

2月21日

変圧器の極性と結線

変圧器の巻線極性

- 一次・二次両端子間に表れる誘電起電力の方向を表す語で、減極性と加極性があります。
- 減極性とは下図のように、 U と u が同じ側にあり、両巻線間に誘起される電圧の方向が同じになります。
一方加極性は U と u は対角線上にあり、両巻線間に誘起される電圧の方向は反対になります。
国内の変圧器ではJIS, JEC規格を適用し減極性を標準としています。
- 変圧器の極性は、単独で使用する場合には問題になりませんが、並列運転をする場合、あるいは何台か組み合わせた多相結線をする場合は、極性を明らかにしておく必要があります。

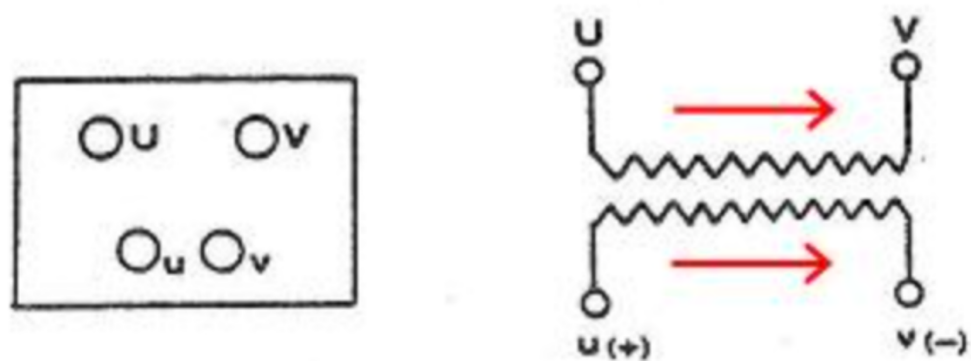


图 减极性

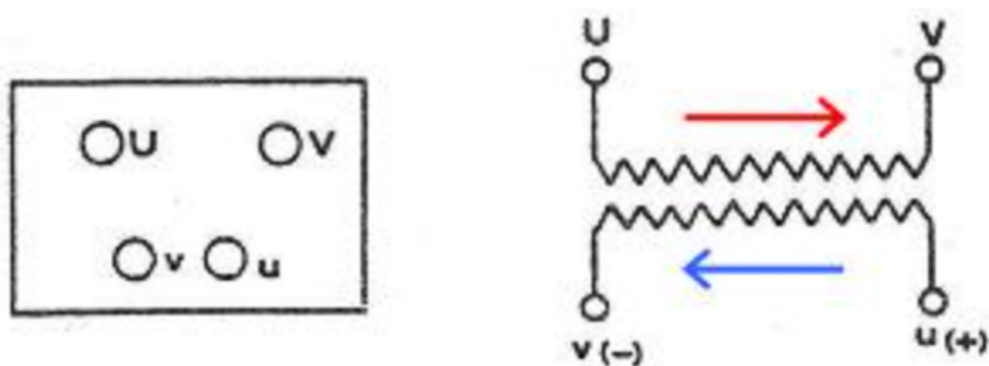
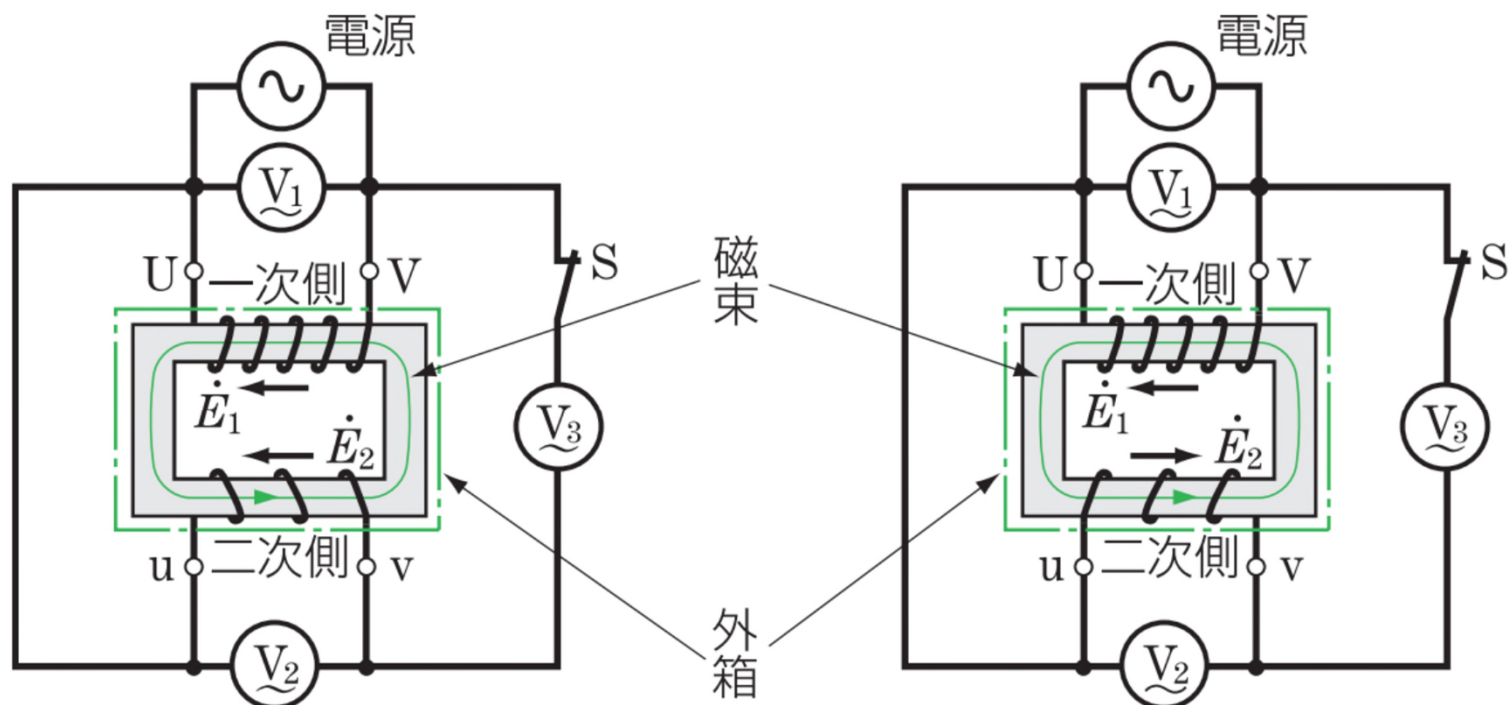


图 加极性

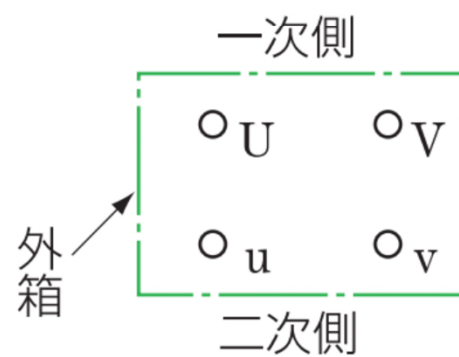


(a) 減極性

$$V_3 = V_1 - V_2$$

(b) 加極性

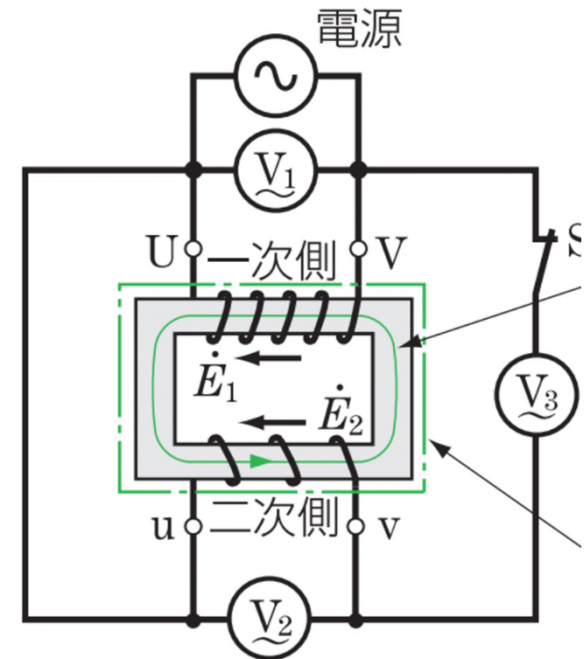
$$V_3 = V_1 + V_2$$



(c) 端子配列⁴

問い2

巻数比 a が5である容量 $10 \text{ kV}\cdot\text{A}$ の減極性の変圧器を図 (a) のように接続し，この変圧器の1次側に 200 V の電圧を加えた場合， V_2 ，および V_3 を求めよ。



(a) 減極性

$$V_3 = V_1 - V_2$$

- $V_2 = V_1 / a = 200 / 5 = 40 [\text{V}]$
- $V_3 = V_1 - V_2 = 200 - 40 = 160 [\text{V}]$

2

三相結線

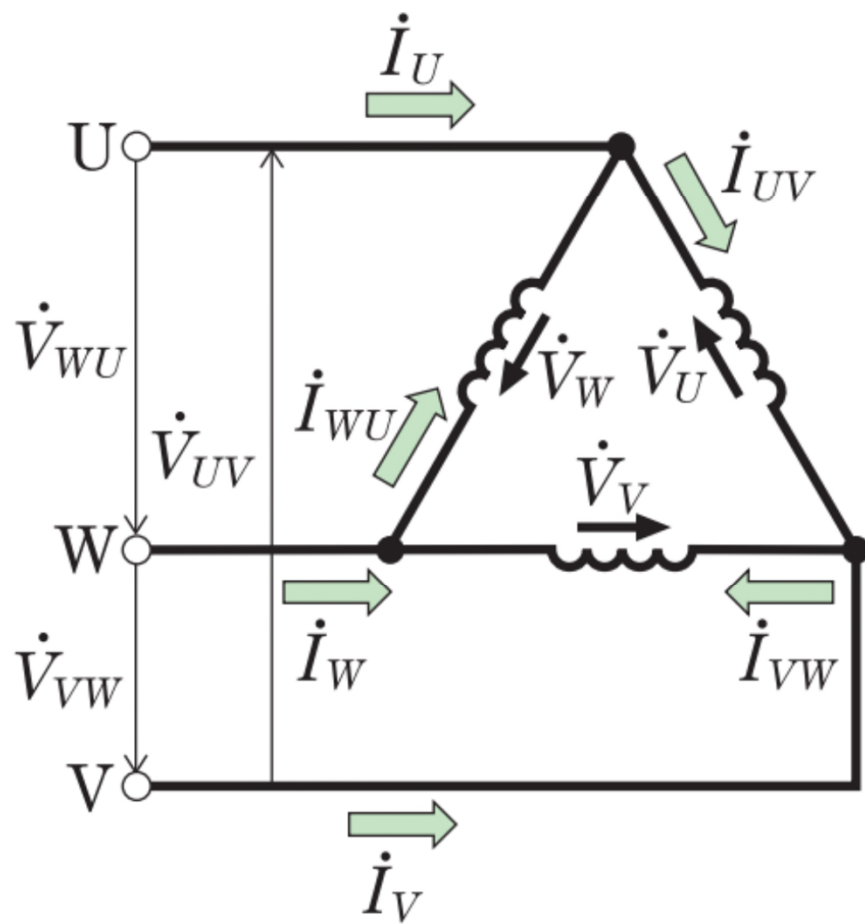
定格および巻数比の等しい単相変圧器 3 台を用いて、各種の三相結線を行うことができる。このように、単相変圧器 3 台で三相結線された一組みを **バンク^①** という。

1

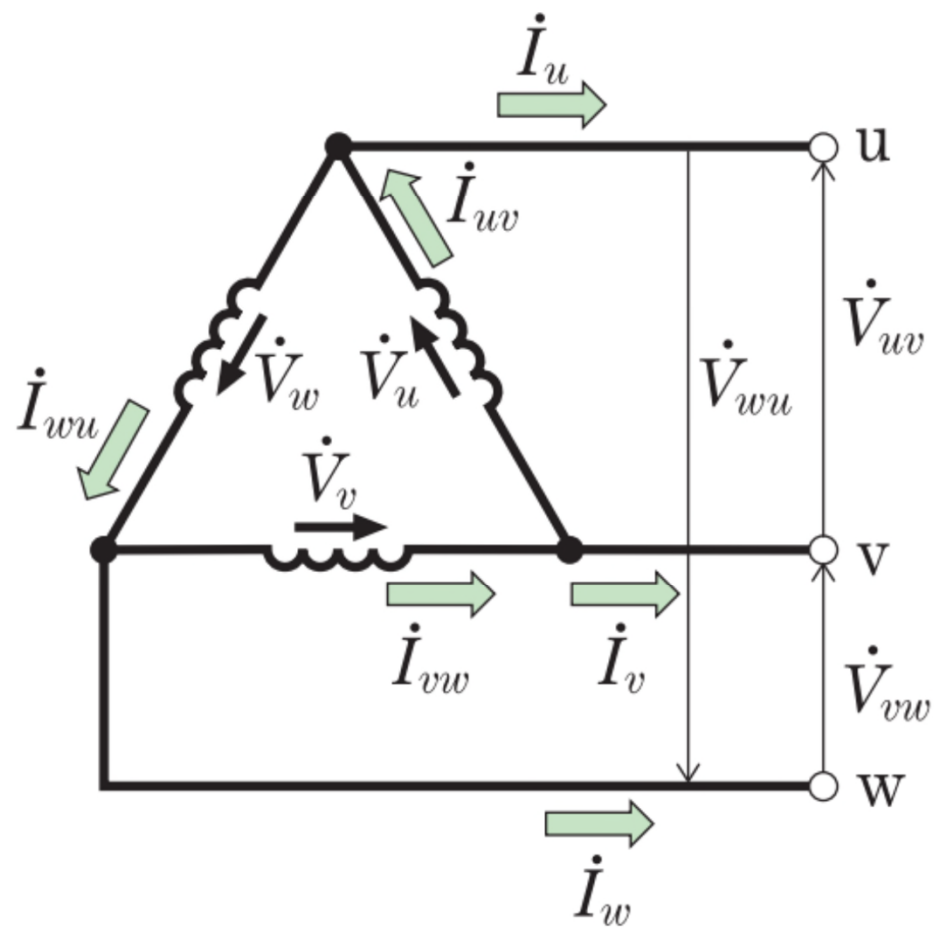
Δ - Δ 結線

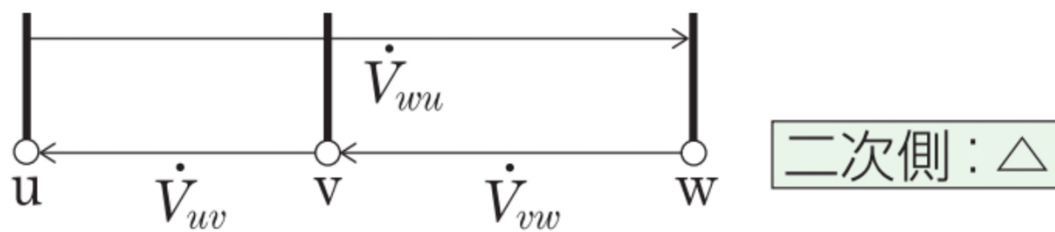
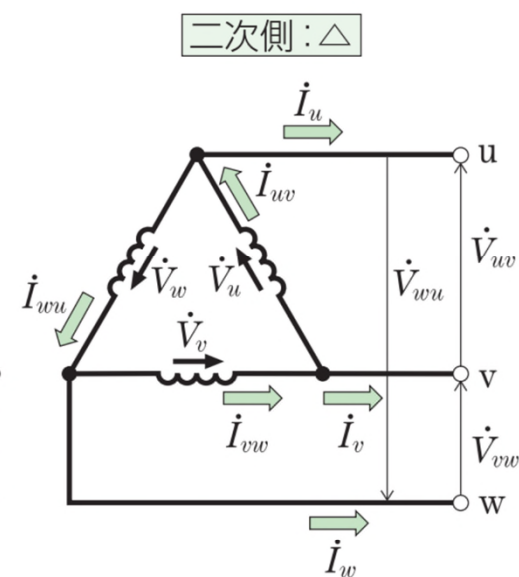
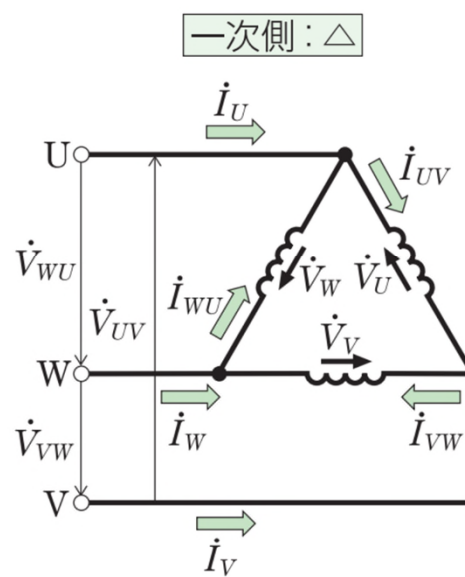
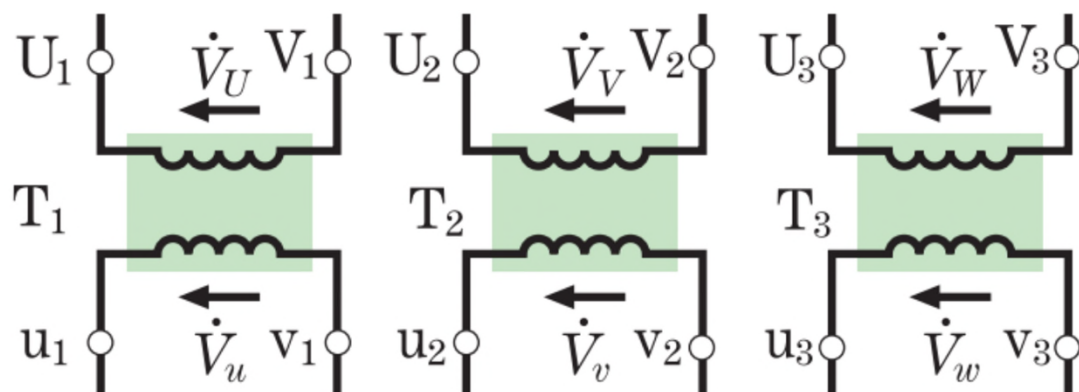
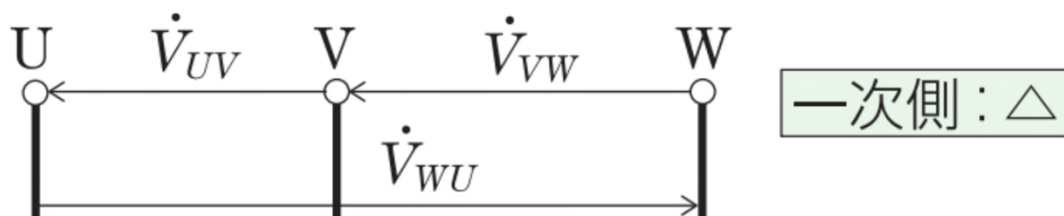
図 4 (a)において、対称三相電源の各端子を U, V, W とする。各変圧器 T_1 , T_2 , T_3 の一次側端子に、 $\dot{V}_{UV}$, $\dot{V}_{VW}$, $\dot{V}_{WU}$ [V] の電圧が加わるように結線する。また、二次側端子においても同じように結線する。図 4 (b)から、変圧器の各端子は、 Δ に結線されていることがわかる。このような結線法を **Δ 結線^②** といい、一次側・二次側とも Δ 結線したものを、変圧器の **Δ - Δ 結線^③**

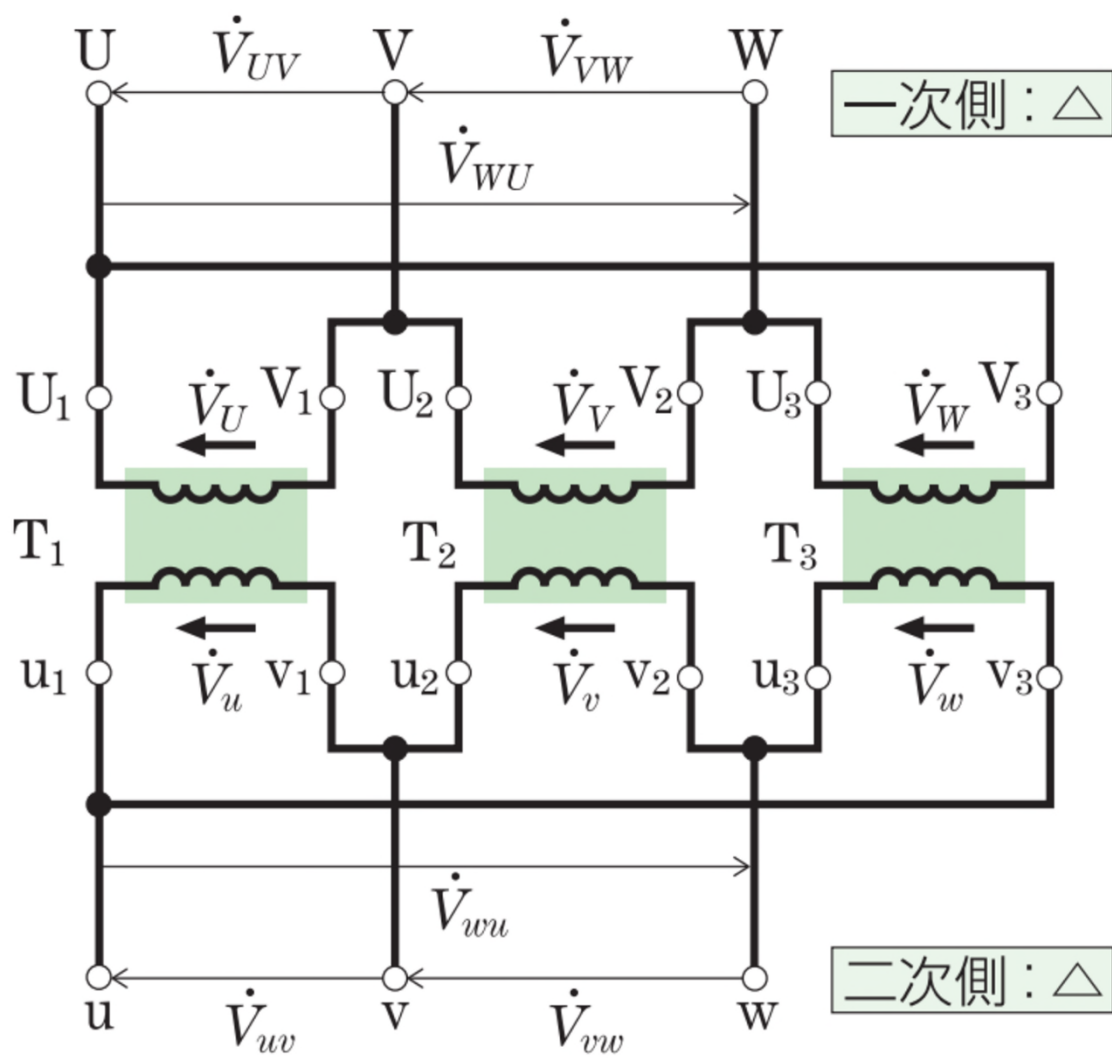
一次側：△

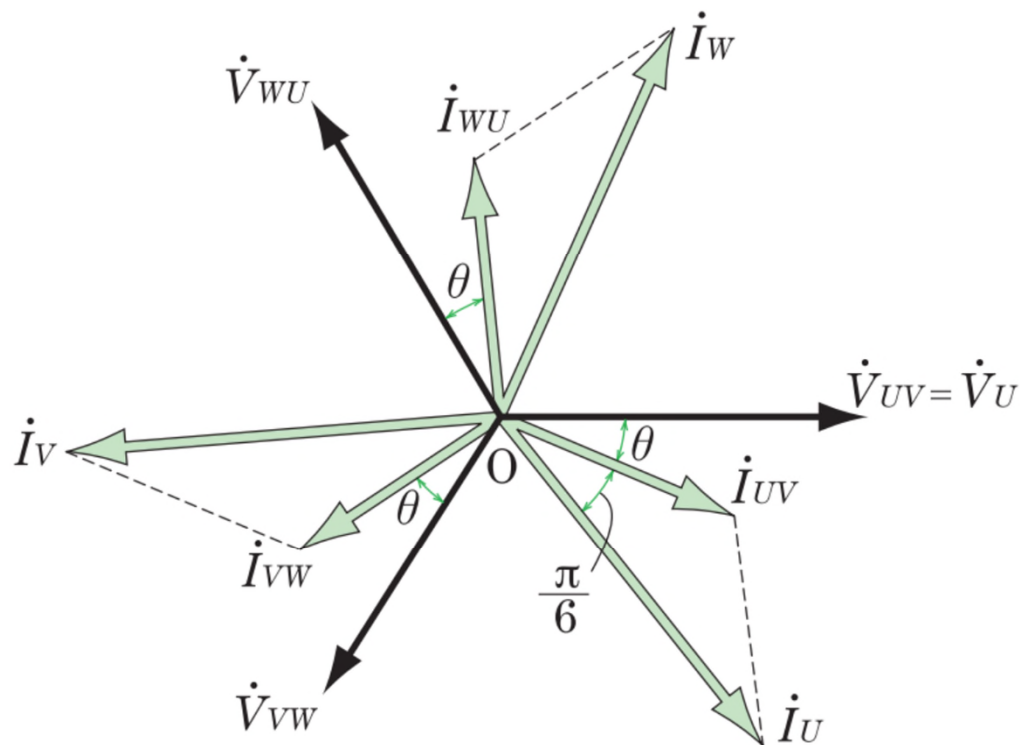


二次側：△









一次電流のベクトルは，図4の回路に $Z \angle \theta$ の負荷を接続した場合で，流れる電流には次の関係がある。

$$\dot{I}_U = \dot{I}_{UV} - \dot{I}_{WU} \quad \text{ゆえに } I_U = \sqrt{3} I_{UV}$$

$$\dot{I}_V = \dot{I}_{VW} - \dot{I}_{UV} \quad \text{ゆえに } I_V = \sqrt{3} I_{VW}$$

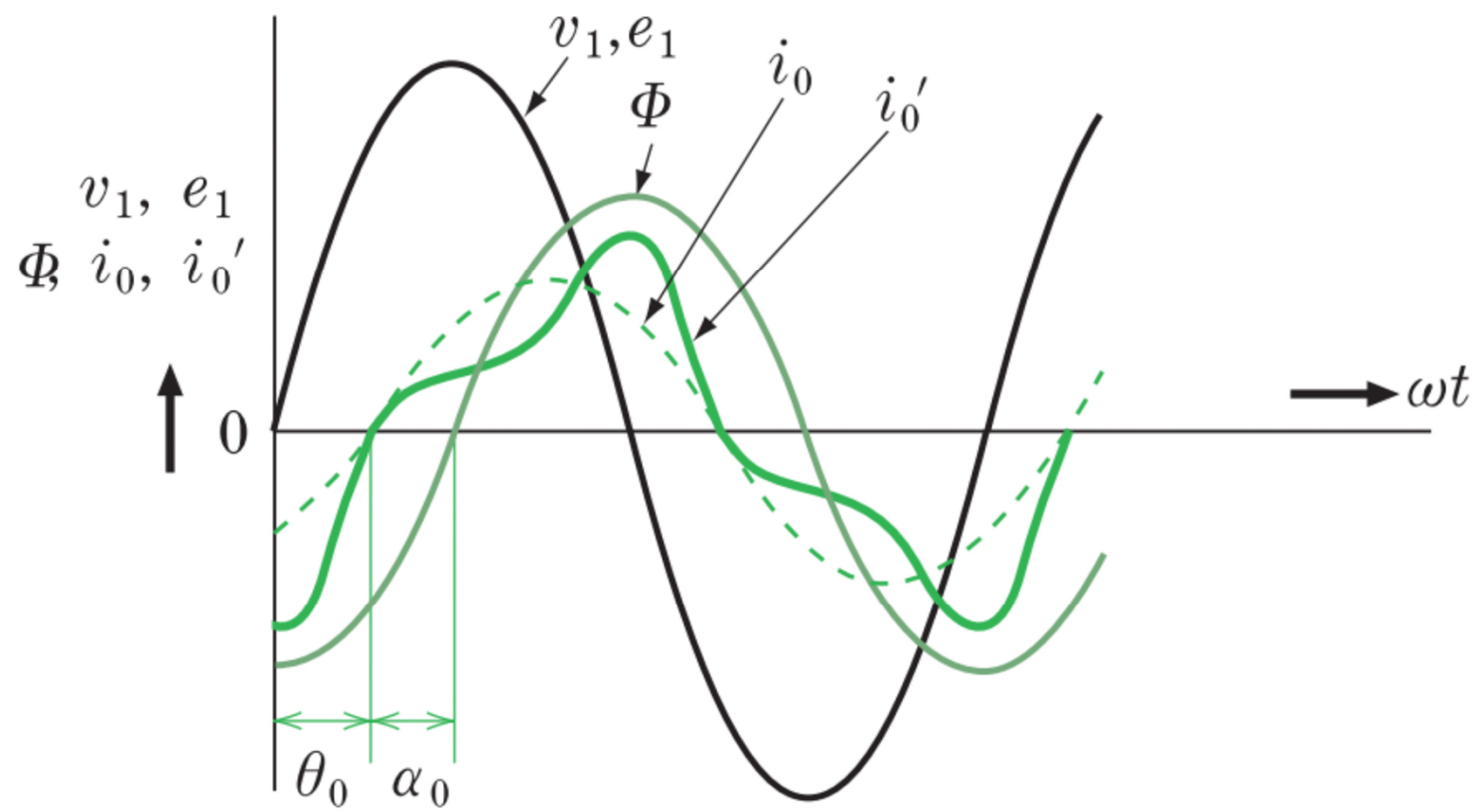
$$\dot{I}_W = \dot{I}_{WU} - \dot{I}_{VW} \quad \text{ゆえに } I_W = \sqrt{3} I_{WU}$$

θ : 位相角 (相巻線の電圧と相巻線の電流の角度であり，図の場合，電流は θ だけ遅れている。)

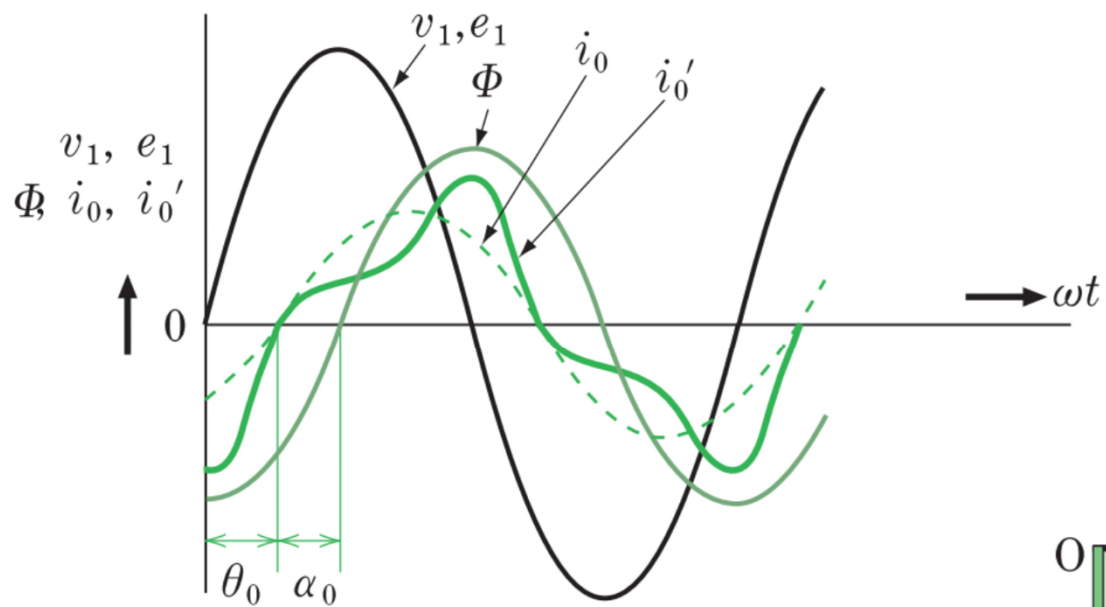
▲図5 Δ-Δ 結線の一次側ベクトル図

△-△ 結線は、変圧器の相巻線^①に流れる電流^②が線電流の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ となり、一次側線間電圧と二次側線間電圧が同相となる。線間電圧と変圧器の相巻線の電圧^③が等しく、高圧用としては、絶縁の点で不利であるため、60 kV 以下の配電用変圧器に用いられる。しかし、3 台のうち 1 台が故障しても、残り 2 台で (V-V 結線^④により) 運転可能であり、3 台分の容量の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ の負荷に対応することができる。

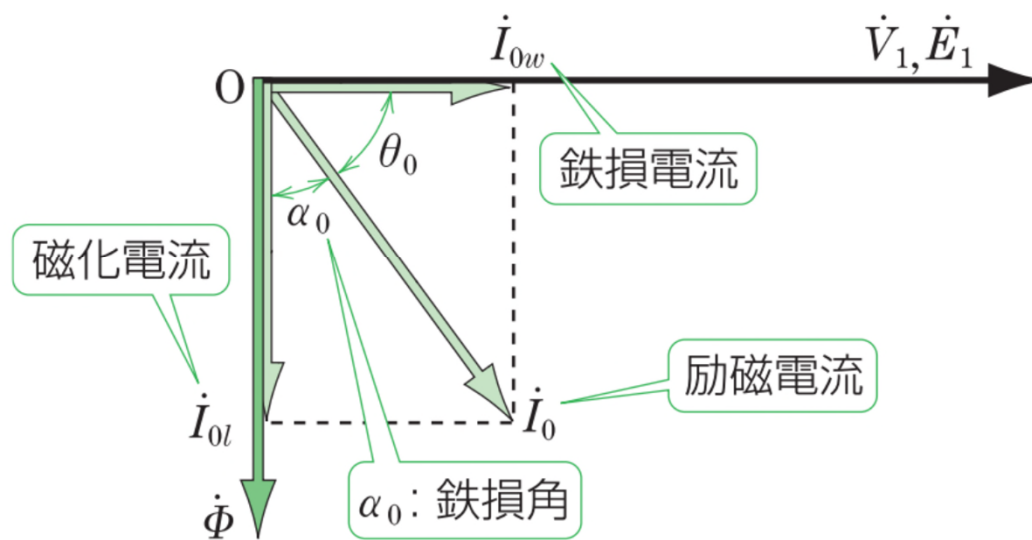
なお、各変圧器の励磁電流には、基本波のほかに第3調波が含まれており、この第3調波は、各相とも同相である。したがって、第3調波電流は巻線内を循環電流として流れるので、高調波電圧は線間電圧に現れず、波形のひずみが生じない。



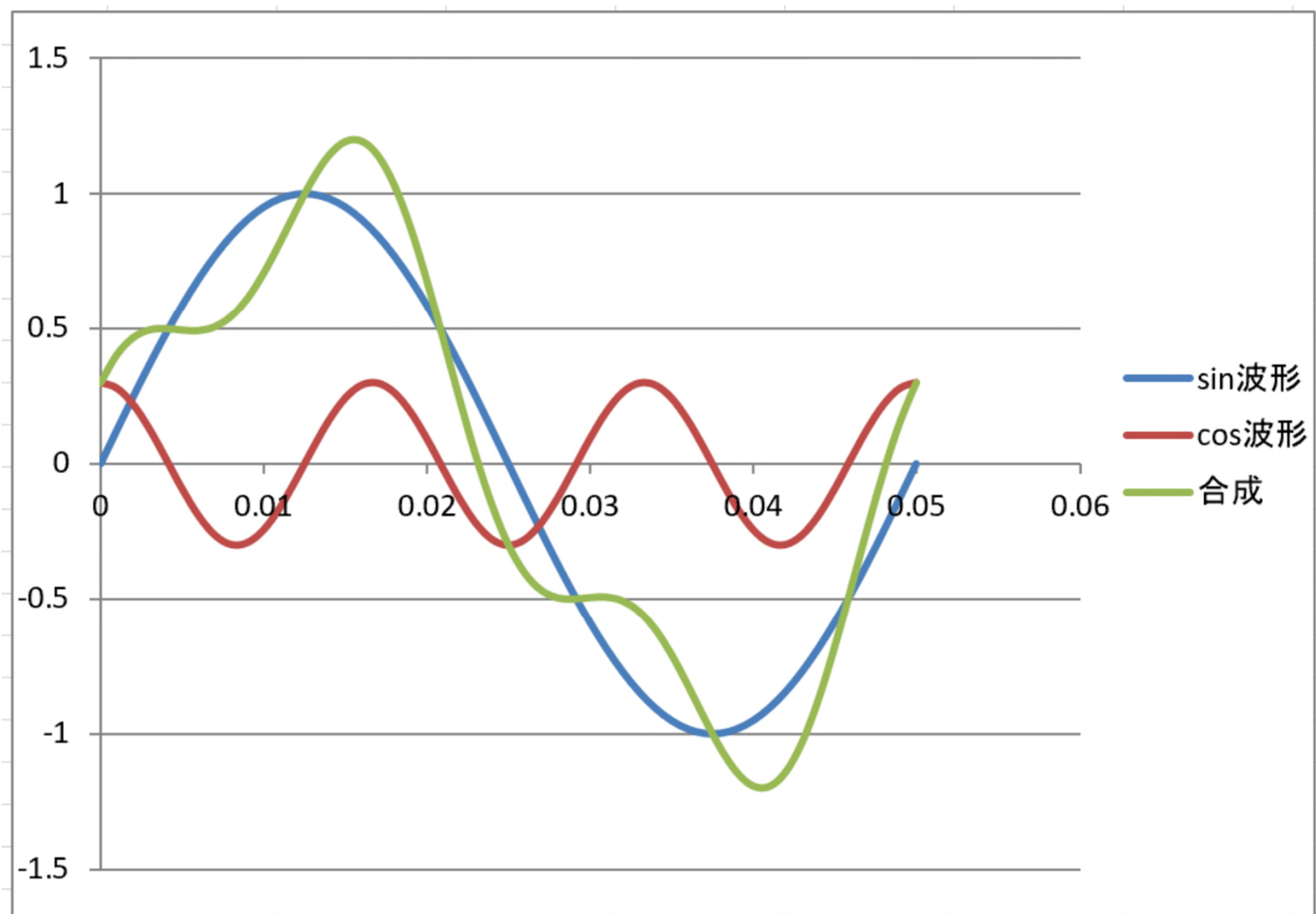
(a) 励磁電流の波形



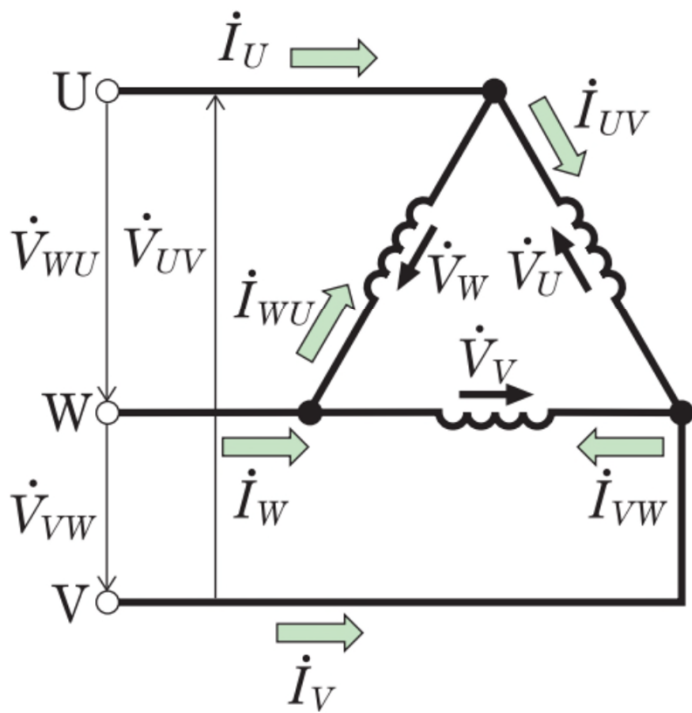
(a) 励磁電流の波形



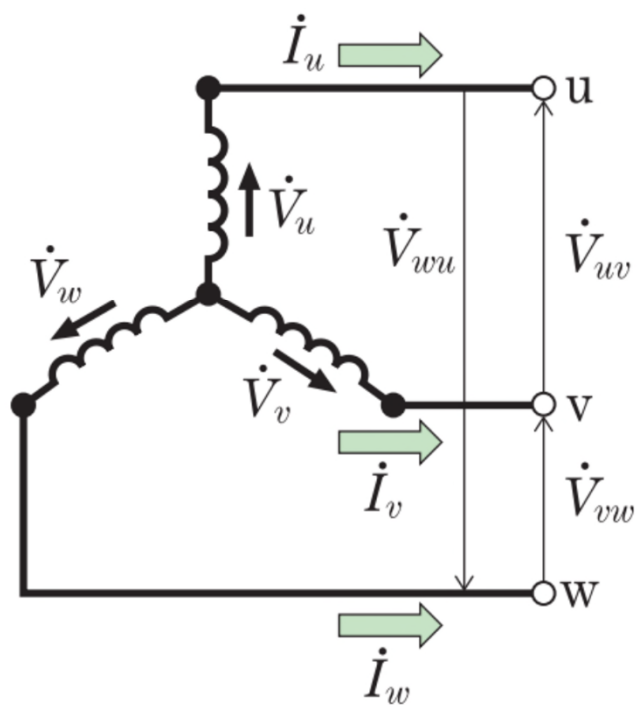
(b) 励磁電流のベクトル図



2

 Δ -Y 結線一次側: Δ 

二次側: Y



Δ -Y 結線では、二次側の線間電圧は、相巻線の電圧の $\sqrt{3}$ 倍になり、線電流は相巻線の電流に等しい。この結線方法は、送電線の送電端（発電所）などのように、電圧を高くする場合に用いられる。

一次側に Δ 結線があるので、第 3 調波電流は巻線内を循環し、二次側には流れないので、通信障害がない。また、Y 結線の中性点が接地できるなどの特徴がある。

3

Y- Δ 結線

図 8 (a)に示すように，各変圧器の一次側を Y 結線，二次側を Δ 結線にする方式を変圧器の Y- Δ 結線^① という。図 8 (b)はこの結線の電圧ベクトル図であり，二次側では，線間電圧と相巻線の電圧は等しい。Y- Δ 結線は，送電線の受電端などのように，電圧を低くする場合に用いられる。

4

Y-Y 結線

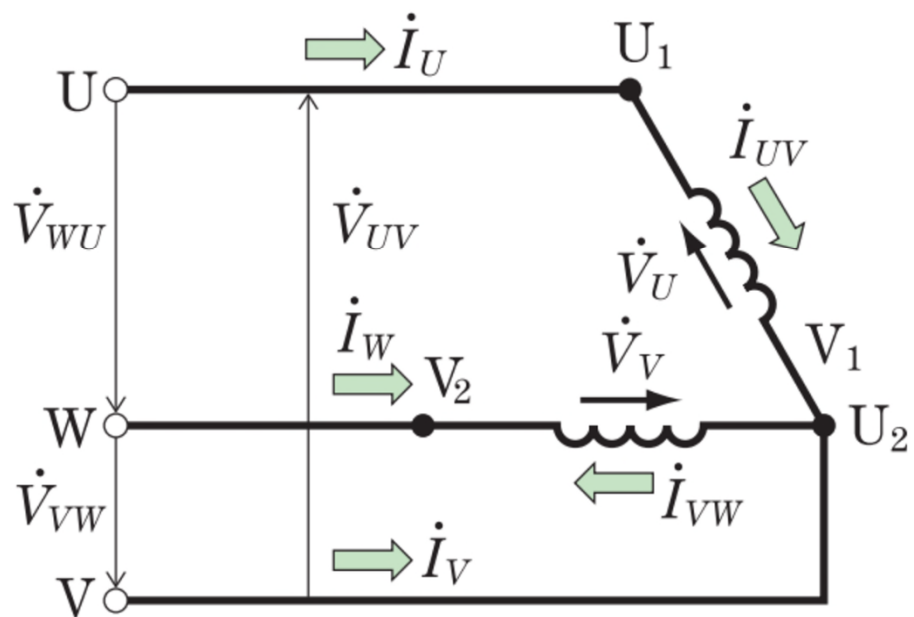
図 9 (a)に示すように、各変圧器の一次、および二次側を Y 結線にする方式を変圧器の^②Y-Y 結線^②という。図 9 (b)の一次側・二次側の電圧ベクトル図より、線間電圧は相巻線の電圧の $\sqrt{3}$ 倍になることがわかる。

Y-Y 結線には、第 3 調波の流れる回路がないため、電圧波形がひずみ、これが原因となって、近くの通信線に雑音などの障害を与える。このため、Y-Y 結線は、変圧器の絶縁がほかの方式より容易であるなどの利点があるが、特別な場合のほかは使用されない。

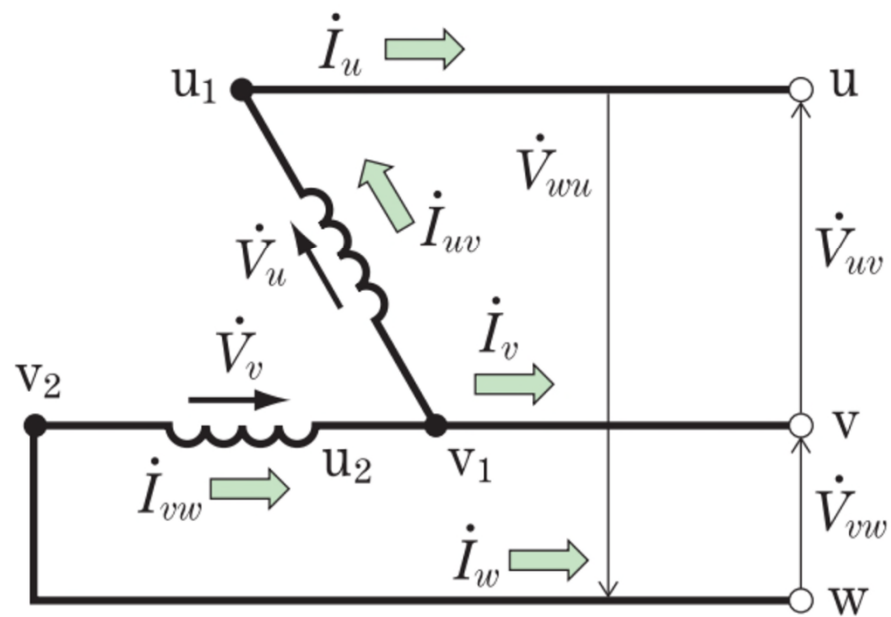
5

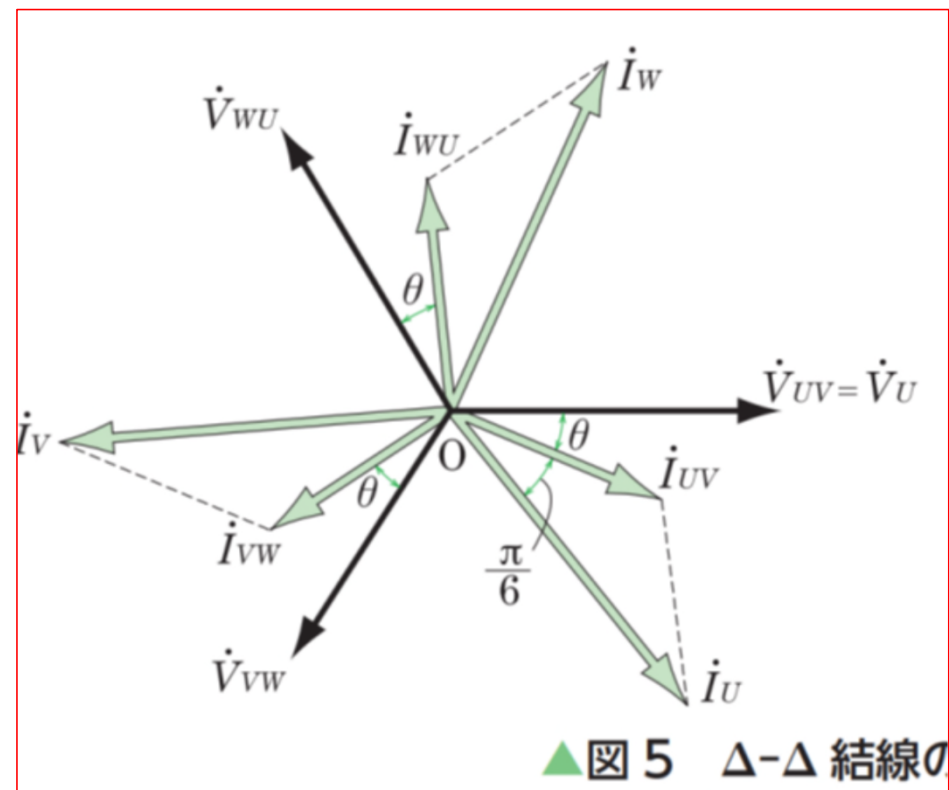
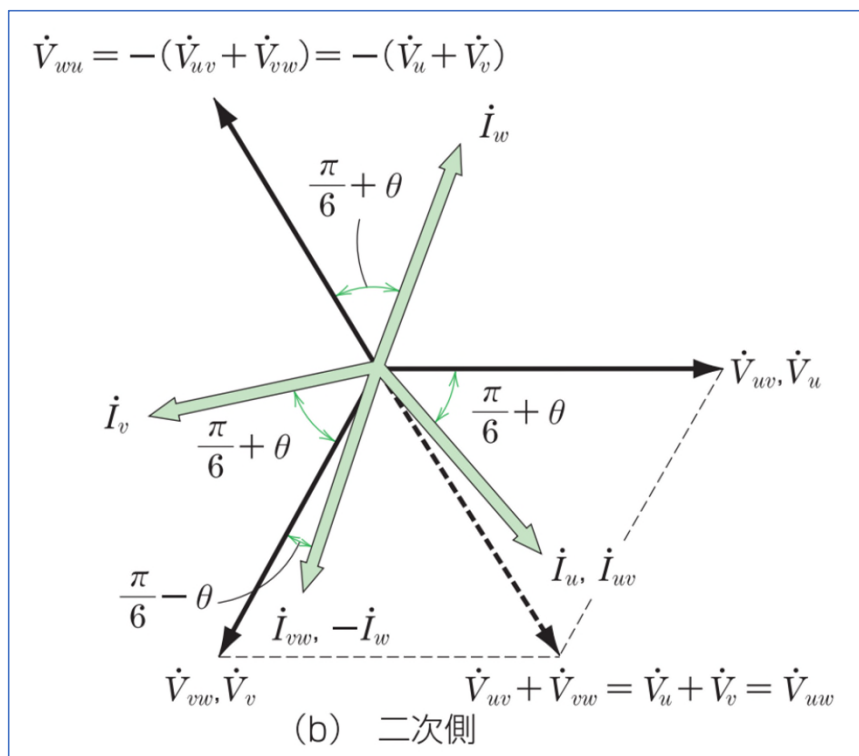
V-V 結線

一次側：V



二次側：V





V-V 結線のバンクの出力 P_V [W] は，変圧器 T_1 , T_2 の出力をそれぞれ P_1 [W], P_2 [W] とし，二次側の定格電圧を V_n ，定格電流を I_n とすると，次式で表される。

$$\begin{aligned} P_V &= P_1 + P_2 = V_n I_n \left\{ \cos \left(\frac{\pi}{6} + \theta \right) + \cos \left(\frac{\pi}{6} - \theta \right) \right\} \\ &= \sqrt{3} V_n I_n \cos \theta \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)から，V-V 結線のバンク容量は $\sqrt{3} V_n I_n$ [V・A] となり，変圧器 1 台の定格容量 $V_n I_n$ の $\sqrt{3}$ 倍となる。V-V 結線では 2 台の変圧器を用いるので，設備容量は $2 V_n I_n$ であるが，実際には $\sqrt{3} V_n I_n$ しか利用できないことになる。設備の容量がどれだけ有効に利用されている

設備の容量がどれだけ有効に利用されているかを表す場合の利用率は，次式から求められる。

$$\text{利用率} = \frac{\text{V 結線のバンク容量}}{\text{V結線の設備容量}} = \frac{\sqrt{3} V_n I_n}{2 V_n I_n} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 \quad (7)$$

これは，V-V 結線により得られる容量が，2 台分の容量の 86.6 % であることを示している。

20 kV・A の単相変圧器 2 台を用いて、V-V 結線にした場合、
これに接続できる三相負荷の容量 PV[kV・A]を求めよ。

$$20 \cdot \sqrt{3}$$

また、 Δ - Δ 結線のときのバンク容量を $P_{\Delta} = 3V_n I_n$, V-V 結線のバンク容量を $P_V = \sqrt{3} V_n I_n$ とすると、容量比 $\frac{P_V}{P_{\Delta}}$ は、次のようになる。

$$\text{容量比} = \frac{\text{V結線のバンク容量}}{\Delta\text{結線のバンク容量}} = \frac{\sqrt{3} V_n I_n}{3 V_n I_n} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577 \quad (8)$$

これは、V-V 結線の容量が変圧器 3 台で運転していたときの容量に対して、57.7 %に減ったことを示している。

