

電力回路

(舟木担当分)

第4回 対称座標法のつづき

平成17年6月20日月曜日 5限目

電力回路授業構成

- 電力システムにおける回路の取り扱い(二回)
 - 電力回路の位置づけ
 - 回路解析の基礎
 - 交流回路解析
 - 多相回路
- 対称座標法(二回)
 - 三相回路と対称回路
- 故障計算(1.5回)
 - 故障の種類
 - 故障回路の対称座標変換
- クラーク座標法(0.5回)

ちょっと復習

対称座標法

- 変圧器

- YΔ結線変圧器

$$\begin{aligned}\dot{V}_{p0} &= \left(\dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p + 3\dot{Z}_n \right) \dot{I}_{p0} \\ \dot{V}_{p1} &= \frac{1}{n} (1-a^2) \dot{V}_{s1} + \left(\dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p \right) \dot{I}_{p1} \\ \dot{V}_{p2} &= \frac{1}{n} (1-a) \dot{V}_{s2} + \left(\dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p \right) \dot{I}_{p2}\end{aligned}$$

対称座標での
変圧器等価回路

- 三相変圧器でΔ結線が用いられる理由

- 三次高調波の抑制

- » どうやって三次高調波がでるのか？

- » 磁化曲線の絵

- » 出力電流の絵

対称座標法

- 三相変圧器でΔ結線が用いられる理由

- 磁化曲線の近似式

$$i = k_1 f + k_3 f^3 + k_5 f^5 \dots$$

半波対称なので
偶数次なし

- とりあえず3次の成分まで考えよう

- 磁束

$$f = \Phi \sin \omega t$$

- 電流

$$\begin{aligned}i &= k_1 \Phi \sin \omega t + k_3 (\Phi \sin \omega t)^3 \\ &= k_1 \Phi \sin \omega t + (k_3 \Phi)^3 \sin^3 \omega t \\ &= k_1 \Phi \sin \omega t + (k_3 \Phi)^3 \frac{-\sin 3\omega t + 3 \sin \omega t}{4} \\ &= \left[\Phi k_1 + (k_3 \Phi)^3 \frac{3}{4} \right] \sin \omega t - (k_3 \Phi)^3 \frac{1}{4} \sin 3\omega t\end{aligned}$$

3次高調波

基本波

対称座標法

- 三相変圧器でΔ結線が用いられる理由
 - Δ結線に流れる電流
 - 磁化特性により,磁束が発生させる電流

$$\begin{cases} i_{ab} = \sqrt{2}I_1 \sin wt - \sqrt{2}I_3 \sin 3wt \\ i_{bc} = \sqrt{2}I_1 \sin\left(wt - \frac{2}{3}p\right) - \sqrt{2}I_3 \sin 3\left(wt - \frac{2}{3}p\right) \\ \quad = \sqrt{2}I_1 \sin\left(wt - \frac{2}{3}p\right) - \sqrt{2}I_3 \sin(3wt - 2p) \\ \quad = \sqrt{2}I_1 \sin\left(wt - \frac{2}{3}p\right) - \sqrt{2}I_3 \sin 3wt \\ i_{ca} = \sqrt{2}I_1 \sin\left(wt + \frac{2}{3}p\right) - \sqrt{2}I_3 \sin 3\left(wt + \frac{2}{3}p\right) \\ \quad = \sqrt{2}I_1 \sin\left(wt + \frac{2}{3}p\right) - \sqrt{2}I_3 \sin(3wt + 2p) \\ \quad = \sqrt{2}I_1 \sin\left(wt + \frac{2}{3}p\right) - \sqrt{2}I_3 \sin 3wt \end{cases}$$

対称座標法

- 三相変圧器でΔ結線が用いられる理由
 - Δ結線に流れる電流
 - 回転ベクトル表示

$$\begin{cases} \dot{I}_{ab} = \sqrt{2}I_1 \exp j\omega t - \sqrt{2}I_3 \exp j3\omega t \\ \dot{I}_{bc} = \sqrt{2}I_1 \exp j\left(\omega t - \frac{2}{3}p\right) - \sqrt{2}I_3 \exp j3\omega t \\ \dot{I}_{ca} = \sqrt{2}I_1 \exp j\left(\omega t + \frac{2}{3}p\right) - \sqrt{2}I_3 \exp j3\omega t \end{cases}$$

- 対称座標表示

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{\Delta 0} \\ \dot{I}_{\Delta 1} \\ \dot{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab} \\ \dot{I}_{bc} \\ \dot{I}_{ca} \end{bmatrix} \quad \text{但し } a = \exp(j\frac{2}{3}p)$$

対称座標法

- 三相変圧器で△結線が用いられる理由
 - △結線に流れる電流

- 回転ベクトル表示

但し $a = \exp(j\frac{2}{3}p)$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{ab} \\ \dot{I}_{bc} \\ \dot{I}_{ca} \end{bmatrix} = \sqrt{2}I_1 \exp j\omega t \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} - \sqrt{2}I_3 \exp j3\omega t \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

- 対称座標表示

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{\Delta 0} \\ \dot{I}_{\Delta 1} \\ \dot{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}I_1 \exp j\omega t}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{2}I_3 \exp j3\omega t}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

対称座標法

- 三相変圧器で△結線が用いられる理由
 - △結線に流れる電流

- 対称座標表示

但し $a = \exp(j\frac{2}{3}p)$

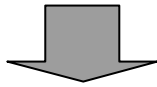
$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{\Delta 0} \\ \dot{I}_{\Delta 1} \\ \dot{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{2}I_1 \exp j\omega t \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \sqrt{2}I_3 \exp j3\omega t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

各相に同相で流れる三次高調波成分は、
△結線内を循環。端子電流には現れない

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab} \\ \dot{I}_{bc} \\ \dot{I}_{ca} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{I}_{ca} \\ \dot{I}_{ab} \\ \dot{I}_{bc} \end{bmatrix} = \sqrt{2}I_1 \exp j\omega t \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{めでたし} \\ \text{めでたし} \end{matrix}$$

対称座標法

- これまでやったこと
 - 相座標 → 対称座標 変換
 - 対称座標 → 相座標 逆変換
 - 電圧
 - 電流
 - インピーダンス (アドミタンス)
 - 電圧/電流 (電流/電圧)



電力がのこっとる！

交流回路における電力について

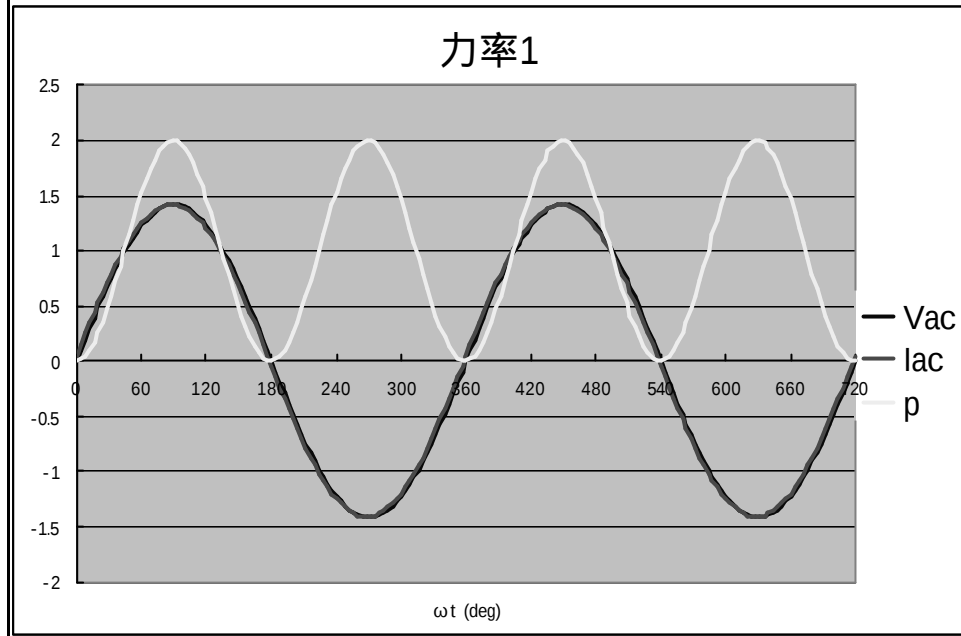
- 電圧 $v = \sqrt{2}V \sin \omega t$
- 電流 $i = \sqrt{2}I \sin(\omega t - j)$
 - 電圧との位相差 ϕ を力率角 (遅れを正)
- (瞬時)電力 $p = vi$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{2}V \sin \omega t \sqrt{2}I \sin(\omega t - j) \\
 &= 2VI \sin \omega t \sin(\omega t - j) \\
 &= 2VI \frac{\cos(\omega t - j - \omega t) - \cos(\omega t - j + \omega t)}{2} \\
 &= VI [\cos j - \cos(2\omega t - j)]
 \end{aligned}$$

$\nearrow$
 直流成分

$\uparrow$
 交流成分 (2倍周波数)

単相交流回路における瞬時電力の計算例



交流回路における電力について

- 有効電力
 - 瞬時電力の時間平均値
 - 平均する時間 T は一周期

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

- 一周期の平均電力

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T VI [\cos j - \cos(2\omega t - j)] dt$$

$$= VI \cos j$$

交流成分の平均値は0

交流回路における電力について

- 無効電力

- 有効電力のcosをsinに変えたもの

- 平均する時間Tは一周期

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

- 有効電力 $P = VI \cos j$

- Cosとsinの入れ替え $Q = VI \sin j$

- 90度遅れた電流に対する電力と考えてもよい

$$\begin{aligned} q &= \sqrt{2}V \sin \omega t \sqrt{2}I \sin(\omega t - j - \frac{p}{2}) \\ &= VI [\cos(-j - \frac{p}{2}) - \cos(2\omega t - j - \frac{p}{2})] \\ &= VI [\sin j - \sin(2\omega t - j)] \end{aligned}$$

交流回路における電力について

- 電圧・電流を回転ベクトルとして考える

- 電圧 $\dot{V} = V \exp(j\omega t)$

- 電流 $\dot{I} = I \exp(j[\omega t - j])$

電圧・電流のベクトルの絵

- 電力

$$\begin{aligned} \dot{P} &= \dot{V}\dot{I} \\ &= V \exp(j\omega t) I \exp(j[\omega t - j]) \\ &= VI \exp(j[2\omega t - j]) \end{aligned}$$

- そのまま掛けただけでは, 交流分しか出てこない

- 電圧・電流のどちらかの複素共役をとる

- 回転成分 $j\omega t$ の相殺が可能

交流回路における電力について

- 電力の複素表示

- 電流の複素共役 $\bar{I} = I \exp(-j[\omega t - j])$

- 電力

$$\begin{aligned}\dot{S} &= \dot{V}\bar{I} \\ &= V \exp(j\omega t) I \exp(-j[\omega t - j]) \\ &= VI \exp(jj) \\ &= VI [\cos j + j \sin j] \\ &= P + jQ\end{aligned}$$

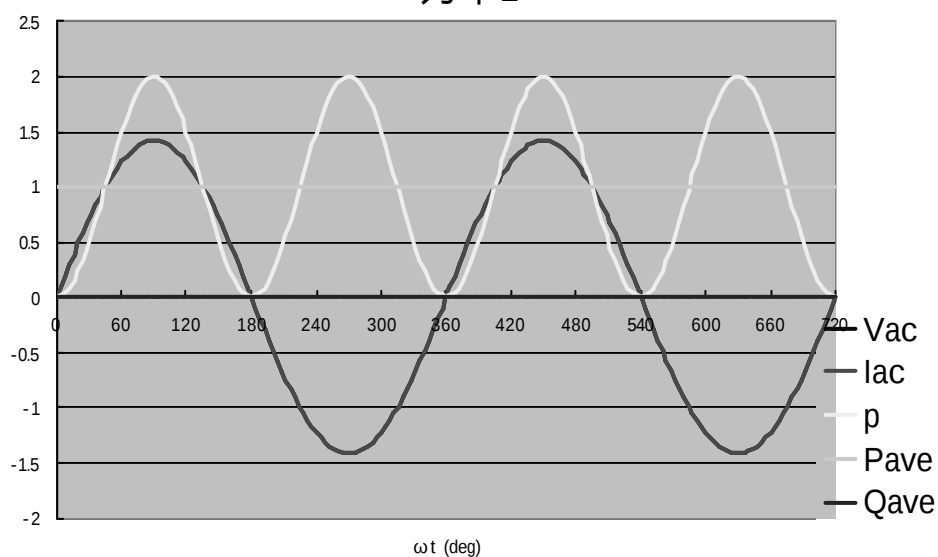
- 複素電力を皮相電力という

- 大きさは、電圧・電流の実効値の積

- 実分が有効電力、虚分が無効電力に相当

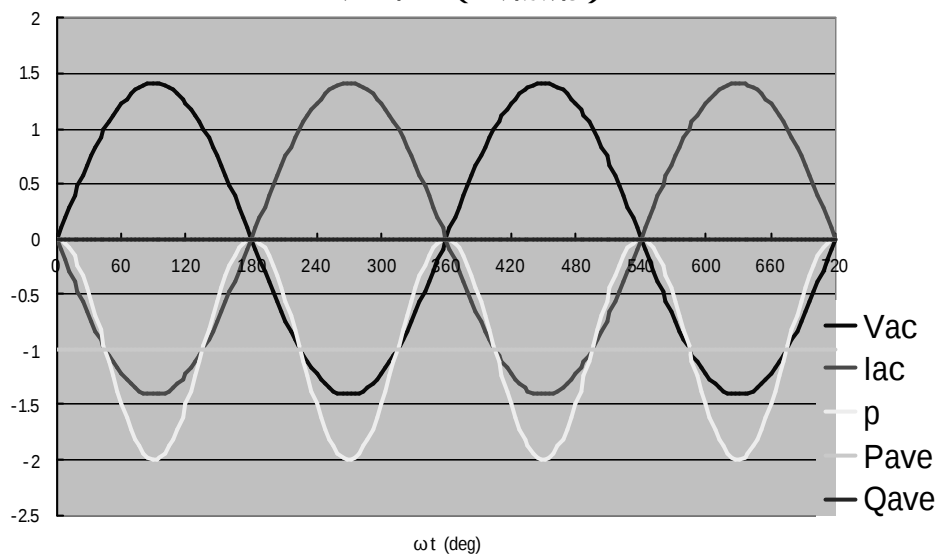
交流回路における電力の計算例

力率1



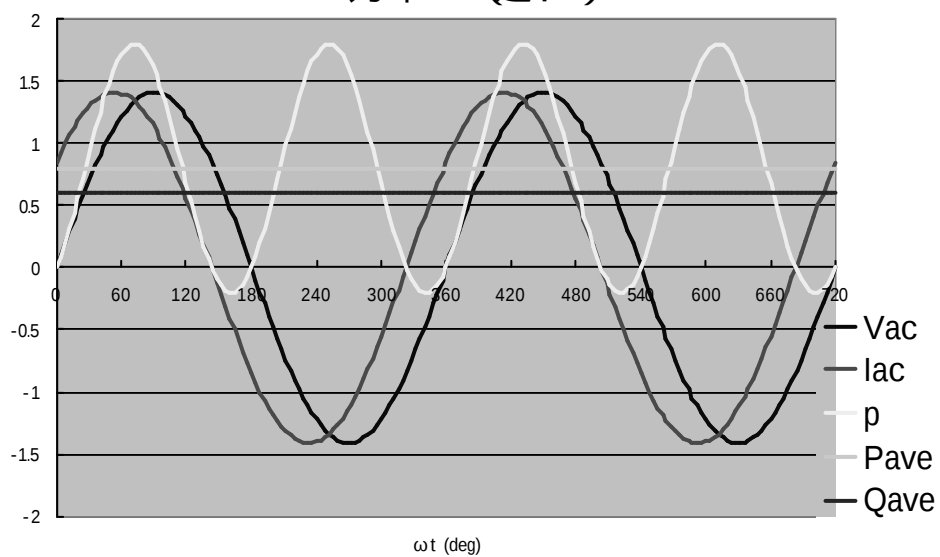
交流回路における電力の計算例

力率1 (逆潮流)



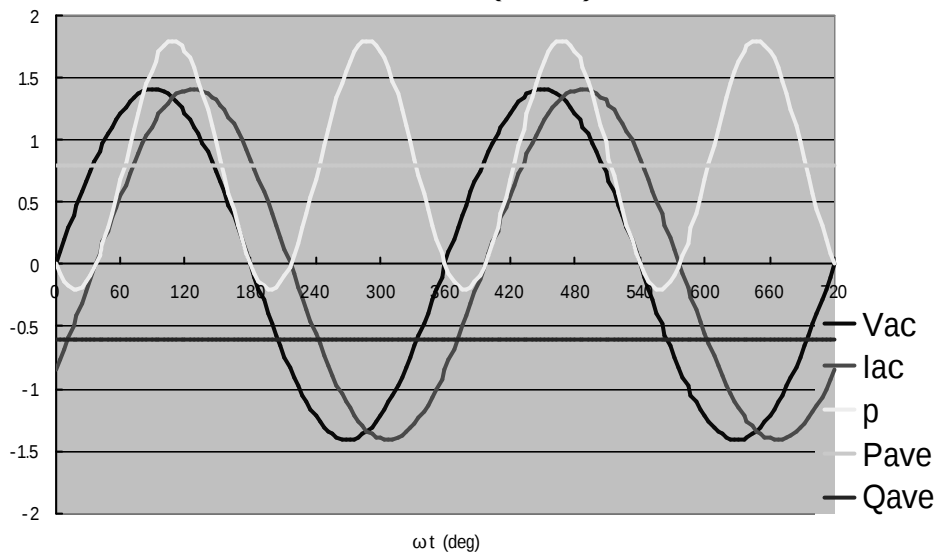
交流回路における電力の計算例

力率0.8 (遅れ)



交流回路における電力の計算例

力率0.8 (進み)



高調波を含む交流回路の電力

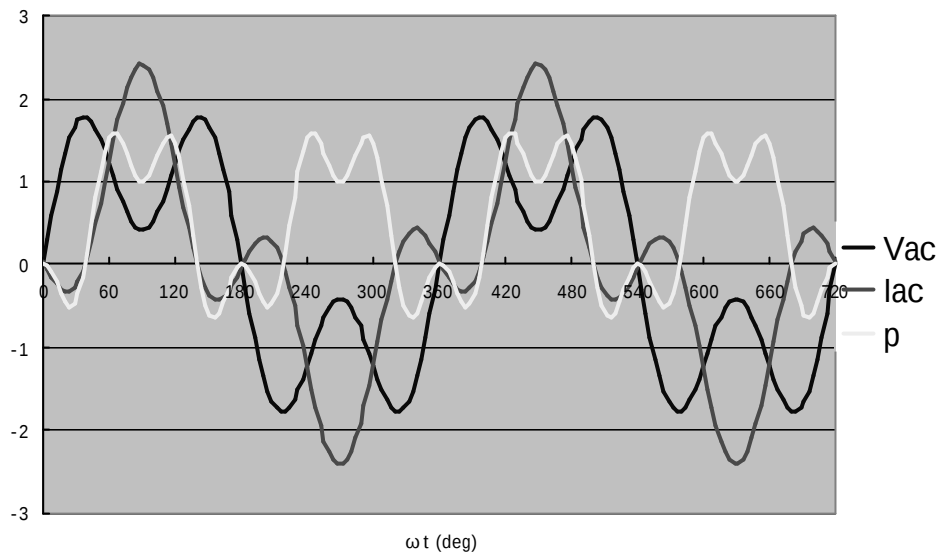
• 第3次高調波成分を考える

- 電圧 $v = \sqrt{2}V_1 \sin \omega t + \sqrt{2}V_3 \sin 3\omega t$
- 電流 $i = \sqrt{2}I_1 \sin(\omega t - j_1) + \sqrt{2}I_3 \sin(3\omega t - j_3)$
- 電力

$$\begin{aligned}
 p &= vi \\
 &= [\sqrt{2}V_1 \sin \omega t + \sqrt{2}V_3 \sin 3\omega t] [\sqrt{2}I_1 \sin(\omega t - j_1) + \sqrt{2}I_3 \sin(3\omega t - j_3)] \\
 &= 2[V_1 \sin \omega t I_1 \sin(\omega t - j_1) + V_1 \sin \omega t I_3 \sin(3\omega t - j_3) \\
 &\quad + V_3 \sin 3\omega t I_1 \sin(\omega t - j_1) + V_3 \sin 3\omega t I_3 \sin(3\omega t - j_3)] \\
 &= V_1 I_1 [\cos j_1 - \cos(2\omega t - j_1)] + V_1 I_3 [\cos(-2\omega t + j_3) - \cos(4\omega t - j_3)] \\
 &\quad + V_3 I_1 [\cos(2\omega t + j_1) - \cos(4\omega t - j_1)] + V_3 I_3 [\cos j_3 - \cos(6\omega t - j_3)]
 \end{aligned}$$

交流回路 (高調波あり)における電力の計算例

力率1



高調波を含む交流回路の電力

• 有効電力

– 瞬時電力の時間平均値

- 平均する時間Tは基本波一周期 $T = \frac{2\pi}{\omega}$

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{T} \int_0^T p dt \\
 &= \frac{1}{T} \int_0^T \{V_1 I_1 [\cos j_1 - \cos(2\omega t - j_1)] \\
 &\quad + V_1 I_3 [\cos(-2\omega t + j_3) - \cos(4\omega t - j_3)] \\
 &\quad + V_3 I_1 [\cos(2\omega t + j_1) - \cos(4\omega t - j_1)] \\
 &\quad + V_3 I_3 [\cos j_3 - \cos(6\omega t - j_3)]\} dt \\
 &= V_1 I_1 \cos j_1 + V_3 I_3 \cos j_3
 \end{aligned}$$

おなじ周波数成分の電圧・電流積の和が電力として現れる

高調波を含む交流回路の電力

- 電圧・電流を回転ベクトルとして考える

- 電圧 $\dot{V} = V_1 \exp(j\omega t) + V_3 \exp(j3\omega t)$

- 電流 $\dot{I} = I_1 \exp(j[\omega t - j_1]) + I_3 \exp(j[3\omega t - j_3])$

- 電力

$$\dot{S} = \dot{V}\dot{I}^*$$

$$= [V_1 \exp(j\omega t) + V_3 \exp(j3\omega t)]$$

$$[I_1 \exp(-j[\omega t - j_1]) + I_3 \exp(-j[3\omega t - j_3])]$$

$$= V_1 I_1 \exp(jj_1) + V_3 I_3 \exp(jj_3)$$

$$+ V_1 I_3 \exp(-j[2\omega t - j_3]) + V_3 I_1 \exp(j[\omega t - j_1])$$

回転ベクトルにしたところできれいには表せない・・・
基本波周期で平均をとる必要あり

三相交流回路の電力

- 三相平衡電圧・電流の実数表示に対して

– 電圧	$V_a = V_b = V_c = V$	$\begin{cases} v_a = \sqrt{2}V \sin(\omega t) \\ v_b = \sqrt{2}V \sin(\omega t - \frac{2}{3}p) \\ v_c = \sqrt{2}V \sin(\omega t + \frac{2}{3}p) \end{cases}$
	$q_a = q_b = q_c = 0$	
– 電流	$I_a = I_b = I_c = I$	
	$j_a = j_b = j_c = j$	$\begin{cases} i_a = \sqrt{2}I \sin(\omega t + j) \\ i_b = \sqrt{2}I \sin(\omega t - \frac{2}{3}p + j) \\ i_c = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \frac{2}{3}p + j) \end{cases}$

- 瞬時電力

$$p = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c$$

$$= VI [\cos j - \cos(2\omega t - j) + \cos j - \cos(2\omega t + \frac{4}{3}p - j)$$

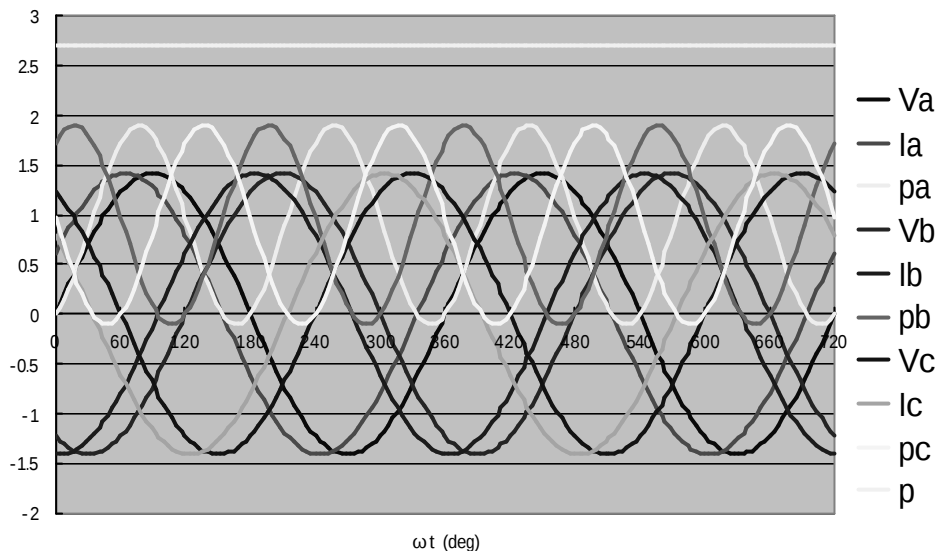
$$+ \cos j - \cos(2\omega t - \frac{4}{3}p - j)]$$

$$= 3VI \cos j$$

直流量となり, 交流成分は含まれない

三相交流回路電力の計算例 (平衡)

力率0.9



三相交流回路の電力

・ 三相不平衡電圧・電流の実数表示に対して

$$\begin{aligned} \text{— 電圧} & \begin{cases} v_a = V_a \sin(\omega t + q_a) \\ v_b = V_b \sin(\omega t - \frac{2}{3}p + q_b) \\ v_c = V_c \sin(\omega t + \frac{2}{3}p + q_c) \end{cases} & \begin{cases} i_a = I_a \sin(\omega t + j_a) \\ i_b = I_b \sin(\omega t - \frac{2}{3}p + j_b) \\ i_c = I_c \sin(\omega t + \frac{2}{3}p + j_c) \end{cases} \\ \text{— 電流} & \end{aligned}$$

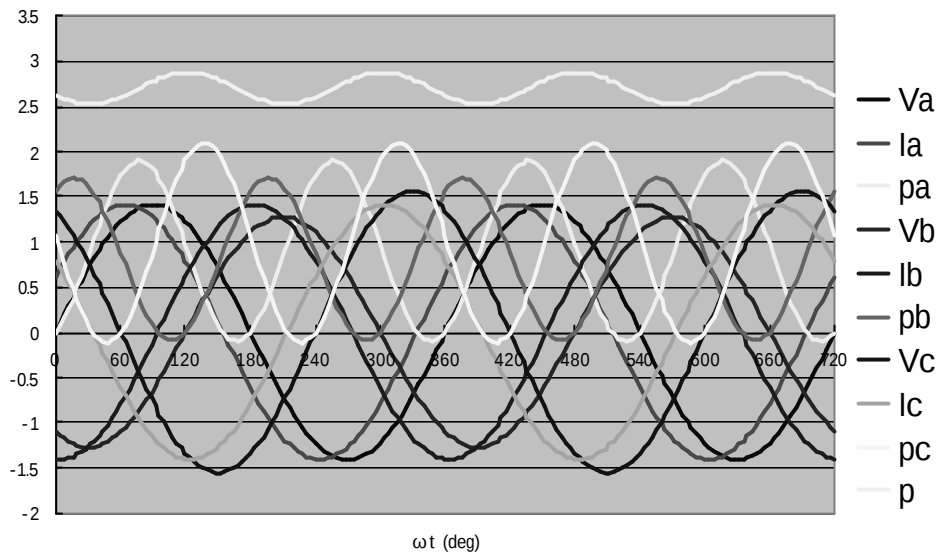
— 瞬時電力

$$\begin{aligned} p &= v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \\ &= V_a I_a [\cos(j_a - q_a) - \cos(2\omega t - j_a + q_a)] \\ &\quad + V_b I_b [\cos(j_b - q_b) - \cos(2\omega t - j_b + q_b)] \\ &\quad + V_c I_c [\cos(j_c - q_c) - \cos(2\omega t - j_c + q_c)] \\ &= V_a I_a \cos(j_a - q_a) + V_b I_b \cos(j_b - q_b) + V_c I_c \cos(j_c - q_c) \\ &\quad + A \cos(2\omega t + B) \end{aligned}$$

不平衡分があると, 交流成分が現れる (単相と同等)

三相交流回路電力の計算例 (不平衡)

力率0.9



三相交流回路の電力

• 電圧・電流をベクトルで考える

– 電圧

– 電流

$$\begin{cases} \dot{V}_a = V_a \exp j(\omega t + q_a) \\ \dot{V}_b = V_b \exp j(\omega t - \frac{2}{3}p + q_b) \\ \dot{V}_c = V_c \exp j(\omega t + \frac{2}{3}p + q_c) \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{I}_a = I_a \exp j(\omega t + j_a) \\ \dot{I}_b = I_b \exp j(\omega t - \frac{2}{3}p + j_b) \\ \dot{I}_c = I_c \exp j(\omega t + \frac{2}{3}p + j_c) \end{cases}$$

– 電力

$$\begin{bmatrix} \dot{S}_a \\ \dot{S}_b \\ \dot{S}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_a \bar{\dot{I}}_a \\ \dot{V}_b \bar{\dot{I}}_b \\ \dot{V}_c \bar{\dot{I}}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_a \\ P_b \\ P_c \end{bmatrix} + j \begin{bmatrix} Q_a \\ Q_b \\ Q_c \end{bmatrix}$$

相互分は考えなくともよい

三相交流回路の電力

- 電圧・電流をベクトルで考える

– 電力 $\dot{S}_a = P_a + jQ_a = \dot{V}_a \bar{I}_a$

$$= V_a \exp j(\omega t + q_a) I_a \exp \{-j(\omega t + j_a)\}$$

$$= V_a I_a \exp j(q_a - j_a)$$

$\dot{S}_b = P_b + jQ_b = \dot{V}_b \bar{I}_b$

$$= V_b \exp j(\omega t - \frac{2}{3}p + q_b) I_b \exp j(-\omega t - \frac{2}{3}p + j_b)$$

$$= V_b I_b \exp j(q_b - j_b)$$

$\dot{S}_c = P_c + jQ_c = \dot{V}_c \bar{I}_c$

$$= V_c \exp j(\omega t + \frac{2}{3}p + q_c) I_c \exp j(-\omega t + \frac{2}{3}p + j_c)$$

$$= V_c I_c \exp j(q_c - j_c)$$

三相交流回路の電力

- 三相平衡電圧・電流の場合 $\begin{cases} \dot{V}_a = V \exp j(\omega t) \\ \dot{V}_b = V \exp j(\omega t - \frac{2}{3}p) \\ \dot{V}_c = V \exp j(\omega t + \frac{2}{3}p) \end{cases}$

– 電圧 $V_a = V_b = V_c = V$

$$q_a = q_b = q_c = 0$$

– 電流 $I_a = I_b = I_c = I$

$$j_a = j_b = j_c = j$$

$$\begin{cases} \dot{I}_a = I \exp j(\omega t + j) \\ \dot{I}_b = I \exp j(\omega t - \frac{2}{3}p + j) \\ \dot{I}_c = I \exp j(\omega t + \frac{2}{3}p + j) \end{cases}$$

– 電力

$$\dot{S} = \dot{S}_a + \dot{S}_b + \dot{S}_c$$

$$= V_a I_a \exp j(q_a - j_a) + V_b I_b \exp j(q_b - j_b) + V_c I_c \exp j(q_c - j_c)$$

$$= 3VI [\cos j + j \sin j]$$

三相交流回路における電力の対称座標表示

• 三相交流における皮相電力

$$\begin{aligned}\dot{S} &= P + jQ \\ &= \dot{S}_a + \dot{S}_b + \dot{S}_c \\ &= (P_a + jQ_a) + (P_b + jQ_b) + (P_c + jQ_c) \\ &= \dot{V}_a \bar{I}_a + \dot{V}_b \bar{I}_b + \dot{V}_c \bar{I}_c\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \quad \text{但し } a = \exp(j \frac{2}{3} p)$$

の関係を使って,対称座標表示することを考える

三相交流回路における電力の対称座標表示

• 三相交流における皮相電力

$$\dot{S} = \dot{V}_a \bar{I}_a + \dot{V}_b \bar{I}_b + \dot{V}_c \bar{I}_c \quad \text{但し } a = \exp(j \frac{2}{3} p)$$

$$\begin{aligned}&= \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix} \quad \text{より}\end{aligned}$$

三相交流回路における電力の対称座標表示

• 三相交流における皮相電力

$$\begin{aligned} \dot{S} &= \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\dot{I}}_0 \\ \bar{\dot{I}}_1 \\ \bar{\dot{I}}_2 \end{bmatrix} \quad \text{但し } a = \exp(j \frac{2}{3} p) \\ &= 3 \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} \bar{\dot{I}}_0 \\ \bar{\dot{I}}_1 \\ \bar{\dot{I}}_2 \end{bmatrix} = 3(\dot{V}_0 \bar{\dot{I}}_0 + \dot{V}_1 \bar{\dot{I}}_1 + \dot{V}_2 \bar{\dot{I}}_2) \\ &= 3(\dot{S}_0 + \dot{S}_1 + \dot{S}_2) \quad \begin{cases} \dot{S}_0 = P_0 + jQ_0 = 3\dot{V}_0 \bar{\dot{I}}_0 \\ \dot{S}_1 = P_1 + jQ_1 = 3\dot{V}_1 \bar{\dot{I}}_1 \\ \dot{S}_2 = P_2 + jQ_2 = 3\dot{V}_2 \bar{\dot{I}}_2 \end{cases} \end{aligned}$$

三相交流回路における電力の対称座標表示

• 三相交流における皮相電力

$$\begin{cases} \dot{V}_0 = V_0 \exp j(\omega t + q_0) \\ \dot{V}_1 = V_1 \exp j(\omega t + q_1) \\ \dot{V}_2 = V_2 \exp j(\omega t + q_2) \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{I}_0 = I_0 \exp j(\omega t + j_0) \\ \dot{I}_1 = I_1 \exp j(\omega t + j_1) \\ \dot{I}_2 = I_2 \exp j(\omega t + j_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{S}_0 = P_0 + jQ_0 = 3\dot{V}_0 \bar{\dot{I}}_0 = 3V_0 I_0 \exp j(q_0 - j_0) \\ \dot{S}_1 = P_1 + jQ_1 = 3\dot{V}_1 \bar{\dot{I}}_1 = 3V_1 I_1 \exp j(q_1 - j_1) \\ \dot{S}_2 = P_2 + jQ_2 = 3\dot{V}_2 \bar{\dot{I}}_2 = 3V_2 I_2 \exp j(q_2 - j_2) \end{cases}$$