

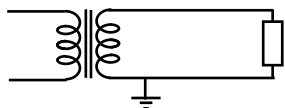
第2回の内容

- ・ 電力伝送方式 (1.10)
- ・ 第2章 交流電力と電力系統の基礎

1.10 電力伝送方式

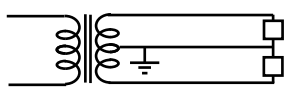
- ・ 単相 2 線式

電線数が少なく工事が低廉で簡単



- ・ 単相 3 線式

100V, 200V の電圧供給が可能



* 電気学会大学講座 回路理論基礎 参照

第2章: 交流電力と電力系統の基礎

2.1 交流電力

交流電圧 $v = V_m \sin \omega t$ [V]

実効値 $V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt}$ [V]

正弦波の場合 $V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$

交流電流 $i = I_m \sin(\omega t - \phi)$ [A]

交流電力の瞬時値 $p = v \cdot i$ は, 加法定理より,

$$p = \frac{1}{2} V_m I_m \{ \cos \phi - \cos(2\omega t - \phi) \} \text{ [W]}$$

2倍の周波数成分がでてくる。

2.2 三相交流

多相交流: 周波数が等しく位相が互いに異なる

2つ以上の交流電圧と交流電流を得る方式

対称三相交流: 全ての電圧と電流の大きさがそれぞれ等しく, その位相が順次 120° 異なる3つの起電力を有する交流

キーワード

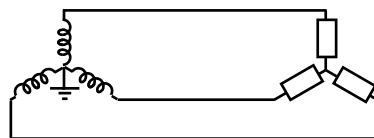
対称三相電圧, 三相平衡負荷, 中性点

三相電力, Y結線, Δ 結線

・ 3 相 3 線式: 経済的で大容量に適し, 容易に回転磁界が得られるという特長がある。

単相 2 線式に対する利点:

- 同一電力・線間電圧 → 電線必要量 (重量) が $3/4$ ですむ (25%削減)
- 同一出力発電機よりも小型, 高性能
- 同一出力電動機よりも小型, 高性能
- 脈動の少ない直流を得やすい
- 単相交流も容易に得られる



有効電力 (p の平均値) は

$$P = \frac{1}{2} V_m I_m \cos \phi = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cos \phi = VI \cos \phi \text{ [W]}$$

力率 $\cos \phi$

皮相電力 VI [VA] (ボルトアンペア)

無効電力 $VI \sin \phi$ [var] (ヴァール)

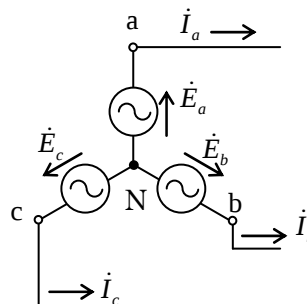
フェーザ表示 $\dot{V} = V \angle \phi$, $\dot{I} = I \angle \phi$

複素数表示 $\dot{V} = V \cos \phi + jV \sin \phi = V_r + jV_i$

回路素子の電圧電流 (実効値表示, 複素数表示)

$$I = \frac{V}{R}, \quad \dot{I} = \frac{\dot{V}}{R}, \quad I = \frac{V}{\omega L}, \quad \dot{I} = -j \frac{\dot{V}}{\omega L} \text{ (遅れ)},$$

$$I = \omega CV, \quad \dot{I} = j\omega C \dot{V} \text{ (進み)}$$



2.3 対称三相電圧(相回転は時計方向)

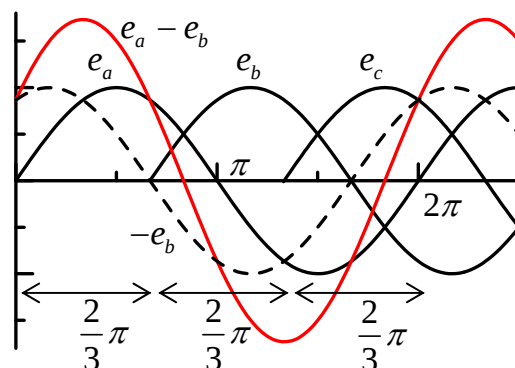
$$e_a = E_m \sin \omega t$$

$$e_b = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \cdots \frac{2}{3}\pi \text{ 遅れ}$$

$$e_c = E_m \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) \cdots \frac{4}{3}\pi \text{ 遅れ}$$

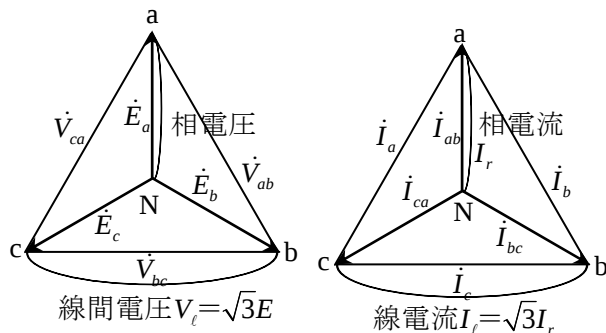
線間電圧 V_{ab} は, $e_a - e_b = \sqrt{3}E_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$ より,

$V = \sqrt{3}E$: 振幅は $\sqrt{3}$ 倍, 位相は $\frac{\pi}{6}$ 進み

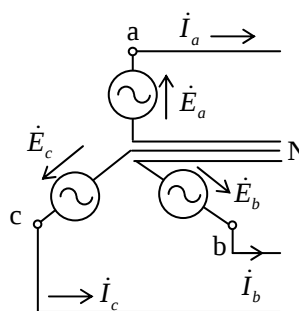


フェーザ表示(角周波数 ω と位相 ϕ の分離)

$$\dot{E}_a = E_m e^{j\omega t} \quad \dot{E}_b = E_m e^{j(\omega t - \frac{2}{3}\pi)} \quad \dot{E}_c = E_m e^{j(\omega t - \frac{4}{3}\pi)}$$



三相对称回路の単相回路への分解



・相電圧の和: $\dot{E}_a + \dot{E}_b + \dot{E}_c = 0$

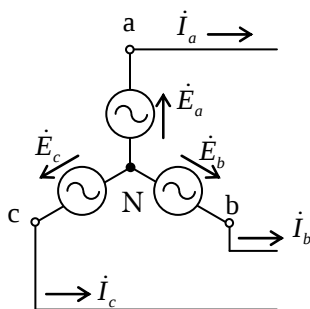
・中性点の電位は 0V

2.4 Y 結線と Δ 結線

Y 結線

相電流 = 線電流

線間電圧 = 相電圧の $\sqrt{3}$ 倍, 位相 $6/\pi$ 進み

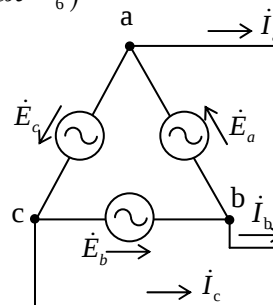


Δ 結線

相電圧 = 線間電圧

線電流 = 相電流の $\sqrt{3}$ 倍, 位相 $6/\pi$ 遅れ

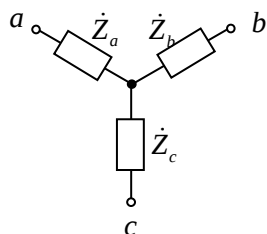
$$\begin{aligned} I_a &= I_{ab} - I_{ca} = I_m \sin \omega t - I_m \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) \\ &= \sqrt{3}I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right) \end{aligned}$$



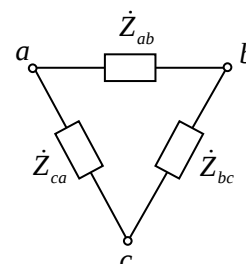
Y- Δ 変換

(回路理論基礎 P188)

$$\dot{Z}_{ab} = \dot{Z}_a + \dot{Z}_b + \frac{\dot{Z}_a \dot{Z}_b}{\dot{Z}_c}$$



$$\dot{Z}_a = \frac{\dot{Z}_{ca} \dot{Z}_{ab}}{\dot{Z}_{ab} + \dot{Z}_{bc} + \dot{Z}_{ca}}$$



2.5 対称三相回路(平衡三相回路)

電源の電圧が三相對称, かつ負荷も對称な回路

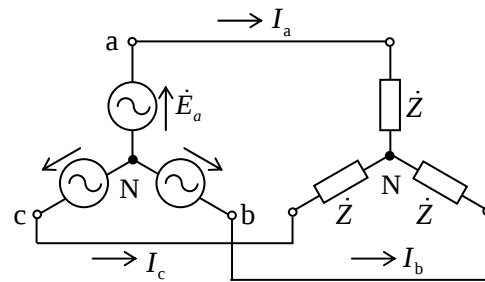
中性線を使って1相あたりの回路に変換できる

※負荷が非對称の場合は, 中性線(通常は大地)にも電流が流れる。

$$\dot{Z}_a = \dot{Z}_b = \dot{Z}_c = \dot{Z} = |Z|e^{j\theta}$$

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = \frac{\dot{E}_a + \dot{E}_b + \dot{E}_c}{\dot{Z}} = 0$$

中性線が無くても送電できる



平衡三相回路計算

• Y-Δ変換より電源, 負荷共に Y 結線に置き換え

$$\dot{Z}_Y = \dot{Z}_\Delta / 3, \text{ 電源}_Y = \text{電源}_\Delta / \sqrt{3}$$

• 1 相あたりを取り出し単相回路にする

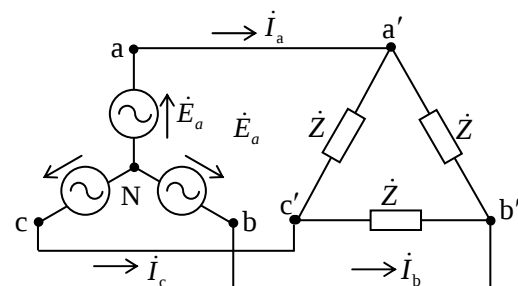
• 単相回路で計算, 全消費電力は 3 倍

$$a \text{ 相の瞬時電力 } p_a = \frac{E^2}{|Z|} \{ \cos \theta - \cos(2\omega t - \phi) \}$$

$$\text{三相の瞬時電力の和 } p_t = \frac{E^2}{|Z|} 3 \cos \phi$$

E : 実効値

Y-Δ回路例



2.6 変圧器の結線

• 交流発電機の電圧は 10kV 程度, 送電電圧まで昇圧するために変圧器を使用

• 送電線が 3 相 3 線式のため, 発電機も変圧器も 3 相結線

• Y 結線は高電圧電力伝送に適し, Δ 結線は低電圧側に適す