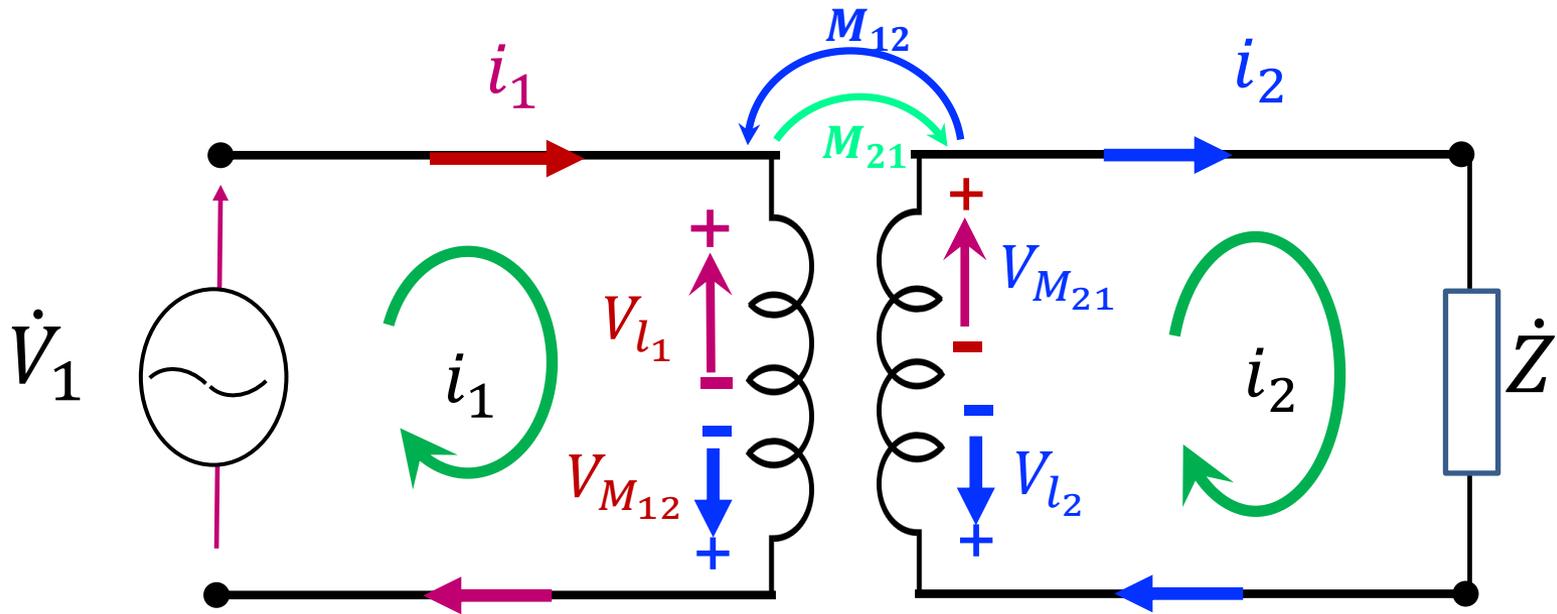
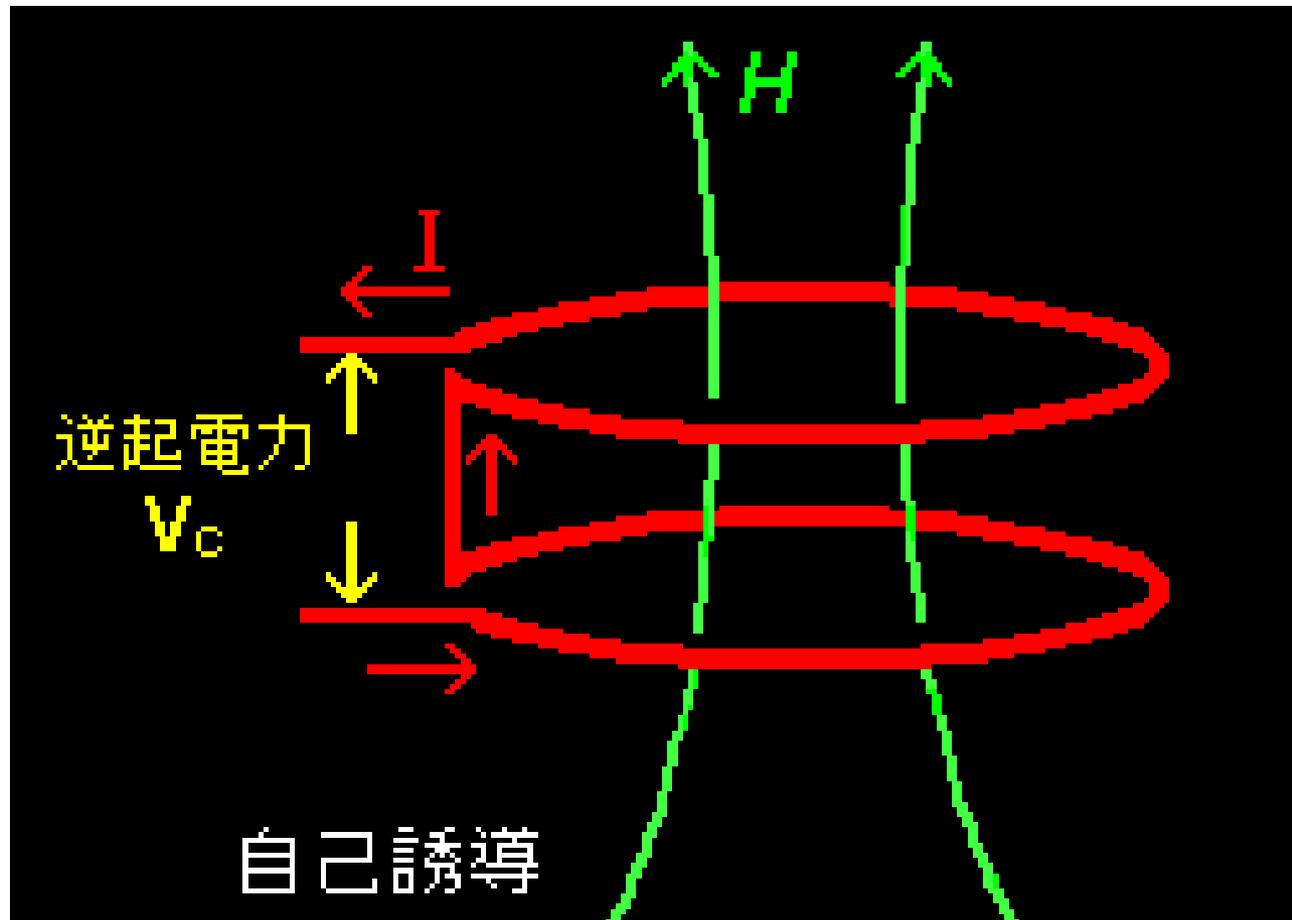


基礎電氣回路CH-10

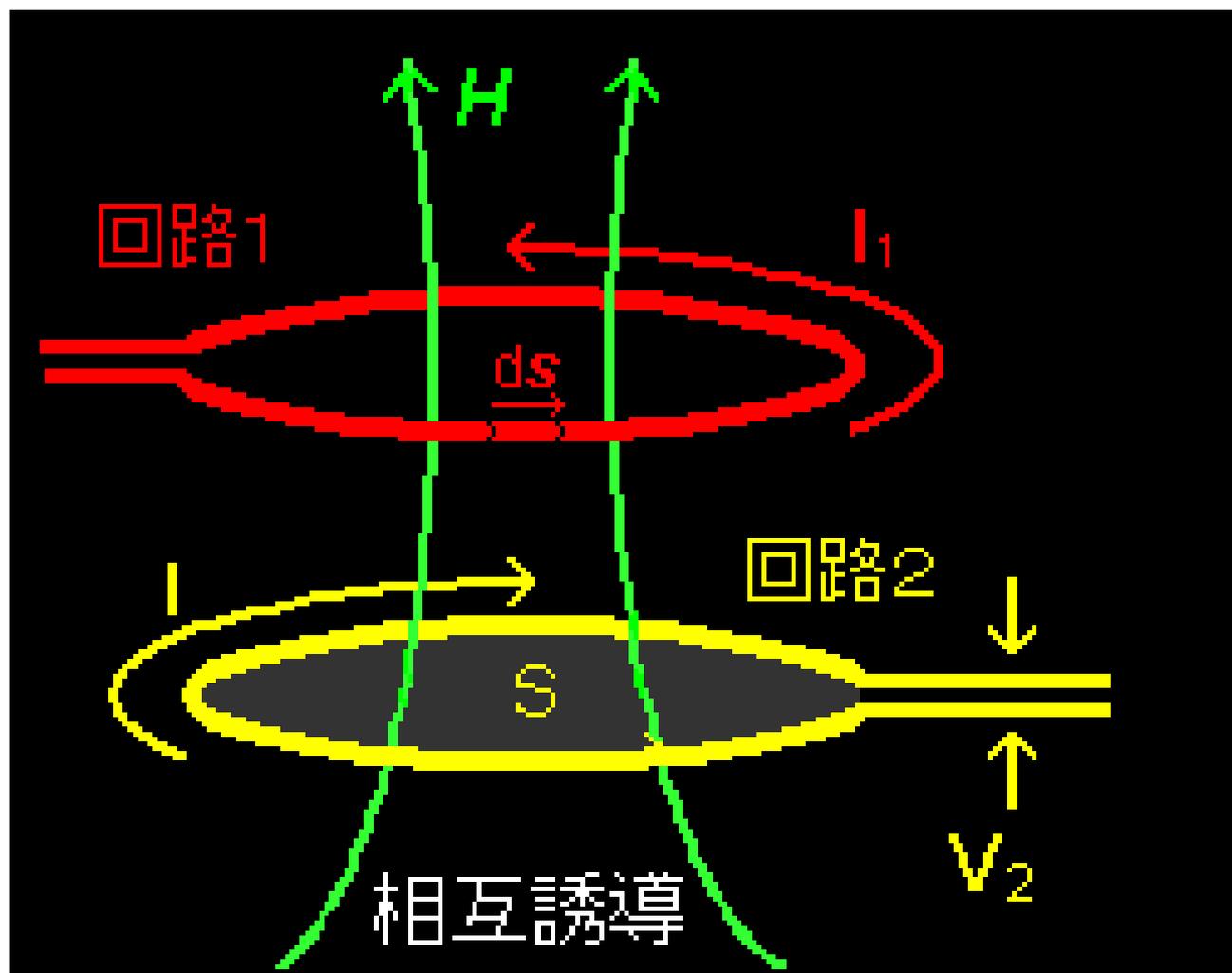
相互誘導回路



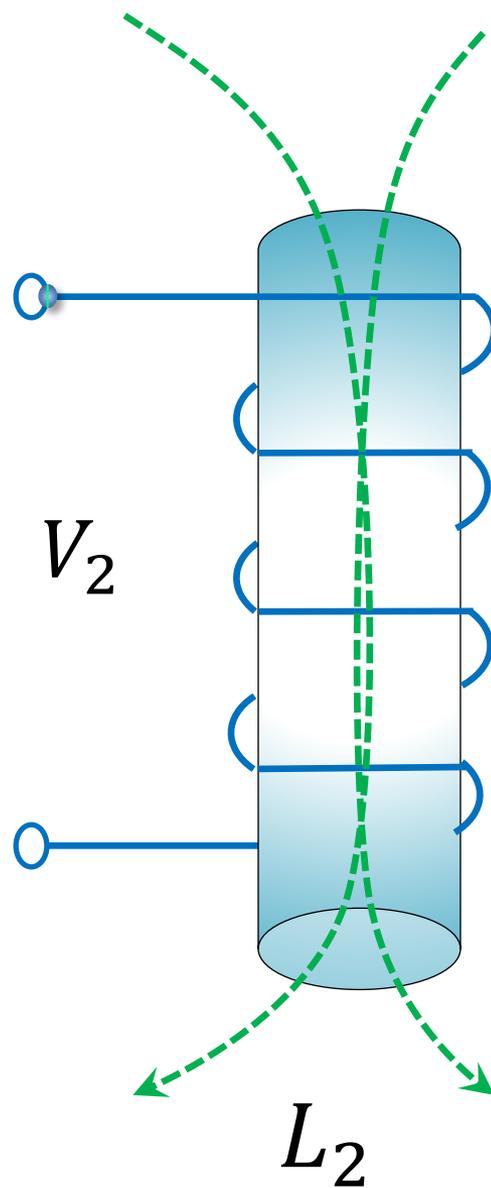
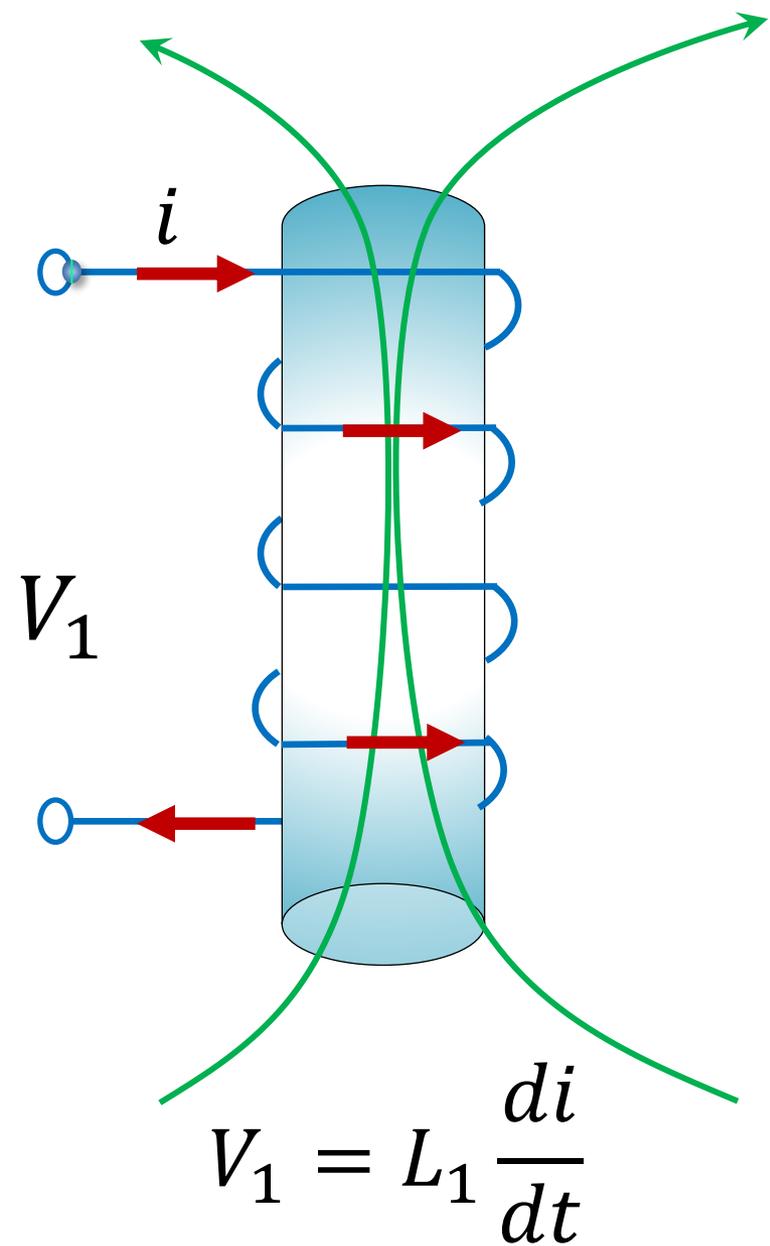
電磁誘導：自己誘導



電磁誘導：相互誘導

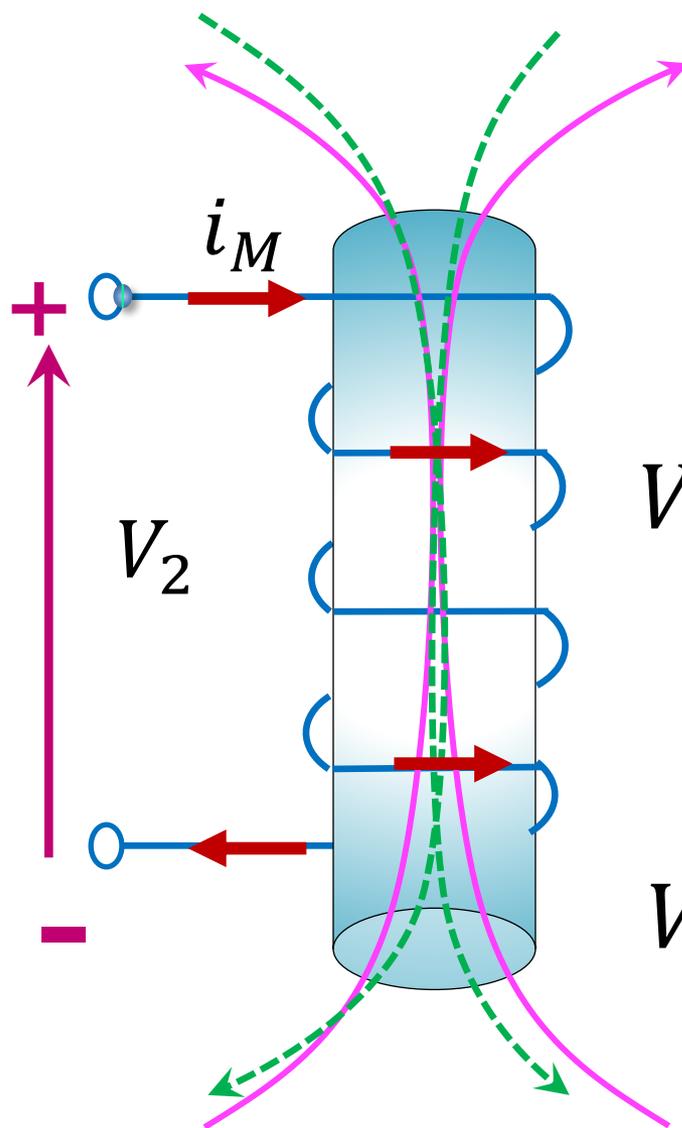
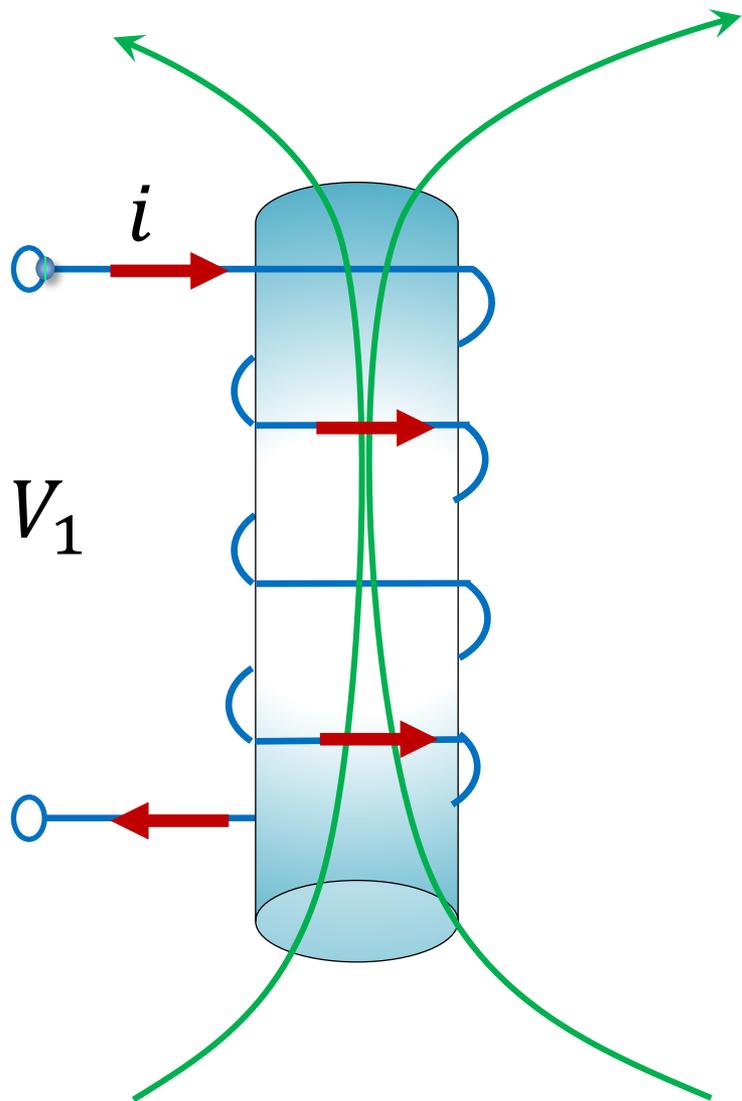


コイルにおける誘導電圧：電磁誘導



$$V_2 = M \frac{di}{dt}$$

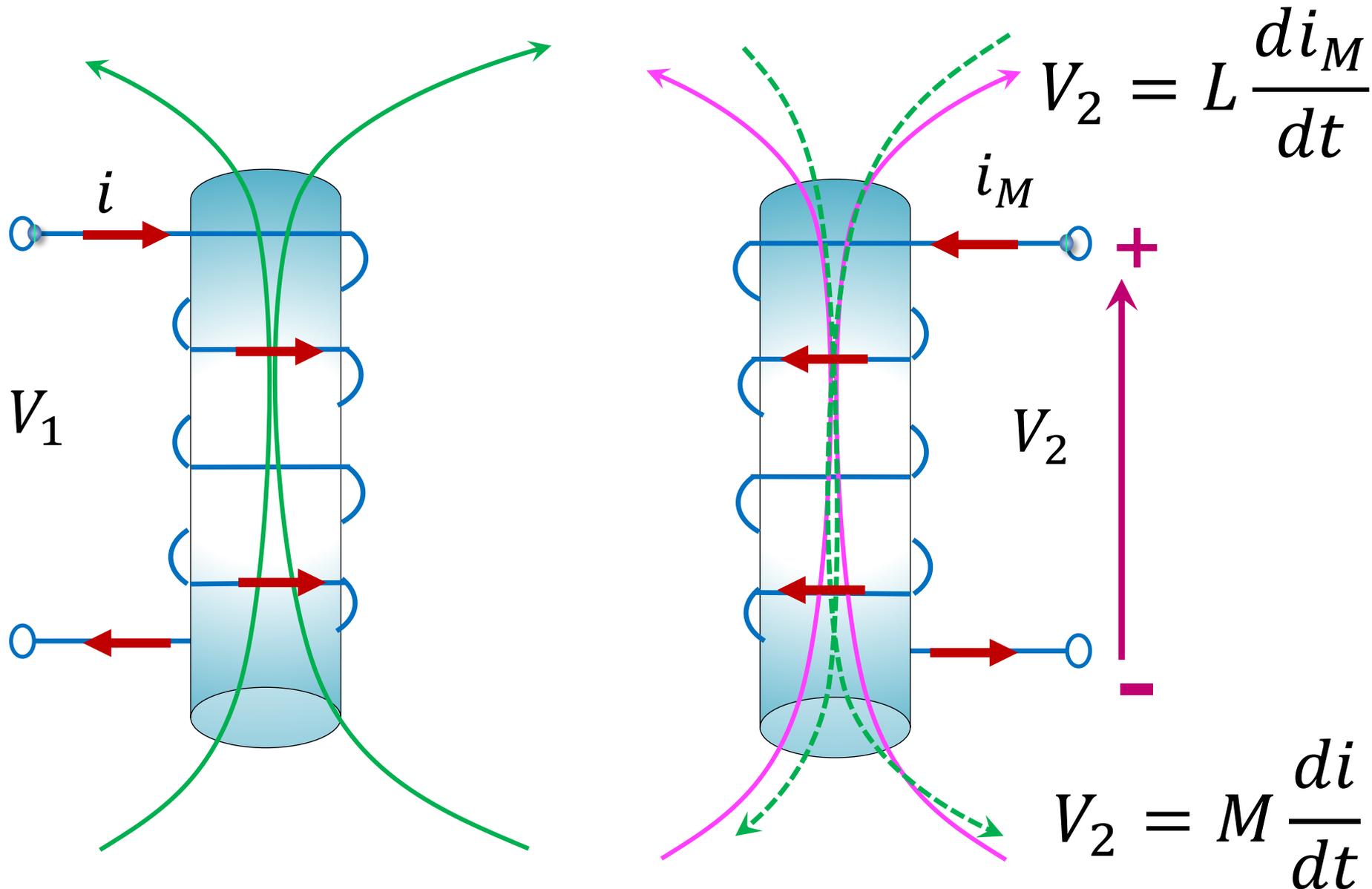
コイルにおける誘導電圧：電磁誘導



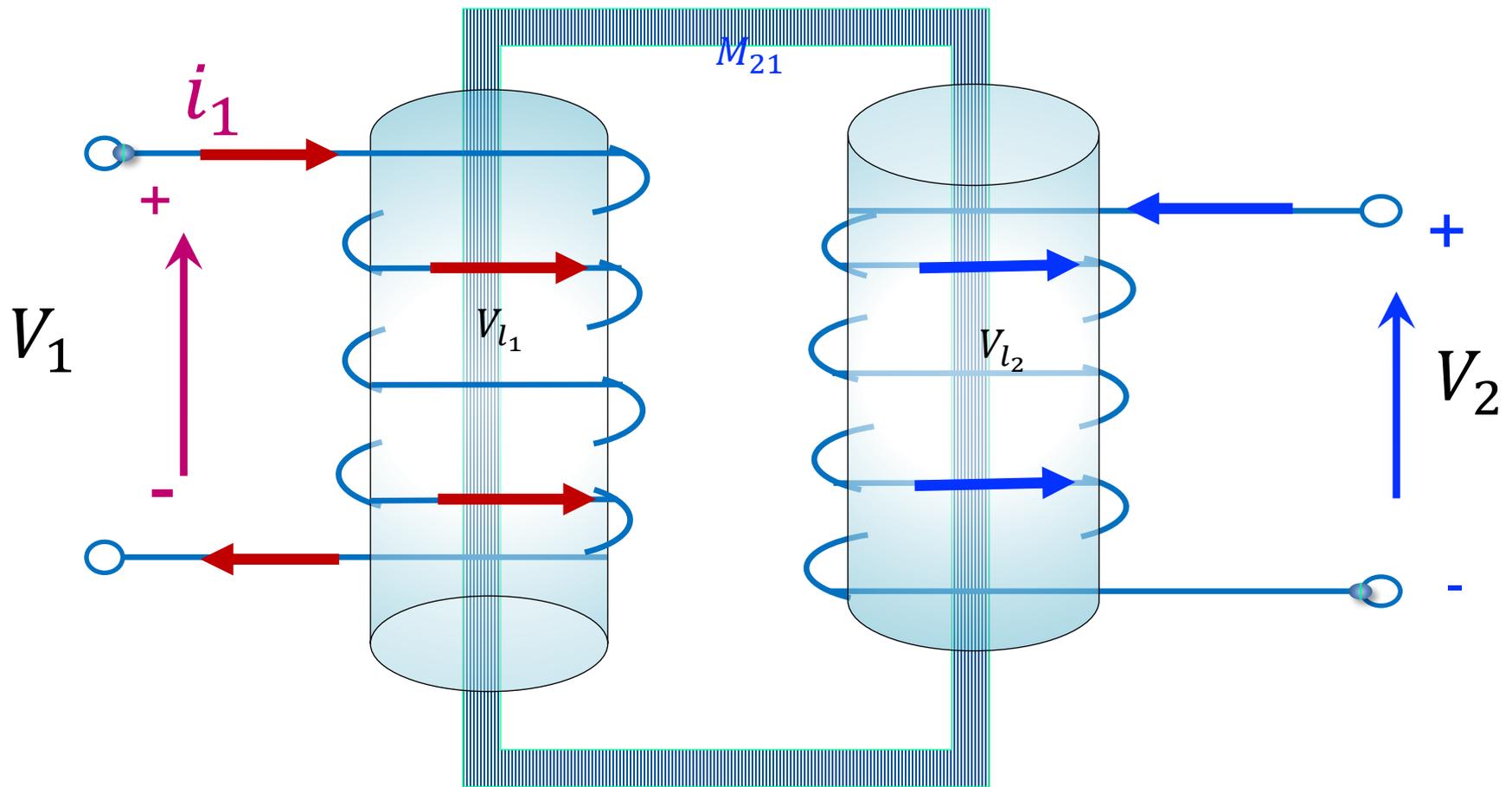
$$V_2 = M \frac{di}{dt}$$

$$V_2 = L \frac{di_M}{dt}$$

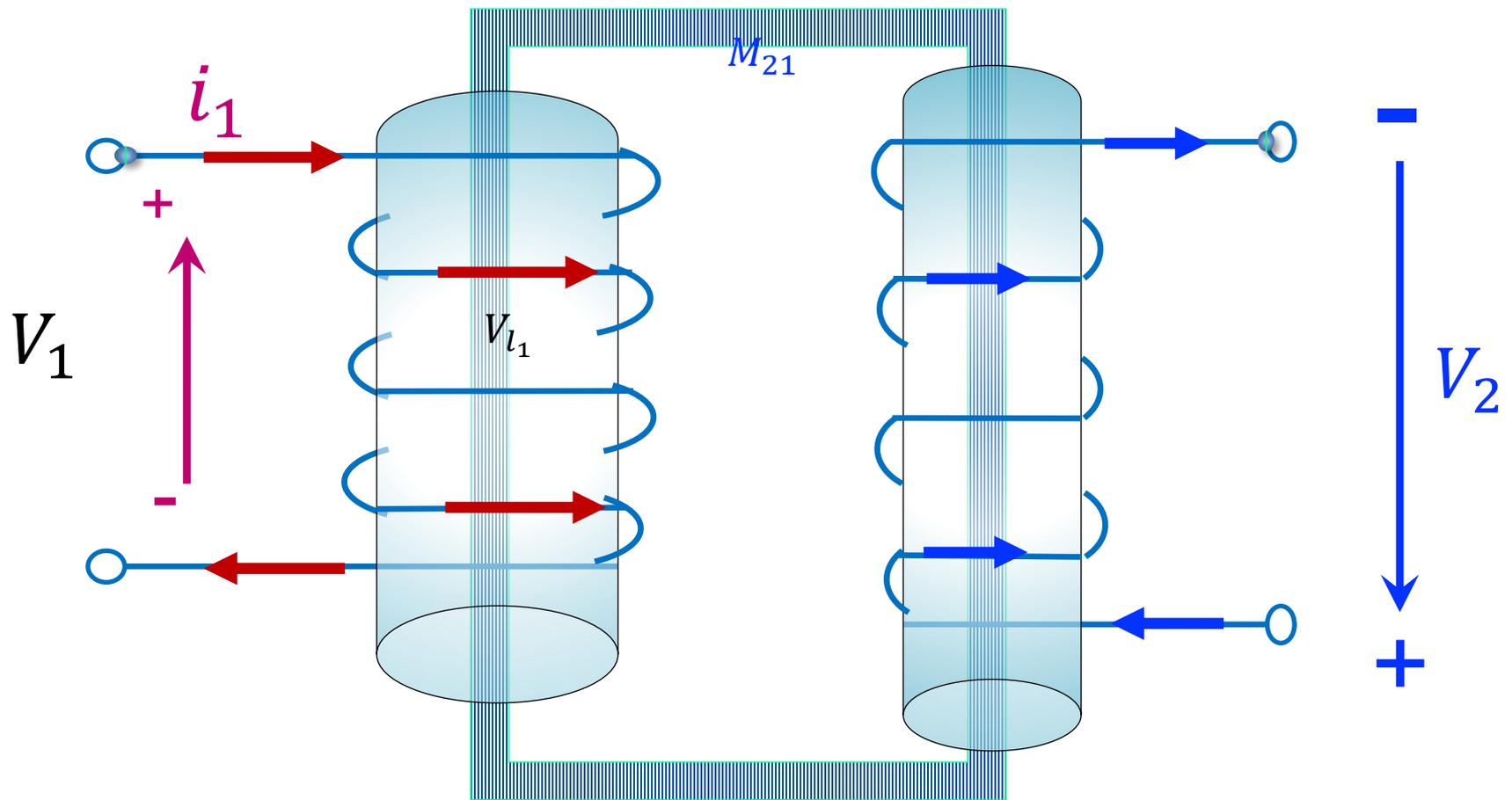
コイルにおける誘導電圧：電磁誘導



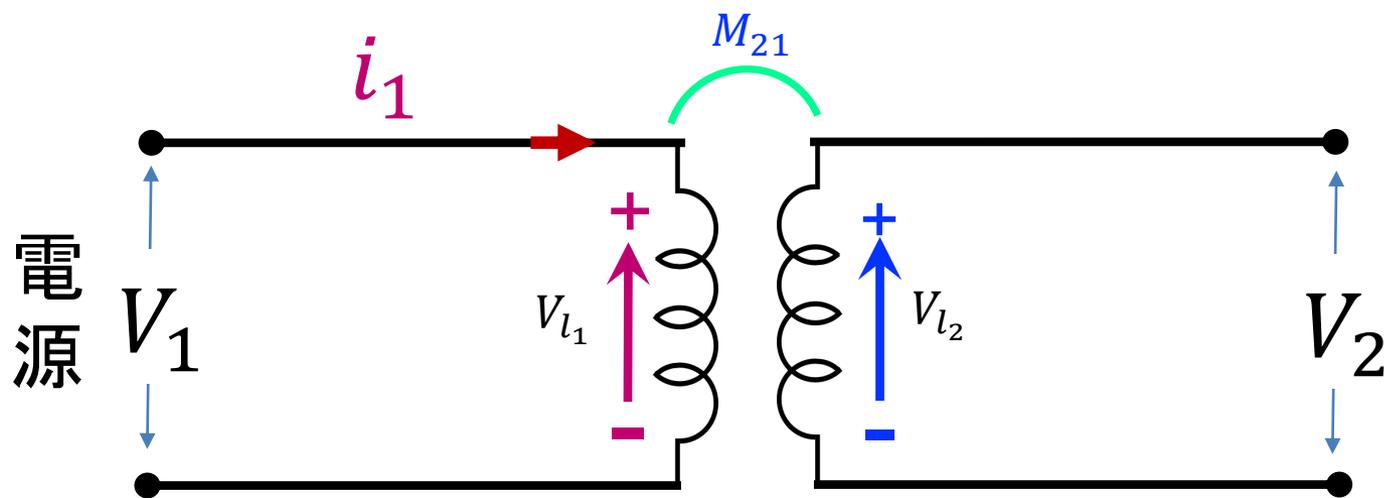
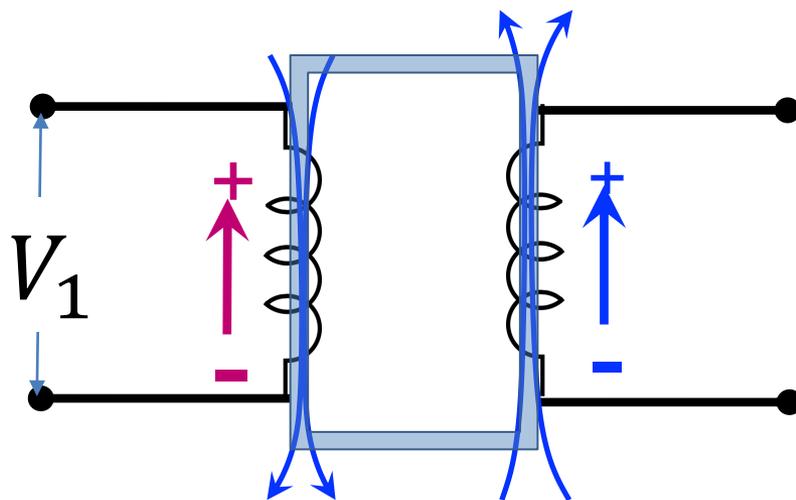
相互誘導インダクタンス:



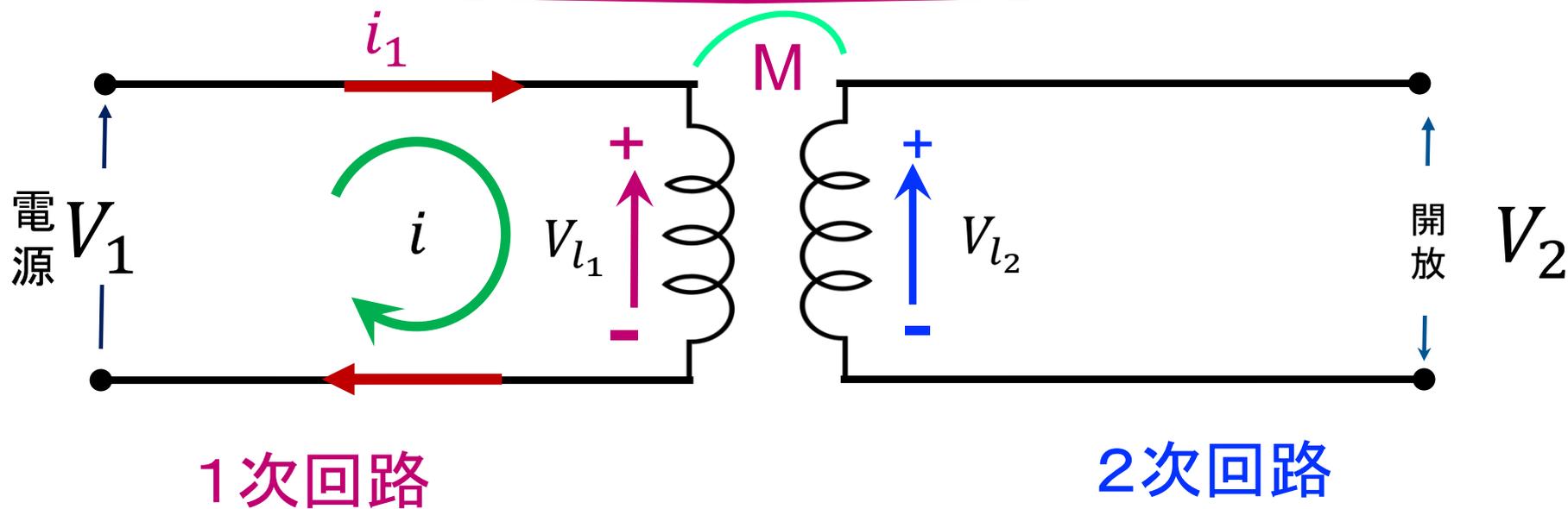
相互誘導インダクタンス：巻き方



相互誘導インダクタンス: 回路方式で表現する



相互誘導インダクタンス回路にKVL法則を応用する



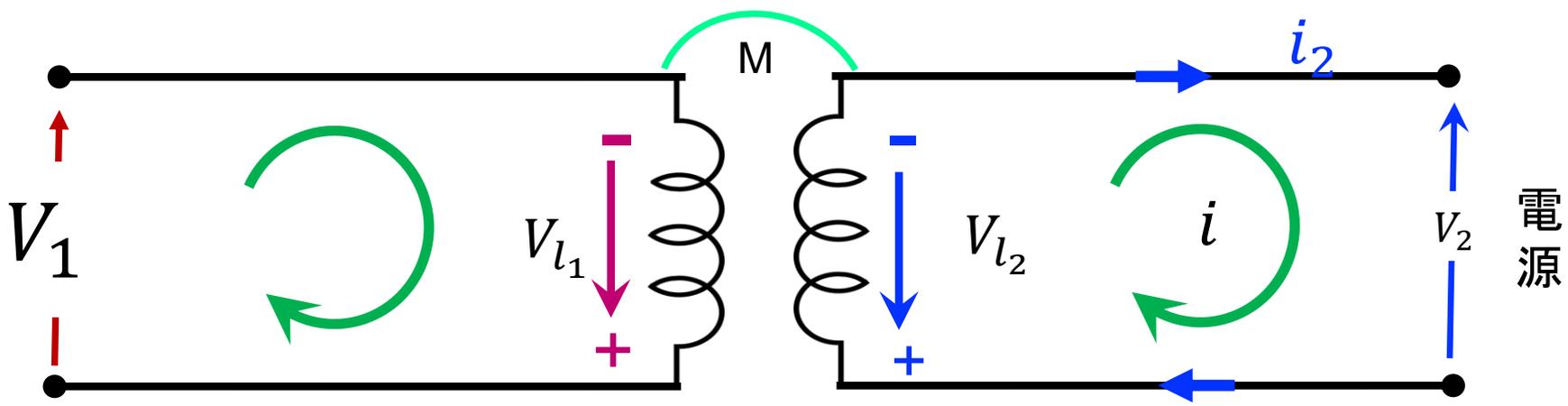
$$V_{l_1} - V_1 = 0$$

$$V_2 - V_{l_2} = 0$$

$$V_1 = V_{l_1} = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

$$V_2 = V_{l_2} = M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

相互誘導インダクタンス回路にKVL法則を応用する



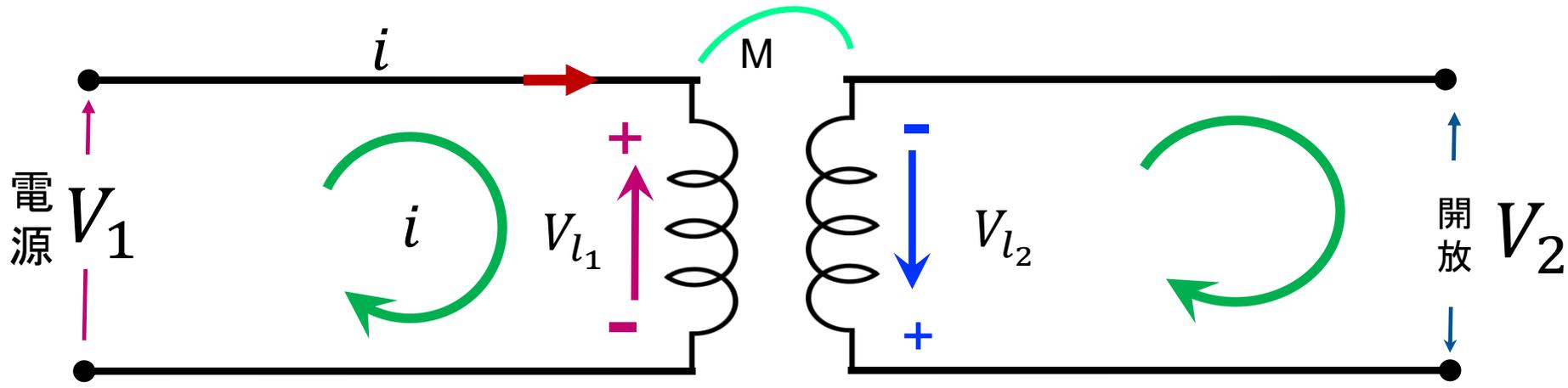
2次回路

1次回路

$$-V_{l_1} + V_1 = 0$$
$$V_1 = V_{l_1} = M_{12} \frac{di_2}{dt}$$

$$-V_2 + V_{l_2} = 0$$
$$V_2 = V_{l_2} = L_2 \frac{di_2}{dt}$$

相互誘導インダクタンス回路にKVL法則を応用する: 逆巻き



1次回路

2次回路

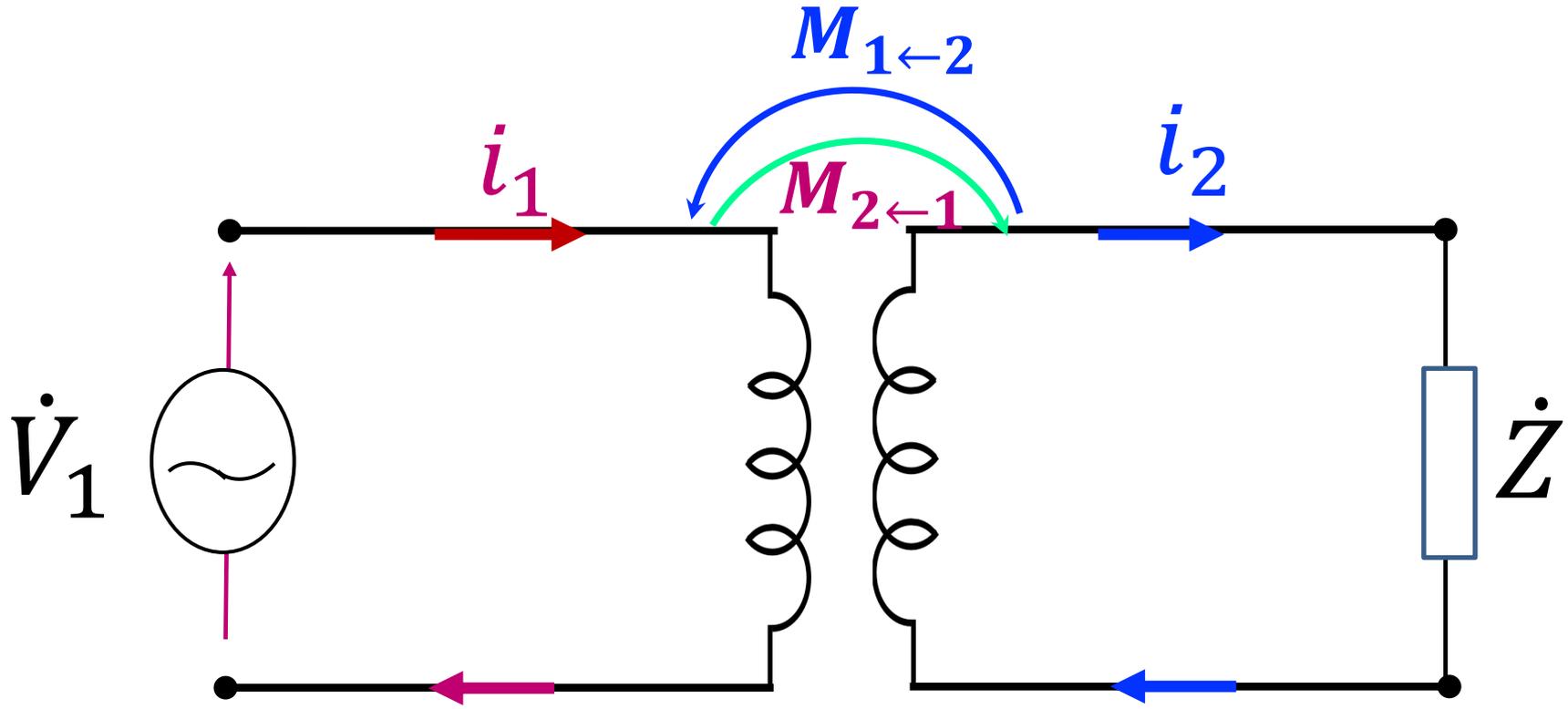
$$V_{l_1} - V_1 = 0$$

$$V_2 + V_{l_2} = 0$$

$$V_1 = V_{l_1} = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

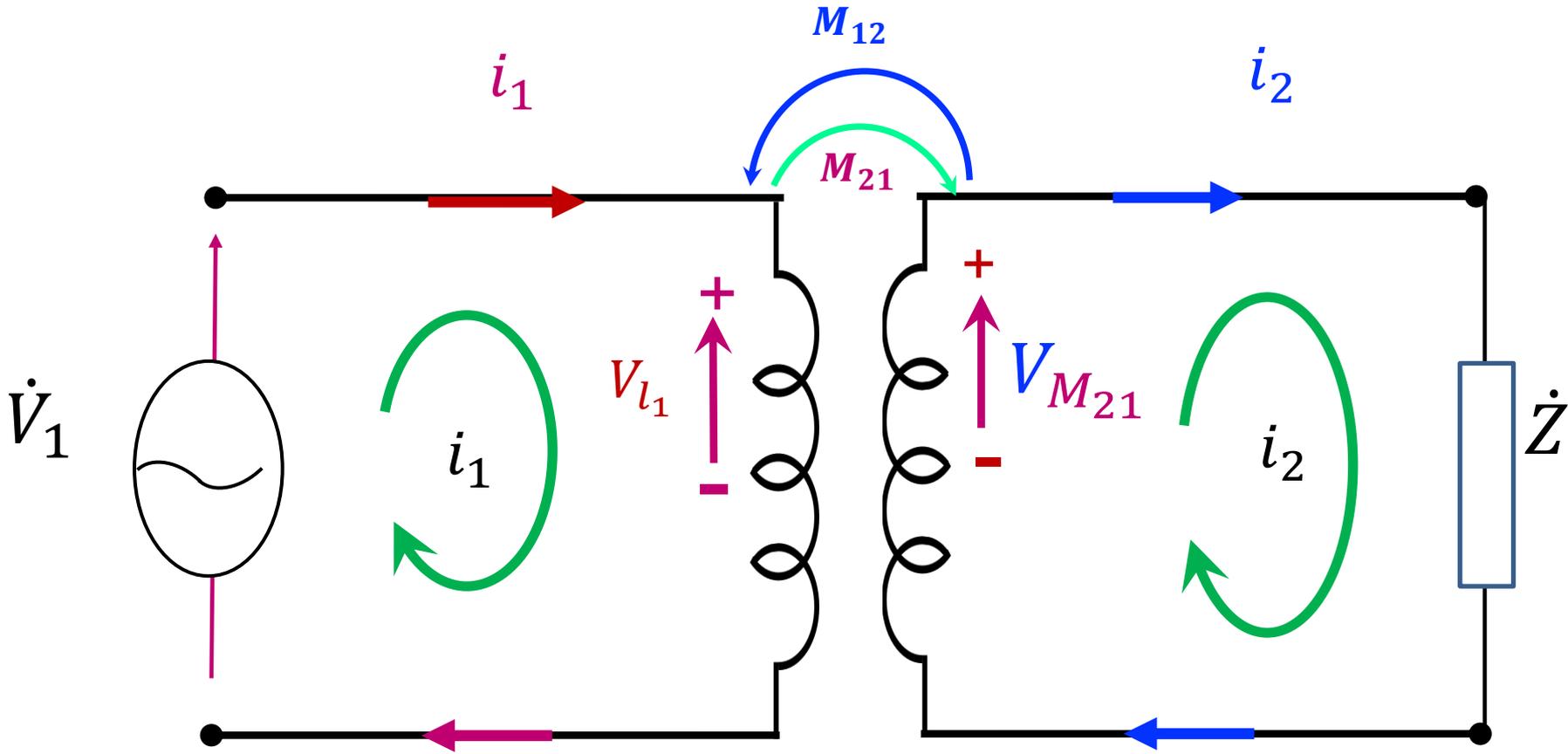
$$V_2 = -V_{l_2} = M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

電磁誘導結合回路の拡張：交流電源と負荷を入れる



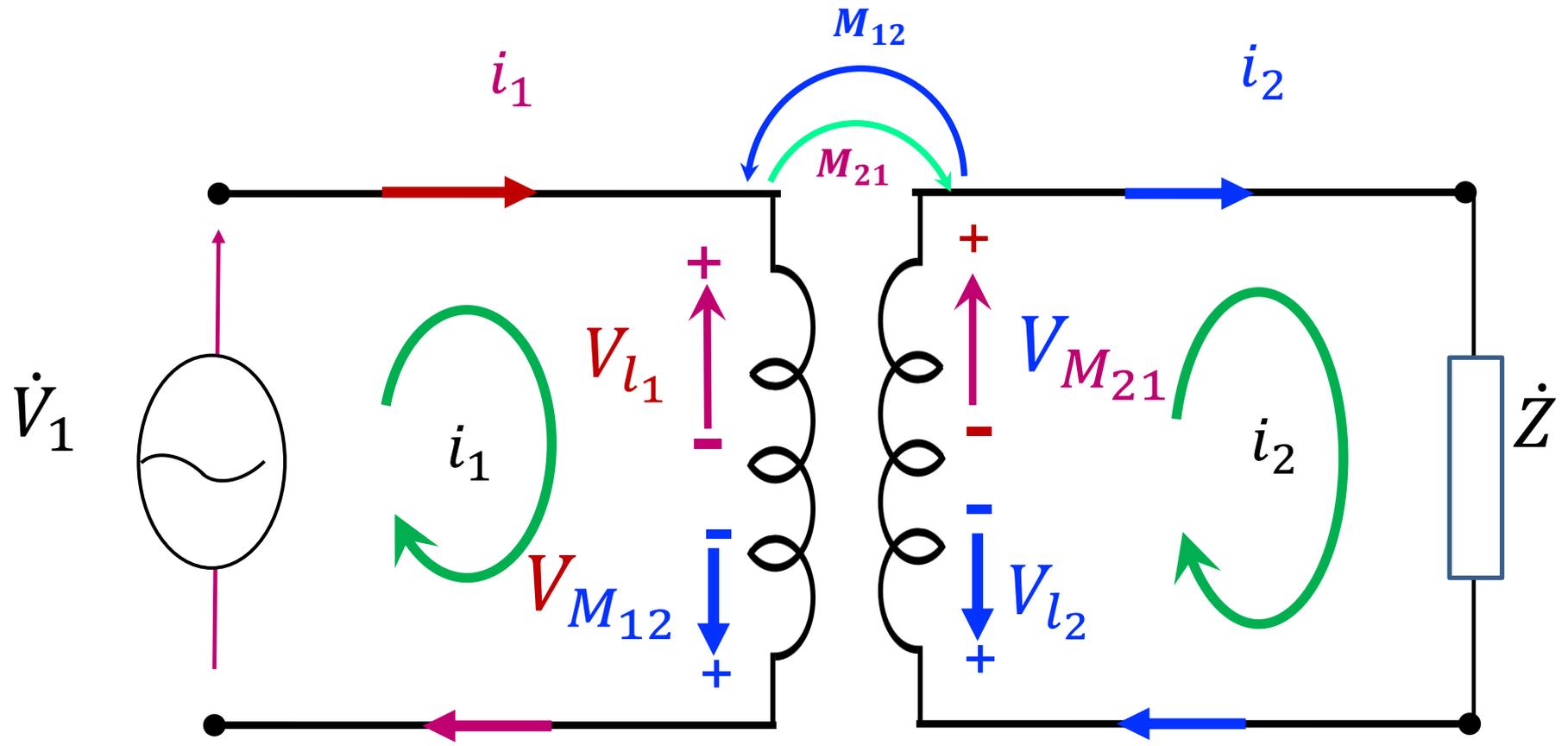
電磁誘導結合回路：KVL法則

$$M = M_{12} = M_{21}$$

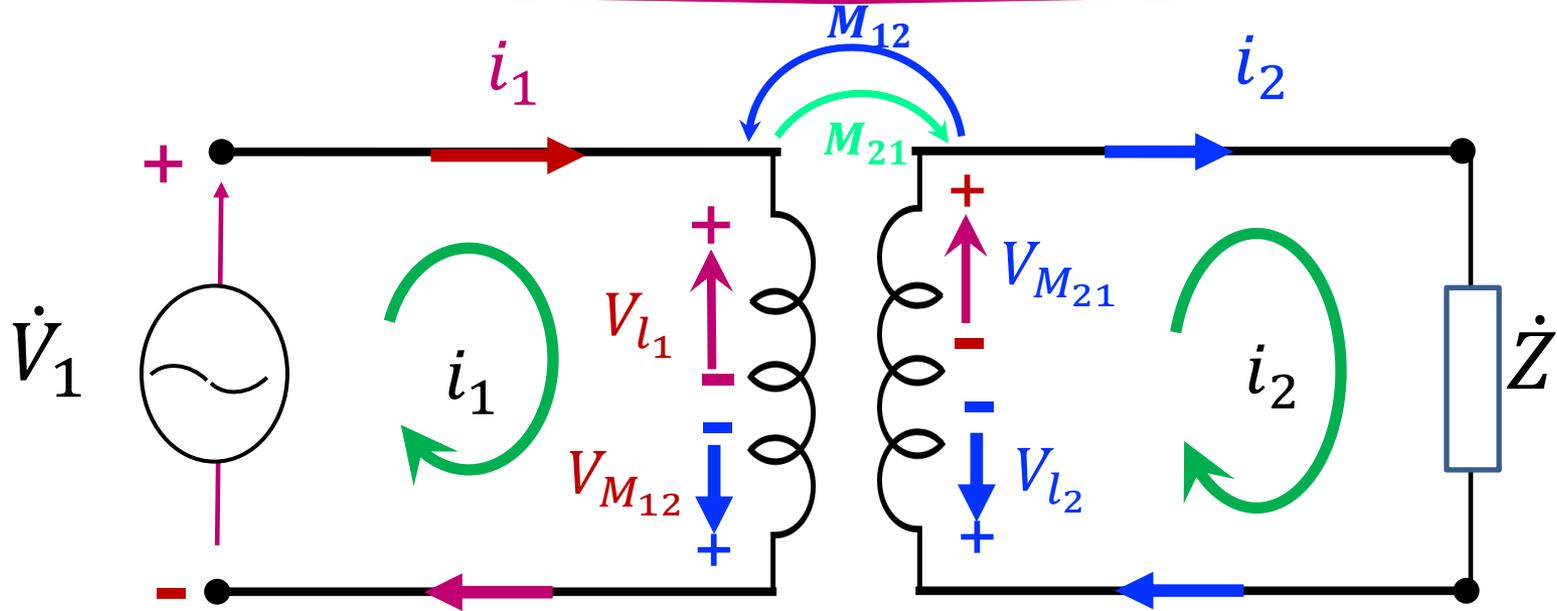


電磁誘導結合回路：KVL法則

$$M = M_{12} = M_{21}$$



電磁誘導結合回路：ループ1におけるKVL法則



(a) $V_{l_1} + V_{M_{12}} - \dot{V}_1 = 0$

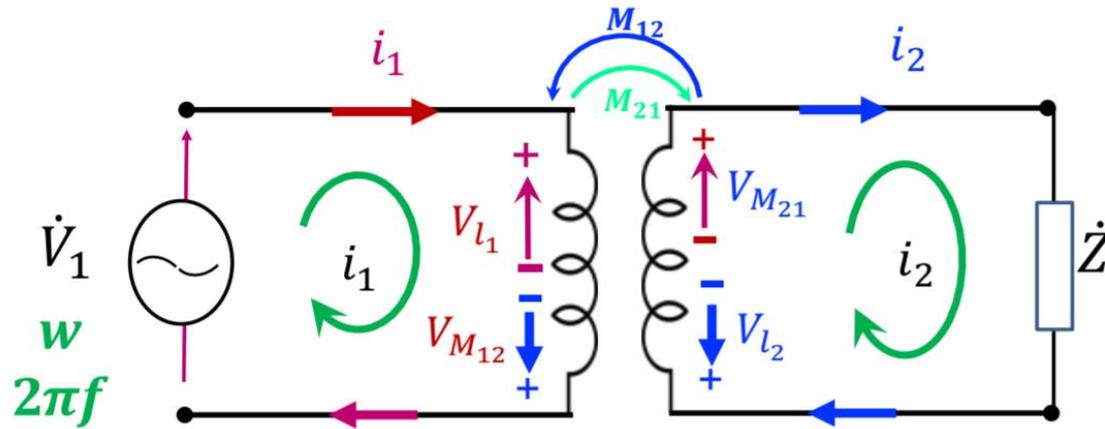
(c) $V_{l_1} - V_{M_{12}} - \dot{V}_1 = 0$

(b) $V_{l_1} + V_{M_{12}} + \dot{V}_1 = 0$

(d) $V_{l_1} - V_{M_{12}} + \dot{V}_1 = 0$

正解は:

電磁誘導結合回路：KVL法則

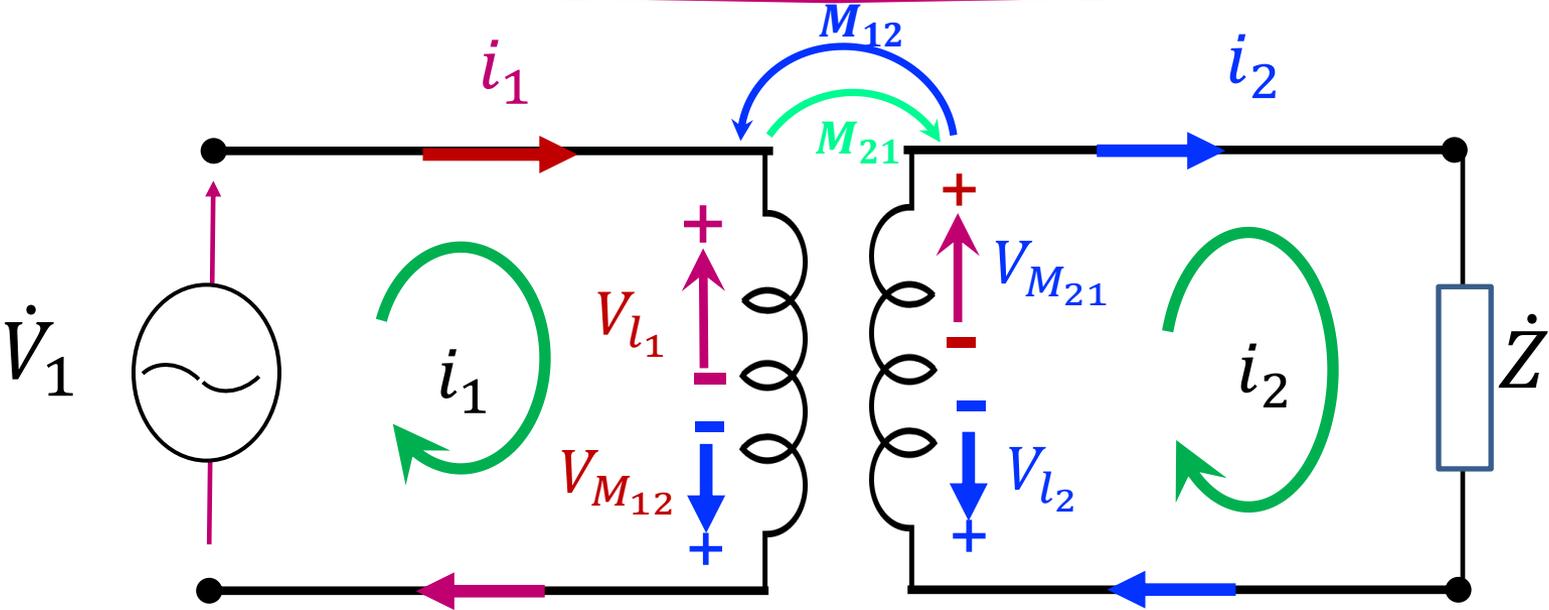


$$V_{l_1} - V_{M_{12}} - \dot{V}_1 = 0$$

$$L_1 \frac{di_1}{dt} - M_{12} \frac{di_2}{dt} - \dot{V}_1 = 0$$

$$j\omega L_1 i_1 - j\omega M_{12} i_2 = \dot{V}_1$$

電磁誘導結合回路: KVL法則



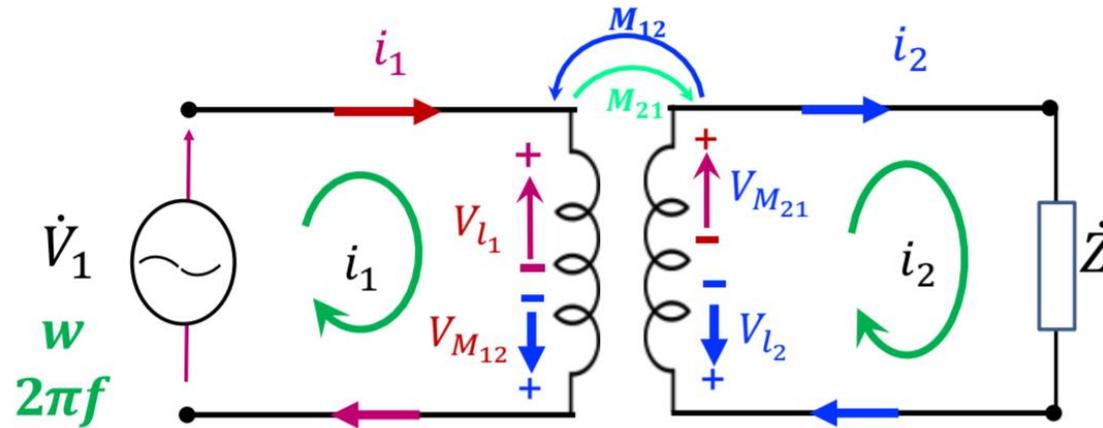
ループ2におけるKVL法則:

(a) $i_2 \dot{Z} + V_{M21} - V_{L2} = 0$ (c) $V_{M21} - V_{L2} + i_2 \dot{Z} = 0$

(b) $-V_{M21} + V_{L2} + i_2 \dot{Z} = 0$ (d) $V_{L2} + V_{M21} - i_2 \dot{Z} = 0$

正解は:

電磁誘導結合回路：KVL法則

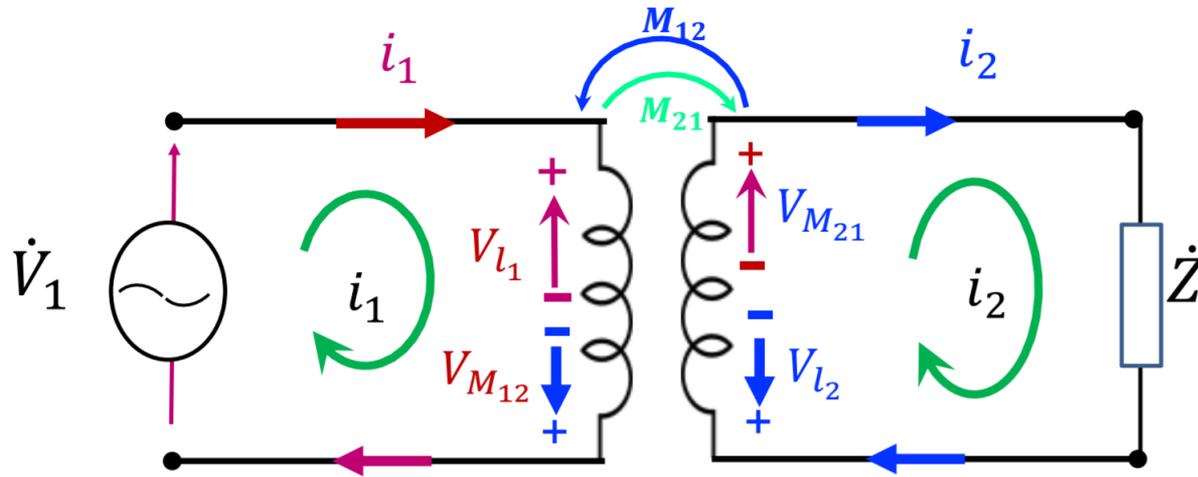


$$-V_{M_{21}} + V_{L_2} + i_2 \dot{Z} = 0$$

$$M_{21} \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt} = \dot{Z} i_2$$

$$j\omega M_{12} i_1 - j\omega L_2 i_2 = \dot{Z} i_2$$

電磁誘導結合回路：KVL法則



1次回路

$$\dot{V}_1 = j\omega L_1 i_1 - j\omega M_{12} i_2$$

2次回路

$$\dot{Z} i_2 = j\omega M_{21} i_1 - j\omega L_2 i_2$$

電磁誘導結合回路：1次回路におけるインピーダンス

$$M = M_{12} = M_{21}$$

$$\dot{Z}i_2 = j\omega M_{21} i_1 - j\omega L_2 i_2$$

$$i_2 = \frac{j\omega M}{j\omega L_2 + \dot{Z}} i_1$$

$$\dot{V}_1 = j\omega L_1 i_1 - j\omega M_{12} i_2$$

$$\dot{V}_1 = j\omega L_1 i_1 - j\omega M \frac{j\omega M}{j\omega L_2 + \dot{Z}} i_1$$

電磁誘導結合回路：1次回路におけるインピーダンス

$$\dot{V}_1 = j\omega L_1 \dot{i}_1 - j\omega M \frac{j\omega M}{j\omega L_2 + \dot{Z}} \dot{i}_1$$

$$\dot{V}_1 = \left\{ j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{j\omega L_2 + \dot{Z}} \right\} \dot{i}_1$$

$$\dot{i}_1 = \frac{\dot{V}_1}{j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{j\omega L_2 + \dot{Z}}}$$

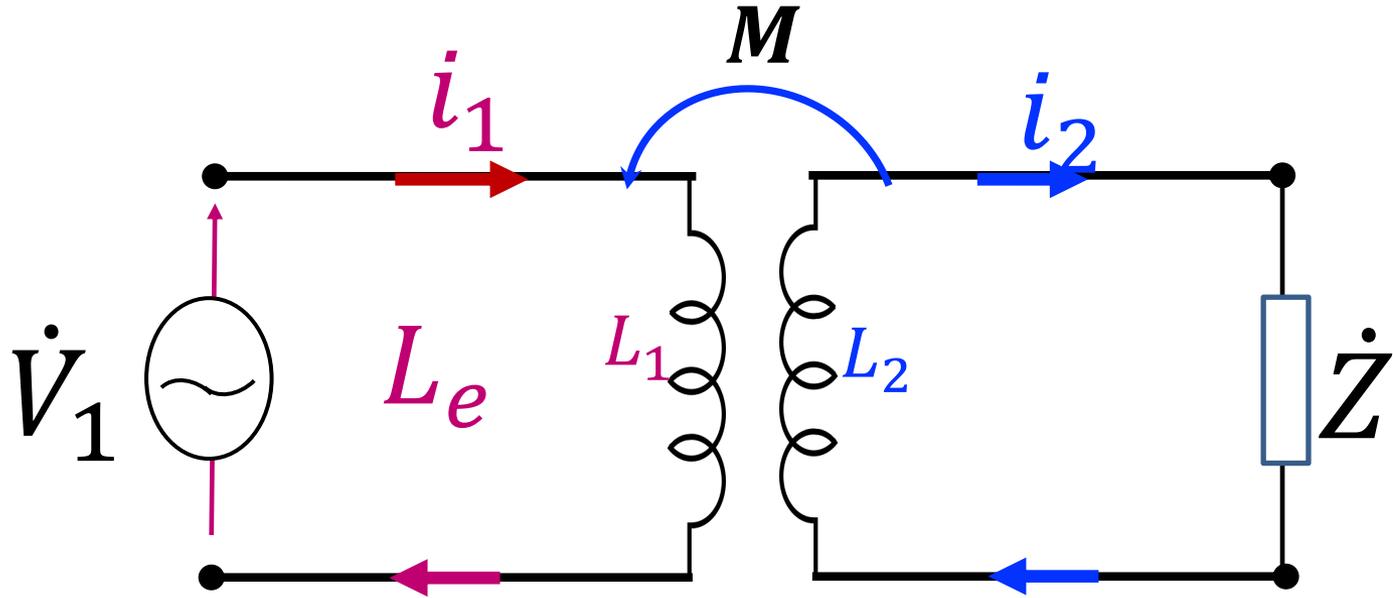
電磁誘導結合回路：1次回路におけるインピーダンス

$$i_1 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{Z}_1} \quad \dot{Z}_1 = j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{j\omega L_2 + \dot{Z}}$$

$$\dot{Z}_1 = j\omega L_e$$

$$L_e = L_1 - \frac{j\omega M^2}{j\omega L_2 + \dot{Z}}$$

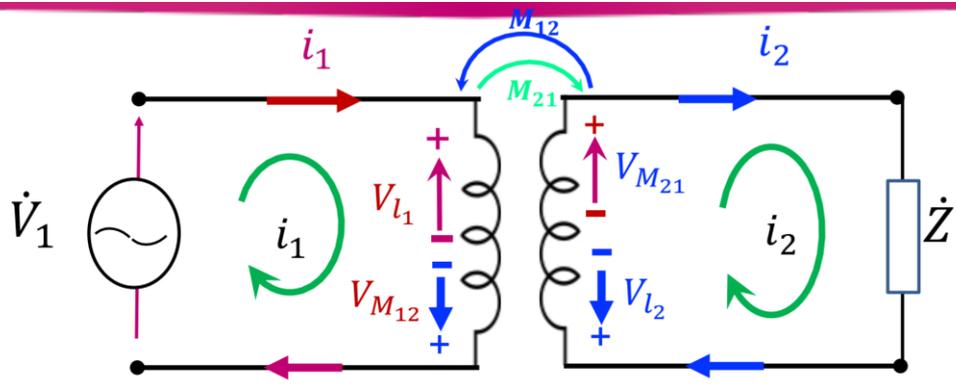
等価自己インダクタンス: L_e



$$L_e = L_1 - \frac{j\omega M^2}{j\omega L_2 + \dot{Z}}$$

L_e : コイル1における等価自己インダクタンス

電磁誘導結合回路：1次回路におけるインピーダンス



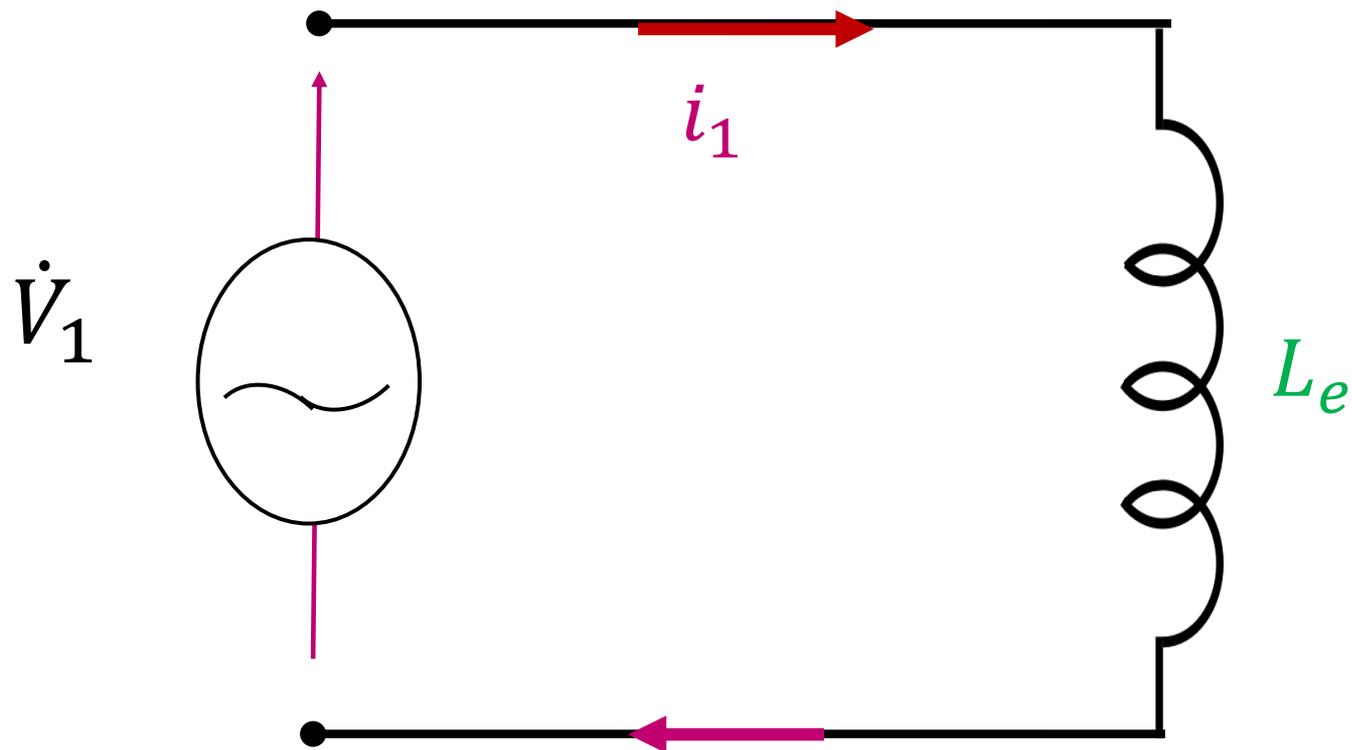
$$i_1 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{Z}_1}$$

$$\dot{Z}_1 = j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{j\omega L_2 + \dot{Z}}$$

1次側の有効自己インダクタンス L_e

$$\dot{Z}_1 = j\omega L_e$$

$$L_e = L_1 - \frac{j\omega M^2}{j\omega L_2 + \dot{Z}}$$



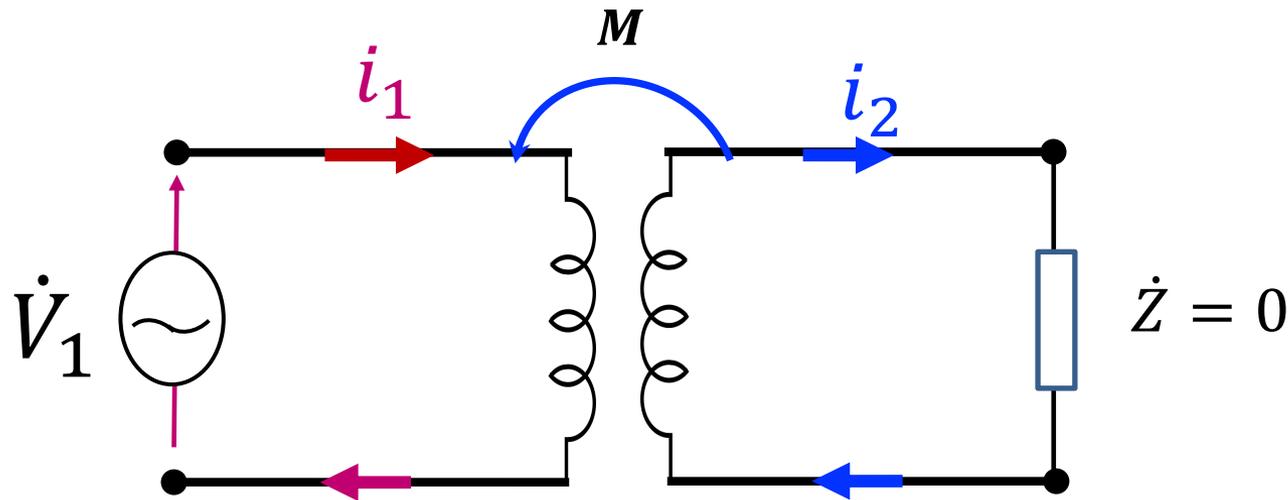
電磁誘導結合回路：2次回路におけるインピーダンス

$$i_1 = \frac{\dot{V}_1}{j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{j\omega L_2 + \dot{Z}}}$$

$$i_2 = \frac{j\omega M}{j\omega L_2 + \dot{Z}} \frac{\dot{V}_1}{j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{j\omega L_2 + \dot{Z}}}$$

$$i_2 = \frac{j\omega M \dot{V}_1}{- \omega^2 L_2 L_1 + j\omega L_1 \dot{Z} + \omega^2 M^2}$$

練習問題：

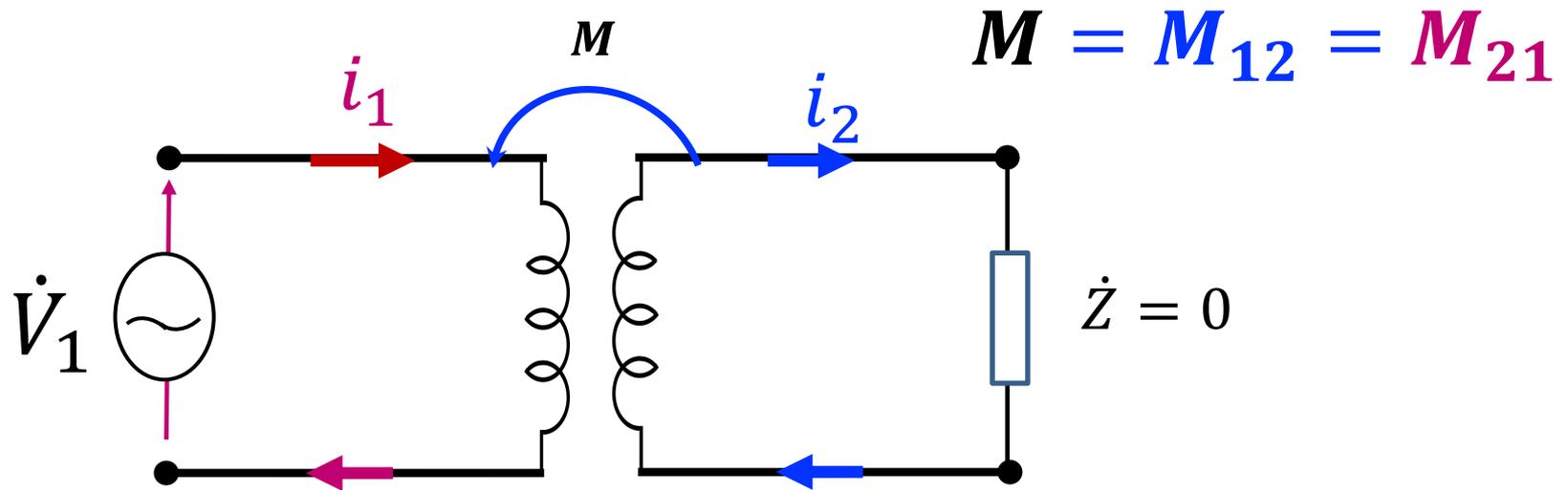


左側： $\dot{V}_1 = j\omega L_1 i_1 - j\omega M_{12} i_2$

右側： $\dot{Z} i_2 = j\omega M_{21} i_1 - j\omega L_2 i_2$

$$\dot{Z}_1 = j\omega L_e$$

練習問題1:



左側: $\dot{V}_1 = j\omega L_1 i_1 - j\omega M i_2$

右側: $\dot{Z} i_2 = j\omega M i_1 - j\omega L_2 i_2$

$$0 = j\omega M i_1 - j\omega L_2 i_2$$

練習問題1:

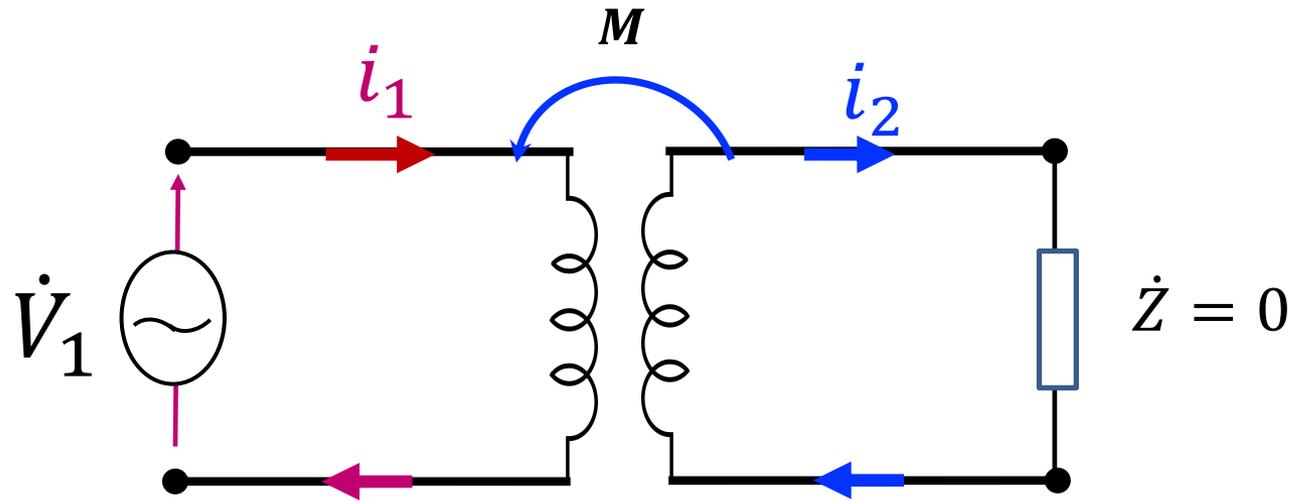
$$j\omega M i_1 = j\omega L_2 i_2$$

$$i_2 = \frac{M}{L_2} i_1$$

$$\dot{V}_1 = j\omega L_1 i_1 - j\omega M \frac{M}{L_2} i_1$$

$$\dot{V}_1 = j\omega \left(L_1 - \frac{M^2}{L_2} \right) i_1$$

練習問題1:



$$\dot{V}_1 = j\omega \left(L_1 - \frac{M^2}{L_2} \right) i_1$$

$$\dot{Z}_1 = \frac{\dot{V}_1}{i_1} = j\omega \left(L_1 - \frac{M^2}{L_2} \right)$$

練習問題1:

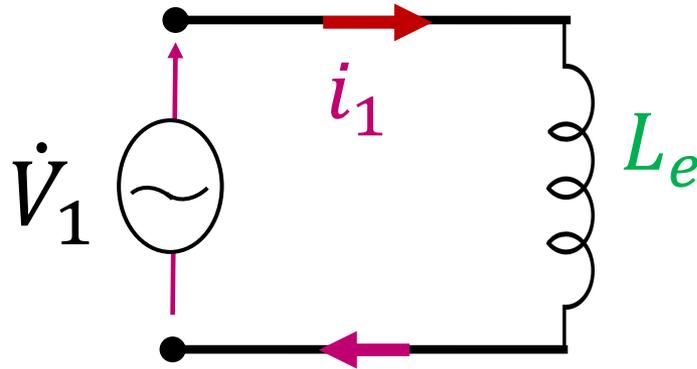
$$\dot{Z}_1 = \frac{\dot{V}_1}{i_1} = j\omega \left(L_1 - \frac{M^2}{L_2} \right)$$

$$\dot{Z}_1 = j\omega L_e$$

$$L_e = L_1 - \frac{M^2}{L_2}$$

L_e : 等価自己インダクタンス

練習問題1:



$$L_e = L_1 - \frac{M^2}{L_2}$$

$$L_1 = 4\text{mH} , L_2 = 2\text{mH} , M = 1\text{mH}$$

$$L_e = 4 - 0.5 = 3.5\text{mH}$$

