

# **6. 変圧器の複数運転と単巻変圧器**

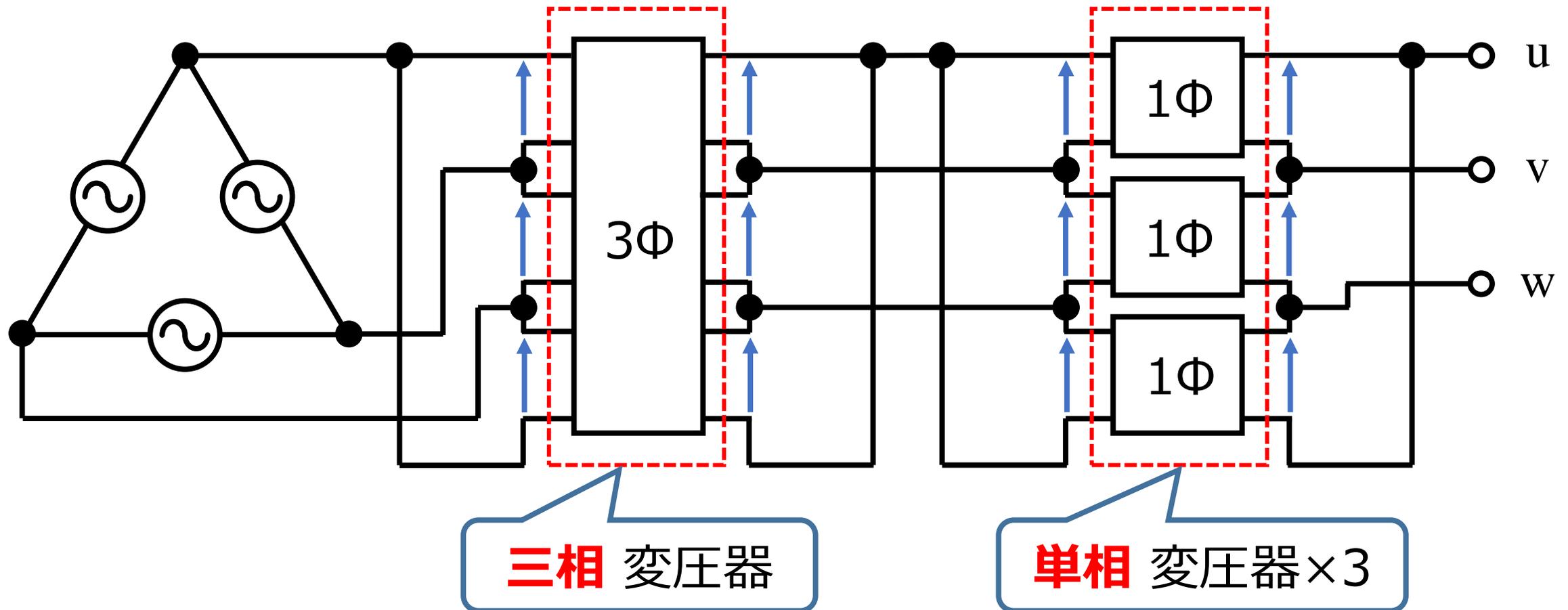
## **6. Multiple Drive of Transformer and Auto Transformer**

### **講義内容**

- 1. 変圧器の結線**
- 2. 変圧器の並行運転**
- 3. 単巻変圧器**

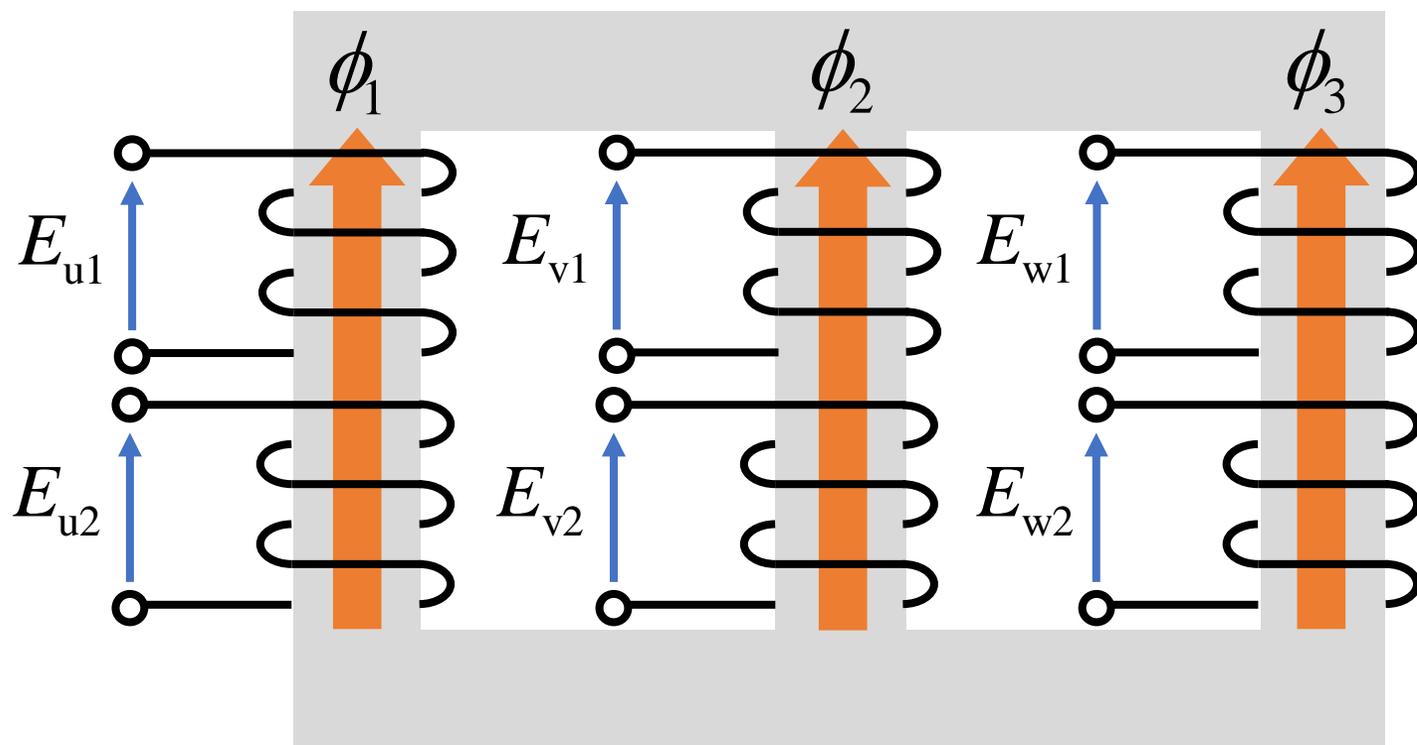
# 三相電力における変圧器の構成

三相電力を変圧する場合、**三相** 変圧器，または **单相** 変圧器を **3** 台用いる



# 三相変圧器

三相変圧器：一つの鉄心に3組の巻線を用いて変圧する



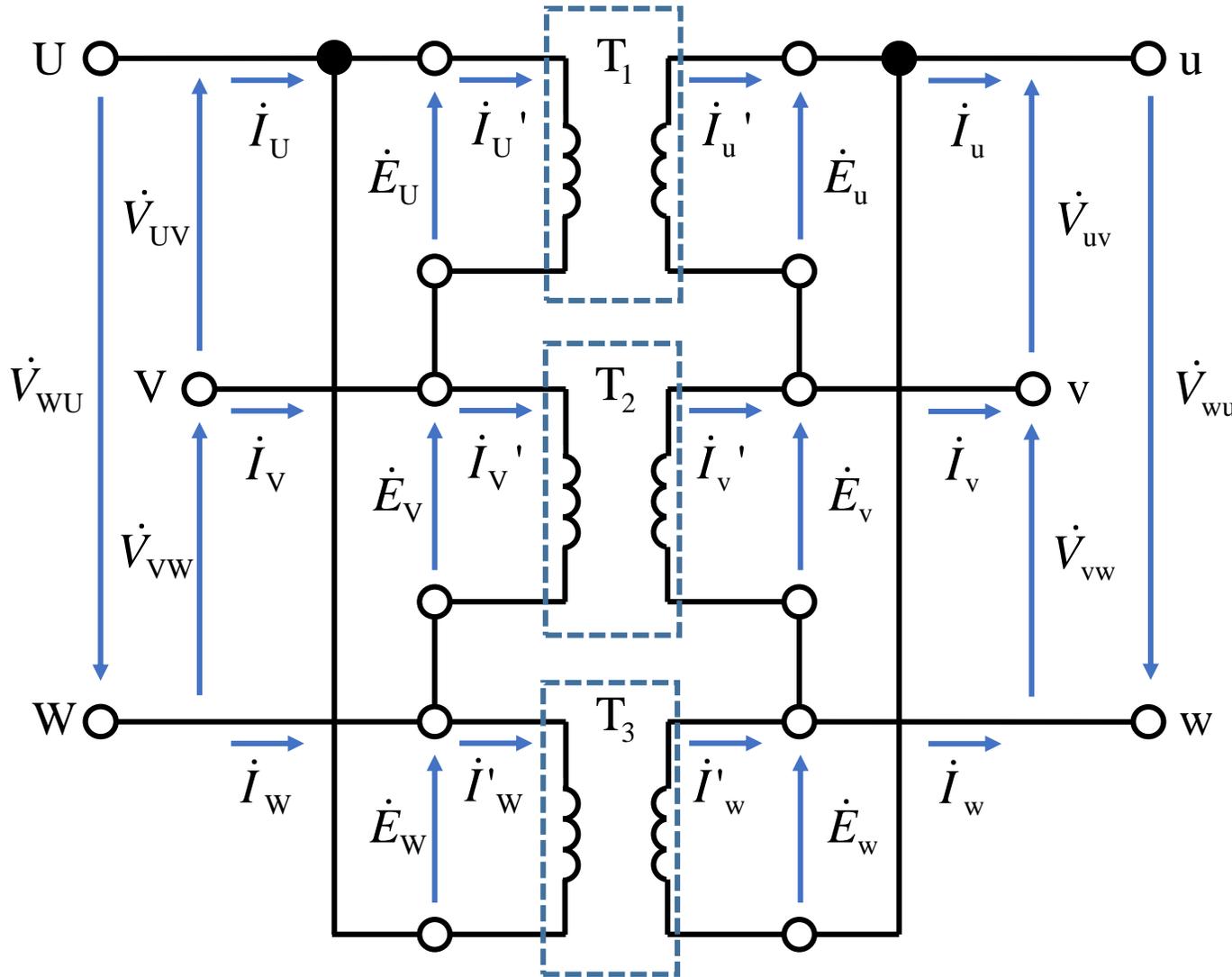
三相変圧器

この構成にすることで、  
単相変圧器を3個用いるより  
鉄心（コア）が **小さく** なる



**小型化** にすることができるが  
熱の許容量が小さい、鉄心  
の単価が高いという点を持つ

# 単相変圧器の三相結線 (Δ-Δ結線)



## Δ-Δ結線

実効値の関係

$$\begin{cases} V_{uv} = E_u = \frac{E_U}{a} = \frac{V_{UV}}{a} \\ I_u = \sqrt{3}I_u' = \sqrt{3}aI_U' = aI_U \end{cases}$$

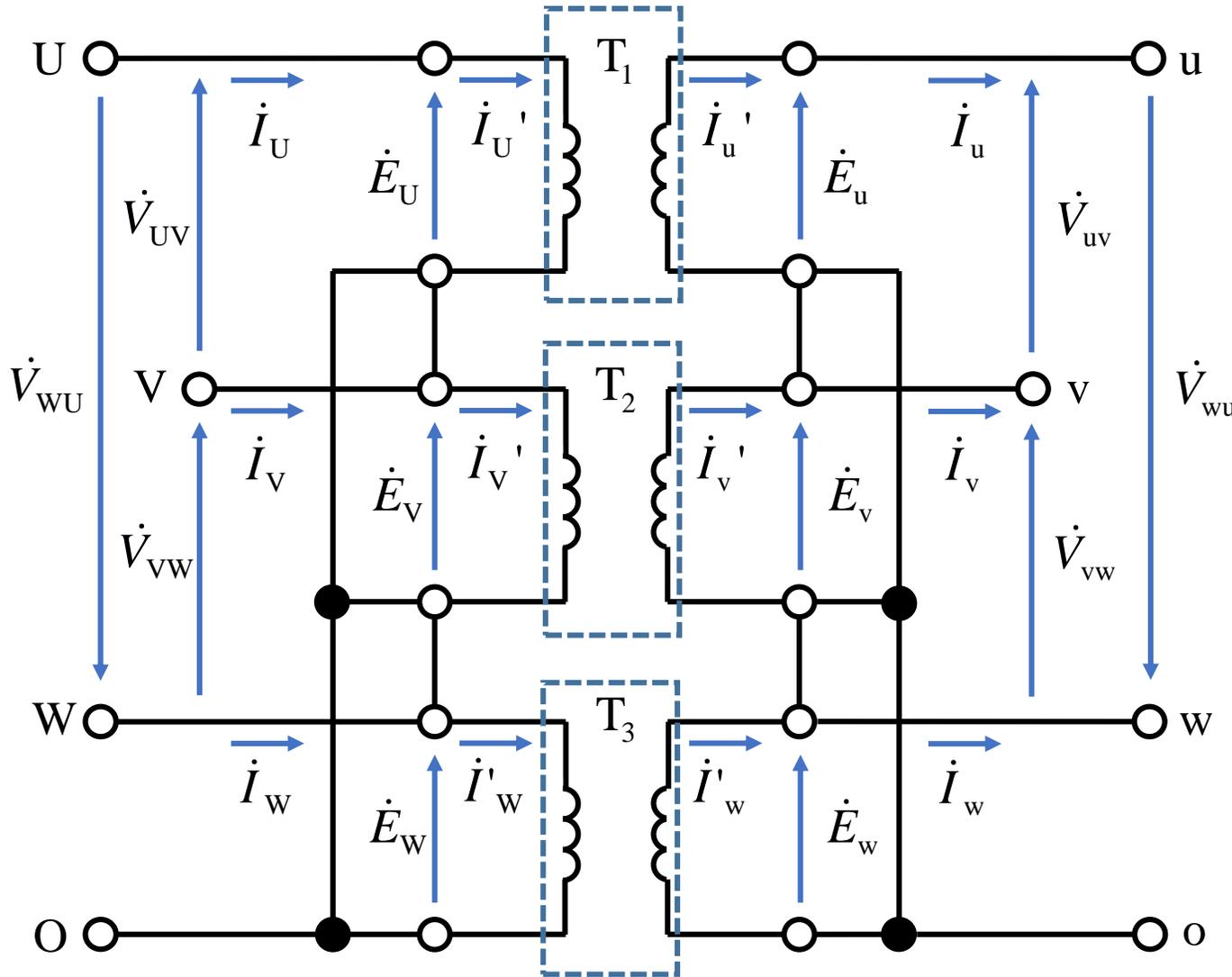
変圧器容量

$$\sqrt{3}V_{uv}I_u = 3E_uI_u' = 3E_UI_U' = \sqrt{3}V_{UV}I_U$$

三相バンク容量 (定格容量)

$$3V_{2N}I_{2N} \quad \text{単相変圧器の } \mathbf{3} \text{ 倍}$$

# 単相変圧器の三相結線 (Y-Y結線)



## Y-Y結線

実効値の関係

$$\begin{cases} V_{uv} = \sqrt{3}E_u = \sqrt{3} \frac{E_U}{a} = \frac{V_{UV}}{a} \\ I_u = I_u' = aI_U' = aI_U \end{cases}$$

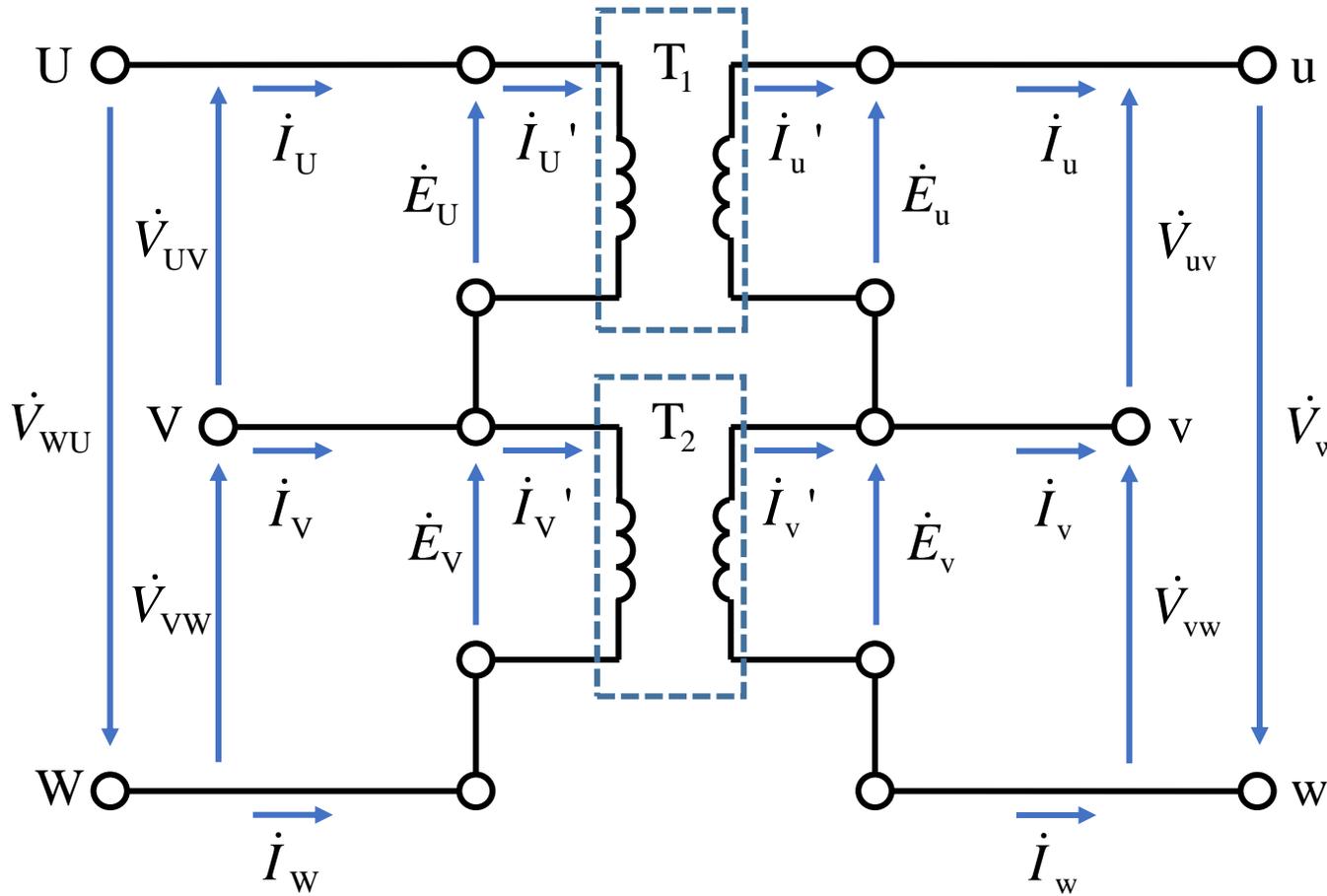
変圧器容量

$$\sqrt{3}V_{uv}I_u = 3E_U I_U$$

三相バンク容量 (定格容量)

$$3V_{2N}I_{2N} \quad \text{単相変圧器の } \mathbf{3} \text{ 倍}$$

# 単相変圧器の三相結線 (V-V結線)



## V-V結線

実効値の関係

$$\begin{cases} V_{uv} = E_u = \frac{E_U}{a} = \frac{V_{UV}}{a} \\ I_u = I_u' = aI_U' = aI_U \end{cases}$$

変圧器容量

$$\sqrt{3}V_{uv}I_u = \sqrt{3}E_U I_U$$

三相バンク容量 (定格容量)

$$2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} V_{2N} I_{2N} = \sqrt{3} V_{2N} I_{2N}$$

## Y- $\Delta$ 結線, $\Delta$ -Y 結線

励磁電流の第三次高調波成分が  **$\Delta$ 回路** を循環して流れ、外部に流れない利点がある。ただし、一次側と二次側に $30^\circ$ の **位相差** が生じる。  
Y- $\Delta$ 結線は **降圧** トランス,  $\Delta$ -Y結線は **昇圧** トランスとして広く用いられている。

## $\Delta$ - $\Delta$ 結線

変圧器に流れる電流が線電流より **小さく** なり、変圧器の巻線導体が細くて済むため、**大電流** を必要とする回路によく利用される。また、 **$\Delta$ 回路** を有しているため、磁束や誘導起電力が **歪まない** 。

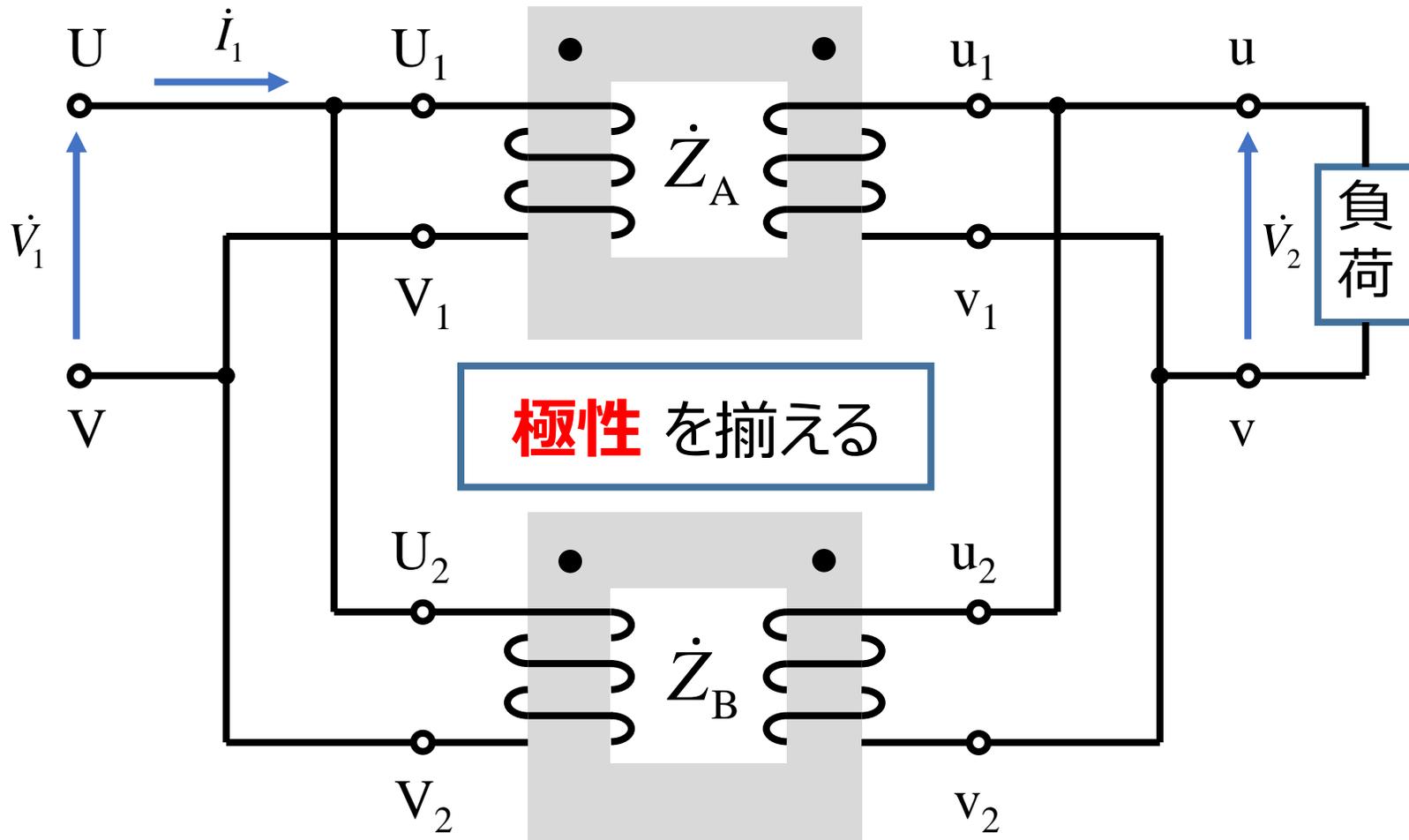
## Y-Y 結線

**中性点** 同士を直接接地する場合は絶縁が容易になるが、**Δ回路** が無いので第3次高調波電流が外部に流れてしまう。中性点接地を **しない** 場合は鉄心内の磁束が **歪む** , 誘導起電力が **歪む** といった支障が発生する。

## V-V 結線

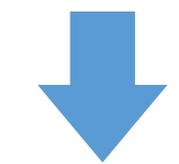
Δ-Δ結線で運転中に1台の **単相** 変圧器が **故障** した場合や、将来負荷の増設を予定している場合などによく用いられる。ただし、変圧器が少ない分、他の結線方法に比べて定格 **出力** や定格 **容量** が低いという問題点がある。

# 変圧器の並行運転



**短絡** インピーダンス

$$\begin{cases} \dot{V}_1 = \dot{Z}_A \dot{I}_A + \dot{V}_2 \\ \dot{V}_1 = \dot{Z}_B \dot{I}_B + \dot{V}_2 \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_A + \dot{I}_B \end{cases}$$

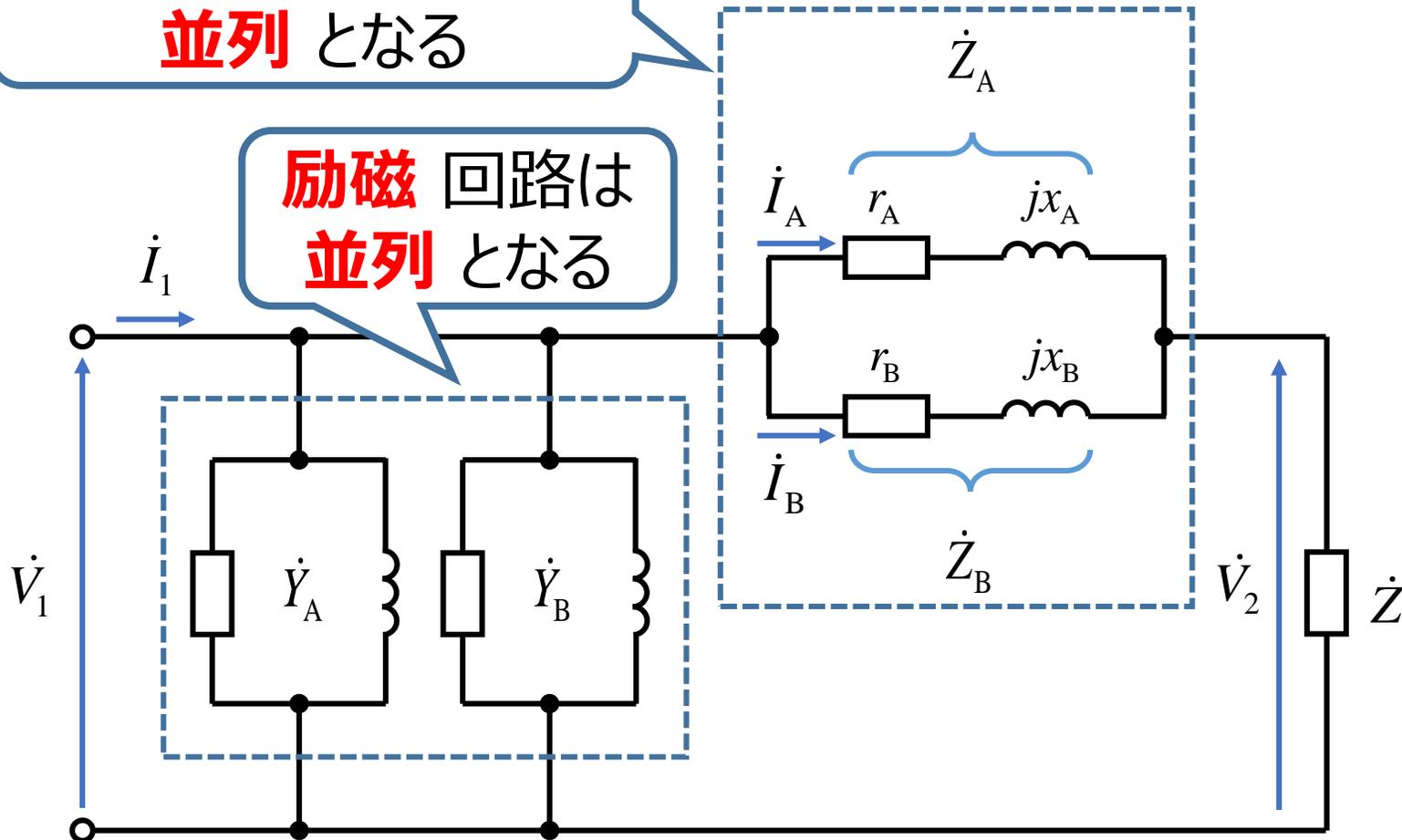


$$\dot{Z}_A \dot{I}_A = \dot{Z}_B \dot{I}_B$$

変圧器の電圧 **降下**

**短絡** インピーダンスは  
**並列** となる

**励磁** 回路は  
**並列** となる



**パーセント** (短絡) インピーダンス

$$\begin{cases} q_{AZ} = \frac{Z_A I_{AN}}{V_{1N}} \times 100[\%] \\ q_{BZ} = \frac{Z_B I_{BN}}{V_{1N}} \times 100[\%] \end{cases}$$

$$\therefore \frac{I_A}{I_B} = \frac{I_{AN}}{q_{AZ} V_{1N}} \cdot \frac{q_{BZ} V_{1N}}{I_{BN}}$$

$$= \frac{I_{AN} V_{1N}}{I_{BN} V_{1N}} \cdot \frac{q_{BZ}}{q_{AZ}} = m \cdot \frac{q_{BZ}}{q_{AZ}}$$

**定格容量** の **比**

理想的な状態	必要な条件
各変圧器間に <b>循環</b> 電流（横流）が流れないこと	1. 各変圧器の <b>極性</b> が等しいこと 2. 各変圧器の <b>巻数比</b> が等しいこと
各変圧器がその <b>定格</b> 容量に 比例して <b>負荷</b> 電流を分担すること	3. 各変圧器の <b>インピーダンス</b> 電圧 が等しいこと
各変圧器の分担電流が <b>同相</b> であること	4. 各変圧器の <b>リアクタンス</b> と <b>内部抵抗</b> の <b>比</b> が等しいこと

## 極性 を合わせる

仮に変圧器Aの二次側端子 $u_1$ と $v_1$ が **逆** に接続されたら、 $u_1-v_1-v_2-u_2-u_1$ の経路でAとBの二次側電圧が **同相** となって加わり、**短絡** インピーダンスが小さいため、非常に大きい **循環** 電流が流れて巻線を **焼損** してしまう

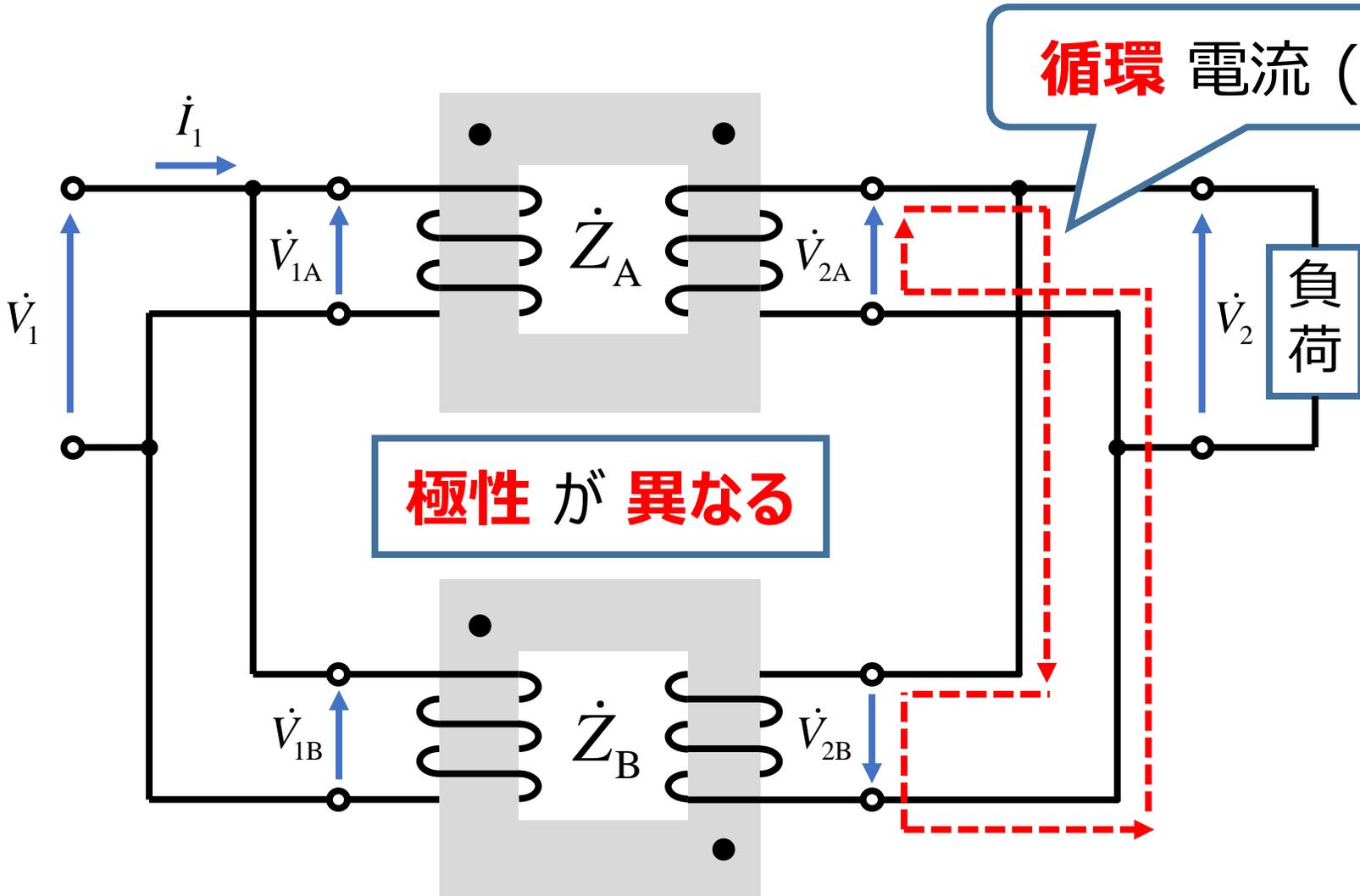
## 巻数比 が等しい

巻数比が **異なる** と、二次側電圧に **差** が生じ、**循環** 電流が流れるため、**損失** (銅損) を増大させ、両巻線を **過熱** させる

## インピーダンス 電圧及び **パーセント** インピーダンスが等しい

上の条件を満たすことが出来れば、並行運転した際に変圧器の **容量** に応じて **負荷** 電流が **同相** で分担される

# 変圧器の並行運転に伴う循環電流

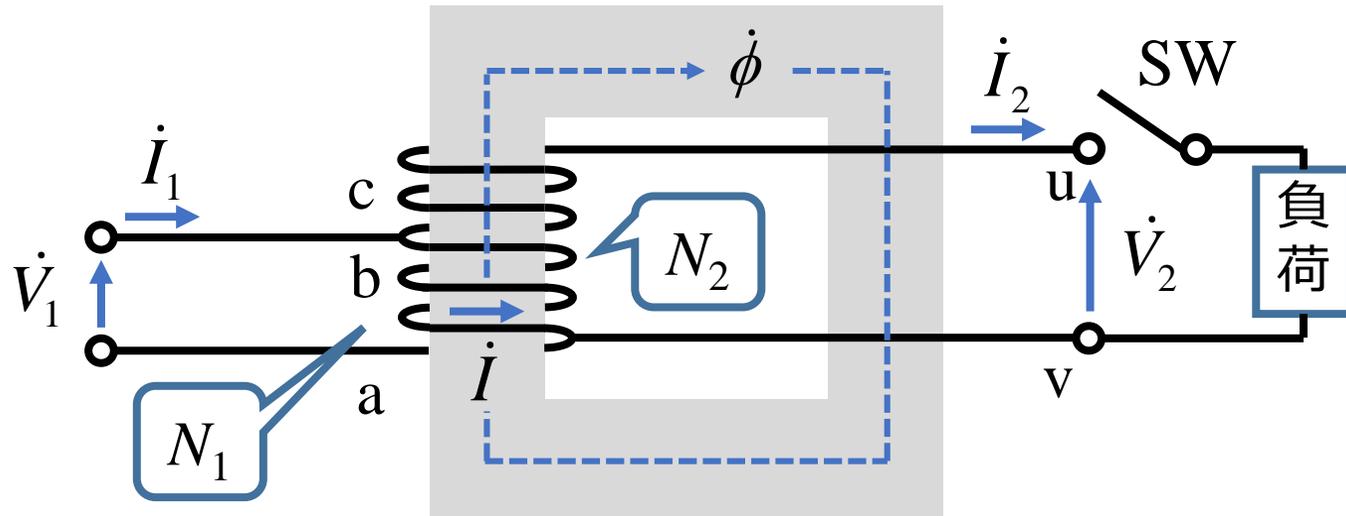


実際には1相目と2相目の  
**変圧比** が若干異なるため  
**同** 極性でも電位差が生じ  
循環電流が流れてしまう



循環電流を許容できる  
設計や運転が必要

**単巻** 変圧器：単相変圧器の一部を一次側と二次側とで共用



a-b間の巻線：**分路** 巻線  
b-c間の巻線：**直列** 巻線

分路巻線を流れる電流

$$I = I_1 - I_2 = (1-a)I_1$$

**自己容量**：各巻線を流れる電流と  
各巻線の電圧から求まる容量

$$P = |V_2 - V_1| I_2 = \left| 1 - \frac{V_1}{V_2} \right| V_2 I_2 = (1-a) V_2 I_2$$

**負荷容量**：負荷として取り出せる容量

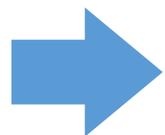
$$P_o = V_2 I_2$$

この二つが単巻変圧器の **定格容量**

## 単巻変圧器の主な特徴

1. **分路巻線** が **共通** なので、漏れ磁束が **少ない**
2. **漏れ磁束** が **少ない** ので、電圧変動率が **小さい**
3. **銅損** と **鉄損** を **少なく** できるので、効率が **高い**
4. 一次側と二次側の **絶縁** ができない

Ex. 絶縁皮膜のない巻線に電氣的に接触させた可動式摺動子が二次側端子の一つになっていると、出力電圧を変えられる単巻変圧器となる



**可変単巻** 変圧器 ( **スライダック** は東芝の商品名)

