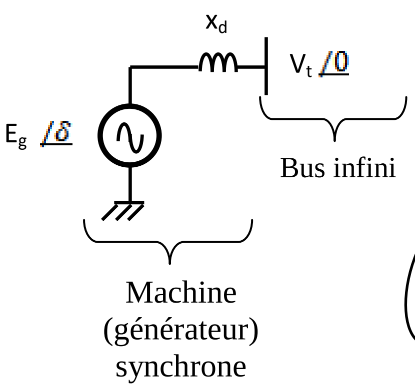
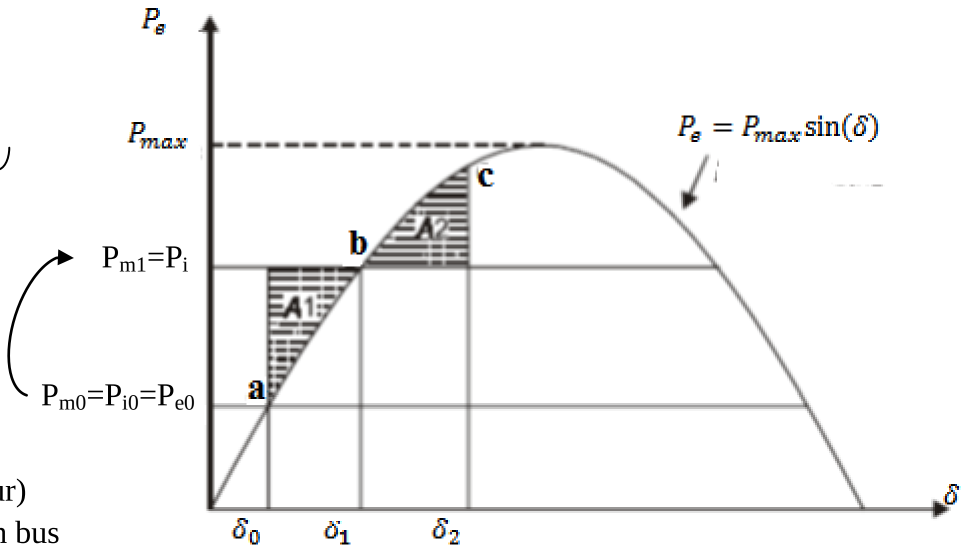
Université Mohamed Boudiaf de Msila
Faculté de Technologie
Département de génie électrique

TD 2 de Stabilité et dynamique des réseaux électriques

Exercice 01



a : Machine (générateur) synchrone connectée à un bus infini



b : Puissance électrique produite par la machine (générateur) synchrone connectée à un bus infini

Figure 1. Machine (générateur) synchrone connectée à un bus infini avec sa puissance électrique produite

Dans la figure 1.a, On suppose que la machine (générateur) synchrone est connectée à un bus infini de tension constante (V_t= constant et angle de phase nulle). On suppose aussi que la réactance inductive entre la machine est le bus infini x_d est constante et que l'amplitude de la tension de la fem de la machine est maintenue constant (E_g=Constante) grâce au courant d'excitation.

Le point (a) correspondant à δ_0 est le point de fonctionnement de l'état initial. En ce point, la puissance mécanique d'entrée de la machine ($P_{m0}=P_{i0}$) est égale à la puissance électrique développée (P_{e0}) : $P_{m0}=P_{i0}=P_{e0}$. Une augmentation rapide de la puissance mécanique s'est produite de P_{i0} à P_i.

La relation qui lie les puissances mécanique, électrique et l'angle du rotor (l'angle de puissance) est donnée par l'équation suivante:

$$M\,\frac{d^2\delta}{dt^2}=P_i-P_e=P_a,$$

(Avec M est l'inertie de la partie tournante (rotor et ses accessoires)).

1- Le critre de stabilité $(\frac{d\delta}{dt} = 0)$ implique que : $(\frac{d\delta}{dt})^2 = \frac{2}{M}\int_{\delta_0}^{\delta} P_a d\delta = \int_{\delta_0}^{\delta} P_a d\delta = 0$

Où : $P_a = P_i - P_e$: la puissance d'acceleration du rotor

δ_0 : l'angle intiale avant variation de la puissance mécanique P_i

Selon l'équation précédente, la stabilité basée sur la méthode des aires égales implique que :

Aire A1 = Aire A2

ou $\int_{\delta_0}^{\delta_1}(P_i - P_{max}\sin\delta)d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_2}(P_{max}\sin\delta - P_i)d\delta$

- Démontrer que la stabilité d'angle de puissance n'est assurée que si la condition suivante est vérifiée :

$$(\delta_2 - \delta_0)\sin\delta_1 + \cos\delta_2 - \cos\delta_0 = 0$$

2- On suppose que ce générateur triphasé, capable de produire une puissance maximale de 500MW par phase, fonctionne sous un angle de rotor (angle de puissance) de 8°. En supposant que la puissance Pmax reste constante, **Quelle est l'augmentation soudaine (instantanée) maximale de la puissance mécanique appliqué au générateur sans que le système perde sa stabilité ?**

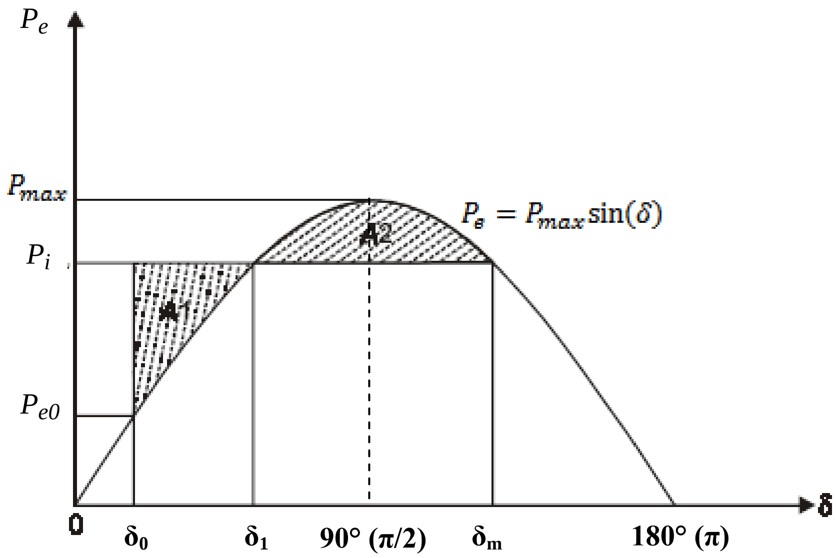
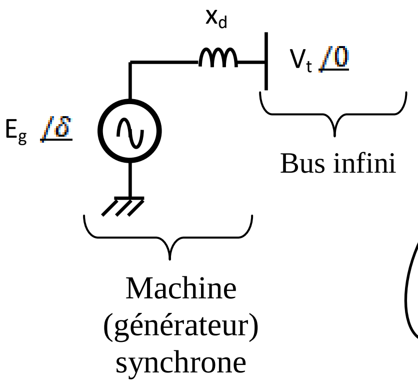


Figure 2. Puissance électrique produite par une machine (générateur) synchrone connectée à un bus infini (limite de stabilité caractérisé par l'angle maximal du rotor $\boldsymbol{\delta_m}$)

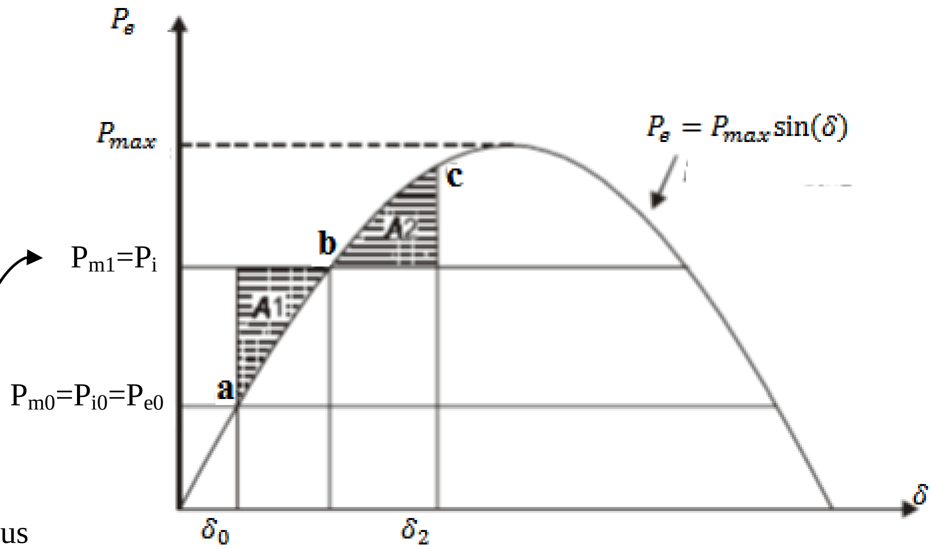
Université Mohamed Boudiaf de Msila
Faculté de Technologie
Département de génie électrique

Corrigé type de TD 2 de Stabilité et dynamique des réseaux électriques

Exercice 01



a : Machine (générateur) synchrone connectée à un bus infini



b : Puissance électrique produite par la machine (générateur) synchrone connectée à un bus infini

Figure 1. Machine (générateur) synchrone connectée à un bus infini avec sa puissance électrique produite

Dans la figure 1.a, On suppose que la machine (générateur) synchrone est connectée à un bus infini de tension constante (V_t= constant et angle de phase nulle). On suppose aussi que la réactance inductive entre la machine est le bus infini x_d est constante et que l'amplitude de la tension de la fem de la machine est maintenue constant (E_g=Constante) grâce au courant d'excitation.

Le point (a) correspondant à δ_0 est le point de fonctionnement de l'état initial. En ce point, la puissance mécanique d'entrée de la machine ($P_{m0}=P_{i0}$) est égale à la puissance électrique développée (P_{e0}) : $P_{m0}=P_{i0}=P_{e0}$. Une augmentation rapide de la puissance mécanique s'est produite de P_{i0} à P_i.

La relation qui lie les puissances mécanique, électrique et l'angle du rotor (l'angle de puissance) est donnée par l'équation suivante:

$$M\,\frac{d^2\delta}{dt^2}=P_i\text{-}P_e=P_a,$$

(Avec M est l'inertie de la partie tournante (rotor et ses accessoires)).

1- Le critre de stabilité $(\frac{d\delta}{dt} = 0)$ implique que : $(\frac{d\delta}{dt})^2 = \frac{2}{M}\int_{\delta_0}^{\delta} P_a d\delta = \int_{\delta_0}^{\delta} P_a d\delta = 0$

Où : $P_a = P_i - P_e$: la puissance d'acceleration du rotor
δ_0 : l'angle intiale avant variation de la puissance mécanique P_i

Selon l'équation précédente, la stabilité basée sur la méthode des aires égales implique que :

Aire A1 = Aire A2

ou $\int_{\delta_0}^{\delta_1}(P_i - P_{max}\sin\delta)d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_2}(P_{max}\sin\delta - P_i)d\delta$

- Démontrer que la stabilité d'angle de puissance n'est assurée que si la condition suivante est vérifiée :

$$(\delta_2 - \delta_0)\sin\delta_1 + \cos\delta_2 - \cos\delta_0 = 0$$

<u>Solution :</u>

Aire A1 = Aire A2

ou $\int_{\delta_0}^{\delta_1}(P_i - P_{max}\sin\delta)d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_2}(P_{max}\sin\delta - P_i)d\delta$

$$P_i(\delta_1 - \delta_0) + P_{max}(\cos\delta_1 - \cos\delta_0) = P_i(\delta_1 - \delta_2) + P_{max}(\cos\delta_1 - \cos\delta_2)$$

mais

$$P_i = P_{max}\sin\delta_1$$

Ce qui donne :

$$P_{max}(\delta_1 - \delta_0)\sin\delta_1 + P_{max}(\cos\delta_1 - \cos\delta_0) = P_{max}(\delta_1 - \delta_2)\sin\delta_1 + P_{max}(\cos\delta_1 - \cos\delta_2)$$

Après simplification, on obtient :

$$(\delta_2 - \delta_0)\sin\delta_1 + \cos\delta_2 - \cos\delta_0 = 0$$

2- On suppose que ce générateur triphasé, capable de produire une puissance maximale de 500MW par phase, fonctionne sous un angle de rotor (angle de puissance) de 8°. En supposant que la puissance Pmax reste constante, **Quelle est l'augmentation soudaine (instantanée) maximale de la puissance mécanique appliqué au générateur sans que le système perde sa stabilité ?**

Solution :

Initialement, δ_0=8°,
Donc Pe_0 = Pmax sin(δ_0) = 500 sin(8°) = 69.6MW

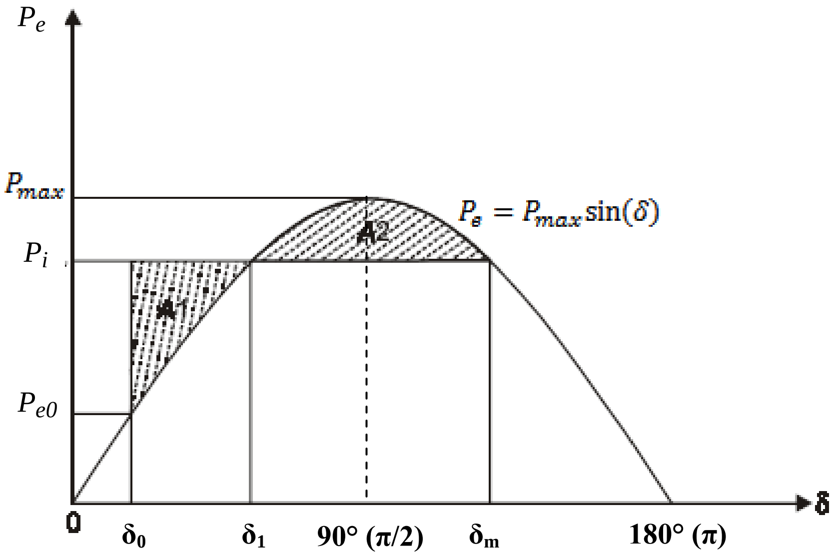


Figure 2. Puissance électrique produite par une machine (générateur) synchrone connectée à un bus infini (limite de stabilité caractérisé par l'angle maximal du rotor $\boldsymbol{\delta_m}$)

L'angle δ_m est l'angle du rotor que peut prendre le rotor avant de perdre le synchronisme (la stabilité d'angle du rotor). Si cet angle est dépassé, P_i va être de nouveau supérieure à P_e et le rotor va accélère de nouveau et la stabilité angulaire (synchronisme) va être perdue (Figure 2). Pour cela, le critère des aires égales exige que la condition suivante soit vérifiée, tout en remplaçant δ_2 par δ_m :

Aire A1 = Aire A2

ou

$$\int_{\delta_0}^{\delta_1} (P_i - P_{max}\sin\delta)\,d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_2} (P_{max}\sin\delta - P_i)\,d\delta$$

$$P_i(\delta_1 - \delta_0) + P_{max}(\cos\delta_1 - \cos\delta_0) =$$
$$P_i(\delta_1 - \delta_2) + P_{max}(\cos\delta_1 - \cos\delta_2)$$

En remplaçant δ_2 par δ_m , sachant que selon la figure 2, $\delta m = \pi - \delta_1$. Donc l'équation

$$(\delta_2 - \delta_0) \sin \delta_1 + \cos \delta_2 - \cos \delta_0 = 0$$

devient

$$(\pi - \delta_1 - \delta_0) \sin \delta_1 + \cos(\pi - \delta_1) - \cos \delta_0 = 0$$
$$(\pi - \delta_1 - \delta_0) \sin \delta_1 - \cos \delta_1 - \cos \delta_0 = 0.....$$

En remplaçant $\delta_0 = 8^0 = 0.139\text{radian}$ par sa valeur dans l'équation précédente, on obtient :

$$(3 - \delta_1) \sin \delta_1 - \cos \delta_1 - 0.99 = 0$$

En résolvant cette équation, on obtient $\delta_1 = 50°$

Dans ce cas : $P_{ef} = P_{max} \sin \delta_1 = 500 \sin 50^0 = 383.02 \text{ MW}$

Sachant que initialement, la puissance électrique développée par la machine est P_{e0} = 69.6MW, la machine peut tolérer une augmentation soudaine de la puissance électrique par phase de

$$P_{ef} - P_{e0} = 383.02 - 69.6 = 313.42 \text{ MW}$$

Ou une puissance triphasée (totale) de

$$3x313.42 = 940.3 \text{ MW}$$