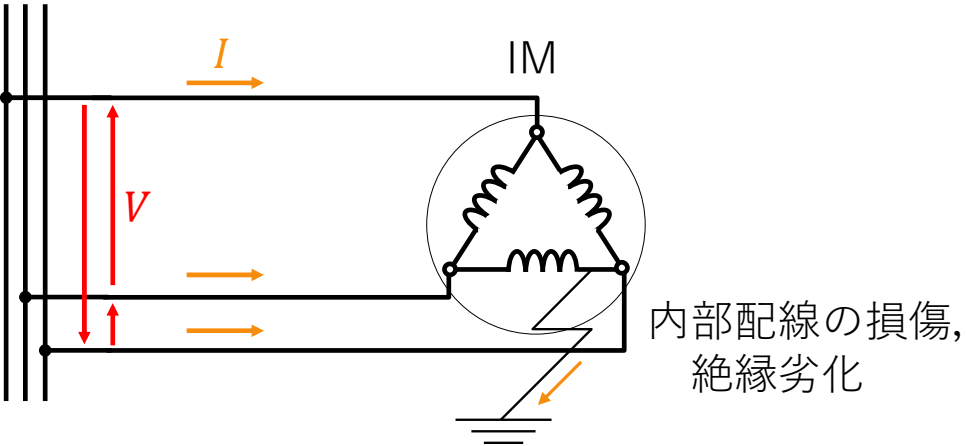
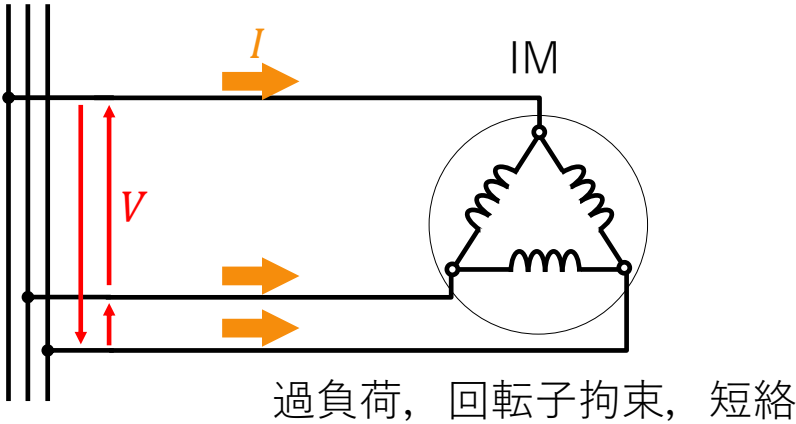


誘導機 (14) - 1 《誘導電動機の保護》
 誘導電動機運転時の主な異常

IM：誘導電動機 (Induction Motor)

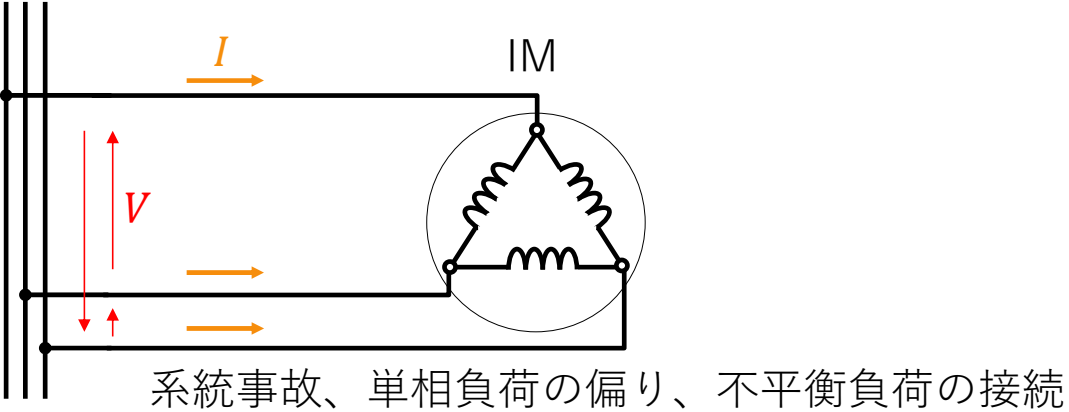
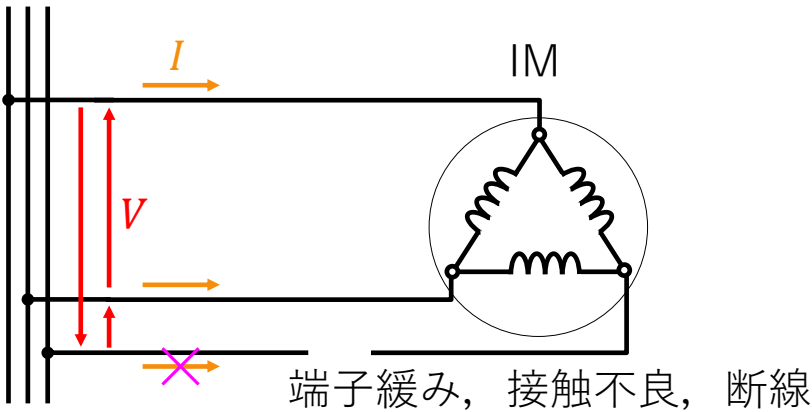
【過電流】 配線発熱による絶縁体劣化、焼損

【地絡】 感電事故、相间短絡へ波及



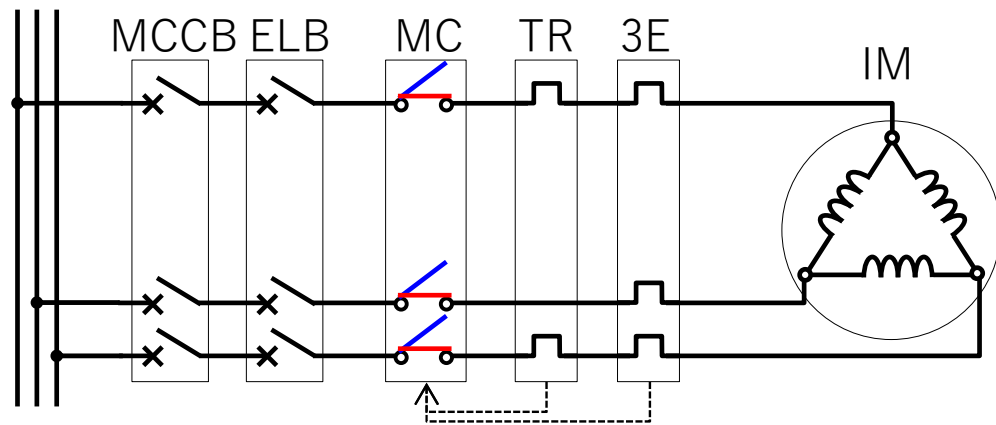
【欠相】 始動トルクゼロ、電流増加(過負荷)

【不足・不平衡電圧】 電流増加(過負荷)、トルク低下(不安定運転)



誘導機 (14) - 2 《誘導電動機の保護》

誘導電動機の保護方法



MCCB：配線用遮断器 (Molded Case Circuit Breaker)

過電流 (短絡) 検知 → MCCB開

電路の短絡保護を目的とし、
短絡電流を遮断できる遮断容量が必要。

ELB：漏電遮断器 (Earth Leakage Breaker)

過電流 (短絡), 漏電検知 → ELB開

MCCBに漏電検知の機能を付加

MC：電磁接触器 (electroMagnetic Contactor)

運転操作 → MC閉、停止操作 → MC開

電動機の運転/停止用スイッチ。

定格電流の数倍程度を遮断できる遮断容量が必要。

TR：サーマルリレー (Thermal Relay)

過電流 (過負荷) 検知 → MC開

※反限時特性による過電流検知

例) 整定値 × 1.05以内は不動作
整定値 × 1.2(2時間以内)、
整定値 × 1.5(2分以内)、
整定値 × 7.2(5秒以内) に検知

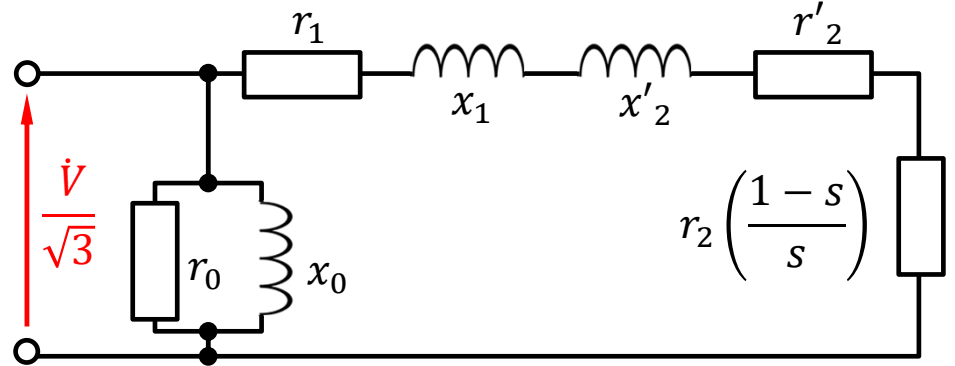
3E：モータリレー (3Element Relay)

過電流 (過負荷) ・ 欠相 ・ 反相検知 → MC開

※過負荷・欠相検知のみの2Eリレーもあり。

誘導機 (15) - 1 《誘導電動機の異常時運転》

■ 電源電圧 低下

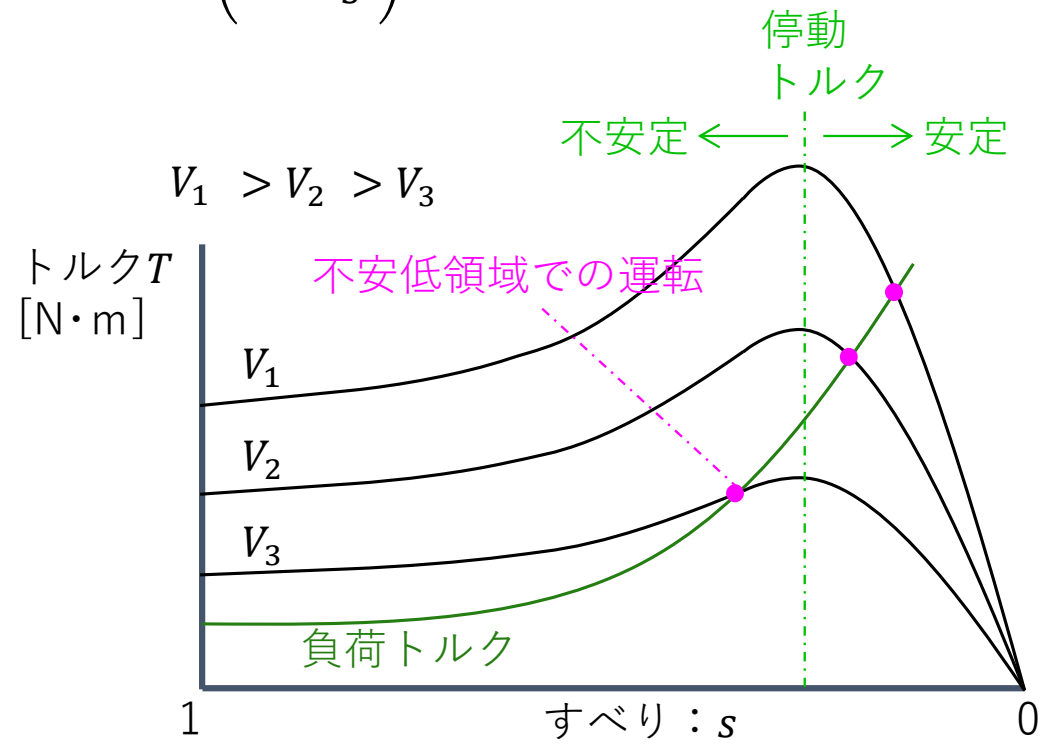


- $V[V]$: 線間電圧
- $r_1[\Omega]$: 一次抵抗
- $x_1[\Omega]$: 一次リアクタンス
- $r'_2[\Omega]$: 二次抵抗(一次換算)
- $x'_2[\Omega]$: 二次リアクタンス(一次換算)
- $r_0[\Omega]$: 等価鉄損抵抗
- $x_0[\Omega]$: 主励磁リアクタンス
- $\omega_s[\text{rad/s}]$: 同期角速度
- $s[\text{p.u.}]$: すべり

<トルク T [N・m] : の式>

$$T = \frac{V^2}{\omega_s} \cdot \frac{\frac{r'_2}{s}}{\left(r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)^2 + (x_1 + x'_2)^2}$$

トルクは電圧の二乗に比例

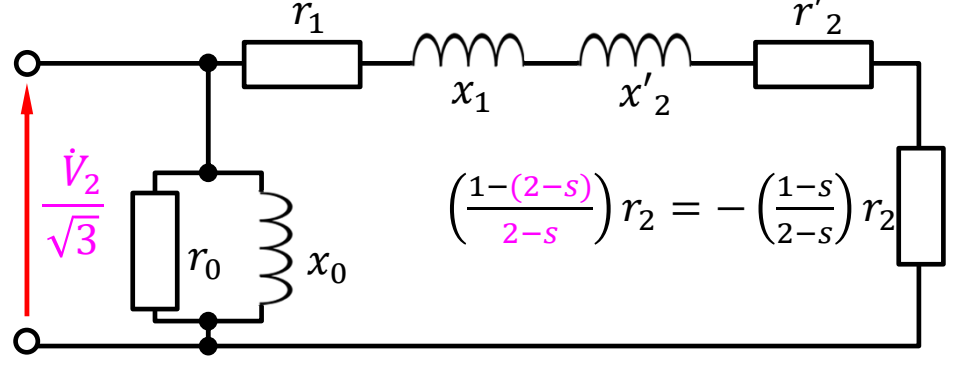


すべり s が増加することで、不安定領域の運転となる場合がある
機械出力が一定だと、電圧低下に伴い、過電流となる

誘導機 (15) - 2 《誘導電動機の異常時運転》

■電源電圧 三相不平衡 → 正相と逆相の成分に分離できる

【逆相分の一線等価回路】



$$\left(\frac{1-(2-s)}{2-s}\right) r_2 = -\left(\frac{1-s}{2-s}\right) r_2$$

- V_1 [V] : 正相分線間電圧 V_2 [V] : 逆相分線間電圧
- s [p.u.] : すべり ※逆相分すべり [p.u.] : $2-s$
- r_1 [Ω] : 一次抵抗
- x_1 [Ω] : 一次リアクタンス
- r'_2 [Ω] : 二次抵抗(一次換算)
- x'_2 [Ω] : 二次リアクタンス(一次換算)
- r_0 [Ω] : 等価鉄損抵抗
- x_0 [Ω] : 主励磁リアクタンス
- ω_s [rad/s] : 同期角速度

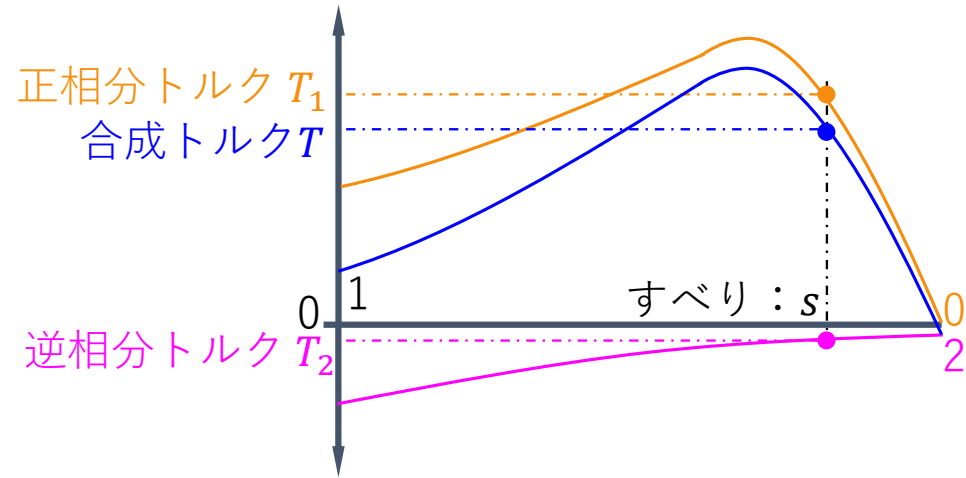
<正相分トルク T_1 [N·m] : の式>

$$T_1 = \frac{V_1^2}{\omega_s} \cdot \frac{\frac{r'_2}{s}}{\left(r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)^2 + (x_1 + x'_2)^2}$$

<逆相分トルク T_2 [N·m] : の式>

$$T_2 = \frac{V_2^2}{\omega_s} \cdot \frac{\frac{r'_2}{2-s}}{\left(r_1 + \frac{r'_2}{2-s}\right)^2 + (x_1 + x'_2)^2}$$

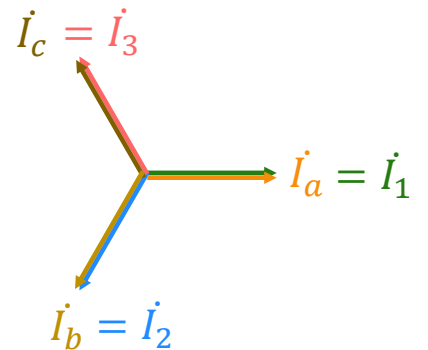
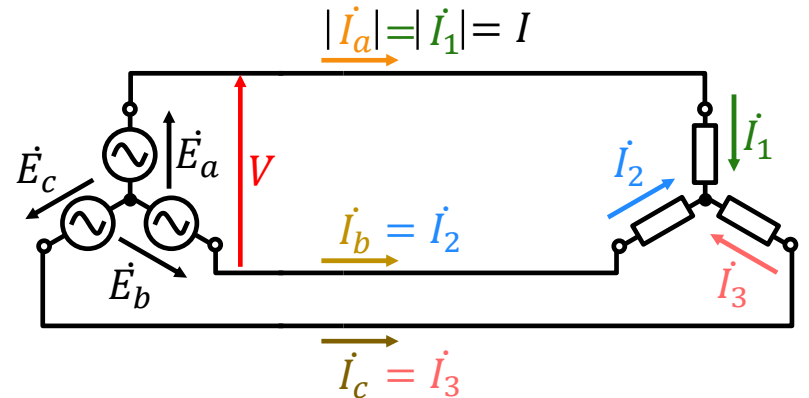
合成トルク T [N·m] : $T = T_1 - T_2$ → トルクが減少する。



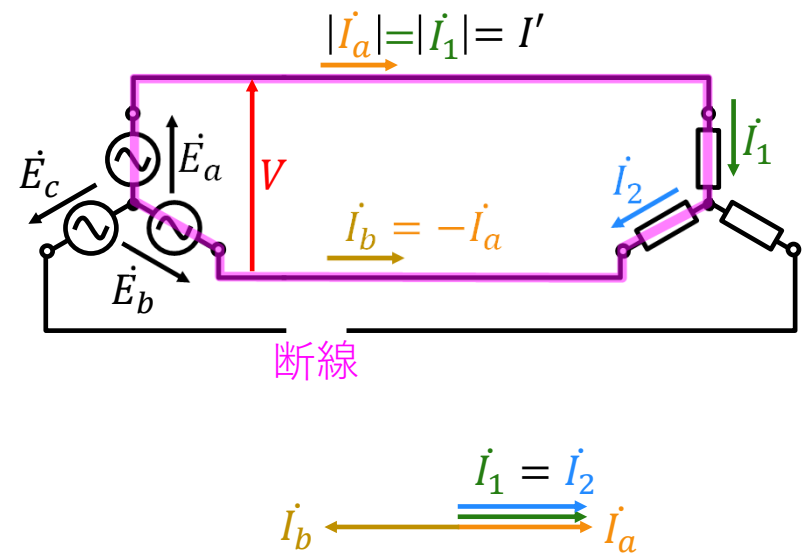
誘導機 (15) - 3 《誘導電動機の異常時運転》

■ 欠相 (ベクトル解析)

Y結線 (正常)



Y結線 (欠相)



電流 I_1 , I_2 が固定子コイルに流れることによって発生する合成磁界は **交番磁界** となる。欠相時は、**単相誘導電動機** となる。

始動トルクがゼロのため、回転子の停止状態から始動しても **回転が始まらず、始動電流が継続して過電流** となる。

電動機運転中に欠相になった場合は、単相誘導電動機として回転を継続する。機械出力が一定の場合、電流が増加する。

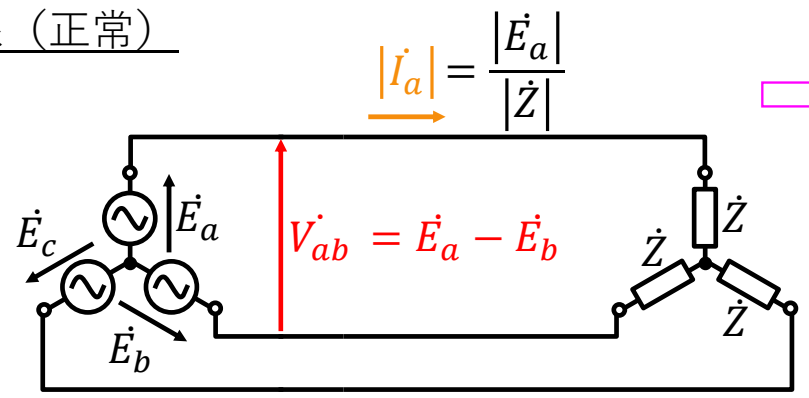
$$P = \sqrt{3}VI \cos \theta = VI' \cos \theta \quad \therefore I' = \sqrt{3}I$$

√3倍 ~ 2倍程度

誘導機 (15) - 4 《誘導電動機の異常時運転》

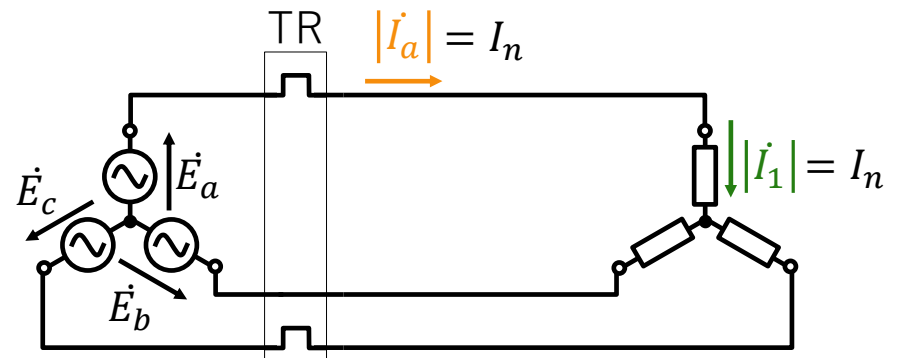
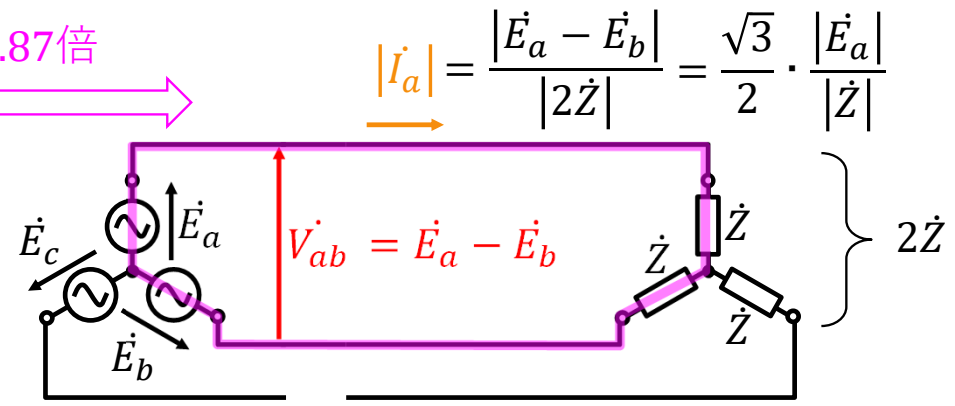
■ 欠相 (始動電流)

Y結線 (正常)

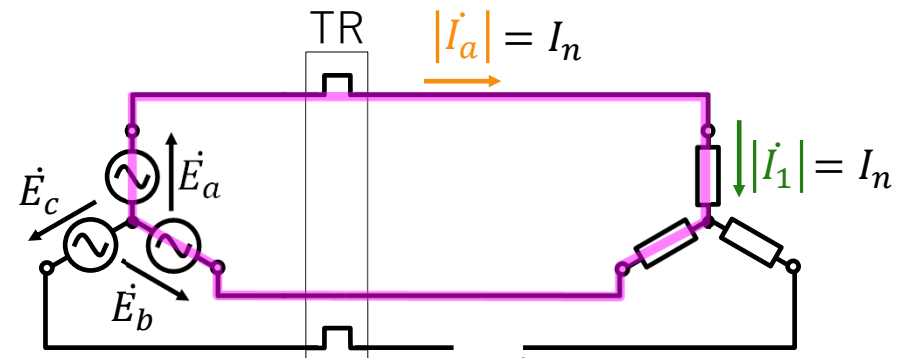


$\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0.87$ 倍

Y結線 (欠相)



サーマルリレー整定値： I_n
 ※ $I_n \times 1.2$ (2時間以内)，
 $I_n \times 1.5$ (2分以内) に保護動作

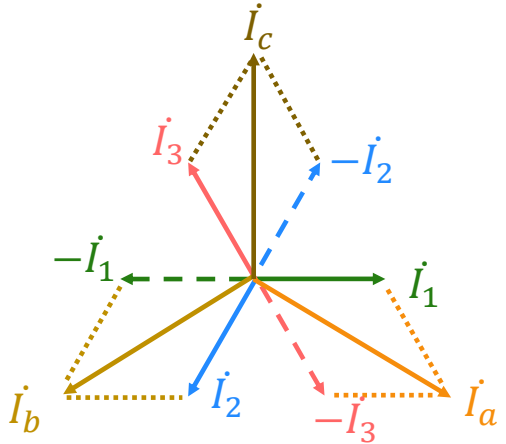
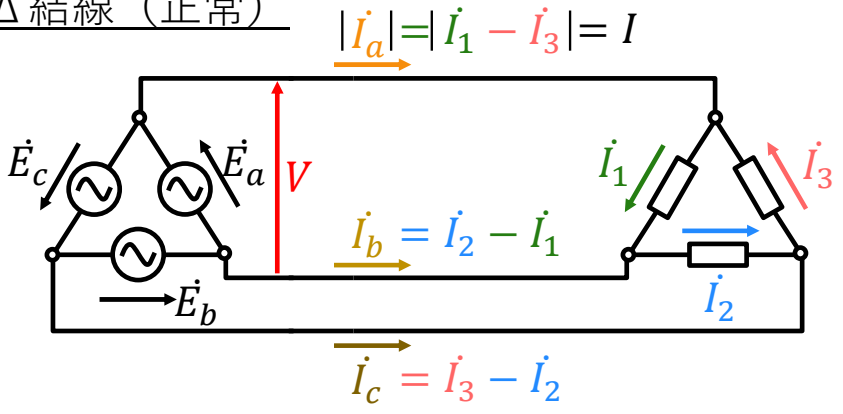


過負荷時はサーマルリレーで保護可能

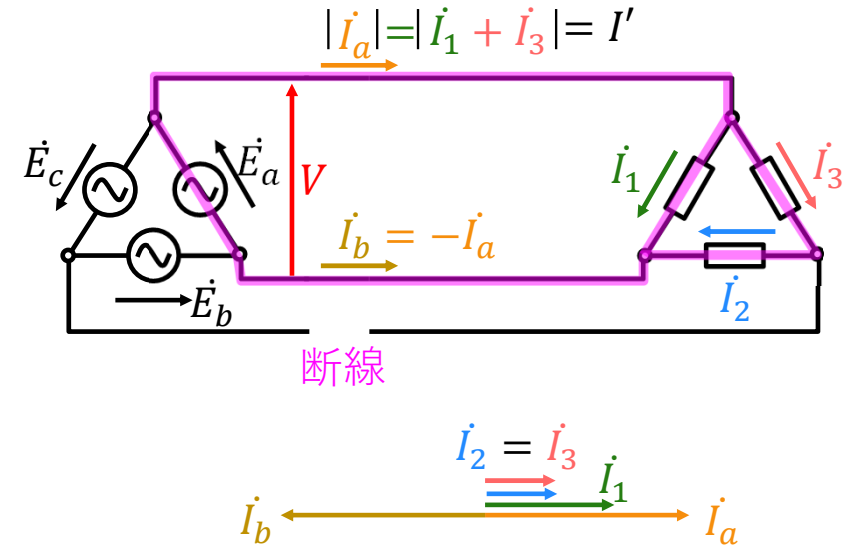
誘導機 (15) - 5 《誘導電動機の異常時運転》

■ 欠相 (ベクトル解析)

△ 結線 (正常)



△ 結線 (欠相)



電流 I_1, I_2, I_3 が固定子コイルに流れることによって発生する合成磁界は **交番磁界** となる。欠相時は、**単相誘導電動機** となる。

始動トルクがゼロのため、回転子の停止状態から始動しても **回転を始めない**ため、**始動電流が継続して過電流**となる。

電動機運転中に欠相になった場合は、単相誘導電動機として回転を継続する。機械出力が一定の場合、電流が増加する。

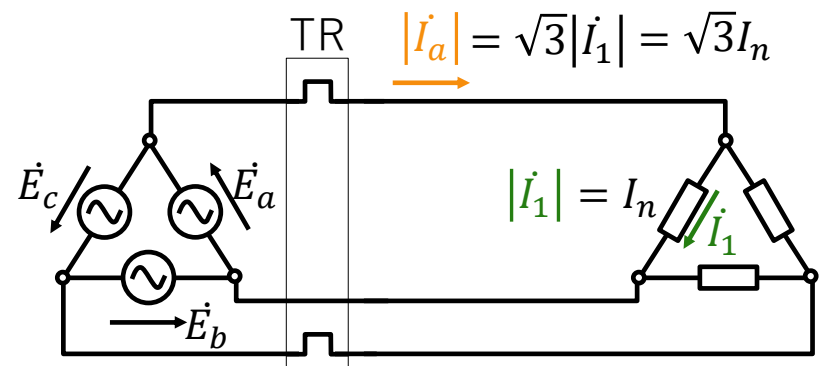
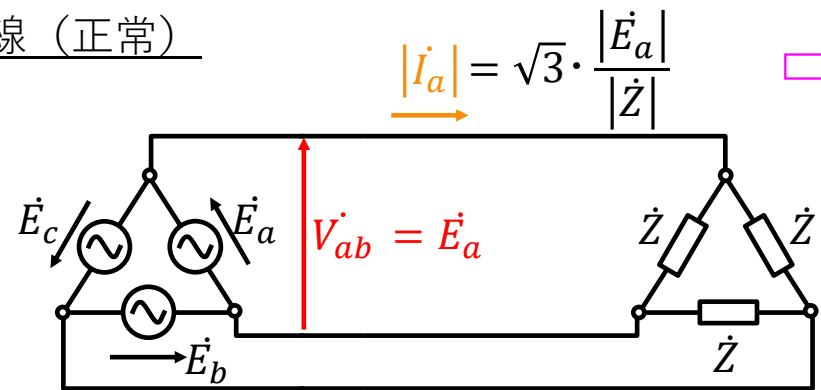
$\sqrt{3}$ 倍 ~ 2倍程度

$$P = \sqrt{3}VI \cos \theta = VI' \cos \theta \quad \therefore I' = \sqrt{3}I$$

誘導機 (15) - 6 《誘導電動機の異常時運転》

■ 欠相 (始動電流)

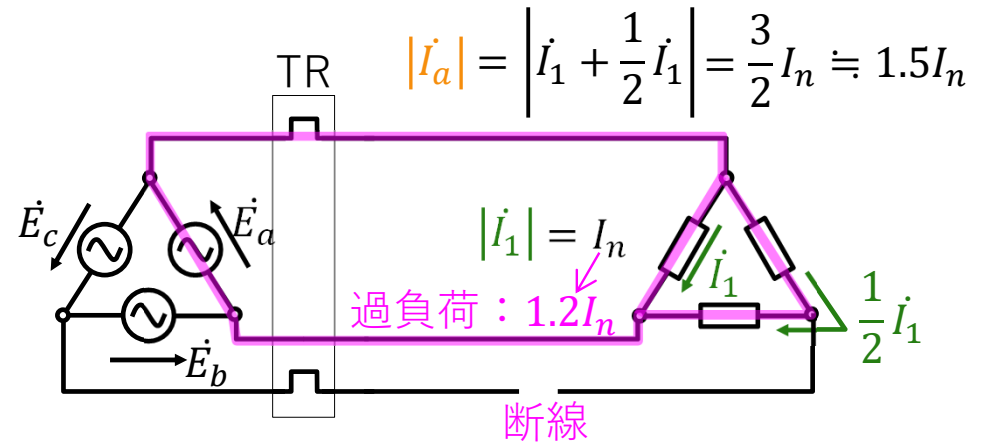
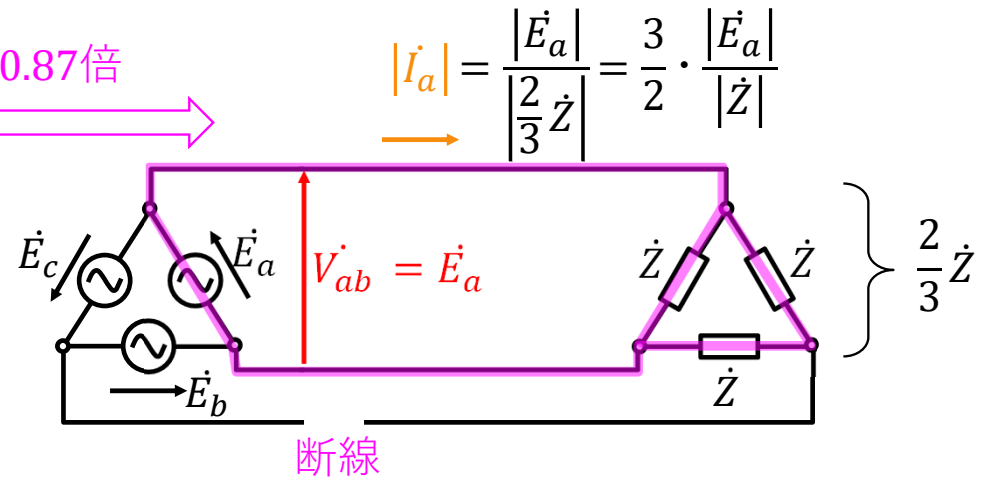
△結線 (正常)



サーマルリレー 整定値 : $\sqrt{3}I_n$
 ※ $\sqrt{3}I_n \times 1.2$ (2時間以内) ,
 $\sqrt{3}I_n \times 1.5$ (2分以内) に保護動作

△結線 (欠相)

$\frac{\frac{3}{2}}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0.87$ 倍

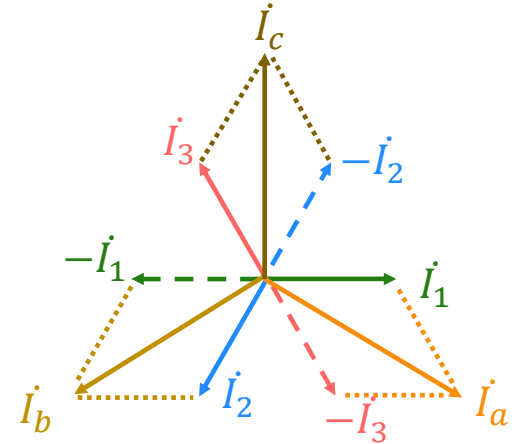
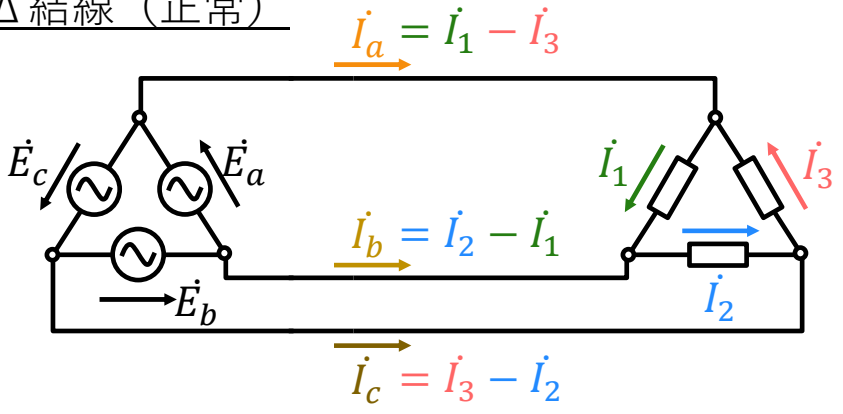


$1.5 \times 1.2I_n$ (線電流) < $\sqrt{3}I_n \times 1.05$ (不動作)
 モータ巻線焼損の可能性あり、欠相保護(2Eリレー)が必要。

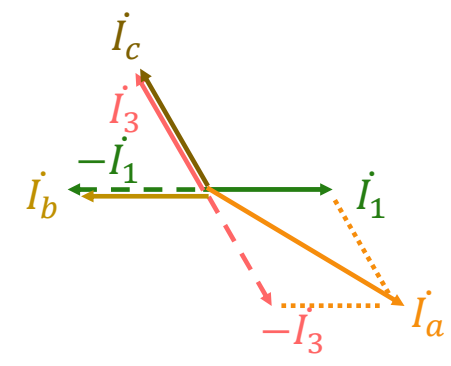
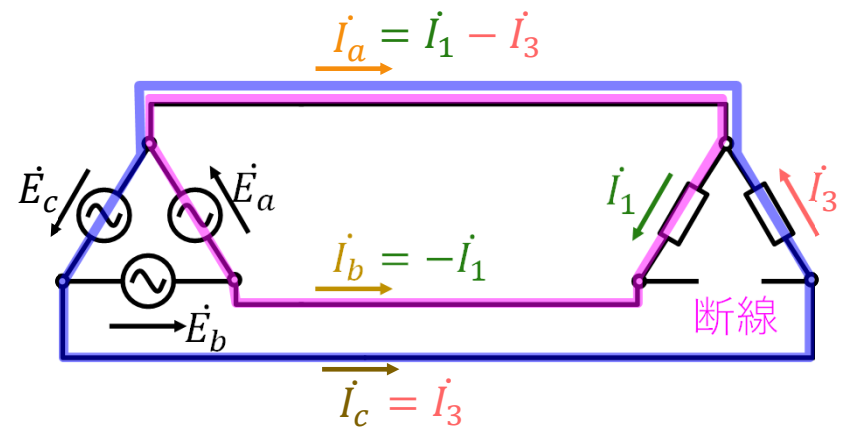
誘導機 (15) - 7 《誘導電動機の異常時運転》

■ 欠相 (ベクトル解析)

△ 結線 (正常)



△ 結線 (内部欠相)



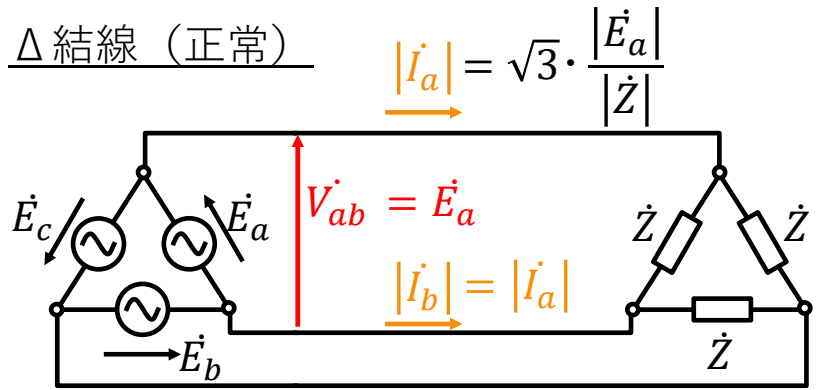
電流 I_1 , I_3 が固定子コイルに流れることによって発生する合成磁界は **不平衡回転磁界** となる。

振動・うなり・局部加熱の原因となります。

誘導機 (15) - 8 《誘導電動機の異常時運転》

■ 欠相 (始動電流)

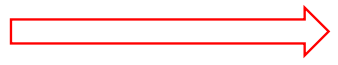
△結線 (正常)



$$|I_a| = \sqrt{3} \cdot \frac{|\dot{E}_a|}{|Z|}$$

$$|I_b| = |I_a|$$

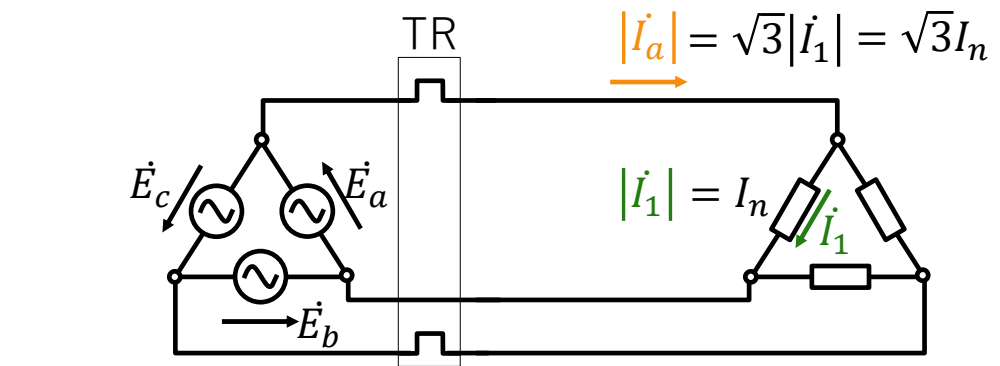
$$|I_c| = |I_a|$$



$$|I_a| : \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} = 1 \text{ 倍}$$

$$|I_b| : \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.58 \text{ 倍}$$

$$|I_c| : \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.58 \text{ 倍}$$



$$|I_a| = \sqrt{3} |I_1| = \sqrt{3} I_n$$

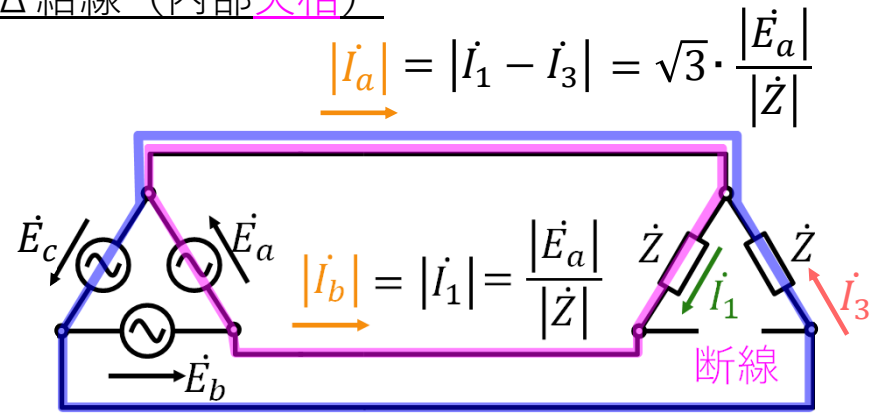
$$|I_1| = I_n$$

サーマルリレー整定値: $\sqrt{3} I_n$

※ $\sqrt{3} I_n \times 1.2$ (2時間以内),

$\sqrt{3} I_n \times 1.5$ (2分以内) に保護動作

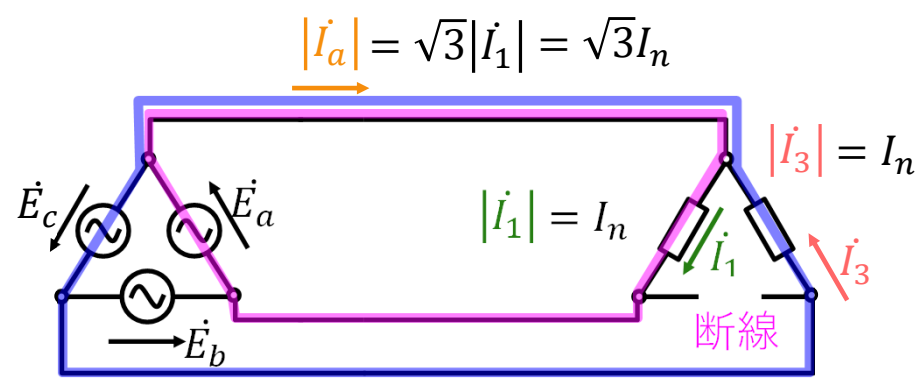
△結線 (内部欠相)



$$|I_a| = |I_1 - I_3| = \sqrt{3} \cdot \frac{|\dot{E}_a|}{|Z|}$$

$$|I_b| = |I_1| = \frac{|\dot{E}_a|}{|Z|}$$

$$|I_c| = |I_2| = \frac{|\dot{E}_c|}{|Z|} = \frac{|\dot{E}_a|}{|Z|}$$



$$|I_a| = \sqrt{3} |I_1| = \sqrt{3} I_n$$

$$|I_1| = I_n$$

$$|I_3| = I_n$$

過負荷時はサーマルリレーで保護可能だが、不平衡回転磁界による運転継続は好ましくなく、保護する為には3Eリレーが必要。

誘導機 (15) 付録 《誘導電動機の異常時運転》

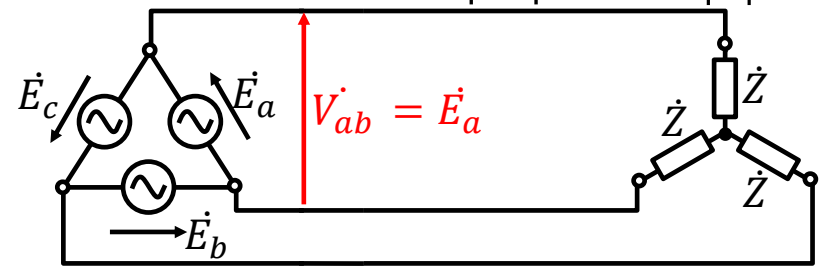
■ 欠相運転

Δ - Y 結線 外部欠相

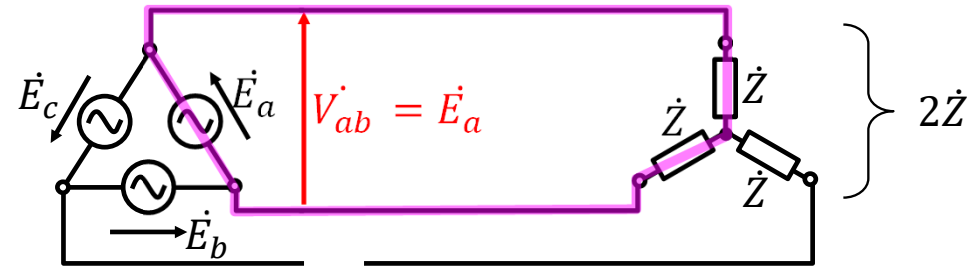
$$|I_a| = \sqrt{3} \cdot \frac{|E_a|}{|3Z|} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{|E_a|}{|Z|}$$

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}}{\frac{1}{\sqrt{3}}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0.87 \text{ 倍}$$

$$|I_a| = \frac{|E_a|}{|2Z|} = \frac{1}{2} \cdot \frac{|E_a|}{|Z|}$$



Δ変換すると 3Z



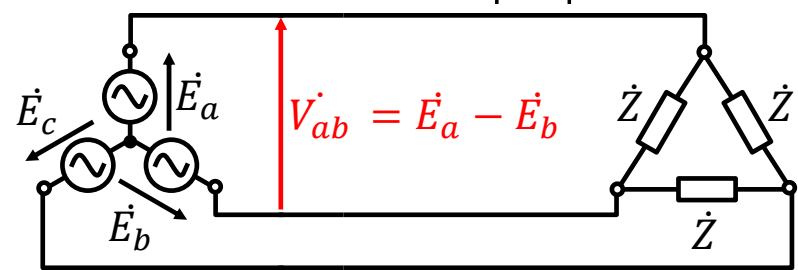
断線

Y - Δ 結線 外部欠相

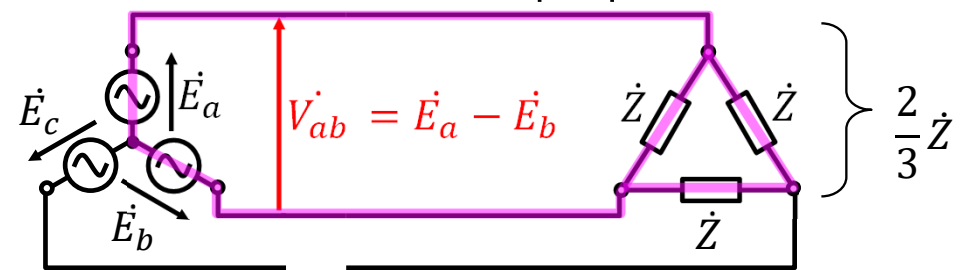
$$|I_a| = \frac{|E_a|}{|\frac{1}{3}Z|} = 3 \cdot \frac{|E_a|}{|Z|}$$

$$\frac{\frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{3}}{\frac{1}{3}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0.87 \text{ 倍}$$

$$|I_a| = \frac{|E_a - E_b|}{|\frac{2}{3}Z|} = \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{|E_a|}{|Z|}$$



Y変換すると $\frac{1}{3}Z$



断線