基礎電気回路CH-12

回路網:

- 節点解析法:直流と交流
- ループ電流解析法:直流と交流
- 重ねの理:直流と交流
- テブナンの定理(等価電源):直流と交流

キルヒホッフ電流･電圧法則：回路解析

直流回路

C R L

時間応答･過渡現象

古典法
ラプラス法

交流回路

複素数とフェーザ表示

C R L

周波数応答

直列共振回路
並列共振回路
応用

周波数一定

交流のオーム法則
交流電力
交流回路網

キルヒホッフ電流・電圧法則：回路解析

直流回路

R

交流回路

複素数とフェーザ表示

C

R

L

電気回路辞書:

KCL
KVL
ノード解析法
ループ解析法

コイル
コンデンサ
キャパシタンス

位相
周波数
角速度
交流の平均値
交流の実効値
回転フェーザ
静止フェーザ
交流の複素数表示
交流のフェーザ表示

交流の複素数オーム法則
インピーダンス
　抵抗のインダクタンス
　コイルのインピーダンス
　キャパシタのインピーダンス
　合成インピーダンス
リアクタンス
　誘導性リアクタンス
　容量性リアクタンス
アドミタンス
　抵抗のアドミタンス
　コイルのアドミタンス
　キャパシタのアドミタンス
　合成アドミタンス
サセプタンス
　誘導性サセプタンス
　容量性サセプタンス

交流電力
力率
皮相電力
無効電力
有効電力

交流の時間応答
　過渡現象

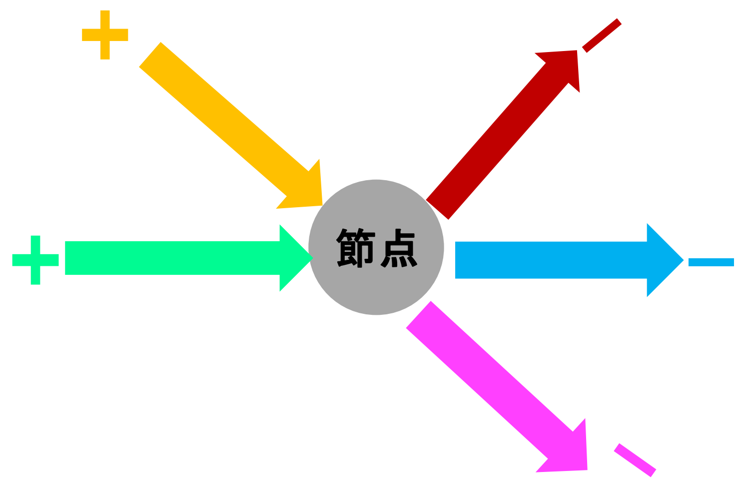
交流の周波数応答
　直列共振回路
　並列共振回路
　相互誘導ブリッジ回路

交流回路網解析
　ループ回路解析法
　節点解析法
　重ね合わせの原理
　テブナン定理

キルヒホッフ電流法則（KCL）

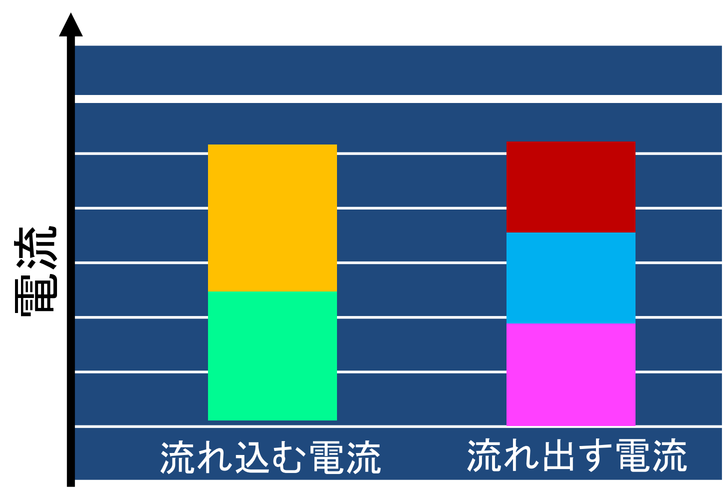
任意の接続点に流入する電流の代数和は常に0となる

$$\sum_{j=1}^{n} I_j = 0$$



$$I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n = 0$$

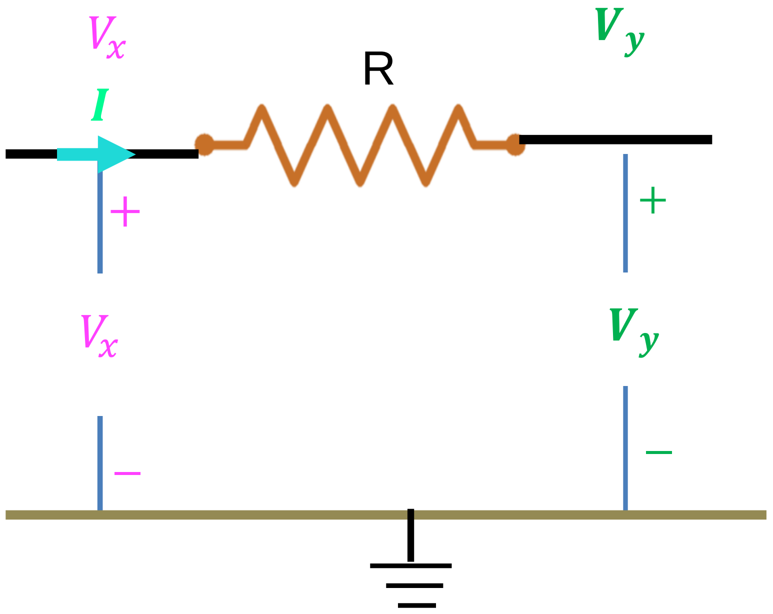
流れ込む電流→節点 ＝ 正(+)
節点→流れ出す電流 ＝ 負(−)



ノード(節点)解析法:

- ノード分析法:KCLを使ってノードの電圧を計算する手法。
- 計算を楽にするために、参考ノードを仮定する(通常、接地グランドを使う)
- オーム法則によると

$$I = \frac{V_x - V_y}{R}$$



- 電圧を計算するために、それぞれのノードにおいて、KCL方程式を立てる。

KCLの応用練習：直流

KCLを使って I1 と I2の電流を求めよ！

節点Bにおいて

$$I_2 + 12 - 4mA = 0$$

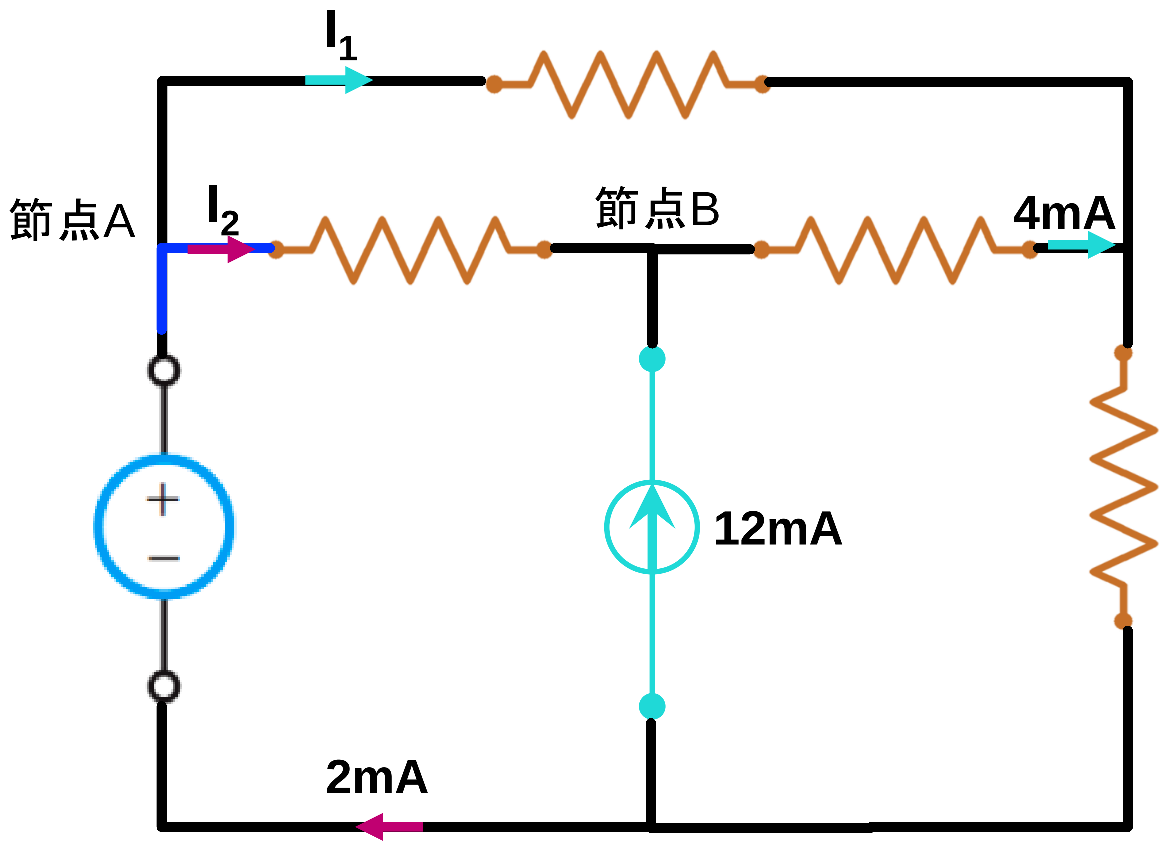
$$I_2 = -8mA$$

節点Aにおいて

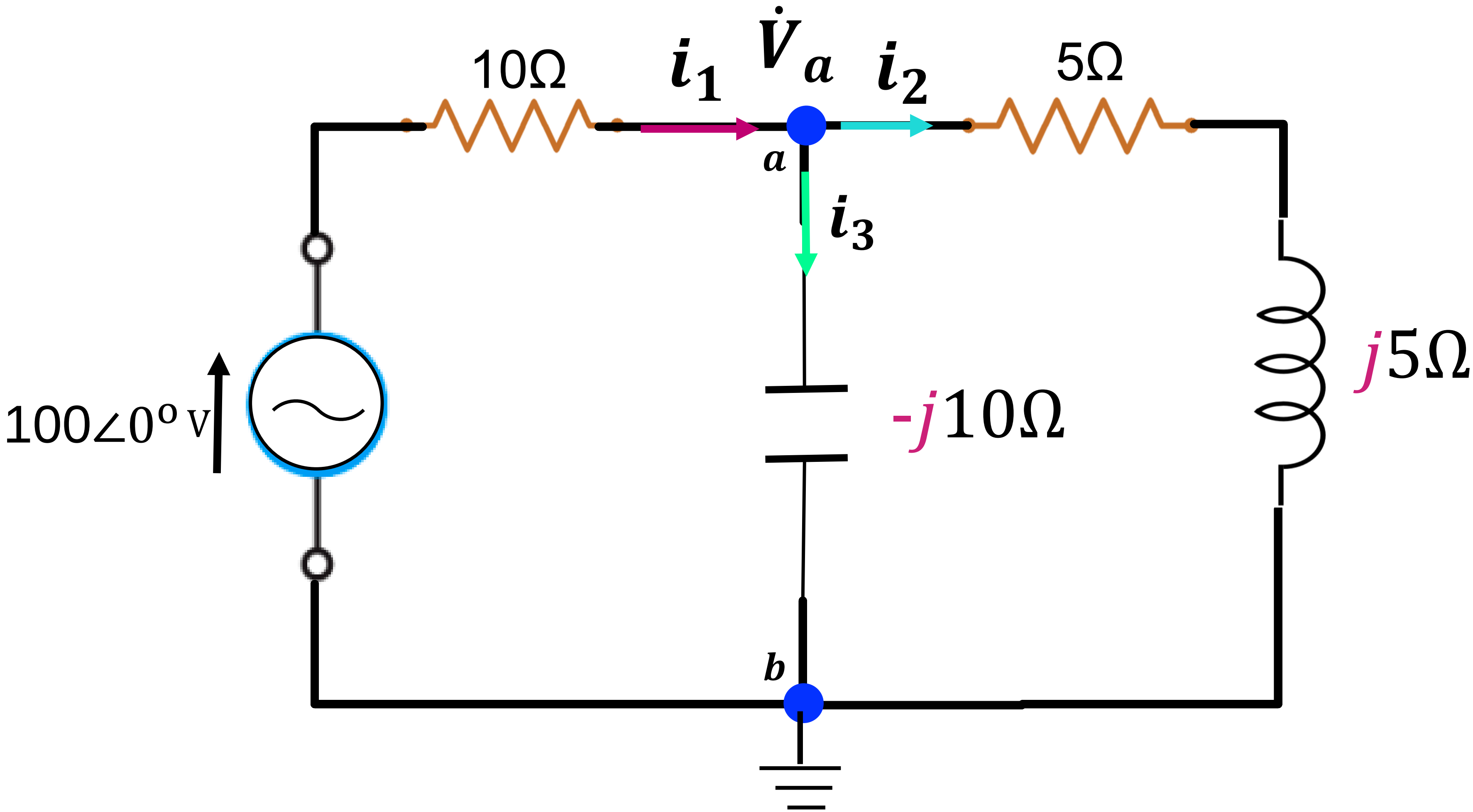
$$-I_2 - I_1 + 2mA = 0$$

$$8mA - I_1 + 2mA = 0$$

$$I_1 = 10mA$$

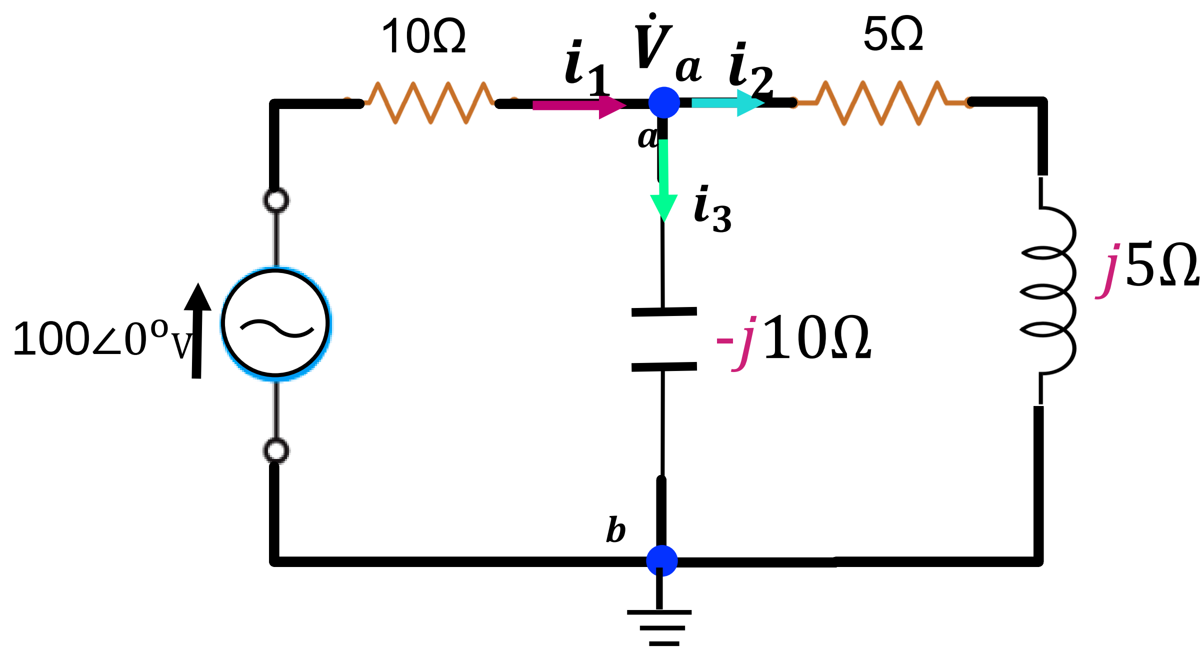


KCLの応用練習：交流



問題：電流i_1, i , i_3 のフェーザ表示を節点解析法（KCL法）を用いて求めよ！

KCLの交流回路応用:節点解析法



$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$\frac{100\angle 0^{o} - \dot{V}_a}{10} - \frac{\dot{V}_a}{5+j5} - \frac{\dot{V}_a}{-j10} = 0$$

KCLの交流回路応用:節点解析法

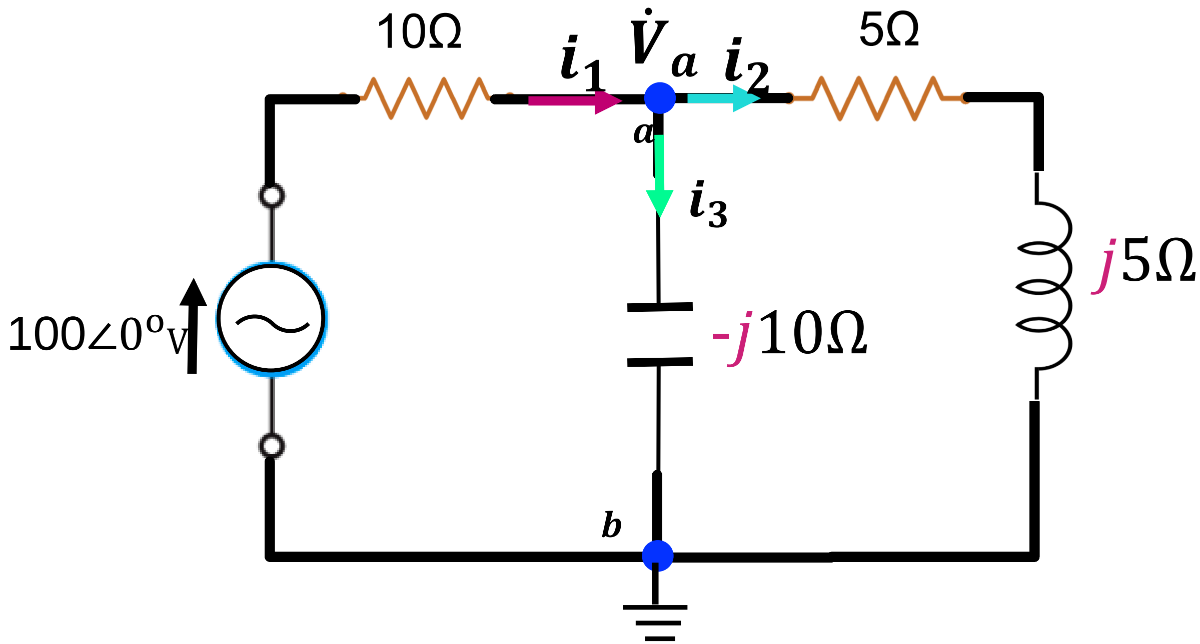
$$0.1(100\angle 0^{\mathrm{o}} - \dot{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{a}}) - 0.1(1 - \mathrm{j})\dot{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{a}} - \mathrm{j}0.1\dot{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{a}} = 0$$

$$(100\angle 0^{\mathrm{o}} - \dot{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{a}}) - (1 - \mathrm{j})\dot{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{a}} - \mathrm{j}\dot{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{a}} = 0$$

$$100\angle 0^{\mathrm{o}} - (\boldsymbol{1} + \boldsymbol{1} - \boldsymbol{j} + \boldsymbol{j})\dot{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{a}} = 0$$

$$\dot{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{a}} = 50\angle 0^{\mathrm{o}}$$

KCLの交流回路応用:節点解析法

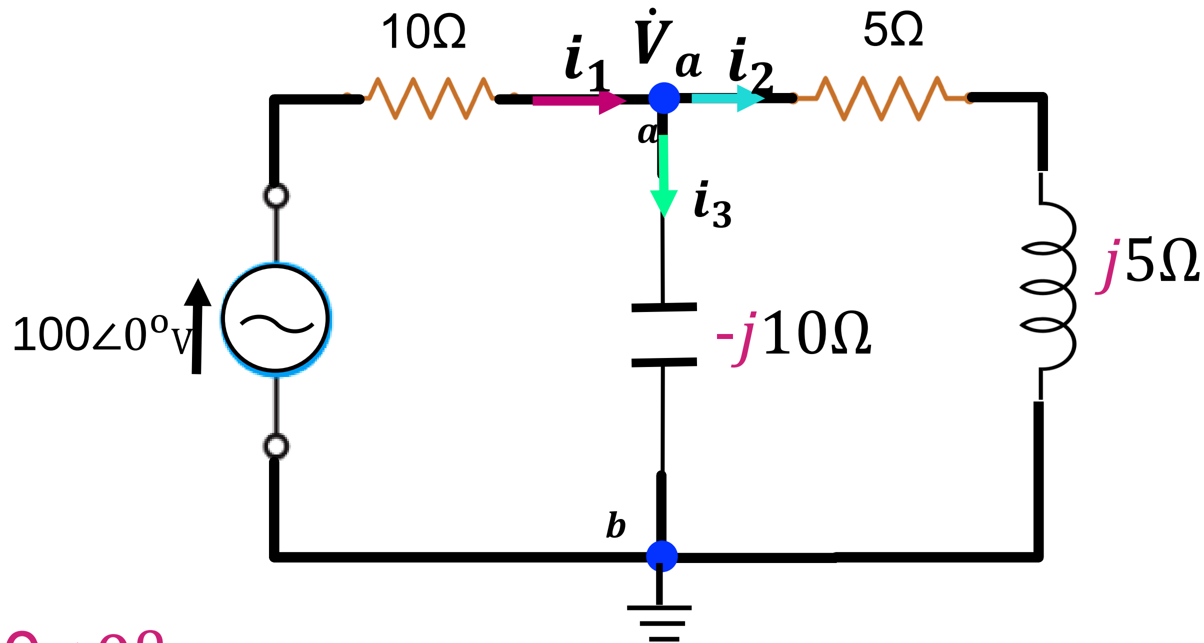


$$i_1 = \frac{100\angle 0^o - 50\angle 0^o}{10} = 5\angle 0^o A$$

$$i_2 = \frac{50\angle 0^o}{5 + j5} = 5\angle 0^o(1 - j) = 5\angle 0^o * 1.414\angle -45^o$$

$$= 7.07\angle -45^o\ A$$

KCLの交流回路応用:節点解析法



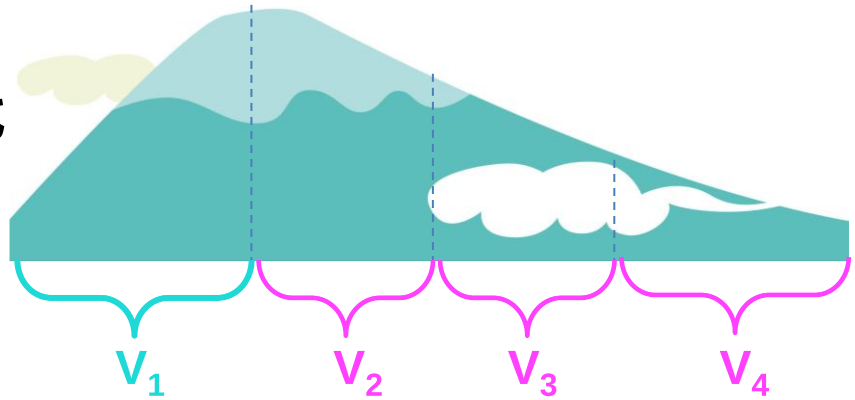
$$i_2 = \frac{50\angle 0^o}{5+j5} = 5\angle 0^o(1-j) = 5\angle 0^o * 1.414\angle -45^o$$

$$= 7.07\angle -45^o\ A$$

$$i_3 = \frac{50\angle 0^o}{-j10} = 5\angle 0^o j = 5\angle 0^o * \angle 90^o = 5\angle 90^o A$$

キルヒホッフ電圧法則（KVL）

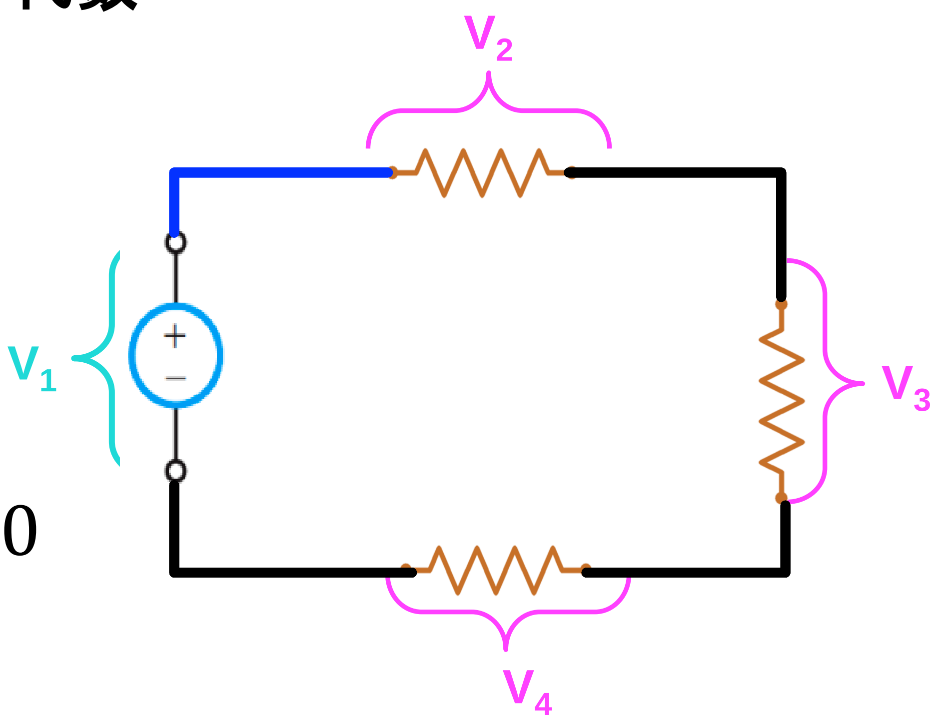
任意の閉回路において、起電力の代数和は電圧降下の代数和に等しい



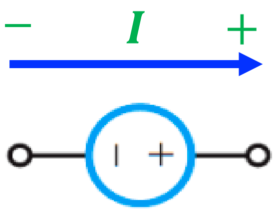
任意の閉回路において、電圧の代数和はゼロである。

$$\sum_{j=1}^{n} V_j = 0$$

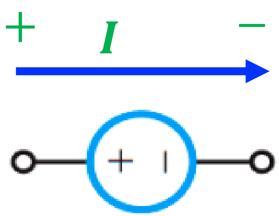
$$V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_n = 0$$



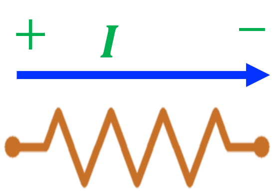
キルヒホッフ電圧法則（KVL）： 正と負の定義



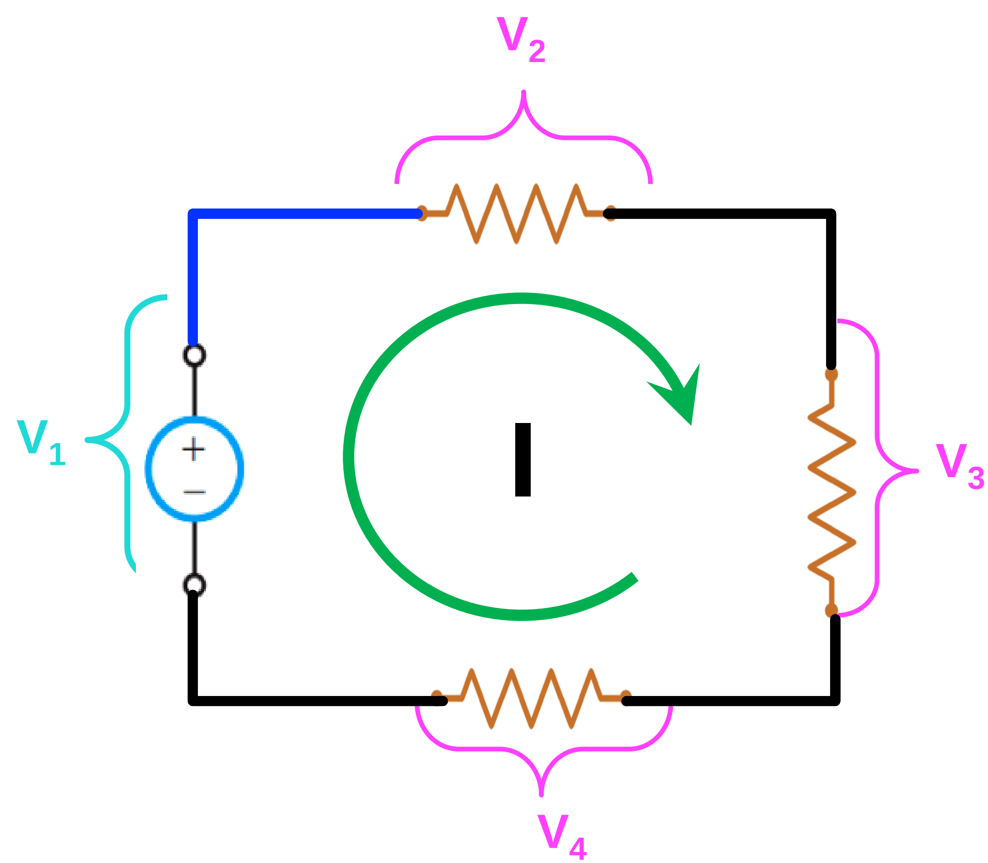
電圧上昇(−V)



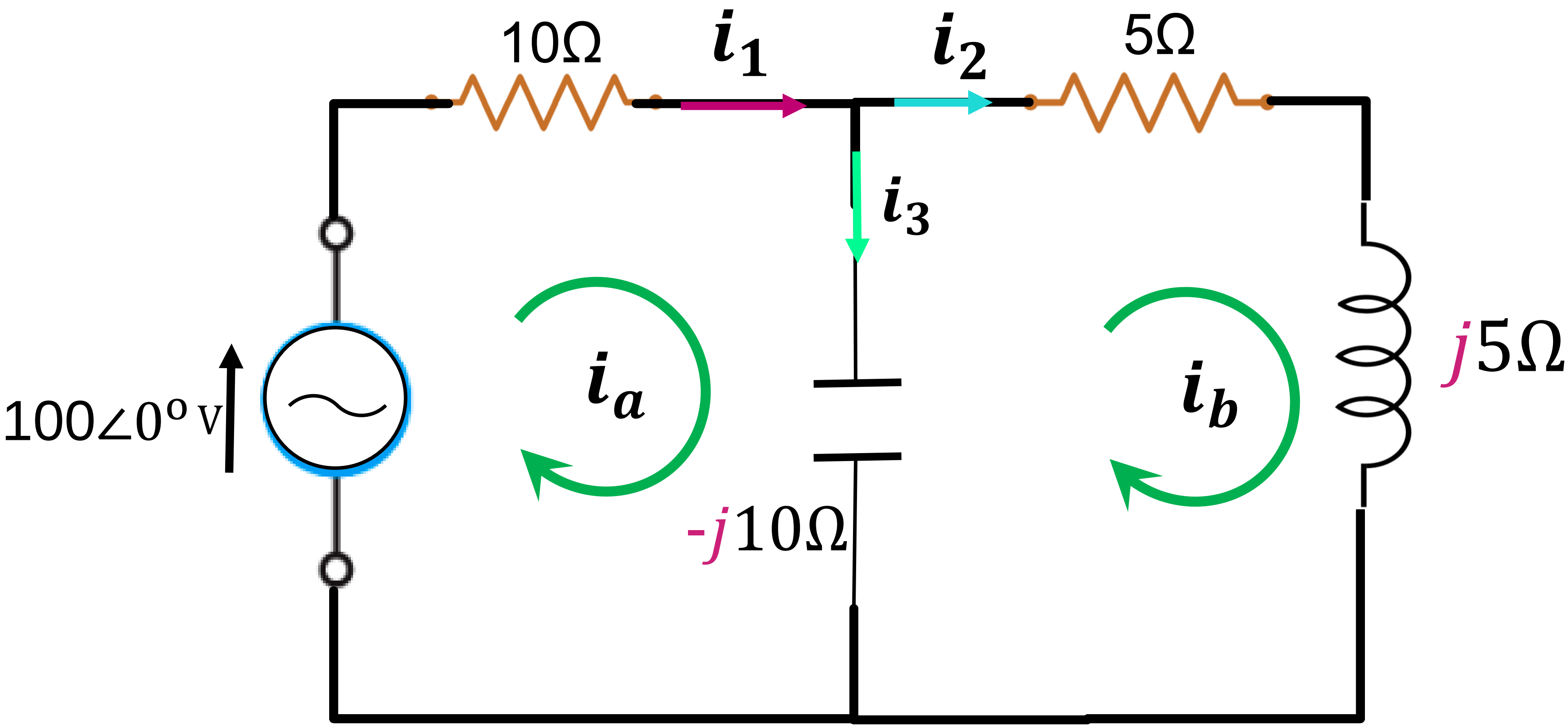
電圧降下(+V)



電圧降下(+V)

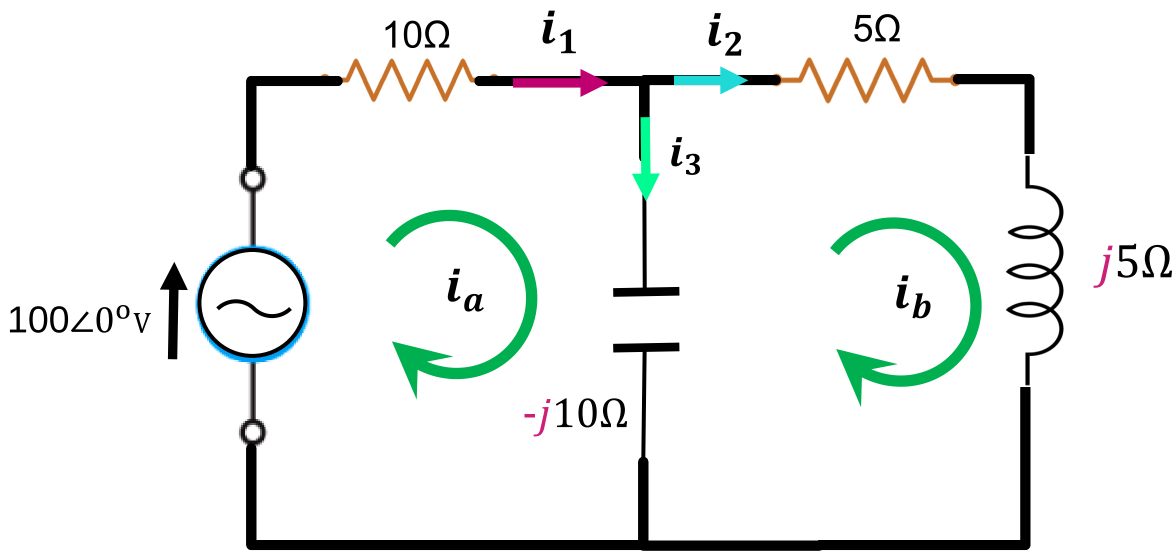


キルヒホッフ電圧法則（KVL）: 交流回路



問題: 電流i_1, i , i_3 のフェーザ表示をループ電流法（KVL法）を用いて求めよ！

キルヒホッフ電圧法則（KVL）： 交流回路



ループaにおいては:

$$\boldsymbol{i_a} * \mathbf{10} + (-\mathrm{j}10) * (\boldsymbol{i_a} - \boldsymbol{i_b}) - 100\angle 0^o = 0$$

ループbにおいては:

$$\boldsymbol{i_b} * 5 + (\mathrm{j}5) * \boldsymbol{i_b} + (-j10) * (\boldsymbol{i_b} - \boldsymbol{i_a}) = 0$$

キルヒホッフ電圧法則（KVL）： 交流回路

$$\begin{cases} \boldsymbol{i_a} * \mathbf{10} + (-\mathrm{j}10) * (\boldsymbol{i_a} - \boldsymbol{i_b}) - 100\angle 0^{\mathrm{o}} = 0 \\ \boldsymbol{i_b} * 5 + (\mathrm{j}5) * \boldsymbol{i_b} + (-j10) * (\boldsymbol{i_b} - \boldsymbol{i_a}) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \boldsymbol{i_a} * \mathbf{10} - \mathrm{j}10 * (\boldsymbol{i_a} - \boldsymbol{i_b}) = 100\angle 0^{\mathrm{o}} \\ \boldsymbol{i_b} * 5 + (\mathrm{j}5) * \boldsymbol{i_b} - j10 * (\boldsymbol{i_b} - \boldsymbol{i_a}) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathbf{10}\boldsymbol{i_a}(\mathbf{1} - \mathrm{j}) + \mathrm{j}10 * \boldsymbol{i_b} = 100\angle 0^{\mathrm{o}} \\ 5\boldsymbol{i_b}(1 - \mathrm{j}) + j10 * \boldsymbol{i_a} = 0 \end{cases}$$

$$\boldsymbol{i_a} = \frac{\mathbf{5(1} - \boldsymbol{j})}{-\mathbf{10}\boldsymbol{j}} \boldsymbol{i_b} = \mathbf{0.5(1} + \boldsymbol{j})\boldsymbol{i_b}$$

キルヒホッフ電圧法則（KVL）: 交流回路

$$\mathbf{5}(\mathbf{1}+\boldsymbol{j})\boldsymbol{i_b}(\mathbf{1}-\mathrm{j})+\mathrm{j}10\boldsymbol{i_b}=100\angle 0^{\mathrm{o}}$$

$$\mathbf{10}\boldsymbol{i_b}+\mathrm{j}10\boldsymbol{i_b}=100\angle 0^{\mathrm{o}}$$

$$\boldsymbol{i_b}=\frac{10\angle 0^{\mathrm{o}}}{\mathbf{1}+\boldsymbol{j}}$$

$$\boldsymbol{i_b}=\frac{10\angle 0^{\mathrm{o}}}{\sqrt{\mathbf{2}}\angle\mathbf{45}^{\boldsymbol{o}}}=\mathbf{7.07}\angle-\mathbf{45}^{\boldsymbol{o}}\ [\mathrm{A}]$$

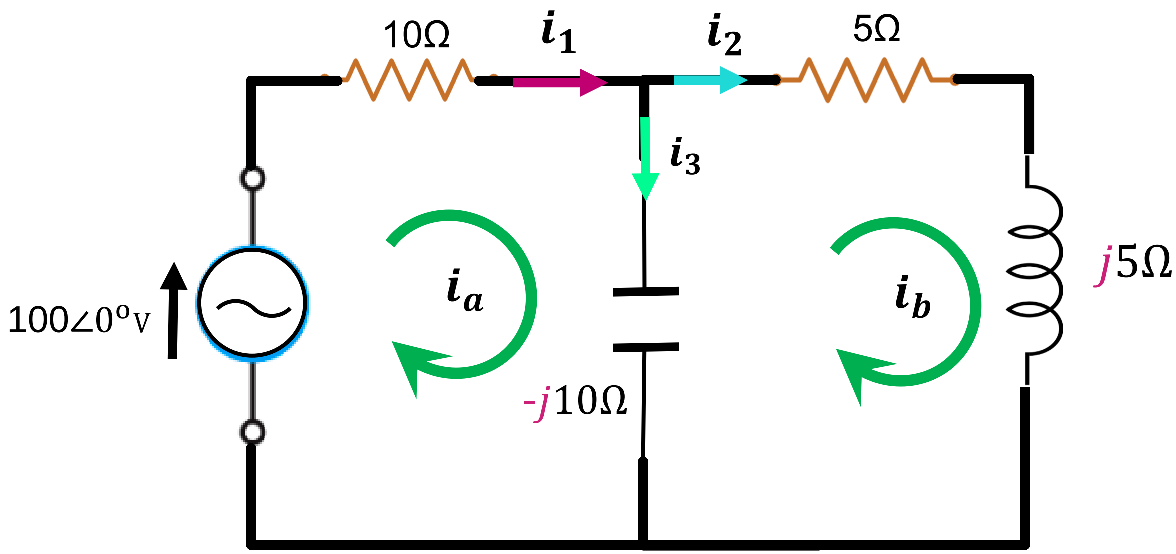
キルヒホッフ電圧法則（KVL）：交流回路

$$\boldsymbol{i_b} = \frac{10\angle 0^o}{\sqrt{2}\angle 45^o} = \mathbf{7.07}\angle - \mathbf{45}^{\boldsymbol{o}}$$

$$\boldsymbol{i_a} = \mathbf{0.5}(\mathbf{1} + \boldsymbol{j}) * \mathbf{7.07}\angle - \mathbf{45}^{\boldsymbol{o}}$$

$$\boldsymbol{i_a} = \mathbf{0.5}\sqrt{2}\angle \mathbf{45}^{\boldsymbol{o}} * \frac{10\angle 0^o}{\sqrt{2}\angle \mathbf{45}^{\boldsymbol{o}}} = \mathbf{5}\angle 0^{\mathrm{O}}[\mathrm{A}]$$

キルヒホッフ電圧法則（KVL）： 交流回路

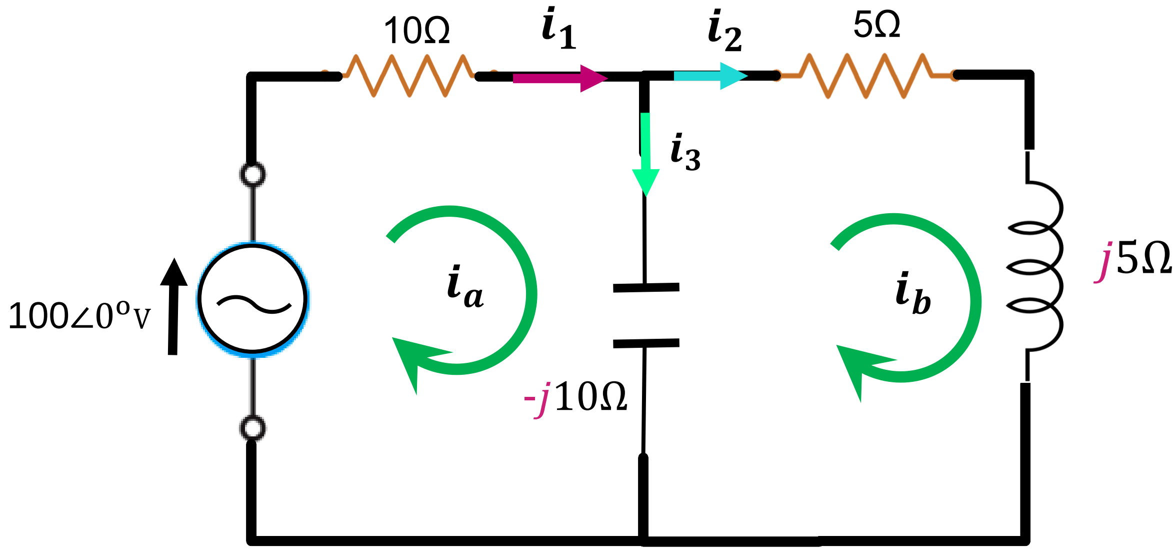


$$i_1 = i_2 - i_3$$

$$i_1 = i_a = 5\angle 0^o \qquad i_2 = i_b = 7.07\angle -45^o$$

$$i_3 = i_1 - i_2 = -2.07\angle 45^o$$ （✗）

キルヒホッフ電圧法則（KVL）： 交流回路

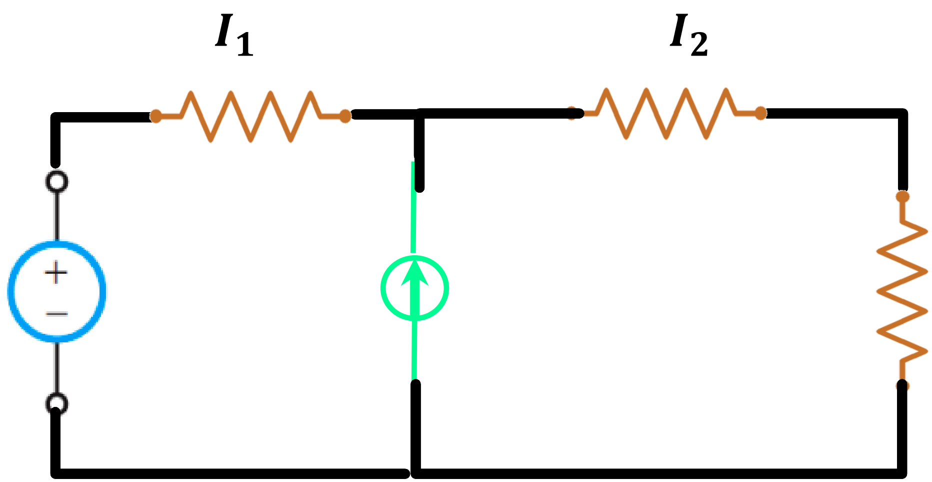


$$i_1 = i_2 - i_3$$

$$i_1 = i_a = 5\angle 0^o \qquad i_2 = i_b = 7.07\angle -45^o$$

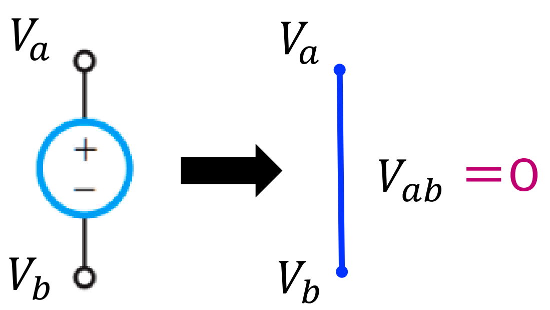
$$i_3 = i_1 - i_2 = 5 - 5\,(1 - \mathrm{j}) = 5\angle 90^o$$

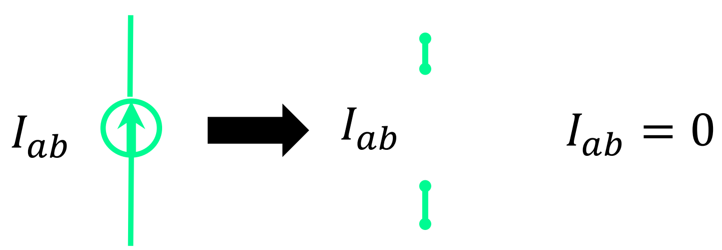
重ねの理(superposition theorem):



電圧源 → 短絡状態　　電流源 → 開放状態

電圧源を外す ➡ 電圧V_{ab} ＝0　　電流源を外す ➡ 電流I_{ab} ＝0

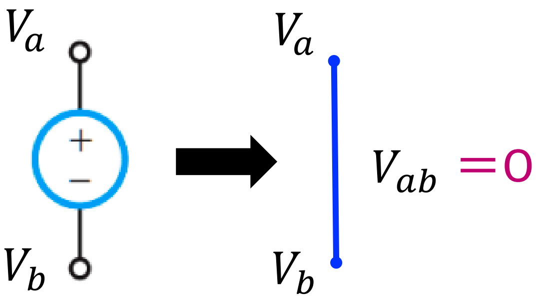


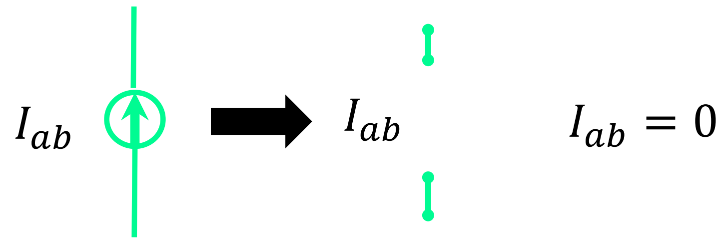


電圧源と電流源を外すルールを覚えるコツ:

方法論1:論理的に暗記する

電圧源を外す ➡ 電圧V_{ab} ＝0　　　電流源を外す ➡ 電流I_{ab} ＝0



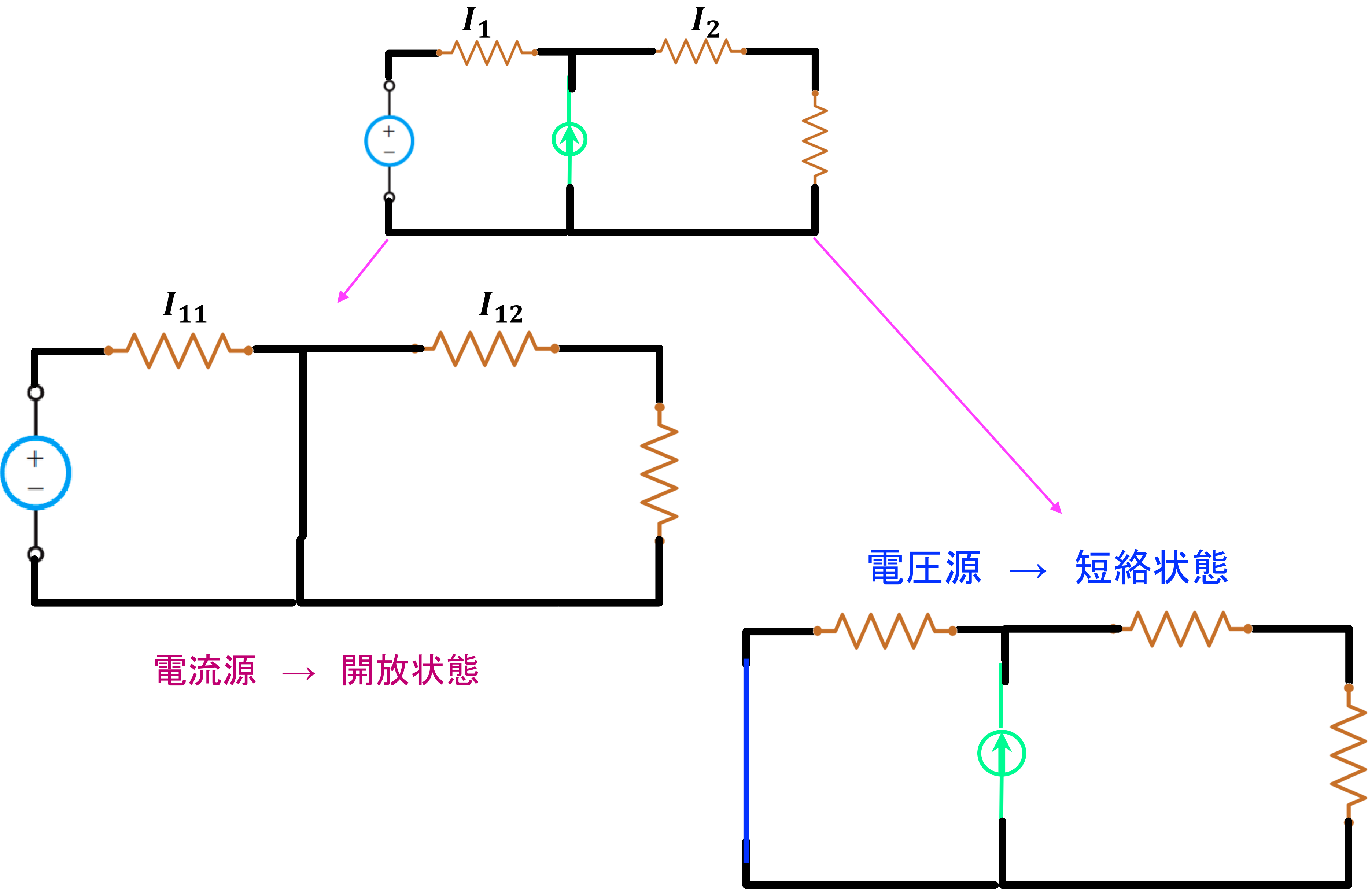


方法論2:機械的に暗記する

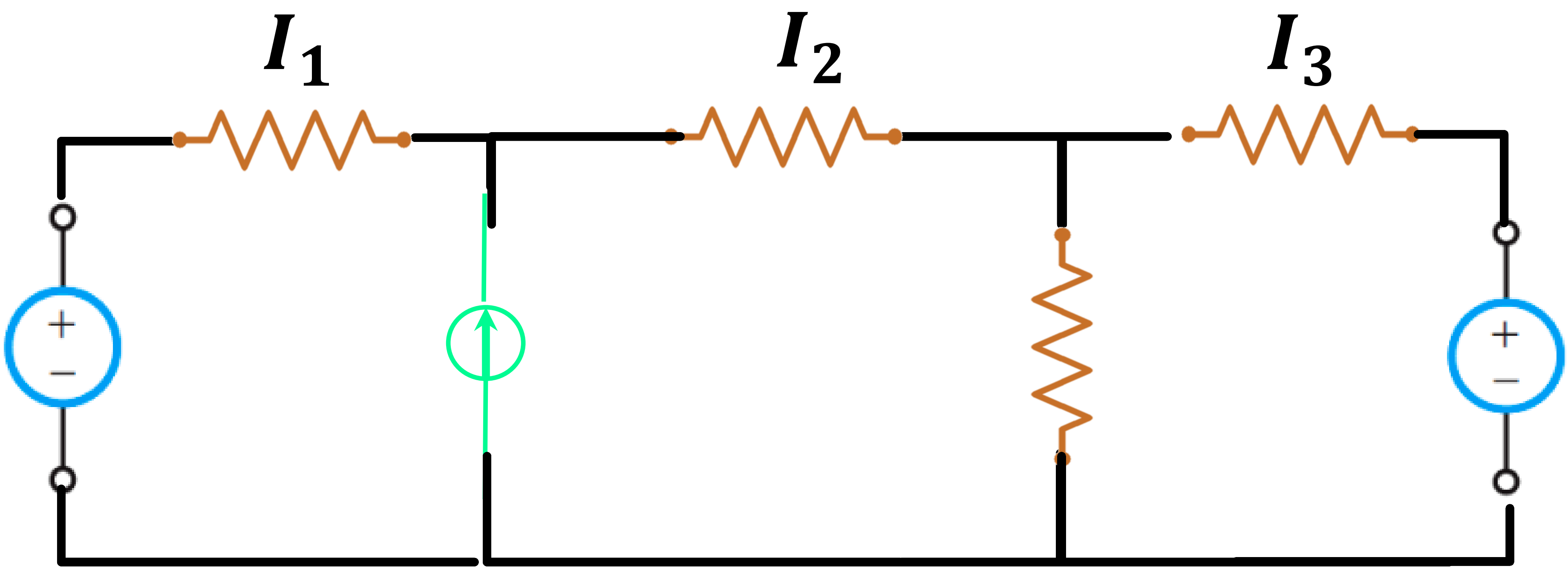
電流源 $\xrightarrow{\text{外す}}$ 電流が流れない → 開放状態

電圧源を外すルールは電流源の反対→短絡状態

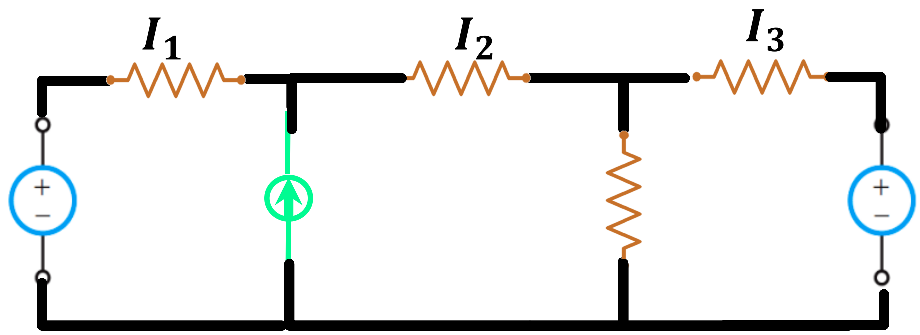
重ねの理(superposition theorem):

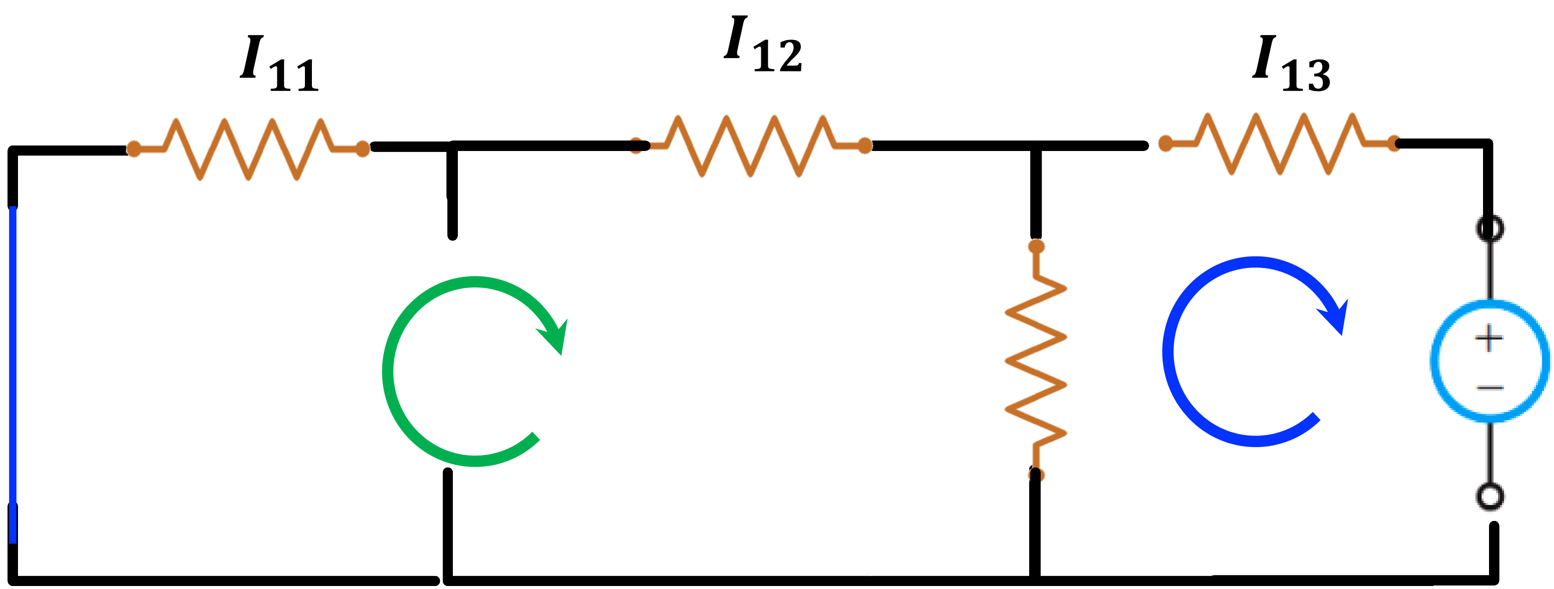


重ねの理の練習:

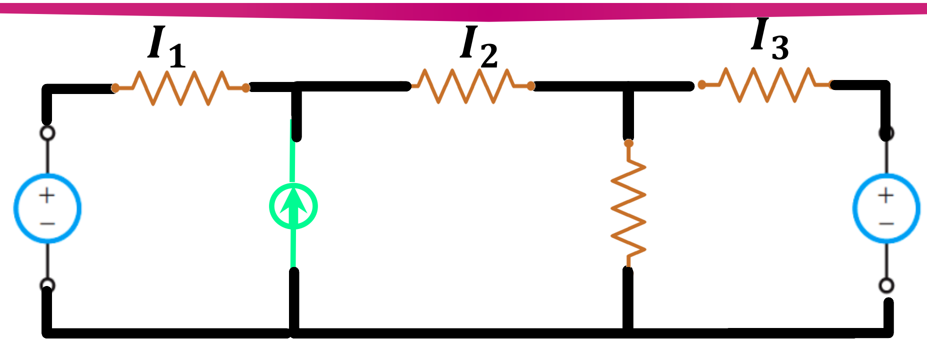


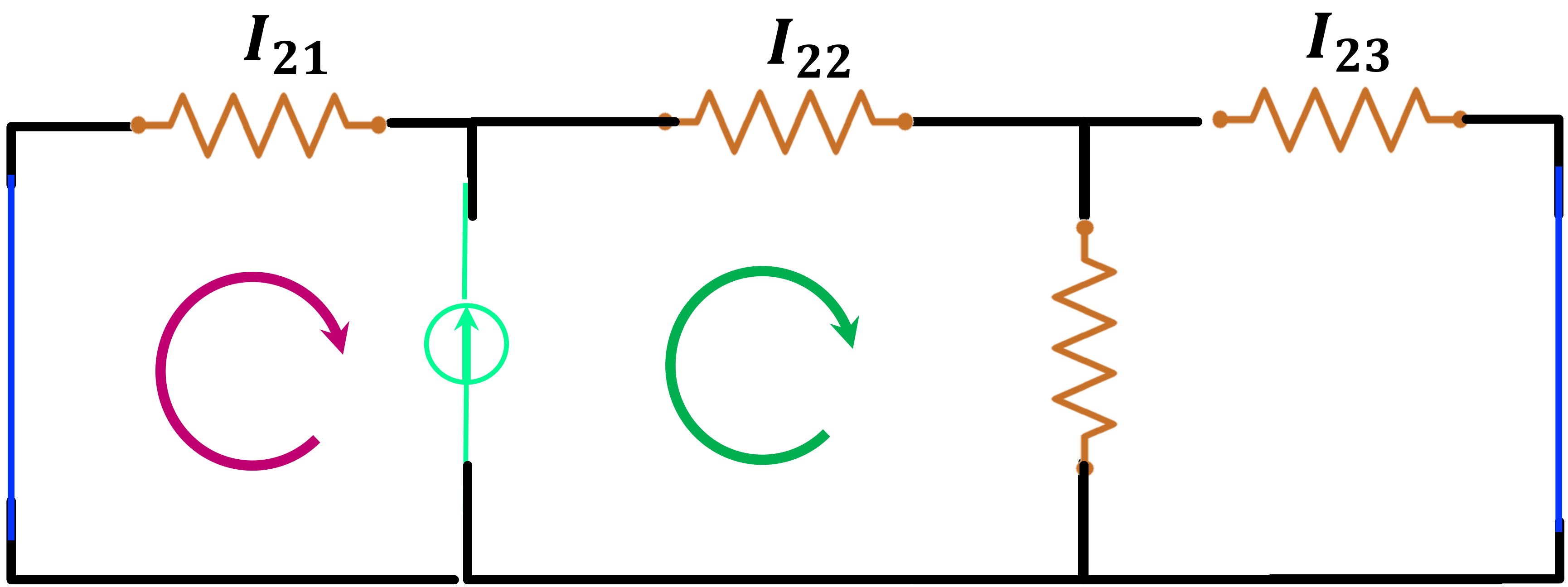
重ねの理(superposition theorem):Step-1



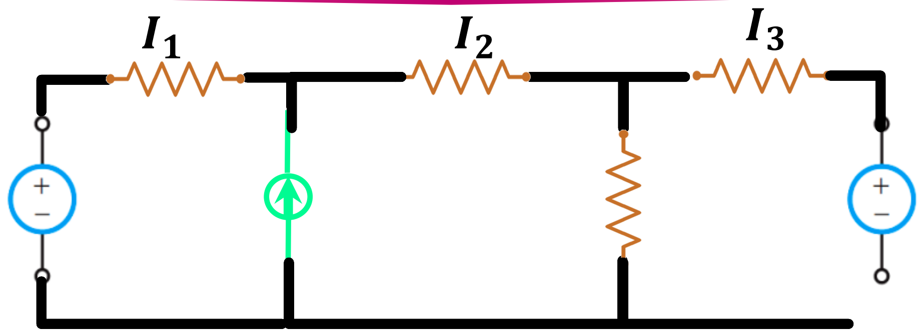


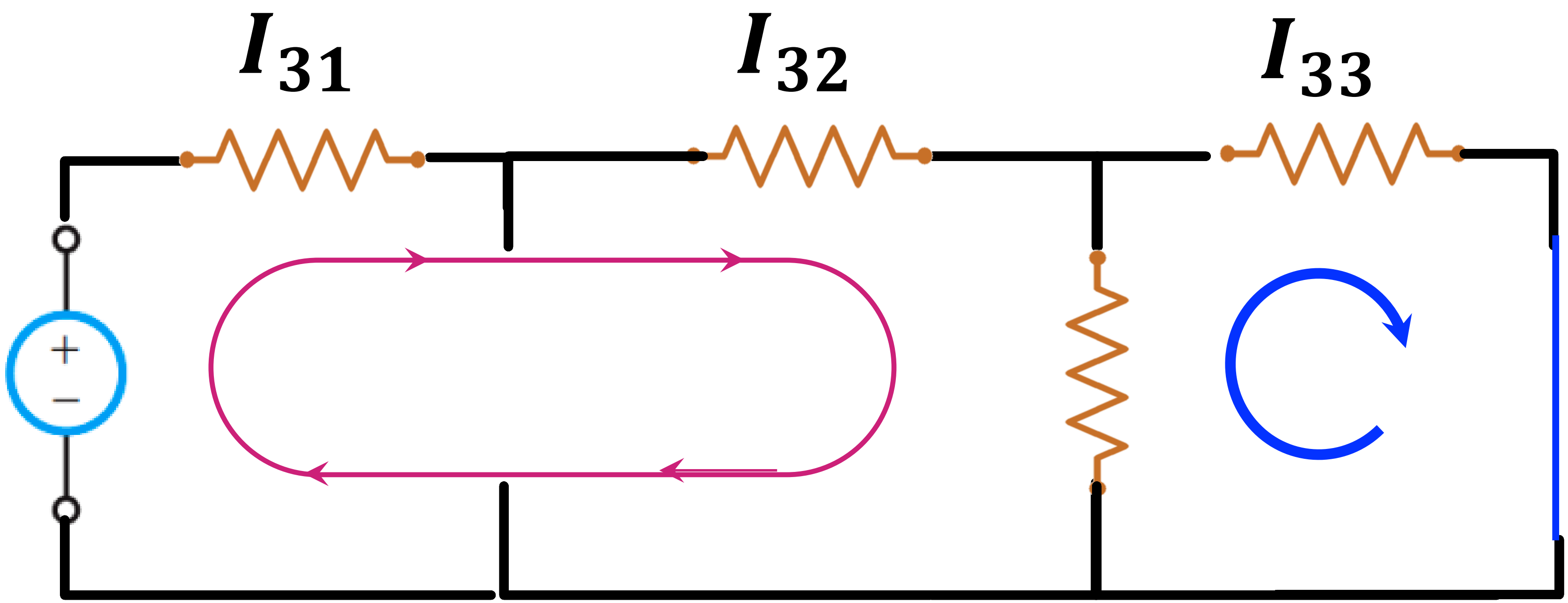
重ねの理(superposition theorem):



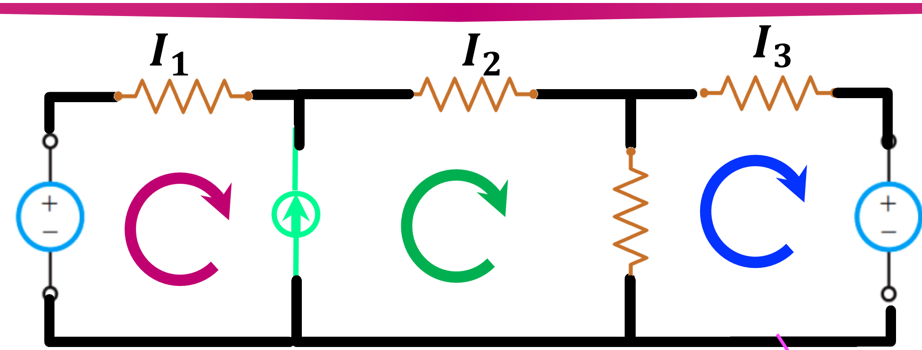


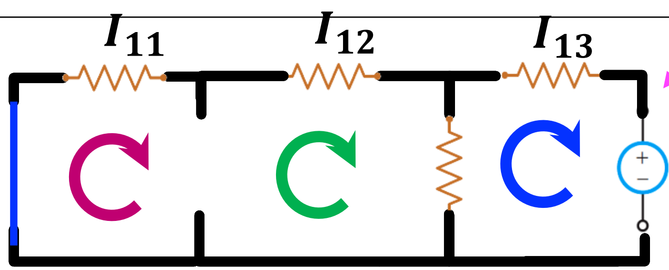
重ねの理(superposition theorem):

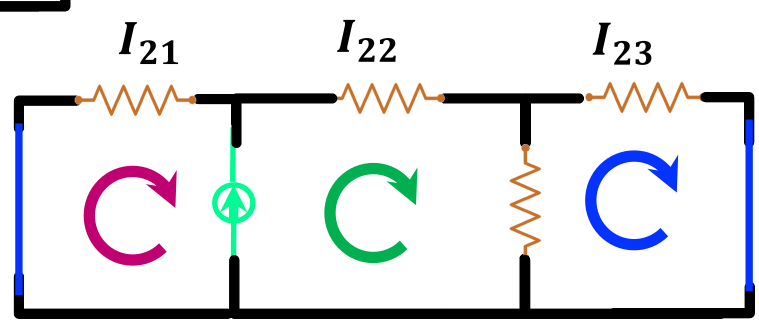


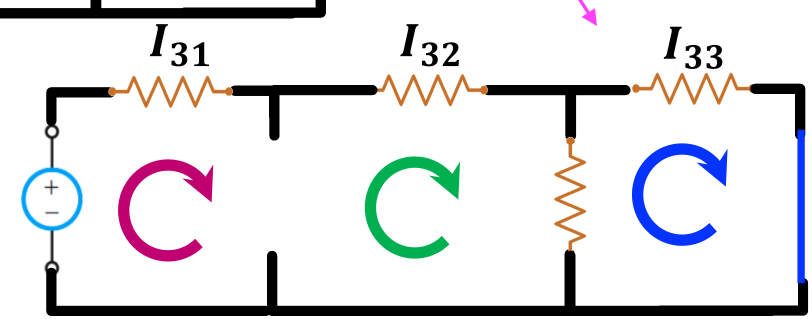


重ねの理(superposition theorem):







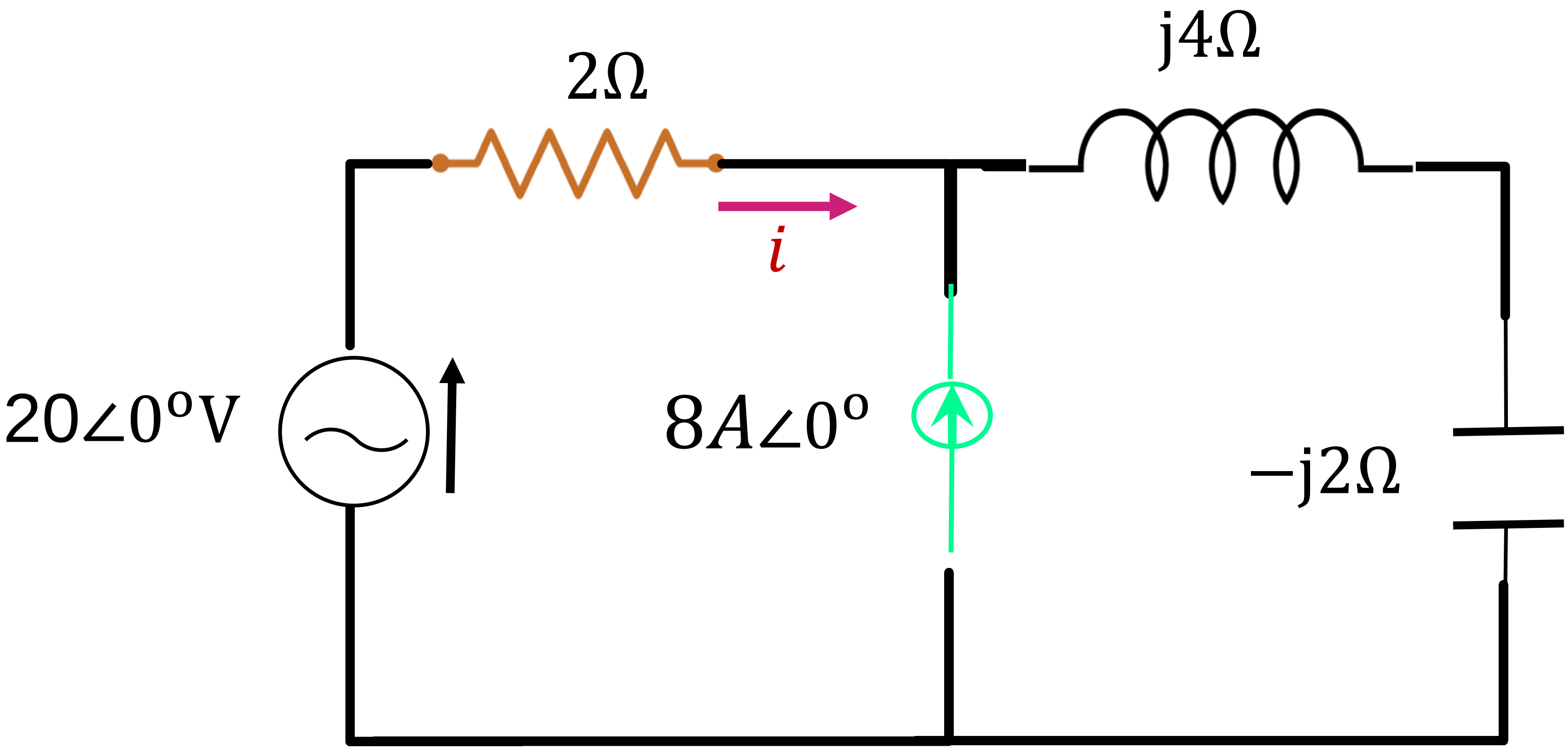


$$I_1 = I_{11} + I_{21} + I_{31}$$

$$I_2 = I_{12} + I_{22} + I_{32}$$

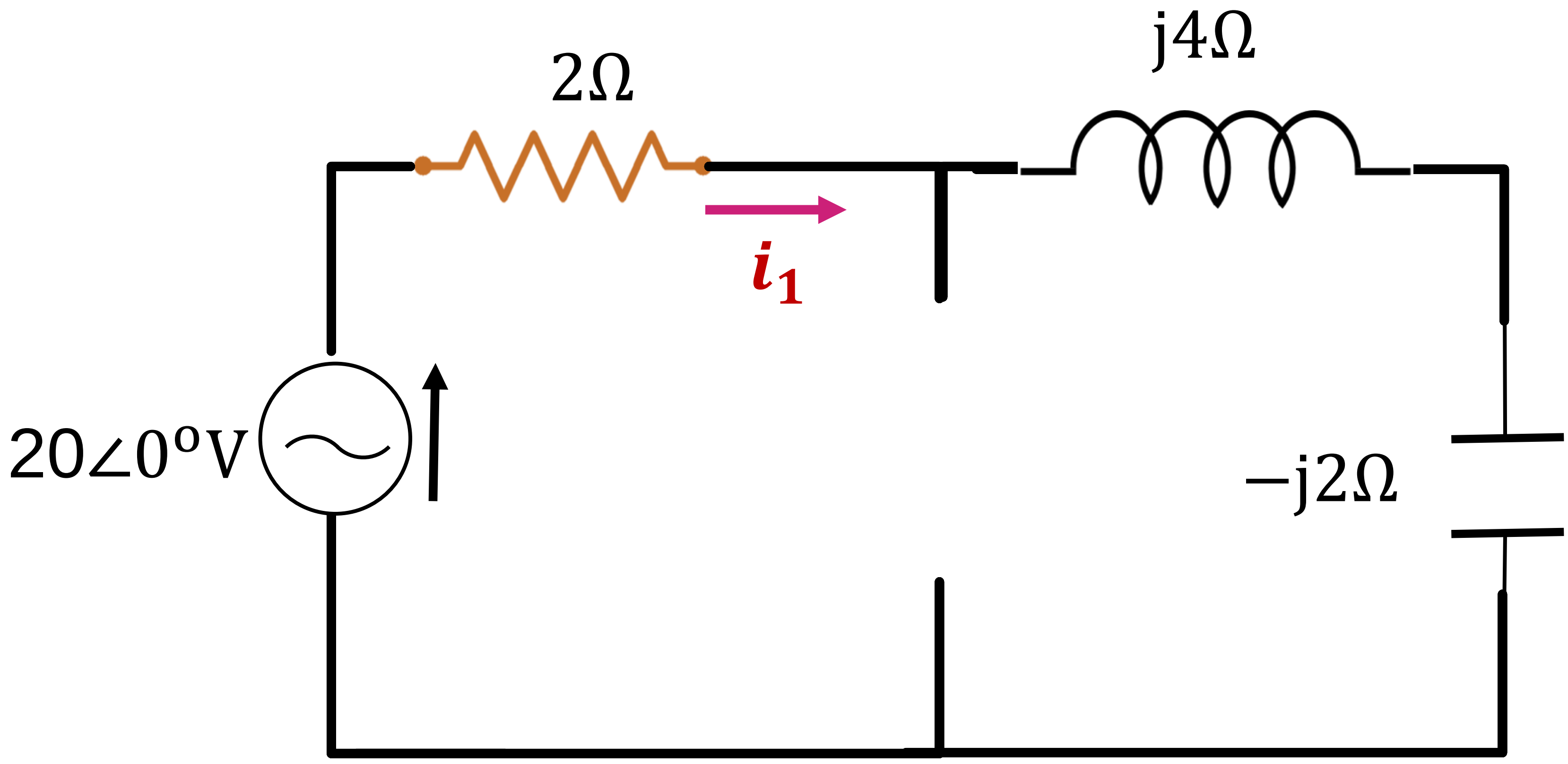
$$I_3 = I_{13} + I_{23} + I_{33}$$

重ねの理の練習:交流



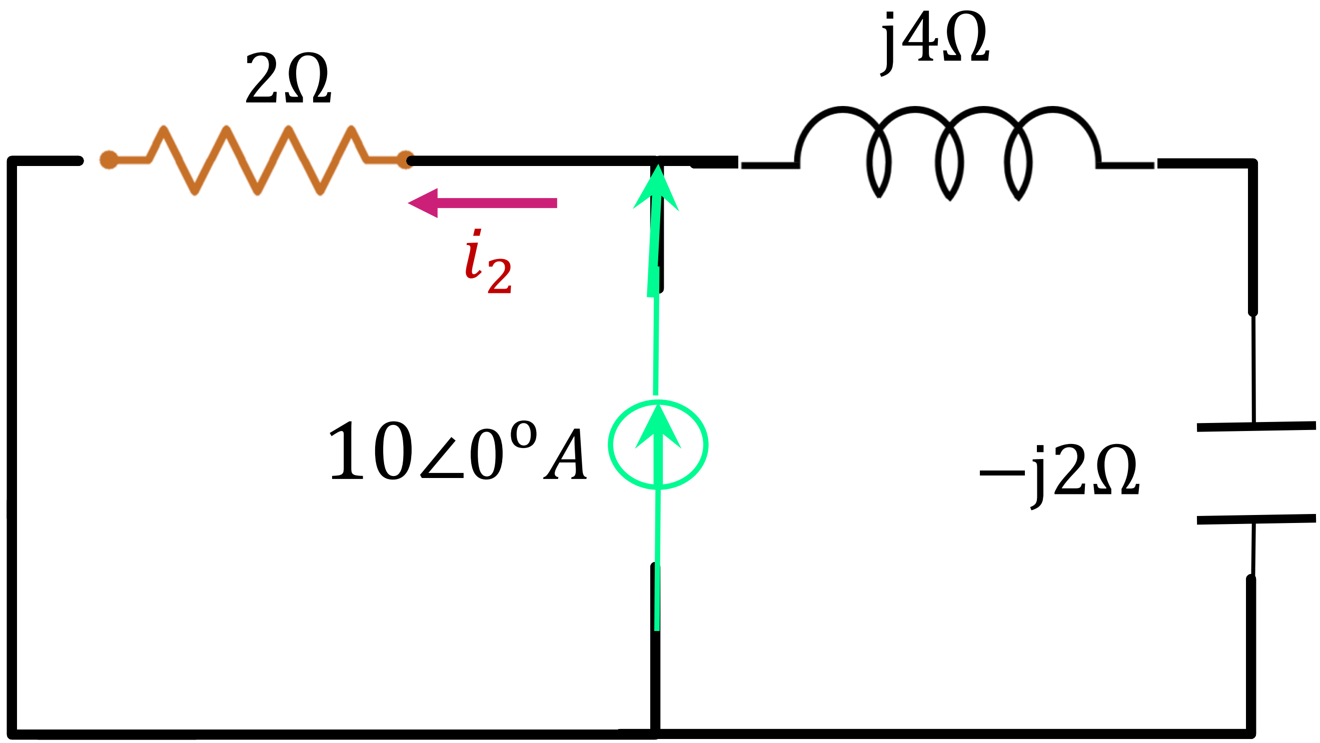
問題:電流iのフェーザ表示を重ねの理を用いて求めよ！

重ねの理の練習:電流源を外す



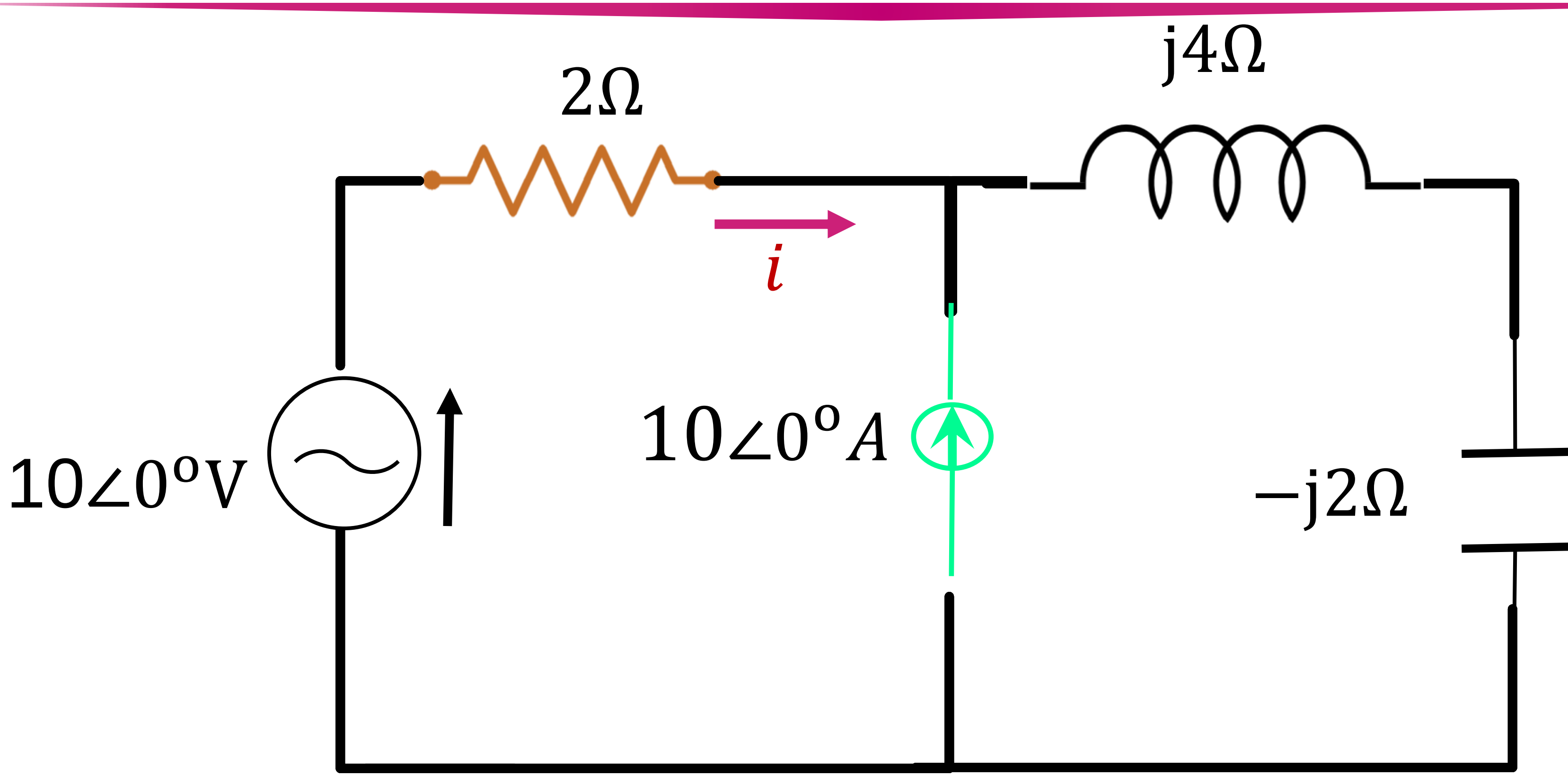
$$i_1 = \frac{20\angle 0^o}{2 + j2} = 5(1 - j) = 7.07\angle -45^o$$

重ねの理の練習:電圧源を外す



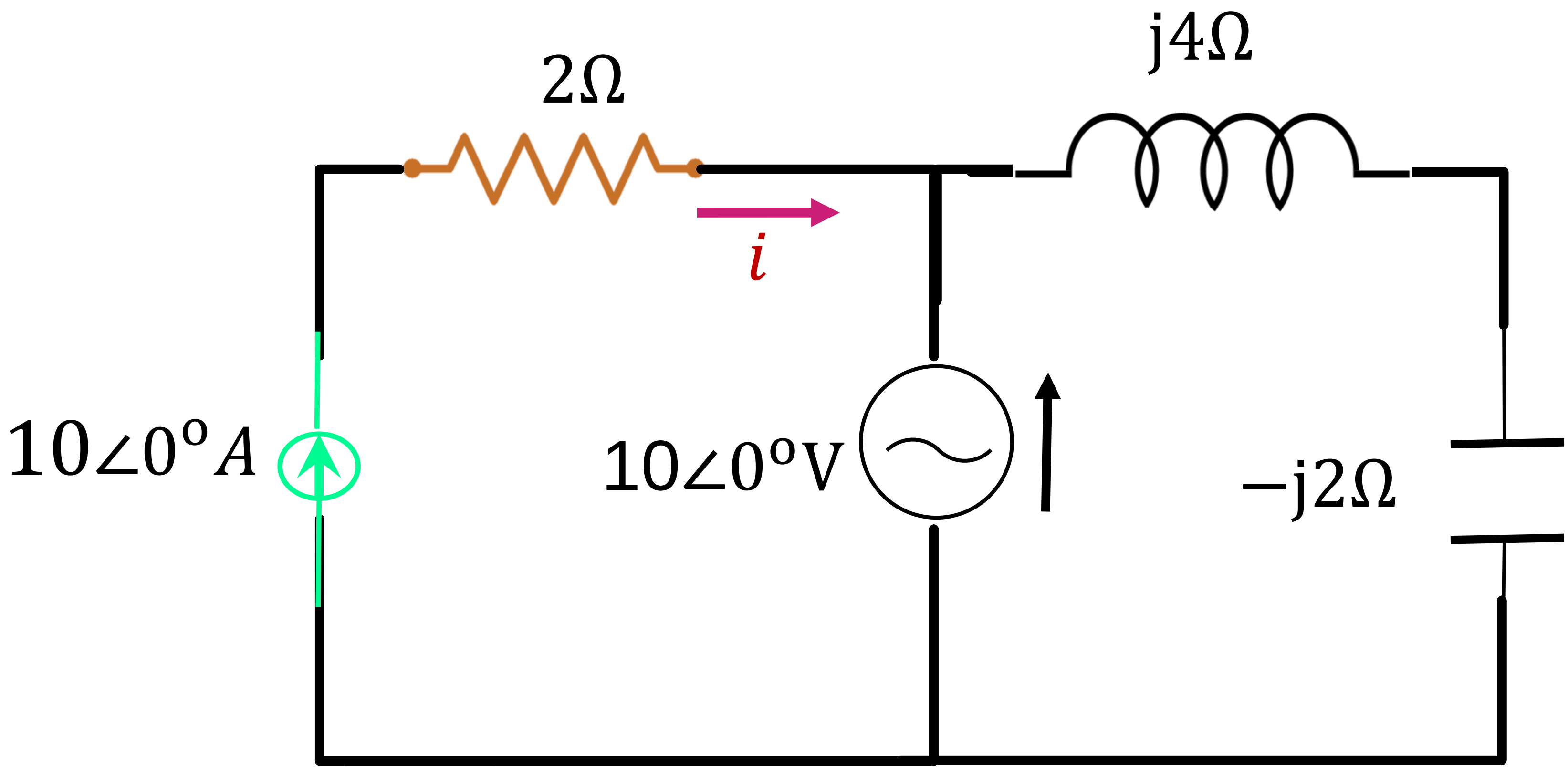
$$i_2 = \frac{2j}{2+j2} 8\angle 0^o = \frac{1}{1-j} 8\angle 0^o = 5(1+j) = 7.07\angle 45^o$$

重ねの理の練習:電流合成(向きに注意)



$$i = \boldsymbol{i_1 - i_2 = 5(1-j)} - 5(1+j) = -10j = -10\angle 90^{o}$$

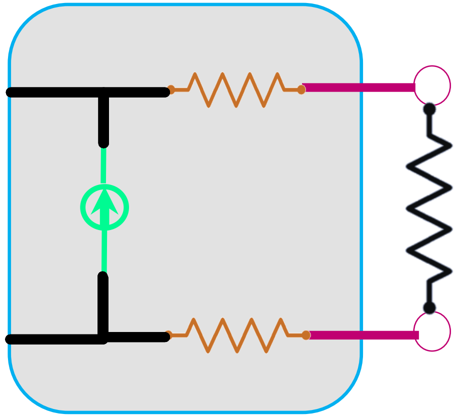
重ねの理の練習2：5分以内に求めよ



問題：電流iのフェーザ表示を重ねの理を用いて求めよ！

テブナン等価回路:

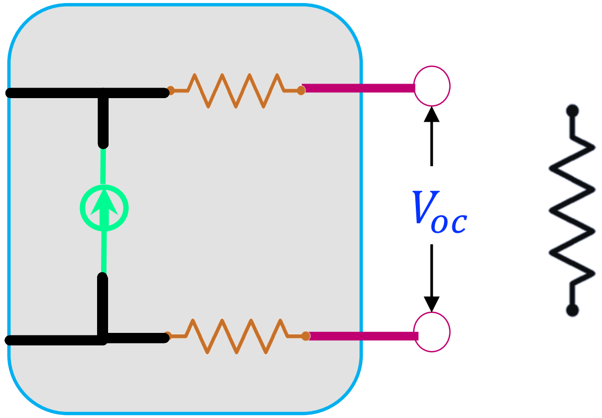
テブナン等価回路のV_0、R_0を求めるために



- 抵抗を回路から外す(もしあれば)、電源も回路から外す！外し方は重ねの理と同じです。

等価抵抗R_0を計算する

- 回路の出力端子間の電圧を計算する:

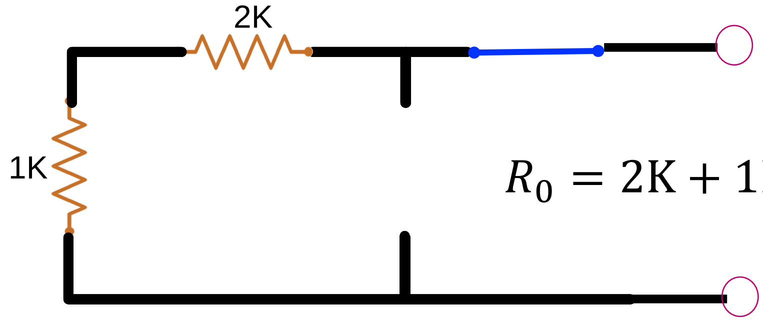


等価電圧V_0を計算する

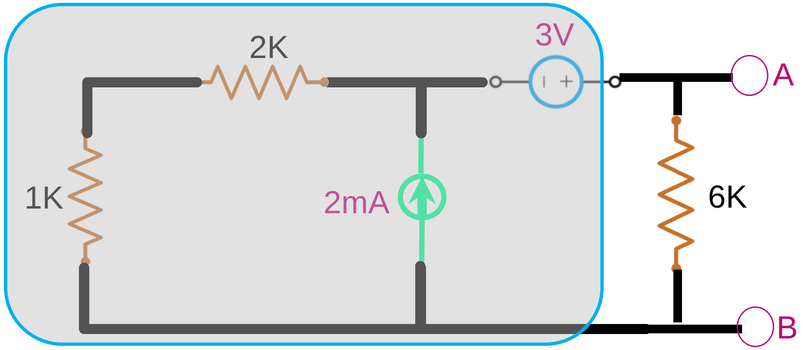
計算方法はなんでもいい;節点解析、ループ解析、分圧、分流と電源変換等

直流回路におけるテブナンの定理の応用練習

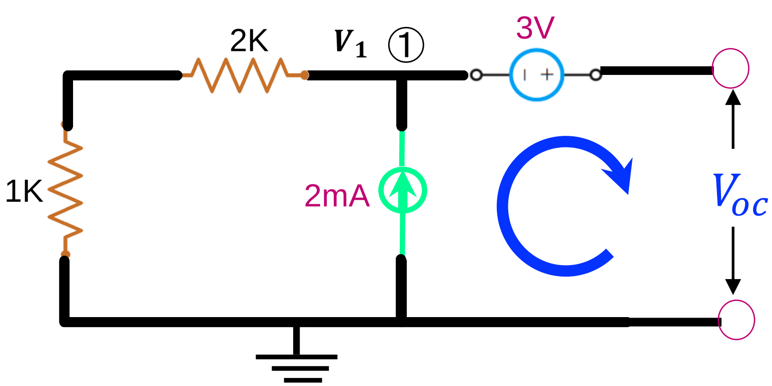
- 回路の出力端子間の抵抗を計算する:



$$R_0 = 2\mathrm{K} + 1\mathrm{K} = 3\mathrm{K}\Omega$$



- 回路の出力端子間の電圧を計算する:



KCL@①

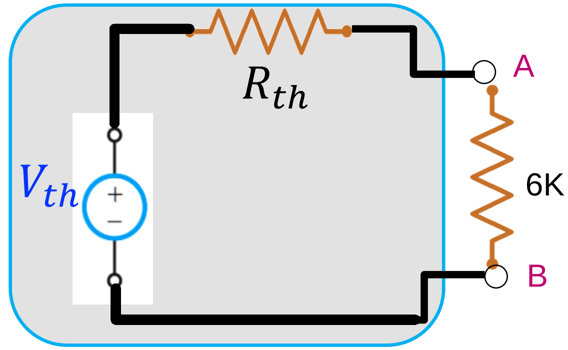
$$2mA - \frac{\boldsymbol{V_1}}{3K} = 0$$

$$\boldsymbol{V_1} = 6V$$

KVL@

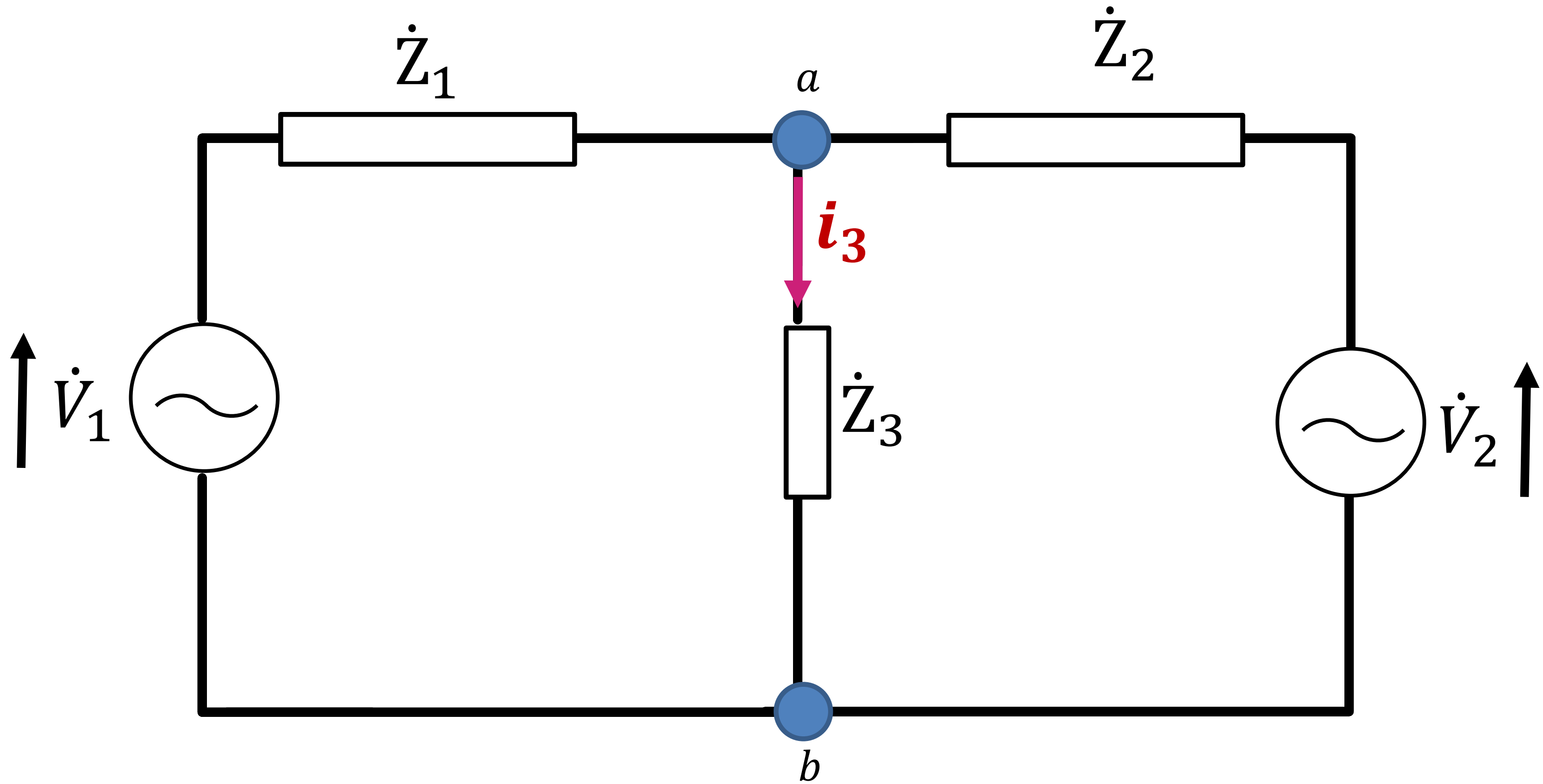
$$-6V - 3V + V_{oc} = 0$$

$$V_{oc} = 9\mathrm{V} = V_0$$



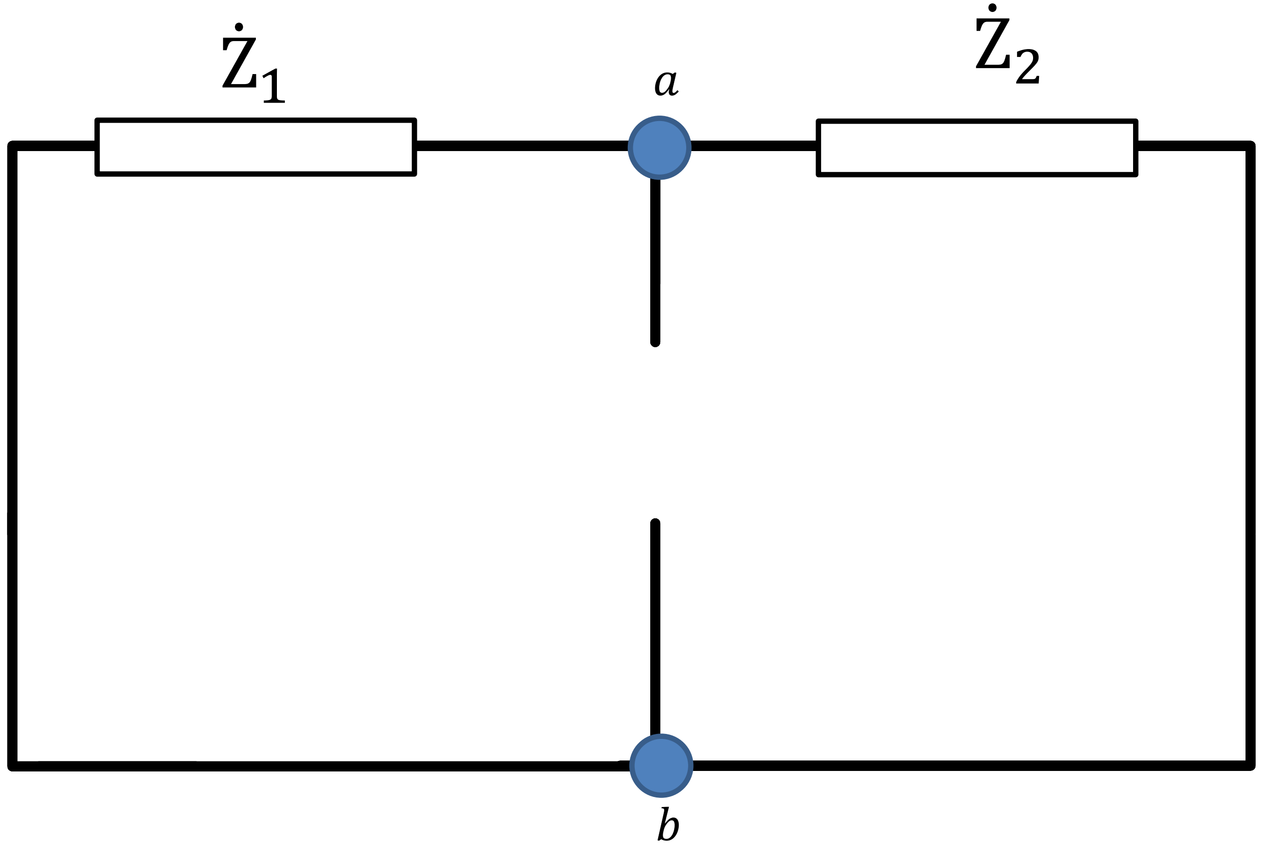
$$\boldsymbol{V_{AB}} = 6K * \frac{9V}{3K + 6K} = 6V$$

テブナンの定理の応用：交流



問題：　インピーダンス$\dot{Z}_3$に流れる電流i_3をテブナンの定理を適用して求めよ、、、

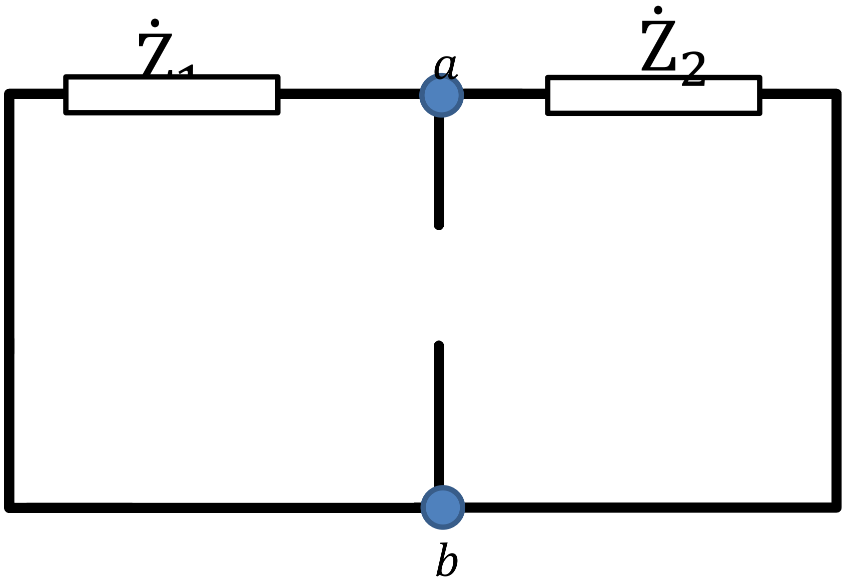
テブナンの定理の交流回路応用:等価抵抗

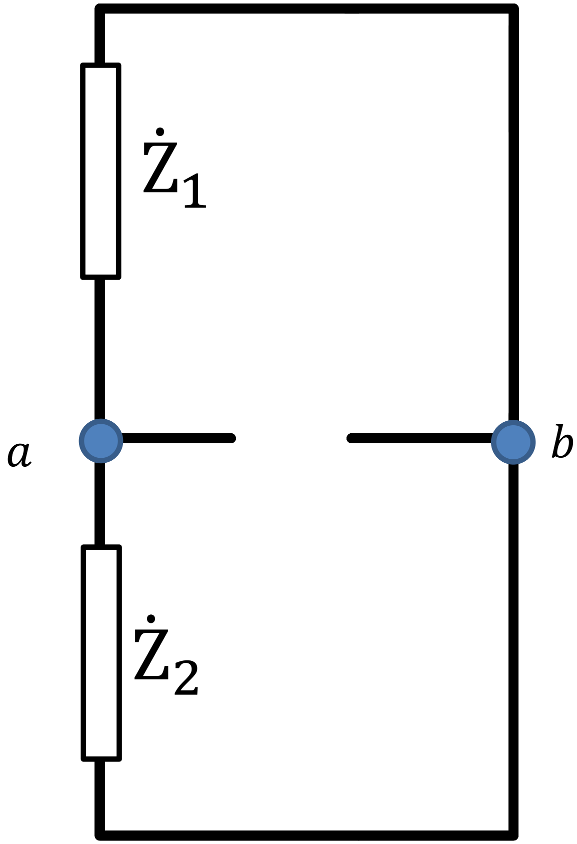


Step1:ab間の等価抵抗$\dot{Z}_0$を求める:

$$\dot{Z}_0 = \frac{\dot{Z}_1\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

テブナンの定理の交流回路応用:等価抵抗

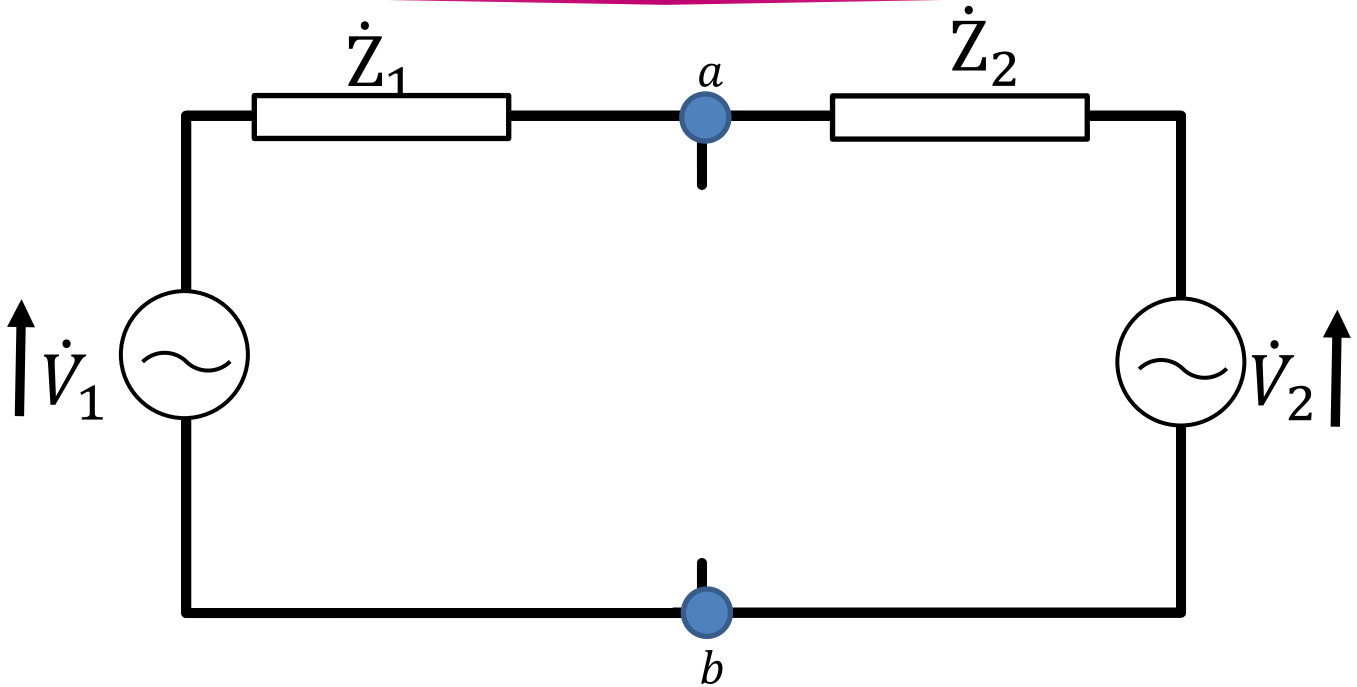


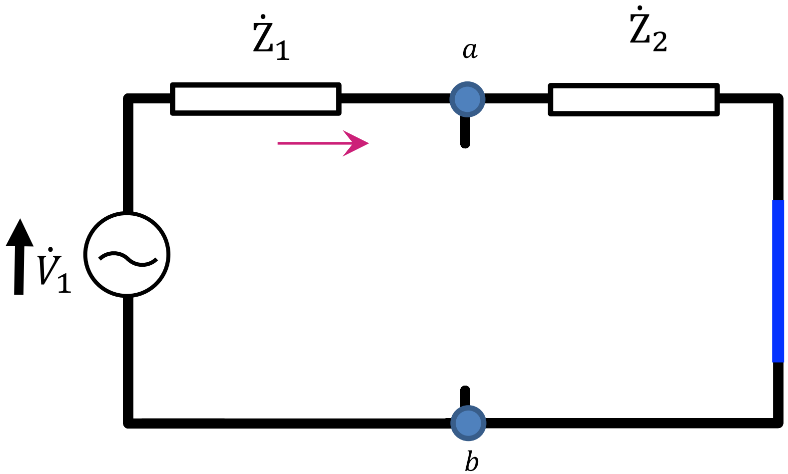


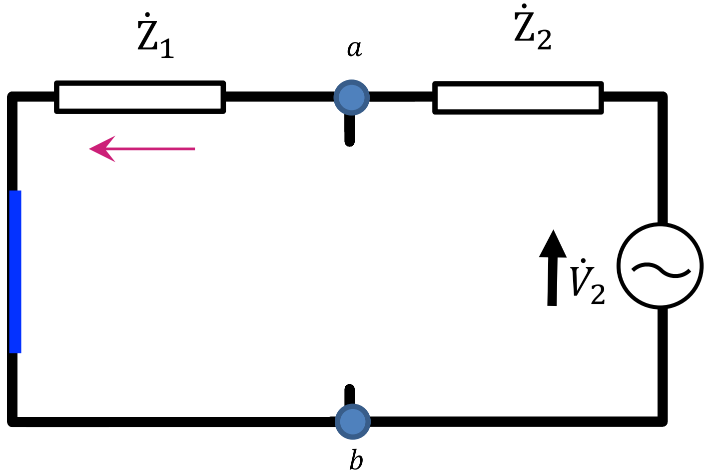
Step1:ab間の等価抵抗$\dot{Z}_0$を求める:

$$\dot{Z}_0 = \frac{\dot{Z}_1\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

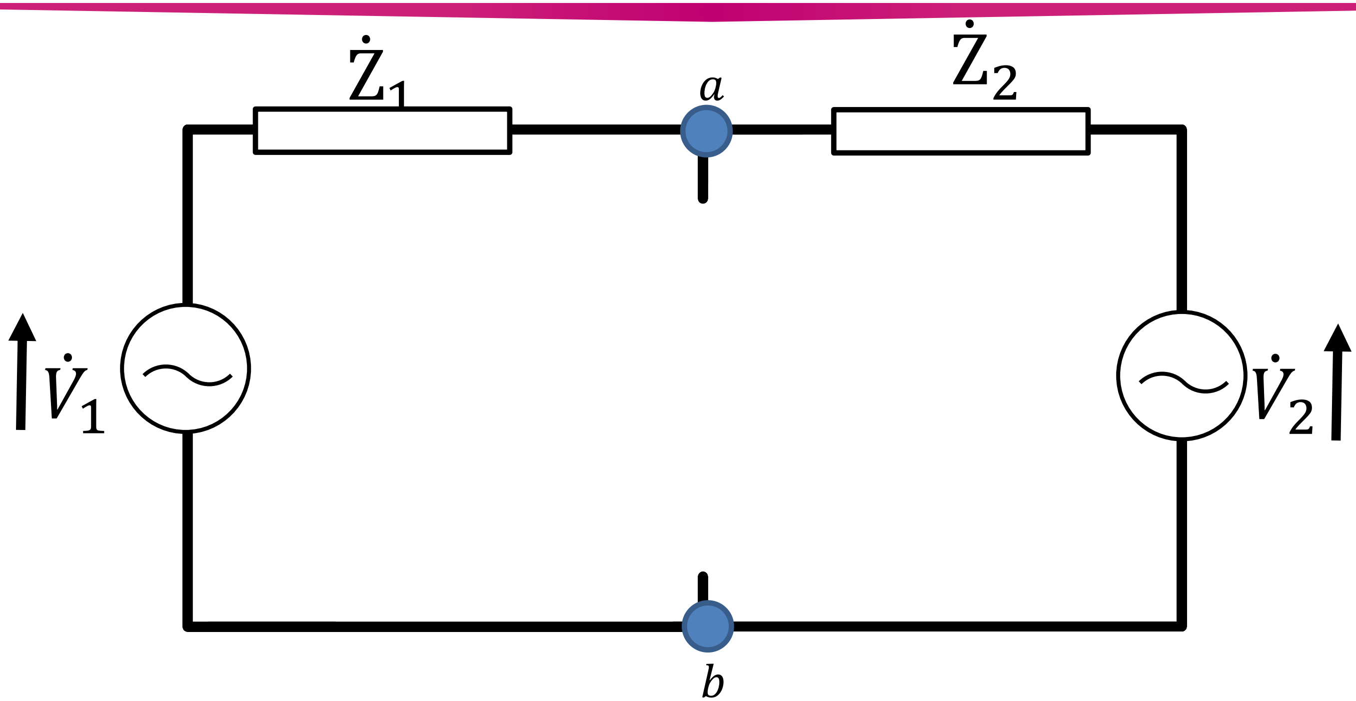
テブナンの定理の交流回路応用：等価電圧（重ねの理）







テブナンの定理の交流回路応用:等価電圧（重ねの理）

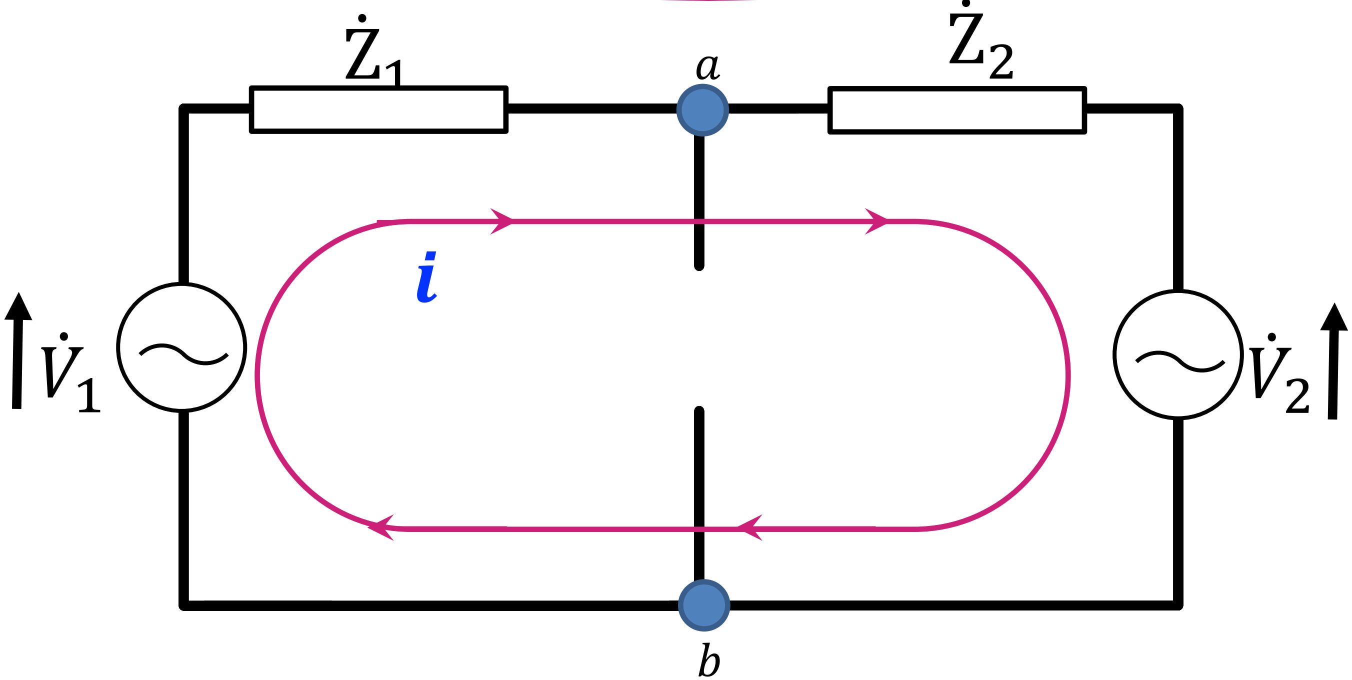


Step2:ab間の等価電圧$\dot{V}_0$を求める:

$$i_1 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \qquad i_2 = -\frac{\dot{V}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \qquad i = \frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

$$\dot{V}_0 = \dot{V}_1 - i\dot{Z}_1 = \dot{V}_1 - \frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}\dot{Z}_1 = \frac{\dot{V}_1\dot{Z}_2 + \dot{V}_2\dot{Z}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

テブナンの定理の交流回路応用：等価電圧(ループ解析法）

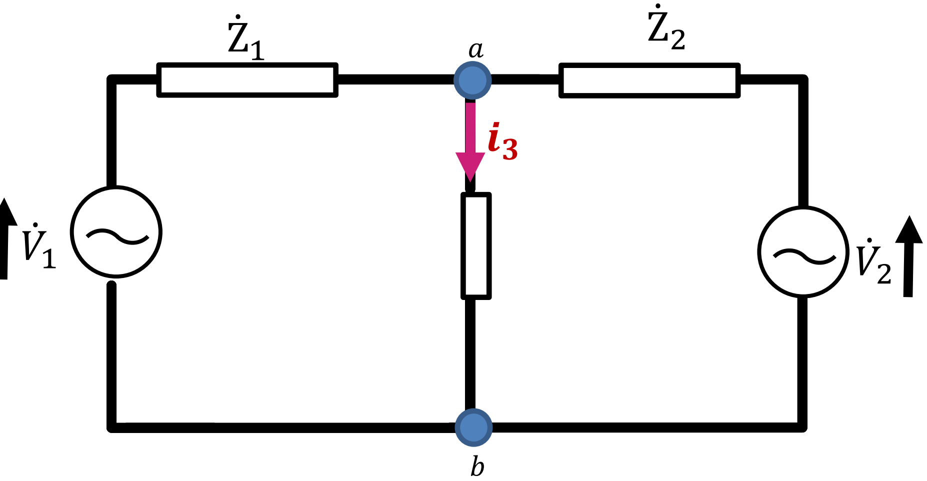


Step2：ab間の等価電圧$\dot{V}_0$を求める：

$$i\left(\dot{Z}_1+\dot{Z}_2\right)+\dot{V}_2-\dot{V}_1=0 \qquad i=\frac{\dot{V}_1-\dot{V}_2}{\dot{Z}_1+\dot{Z}_2}$$

$$\dot{V}_0=\dot{V}_1-i\dot{Z}_1=\dot{V}_1-\frac{\dot{V}_1-\dot{V}_2}{\dot{Z}_1+\dot{Z}_2}\dot{Z}_1=\frac{\dot{V}_1\dot{Z}_2+\dot{V}_2\dot{Z}_1}{\dot{Z}_1+\dot{Z}_2}$$

テブナンの定理の交流回路応用:等価回路の確立

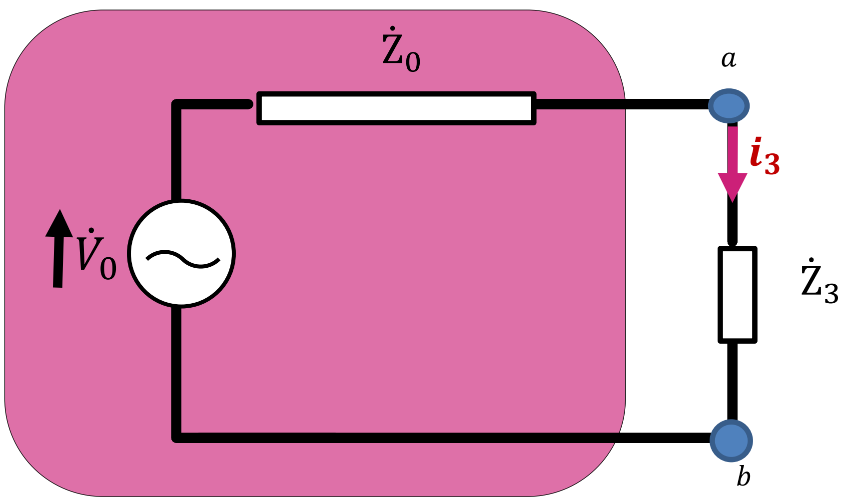


$$\dot{V}_0 = \frac{\dot{V}_1\dot{Z}_2 + \dot{V}_2\dot{Z}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

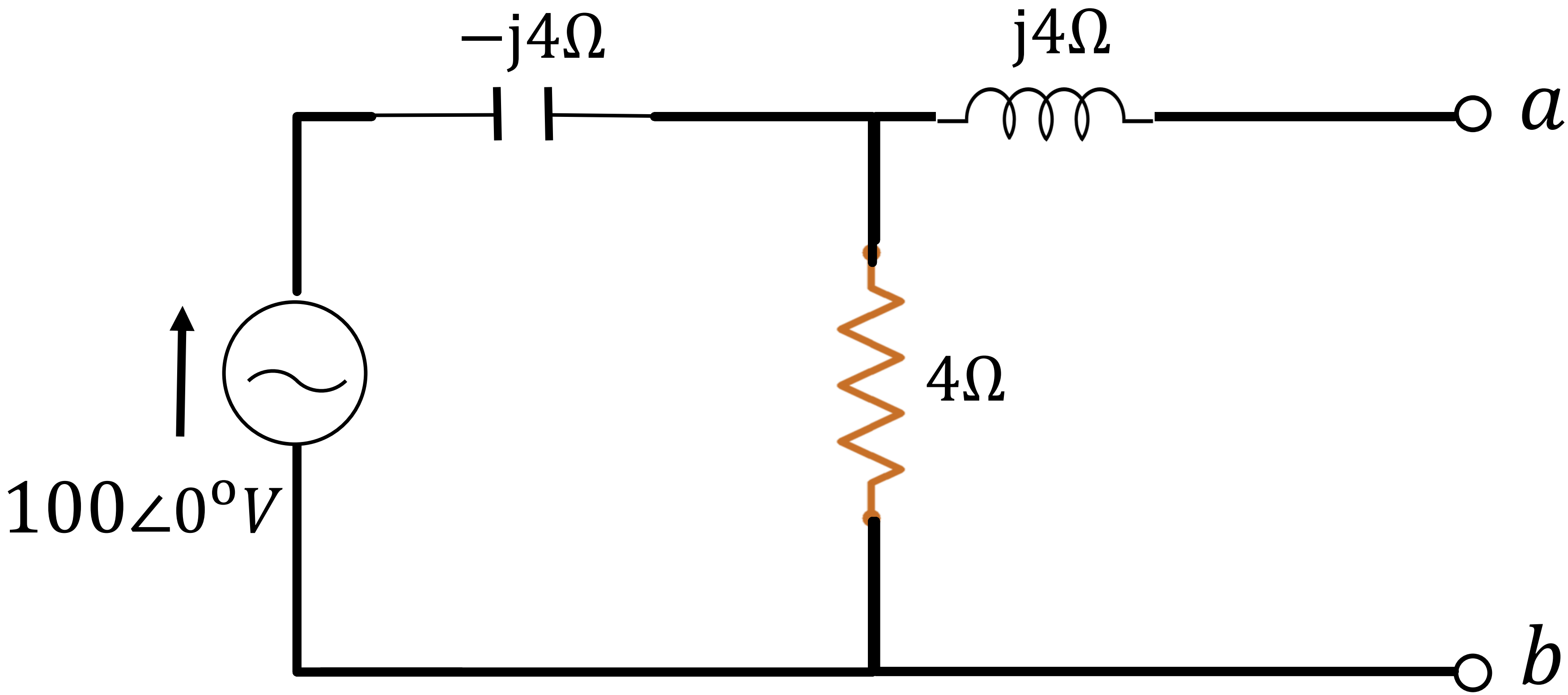
$$\dot{Z}_0 = \frac{\dot{Z}_1\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

$$i_3 = \frac{\dot{V}_0}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_3}$$

$$i_3 = \frac{\dot{V}_1\dot{Z}_2 + \dot{V}_2\dot{Z}_1}{\dot{Z}_1\dot{Z}_2 + \dot{Z}_2\dot{Z}_3 + \dot{Z}_1\dot{Z}_3}$$

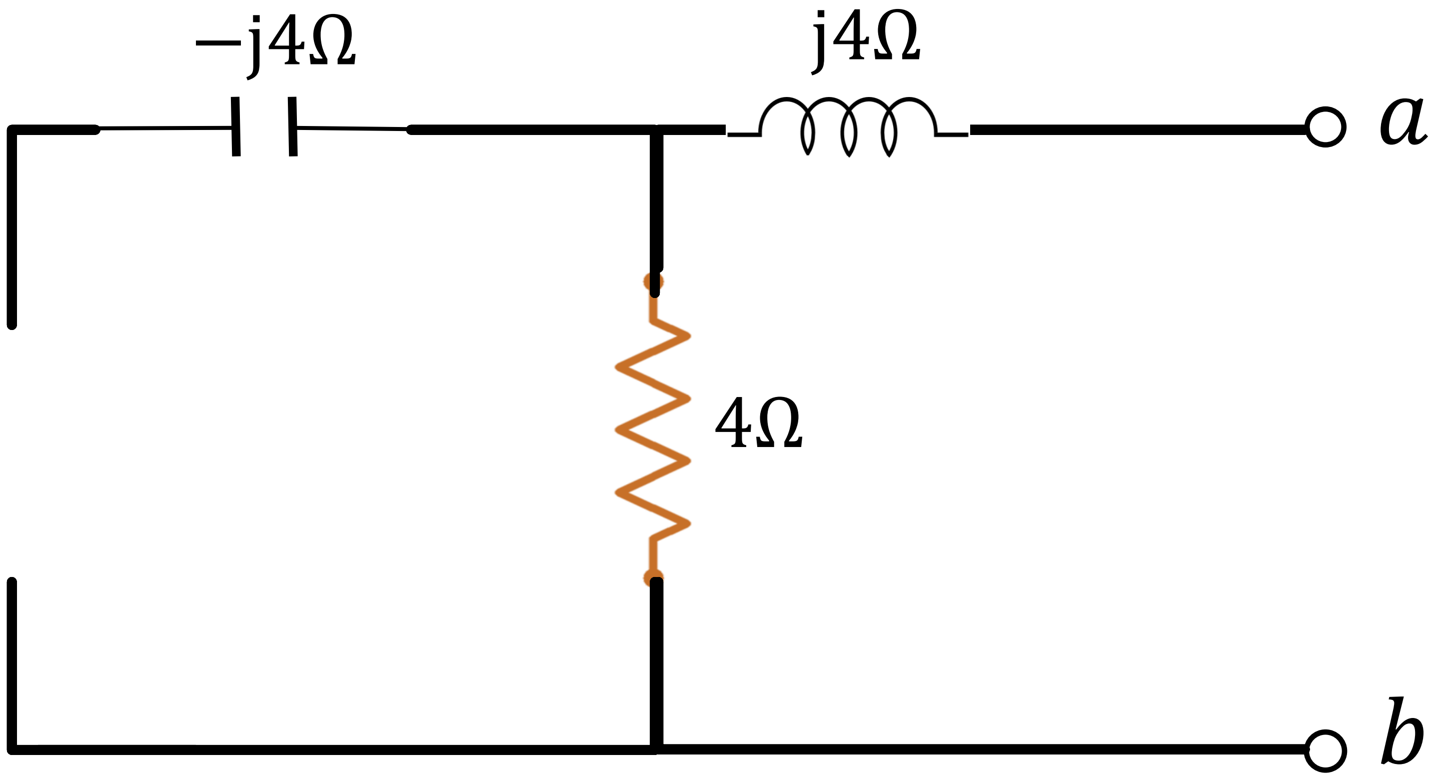


交流回路テブナンの定理の練習:



問題:ab端子から左側の回路に対しテブナンの等価回路を求めよ

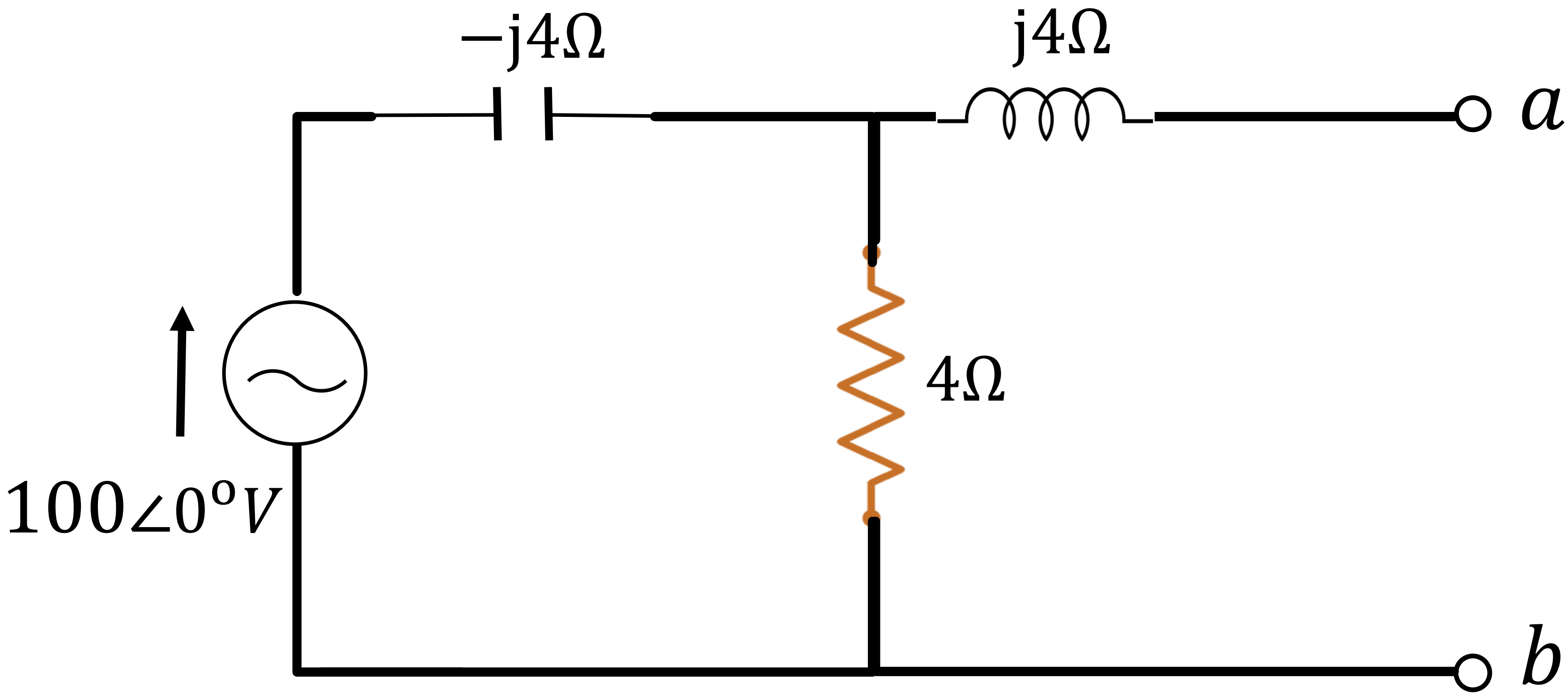
テブナンの定理の応用練習：等価抵抗



Step1：ab間の等価抵抗$\dot{Z}_0$を求める：

$$\dot{Z}_0 =$$

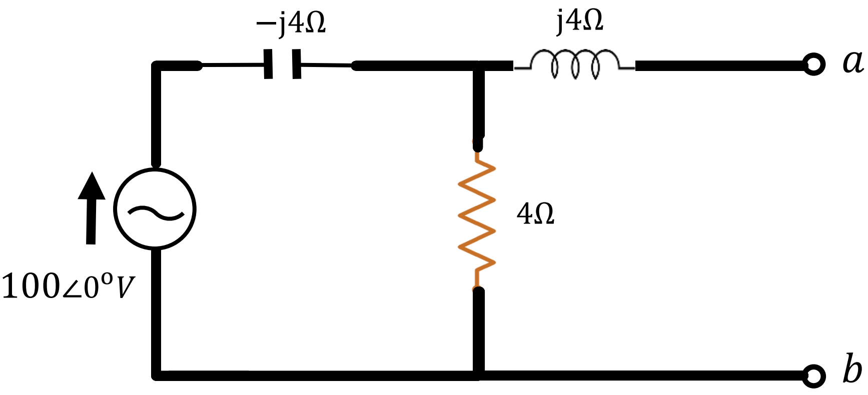
テブナンの定理の応用練習:等価電圧

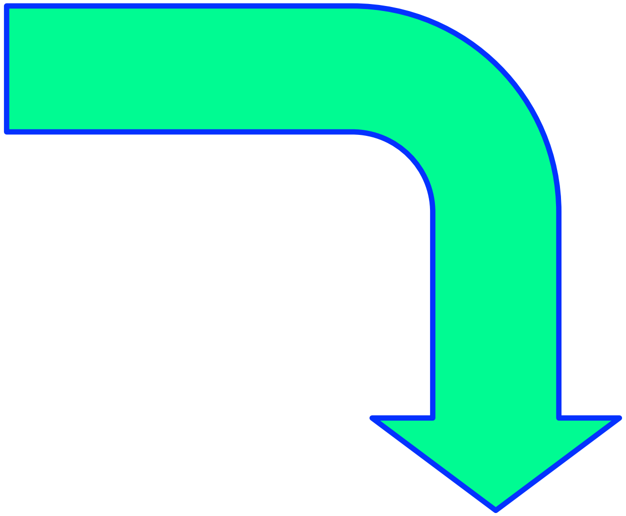


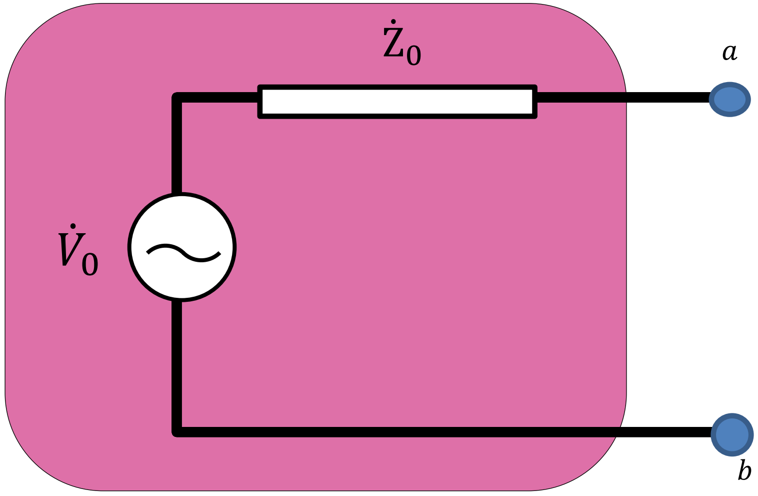
Step2:ab間の等価電圧$\dot{V}_0$を求める:

$$\dot{V}_{ab} =$$

テブナンの定理の応用練習：等価回路の確立







$\dot{V}_0 =$

$\dot{Z}_0 =$