第6回の内容

- 有効･無効電力と電圧調整
- 電圧調相設備

キーワード

電力円線図，調相設備

中間試験 12/20：第 1 回～6 回，全 4 問

（補足）単位法の利点

(a) 容量，電圧の無次元化，計算が容易

(b) 変圧器の1次2次変換が不要

(c) pu インピーダンス図は1相，3相同じ

(d) 三相短絡電流が求められる。

(e) ％インピーダンスは容量が異なってもほぼ同じ値，設計が容易＊

＊変圧器の％リアクタンスは容量が大きく変化してもあまり変化しない

kV	22	33	66	110	154	275
%	5	5.5	7.5	9	11	12

3.5 有効･無効電力と送電特性

線路の等価回路：$R+jX$，受電端の力率角：φ 相差角：θ とすると，図から送受電端の相電圧は

$$\dot{E}_s = \dot{E}_r + (R+jX)\dot{I}$$

受電端負荷の有効電力：$P_r = E_r I\cos\varphi$，無効電力：$Q_r = E_r I\sin\varphi$ をつかって

$$E_s\sin\theta = \frac{XP_r - RQ_r}{E_r} \qquad ④ \quad \text{(OCW4-1)}$$

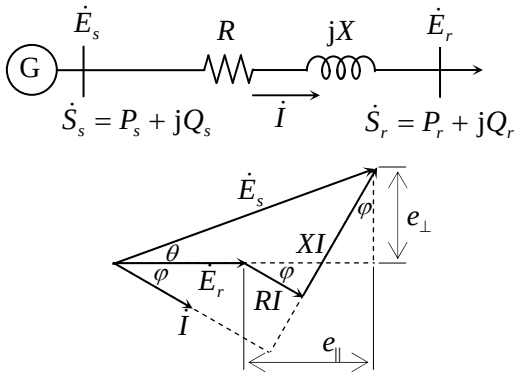
$$E_s\cos\theta = E_r + \frac{RP_r + XQ_r}{E_r} \qquad ⑤$$

θ：小のとき

$E_s\theta \simeq \dfrac{XP_r - RQ_r}{E_r}$ ④’，$E_s \simeq E_r + \dfrac{RP_r + XQ_r}{E_r}$ ⑤’

⑤’より $E_sE_r - E_r^{\,2} = RP_r + XQ_r$ ⑥

E_s 一定の条件で受電端電力 $\dot{S}_r = \dot{P}_r + j\dot{Q}_r$ が微小変動すると，受電端電圧 E_r の変動は⑥を



P_r で偏微分して $E_s\dfrac{\partial E_r}{\partial P_r} - 2E_r\dfrac{\partial E_r}{\partial P_r} = R$，よって

$\dfrac{\partial E_r}{\partial P_r} = \dfrac{R}{E_s - 2E_r}$。同様に，$Q_r$ で偏微分して

$\dfrac{\partial E_r}{\partial Q_r} = \dfrac{X}{E_s - 2E_r}$。以上から $\dfrac{\partial E_r}{\partial Q_r}\Big/\dfrac{\partial E_r}{\partial P_r} = \dfrac{X}{R}$

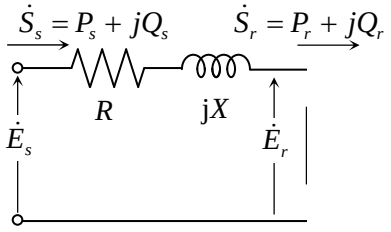
高圧送電線では $X \gg R$ だから，無効電力の変動が大きく影響する。

$X \gg R$ より R を無視すると④’ ⑤’より

$E_s\theta \simeq \dfrac{XP_r}{E_r}$ ④“ ，$E_s \simeq E_r + \dfrac{XQ_r}{E_r}$ ⑤“だから

$\theta \simeq \dfrac{XP_r}{E_sE_r}$：相差角は XP_r で変化

$E_s - E_r \simeq \dfrac{XQ_r}{E_r}$：電圧降下は XQ_r で変化



3.6 無効電力の調整

誘導性負荷の無効電力を正としたので,

誘導性負荷: $E_s - E_r > 0$, 受電端電圧降下

容量性負荷: $E_s - E_r < 0$, 受電端電圧上昇

(例:フェランチ現象)

電力損失は(OCW4-2),

$$P_L = RI^2 = RI^2(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi) = R\frac{P_r^{\ 2} + Q_r^{\ 2}}{E_r^{\ 2}}$$

負荷は有効電力と無効電力を消費

無効電力を送電すると電圧降下と送電損失発生

負荷近傍に無効電力発生源設置すれば

→線路を流れる無効電力の制御が可能

無効電力の調整により

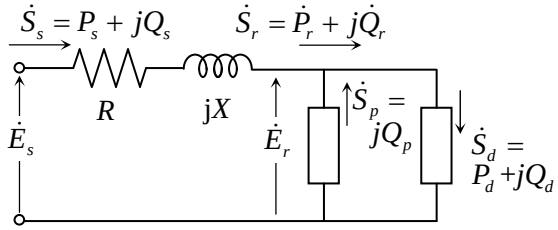
(a) 電圧調整可能

(b) 伝送損失低減, 伝送電力増大

調相設備:送電系統に接地する無効電力調整設備のこと

電圧 E_r 一定に必要な調相容量 Q_p (調相設備による無効電力発生量)は θ:小なら次式より算出

$$E_s \simeq E_r + \frac{RP_r + XQ_r}{E_r},\ Q_r = Q_d - Q_p \text{ ⑦}$$



添え字 p:調相設備, d:需要

3.6.1 電力円線図:

θ:大の場合は, ④⑤⑦を連立して解く代わりに, 電力円線図を使い Q_p および θ を求める。

$$\dot{S}_r = P_r + \mathrm{j}Q_r = \dot{E}_r\overline{I} = E_r\frac{E_s e^{-\mathrm{j}(\theta-\varphi)} - E_r e^{\mathrm{j}\varphi}}{Z}$$

$$Ze^{\mathrm{j}\varphi} = R + \mathrm{j}X,\ \varphi = \tan^{-1}\frac{X}{R},\ Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$X \gg R$ より線路インピーダンスを: jX とすれば ($R = 0, \varphi = \pi/2$) (OCW4-2 参照)

$$\dot{S}_r = P_r + \mathrm{j}Q_r = \frac{E_s E_r}{X}e^{-\mathrm{j}\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)} - \mathrm{j}\frac{E_r^{\ 2}}{X} \quad ⑧$$

E_s, E_r が一定の場合は, ⑧は θ が変化した倍に $\dot{S}_r$ の先端の描く軌跡を示し, 複素平面上では円となる。縦軸:無効電力, 横軸:有効電力として円を受電端電力円線図という。

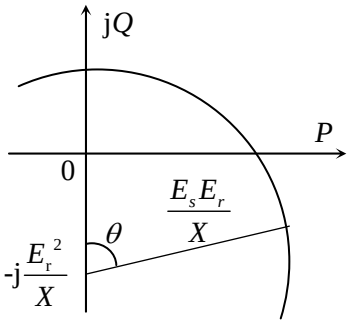
中心: $-\mathrm{j}\dfrac{E_r^{\ 2}}{X}$

半径: $\dfrac{E_s E_r}{X}$:最大有効送電電力

3 相分では:

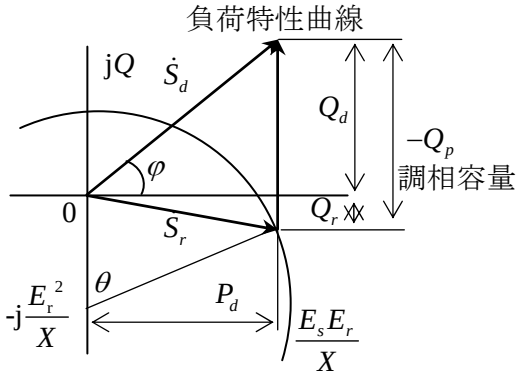
$$3\frac{E_s E_r}{X} = 3\frac{V_s/\sqrt{3}\cdot V_r/\sqrt{3}}{X} = \frac{V_s V_r}{X}$$

E_s, E_r が一定の定電圧送電, 受電端では



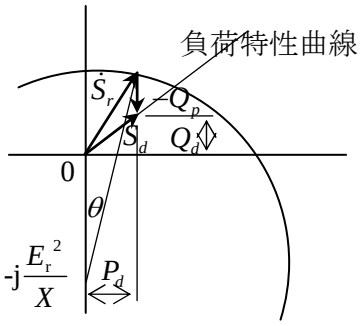
有効電力: $\theta = 0$ で 0, $\theta = \frac{\pi}{2}$ で最大 $\frac{E_sE_r}{X}$

遅れ力率 φ の負荷の場合



受電端電力は進みになっている

軽負荷の場合



送電線路両端の電圧, 線路定数がわかり
電力円線図と負荷特性曲線により以下が求まる

- 最大受電電力
- 相受電端間の相差角
- 必要な調相容量

負荷力率が悪いと無効電力が増加, 調相容量も増加

以上は線路をリアクタンスのみとしたが, 一般には, 四端子定数で表して: $\dot{E}_s = \dot{A}\dot{E}_r + \dot{B}\dot{I}_r$

$$\dot{I}_r = \left(\dot{E}_s - \dot{A}\dot{E}_r\right)\Big/\dot{B}\,,\ \dot{E}_s = \mathrm{e}^{j\theta}\,\dot{E}_s$$

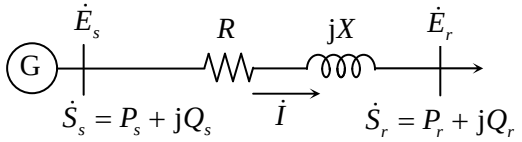
$$\dot{S}_r = \dot{E}_r\overline{I}_r = E_r\frac{E_s\mathrm{e}^{-j\theta} - \overline{A}E_r}{\overline{B}}$$

なお

$\dot{B} = R + \mathrm{j}X$ ならば,

$$\overline{B} = R - \mathrm{j}X\,,\ \frac{1}{\overline{B}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} + \mathrm{j}\frac{X}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

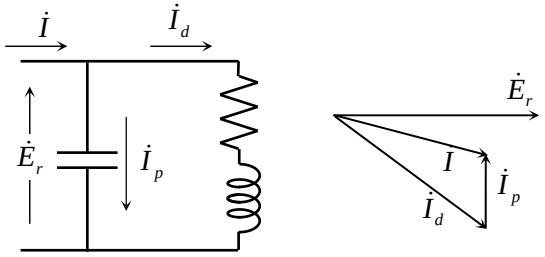
3.7 負荷力率の改善



伝送損失は

$$P_L = RI^2 = R\frac{P_r^2 + Q_r^2}{E_r^2}$$ （OCW4-2 参照）

E_r 一定の場合は。$Q_r = 0$ の時に損失最小
負荷の近くに無効電力調整設備をおけば, 無効電力の流れ（潮流）を減少→高効率電力伝送可能, あるは送電容量増加



また, 同じ P_L を許すならば Q_r を減らすほど P_r は増える。負荷と並列にコンデンサを接続すれば, 電流が減少して変圧器や電線などの容量に世湯が生ずる。