

# 交流送電の安定度(安定性)

- 同期(送電)安定度 (脱調が起きるかどうか)
  - 定態安定度(静的)
    - 系統に微小擾乱を与えた時の安定度
  - 過渡安定度(1~2秒間の現象)
    - 過渡リアクタンスの背後電圧一定時の安定度
  - 動態安定度(10秒以上)
    - あらゆる制御装置が動作する時の安定度
- 電圧安定性(電圧崩壊が起きるかどうか)
  - 静的検討
  - 動的検討

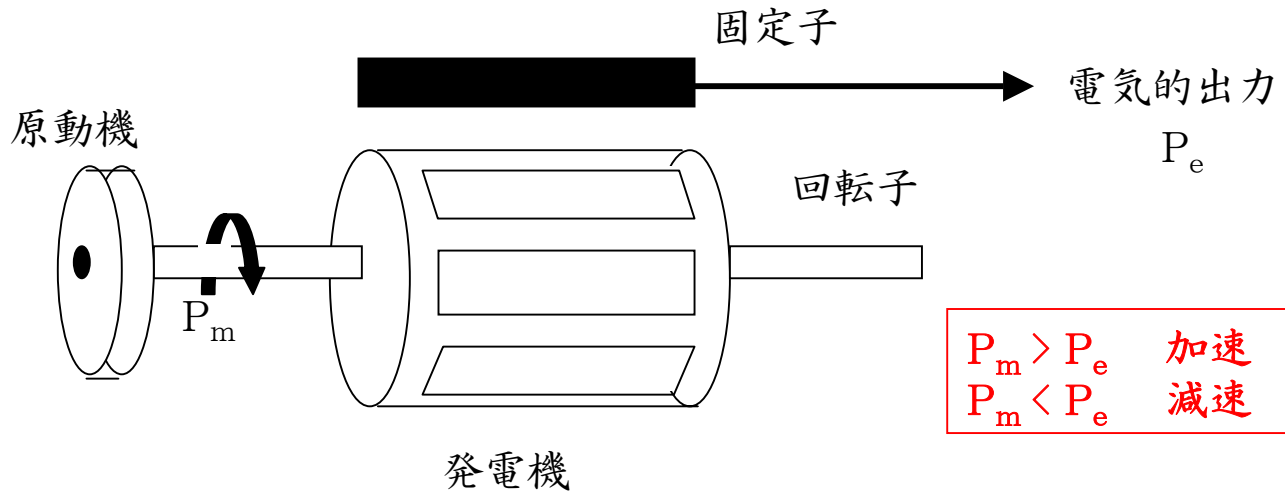
- 同期安定度、送電安定度(p.3 以降に詳述)

同期機の機械的入力と電気的出力の不均衡による動揺が起きたとき、脱調することがある。脱調するとき「不安定」、脱調しないとき「安定」であるという。

事故等の影響により加速、減速が生じ脱調が起きやすくなる。動揺してもいずれ安定化するとき安定、脱調してしまうとき不安定という。

簡略運動方程式  $J \cdot d^2 \theta / dt^2 = T_m - T_e$   $J$ : 慣性定数、両辺に角加速度  $\omega_m$  をかけて、 $M d^2 \theta / dt^2 = P_m - P_e$ 。通常、 $P_m$  は応答が遅く、 $P_e$  は事故などの電気現象で瞬時に変化するので過渡的に入出力差が生じこれがロータを加速、減速する。

詳細には、 $M d^2 \theta / dt^2 + D d \theta / dt + K \theta = P_m - P_e$ 。慣性定数+制動項+同期化力



- 電圧安定性

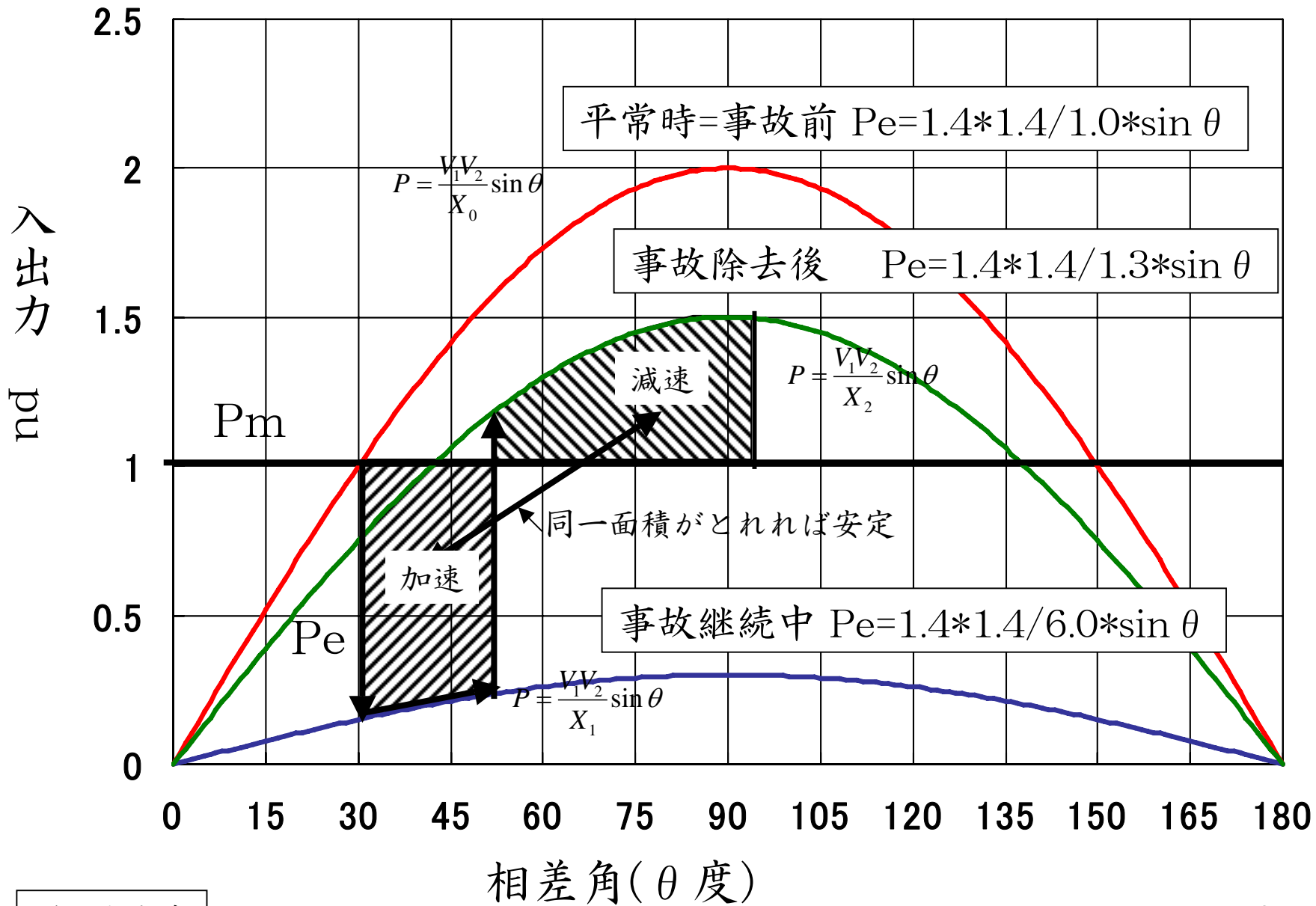
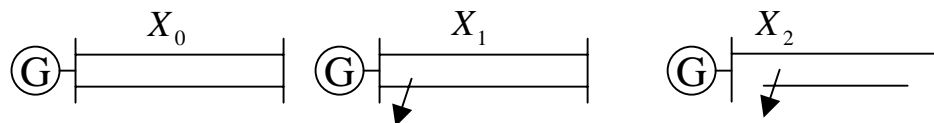
- 負荷の増加で無効電力のバランスが崩れ、電圧が崩壊することがある。

対策 → リアクタンスの減少      並列回路増加

→ 無効電力供給源の増加    SC, 同期調相機, SVC, SVG

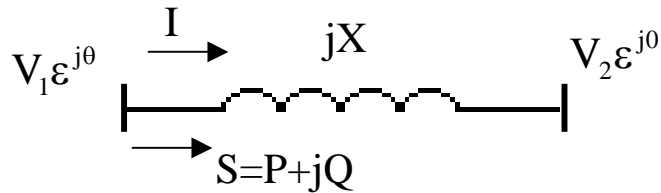
→ 電圧・無効電力制御装置の高速化、高度化など

2回線送電線の1回線事故の例  
通常、 $X_0 < X_2 < X_1$  である。



同期安定度

$$P = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \theta \text{ の導出}$$



$V_2$ を基準ベクトルとし、送電系統の基準容量ベースのリアクタンスを  $X$  とすれば、

$$I = \frac{V_1 \varepsilon^{j\theta} - V_2}{jX},$$

$$S = P + jQ = V_1 I^* = V_1 \varepsilon^{j\theta} \times \frac{(V_1 \varepsilon^{-j\theta} - V_2)}{-jX} = j \frac{V_1^2 - V_1 V_2 \varepsilon^{j\theta}}{X}$$

$$= \frac{V_1 V_2}{X} \sin \theta + j \frac{V_1^2 - V_1 V_2 \cos \theta}{X}$$

$$\therefore P = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \theta \approx \frac{V_1 V_2}{X} \theta$$

$V_1, V_2$  はほぼ定格電圧で運転されるから一定と見

$$\text{なせば} \left( 100\% = 1.0 \text{ per unit} = 1.0 \left[ \frac{\% \text{値}}{100} \right] \right),$$

$X P \approx \theta$  となる。

### 安定度向上方策

安定度を向上させるには、

1. 送受電端間の相差角  $\theta$  を小さくする。
2. 加速エネルギー  $P_m - P_e$  を小さくする。
3. 慣性定数  $I \rightarrow M$  を大きくする。
4. 事故除去後の送電電力を大きくする。

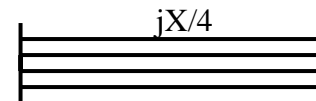
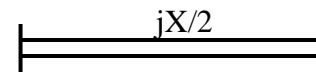
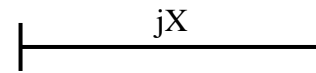
制動効果を付加する。

などの方策がある。

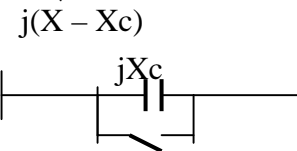
1. 送受電端間の操作角  $\theta$  を小さくする方策

① 並列回路を増やす

1回線  $\rightarrow$  2回線  $\rightarrow$  4回線

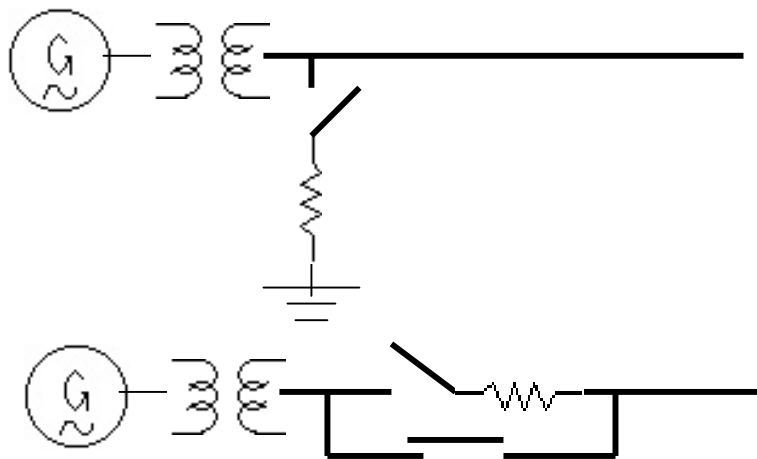


② 直列コンデンサを挿入する



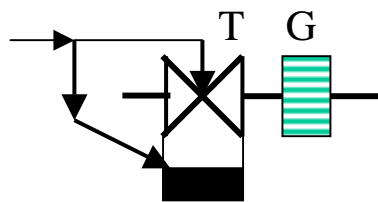
2. 加速エネルギー  $P_m - P_e$  を小さくする方策

①  $P_e$  を大きくするため発電機側に 抵抗を挿入 する。



②  $P_m$  を急速に下げる

→ タービンバイパス制御



同期安定度

3. 慣性定数  $J \rightarrow M$  を大きくする。

① フライホイール付加する。

②  $J$ 、 $M$  を大きく設計する。

4. 事故除去後の送電電力を大きくする。

① PSSの設置(制動効果:長周期動揺対応)

加速エネルギーが増加しようとするときに励磁が強まり電圧が上がり、送電量  $P_e$  が増加するように制御する(PSS:

Power System Stabilizer)

② 高速励磁装置

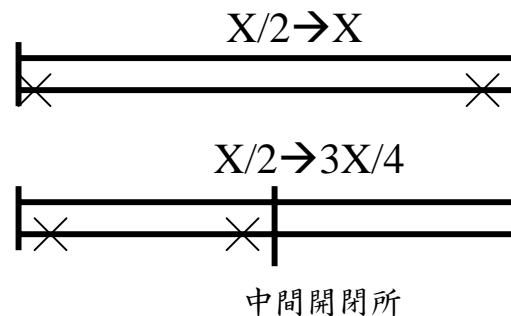
③ 電圧維持装置の設置

SVCなど

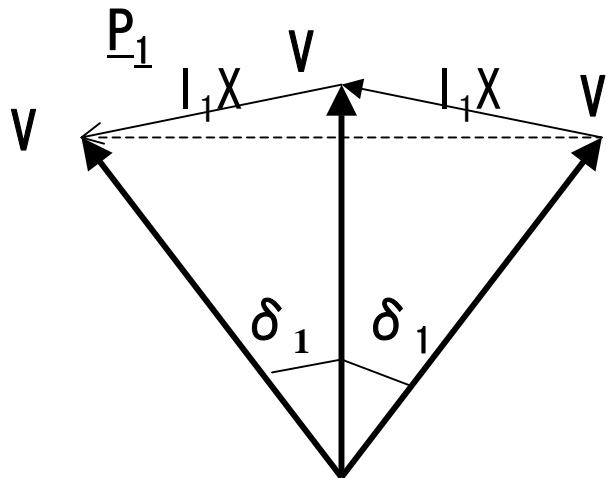
④ 急速位相制御の導入

⑤ 中間点の電圧維持(次ページ)

⑥ 中間開閉所の設置

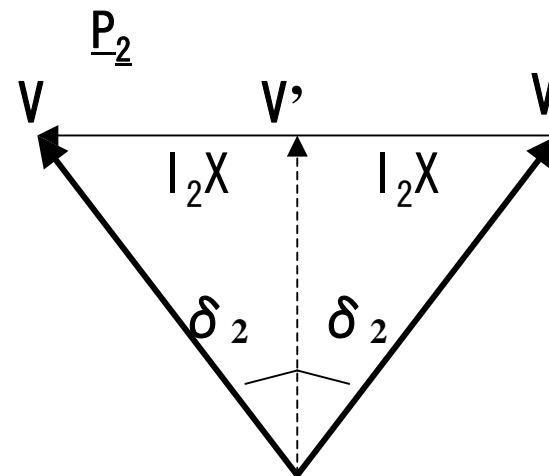


# 中間点の電圧維持、相差角の縮小(中間機効果 G2)



$$P_1 = (V^2/X) * \sin \delta_1$$

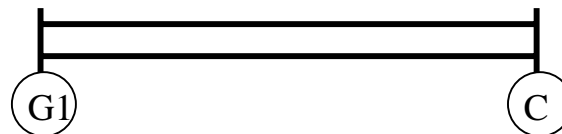
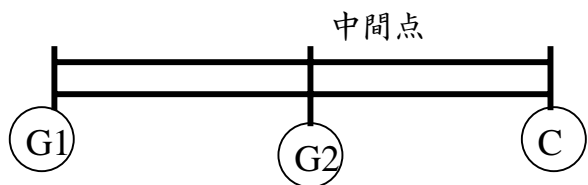
( $\cos \delta_2 < 1$ であるから,  
 $\delta_1 = \delta_2$ なら  $P_1 > P_2$ ,  
 $P_1 = P_2$ なら  $\delta_1 < \delta_2$ .)



$$P_2 = (V V' / X) * \sin \delta_2$$

$$= (V^2 / 2X) * \sin 2 \delta_2$$

$$= (V^2 / X) * \sin \delta_2 * \cos \delta_2$$



同期安定度

# FACTS パワーエレクトロニクスによる系統安定化方策

	サイリスタ制御 直列コンデンサ(TCSC)	サイリスタ制御 位相調整器(UPFC)	自励式SVC (SC-SVC)
回路図			
原理			
開発状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AEP; サイリスタスイッチの実系統試験</li> <li>• BPA; 実系統試験 Slatt S.S.(500kV, 202MVA)</li> <li>• WAPA; 実系統試験 Kayenta S.S. (275kV, 330MVA)</li> <li>• 連系強化技術開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WAPA; 適用性検討</li> <li>• AEP; 実系統試験 Inez S.S.(138kV, 160MVA)</li> <li>• EDF; プロトタイプモデル (500kV, 7MVA)</li> <li>• 連系強化技術開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KEPCO; 実系統試験 犬山 S.S. (154kV, 80MVA)</li> <li>• TEPCO; 実系統試験 新信濃 S.S. (275kV, 50MVA)</li> <li>• TVA; 実系統試験 Sullivan S.S. (275kV, 500MVA)</li> <li>• 連系強化技術開発</li> </ul>

出典：電気評論(電中研による解説)

**FACTS=Flexible AC Transmission System**

FACTSには安定化の他に潮流分布改善にも使われるものがある。

# 電圧安定性

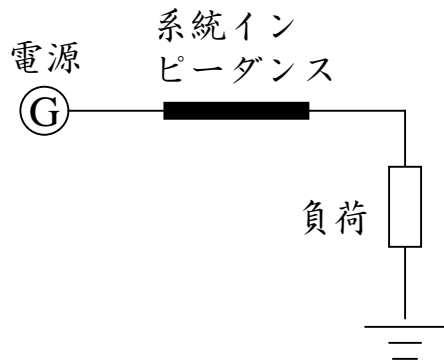


図 1

左図の系統で負荷を増加させると電圧と負荷との関係は右図のようにノーズ(横向きのVカーブ)状となる。ノーズの先端より大きな電力は送れない。タップ切換え装置など電圧制御系はこの曲線の上側の垂下特性を前提に作られているためノーズ先端より下では電圧は急速に低下し、送電不能となる。

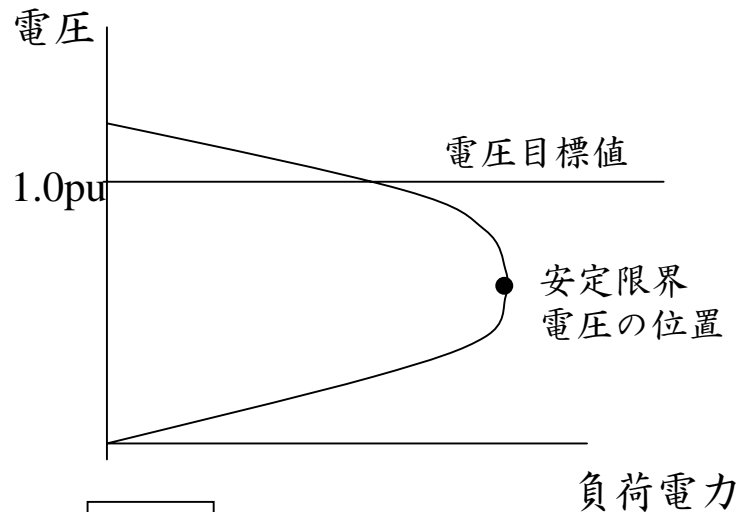


図 2

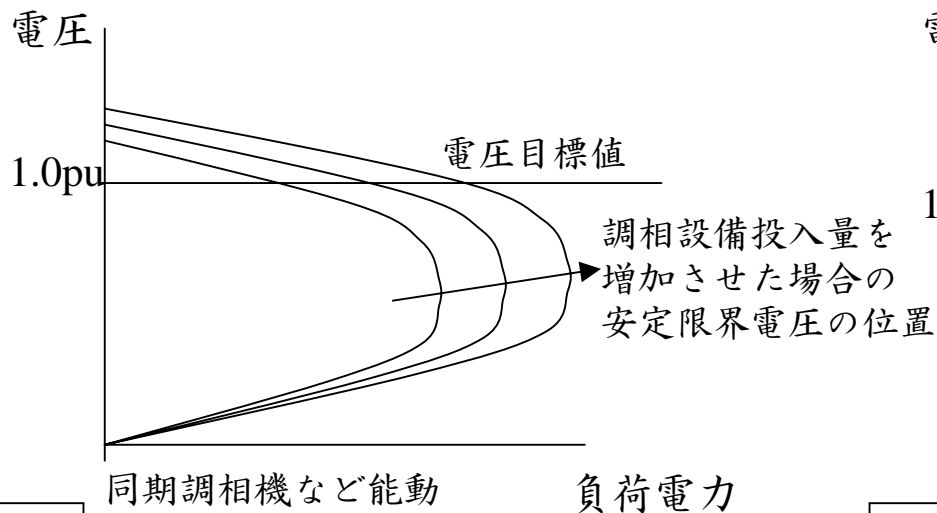


図 3

同期調相機など能動素子の場合にはノーズ先端の上昇が緩慢

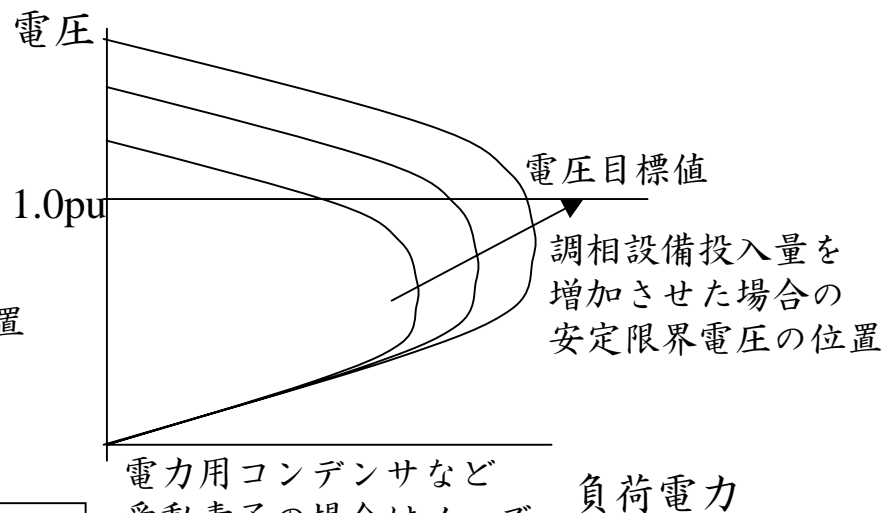
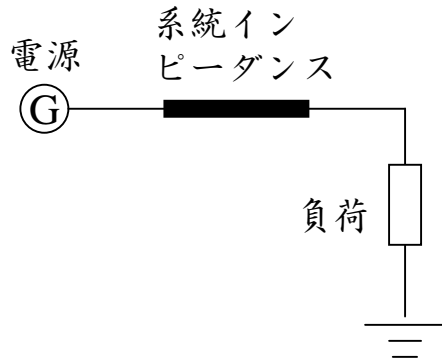


図 4

電力用コンデンサなど受動素子の場合にはノーズ先端が上昇しやすい



# 電圧安定性向上方策



左図の系統で

(1) 系統インピーダンスを減らす

そのためには、同期安定度向上方策と同様  
並列回路の増加、直列コンデンサ設置などを行う。

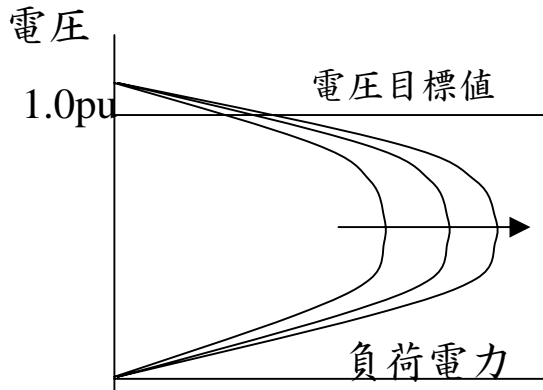
(2) 無効電力供給設備の増設

前頁の図3、図4のようにノーズ先端が右に移動する。ただし図4のように安定限界電圧が上昇するのは避ける。

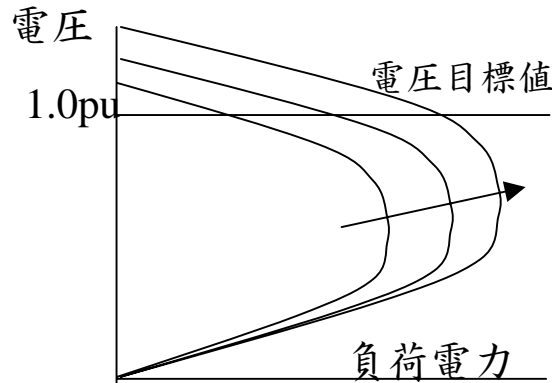
→同期調相機設置や上記(1)の系統インピーダンス減少対策を実施

(3) 電圧無効電力の制御方式の改善

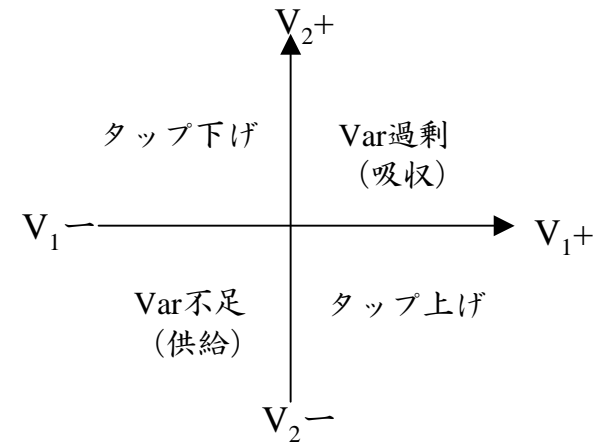
無効電力バランスを修正するのか、タップ位置の修正をするのかを適正に判断して制御する。調相設備全量投入後はタップをロックするなど負荷や系統状況に応じた補正が可能になるようにする。



(1) 系統インピーダンス減少の効果



(2) 無効電力供給設備増加の効果



(3) 制御装置イメージ  
 $V_1$ 一次電圧、 $V_2$ 二次電圧