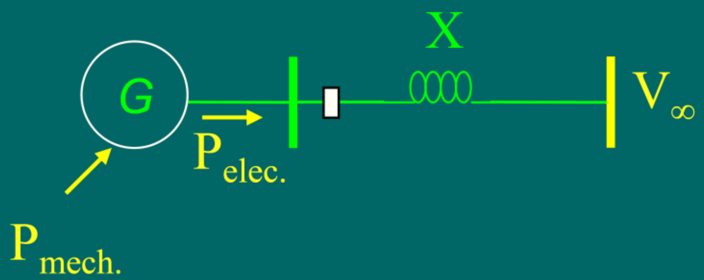
به نام مهربانترین مهربانان

بررسی سیستمهای قدرت ۲

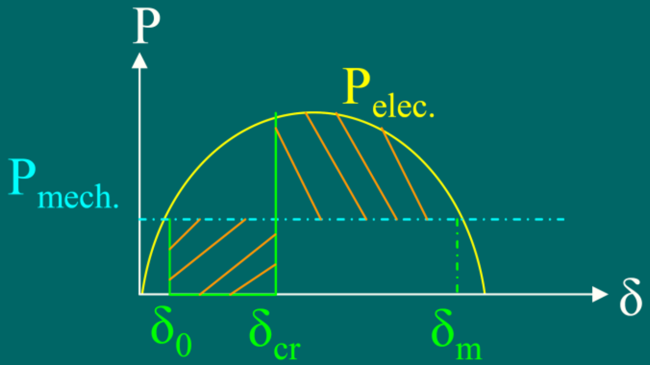
(بخش سوم)

مدرس: دکتر امیر نیک بخش

مثال 5-1



یک ژنراتور با P_{max}=2.4 از طریق یک خط انتقال توان 0.67 پریونیت را به یک باس بی نهایت تحویل می دهد. اگر در خط انتقال یک اتصال کوتاه سه فاز رخ دهد و ریکلوزر خط را برای لحظاتی قطع کند. زاویه بحرانی رفع اتصال کوتاه را بیابید.



$$P_e(\delta_0) = P_{\max}\sin\delta_0 = P_m$$

$$2.4\sin\delta_0 = 0.67$$

$$\delta_0 = 16.21^\circ = 0.283^{rad}$$

$$\delta_m = \pi - \delta_0 = \pi - 0.283^{rad} = 2.859^{rad} = 163.79^\circ$$

$$A_{acc} = \int_{\delta_0}^{\delta_r} \left(P_m - P_e\right) d\delta$$

$$= \int_{0.283^{rad}}^{\delta_{cr}} \left(0.67 - 0\right) d\delta = 0.67(\delta_{cr} - 0.283^{rad})$$

$$A_{acc} = 0.67\delta_{cr} - 0.19$$

ادامه حل مثال 1-6

$$A_{dec}^{\max} = \int_{\delta_{cr}}^{\delta_m} \left(P_e - P_m\right) d\delta$$

$$= \int_{\delta_{cr}}^{2.859^{rad}} \left(2.4\sin\delta - 0.67\right) d\delta =$$

$$= -2.4\cos(2.859^{rad}) + 2.4\cos\delta_{cr} - 0.67(2.859^{rad} - \delta_{cr})$$

$$A_{dec}^{\max} = 0.389 + 2.4\cos\delta_{cr} + 0.67\delta_{cr}$$

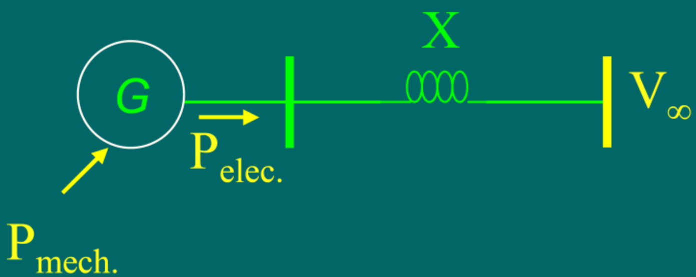
$$A_{acc} = A_{dec}^{\max}$$

$$0.67\delta_{cr} - 0.19 = 0.389 + 2.4\cos\delta_{cr} + 0.67\delta_{cr}$$

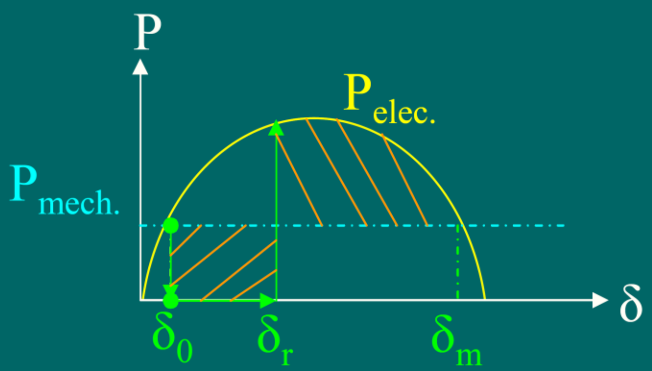
$$2.4\cos\delta_{cr} = -0.19 - 0.389$$

$$\delta_{cr} = 1.814^{rad} = 104^{\circ}$$

مثال 2-5



یک ژنراتور با حداکثر قدرت 2 و ثابت اینرسی 5 ثانیه و فرکانس 50 هرتز توسط یک خط انتقال به یک باس بی نهات متصل است و توان یک پریونیت را به آن تحویل می دهد. اگر خط انتقال به مدت 0.2 ثانیه قطع شده و دوباره وصل شود. آیا ژنراتور پایدار خواهد ماند یا خیر؟



حل: ابتدا شکل را رسم می کنیم:

ادامه حل مثال 2-5

زاویه معادل 0.2 ثانیه را محاسبه می کنیم

$$for \quad 0 \le t \le 0.2 \sec \quad :$$

$$\ddot{\delta} = \frac{\pi f_0}{H}(P_m - P_e) = \frac{50\pi}{5}(1-0) = 10\pi$$

$$\ddot{\delta} = \frac{d\dot{\delta}}{dt} = 10\pi \quad \Rightarrow \quad d\dot{\delta} = 10\pi dt$$

$$\int_{\dot{\delta}(0)=0}^{\dot{\delta}(t)} d\dot{\delta} = \int_{t=0}^{t} 10\pi dt$$

$$\dot{\delta} - 0 = 10\pi(t-0)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = 10\pi t \quad \Rightarrow \quad d\delta = 10\pi t dt$$

$$\int_{\delta_0}^{\delta(t)} d\delta = \int_{t=0}^{t} 10\pi t dt$$

$$\delta(t) - \delta_0 = \frac{10\pi}{2}(t^2 - 0^2)$$

$$\delta(t) = \frac{10\pi}{2}t^2 + \delta_0$$

ادامه حل مثال 5-2

محاسبه δ_0:

$$P_e(\delta_0) = P_{\max}\sin\delta_0 = P_m$$

$$2\sin\delta_0 = 1$$

$$\delta_0 = 30^\circ = 0.524^{rad}$$

$$\delta_m = \pi - \delta_0 = \pi - 0.524^{rad} = 2.618^{rad} = 150^\circ$$

محاسبه δ_r:

$$\delta(t) = \frac{10\pi}{2}t^2 + \delta_0$$

$$\delta_r = \delta(0.2) = \frac{10\pi}{2}0.2^2 + 0.524 = 1.152rad = 66.0^\circ$$

ادامه حل مثال 5-2

محاسبه سطح شتاب دهنده:

$$A_{acc} = \int_{\delta_0}^{\delta_r} (P_m - P_e) d\delta$$

$$= \int_{0.524^{rad}}^{1.152} (1-0) d\delta = (1.152 - 0.524) = 0.628$$

محاسبه حداکثر سطح شتاب گیرنده:

$$A_{dec}^{\max} = \int_{\delta_r}^{\delta_m} (P_e - P_m) d\delta$$

$$= \int_{1.152}^{2.618^{rad}} (2\sin\delta - 1) d\delta =$$

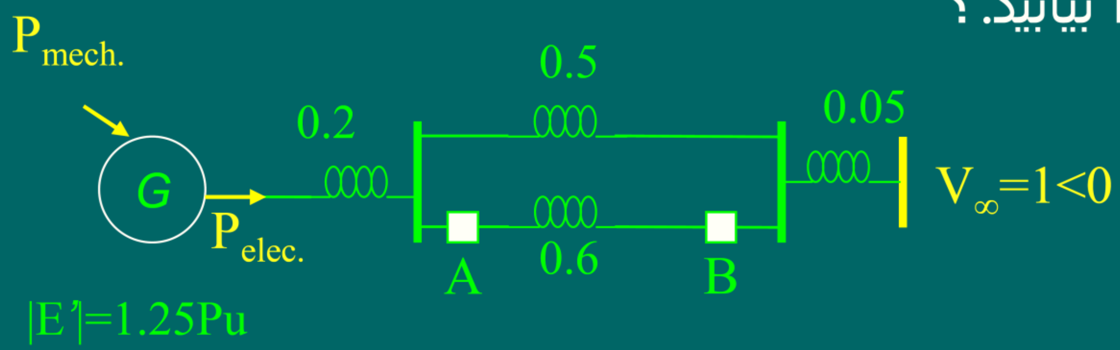
$$= -2\left(\cos(2.618^{rad}) - \cos(1.152^{rad})\right) - \left(2.618^{rad} - 1.152^{rad}\right)$$

$$A_{dec}^{\max} = 1.08$$

$$A_{acc} = 0.628 < A_{dec}^{\max} = 1.08 \quad \Rightarrow \quad Stable$$

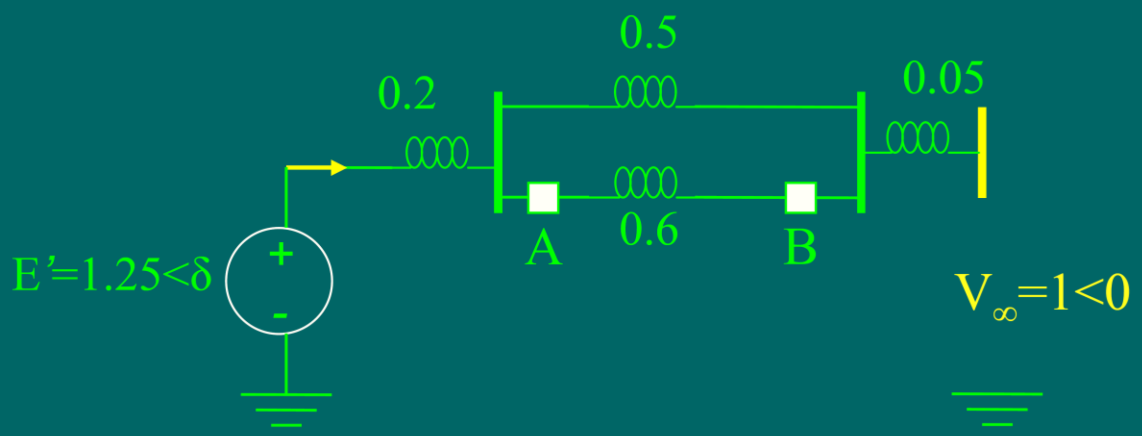
مثال 3-5

در سیستم قدرت شکل زیر هنگامیکه ژنراتور توان یک پریونیت را به سیستم تحویل می دهد، یک اتصال کوتاه سه فاز متقارن دقیقا در وسط خط *AB* رخ می دهد. سپس کلیدهای *A* و *B* بطور همزمان عمل نموده و اتصال کوتاه را برطرف می کنند. زاویه بحرانی رفع اتصال کوتاه را بیابید.؟



حل: ابتدا شکل را رسم می کنیم:

حل: شکل در حالت قبل از اتصال کوتاه:

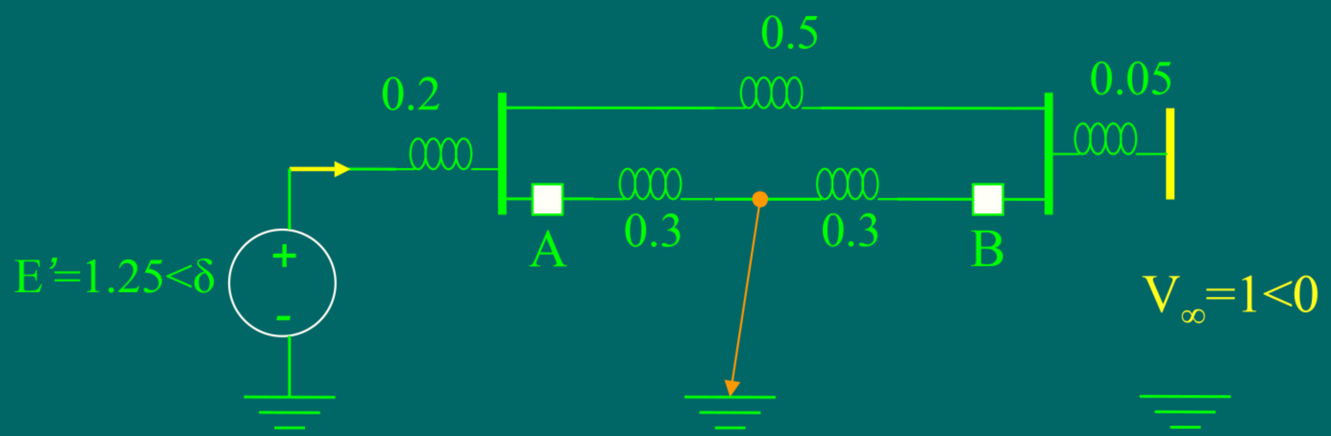


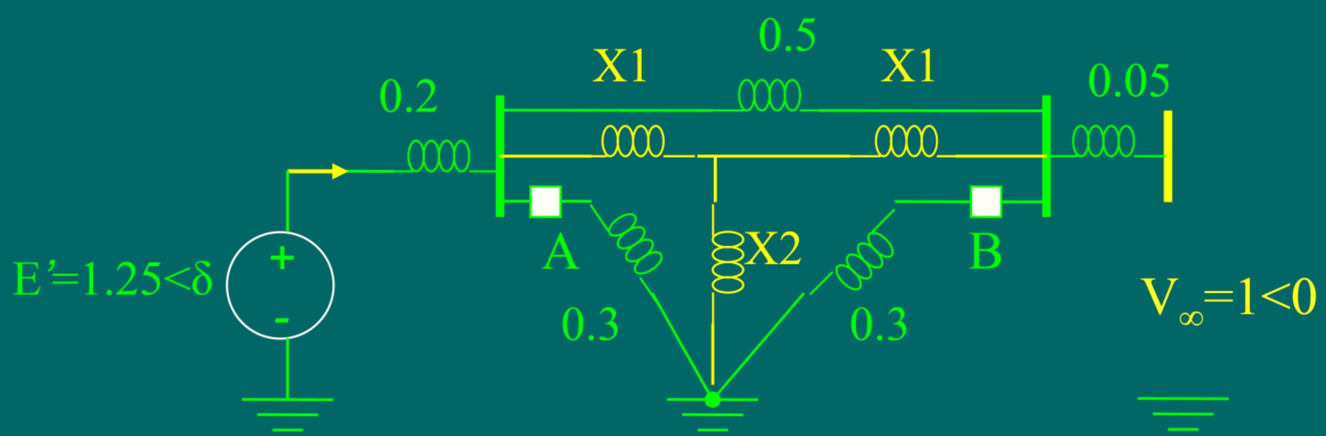
$$X_{e1} = 0.2 + (0.5 \| 0.6) + 0.05 = 0.523$$

$$P_{e1} = \frac{1.25 \times 1}{0.523} \sin(\delta - 0) = 2.39 \sin\delta$$

$$P_{e1} = P_m \quad \Rightarrow \quad 2.39 \sin\delta_0 = 1 \quad \Rightarrow \quad \delta_0 = 24.72^\circ = 0.431^{rad}$$

حل: شکل در حالت حین اتصال کوتاه:

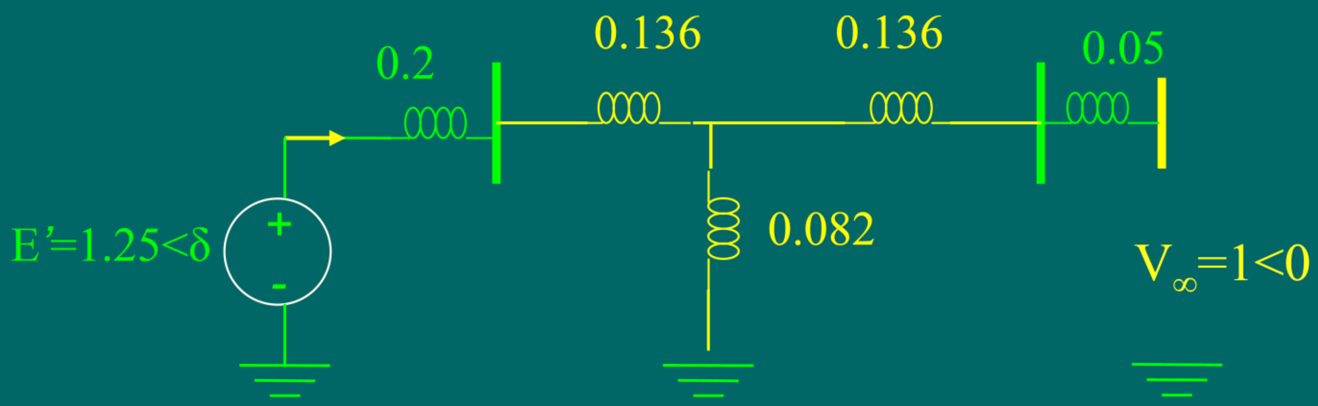


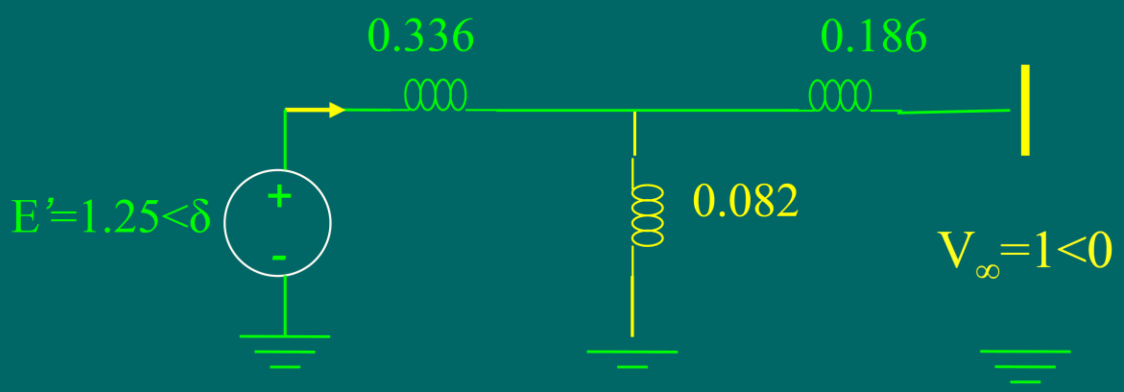


$$X_1 = \frac{0.5 \times 0.3}{0.5 + 0.3 + 0.3} = 0.136$$

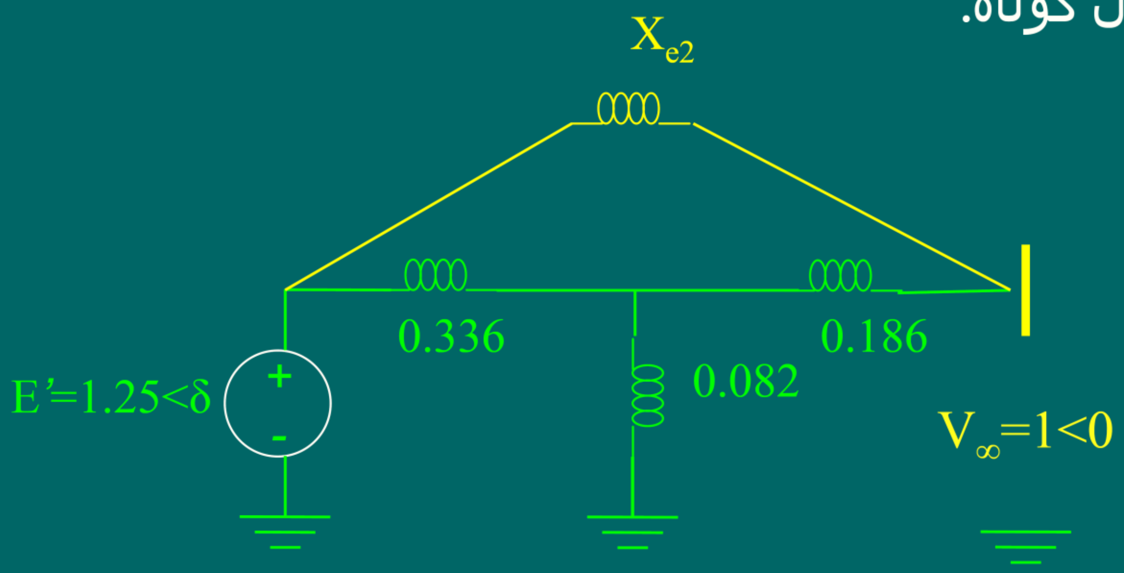
$$X_2 = \frac{0.3 \times 0.3}{0.5 + 0.3 + 0.3} = 0.082$$

حل: ادامه حالت حین اتصال کوتاه:





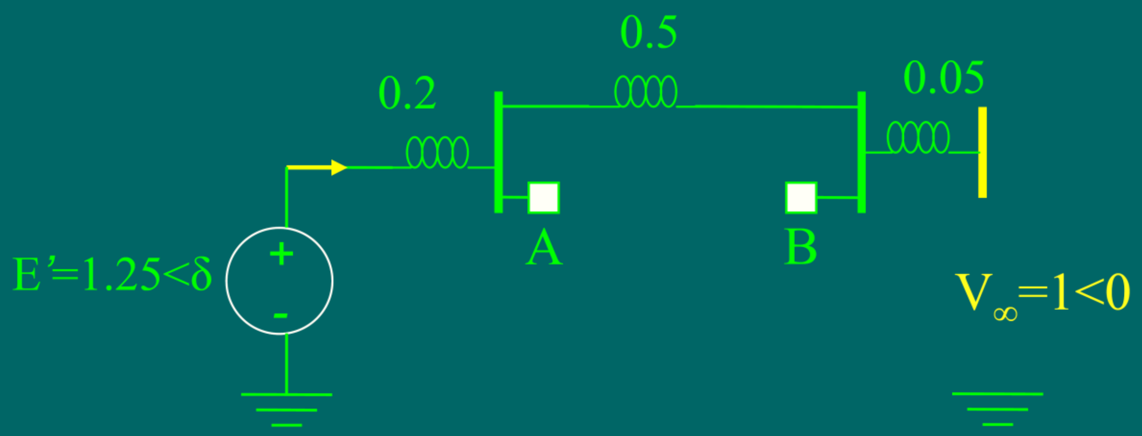
حل: ادامه حالت حین اتصال کوتاه:



$$X_{e2} = \frac{0.336\times 0.186 + 0.336\times 0.082 + 0.186\times 0.082}{0.082} = 1.284$$

$$P_{e2} = \frac{1.25\times 1}{1.284}\sin(\delta - 0) = 0.97\sin\delta$$

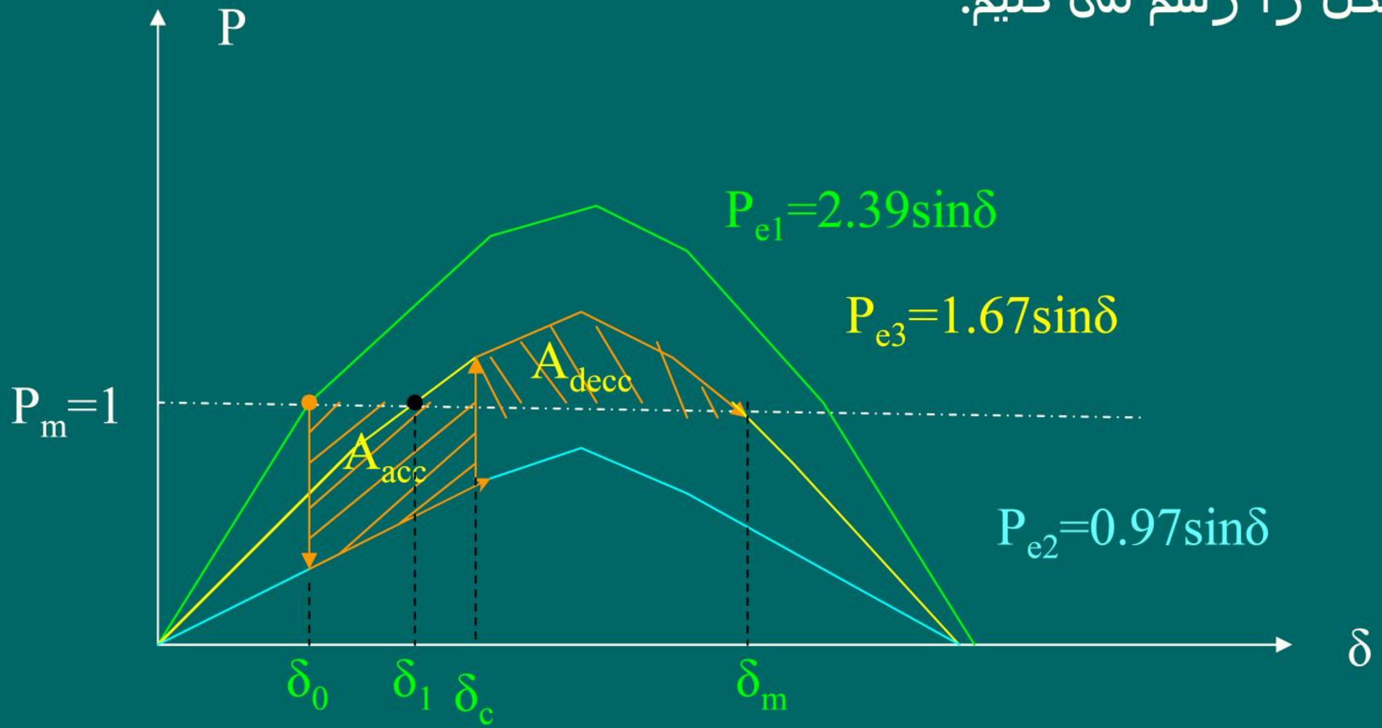
حل: شکل در حالت بعد از رفع اتصال کوتاه (قطع خط AB):



$$X_{e3} = 0.2 + 0.5 + 0.05 = 0.75$$

$$P_{e3} = \frac{1.25 \times 1}{0.75} \sin(\delta - 0) = 1.67 \sin \delta$$

ادامه حل: شکل را رسم می کنیم:



$$P_{e3} = P_m \quad \Rightarrow \quad 1.67\sin\delta_1 = 1 \quad \Rightarrow \quad \delta_1 = 36.78^\circ = 0.64^{rad}$$

$$\delta_m = \pi - \delta_1 = \pi - 0.64^{rad} = 2.45^{rad} = 57.30^\circ$$

ادامه حل مثال 5-3

محاسبه سطح شتاب دهنده:

$$A_{acc} = \int_{\delta_0}^{\delta_c} (P_m - P_e) d\delta = \int_{0.431^{rad}}^{\delta_c} (1 - 0.97 \sin\delta) d\delta$$

$$= (\delta_c - 0.431) + 0.97\left(\cos\delta_c - \cos 0.431^{rad}\right) =$$

$$= \delta_c + 0.97\cos\delta_c - 1.312$$

محاسبه سطح شتاب گیرنده:

$$A_{dec}^{\max} = \int_{\delta_c}^{\delta_m} (P_e - P_m) d\delta = \int_{\delta_c}^{2.45^{rad}} (1.67\sin\delta - 1) d\delta =$$

$$= -1.67\left(\cos 2.45^{rad} - \cos\delta_c\right) - \left(2.45^{rad} - \delta_c\right)$$

$$A_{dec}^{\max} = \delta_c + 1.67\cos\delta_c - 1.164$$

$$A_{acc} = A_{dec}^{\max}$$

$$\delta_c + 0.97\cos\delta_c - 1.312 = \delta_c + 1.67\cos\delta_c - 1.164$$

$$0.7\cos\delta_c = -0.148$$

$$\delta_c = 102.2^{\circ}$$

مثال 3-6

در سیستم قدرت شکل زیر هنگامیکه ژنراتور توان یک پریونیت را به سیستم تحویل می دهد، یک اتصال کوتاه سه فاز متقارن در نقطه P رخ می دهد. سپس کلیدهای A و B بطور همزمان عمل نموده و اتصال کوتاه را برطرف می کنند. زاویه بحرانی برطرف نمودن اتصال کوتاه را محاسبه کنید.

solu

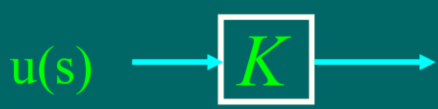
فصل ششم : کنترل دینامیکی سیستم قدرت

- هدف این فصل : چگونگی نگهداشتن سیستم قدرت در حالت کار نرمال در هنگام تغییرات کم بار
- این کار توسط کنترل پیوسته و خودکار سیستم قدرت انجام می گیرد.
- در ژنراتورهای بزرگ دو حلقه کنترل اصلی داریم:
1- حلقه کنترل خودکار ولتاژ (*AVR*) برای تنظیم ولتاژ
2- حلقه کنترل خودکار بار-فرکانس (*ALFC*) برای تنظیم توان حقیقی خروجی و فرکانس که خود از دو حلقه تشکیل شده است:
- حلقه *ALFC* اولیه که سریع به تغییر فرکانس پاسخ می دهد ولی فرکانس را بطور غیردقیق کنترل می کند.
- حلقه *ALFC* ثانویه که کندتر به تغییر فرکانس پاسخ می دهد ولی فرکانس را بطور دقیق تنظیم می کند.

تابع انتقال یک سیستم خطی

- تابع انتقال نسبت خروجی به ورودی است.

- سیستم بدون تاخیر



$$y(s) = k \cdot u(s)$$

تابع انتقال : $$G(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = k$$

تابع انتقال یک سیستم خطی با تاخیر

$$u(s) \longrightarrow \boxed{\dfrac{K}{1+ST}} \longrightarrow y(s)$$

تابع انتقال :

$$G(s)=\frac{y(s)}{u(s)}=\frac{K}{1+ST}$$

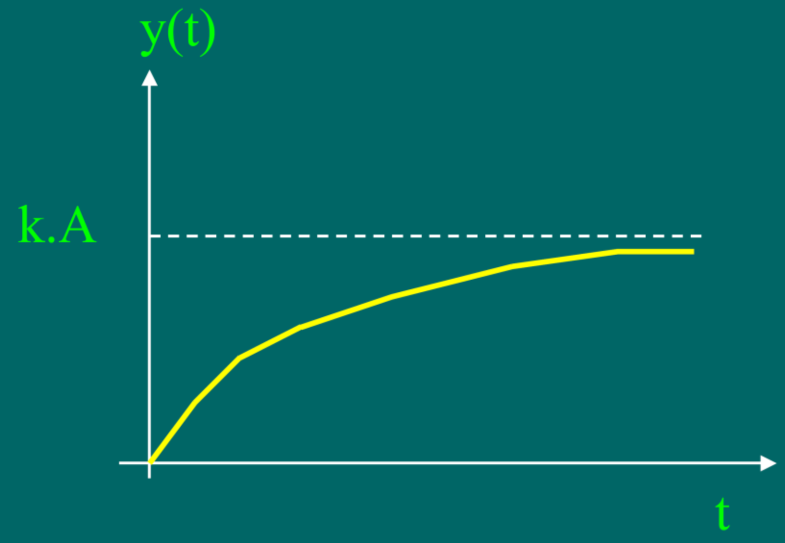
K: گین (بهره)

T: ثابت زمانی تاخیر

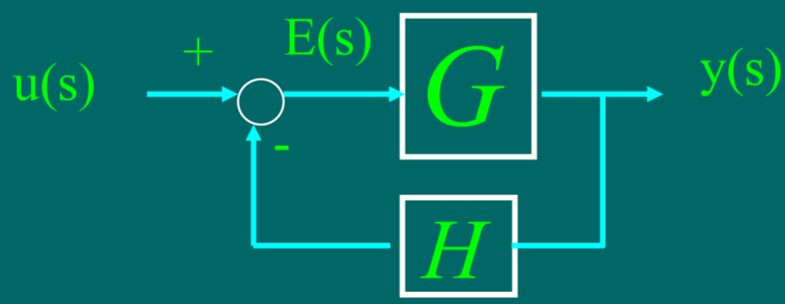
$$if \quad u(s)=\frac{A}{s}$$

$$y(s)=G(s)u(s)=\frac{K}{1+sT}\cdot\frac{A}{s}=KA\left(\frac{1}{s}-\frac{1}{s+\frac{1}{T}}\right)$$

$$y(t)=KA\left(1-e^{-\frac{t}{T}}\right) \quad for \quad t\geq 0$$



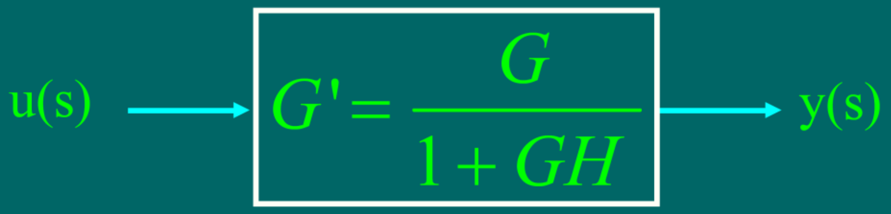
تابع انتقال یک سیستم مدار بسته



$$y = G.E = G(u - Hy) = Gu - GHy$$

$$y = \frac{G.u}{1 + G.H}$$

تابع انتقال : $G'(s) = \dfrac{y(s)}{u(s)} = \dfrac{G}{1 + GH}$



ادامه تابع انتقال یک سیستم مدار بسته

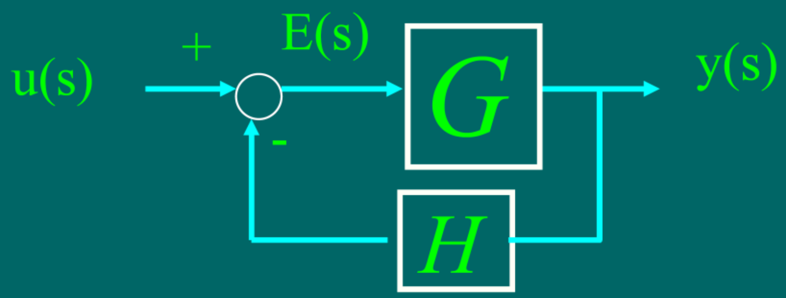
$$
if \quad \begin{cases} u(s) = \dfrac{A}{s} \\ G = \dfrac{K}{1+sT} \\ H = 1 \end{cases}
$$

$$
G' = \frac{G}{1+GH} = \frac{\dfrac{K}{1+sT}}{1+\left(\dfrac{K}{1+sT}\right)\times 1} = \frac{\left(\dfrac{K}{K+1}\right)}{1+s\left(\dfrac{T}{K+1}\right)} = \frac{K'}{1+sT'}
$$

$$
K' = \frac{K}{K+1} \qquad T' = \frac{T}{K+1}
$$

$$
y(t) = K'A\left(1-e^{-\frac{t}{T'}}\right) = \left(\frac{K}{K+1}\right)A\left(1-e^{-\frac{t}{\left(\frac{T}{K+1}\right)}}\right) \quad for \quad t \geq 0
$$

خطا در یک سیستم مدار بسته



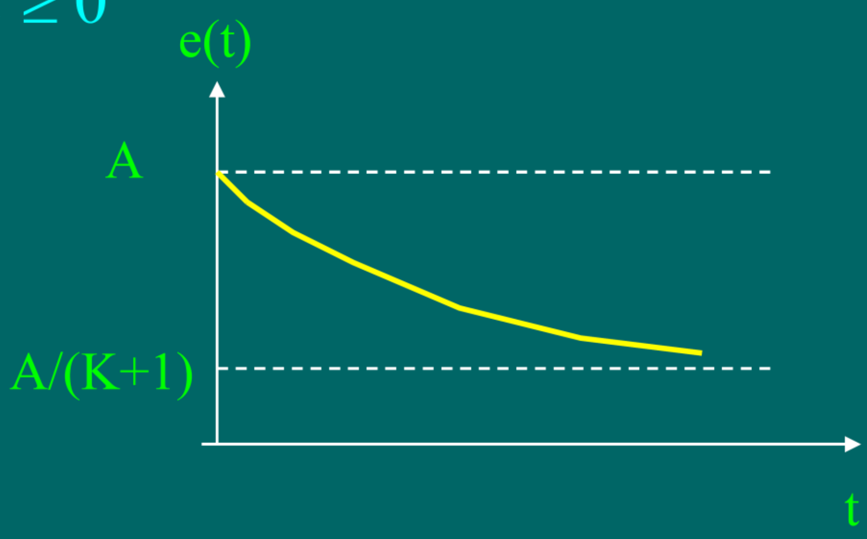
خطا :
$$E = u - Hy = u - H\left(\frac{G.u}{1+G.H}\right) = \frac{u}{1+G.H}$$

رسم تابع زمانی خطا در سیستم مدار بسته

$$\text{if}\quad \begin{cases} u(s)=\dfrac{A}{s} \\ G=\dfrac{K}{1+sT} \\ H=1 \end{cases}$$

$$E=\frac{u}{1+GH}=\frac{\left(\frac{A}{s}\right)}{1+\left(\frac{K}{1+sT}\right)\times 1}=\frac{A(1+ST)}{s(ST+1+K)}=\frac{A}{K+1}\left(\frac{1}{S}-\frac{k}{s+\frac{K+1}{T}}\right)$$

$$e(t)=\left(\frac{A}{K+1}\right)\left(1+ke^{\frac{-kt}{k+1}}\right)\quad for\quad t\geq 0$$



تابع انتقال برای یک سیستم پیچیده

- تابع انتقال سیستمهای پیچیده را از قاعده میسون بدست می آوریم:
- قاعده میسون برای یک سیستم تک حلقه ای با یک ورودی:

$$Y = \frac{PU}{1-L}$$

Y: خروجی

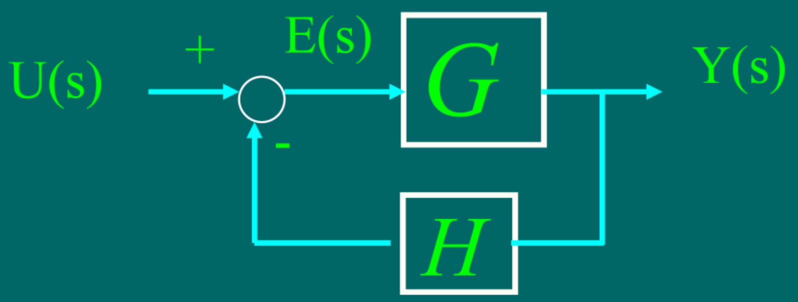
U : ورودی

L : حلقه

P: مسیر ورودی U تا خروجی

مثال 1-6

- بدست آوردن خروجی و خطا برای یک سیستم مدار بسته با استفاده از قاعده میسون:



- بدست آوردن خروجی :

$$P = G \qquad L = -GH$$

تابع انتقال خروجی :

$$Y = \frac{P.U}{1-L} = \frac{G.U}{1-(-GH)} = \frac{G.U}{1+GH}$$

- بدست آوردن خطا :

$$P = 1 \qquad L = -GH$$

تابع انتقال خطا :

$$E = \frac{P.U}{1-L} = \frac{1.U}{1-(-GH)} = \frac{U}{1+GH}$$

قاعده میسون برای یک سیستم دو حلقه ای

- قاعده میسون برای یک سیستم دو حلقه ای با دو ورودی:

$$Y = \frac{P_1 U_1 + P_2 U_2}{1 - (L_1 + L_2) + L_1 L_2}$$

Y: خروجی

U_1 و U_2: ورودیها

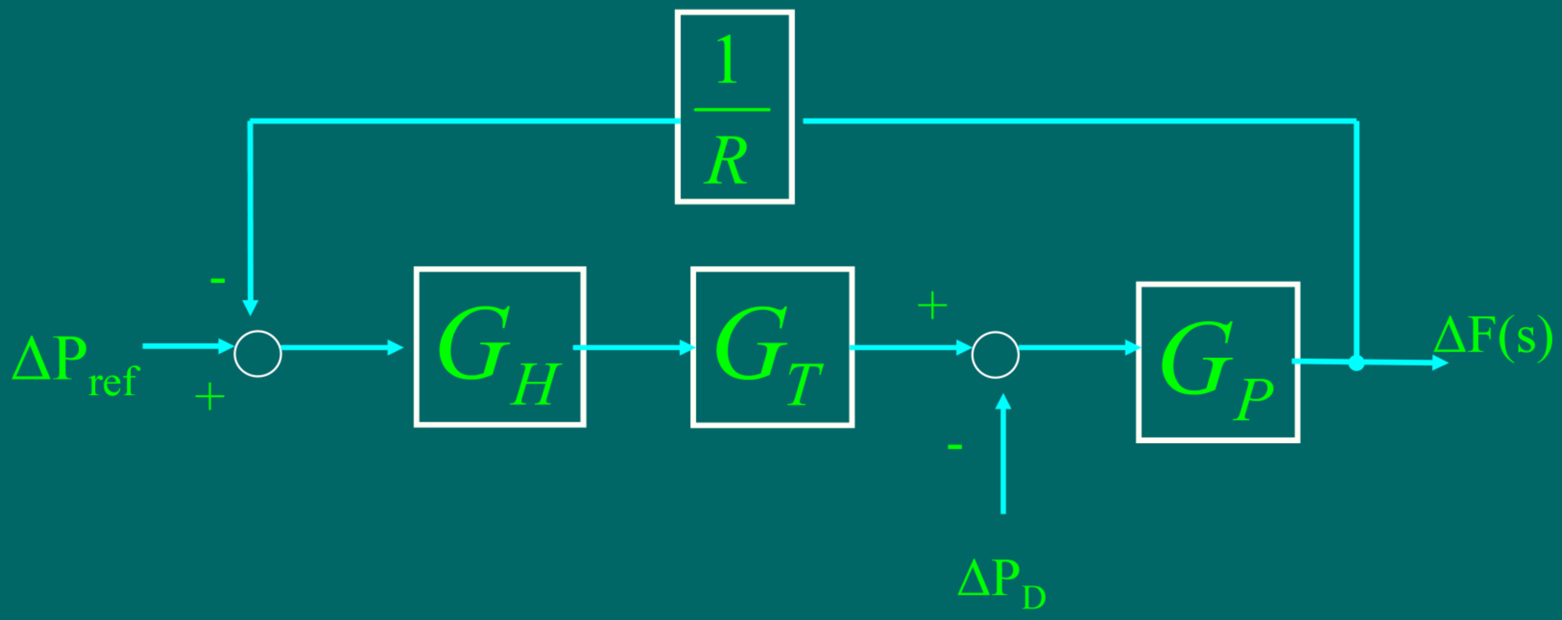
L_1 و L_2 : حلقه ها　　　$L_1.L_2$ موقعی است که اشتراک نداشته باشند.

P_1: مسیر ورودی U_1 تا خروجی

P_2: مسیر ورودی U_2 تا خروجی

مثال 6-2

- قاعده میسون برای یک سیستم تک حلقه ای با دو ورودی:



حل مثال 6-2

- خروجی ΔF:

$$L_1 = -G_H G_T G_P \left(\frac{1}{R}\right) \qquad L_2 = 0$$

$$U_1 = \Delta P_{ref} \qquad U_2 = \Delta P_D$$

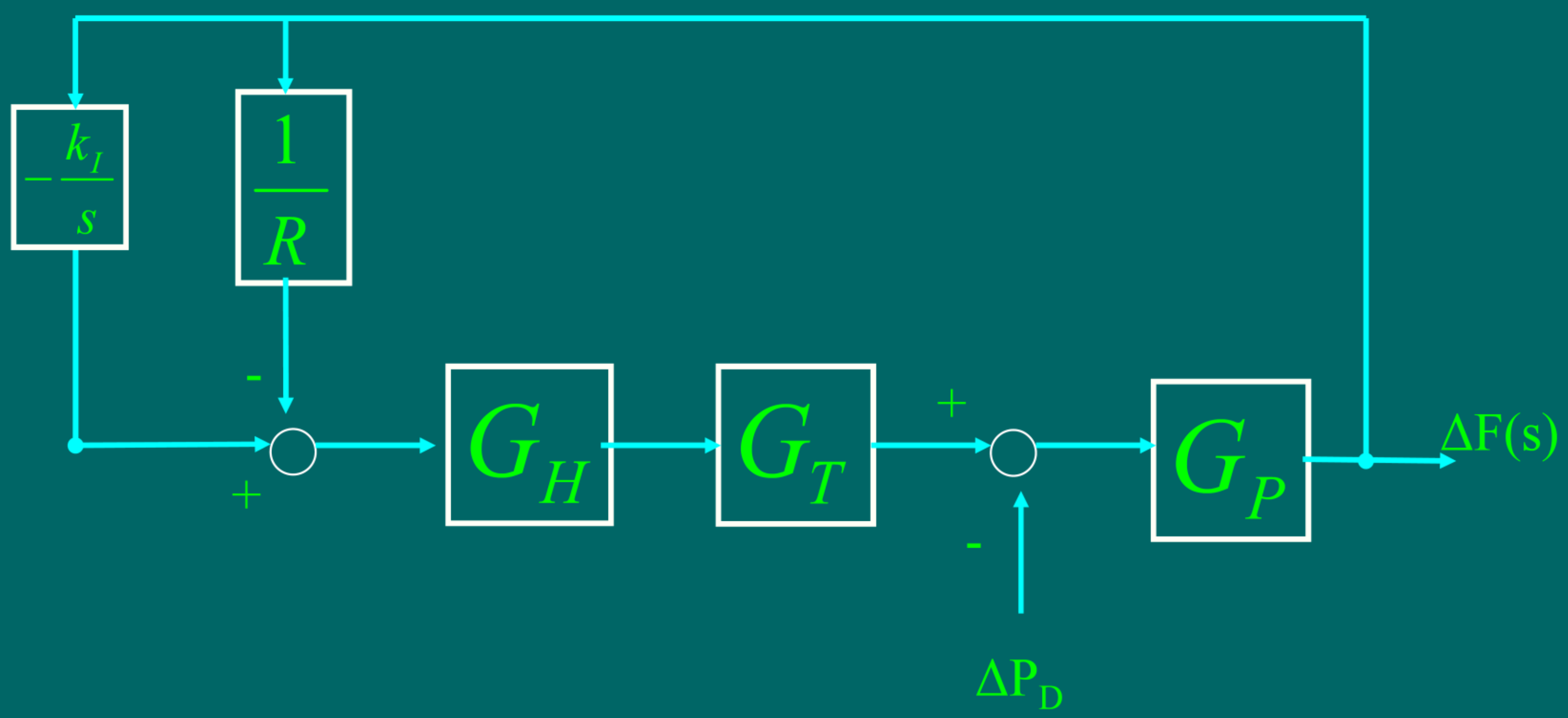
$$P_1 = G_H G_T G_P \qquad P_2 = -G_P$$

$$\Delta F = \frac{P_1 U_1 + P_2 U_2}{1 - (L_1 + L_2) + L_1 L_2} = \frac{(G_H G_T G_P)\Delta P_{ref} + (-G_P)\Delta P_D}{1 - \left(-G_H G_T G_P \left(\frac{1}{R}\right) + 0\right) + 0}$$

$$\Delta F = \frac{(G_H G_T G_P)\Delta P_{ref} + (-G_P)\Delta P_D}{1 + G_H G_T G_P \left(\frac{1}{R}\right)}$$

مثال 3-6

- قاعده میسون برای یک سیستم دو حلقه ای با یک ورودی:



حل مثال 6-3

- خروجی ΔF:

$$L_1 = -G_H G_T G_P \left(\frac{1}{R}\right) \qquad L_2 = G_H G_T G_P \left(\frac{-K_I}{s}\right)$$

$$U = \Delta P_D \qquad P = -G_P$$

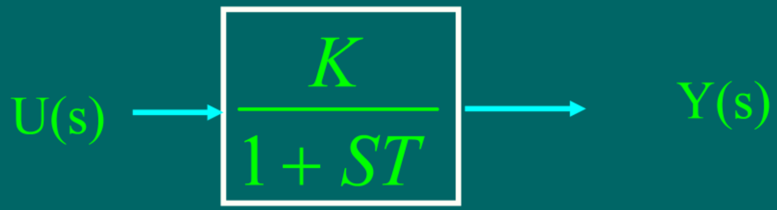
$$\Delta F = \frac{PU}{1-(L_1+L_2)+L_1 L_2} = \frac{(-G_P)\Delta P_D}{1-\left(-G_H G_T G_P\left(\frac{1}{R}\right)+G_H G_T G_P\left(\frac{-K_I}{s}\right)\right)+0}$$

$$\Delta F = \frac{(-G_P)\Delta P_D}{1+G_H G_T G_P\left(\frac{1}{R}+\frac{K_I}{s}\right)}$$

محاسبه مقدار نهائی (*steady state*)

$$y_{ss} = \lim_{t \to \infty} y(t) = \lim_{s \to 0} sY(s)$$

مثال 6-4: محاسبه مقدار نهائی سیستم با تاخیر

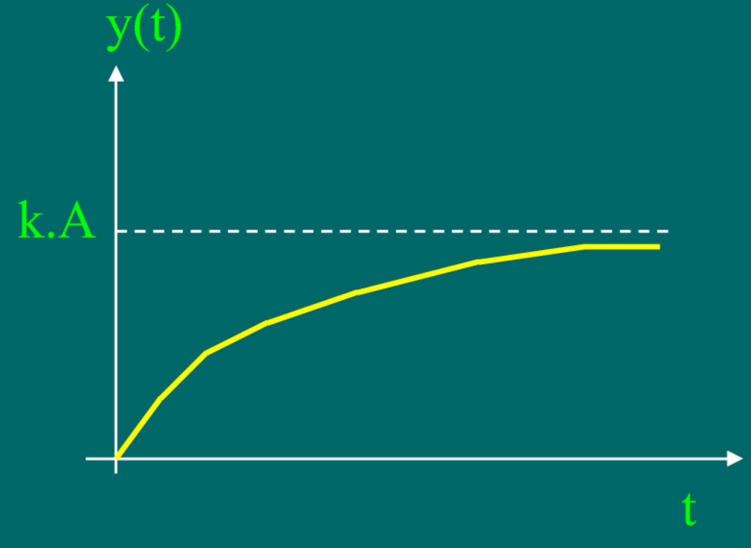


$$Y(s) = \frac{K}{1+ST} U(s)$$

$$if \quad U(s) = \frac{A}{s}$$

$$Y(s) = G(s)u(s) = \frac{K}{1+sT} \cdot \frac{A}{s} = KA\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s+\frac{1}{T}} \right)$$

$$y(t) = KA\left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad for \quad t \geq 0$$



حل مثال با استفاده از قضیه مقدار نهائی

$$y_{ss} = \lim_{t\to\infty} y(t) = \lim_{t\to\infty} KA\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) = KA$$

$$y_{ss} = \lim_{s\to0} sY(s) = \lim_{s\to0} s\left(\frac{K}{1+sT}.\frac{A}{s}\right) = \lim_{s\to0} \left(\frac{K.A}{1+sT}\right) = KA$$

پایداری

$$if \quad \lim_{t\to\infty} \left|y(t)\right| < \infty \quad \Rightarrow \quad y\_is\_stable$$

$$Y(S) = K\frac{s^m + \alpha_{m-1}s^{m-1} + \cdots + \alpha_1 s + \alpha_0}{s^n + \beta_{n-1}s^{n-1} + \cdots + \beta_1 s + \beta_0}U(s)$$

$$Y(S) = K\frac{(s-z_1)(s-z_2)\cdots(s-z_m)}{(s-p_1)(s-p_2)\cdots(s-p_n)}U(s)$$

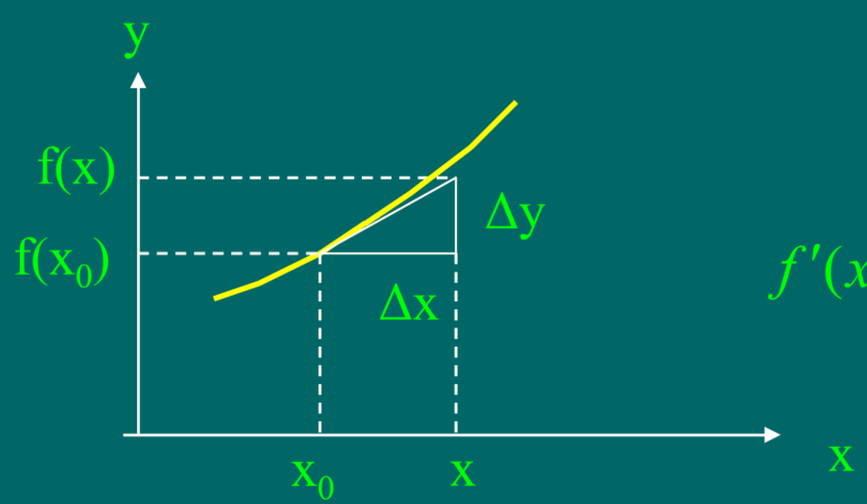
- z_1، z_2، ...، z_m صفرهای سیستم اند.
- p_1، p_2، ...، p_n قطبهای سیستم اند.
- شرط پایداری آن است که همه قطبهای سیستم سمت چپ محور $j\omega$ باشند.

تغییرات سیگنال کوچک

- در این فصل چون فقط کنترل اغتشاشات کوچک (مثلا تغییرات کوچک بار) مدنظر است، بنابراین همه متغیرها فقط تغییرات کوچکی حول نقطه کار خود دارند. لذا با وجود اینکه بیشتر عناصر سیستم غیر خطی هستند، ولی می توان آنها را در محدوده این تغییرات کوچک خطی فرض کرد. به همین دلیل :
  - اولا همه متغیرها را با گذاردن علامت Δ در قبل از آن متغیر نمایش می دهیم، به معنی اینکه فقط تغییرات کوچک آنها مد نظر است.
  - ثانیا همه عناصر حول نقطه کار خطی می شوند. یعنی معادلات دیفرانسیل خطی با ضرائب ثابت داریم که می توان با تبدیل لاپلاس حل نمود.

تقریب خطی در سیگنال کوچک

- تابع غیرخطی $y=f(x)$ را در نظر می گیریم. اگر x تغییرات کوچک حول $x0$ داشته باشد. با توجه به شکل می توان نوشت:

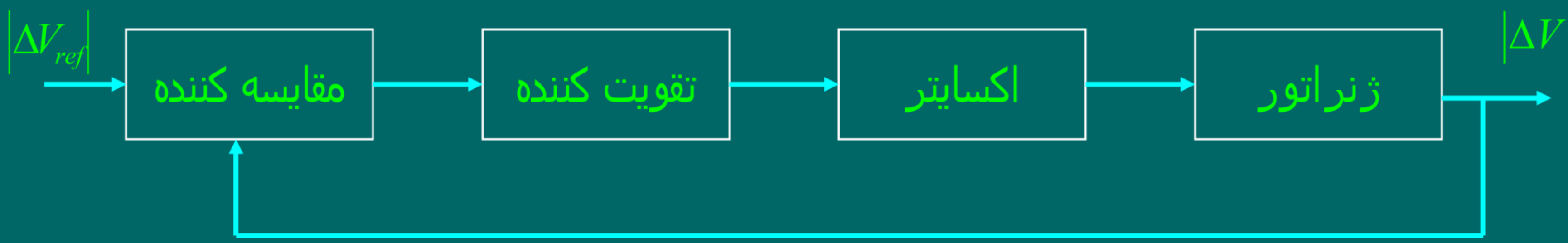


$$f'(x_0) \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \Rightarrow \quad \Delta y = f'(x_0)\Delta x$$

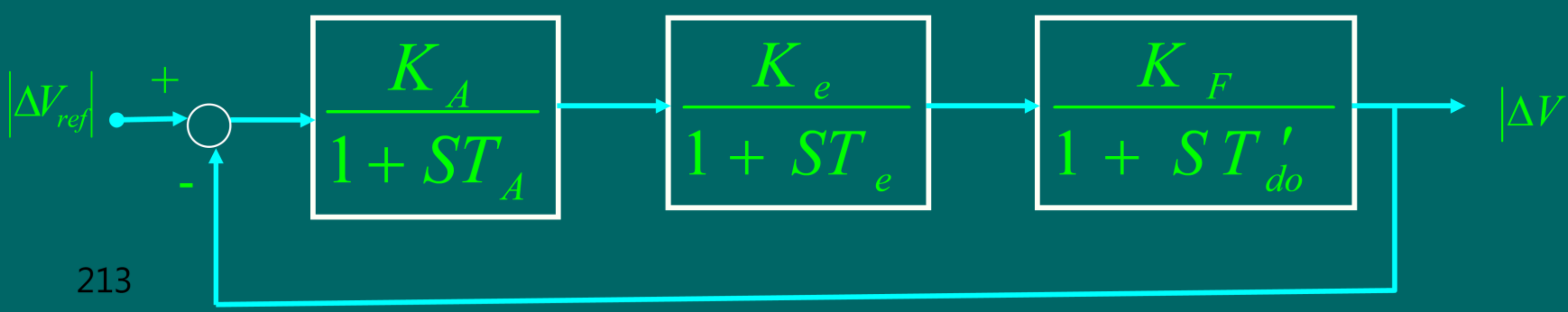
- بنابراین رابطه Δy با Δx تقریبا یک خط با شیب $f'(x_0)$ است.
- رابطه y با x غیر خطی است ولی رابطه تغییرات آنها حول نقطه کار خطی است.

حلقه کنترل اتوماتیک ولتاژ (*AVR*)

- ولتاژ ژنراتور سنکرون توسط حلقه *AVR* در یک مقدار مبنا کنترل می شود.
- اجزای حلقه *AVR* :

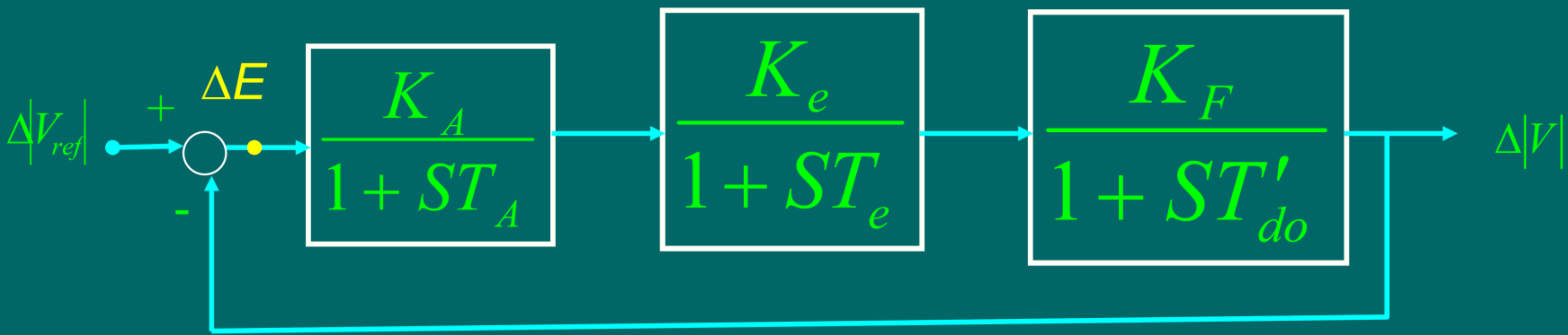


- مدل کنترلی حلقه *AVR* :



بررسی استاتیکی حلقه کنترل *AVR*

- محاسبه خطای حالت ماندگار:



$$\Delta E = \frac{P.U}{1-L} = \frac{1.\Delta|V_{ref}|}{1-\left(-\frac{K_A K_e K_F}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})}\right)} = \frac{\Delta|V_{ref}|}{1+\frac{K_A K_e K_F}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})}}$$

ادامه محاسبه خطای ماندگار کنترل *AVR*

$$if \quad \Delta\left|V_{ref}\right| = \frac{A}{s} \quad :$$

$$\Delta E(s) = \frac{\frac{A}{s}}{1+\frac{K_A K_e K_F}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})}}$$

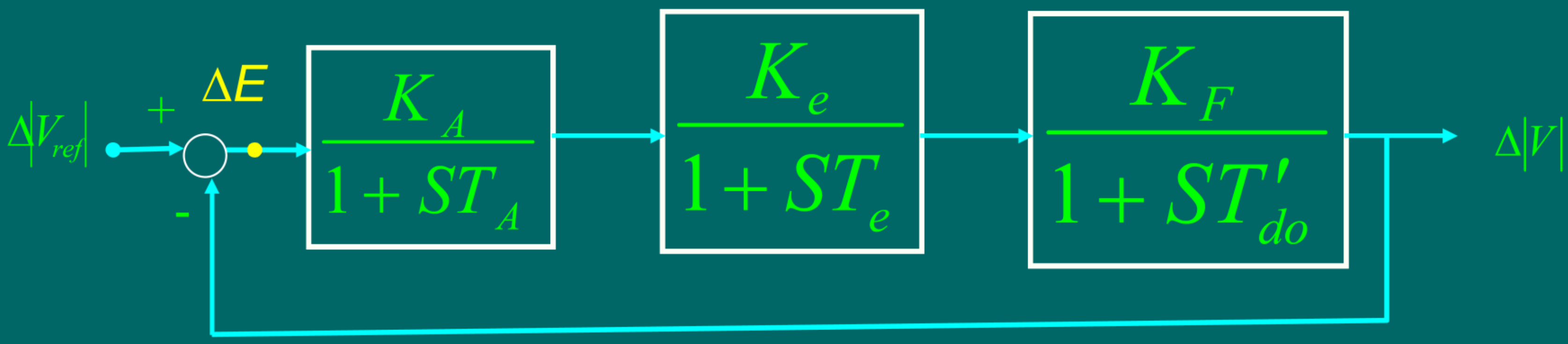
$$\Delta e_{ss} = \lim_{s\to 0} \quad s\Delta E(s) = \lim_{s\to 0} \quad s\left(\frac{\frac{A}{s}}{1+\frac{K_A K_e K_F}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})}}\right) = \frac{A}{1+\underbrace{K_A K_e K_F}_{K}} = \frac{A}{1+K}$$

$$\Delta e_{ss} = \frac{A}{1+K} \le 0.01A \quad \Rightarrow \quad K \ge 99$$

- ملاحظه می شود که خطای حالت ماندگار صفر نیست و اگر بخواهیم خطا کوچک (کمتر از یک درصد ورودی) باشد باید *K* یک عدد بزرگتر از 99 باشد.

بررسی دینامیکی حلقه کنترل AVR

- بررسی پایداری حلقه کنترل AVR:



$$\Delta|V| = \frac{P.U}{1-L} = \frac{\frac{K_A K_e K_F}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})}.\Delta|V_{ref}|}{1-\left(-\frac{K_A K_e K_F}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})}\right)} = \frac{K_A K_e K_F \Delta|V_{ref}|}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})+K_A K_e K_F}$$

$$\Delta|V| = \frac{K\Delta|V_{ref}|}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})+K}$$

$$(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})+K=0$$

مکان هندسی ریشه های مخرج تابع انتقال

- بررسی پایداری حلقه کنترل AVR:

$$(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})+K=0$$

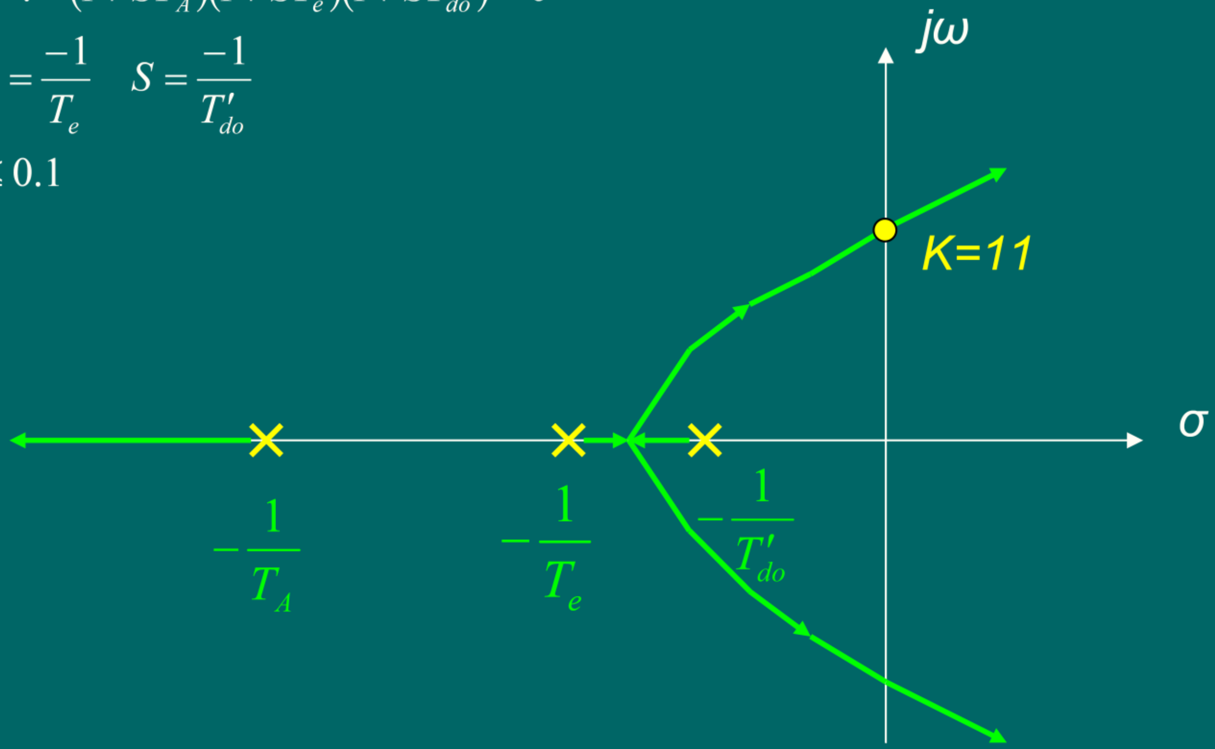
$$if \quad K=0 \quad : \quad (1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})=0$$

$$S=\frac{-1}{T_A} \quad S=\frac{-1}{T_e} \quad S=\frac{-1}{T'_{do}}$$

$$0.02 \le T_A \le 0.1$$

$$0.5 \le T_e \le 1$$

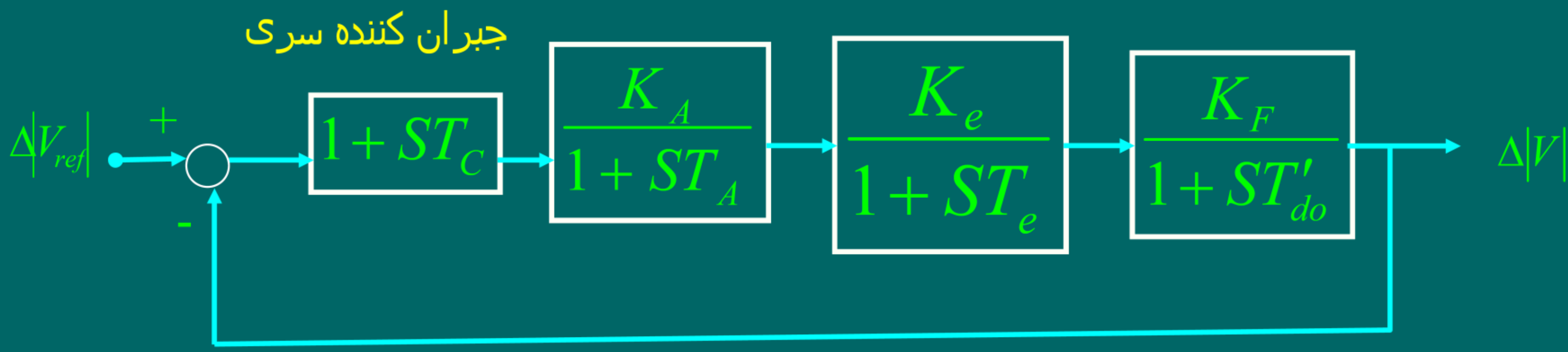
$$T'_{do} \approx 10$$



مکان هندسی ریشه ها نشان می دهد که تا حدود $K=11$ حلقه کنترل فوق پایدار است اما درصورت داشتن K کوچک خطای حالت دائم بزرگ است بنابراین نیاز به کنترل کننده می باشد.

جبران کننده سری برای حلقه AVR

- بررسی پایداری حلقه کنترل AVR با جبران کننده سری:



$$\Delta|V| = \frac{P.U}{1-L} = \frac{\frac{K_A K_e K_F (1+ST_C)}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})}.\Delta|V_{ref}|}{1-\left(-\frac{K_A K_e K_F (1+ST_C)}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do})}\right)} = \frac{K_A K_e K_F (1+ST_C)\Delta|V_{ref}|}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do}) + K_A K_e K_F (1+ST_C)}$$

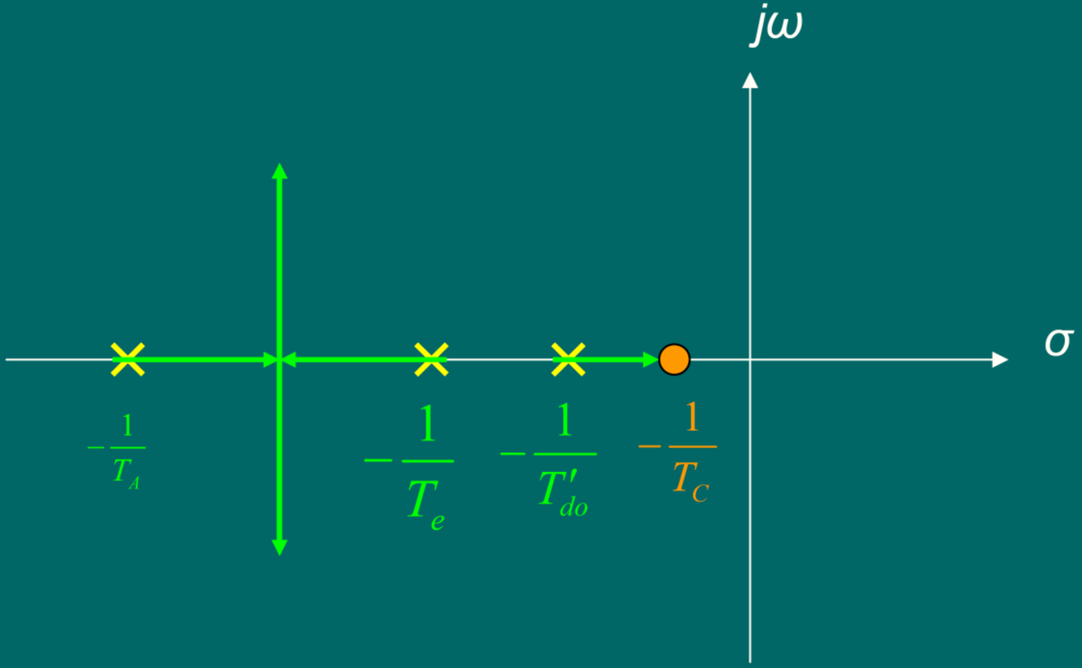
$$\frac{\Delta|V|}{\Delta|V_{ref}|} = \frac{K(1+ST_C)}{(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do}) + K(1+ST_C)}$$

$$(1+ST_A)(1+ST_e)(1+ST'_{do}) + K(1+ST_C) = 0$$

مکان هندسی ریشه های مخرج تابع انتقال جدید

- بررسی پایداری حلقه کنترل *AVR* با وجود جبران کننده سری:

$$\left(1+ST_A\right)\left(1+ST_e\right)\left(1+ST'_{do}\right)+K\left(1+ST_C\right)=0$$



ملاحظه می شود که مکان هندسی ریشه ها به ازای همه مقادیر *K* در سمت چپ محور *jω* قرار دارد بنابراین سیستم کنترل فوق همواره پایدار است.

حلقه کنترل بار-فرکانس (*ALFC*)

- سیستم کنترل بار-فرکانس با کنترل فرکانس توازن توان تولیدی و مصرفی را برقرار می کند.

-مناطق کنترل:

- سیستم قدرت تک منطقه ای

الف) با یک ژنراتور

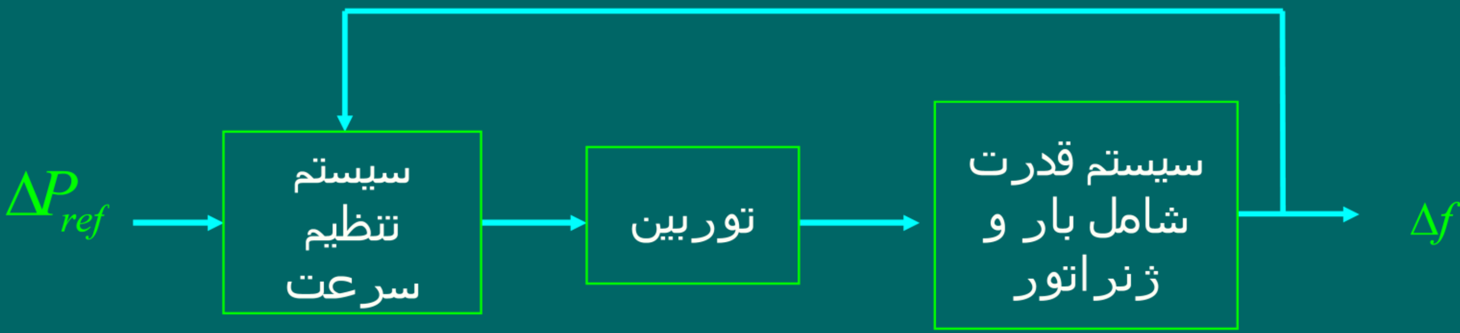
ب) با چند ژنراتور

- سیستم قدرت دو منطقه ای

- سیستم قدرت چند منطقه ای

سیستم قدرت تک منطقه ای با یک ژنراتور

- اجزاء حلقه کنترل بار-فرکانس:

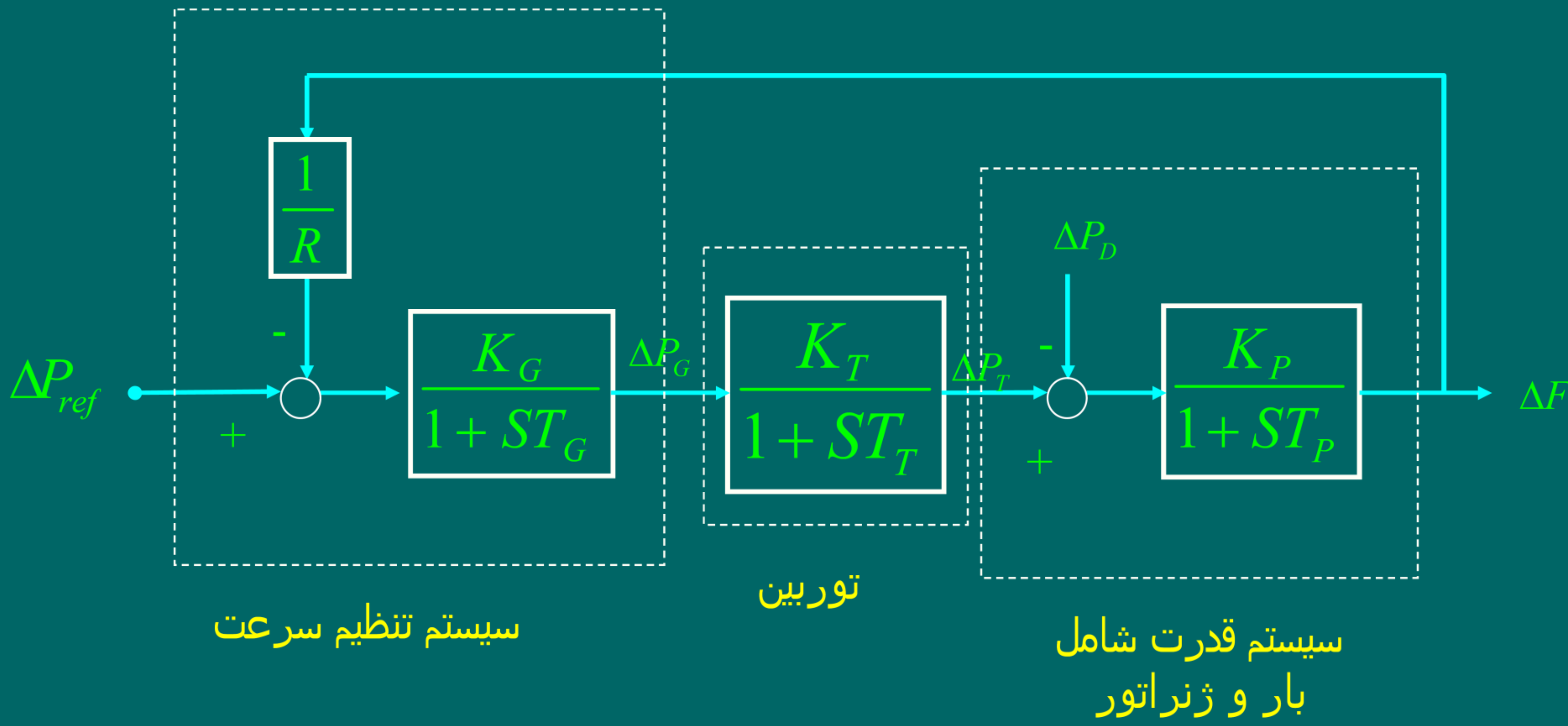


- سیستم تنظیم سرعت (*Speed Governing System*) شامل:
  - تغییر دهنده سرعت (*speed Changer*)
  - تنظیم کننده سرعت (*Speed Governor*)
  - تقویت کننده هیدرولیکی (*hydraulic Amplifier*)
  - شیر کنترل بخار (*Control Valve*)

- حلقه فوق را کنترل بار-فرکانس اولیه (*Primary ALFC*) می نامند.

حلقه کنترل بار-فرکانس اولیه

- اجزاء حلقه کنترل بار-فرکانس:



R : ضریب تنظیم گاورنر بر حسب $Hz / Pu.\ Mw$

مدلسازی سیستم قدرت

-

$$\Delta P_T - \Delta P_D = \frac{dW_{kin}}{dt} + D'.\Delta f$$

تغییرات تولیدی
توان توربین

تغییرات بار

تغییرات انرژی
جنبشی ژنراتور

تغییرات بار بعلت
تغییر فرکانس

محاسبه مشتق انرژی جنبشی

$$\frac{W_{kin}}{W_{Kin}^{0}} = \frac{\frac{1}{2} I\omega^{2}}{\frac{1}{2} I\omega_{0}^{2}} = \left(\frac{\omega}{\omega_{0}}\right)^{2} = \left(\frac{2\pi f}{2\pi f_{0}}\right)^{2} = \left(\frac{f}{f_{0}}\right)^{2} = \left(\frac{f_{0} + \Delta f}{f_{0}}\right)^{2} =$$

$$= \left(1 + \frac{\Delta f}{f_{0}}\right)^{2} = 1 + 2\left(\frac{\Delta f}{f_{0}}\right) + \left(\frac{\Delta f}{f_{0}}\right)^{2} \approx 1 + 2\left(\frac{\Delta f}{f_{0}}\right)$$

$$W_{kin} = \underbrace{W_{Kin}^{0}}_{H.S_{n}}\left(1 + 2\left(\frac{\Delta f}{f_{0}}\right)\right) = H.S_{n}\left(1 + 2\left(\frac{\Delta f}{f_{0}}\right)\right)$$

$$\frac{dW_{kin}}{dt} = \frac{2H.S_{n}}{f_{0}}\frac{d\Delta f}{dt}$$

ادامه مدلسازی سیستم قدرت

$$\Delta P_T - \Delta P_D = \frac{dW_{kin}}{dt} + D'.\Delta f$$

$$\Delta P_T - \Delta P_D = \frac{2H.S_n}{f_0}\frac{d\Delta f}{dt} + D'.\Delta f$$

- معادله فوق را پریونیت می کنیم:

$$\frac{\Delta P_T}{S_n} - \frac{\Delta P_D}{S_n} = \frac{2H.S_n}{f_0 S_n}\frac{d\Delta f}{dt} + \underbrace{\left(\frac{D'}{S_n}\right)}_{D}.\Delta f$$

$$\Delta P_T - \Delta P_D = \frac{2H}{f_0}\frac{d\Delta f}{dt} + D.\Delta f$$

- از معادله فوق تبدیل لاپلاس می گیریم:

ادامه مدلسازی سیستم قدرت

$$\Delta P_T - \Delta P_D = \frac{2H}{f_0}\frac{d\Delta f}{dt} + D.\Delta f$$

$$\Delta P_T(s) - \Delta P_D(s) = \frac{2H}{f_0} s\Delta F(s) + D.\Delta F(s)$$

$$\Delta F(s) = \frac{\Delta P_T(s) - \Delta P_D(s)}{\frac{2H}{f_0}s + D}$$

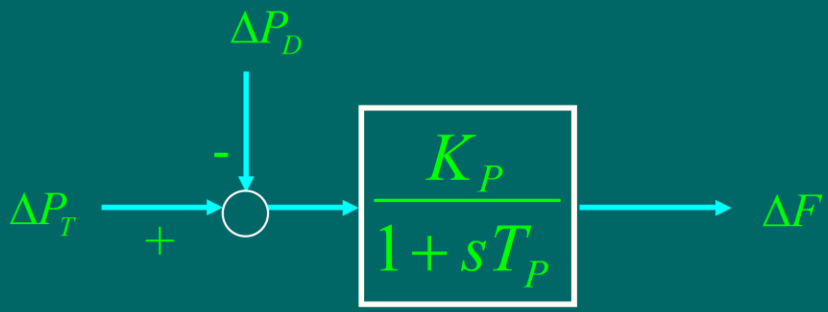
$$\Delta F(s) = \left(\frac{1}{D}\right)\frac{\Delta P_T(s) - \Delta P_D(s)}{1+\left(\frac{2H}{Df_0}\right)s} = K_P\frac{\Delta P_T(s) - \Delta P_D(s)}{1+sT_P}$$

$$K_P = \frac{1}{D} \qquad T_P = \frac{2H}{Df_0}$$

- K_p: بهره سیستم قدرت
- T_P: ثابت زمانی تاخیر سیستم قدرت
- D: دروپ برحسب $Pu.MW / Hz$

مدل نهائی سیستم قدرت

$$\Delta F(s)=\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)\left(\Delta P_T(s)-\Delta P_D(s)\right)$$



محاسبه دروپ

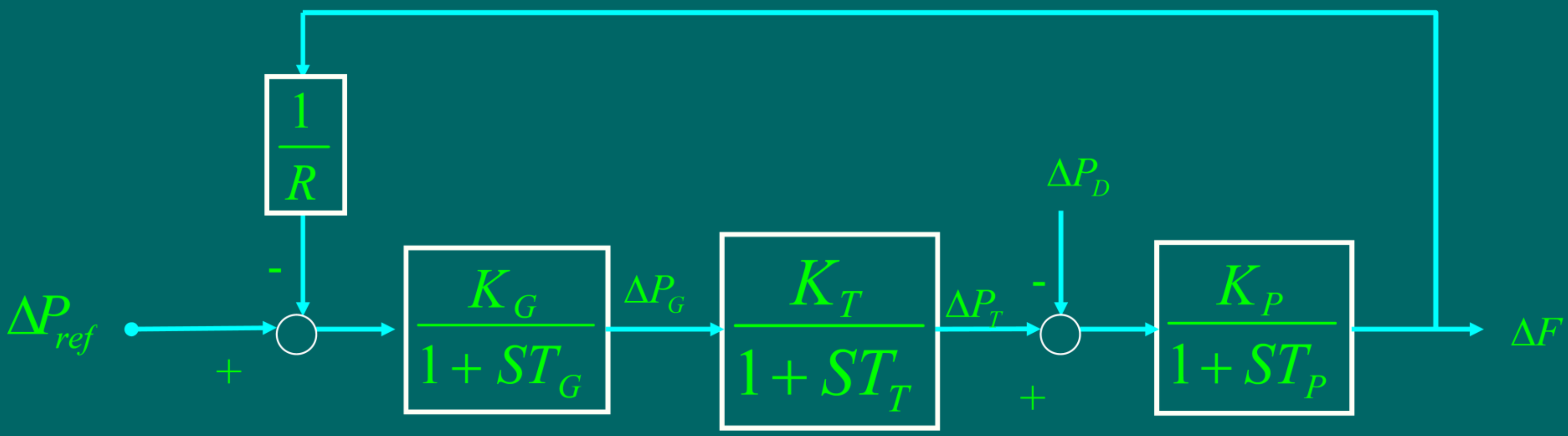
- دروپ به بار بستگی دارد و با محاسبه تغییرات بار به تغییرات فرکانس بدست می آید که معمولا این تغییرات خطی فرض می شوند. بنابراین:

$$D = \frac{P_D^0}{f^0}$$

- یعنی دروپ برابر نسبت بار در فرکانس سنکرون به فرکانس سنکرون است.

بررسی استاتیکی حلقه *ALFC* اولیه

- محاسبه پاسخ حالت ماندگار سیستم کنترل *ALFC* اولیه:



$$\Delta F = \frac{P_1U_1 + P_2U_2}{1-L} = \frac{\left(\frac{K_G}{1+sT_G}\right)\left(\frac{K_T}{1+sT_T}\right)\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)\Delta P_{ref} - \left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)\Delta P_D}{1-\left(-\frac{1}{R}\left(\frac{K_G}{1+sT_G}\right)\left(\frac{K_T}{1+sT_T}\right)\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)\right)}$$

پاسخ حالت ماندگار کنترل نشده

- محاسبه پاسخ حالت ماندگار سیستم کنترل *ALFC* اولیه در حالت بدون کنترل:

$$\Delta F=\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)\frac{\left(\frac{K_G}{1+sT_G}\right)\left(\frac{K_T}{1+sT_T}\right)\Delta P_{ref}-\Delta P_D}{1+\frac{1}{R}\left(\frac{K_G}{1+sT_G}\right)\left(\frac{K_T}{1+sT_T}\right)\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)}$$

$$if\quad \Delta P_{ref}=0\quad ,\quad \Delta P_D=\frac{\Delta P_D}{S}$$

$$\Delta F=\frac{\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)\left(-\frac{\Delta P_D}{S}\right)}{1+\frac{1}{R}\left(\frac{K_G}{1+sT_G}\right)\left(\frac{K_T}{1+sT_T}\right)\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)}$$

ادامه پاسخ حالت ماندگار کنترل نشده

$$\Delta f_{ss} = \lim_{s\to 0} s\Delta F(s) = \lim_{s\to 0} s\frac{\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)\left(-\frac{\Delta P_D}{S}\right)}{1+\frac{1}{R}\left(\frac{K_G}{1+sT_G}\right)\left(\frac{K_T}{1+sT_T}\right)\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)}$$

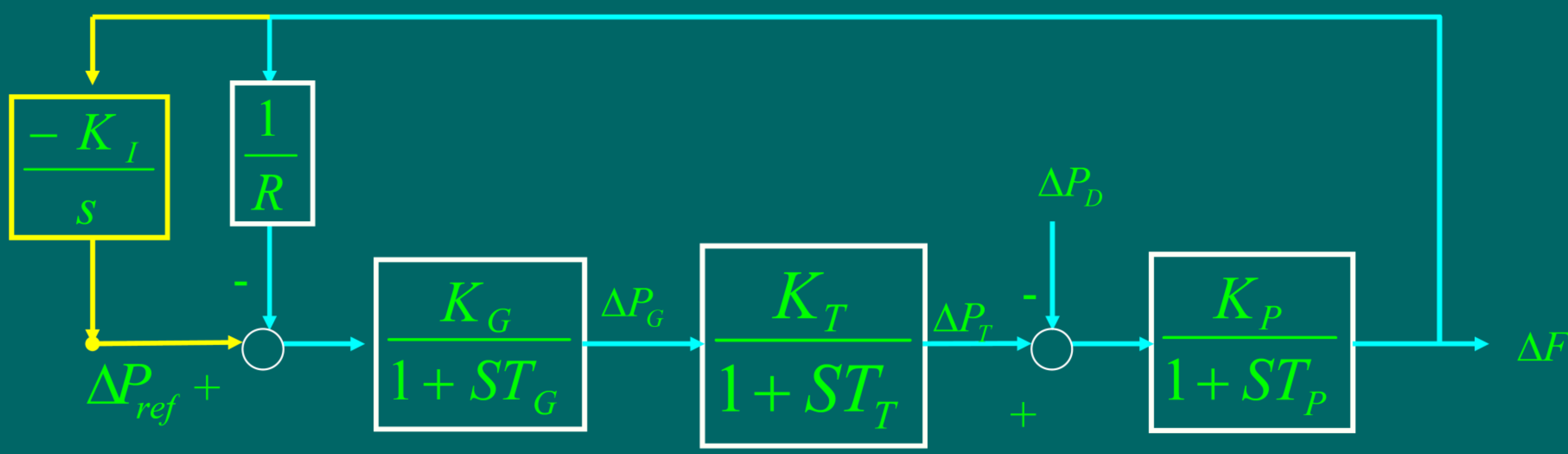
$$\Delta f_{ss} = \frac{\left(\frac{K_P}{1+0}\right)\left(-\Delta P_D\right)}{1+\frac{1}{R}\left(\frac{K_G}{1+0}\right)\left(\frac{K_T}{1+0}\right)\left(\frac{K_P}{1+0}\right)} = \frac{-K_P\Delta P_D}{1+\frac{K_G K_T K_P}{R}}$$

$$K_G K_T \approx 1$$

$$\Delta f_{ss} = \frac{-K_P\Delta P_D}{1+\frac{K_P}{R}} = \frac{-\Delta P_D}{\frac{1}{K_P}+\frac{1}{R}} = \frac{-\Delta P_D}{D+\frac{1}{R}} = \frac{-\Delta P_D}{\beta}$$

- ملاحظه می شود که در حالت بدون کنترل، فرکانس خطای حالت دائم دارد. بنابراین از کنترل کننده استفاده می کنیم.

حلقه $ALFC$ با کنترل انتگرالگیر



$$\Delta F = \left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)\frac{-\Delta P_D}{1+\left(\frac{1}{R}+\frac{K_I}{s}\right)\left(\frac{K_G}{1+sT_G}\right)\left(\frac{K_T}{1+sT_T}\right)\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)}$$

حلقه کنترل دربرگیرنده انتگرالگیر را حلقه ثانویه کنترل-بار فرکانس می گویند.

محاسبه مقدار نهائی تغییرات فرکانس در حالت کنترل شده

$$\Delta F = \left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)\frac{-\Delta P_D}{1+\left(\frac{1}{R}+\frac{K_I}{s}\right)\left(\frac{K_G}{1+sT_G}\right)\left(\frac{K_T}{1+sT_T}\right)\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)}$$

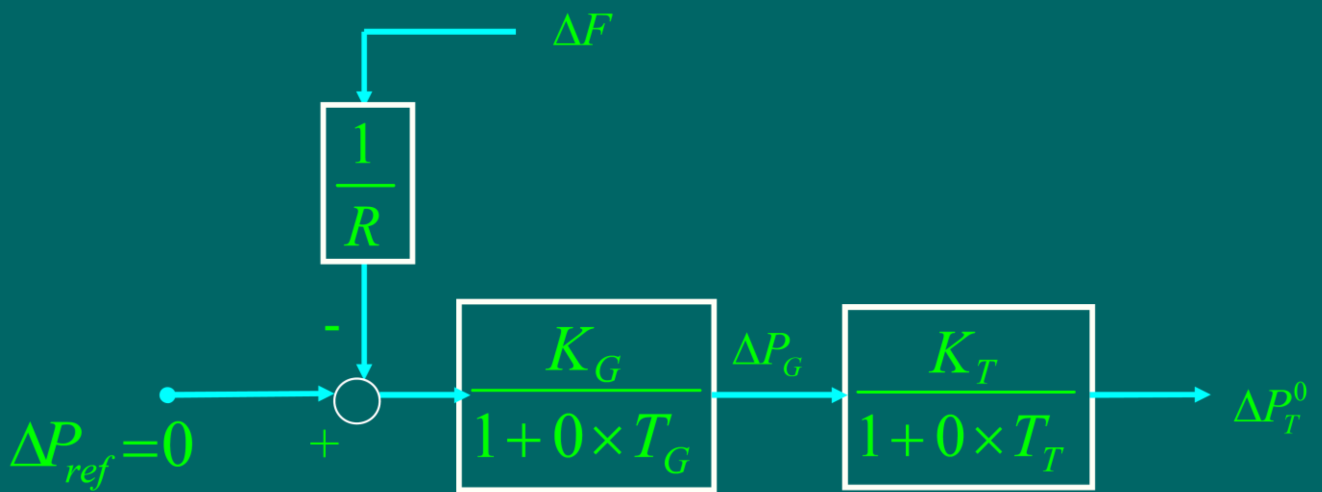
$$if \quad \Delta P_D(s) = \frac{\Delta P_D}{s} \quad , \quad K_G K_T \approx 1$$

$$\Delta f_{ss} = \lim_{s\to 0} \quad s\Delta F(s) = \lim_{s\to 0} \quad s\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)\frac{-\frac{\Delta P_D}{s}}{1+\left(\frac{1}{R}+\frac{K_I}{s}\right)\left(\frac{K_G}{(1+sT_G)(1+sT_T)(1+sT_P)}\right)} = 0$$

- ملاحظه می شود که این در حالت کنترل شده، مقدار دائم تغییرات فرکانس صفر می شود. بنابراین حلقه ثانویه تنظیم دقیق فرکانس را انجام می دهد.

محاسبه ضریب تنظیم گاورنر

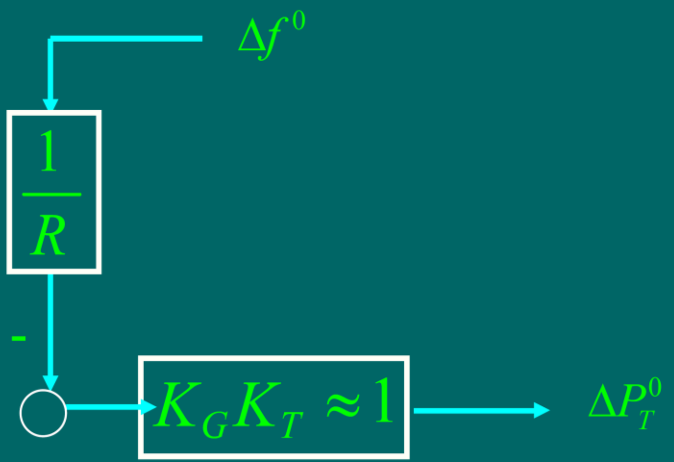
- برای تعیین ضریب تنظیم گاورنر (R) توان توربین را مقدار کمی افزایش داده و مقدار دائم تغییر فرکانس ژنراتور را در حالت بی بار و بدون کنترل اندازه می گیرند.



$$\Delta F=\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)\frac{-\Delta P_D}{1+\left(\frac{1}{R}+\frac{K_I}{s}\right)\left(\frac{K_G}{1+sT_G}\right)\left(\frac{K_T}{1+sT_T}\right)\left(\frac{K_P}{1+sT_P}\right)}$$

ادامه محاسبه ضریب تنظیم گاورنر

- پس از ساده سازی دیاگرام کنترل فوق:



$$\Delta P_T^0 = \frac{-1}{R} \Delta f_T^0$$

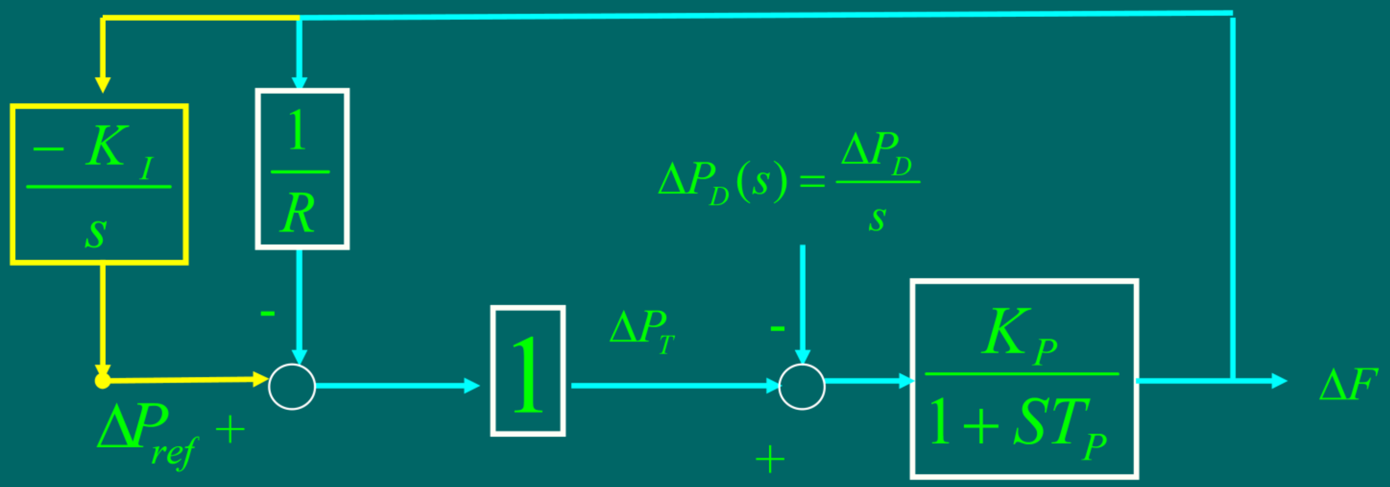
$$R = -\frac{\Delta f_T^0}{\Delta P_T^0}$$

بررسی دینامیکی حلقه کنترل *ALFC*

- در حلقه های کنترل بار فرکانس از T_G و T_T در مقابل T_P صرفنظر می کنیم در اینصورت :

$$\left(\frac{K_G}{1+sT_G}\right)\left(\frac{K_T}{1+sT_T}\right)=\left(\frac{K_G}{1+s\times 0}\right)\left(\frac{K_T}{1+s\times 0}\right)=K_G K_T \approx 1$$

- بنابراین حلقه های کنترل بار-فرکانس بصورت زیر ساده می شود:



- از دیاگرام فوق ΔF را محاسبه می کنیم:

ادامه بررسی دینامیکی حلقه کنترل ALFC

$$\Delta F = \frac{PU}{1-L} = \frac{\left(\dfrac{K_P}{1+sT_P}\right)\Delta P_D(s)}{1+\left(\dfrac{K_P}{1+sT_P}\right)\left(\dfrac{1}{R}+\dfrac{K_I}{s}\right)} = \frac{K_P}{T_P}\frac{s\left(\dfrac{\Delta P_D}{s}\right)}{s^2+\dfrac{1}{T_P}\left(1+\dfrac{K_P}{R}\right)s+\dfrac{K_P K_I}{T_P}}$$

$$\Delta F = \frac{K_P}{T_P}\frac{\Delta P_D}{s^2+\dfrac{1}{T_P}\left(1+\dfrac{K_P}{R}\right)s+\dfrac{K_P K_I}{T_P}}$$

- مخرج کسر دو ریشه دارد. اگر مبین معادله درجه دوم مخرج صفر باشد دو ریشه مضاعف (یک ریشه) داریم :

$$\Delta = \frac{1}{T_P^{\,2}}\left(1+\frac{K_P}{R}\right)^2 - 4\times 1\times\frac{K_P K_I}{T_P} = 0 \quad\Rightarrow\quad K_I = \frac{1}{4K_P T_P}\left(1+\frac{K_P}{R}\right)^2 = K_{Icrit}$$

بحث در مورد مقادیر K_I

$$\begin{array}{llll} if & K_I = K_{Icrit} & : & \Delta = 0 \quad Critical\_state \\ if & K_I > K_{Icrit} & : & \Delta < 0 \quad Under\_damped\_state \\ if & K_I < K_{Icrit} & : & \Delta > 0 \quad Over\_damped\_state \end{array}$$

- شکل خروجی :

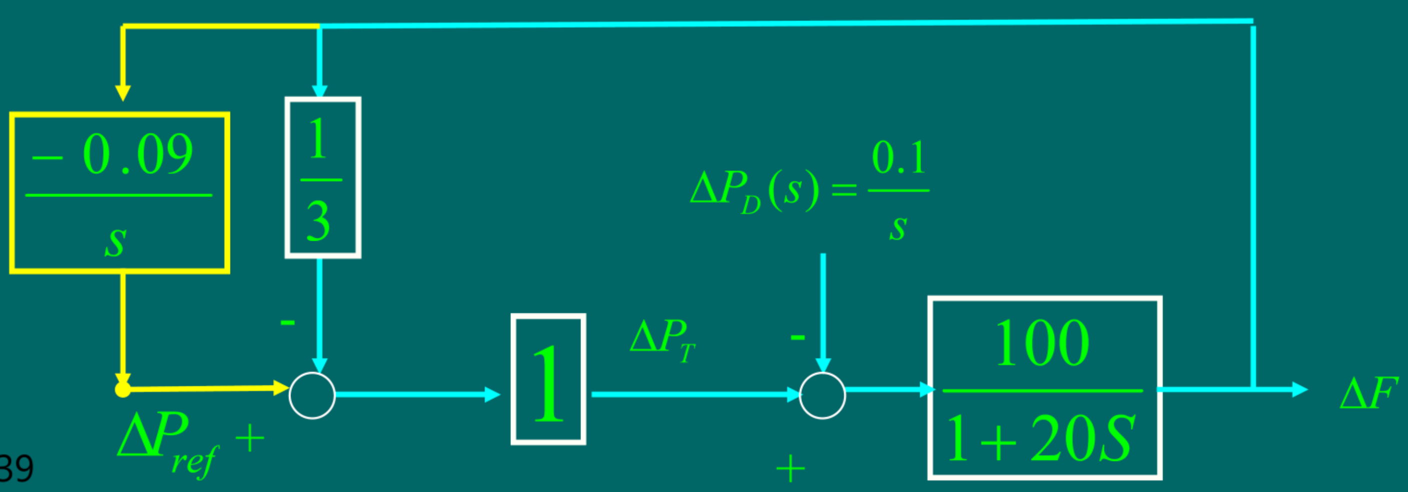
مثال

- برای سیستم کنترل بار-فرکانس زیر مطلوبست محاسبه

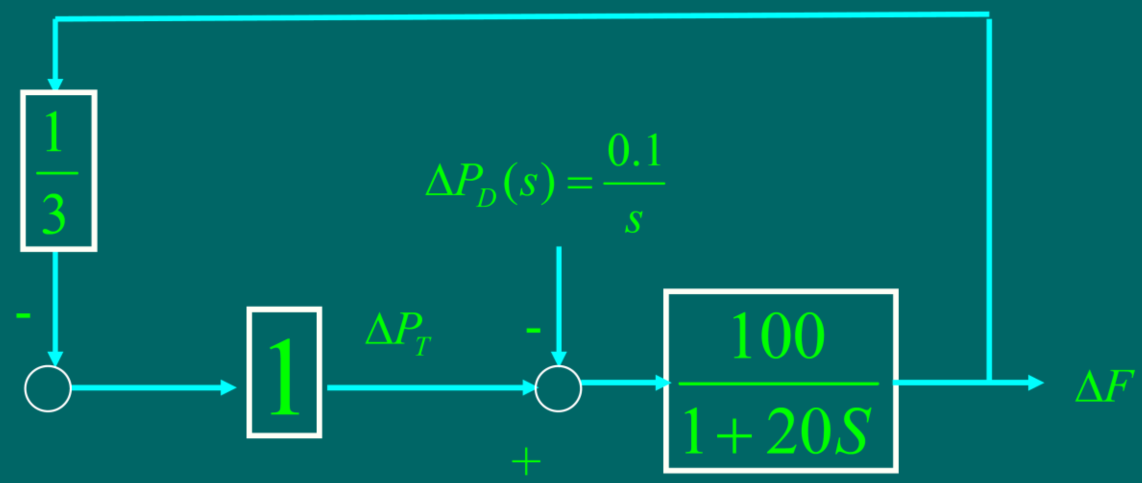
الف) خروجی $\Delta F(s)$ و خطای حالت دائم فرکانس وقتی حلقه ثانویه وجود نداشته باشد.

ب) خروجی $\Delta F(s)$ و خطای حالت دائم فرکانس وقتی حلقه ثانویه وجود داشته باشد.

ج) $\Delta f(t)$



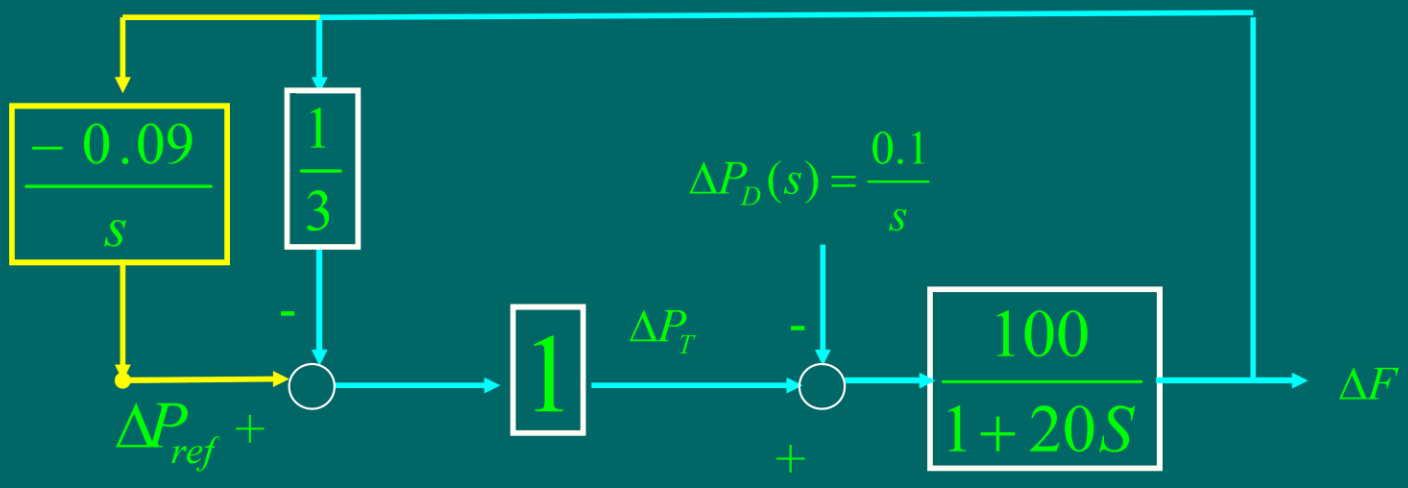
- حل الف) شکل بدون حلقه ثانویه



$$\Delta F(s) = \frac{PU}{1-L} = \frac{\left(\frac{-100}{1+20s}\right)\left(\frac{0.1}{s}\right)}{1-\left(\frac{100}{1+20s}\right)\left(\frac{-1}{3}\right)} = \frac{-10}{s\left(1+20s+\frac{100}{3}\right)} = \frac{-0.5}{s(s+1.717)}$$

$$\Delta f^0 = \Delta f_{ss} = \lim_{s\to 0} s\Delta F(s) = \lim_{s\to 0} s\left(\frac{-0.5}{s(s+1.717)}\right) = -0.291 Hz$$

- حل ب) شکل با حلقه ثانویه



$$\Delta F(s)=\frac{PU}{1-L}=\frac{\left(\frac{-100}{1+20s}\right)\left(\frac{0.1}{s}\right)}{1-\left(\frac{100}{1+20s}\right)\left(\frac{-1}{3}+\frac{-0.09}{s}\right)}=\frac{-10}{s\left(1+20s+\frac{100}{3}+\frac{9}{s}\right)}=\frac{-10}{\left(20s^2+34.333s+9\right)}$$

$$=\frac{-0.5}{s^2+1.717s+0.45}$$

$$\Delta f^0=\Delta f_{ss}=\lim_{s\to 0} s\Delta F(s)=\lim_{s\to 0} s\left(\frac{-0.5}{s^2+1.717s+0.45}\right)=0$$

- حل ج) حلقه ثانویه وجود دارد

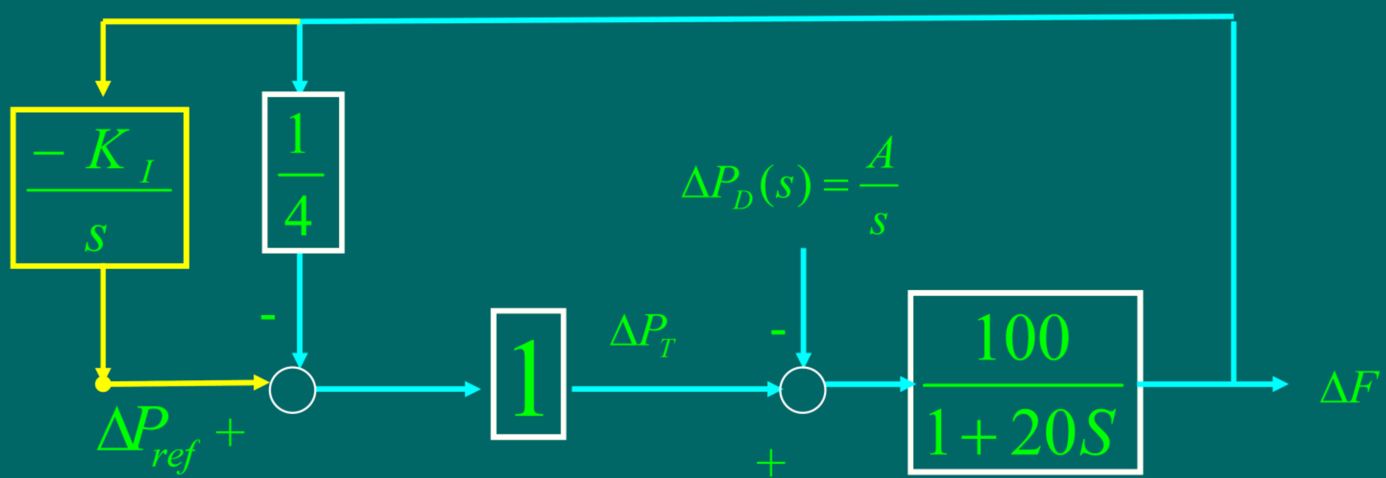
$$\Delta F(s) = \frac{-0.5}{s^2 + 1.717s + 0.45} = \frac{-0.5}{(s + 0.323)(s + 1.395)}$$

$$\Delta F(s) = \frac{0.466}{s + 1.395} - \frac{0.466}{s + 0.323}$$

$$\Delta f(t) = 0.466\left(e^{-1.395t} - e^{-0.323t}\right) \quad for \quad t \geq 0$$

مثال

- برای سیستم کنترل بار-فرکانس زیر حدود K_I را چنان تعیین کنید تا پاسخ فوق میرا (غیر نوسانی) داشته باشیم.



- حل)

$$F(s)=\frac{PU}{1-L}=\frac{\left(\frac{-100}{1+20s}\right)\left(\frac{A}{s}\right)}{1-\left(\frac{100}{1+20s}\right)\left(\frac{-1}{4}+\frac{-K_I}{s}\right)}=$$

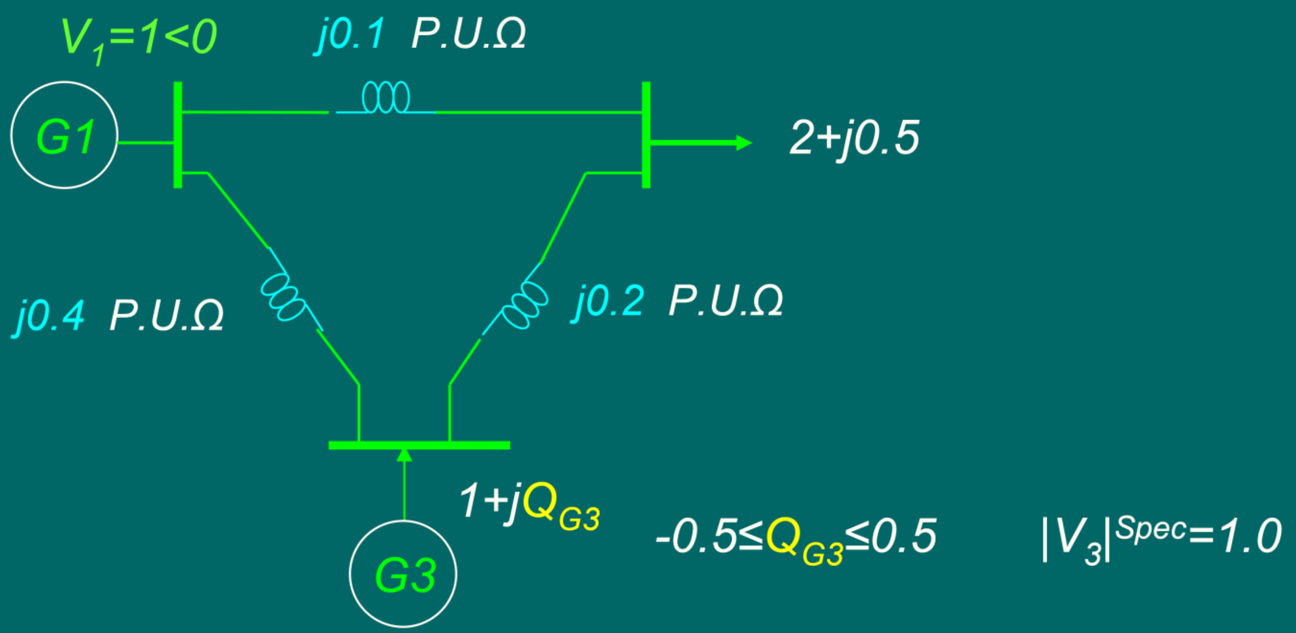
$$=\frac{-100A}{s\left(1+20s+\frac{100}{4}+\frac{100K_I}{s}\right)}=\frac{-100A}{\left(20s^2+26s+100K_I\right)}=\frac{-5A}{\left(s^2+1.3s+5K_I\right)}$$

$$\Delta=1.3^2-4\times 5K_I>0$$

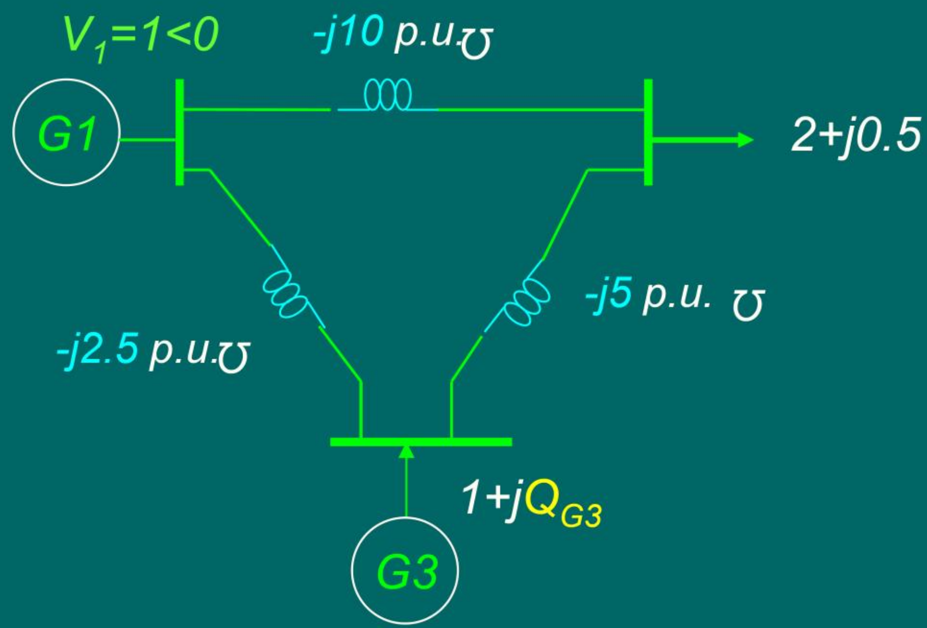
$$K_I<0.0845$$

تمرین

در شکل زیر باس 3 از نوع کنترل ولتاژ است. ولتاژ باسها را با استفاده از پخش بار نیوتن-رافسون و پس از یک مرحله تکرار بدست آورید.



حل: ابتدا محاسبه ماتریس ادمیتانس:



$$Y_{bus}=\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -j12.5 & j10 & j2.5 \\ j10 & -j15 & j5 \\ j2.5 & j5 & -j7.5 \end{bmatrix}$$

تمرین

هزینه افزونی تولید انرژی دو نیروگاه یک سیستم قدرت عبارتست از:

$$IC_1 = 800 + P_1 \qquad for \qquad 300 \le P_1 \le 600$$

$$IC_2 = 600 + P_2 \qquad for \qquad 500 \le P_2 \le 800$$

اگر بار کل سیستم 1000 مگاوات باشد،

الف) توزیع اقتصادی بار بین دو نیروگاه را محاسبه کنید.

ب) اگر بار بطور مساوی بین دو نیروگاه تقسیم شود، در هر ساعت چقدر زیان خواهیم داشت؟

حل:

حل الف)

$$IC_1 = 800 + P_1 = \lambda \quad \Rightarrow \quad P_1 = \lambda - 800$$

$$IC_2 = 600 + P_2 = \lambda \quad \Rightarrow \quad P_2 = \lambda - 600$$

$$P_1 + P_2 = P_D \quad \Rightarrow \quad (\lambda - 800) + (\lambda - 600) = 1000 \quad \Rightarrow \quad \lambda = 1200$$

$$\begin{cases} P_1 = \lambda - 800 = 1200 - 800 = 400 \quad Mw \\ P_2 = \lambda - 600 = 1200 - 600 = 600 \quad Mw \end{cases}$$

چون هر دو توان در محدوده های مجازشان هستند، جوابهای بهینه قابل قبول اند.

حل ب)

$$C_1 = \int IC_1 dP_1 = \int (800 + P_1) dP_1 = 800P_1 + 0.5P_1^2 + k_1$$

$$C_2 = \int IC_2 dP_2 = \int (600 + P_2) dP_2 = 600P_2 + 0.5P_2^2 + k_2$$

$$C = C_1(P_1) + C_2(P_2)$$

$$\Delta C = [C_1(500) + C_2(500)] - [C_1(400) + C_2(600)] =$$

$$\Delta C = [(800 \times 500 + 0.5(500)^2 + k_1) + (600 \times 500 + 0.5(500)^2 + k_2)] -$$

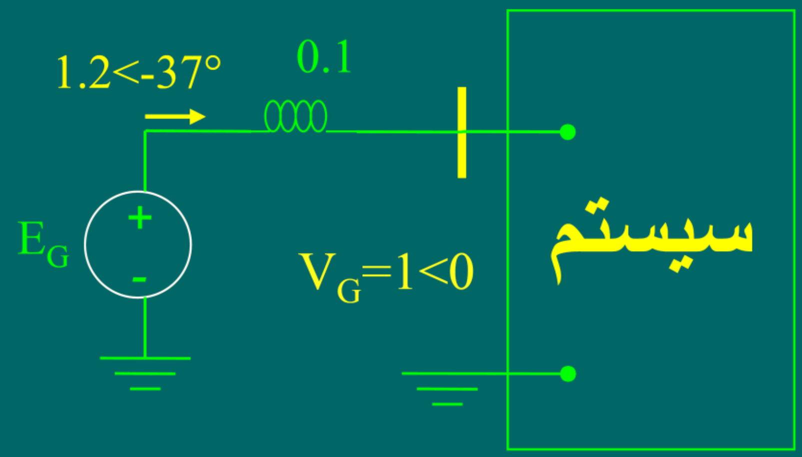
$$[(800 \times 400 + 0.5(400)^2 + k_1) + (600 \times 600 + 0.5(600)^2 + k_2)] =$$

$$= [525000 + 425000] - [400000 + 540000] = 10000$$

تمرین

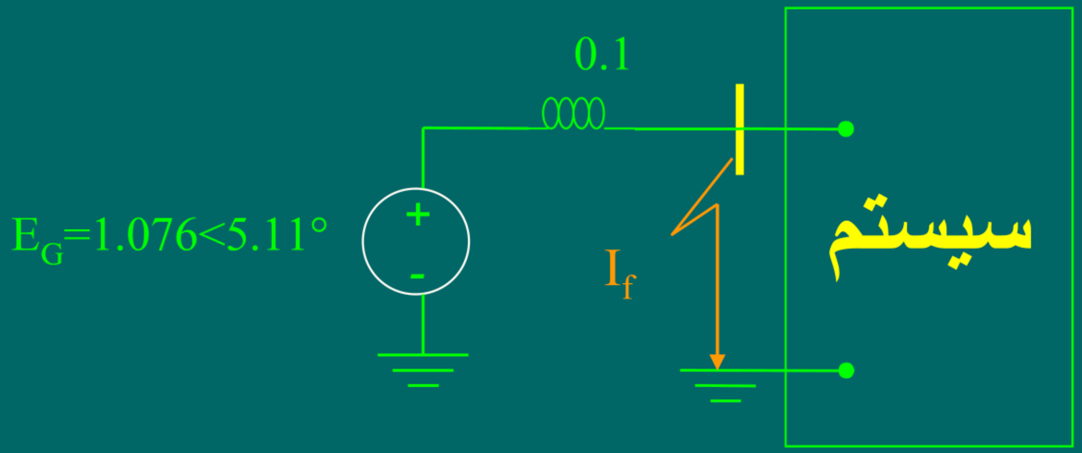
یک ژنراتور با راکتانس $0.1^{P.u.}$ در ولتاژ ترمینال $1^{pu}<0$ و جریان $1.2<-37^\circ$ یک سیستم را تغذیه می‌کند. در این هنگام یک اتصال کوتاه سه فاز متقارن بی واسطه در ترمینالهای ژنراتور رخ می دهد. جریان اتصال کوتاه چقدر است؟

حل: در قبل از اتصال کوتاه:



$$E_G = 1 < 0 + j0.1(1.2 < -37^\circ) = 1.076 < 5.11^\circ$$

در بعد از اتصال کوتاه:



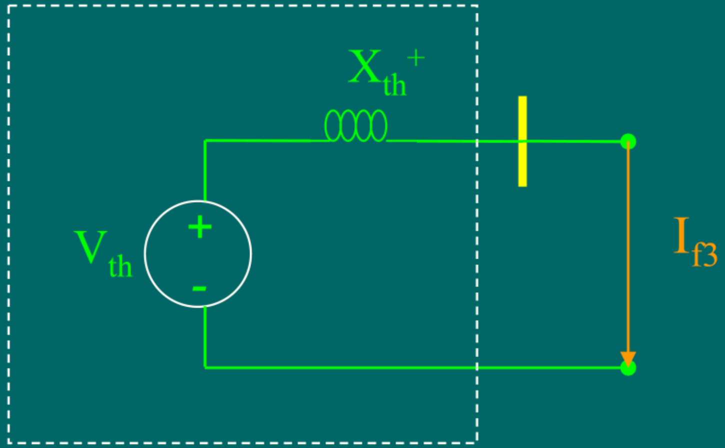
$$I_f = \frac{1.076 < 5.11^{\circ}}{j0.1} = 10.76 < 84.89$$

تمرین

یک ژنراتور با راکتانس $0.1^{P.u.}$ در ولتاژ ترمینال $1^{pu}<0$ و جریان $1.2<-37°$ یک سیستم را تغذیه می‌کند. در این هنگام یک اتصال کوتاه سه فاز متقارن با امپدانس اتصال کوتاه $Z_f=j0.05^{Pu}$ در ترمینالهای ژنراتور رخ می دهد. جریان اتصال کوتاه چقدر است؟

تمرین

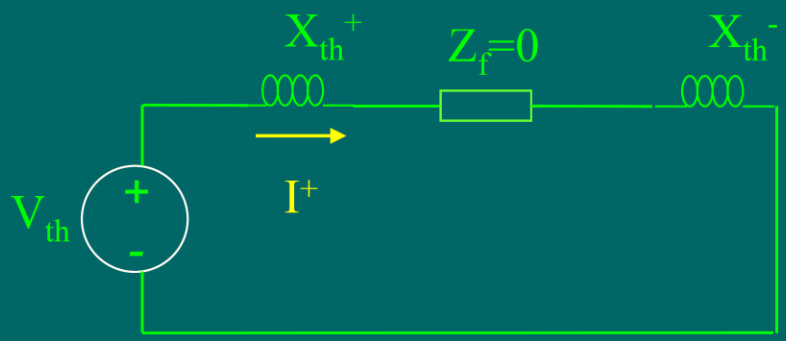
یک سیستم قدرت بی بار مفروض است. در یکی از باسهای این سیستم، یک اتصال کوتاه سه فاز متقارن بی واسطه رخ می دهد و جریان اتصال کوتاه *5A* برقرار می‌شود. اگر در همان باس و در همان شرایط به جای اتصال کوتاه متقارن، اتصال کوتاه بی واسطه دو فاز به هم رخ دهد؛ جریان جریان اتصال کوتاه چقدر خواهد شد؟ امپدانس مولفه های مثبت و منفی همه عناصر سیستم با هم مساوی هستند.



حل: مدار معادل در اتصال کوتاه سه فاز:

$$\left|I_{f3}\right| = \left|\frac{V_{th}}{jX_{th}^{+}}\right| = 5 \quad \Rightarrow \quad \left|\frac{V_{th}}{X_{th}^{+}}\right| = 5$$

ادامه حل:
مدار معادل در اتصال کوتاه دو فاز به هم:



$$\left|I^{+}\right| = \left|\frac{V_{th}}{jX_{th}^{+} + jX_{th}^{-}}\right| = \left|\frac{V_{th}}{jX_{th}^{+} + jX_{th}^{+}}\right| = \frac{1}{2}\left|\frac{V_{th}}{X_{th}^{+}}\right| = \frac{1}{2}\times 5$$

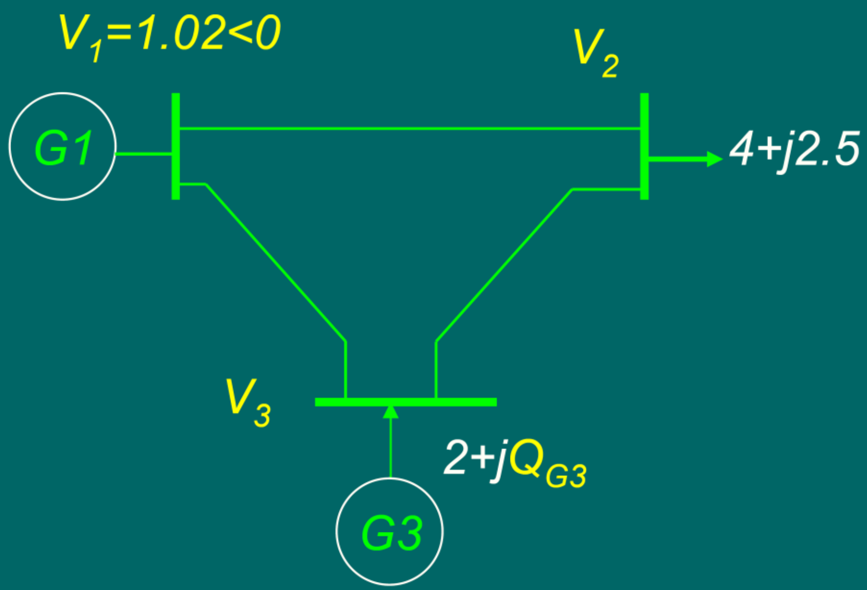
$$I^{+} = \frac{jI_{f2}}{\sqrt{3}} \quad \Rightarrow \quad I_{f2} = -j\sqrt{3}I^{+}$$

$$\left|I_{f2}\right| = \left|-j\sqrt{3}I^{+}\right| = \sqrt{3}\left|I^{+}\right| = \sqrt{3}\left(\frac{1}{2}\times 5\right)$$

$$\left|I_{f2}\right| = \frac{\sqrt{3}}{2}\left|I_{f3}\right|$$

نتیجه : در شرایطی شبیه مساله فوق، جریان اتصال کوتاه دو فاز $\sqrt{3}/2$ برابر جریان اتصال کوتاه سه فاز است.

تمرین



در سیستم قدرت شکل مقابل باس 1، باس مبنا است. با استفاده از روش نیوتن رافسون و پس از یک مرحله تکرار تعیین کنید که ژنراتور 3 چقدر توان راکتیو باید تولید کند تا ولتاژ باس 3 در مقدار $1.01^{\,pu}$ کنترل شود؟

ماتریس ادمیتانس سیستم عبارت است از:

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} -j50 & j20 & j30 \\ j20 & -j52 & j32 \\ j30 & j32 & -j62 \end{bmatrix}$$

حل:

محاسبه توانهای تزریقی باسها:

$P_2^{sch} = P_{G2} - P_{D2} = 0 – 4 = -4$

$P_3^{sch} = P_{G3} – P_{D3} = 2 – 0 = 2$

$Q_2^{sch} = Q_{G2} – Q_{D2} = 0 – 2.5 = -2.5$

$Q_3^{sch}=Q_{G3} - Q_{D3} = Q_{G3} – 0 = Q_{G3}$

تکرار اول:

$V_1 = 1.02 < 0$ $V_2 = 1< 0$ $V_3 = |V_3|^{spec} =1.01 < 0$

$$f_{p2}^{(0)} = \sum_{k=1}^{n} .|y_{2k}|.|V_2|.|V_k| \cos(\delta_2 - \delta_k - \theta_{2k})$$

$$= |y_{21}|.|V_2|.|V_1|.\cos(\delta_2 - \delta_1 - \theta_{21}) + |y_{22}|.|V_2|.|V_2|.\cos(\delta_2 - \delta_2 - \theta_{22}) + |y_{23}|.|V_2|.|V_3|.\cos(\delta_2 - \delta_3 - \theta_{23})$$

$$= 20 \times 1 \times 1.02 \times \cos(0-0-90) + 52 \times 1 \times 1 \times \cos(0-0+90) + 32 \times 1 \times 1.01 \times \cos(0-0-90)$$

$$= 0$$

$$f_{q2}^{(0)} = \sum_{k=1}^{n} .|y_{2k}|.|V_2|.|V_k| \sin(\delta_2 - \delta_k - \theta_{2k})$$

$$= 20 \times 1 \times 1.02 \times \sin(0-0-90) + 52 \times 1 \times 1 \times \sin(0-0+90) + 32 \times 1 \times 1.01 \times \sin(0-0-90)$$

$$= -0.4$$

ادامه حل:

$$f_{p3}^{(0)}=\sum_{k=1}^{n}.|y_{3k}|.|V_3|.|V_k|\cos(\delta_3-\delta_k-\theta_{3k})$$

$$=|y_{31}|.|V_3|.|V_1|.\cos(\delta_3-\delta_1-\theta_{31})+|y_{32}|.|V_3|.|V_2|.\cos(\delta_3-\delta_2-\theta_{32})+|y_{33}|.|V_3|.|V_3|.\cos(\delta_3-\delta_3-\theta_{33})$$

$$=30\times1.01\times1.02\times\cos(0-0-90)+32\times1.01\times1\times\cos(0-0-90)+62\times1.01\times1.01\times\cos(0-0+90)$$

$$=0$$

$$f_{q3}^{(0)}=\sum_{k=1}^{n}.|y_{3k}|.|V_3|.|V_k|\sin(\delta_3-\delta_k-\theta_{3k})$$

$$=|y_{31}|.|V_3|.|V_1|.\sin(\delta_3-\delta_1-\theta_{31})+|y_{32}|.|V_3|.|V_2|.\sin(\delta_3-\delta_2-\theta_{32})+|y_{33}|.|V_3|.|V_3|.\sin(\delta_3-\delta_3-\theta_{33})$$

$$=30\times1.01\times1.02\times\sin(0-0-90)+32\times1.01\times1\times\sin(0-0-90)+62\times1.01\times1.01\times\sin(0-0+90)$$

$$=0.020$$

$$Q_3^{sch}=f_{q3}^{(0)}=0.02=Q_{G3}$$

$$\Delta P_2=P_2^{sch}-f_{p2}^{(0)}=-4-0=-4$$

$$\Delta P_3=P_3^{sch}-f_{p3}^{(0)}=2-0=2$$

$$\Delta Q_2=Q_2^{sch}-f_{q2}^{(0)}=-2.5-(-0.4)=-2.1$$

$$\Delta Q_3=Q_3^{sch}-f_{q3}^{(0)}=0.02-0.02=0$$

ادامه حل:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 = 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{22} & H_{23} & N_{22} & N_{23} \\ H_{32} & H_{33} & N_{32} & N_{33} \\ J_{22} & J_{23} & L_{22} & L_{23} \\ J_{32} & J_{33} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \dfrac{\Delta|V_2|}{|V_2|^{(0)}} \\ \dfrac{\Delta|V_3|}{|V_3|^{(0)}} = 0 \end{bmatrix}$$

$$H_{22} = -f_{q2}^{(0)} - B_{22}|V_2|^2 = -0.4 - (-52)\times(1)^2 = 51.6$$

$$H_{33} = -f_{q3}^{(0)} - B_{33}|V_3|^2 = -(0.02) - (-62)\times(1.01)^2 = 63.2262$$

$$H_{23} = |y_{23}|.|V_2|.|V_3|\sin(\delta_2 - \delta_3 - \theta_{23}) = 32\times1\times1.01\times\sin(0-0-90) = -32.32$$

$$H_{32} = |y_{32}|.|V_3|.|V_2|\sin(\delta_3 - \delta_2 - \theta_{32}) = 32\times1.01\times1\times\sin(0-0-90) = -32.32$$

$$N_{22} = f_{p2}^{(0)} + G_{22}|V_2|^2 = 0 + 0\times1^2 = 0$$

$$N_{32} = |y_{32}|.|V_3|.|V_2|\cos(\delta_3 - \delta_2 - \theta_{32}) = 32\times1.01\times1\times\cos(0-0-90) = 0$$

$$J_{22} = f_{p2}^{(0)} - G_{22}|V_2|^2 = 0 - 0\times1^2 = 0$$

$$J_{23} = -|y_{23}|.|V_2|.|V_3|\cos(\delta_2 - \delta_3 - \theta_{23}) = 32\times1\times1.01\times\cos(0-0-90) = 0$$

$$L_{22} = f_{q2}^{(0)} - B_{22}|V_2|^2 = (-0.4) - (-52)\times(1)^2 = 51.6$$

ادامه حل:

$$\begin{bmatrix}\Delta P_2\\ \Delta P_3\\ \Delta Q_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}H_{22} & H_{23} & N_{22}\\ H_{32} & H_{33} & N_{32}\\ J_{22} & J_{23} & L_{22}\end{bmatrix}.\begin{bmatrix}\Delta\delta_2\\ \Delta\delta_3\\ \dfrac{\Delta|V_2|}{|V_2|^{(0)}}\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}-4\\ 2\\ -2.1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}51.6 & -32.32 & 0\\ -32.32 & 63.2262 & 0\\ 0 & 0 & 51.6\end{bmatrix}.\begin{bmatrix}\Delta\delta_2\\ \Delta\delta_3\\ \dfrac{\Delta|V_2|}{|V_2|^{(0)}}\end{bmatrix}$$

$$.\begin{bmatrix}\Delta\delta_2\\ \Delta\delta_3\\ \dfrac{\Delta|V_2|}{|V_2|^{(0)}}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}51.6 & -32.32 & 0\\ -32.32 & 63.2262 & 0\\ 0 & 0 & 51.6\end{bmatrix}^{-1}.\begin{bmatrix}-4\\ 2\\ -2.1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-0.0849\\ -0.0118\\ -0.0407\end{bmatrix}$$

$$\delta_2^{new}=\delta_2^{old}+\Delta\delta_2=0+(-0.0849)=-0.0849rad=4.864^\circ$$

$$\delta_3^{new}=\delta_3^{old}+\Delta\delta_3=0+(-0.0118)=-0.0118rad=0.676^\circ$$

$$|V_2|^{new}=|V_2|^{old}+\Delta|V_2|=1+(-0.0407)\times 1=0.9593$$

$$|V_3|^{new}=|V_3|^{spec}=1.01$$

$$V_2=0.9593<4.864^\circ \qquad V_3=1.01<0.676^\circ$$

ادامه حل:

$$\delta_2^{new} = \delta_2^{old} + \Delta\delta_2 = 0 + \left(-0.0849\right) = -0.0849 rad = 4.864^\circ$$

$$\delta_3^{new} = \delta_3^{old} + \Delta\delta_3 = 0 + \left(-0.0118\right) = -0.0118 rad = 0.676^\circ$$

$$\left|V_2\right|^{new} = \left|V_2\right|^{old} + \Delta\left|V_2\right| = 1 + \left(-0.0407\right)\times 1 = 0.9593$$

$$\left|V_3\right|^{new} = \left|V_3\right|^{spec} = 1.01$$

$$V_2 = 0.9593 < 4.864^\circ \qquad V_3 = 1.01 < 0.676^\circ$$

$$Q_3^{sch} = \sum_{k=1}^{n} \left|y_{3k}\right| \cdot \left|V_3\right| \cdot \left|V_k\right| \sin(\delta_3 - \delta_k - \theta_{3k})$$

$$= \left|y_{31}\right|\left|V_3\right|\left|V_1\right| . \sin(\delta_3 - \delta_1 - \theta_{31}) + \left|y_{32}\right|\left|V_3\right|\left|V_2\right| . \sin(\delta_3 - \delta_2 - \theta_{32}) + \left|y_{33}\right|\left|V_3\right|\left|V_3\right| . \sin(\delta_3 - \delta_3 - \theta_{33})$$

$$= 30\times 1.01\times 1.02\times \sin(0.676 - 0 - 90) + 32\times 1.01\times 0.9593\times \sin(0.676 - 4.864 - 90) + 62\times 1.01\times 1.01\times \sin(0.676 - 0.676 + 90)$$

$$= 1.4206$$

$$Q_3^{sch} = Q_{G3} - Q_{D3} \quad \Rightarrow \quad Q_{G3} = Q_3^{sch} + Q_{D3} = 1.4206 + 0 = 1.4206$$

تمرین

توابع هزینه افزونی سه نیروگاه بصورت زیر است. در صورترتیکه مجموع بار مصرفی سه نیروگاه 1500 مگاوات باشد، توزیع اقتصادی بار بین سه نیروگاه را به روش مستقیم بدست آورید.

$IC_1 = 800 + P_1 \qquad 200 \le P_1 \le 600\ Mw$

$IC_2 = 600 + P_2 \qquad 300 \le P_2 \le 700\ Mw$

$IC_3 = 700 + P_3 \qquad 100 \le P_3 \le 400\ Mw$

حل:

$$IC_1 = IC_2 = IC_3 = \lambda \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} P_1 = \lambda - 800 \\ P_2 = \lambda - 600 \\ P_3 = \lambda - 700 \end{cases}$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = P_D$$

$$(\lambda - 800) + (\lambda - 600) + (\lambda - 700) = 1500$$

$$\lambda = 1200$$

$$\begin{cases} P_1 = \lambda - 800 = 1200 - 800 = 400 \\ P_2 = \lambda - 600 = 1200 - 600 = 600 \\ P_3 = \lambda - 700 = 1200 - 700 = 500 > P_3^{\max} = 400 \quad \Rightarrow \quad P_3 = P_3^{\max} = 400 \end{cases}$$

در محدوده مجاز قرار دارد.

در محدوده مجاز قرار دارد.

ادامه حل:

$$P'_D = P_D - P_3 = 1500 - 400 = 1100$$

$$P_1 + P_2 = P'_D$$

$$(\lambda' - 800) + (\lambda' - 600) = 1100$$

$$\lambda' = 1250$$

$$\begin{cases} P_1 = \lambda' - 800 = 1250 - 800 = 450 \\ P_2 = \lambda' - 600 = 1250 - 600 = 650 \end{cases}$$

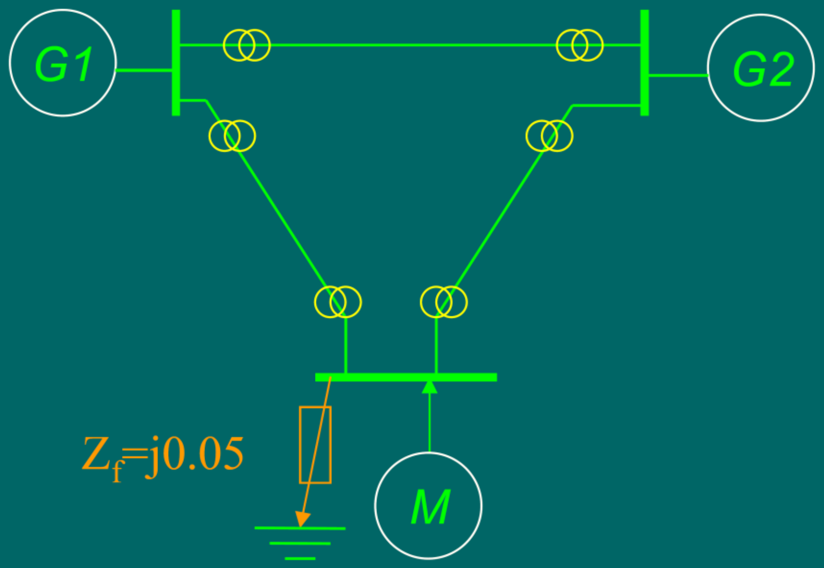
در محدوده مجاز قرار دارد.

در محدوده مجاز قرار دارد.

جوابهای بهینه:

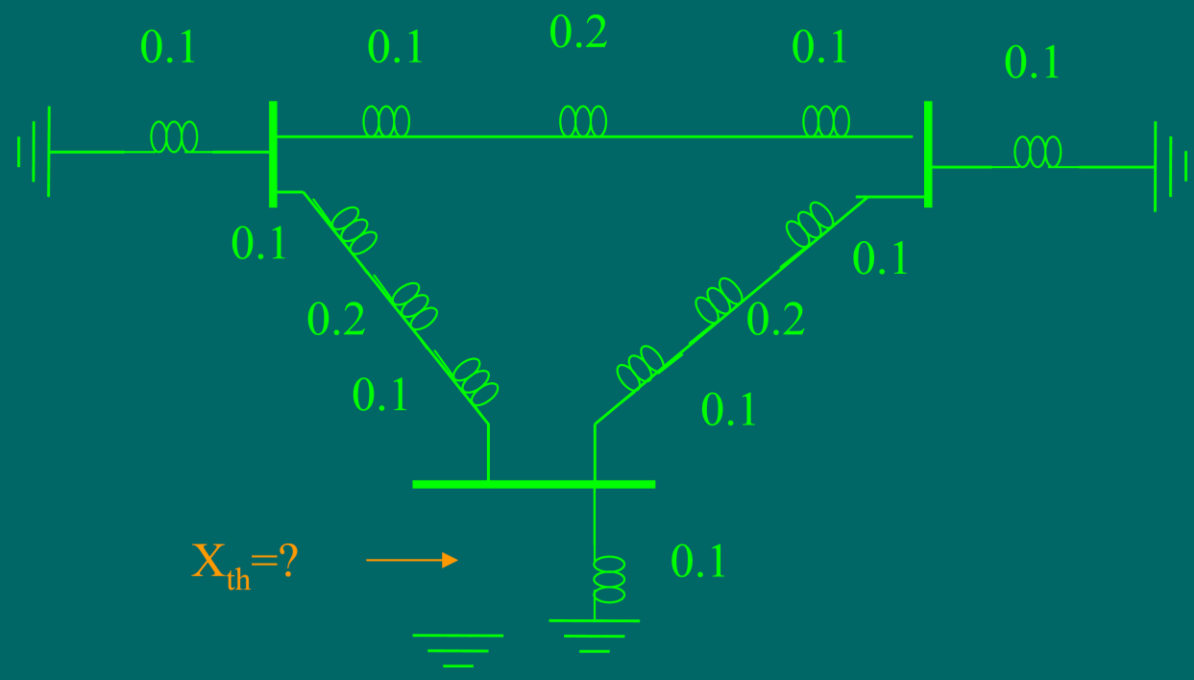
$P_1^{opt} = 450$ $P_2^{opt} = 650$ $P_3^{opt} = 400$

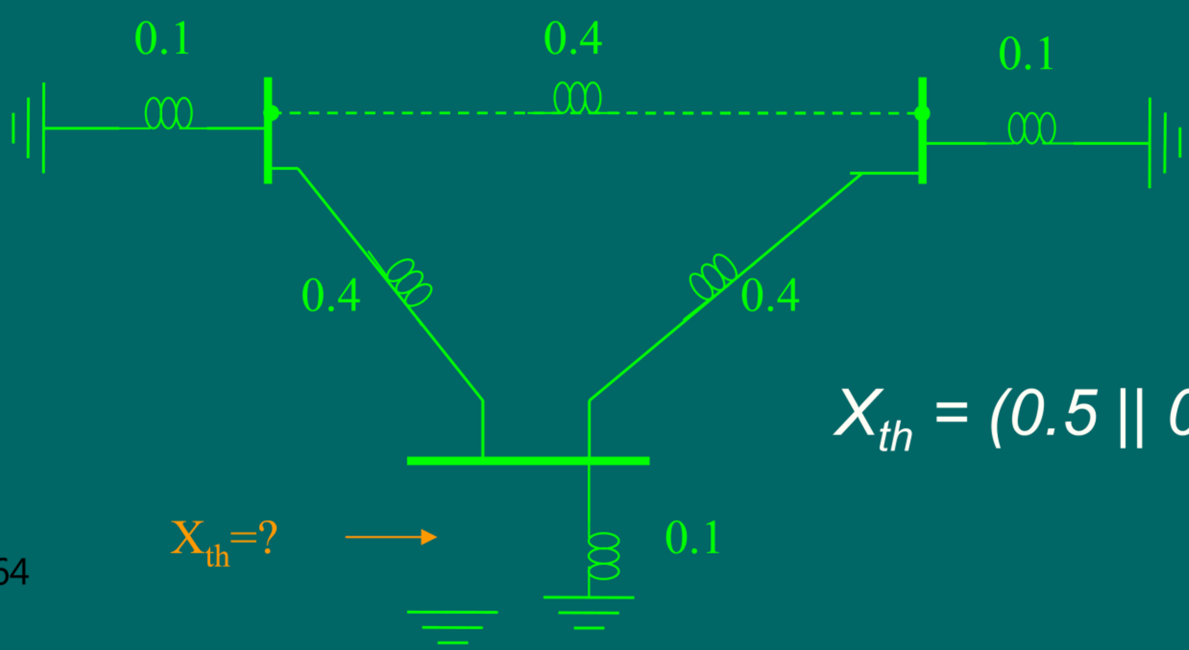
تمرین



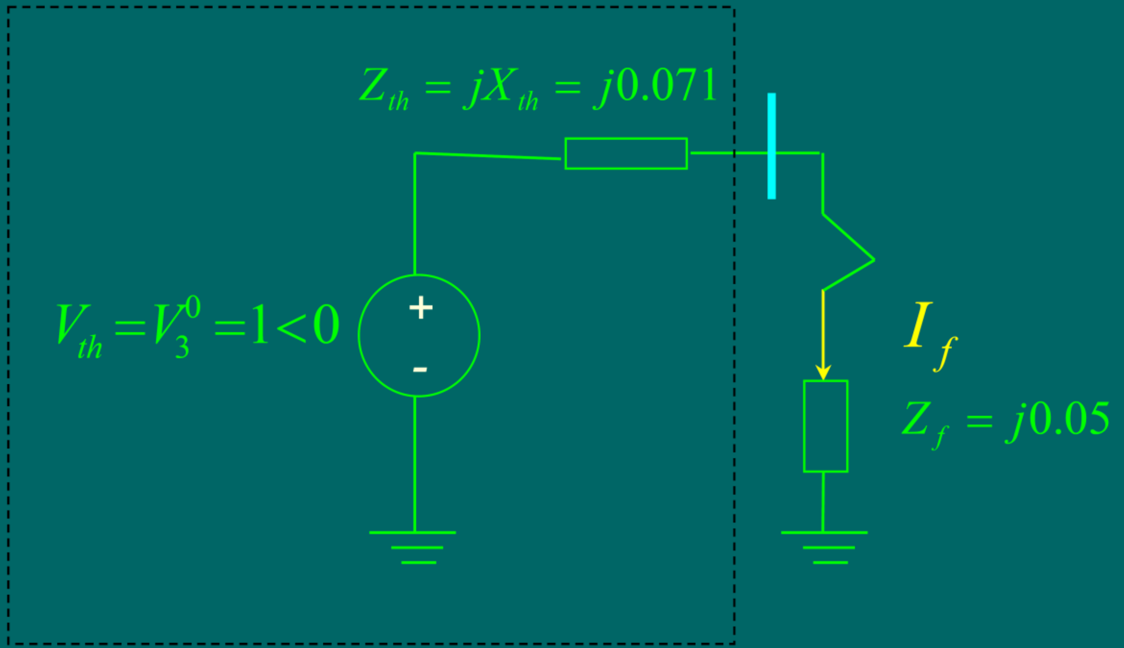
در سیستم قدرت شکل راکتانس همه خطوط 0.2 و راکتانس ژنراتورها و موتور M و راکتانس همه ترانسها 0.1 پریونیت است. یک اتصال کوتاه سه فاز متقارن با امپدانس $z_f=j0.05$ در باس متصل به موتور رخ می دهد. شبکه در قبل از اتصال کوتاه بی بار و ولتاژ همه باسها $1^{pu}<0$ فرض می‌شوند. مطوبست محاسبه جریان اتصال کوتاه I_f ؟

حل:





$$X_{th} = (0.5 \parallel 0.5) \parallel 0.1 = 0.071$$



$$I_f = \frac{V_{th}}{Z_{th} + Z_f} = \frac{1 < 0}{j0.071 + j0.05} = -j8.264$$

تمرین

توابع هزینه و محدودیتهای تولید دو نیروگاه یک سیستم قدرت عبارتست از:

$$C_1 = 1 + P_1 \qquad \text{for} \quad 1 \le P_1 \le 3$$
$$C_2 = 1 + 2P_2 \qquad \text{for} \quad 0.5 \le P_2 \le 2$$

اگر بار کل سیستم 3 واحد باشد و تلفات صرفنظر شود، توزیع اقتصادی بار بین دو نیروگاه را محاسبه کنید.   حل:

$$IC_1 = \frac{\partial C_1}{\partial P_1} = 1 \qquad IC_2 = \frac{\partial C_2}{\partial P_2} = 2$$

$$IC_1 < IC_2 \quad \Rightarrow \quad P_1 = P_1^{\max} = 3$$

$$P_2 = P_D - P_1 = 3 - 3 = 0 < P_2^{\min} \quad \Rightarrow \quad P_2 = P_2^{\min} = 0.5$$

$$P_1 = P_D - P_2 = 3 - 0.5 = 2.5$$

$$P_1^{opt} = 2.5 \qquad P_2^{opt} = 0.5$$

تمرین

- یک ژنراتور 50 درصد توان ماکزیمم خود را توسط یک خط انتقال به باس بی نهایت می دهد. اتصال کوتاهی در سیستم رخ می دهد بطوریکه راکتانس بین ژنراتور و باس بی نهایت به 4 برابر مقدار آن در قبل از اتصال کوتاه می رسد. هنگامیکه اتصال کوتاه با قطع کلید مربوطه برطرف می شود، حداکثر توان انتقالی به 0.75 برابر توان ماکزیمم اصلی می رسد. زاویه بحرانی رفع اتصال کوتاه را محاسبه کنید.

حل:

$$p_m = 0.50 P_{\max}$$

$$\text{Prefault}: \quad P_{e1} = P_{\max} \sin\delta$$

$$during\_fault: \quad P_{e2} = \frac{P_{\max}}{4} \sin\delta = 0.25 P_{\max} \sin\delta$$

$$Post\_fault: \quad P_{e3} = 0.75 P_{\max} \sin\delta$$

تمرین

در یک سیستم قدرت با سه ژنراتور داریم:

$P_{G1} = 60\ IC_1 - 100 \qquad for \qquad 50 \le P_{G1} \le 150$

$P_{G2} = 40\ IC_2 - 150 \qquad for \qquad 50 \le P_{G2} \le 150$

$P_{G3} = 40\ IC_3 - 80 \qquad for \qquad 50 \le P_{G3} \le 150$

اگر بار کل سیستم 400 مگاوات باشد، توزیع اقتصادی بار بین سه ژنراتور را با روش تکرار λ و با شروع از $\lambda=5$ بیابید.

حل:

$$IC_1 = IC_2 = IC_3 = \lambda$$

$$\begin{cases} P_{G1} = 60IC_1 - 100 = 60\lambda - 100 \\ P_{G2} = 40IC_2 - 150 = 40\lambda - 150 \\ P_{G3} = 50IC_1 - 80 = 50\lambda - 80 \end{cases}$$

ادامه حل:

$$\lambda=5 \quad\Rightarrow\quad \begin{cases} P_{G1}=60\times5-100=200>P_{G1}^{\max}=150 \quad\Rightarrow\quad P_{G1}=P_{G1}^{\max}=150 \\ P_{G2}=40\times5-150=50 \\ P_{G3}=50\times5-80=170>P_{G2}^{\max}=150 \quad\Rightarrow\quad P_{G3}=P_{G3}^{\max}=150 \end{cases}$$

$$\sum P_G=150+50+150=350<P_D=400 \quad\Rightarrow\quad increase\_\lambda$$

$$\lambda=6 \quad\Rightarrow\quad \begin{cases} P_{G1}=60\times6-100=260>P_{G1}^{\max}=150 \quad\Rightarrow\quad P_{G1}=P_{G1}^{\max}=150 \\ P_{G2}=40\times6-150=90 \\ P_{G3}=50\times6-80=220>P_{G2}^{\max}=150 \quad\Rightarrow\quad P_{G3}=P_{G3}^{\max}=150 \end{cases}$$

$$\sum P_G=150+90+150=390<P_D=400 \quad\Rightarrow\quad increase\_\lambda$$

$$\begin{array}{ll} \lambda & \sum P_G \\ 5 & 350 \\ 6 & 390 \\ \lambda & 400 \end{array} \quad\Rightarrow\quad \lambda=6.25$$

$$\lambda=6.25 \quad\Rightarrow\quad \begin{cases} P_{G1}=60\times6.25-100=275>P_{G1}^{\max}=150 \quad\Rightarrow\quad P_{G1}=P_{G1}^{\max}=150 \\ P_{G2}=40\times6.25-150=100 \\ P_{G3}=50\times6.25-80=232.5>P_{G2}^{\max}=150 \quad\Rightarrow\quad P_{G3}=P_{G3}^{\max}=150 \end{cases}$$

$$\sum P_G=150+100+150=400=P_D=400 \quad\Rightarrow\quad \begin{cases} P_{G1}^{opt}=150 \\ P_{G2}^{opt}=100 \\ P_{G3}^{opt}=150 \end{cases}$$