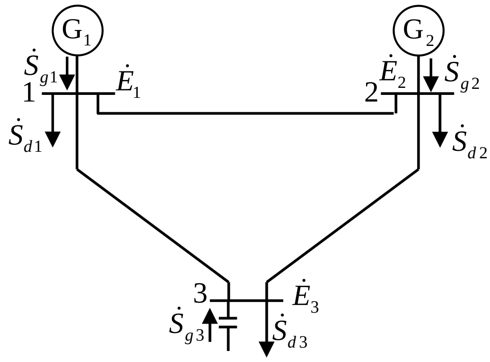
3.7　電力方程式

3 ノード（ブス）系統図と用語

- 電力潮流：電力の流れ
- 母線（ブス）：電力潮流を切り換える線
- ノード：回路の分岐点，発電機，変圧器，送電線などが接続される
- ブランチ：2箇所のノードを結ぶもの



2 ノード系の電力方程式

$$\dot{I}_1 = \dot{y}_1\dot{E}_1 + \dot{y}_{12}(\dot{E}_1 - \dot{E}_2)$$

$$\dot{I}_2 = \dot{y}_{12}(\dot{E}_2 - \dot{E}_1) + \dot{y}_2\dot{E}_2$$

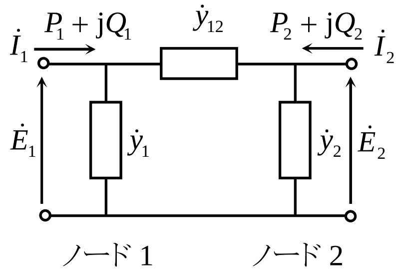
ここで，$\dot{Y}_{11} = \dot{y}_1 + \dot{y}_{12}$，$\dot{Y}_{22} = \dot{y}_2 + \dot{y}_{12}$

$\dot{Y}_{12} = \dot{Y}_{21} = -\dot{y}_{12}$　と置き換えると

$$\dot{I}_1 = \dot{Y}_{11}\dot{E}_1 + \dot{Y}_{12}\dot{E}_2,\quad \dot{I}_2 = \dot{Y}_{21}\dot{E}_1 + \dot{Y}_{22}\dot{E}_2$$

$\dot{Y}_{11}$：ノード 1 における駆動点アドミタンス

$\dot{Y}_{22}$：ノード 1-2 間の伝達アドミタンス



ノード 1 における電力は

$$\dot{S}_1 = P_1 + \mathrm{j}Q_1 = \dot{E}_1\bar{I}_1 = \dot{E}_1\overline{(Y_{11}E_1 + Y_{12}E_2)}$$

$$= \bar{Y}_{11}E_1^{\,2} + \bar{Y}_{12}\dot{E}_1\bar{E}_2$$

$$\dot{S}_2 = P_2 + \mathrm{j}Q_2 = \dot{E}_2\bar{I}_2 = \bar{Y}_{21}\bar{E}_1\dot{E}_2 + \bar{Y}_{22}E_2^{\,2}$$

次のように表す

$$\dot{Y}_{11} = Y_{11}\exp(\mathrm{j}\varphi_{11}),\quad \dot{Y}_{22} = Y_{22}\exp(\mathrm{j}\varphi_{22})$$

$$\dot{Y}_{12} = Y_{12}\exp(\mathrm{j}\varphi_{12}),\quad \dot{Y}_{21} = Y_{21}\exp(\mathrm{j}\varphi_{21})$$

$$\dot{E}_1 = E_1\exp(\mathrm{j}\theta_1),\qquad \dot{E}_2 = E_2\exp(\mathrm{j}\theta_2)$$

$$\theta_1 - \theta_2 = \theta_{12},\ \theta_2 - \theta_1 = \theta_{21}$$

$$P_1 + \mathrm{j}Q_1$$
$$= Y_{11}E_1^{\,2}\exp(-\mathrm{j}\varphi_{11}) + Y_{12}E_1E_2\exp\mathrm{j}(\theta_{12} - \varphi_{12})$$

$$P_2 + \mathrm{j}Q_2$$
$$= Y_{21}E_1E_2\exp\mathrm{j}(\theta_{21} - \varphi_{21}) + Y_{22}E_2^{\,2}\exp(-\mathrm{j}\varphi_{22})$$

$$P_1 = Y_{11}E_1^{\,2}\cos\varphi_{11} + Y_{12}E_1E_2\cos(\theta_{12} - \varphi_{12})$$

$$Q_1 = -Y_{11}E_1^{\,2}\sin\varphi_{11} + Y_{12}E_1E_2\sin(\theta_{12} - \varphi_{12})$$

$$P_2 = Y_{22}E_2^{\,2}\cos\varphi_{22} + Y_{21}E_1E_2\cos(\theta_{21} - \varphi_{21})$$

$$Q_2 = -Y_{22}E_2^{\,2}\sin\varphi_{22} + Y_{21}E_1E_2\sin(\theta_{21} - \varphi_{21})$$

有効電力と無効電力に分けて，2 ノード系統の電力方程式が得られる。

変数は各ノードの，P，Q，E，θ で 8 個
方程式は 4 個

簡単のため駆動点アドミタンス$\dot{Y}_{ii}=0$で，ノード1-2 間のインピーダンスのみを考える。P_1は

$$P_1 = Y_{11}E_1^{\,2}\cos\varphi_{11} + Y_{12}E_1E_2\cos(\theta_{12}-\varphi_{12})$$
$$= Y_{12}E_1E_2\left\{\cos\theta_{12}\cos\varphi_{12} + \sin\theta_{12}\sin\varphi_{12}\right\}$$

ここでノード 1，2 の電圧の位相角の差θ_{12}:小で，ノード 1-2 間の抵抗$R \ll X$では

$$P_1 \simeq \frac{\theta_1-\theta_2}{X_{12}}E_1E_2$$

θ_{12} ：小より$\sin\theta_{12}\simeq\theta_{12}$， $\varphi_{12}=\tan^{-1}\dfrac{X_{12}}{R_{12}}\to$ $\varphi_{12}=\dfrac{\pi}{2}$とおいた。また，$E_1=E_2=1\,\mathrm{pu}$ならば

$$\theta_1-\theta_2 = X_{12}P_1$$

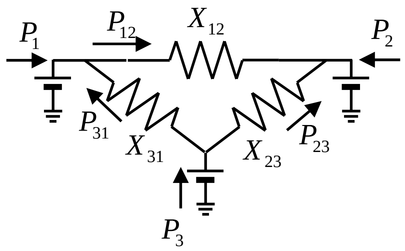
オームの法則$V=RI$と対比すると，$P-\theta$の関係を直流回路で解くことができる。

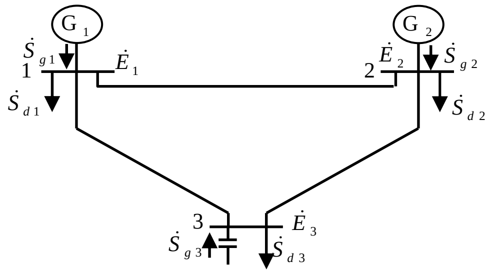
$\theta_{\mathrm{ij}} \to V$

$X_{\mathrm{ij}} \to R$

$P_{\mathrm{i}} \to I$

簡略化した等価回路





ループ内系統変更時の潮流変動

右図で，系統内の1ブランチが非接続となった場合:インピーダンスは$x\to 2x$

潮流はテブナンの定理から，初期状態では

$$P_0=\frac{\theta}{x_0+x},\quad \text{変更後は}\ P_1=\frac{\theta}{x_0+2x}$$

よって $$P_1=\frac{x_0+x}{x_0+2x}P_0$$