

電力システム解析論

第12回 安定性解析

平成25年02月01日

2013/02/01

電力システム解析論

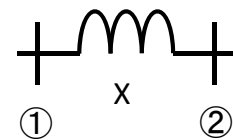
1

調整用変圧器が入った場合の 系統(Y,Z)行列の作り方

• 変圧器で接続された2母線

– 変圧比が2つの母線電圧ベースの比と同じ

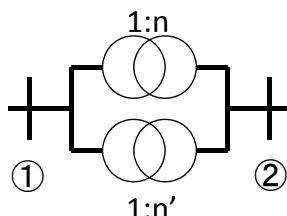
- 変圧器の漏れインピーダンス(pu値)



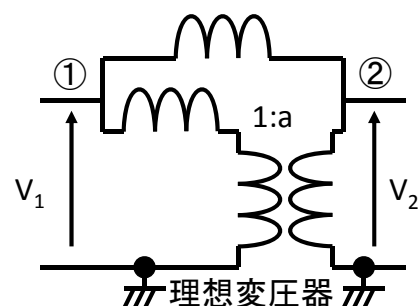
– 巻数比の異なる変圧器の並列接続

- 1:n変圧器→インピーダンス(pu値)

- 1:n'変圧器→インピーダンス(pu値)+1:a理想変圧器(基準外変圧比変圧器を表す)



$a=n'/n$
単位法表示



2013/02/01 単線結線図

電力システム解析論

2

基準外巻数比変圧器の アドミタンス表現1

- 変圧器

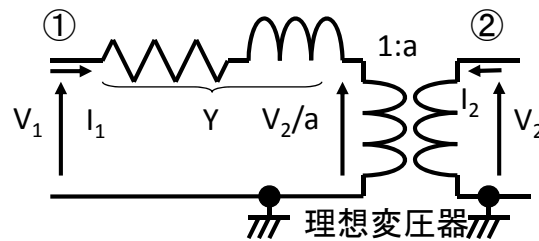
- アドミタンス Y

- タップ比 a

- 電圧調整用変圧器 $a \rightarrow$ 実数(変圧比)

- 位相調整用変圧器 $a \rightarrow$ 複素数($j \exp \delta$)

- リアクタンス(pu値)と理想変圧器による等価回路



2013/02/01

電力システム解析論

3

基準外巻数比変圧器の アドミタンス表現2

- アドミタンス行列を求める

- ノード①から理想変圧器への入力電力 $S_1 = \frac{V_2}{a} \bar{I}_1$

- ノード②から理想変圧器への入力電力 $S_2 = V_2 \bar{I}_2$

- 理想変圧器の条件 $S_1 = -S_2$

$$\frac{V_2}{a} \bar{I}_1 = -V_2 \bar{I}_2 \Rightarrow \frac{\bar{I}_1}{a} = -\bar{I}_2 \Rightarrow \bar{I}_1 = -a \bar{I}_2 \Rightarrow I_1 = -\bar{a} I_2$$

- ノード①電流の別表現

$$I_1 = Y \left(V_1 - \frac{V_2}{a} \right) = Y V_1 - \frac{Y}{a} V_2$$

2013/02/01

電力システム解析論

4

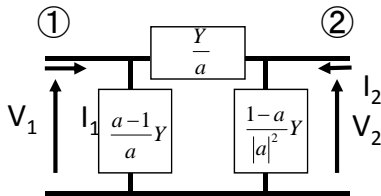
基準外巻数比変圧器の アドミタンス表現3

- アドミタンス行列を求める続き

– ノード②電流

$$I_2 = -\frac{I_1}{a} = -\frac{1}{a}Y\left(V_1 - \frac{V_2}{a}\right) = -\frac{Y}{a}V_1 + \frac{Y}{aa}V_2 = -\frac{Y}{a}V_1 + \frac{Y}{|a|^2}V_2$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y & -\frac{Y}{a} \\ -\frac{Y}{a} & \frac{Y}{|a|^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$



aが実数のとき $Y_{21}=Y_{12}$ となり, π 形回路で表せる
YにRがあると負抵抗となり実際の回路要素はない

電力システムの安定性

- 安定性

– 通常運転状態にある同期回転機に対して擾乱を与え, 再び通常運転状態に戻る能力

– 現象例

- 発電機入力トルクの変動→回転速度の周期変動→電圧・周波数の周期変動→固有周波数に一致すると脱調
- 発電機の電機子電流による回転磁界と回転子の相対運動により, ダンパ巻線に生じる電流により振動の減衰作用が働く

電力系統の安定性の種類

- 過渡安定性
 - 電気-機械系の動的な振る舞い
大擾乱下における同期運転の継続性
 - 第1波脱調
 - 擾乱発生後そのまま脱調
 - 制御系を含まない簡略モデルで可能
 - 第n波脱調
 - 擾乱発生後, 動揺が大きくなり脱調
 - 励磁, 調速制御系考慮

電力系統の安定性の種類

- 動態安定性, 定態安定性
 - ゆっくりとした小さい変動
 - 動作点の安定性
 - 非線形微分方程式を線形化して評価
 - 動態安定性
 - 空隙磁束変化の考慮可能な発電機モデル+励磁・調速制御
 - 定態安定性
 - リアクタンス背後電圧一定発電機モデル。制御系無

電力系統の安定性の解析

- 解析に用いる仮定
 - 同期周波数の電圧・電流成分のみを対象
 - フェーズで解析
 - 直流成分, 高調波成分は無視
 - 不平衡故障は対称成分に分解して評価
 - 発電機の電圧は回転速度の変化の影響を受けない

同期回転機の運動方程式

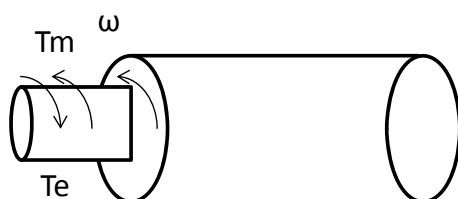
- 同期機の回転の振る舞いを表す
 - 加速トルクは回転子の慣性モーメントと回転角加速度の積
 - $J \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e$
 - $J[\text{kgm}^2]$: 回転子質量による慣性定数(原動機含む)
 - θ_m : 回転子角度(静止座標系)
 - T : 時間
 - $T_m(\text{Nm}) > 0$: 原動機からの入力機械トルク(回転損を除く)
 - $T_e(\text{Nm}) > 0$: 電気(電磁気)トルク
 - $T_a(\text{Nm})$: 加速トルク

同期回転機の運動方程式

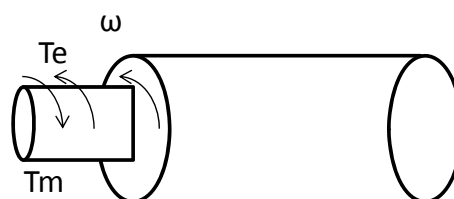
- T_m は回転軸を θ_m の正の方向に回転加速する力
 - 定常状態では T_m は T_e と等しい→加速トルク $T_a=0$
 - 回転子の加減速が無く、一定の同期速度で回転
→電力系統の他の回転機との同期運転と呼ぶ
 - 原動機→水車, 蒸気タービン
 - ガバナ(調速機)の動作は, 回転子の動特性による安定性の解析で扱う時間領域では, 反応が無視できる。
→ T_m は一定と扱える
- T_e は発電機出力と電機子銅損 I^2R を含む空隙磁束の電力

同期回転機の運動方程式

- 同期電動機の電力方向は発電機の逆
 - トルクの符号が逆
 - T_e :電源から電動機を駆動する空隙磁束電力
 - T_m :回転負荷トルクと回転損失の和



発電機



電動機

同期回転機の運動方程式

- θ_m : 固定子の静止座標系に対する角度
 - 時間とともに増加
 - 同期回転速度にたいする回転子速度が問題
→ 同期回転速度で回転する座標系で表す
 - $\theta_m = \omega_{sm}t + \delta_m$
 - ω_{sm} : 同期角速度
 - δ_m : 回転子の位相差
 - 時間微分
 - $\frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{sm} + \frac{d\delta_m}{dt} \rightarrow \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{d^2\delta_m}{dt^2}$
 - $\frac{d\delta_m}{dt} \rightarrow$ 同期回転速度からのずれを表す

同期回転機の運動方程式

- 回転座標系での動揺方程式
 - $J \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e$ (Nm)
 - 回転子の角速度 $\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt}$
 - 動揺方程式を電力で表す
 - $J\omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e$ (W)
 - P_m : 回転子への入力電力-回転損失(損失を無視すると原動機からの入力電力)
 - P_e : 空隙磁束の電力(電気出力)
 - P_a : 加速電力

同期回転機の運動方程式

- $J\omega_m$: 回転子の角運動量
 - $M = J\omega_{sm}$: 回転機の慣性定数 (同期回転速度)
 - 回転機の動作が安定な場合, トルクより電力を求める方が容易。 $\omega_m = \omega_{sm}$ として動揺方程式を扱う
 - $M \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e$ (W)
 - Mの代わりにHを使うこともある
 - $H = \frac{\text{同期回転速度での運動エネルギー}}{\text{回転機の定格電力}}$

同期回転機の運動方程式

- $H = \frac{\frac{1}{2}J\omega_{sm}^2}{S_{mach}} = \frac{\frac{1}{2}M\omega_{sm}}{S_{mach}}$
 - S_{mach} : 回転機の定格電力
 - $M = \frac{2H}{\omega_{sm}} S_{mach}$
- Hで動揺方程式を表す
 - $\frac{2H}{\omega_{sm}} \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = \frac{P_a}{S_{mach}} = \frac{P_m - P_e}{S_{mach}}$
 - 単位法での表現
 - $\frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e$ p.u. $\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s$

同期機の過渡安定性解析モデル

- P_m :一定を仮定(電力ネットワークの現象はガバナがタービンに作用するより早い)
- P_e :送配電線, 負荷の状態が決まる
 - 負荷変動, 送電線事故, 遮断器動作
 - 回転子の加減速を決める
- 回転速度の起電力への影響は無視
- x_d' :過渡リアクタンス(定常状態では同期リアクタンス x_d)
- E' :過渡内部起電力
- V_t :端子電圧
- 電機子抵抗は無視

