

3. 実際の変圧器

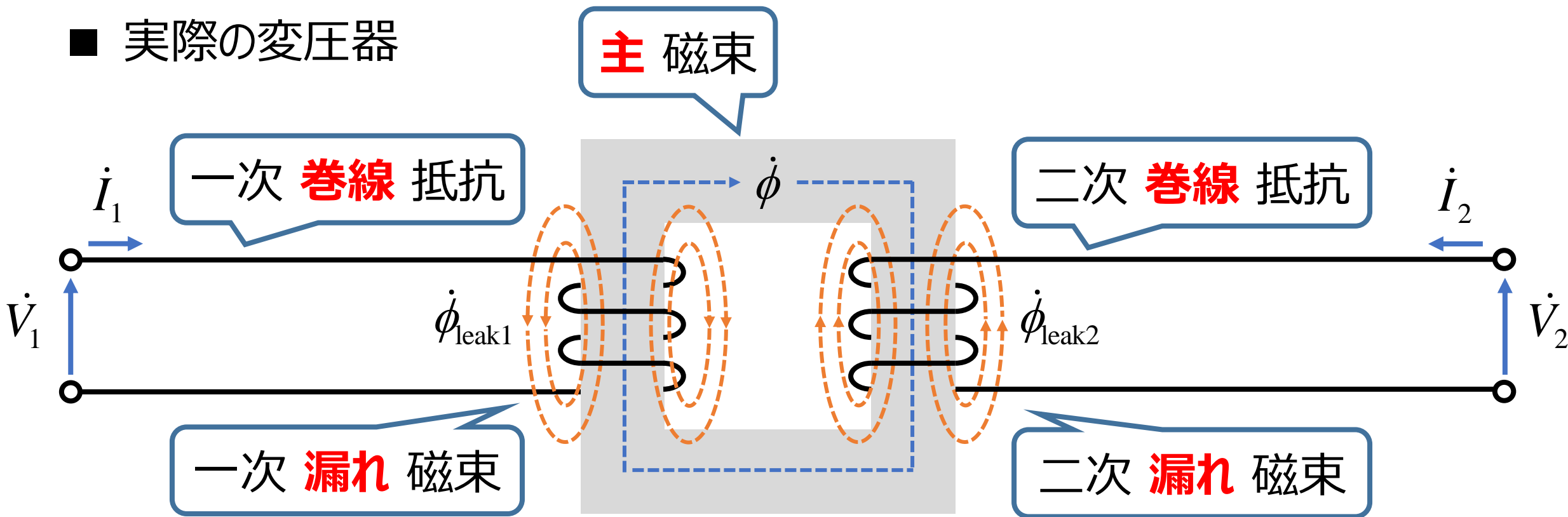
3. Practical Transformer

講義内容

- 1. 実際の変圧器の説明**
- 2. 無負荷試験による励磁回路**
- 3. 実際の変圧器の等価回路**

実際の変圧器

■ 実際の変圧器



実際の変圧器の鉄心の **比透磁率** は数100~1000程度であるため、磁束の一部は鉄心を通らず、外部に **漏れる** (材質によっては μ_r は数1000以上)

巻線抵抗と漏れ磁束のある等価回路

主磁束 : 電流 I_1, I_2 が作る磁束のうち, 両方の巻線に鎖交 **する** 磁束
漏れ磁束 : 電流 I_1, I_2 が作る磁束のうち, 両方の巻線に鎖交 **しない** 磁束

$$\begin{cases} \dot{\phi}_1 = \dot{\phi} + \dot{\phi}_{\text{leak1}} \\ \dot{\phi}_2 = \dot{\phi} + \dot{\phi}_{\text{leak2}} \end{cases}$$

漏れ磁束

漏れ磁束が巻線を貫くと誘導起電力 (**逆起電力**) が発生

$$\begin{cases} \dot{E}_{\text{leak1}} = j\omega N_1 \dot{\phi}_{\text{leak1}} \equiv j\omega L_{\text{leak1}} \dot{I}_1 = jx_1 \dot{I}_1 \\ \dot{E}_{\text{leak2}} = j\omega N_2 \dot{\phi}_{\text{leak2}} \equiv j\omega L_{\text{leak2}} \dot{I}_2 = jx_2 \dot{I}_2 \end{cases}$$

漏れインダクタンス
 $L_{\text{leak1}}, L_{\text{leak2}}$

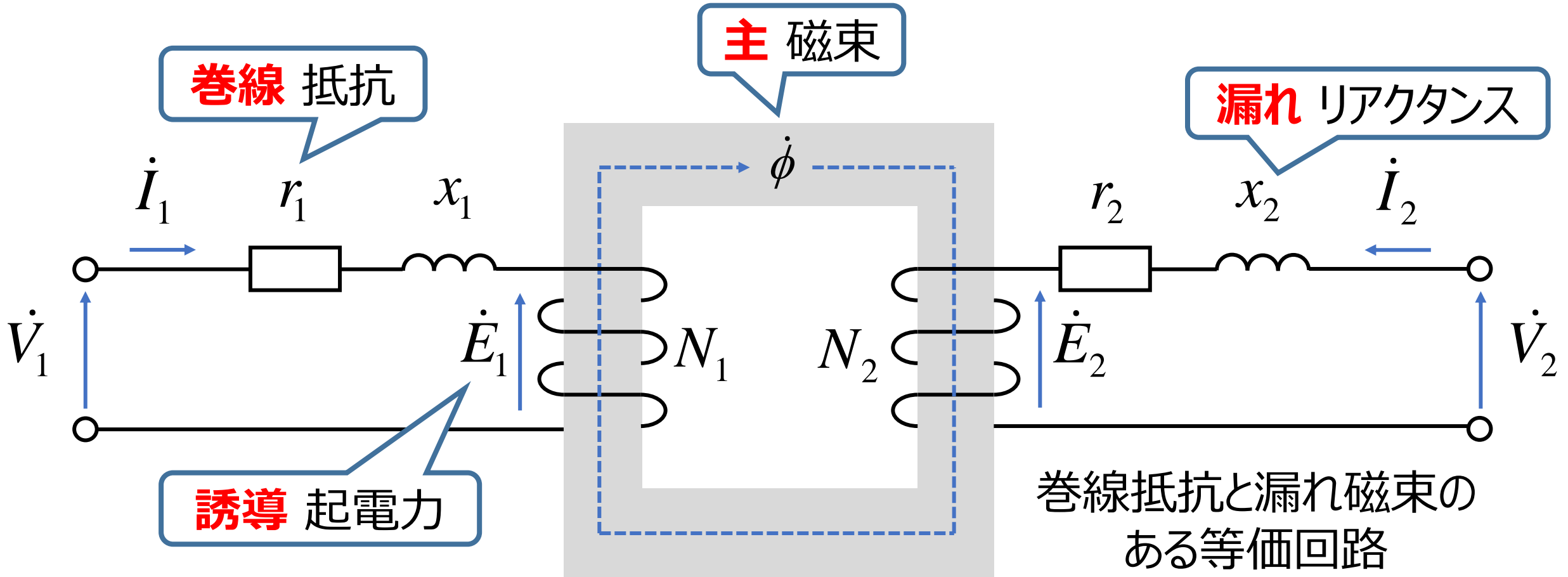
漏れリアクタンス
 x_1, x_2

瞬時値とラプラス変換で考えると

$$\begin{cases} \dot{E}_1 = j\omega L_{\text{leak1}} \dot{I}_1 \\ \dot{E}_2 = j\omega L_{\text{leak2}} \dot{I}_2 \end{cases} \begin{cases} e_1 = L_{\text{leak1}} \frac{di_1(t)}{dt} \\ e_2 = L_{\text{leak2}} \frac{di_2(t)}{dt} \end{cases}$$

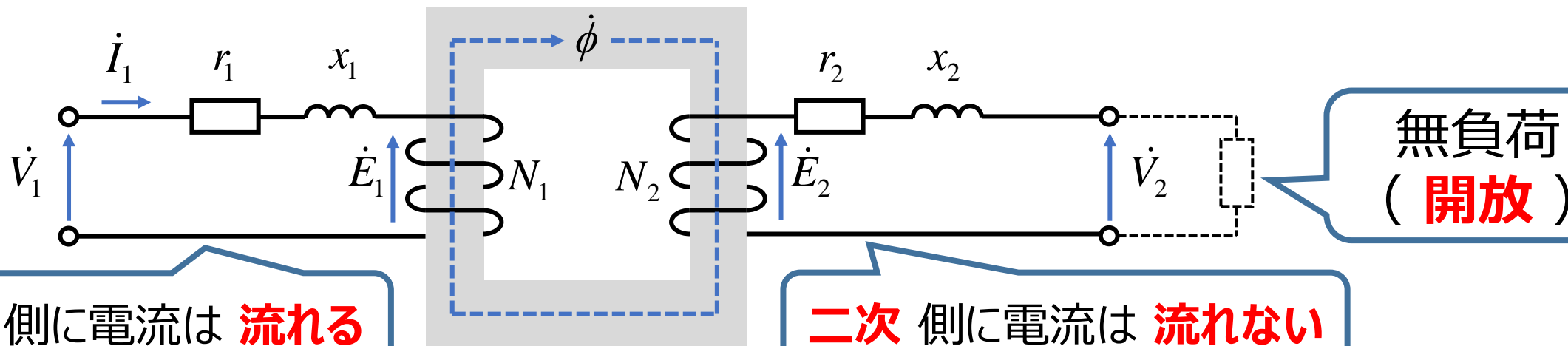
$$j\omega = s = \frac{d}{dt}$$

巻線抵抗と漏れ磁束のある等価回路



無負荷試験による励磁回路の導出

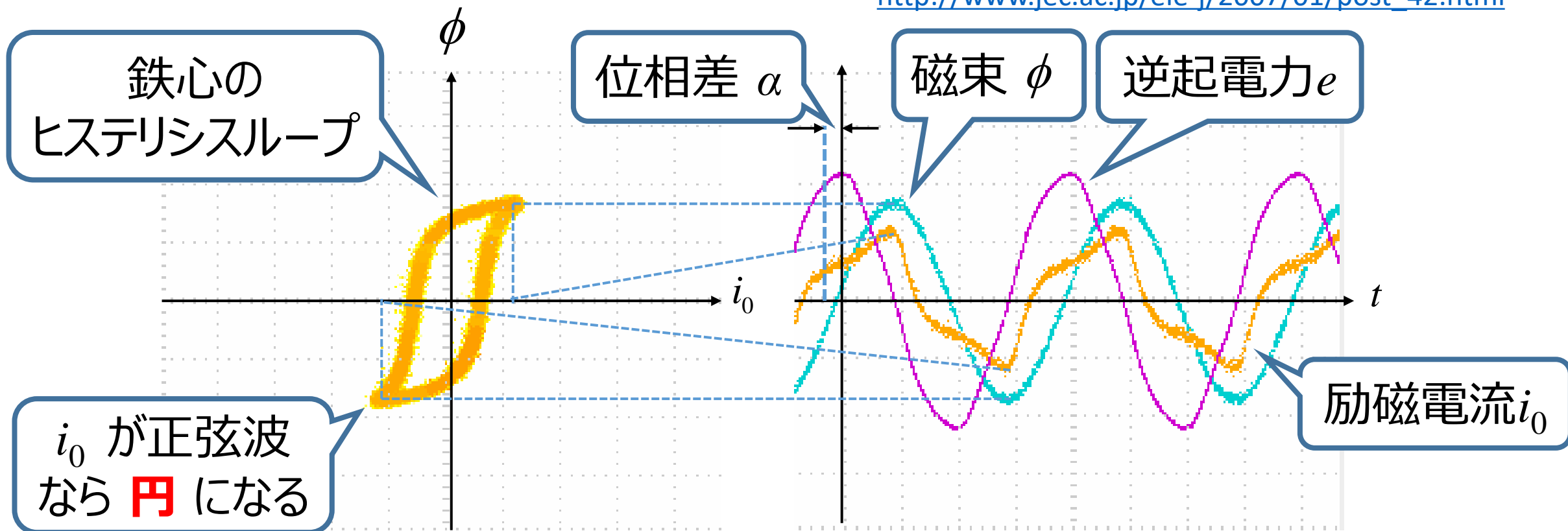
一次側にだけ電源が繋がっていて、二次側には負荷が繋がっていない状態 ➡ **無負荷** 状態



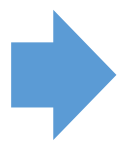
電流は一次側にしか流れず、電流が流れている **励磁回路** のみの状態となる

鉄心のヒステリシスによる励磁電流波形の歪み

http://www.jec.ac.jp/ele-j/2007/01/post_42.html

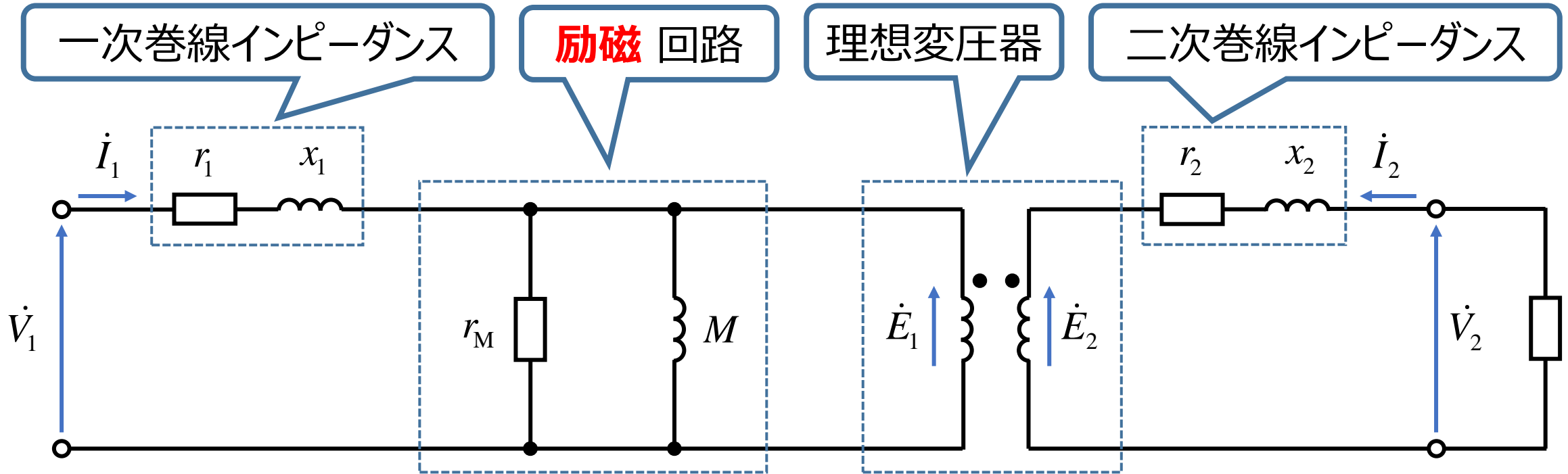


鉄心のヒステリシス現象の影響で
励磁 電流が歪む



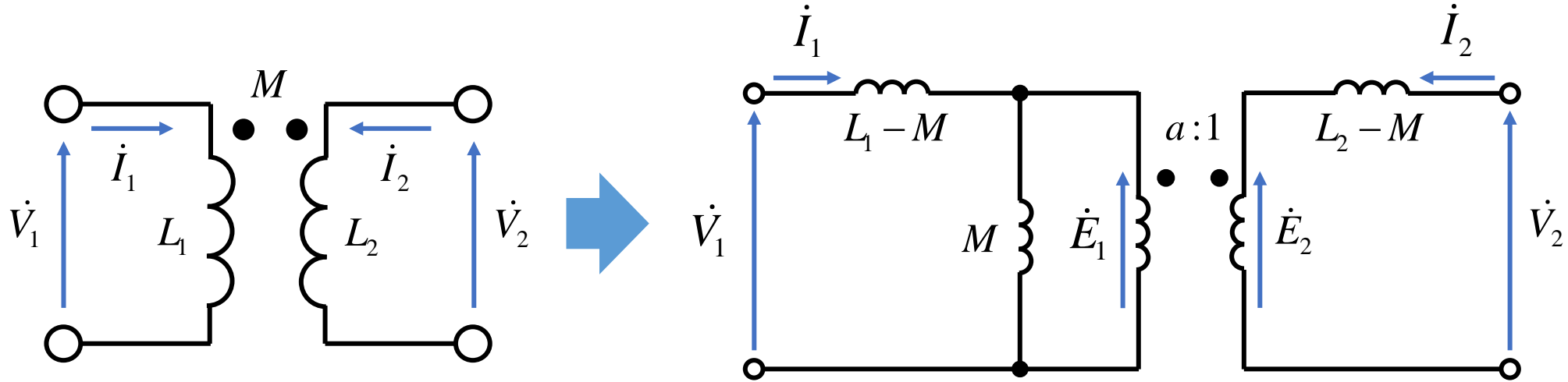
励磁電流が正弦波でないので、
基本波成分 を取り出す（正弦波近似）

実際の変圧器の等価回路のイメージ



- 理想変圧器ではないので、損失が発生する：鉄損抵抗 r_M
- 理想変圧器ではないので、磁化に必要なインダクタンスが存在：相互インダクタンス M
- 並列接続で表すことで、励磁電流を鉄損電流と磁化電流に分けることができる
- 並列接続なので、励磁回路をまとめて励磁アドミタンスと置き換えることができる

相互誘導回路から実際の変圧器の等価回路への変遷



1. 相互誘導回路

2. 理想変圧器を含むT形等価回路

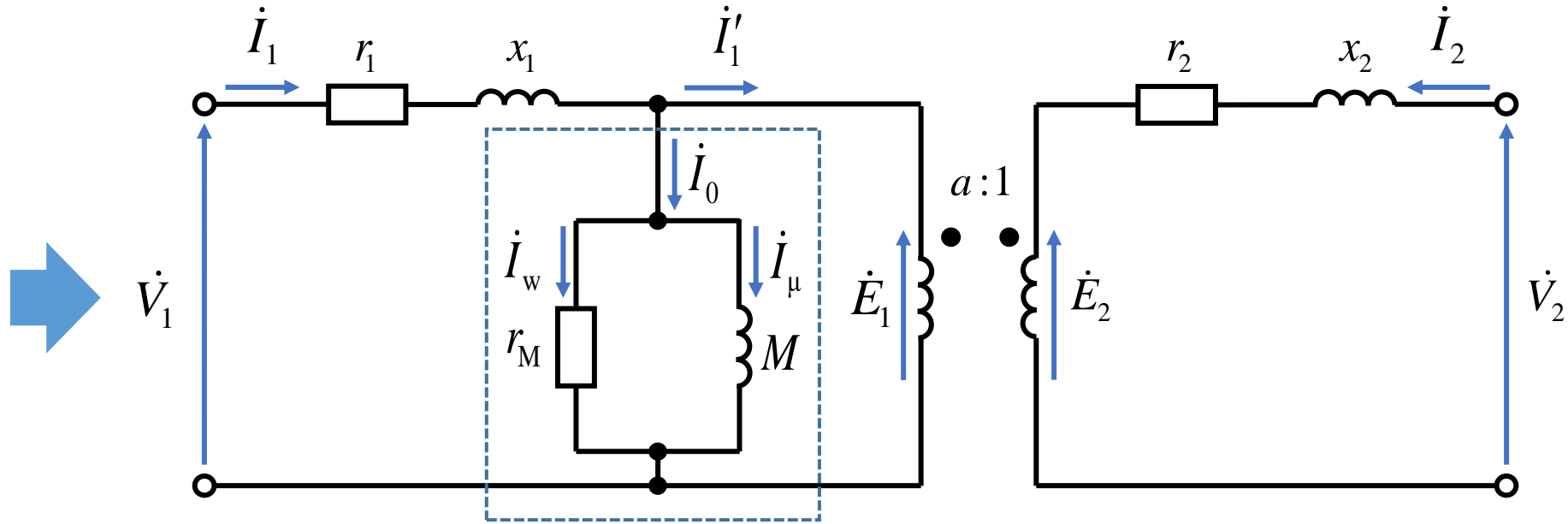
$$\begin{cases} L_1 - M = L_{\text{leak1}} \\ L_2 - M = L_{\text{leak2}} \end{cases}$$

漏れ **インダクタンス**

漏れ **リアクタンス**

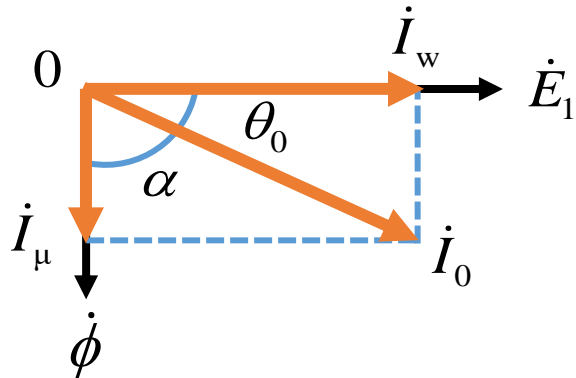
$$\begin{cases} \dot{V}_1 = \dot{E}_1 + E_{\text{leak1}} = \dot{E}_1 + j\omega L_{\text{leak1}} \dot{I}_1 = \dot{E}_1 + jx_1 \dot{I}_1 \\ \dot{V}_2 = \dot{E}_2 + E_{\text{leak2}} = \dot{E}_2 + j\omega L_{\text{leak2}} \dot{I}_2 = \dot{E}_2 + jx_2 \dot{I}_2 \end{cases}$$

相互誘導回路から実際の変圧器の等価回路への変遷



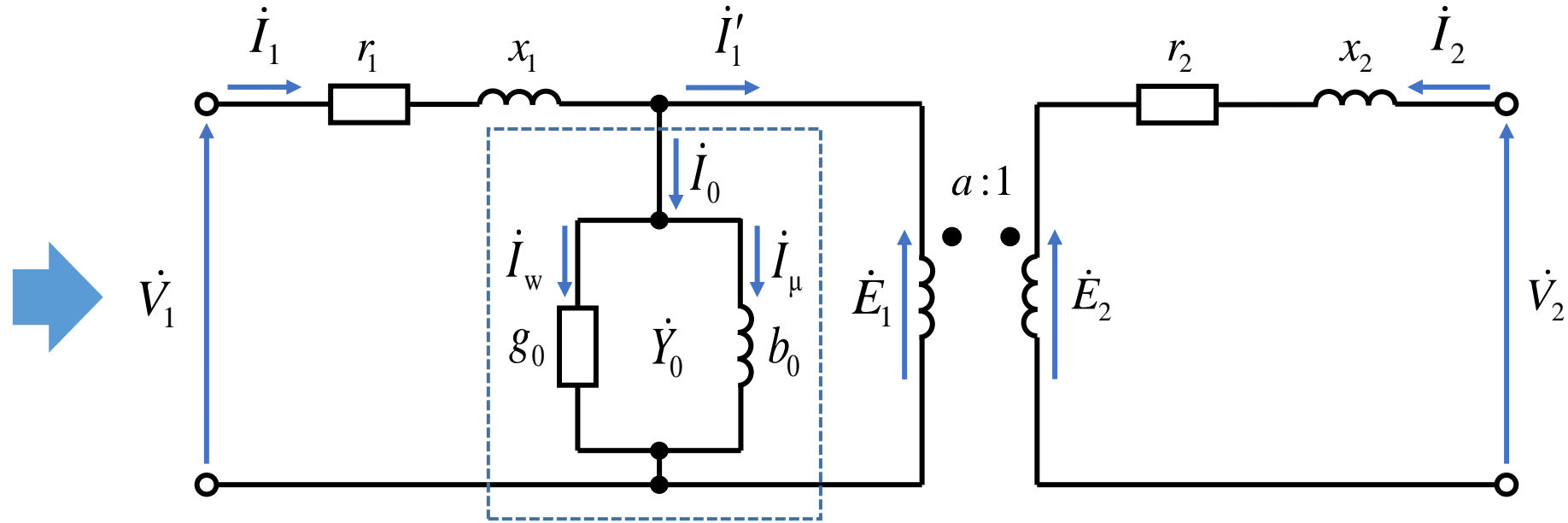
3. 各種損失要素を含んだ等価回路
(r_1, r_2, r_M)

正弦波近似した励磁電流のベクトル



- i_0 : 励磁電流 (無負荷電流)
- i_w : 鉄損電流 (有効電流)
- i_μ : 磁化電流 (無効電流)
- α : 初期位相 θ_0 : 鉄損角
- \dot{E}_1 : 一次側逆起電力 $\dot{\phi}$: 磁束

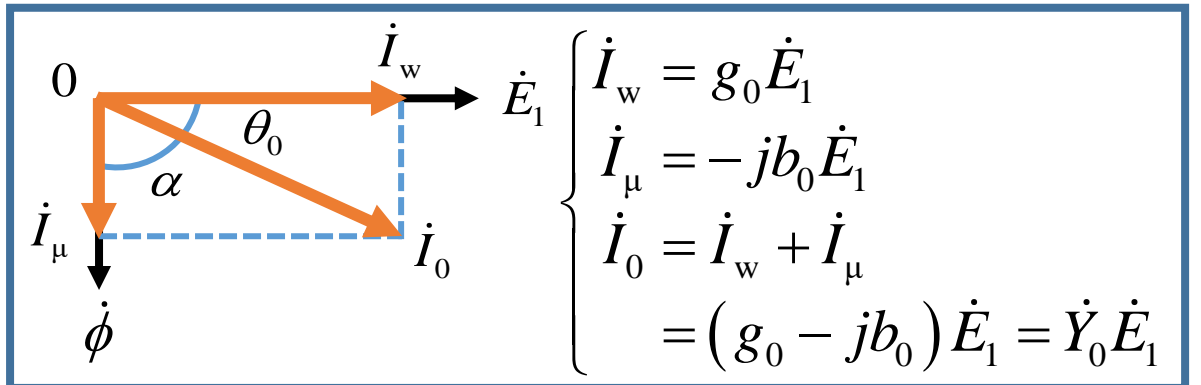
相互誘導回路から実際の変圧器の等価回路への変遷



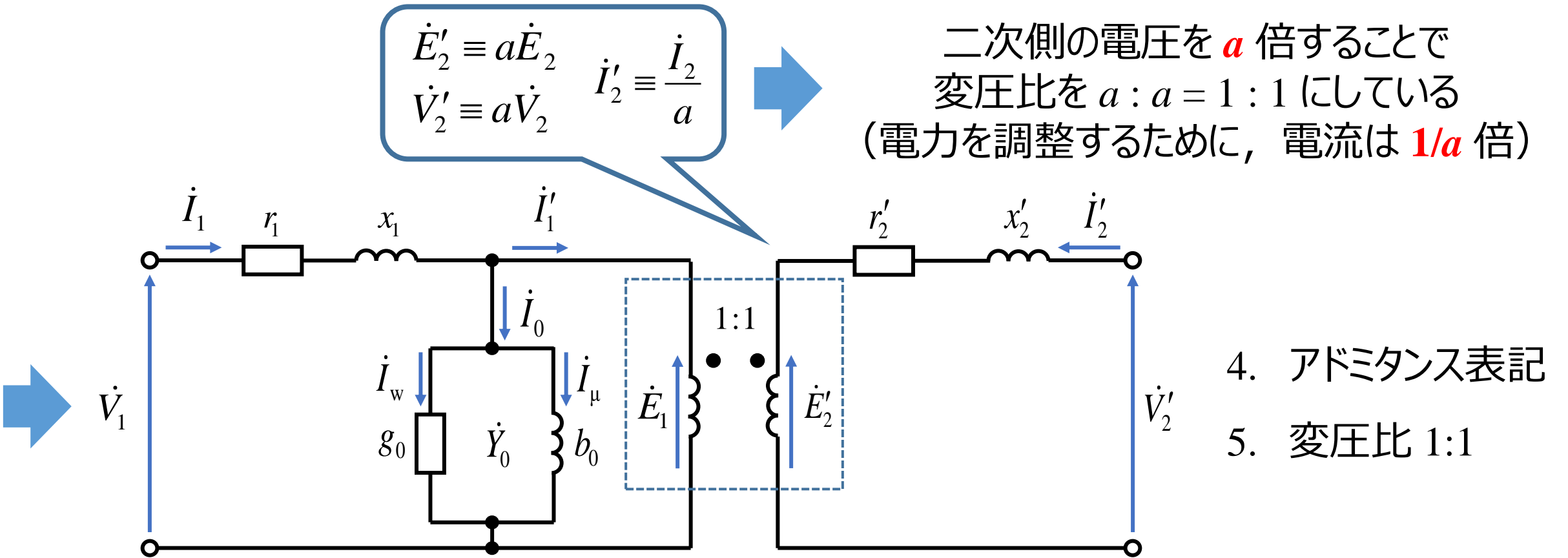
4. アドミタンス表記

$$\dot{Y}_0 = g_0 - jb_0$$

\dot{Y}_0 : 励磁 **アドミタンス**
 g_0 : 励磁 **コンダクタンス**
 b_0 : 励磁 **サセプタンス**

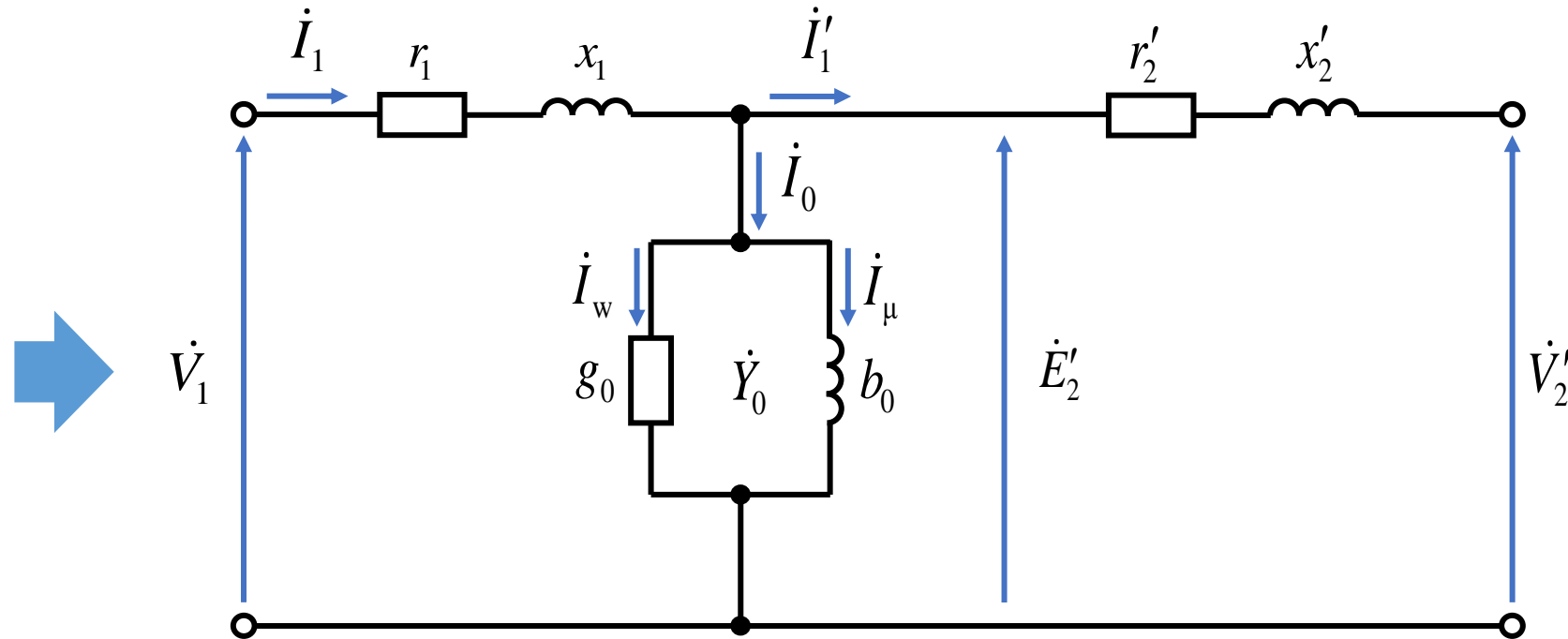


相互誘導回路から実際の変圧器の等価回路への変遷



電圧が a 倍, 電流が $1/a$ 倍となっているため,
 関係性を考慮するとインピーダンス成分は次のようになる

$$r'_2 = a^2 r_2 \quad x'_2 = a^2 x_2$$



6. 一次側換算等価回路

理想 変圧器の等価回路変換と **同様** の手法を用いることで、
実際 の変圧器の等価回路を導出することが出来た