

電力回路

第6回目

電気エネルギーの伝送:送電回路

<インピーダンス線路と送電容量
および定態安定極限電力>

5. 電気エネルギーの伝送:送電回路

5.2 インピーダンス線路と送電容量および定態安定極限電力

インピーダンス線路の送電端に $P_s + jQ_s$ の電力が供給され, $P_r + jQ_r$ の電力が受電端で得られたとする. このとき, インピーダンス線路の送電端の相電圧を $\mathbf{E}_s$, 受電端の相電圧を $\mathbf{E}_r$ とし, 線路が50km以下で $r=0$ の線路のインピーダンスを jX , 電流を $\mathbf{I}$ と置く. このとき,

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{E}_s - \mathbf{E}_r}{jX}$$

となる. 従って, 電力の関係を求めると,

$$P_s + jQ_s = 3\mathbf{E}_s \bar{\mathbf{I}}_s = 3\mathbf{E}_s \frac{\bar{\mathbf{E}}_s - \bar{\mathbf{E}}_r}{-jX} = \frac{3j}{X} (|\mathbf{E}_s|^2 - \mathbf{E}_s \bar{\mathbf{E}}_r)$$

が得られる. 一方,

$$P_r + jQ_r = 3\mathbf{E}_r \bar{\mathbf{I}}_s = \frac{3j}{X} (\mathbf{E}_r \bar{\mathbf{E}}_s - |\mathbf{E}_r|^2)$$

が得られる.

5. 電気エネルギーの伝送:送電回路

5.2 インピーダンス線路と送電容量および定態安定極限電力

ここで、複素量を位相を用いて表すと

$$\begin{cases} \mathbf{E}_s &= E_s e^{j\varphi_s} \\ \mathbf{E}_r &= E_r e^{j\varphi_r} \end{cases}$$

とおくとき、送電端、受電端の有効電力、無効電力は次式で与えられる。

$$\begin{cases} P_s &= \frac{3E_s E_r}{X} \sin(\varphi_s - \varphi_r) \\ Q_s &= \frac{3}{X} (E_s^2 - E_r E_s \cos(\varphi_s - \varphi_r)) \end{cases}$$
$$\begin{cases} P_r &= \frac{3E_s E_r}{X} \sin(\varphi_s - \varphi_r) \\ Q_r &= \frac{3}{X} (E_s E_r \cos(\varphi_s - \varphi_r) - E_r^2) \end{cases}$$

5. 電気エネルギーの伝送:送電回路

5.2 インピーダンス線路と送電容量および定態安定極限電力

ここで

$$\delta = \varphi_s - \varphi_r$$

とおき相差角とよぶ. 相電圧の関係を線間電圧の関係に置き換えると,

$$\begin{cases} P_s &= \frac{V_s V_r}{X} \sin \delta \\ Q_s &= \frac{I}{X} (V_s^2 - V_s V_r \cos \delta) \end{cases}$$

となる. この関係から, 送電線路を通して送ることの出来る電力と, 両端の電圧の位相の差(相差角)の関係は図1に示すように, 上限を有する. この図を電力相差角曲線と呼ぶ.

5. 電気エネルギーの伝送:送電回路

5.2 インピーダンス線路と送電容量および定態安定極限電力

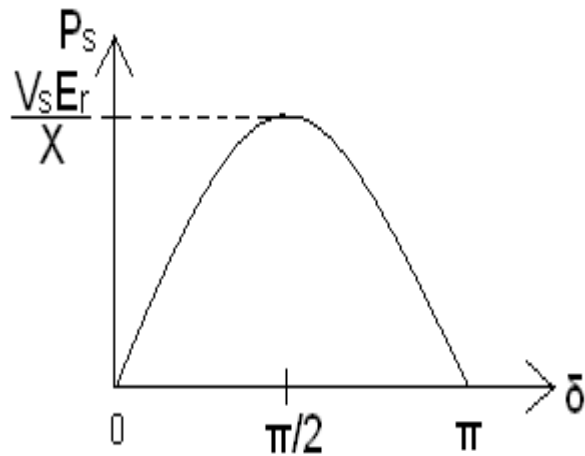


図1 電力回路の解析範囲

次に, 無効電力について考える. 負荷側の有効電力, 無効電力は

$$\begin{cases} P_r &= \frac{V_s V_r}{X} \sin \delta \\ Q_r &= \frac{1}{X} (V_s V_r \cos \delta - V_r^2) = P_r \tan \varphi_R \end{cases}$$

となる. ここで, φ_R を力率角とする.

5. 電気エネルギーの伝送:送電回路

5.2 インピーダンス線路と送電容量および定態安定極限電力

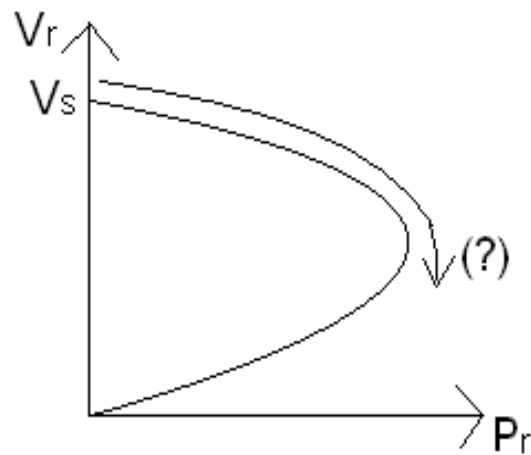


図2 電圧-有効電力曲線

これにより,

$$V_r = V_s \frac{\cos(\delta + \varphi_r)}{\cos \varphi_r}$$

が得られ, この結果,

$$P_r = \frac{V_s^2 \{ \sin(2\delta + \varphi_R) - \sin \varphi_R \}}{2X \cos \varphi_R}$$

が得られる.

その V_r と P_r の関係を描くと, 図2の関係が得られる. これより, 有効電力を多く取つとすると受電端の電圧が低下して解を失い, 不安定となる.

5. 電気エネルギーの伝送:送電回路

5.2 インピーダンス線路と送電容量および定態安定極限電力

5.2.1 送電電力と周波波

1機の発電機と1台の負荷が送電回路を介して接続された電力システムを一発電機一負荷システムと呼ぶ。電力システムは、発電機の発電量と消費量がバランスしている。仮に供給した電力から送電回路の損失、および負荷で消費する電力以上に供給したとすると、周波数が変化する。負荷が軽くなると加速し、負荷が重くなると減速する(図3)。

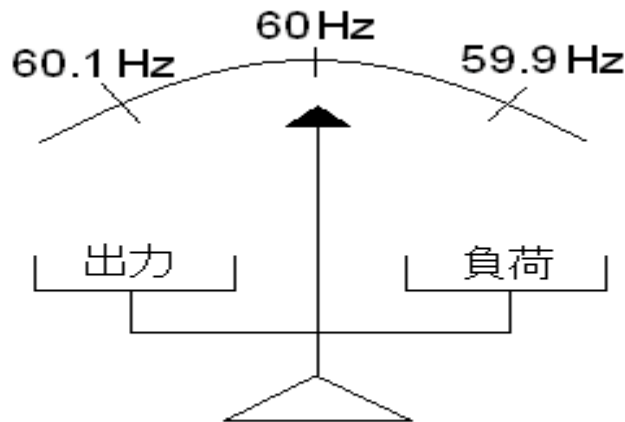


図3 周波数変化の説明

負荷増
=> 周波数下がる

5. 電気エネルギーの伝送:送電回路

5.2 インピーダンス線路と送電容量および定態安定極限電力

5.2.2 野田モデル

電力システムが, どのように負荷に有効電力を供給し, その供給には如何に無効電力が大切であるかを説明するために, 野田モデルを用いた.



野田モデルの動画(左から順番に)