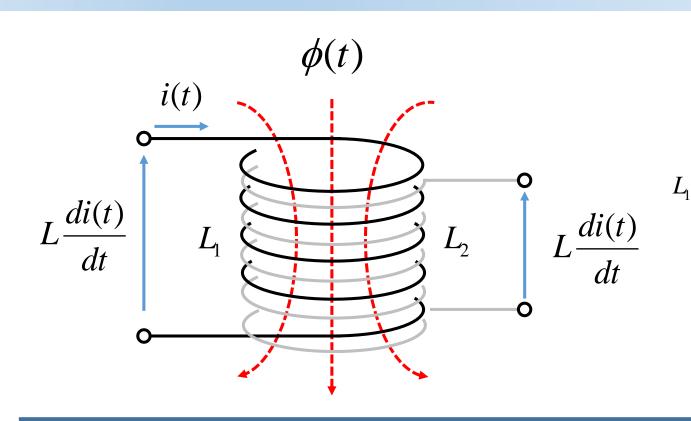
18. 変圧器結合回路

18. Transformer Coupling Circuit

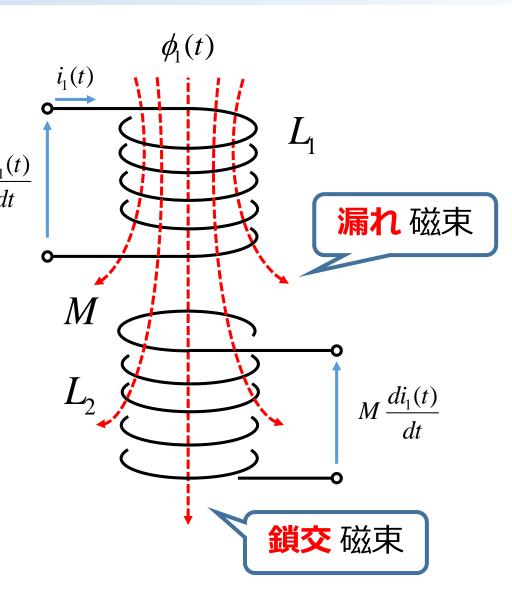
講義内容

- 1. 変圧器結合回路の基礎
- 2. 変圧器結合回路の等価回路
- 3. 巻数比, 変圧比, 変流比

電磁誘導結合の度合(左:密結合,右:疎結合)



- 漏れ 磁束が 無い 場合 : $M = \sqrt{L_1 L_2}$
- \blacktriangleright 漏れ 磁束が 有る 場合 : $M < \sqrt{L_1 L_2}$
 - $ightharpoonup M \approx \sqrt{L_1 L_2}$: 密結合, $M \ll \sqrt{L_1 L_2}$: 疎結合



自己インダクタンスL

$$f_{\rm m} = Ni$$

$$f_{\rm m} = R_{\rm m} \phi$$

$$\varphi = N\Phi$$

$$f_{\rm m} = Ni = R_{\rm m}\phi = R_{\rm m}\frac{\Phi}{N} = R_{\rm m}\frac{Li}{N}$$

 $f_{\rm m} = R_{\rm m} \phi$: ホプキンソン の法則 (磁気回路における オーム の法則)



John Hopkinson (1849~1898)

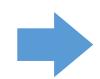
自己インダクタンス L:

磁束鎖交数 Φと電流 i の 比例係数

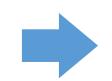


$$\Phi = L_l$$

自己インダクタンスの式になるように式を変形

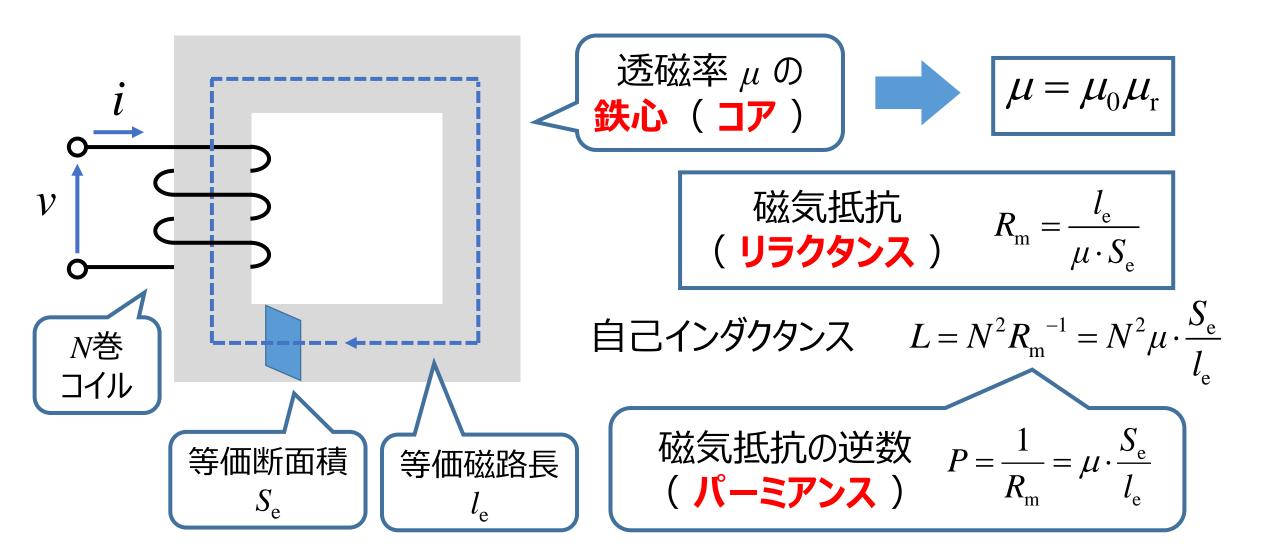


$$L = N^2 R_{\rm m}^{-1}$$

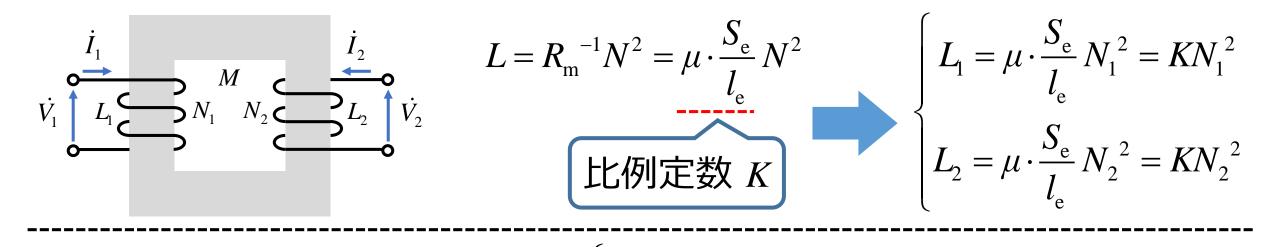


磁気抵抗は?

自己インダクタンス Lと磁気抵抗 R_m (コイル)



変圧器結合



自己 インダクタンス
$$\Phi = Li$$
 $\begin{cases} N_1 \phi_1 = L_1 i_1 \\ N_2 \phi_2 = L_2 i_2 \end{cases}$ $\begin{cases} L_1 = K N_1^2 \\ L_2 = K N_2^2 \end{cases}$

$$K = \frac{L_1}{N_1^2} = \frac{L_2}{N_2^2} = \frac{M}{N_1 N_2} \qquad \left(\frac{M}{N_1 N_2}\right)^2 = \frac{L_1 L_2}{N_1^2 N_2^2} \qquad M^2 = L_1 L_2 \Rightarrow M = \sqrt{L_1 L_2}$$

結合係数と変圧器結合

漏れ磁束が無い場合, $M = \sqrt{L_1 L_2}$

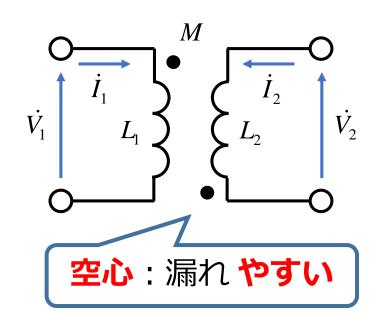
 $\frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = 1$

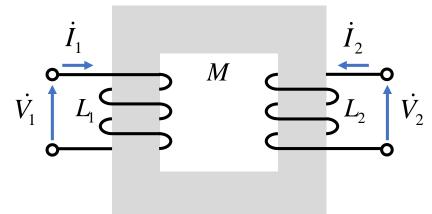
漏れ磁束が有る場合, $M < \sqrt{L_1 L_2}$

 $<\sqrt{L_1L_2}$ $\frac{M}{\sqrt{L_1L_2}}<$

 $k \equiv \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \left(-1 < k < 1 \right)$

k: 結合 係数





鉄心:漏れにくい

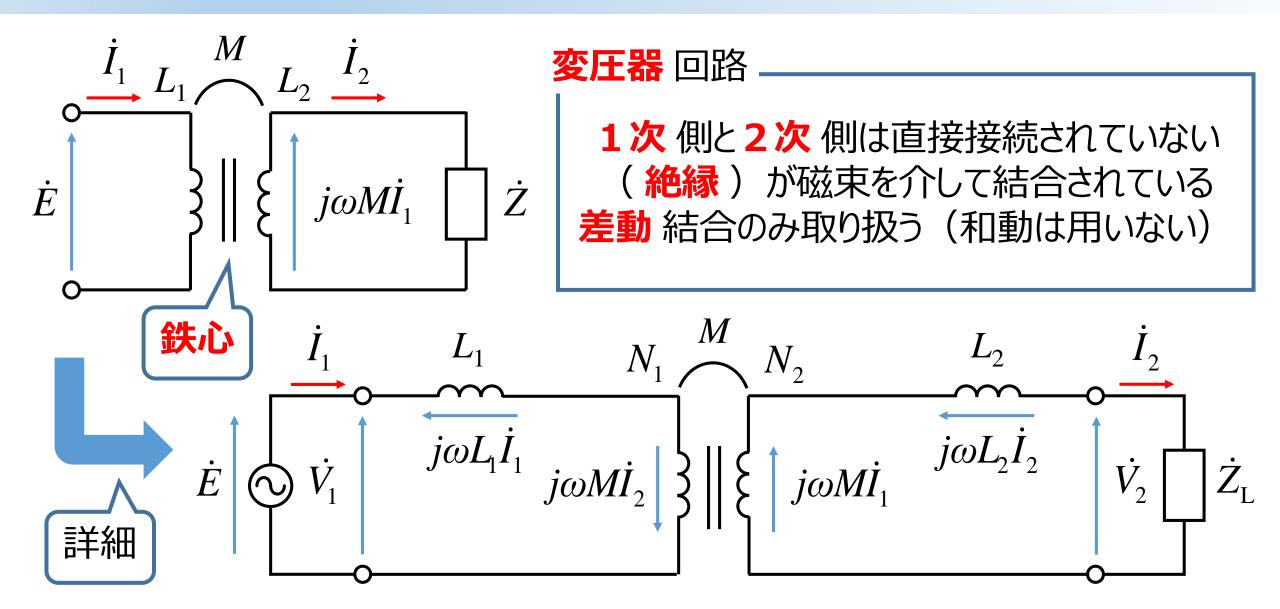
鉄心(例:フェライト)と **空心**では**比透磁率**が 約1000~2000倍異なる!



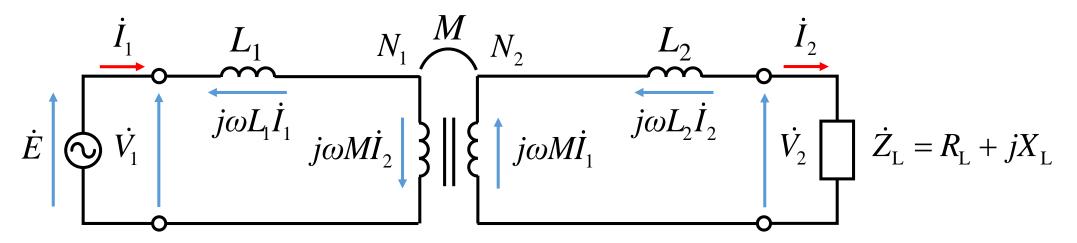
ほとんど磁束が空気中に漏れない

※ /k/ = 1:**理想** 変圧器

変圧器結合回路



変圧器結合回路



電磁誘導結合回路の一般論(前回資料)より、1次側のインピーダンスは,

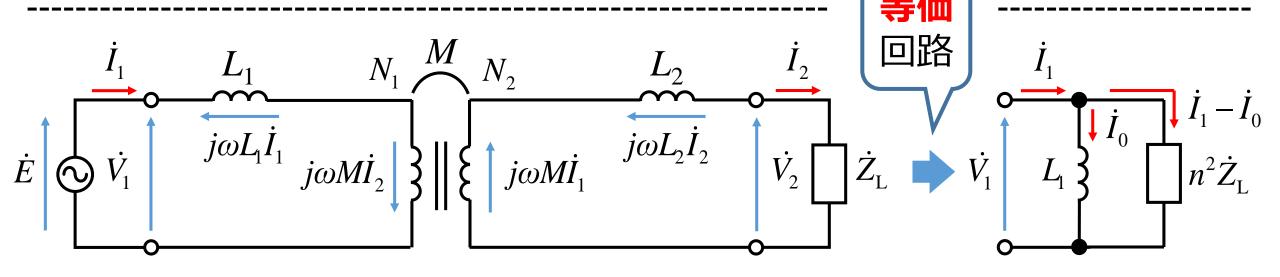
$$\dot{Z}_{1} = \frac{\dot{V}_{1}}{\dot{I}_{1}} = \frac{\dot{E}}{\dot{I}_{1}} = j\omega L_{1} + \frac{\omega^{2}M^{2}}{j\omega L_{2} + \dot{Z}_{L}} = j\omega L_{1} + \frac{\omega^{2}L_{1}L_{2}}{j\omega L_{2} + \dot{Z}_{L}} = \frac{j\omega L_{1}\dot{Z}_{L}}{j\omega L_{2} + \dot{Z}_{L}} = \frac{j\omega L_{1}\dot{Z}_{L}}{j\omega L_{2} + \dot{Z}_{L}}$$

上式より、1次側のアドミタンスは、

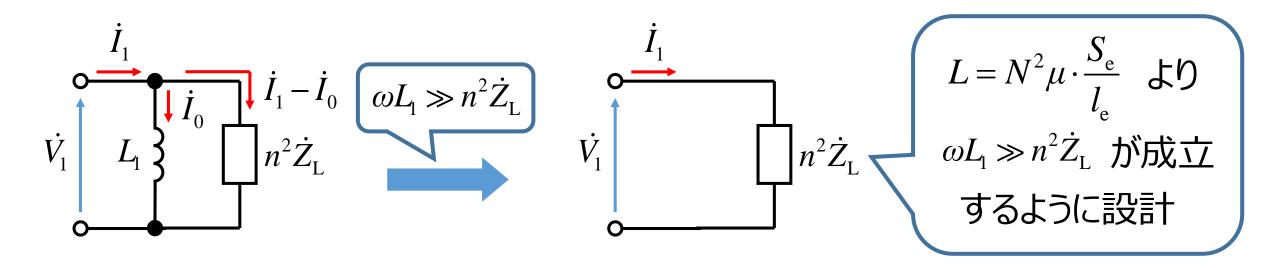
$$\dot{Y}_{1} = \frac{1}{\dot{Z}_{1}} = \frac{j\omega L_{2} + \dot{Z}_{L}}{j\omega L_{1}\dot{Z}_{L}} = \frac{L_{2}}{L_{1}} \cdot \frac{1}{\dot{Z}_{L}} + \frac{1}{j\omega L_{1}}$$

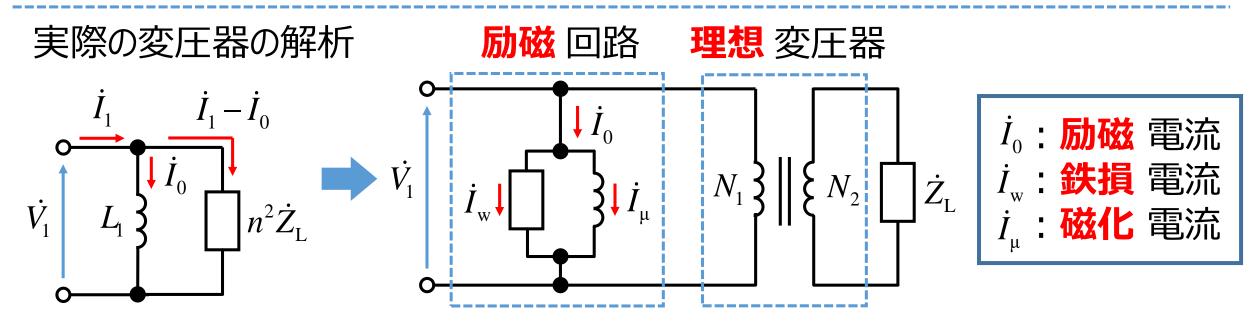
変圧器結合回路の等価回路変換

$$\begin{cases} L_1 = KN_1^2 \\ L_2 = KN_2^2 \end{cases} \longrightarrow \frac{L_1}{L_2} = \frac{KN_1^2}{KN_2^2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = n^2 \text{ より, 巻数比 } n = \frac{N_1}{N_2} \text{ と定義すると,}$$



変圧器結合回路の近似的等価回路変換





理想変圧器の条件

理想 変圧器 ①:磁束は全て鉄心の中だけを通り、両巻線に鎖交

②:巻線の抵抗は無視(銅損は無視)

③:鉄心の損失は無視 (鉄損は無視)

④:鉄心の飽和は無視(磁気飽和現象は無視)

⑤: ヒステリシス 現象は無視

⑥:鉄心の透磁率は無限大として、励磁電流は無視

①:漏れ磁束 が無い → 結合係数 /k/=1

②~⑤: エネルギー 損失 が無い

⑥:磁化に必要なエネルギーも必要ない

理想的 な 電力変換装置

巻数比, 変圧比, 変流比

電磁誘導結合回路の一般論(前回資料)より、2次側電圧は、

$$\dot{V_2} = \dot{Z}_L \dot{I}_2 = \dot{Z}_L \cdot \frac{j\omega M}{j\omega L_2 + \dot{Z}_L} \dot{I}_1 = \dot{Z}_L \cdot \frac{j\omega M}{j\omega L_2 + \dot{Z}_L} \cdot \frac{j\omega L_2 + \dot{Z}_L}{j\omega L_1 \dot{Z}_L} \cdot \dot{V}_1 = \frac{M}{L_1} \cdot \dot{V}_1$$

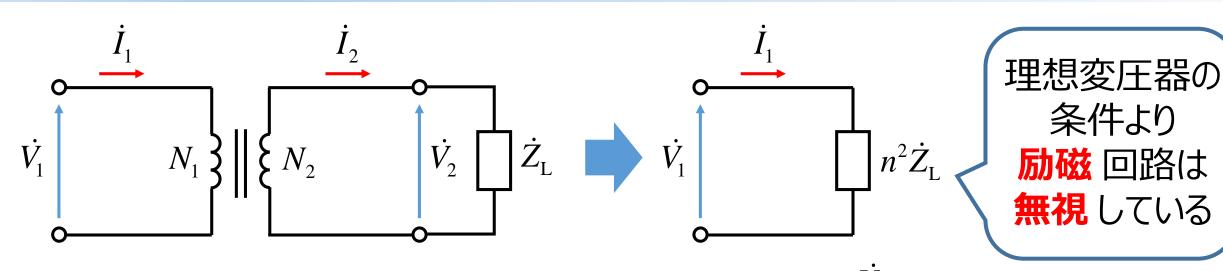
ここで、
$$M = \sqrt{L_1 L_2}$$
 及び $\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = n^2$ より $\dot{V_2} = \frac{M}{L_1} \cdot \dot{V_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \cdot \dot{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \dot{V_1}$

式をまとめると,
$$\left| \frac{V_1}{\dot{V}_2} = \frac{N_1}{N_2} = n \right|$$
 となる **巻数比** n は **変圧比** とも呼ばれる

また、1次側と2次側の $\dot{V_1}\dot{I_1} = \dot{V_2}\dot{I_2}$ より $\left| \begin{array}{c} \dot{I_1} \\ \dot{I_2} \end{array} \right| = \frac{\dot{V_2}}{\dot{V_1}} = \frac{1}{n}$ となり、変流比
電力 は等しいとすると、

$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \frac{1}{n}$$

理想変圧器が省略できる理由(まとめ)



2次側より、
$$\dot{V}_2 = \dot{I}_2 \dot{Z}_L$$

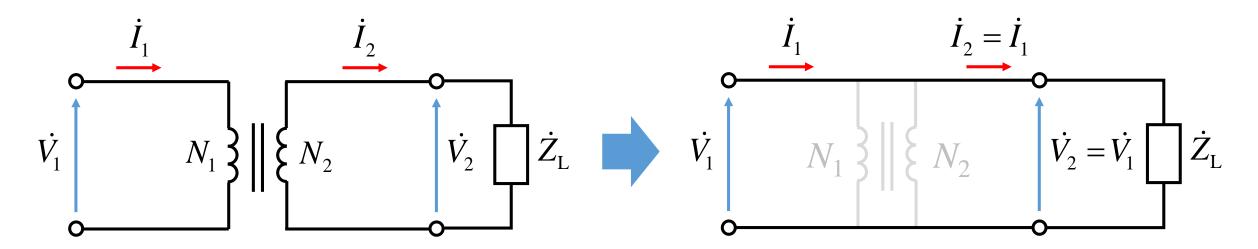
変流比より、
$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{n}$$
 $\dot{I}_2 = n\dot{I}_1$ $\dot{Z}_1 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{I}_1} = n^2 \dot{Z}_L$

代入すると,
$$\frac{\dot{V_1}}{n} = n\dot{I_1}\dot{Z_L}$$

1次側 インピーダンス に置き換えると,

$$\dot{Z}_{1} = \frac{V_{1}}{\dot{I}_{1}} = n^{2} \dot{Z}_{L}$$

巻数が1次側と2次側で等しい場合



1次側と2次側の電力は等しい $P_1 = P_2$



$$\dot{V_1}\dot{I_1} = \dot{V_2}\dot{I_2}$$

変圧比より、
$$\frac{\dot{V_1}}{\dot{V_2}} = \frac{N_1}{N_2} = 1$$
 $\dot{V_2} = \dot{V_1}$

変流比より、
$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \frac{N_2}{N_1} = 1$$
 $\dot{I}_2 = \dot{I}_1$

巻数比 n が n=1 となるため 電圧 も 電流 も等しくなる

この条件を満たすのは 導線 となる