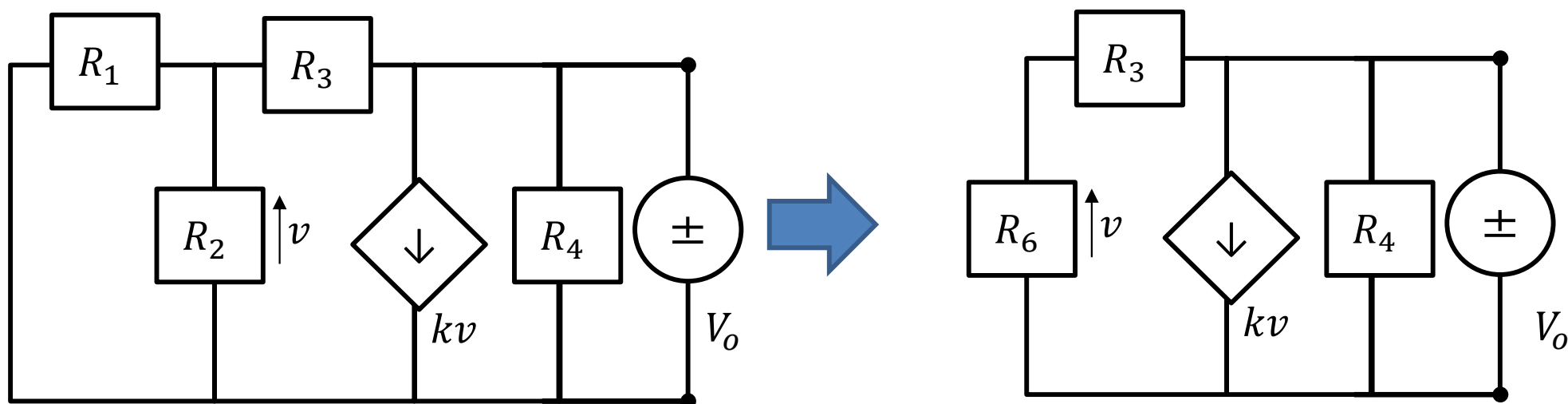
$$= \frac{V_s}{R_1 + R_5} - \left(k + \frac{1}{R_2}\right) \frac{R_5}{R_1 + R_5} V_s$$

$$= \frac{V_s}{R_1 + R_5} \left(1 - kR_5 - \frac{R_5}{R_2}\right)$$

# テブナン・ノートン回路

例3

従属電源を評価するため出力に電圧源 $V_0$ を入れる  
電圧源短絡



$$R_6 = R_1 // R_2$$

$$\frac{1}{R_6} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

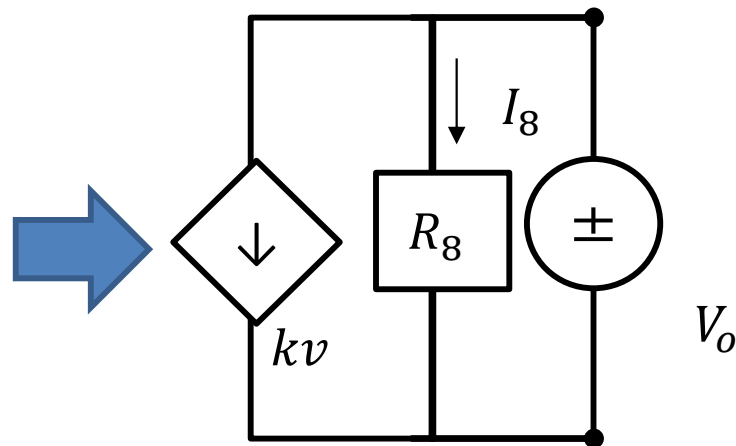
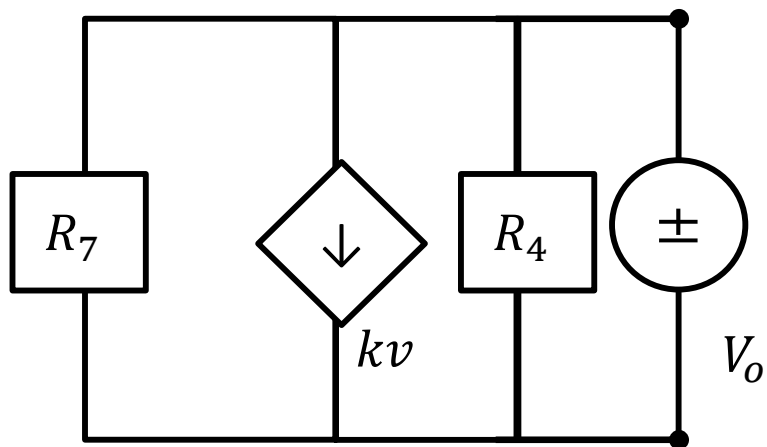
$$v = \frac{R_6}{R_3 + R_6} V_0 \quad kv = k \frac{R_6}{R_3 + R_6} V_0$$



# テブナン・ノートン回路

例3

従属電源を評価するため出力に電圧源 $V_o$ を入れる  
電圧源短絡



$$R_7 = R_3 + R_6$$

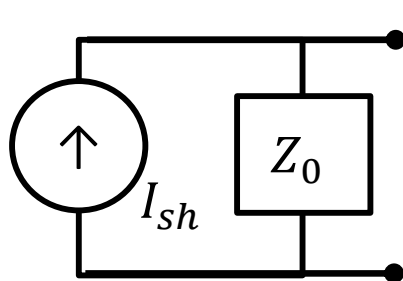
$$I_o = kv + I_8 = k \frac{R_6}{R_3 + R_6} V_o + \frac{V_o}{R_8}$$

$$Z_o = \frac{V_o}{I_o} = \frac{1}{k \frac{R_6}{R_3 + R_6} + \frac{1}{R_8}}$$

$$R_8 = R_4 // R_7$$

$$\frac{1}{R_8} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_7}$$

$$I_8 = \frac{V_o}{R_8}$$



回路とシステム-8

