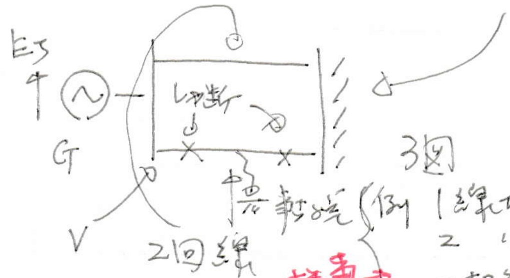
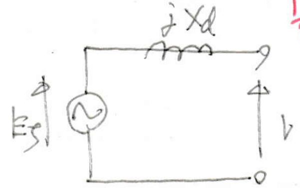
山下電気保安管理事務所

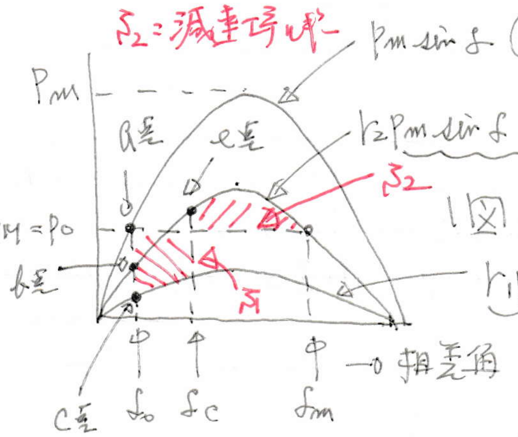
同期発電機（1機）と無限大系統の安定限界（過渡安定度）計算





1図は発電機の運転状況を示す。
$1>r_2>r_1$ であるが、3図の事故様相によって異なり、事故点が三相短絡なら故障中は $r_1 P_m \sin\delta = 0$ ($r_1=0$) で、事故の中でももっとも過酷である。

3図のように $r_1 \neq 0$ である場合について δ_c を求める。つまり事故時は、事故回線を高速遮断して δ_c を小さくおさえ、発電機の脱調防止が目的。



1図　1回線送電・事故前は2図より（1図でa点）(1)式となる。

$$P_0=\frac{E_f V}{X_d}\sin\delta_0 \qquad (1)$$

・事故発生瞬時は発電機の慣性（モーメント）により δ_0 は変化せず、$P_0 > r_1 P_m \sin\delta_0$ で発電機は加速し相差角 δ_c に移動した時、事故区間を遮断したとする。

3図で事故回線を

故障遮断後は $r_2 P_m \sin\delta > P_0$ より発電機が減速される。1図中 $S_1 = S_2$（加速エネルギーと減速エネルギー）となる時が安定限界で $S_1 > S_2$ では脱調する。

〈計算〉

$$S_1=\int_{\delta_0}^{\delta_c}(P_0-r_1P_m\sin\delta)d\delta = P_0(\delta_c-\delta_0)-r_1P_m[-\cos\delta]_{\delta_0}^{\delta_c}=P_0(\delta_c-\delta_0)+r_1P_m[\cos\delta_c-\cos\delta_0] \qquad (2)$$

又

$$S_2=\int_{\delta_c}^{\delta_m}(r_2P_m\sin\delta-P_0)d\delta = r_2P_m[\cos\delta_c-\cos\delta_m]+P_0(\delta_c-\delta_m)$$

$S_1=S_2$（安定限界）では、

$$P_0(\delta_c-\delta_0)+r_1P_m[\cos\delta_c-\cos\delta_0]=r_2P_m[\cos\delta_c-\cos\delta_m]+P_0(\delta_c-\delta_m)$$

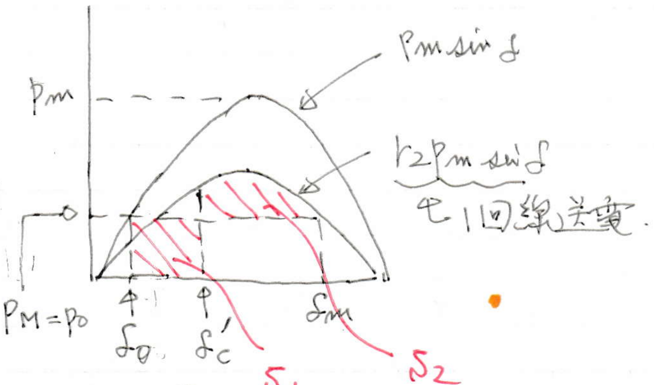
$$\cos\delta_c=\frac{\frac{P_0}{P_m}(\delta_m-\delta_0)+(r_2\cos\delta_m-r_1\cos\delta_0)}{r_2-r_1} \qquad (3)$$ ←安定限界時の $\cos\delta_c$

又 三相短絡事故では $r_1=0$ なので(3)式の $\cos\delta_c'$ は（ただし $\sin\delta_0=\frac{P_0}{P_m}$）

$$\cos\delta_c'=\frac{(\delta_m-\delta_0)\sin\delta_0}{r_2}+\cos\delta_m \qquad (4)$$

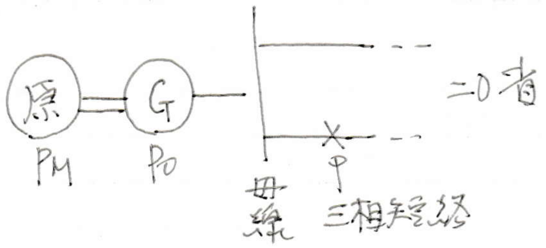
次に事故から事故遮断までの遮断時間を、事故が三相短絡の場合を計算すると
← 故障条件

$r_1=0$ より1図は4図となる。



4図

事故前の定常運転中は5図でもP_0は $P_M=P_0$(5図) ただし損失を無視(条件)
三相短絡が送電線に生じるとP_0(同期発電機出力)は $P=0$となる。
このことにより $P_M > P=0$ となり、原動機(同期発電機)は加速し $\delta_0 \to \delta_c$ と相差角が拡大する。
つまり脱調しない為には下式条件を満足することが必要がある。
(式) $S_1 \le S_2$



5図

原動機出力 P_M

回転系(原とG)の慣性定数をM, 定格角速度 ω_m [rad/s], δ [rad]は E_s とVの相差角とすると、故障中の運動方程式は(5)式。

$$P_M=P_0=\frac{M}{\omega_m}\cdot\frac{d^2}{dt^2}\delta \quad (5)$$

(5)式積分して

$$\int_0^t P_0\,dt=\frac{M}{\omega_m}\cdot\frac{d}{dt}\delta$$

$$P_0 t=\frac{M}{\omega_m}\cdot\frac{d}{dt}\delta \quad (6)$$

(6)式積分

$$\int_0^t P_0 t\,dt=\int_{\delta_0}^{\delta_c'}\frac{M}{\omega_m}\,d\delta$$

$$\frac{P_0}{2}t^2=\frac{M}{\omega_m}\left[\delta_c'-\delta_0\right]$$

$$t=\sqrt{\frac{2M(\delta_c'-\delta_0)}{\omega_m P_0}}\ [s] \quad (7)$$

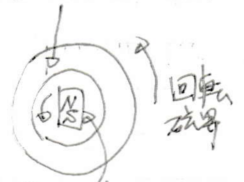
上式 t(s) が安定限界故障時間である。

(7)式中の δ_c' は(4)式より下式。

$$\delta_c'=\cos^{-1}\left\{\frac{(\delta_m-\delta_0)\sin\delta_0}{r_2}+\cos\delta_m\right\}$$

(注) 補足説明

慣性定数 $M=I\omega_m^2$ [W·s]
← 定義。 $I=J=GR^2$ のこと。



A図 回転子

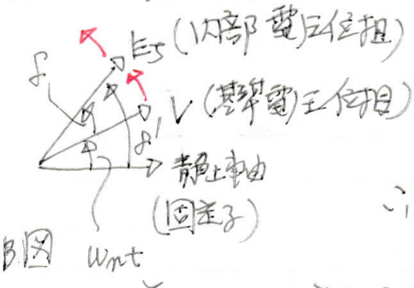
A図とB図より

$$\delta'=\omega_m t+\delta$$

$$\frac{d}{dt}\delta'=\omega_m+\frac{d}{dt}\delta$$

$$\omega=\omega_m+\frac{d}{dt}\delta$$

$$\therefore \frac{d}{dt}\omega=\frac{d^2}{dt^2}\delta$$



B図

δ: 相差角 ωm: 定格角速度

又4図より $P_0=P_M=\omega T_a$ で $T_a=I\frac{d}{dt}\omega$ である。

$$P_0=\omega I\frac{d}{dt}\omega=\omega I\frac{d^2}{dt^2}\delta \quad (\text{左式に}\ \tfrac{\omega_m}{\omega_m}\ \text{をかける。})$$

$$\therefore P_0=\frac{\omega\,\omega_m I}{\omega_m}\cdot\frac{d^2}{dt^2}\delta=\frac{M}{\omega_m}\cdot\frac{d^2}{dt^2}\delta \quad \left\{\text{ただし}\ \omega\fallingdotseq\omega_m\right\}$$