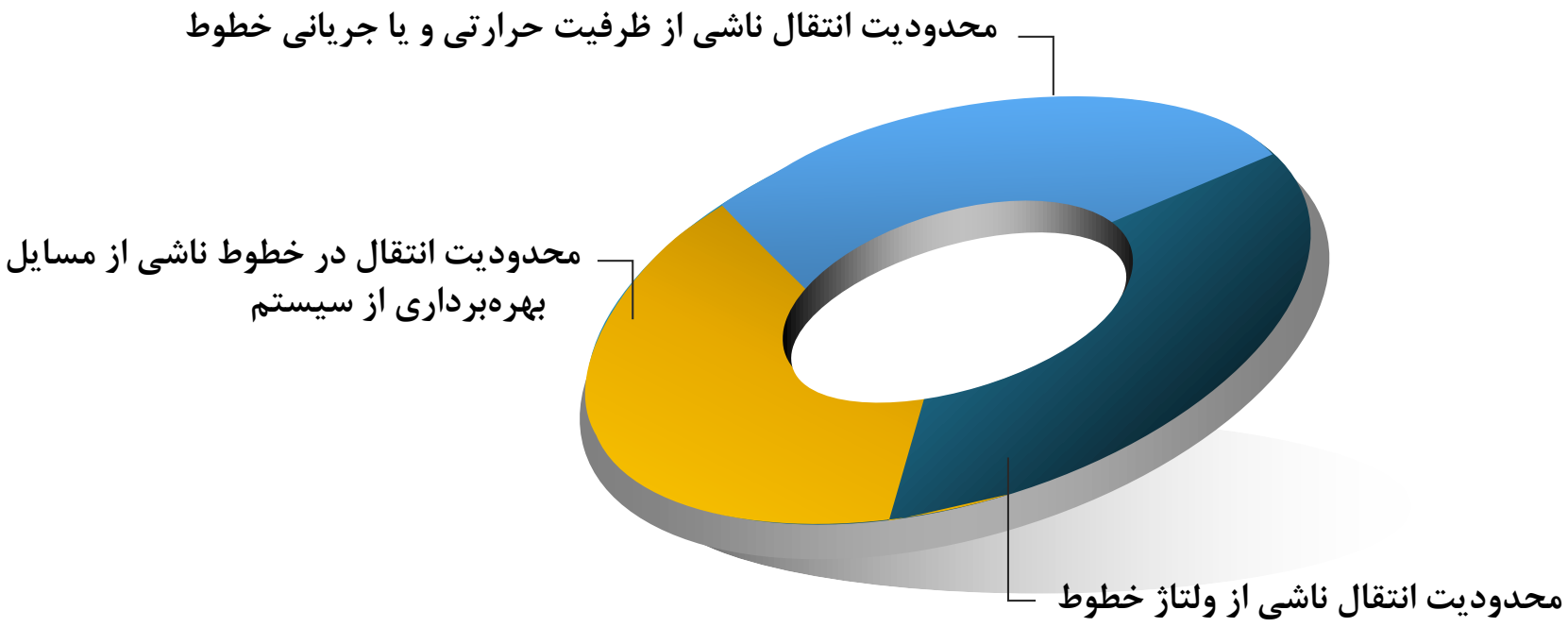
# محدودیت ها در خط انتقال



# محدودیت انتقال ناشی از ظرفیت حرارتی و یا جریانی خطوط

**علت رعایت محدودیت حرارتی خطوط به این دلیل است که گرم شدن بیش از اندازه هادی‌ها منجر به ایجاد مشکلات ذیل شود:**

- خطوط انتقال در اثر حرارت زیاد مقاومت مکانیکی خود را از دست داده که می‌تواند عمر مفید مورد انتظار آن را کاهش دهد.
- خط انتقال منبسط شده و شکم خط در وسط یک اسپن (حد فاصل دو دکل) افزایش می‌یابد. اگر درجه حرارت به طور مداوم و طولانی مدت بالا باشد، خط انتقال به طور دائمی کشیده شده و باعث خواهد شد حاشیه اطمینان و امنیت خط نسبت به زمین کمتر از میزان مجاز ایمنی خط باشد.

عبور جریان اضافی بیشتر از ظرفیت حرارتی تنها برای مدت محدود می‌تواند مجاز باشد.

- ظرفیت نامی و نرمال یک خط انتقال، میزان جریانی است که می‌تواند به مدت نامحدود از خط انتقال عبور کند.
- ظرفیت اضطراری میزان جریانی است که می‌تواند از خط انتقال برای مدت مشخصی عبور کند

# محدودیت انتقال ناشی از ولتاژ خطوط

**ولتاژ خط انتقال بهنگام تغییر در بار و یا خطا در خطوط و یا تجهیزات دیگر انتقال و توزیع می‌تواند تغییراتی داشته باشد.**

- محدودیت در حداکثر سطح ولتاژ:
  - منجر به ایجاد اتصال کوتاه و همچنین ایجاد موجهای مزاحم برای امواج رادیویی نشود
  - موجب سوختن ترانسفورماتورها و سایر تجهیزات ایستگاهها و یا تسهیلات مصرف‌کننده‌ها نشود.
- محدودیت در حداقل سطح ولتاژ:
  - توان مورد نیاز مصرف‌کننده داشته که در ولتاژهای پایین‌تر از آن تجهیزات مصرف‌کننده‌ها عملکرد غیرنرمال خواهند داشت و ممکن است باعث سوختن بعضی از وسایل مثل موتورها شود.
- پروفیل ولتاژ در یک خط انتقال از پایانه فرستنده به پایانه گیرنده نباید از ۵ تا ۱۰٪ تجاوز نماید.
- افت ولتاژ در خط انتقال AC تقریباً با میزان جریان راکتیو عبوری خط و راکتانس آن رابطه دارد.
- راکتانس خط با طول خط نسبت مستقیم داشته و با افزایش طول خط میزان آن افزایش می‌یابد.

# محدودیت انتقال در خطوط ناشی از مسایل بهره‌برداری از سیستم

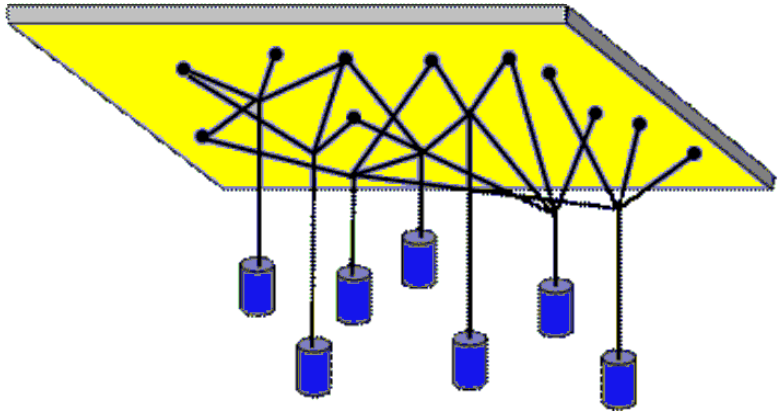
**علت اصلی برای رعایت محدودیت ناشی از مسایل بهره برداری به جهت حفظ امنیت در پایایی سیستم است.**

- حفظ تداوم عبور توان در کلیه حالات بهره برداری از جمله در پیشامد خطا در شبکه.
  - الگو و خصوصیات عبور توان در خطوط انتقال و توزیع یک شبکه به هم پیوسته بهنگام تغییر در میزان بار، تجدید در آرایش تولید، خارج از مدار بودن طبق برنامه بخشی از تجهیزات انتقال و یا توزیع و یا خارج شدن تجهیز و یا تجهیزاتی از شبکه بهنگام وقوع خطا، تجدید آرایش می‌یابد.

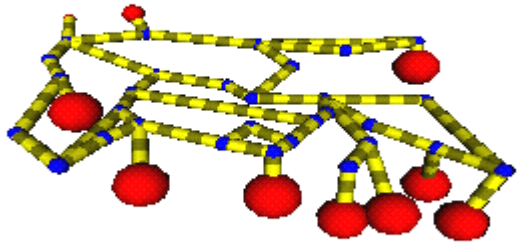
# مفهوم پایداری در سیستم قدرت

تعدادی جرم که بیانگر ژنراتورهای سیستم قدرت می باشند، از شبکه ای با رشته های کشسان که به منزله خطوط انتقال الکتریکی هستند، آویزان شده اند.

- سیستم در حالت دائم ایستا بسر می برد.
- هر رشته کمتر از نقطه پارگی آن بار گذاری شده است.



# مفهوم پایداری در سیستم قدرت



پارگی ناگهانی یکی از رشته ها مدلی از خروج ناگهانی یک خط از مدار خواهد بود.

این امر موجب نوسانات گذرا و همبسته تمامی جرم ها خواهد شد.

## حالت نهایی سیستم در نتیجه این اتفاق ناگهانی

**حالت 1**

قطع رشته و رشته های جدید و احتمال گسیختگی

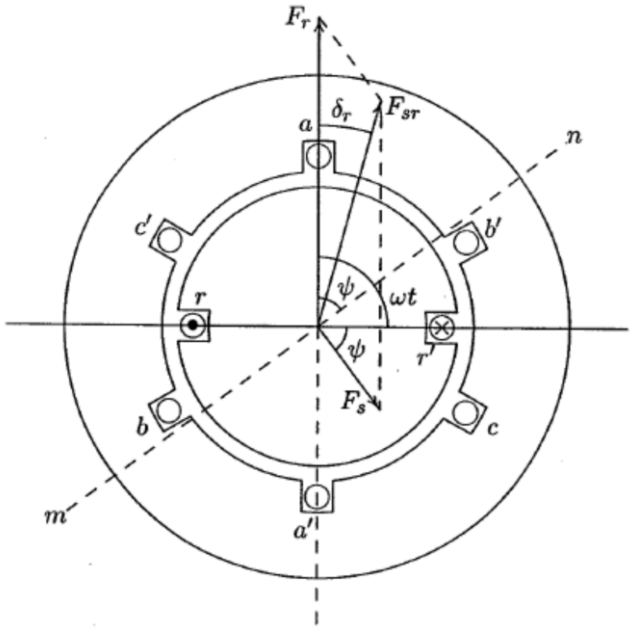
**حالت 2**

نشست سیستم در یک نقطه تعادل جدید

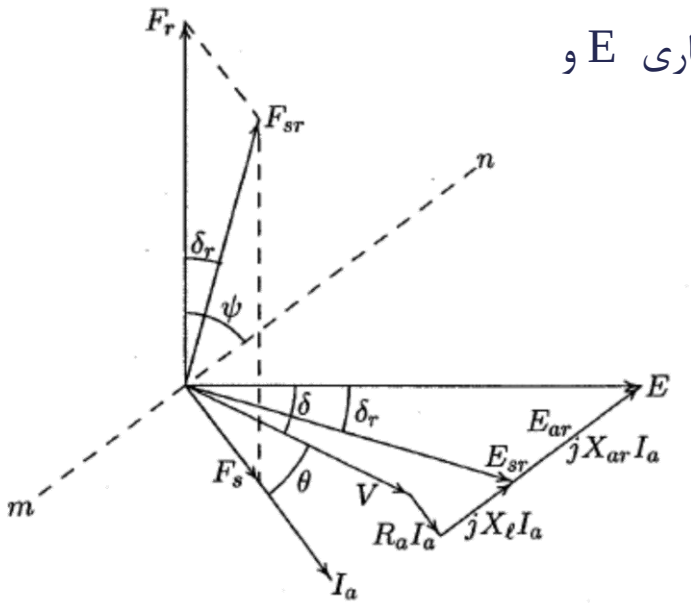
# پایداری گذرا–معیار سطوح برابر

- مدل ساده ژنراتور سنکرون:
  - معادله نوسان

مدل ژنراتور سنکرون دو قطبی ساده:



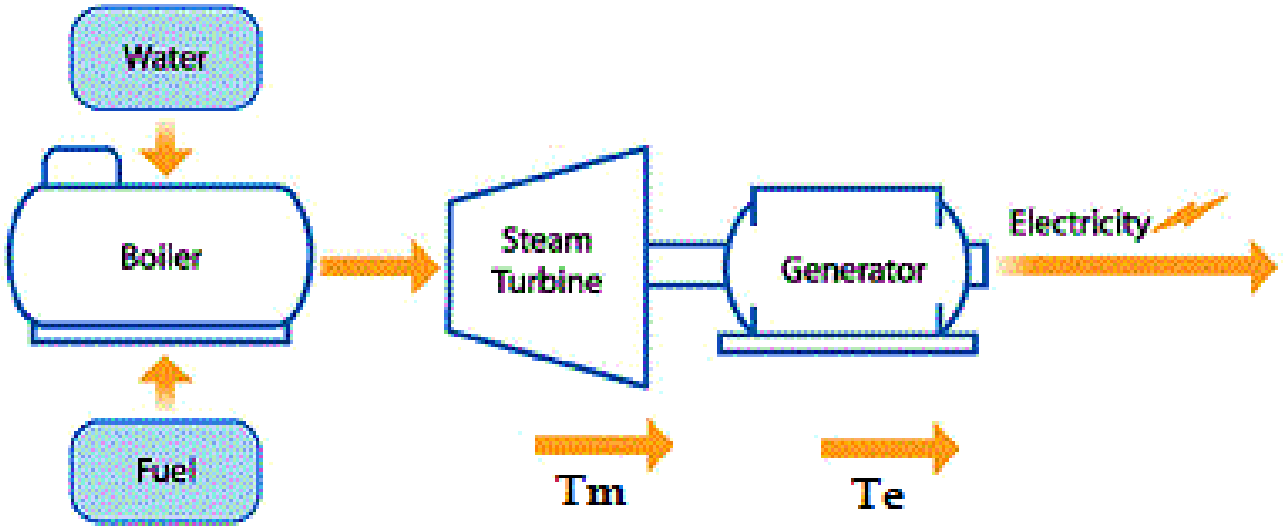

زاویه توان ($\delta r$) زاویه بین mmf روتور (Fr) و mmf منتجه فاصله هوایی است که هر دو با سرعت سنکرون می چرخند.

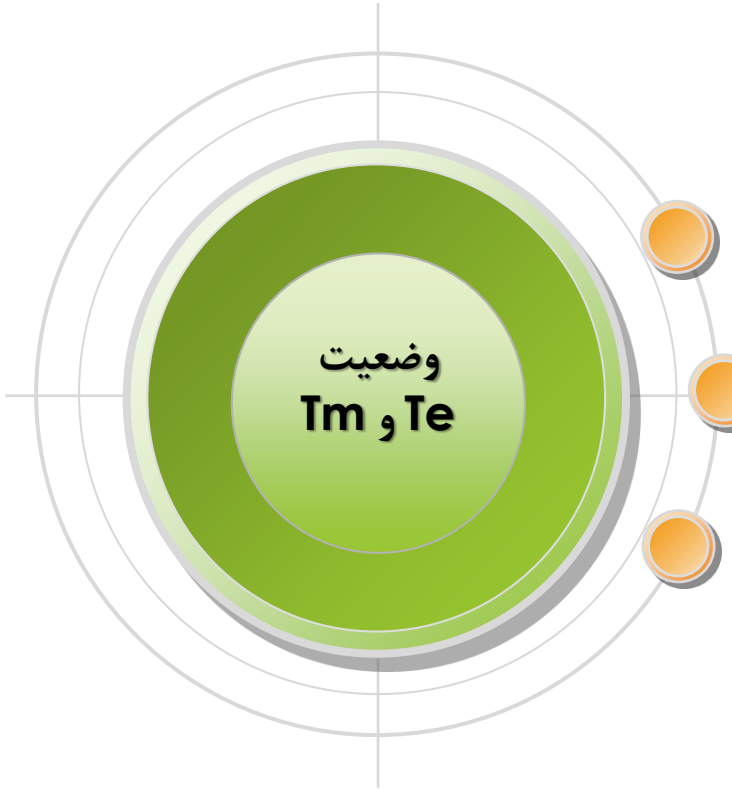



این زاویه، زاویه بین نیرو محرکه تولید شده (emf) بی باری E و ولتاژ منجه استاتور Esr نیز می باشد.

معادله نوسان ...

- ژنراتور سنکرون با گشتاور الکترومغناطیسی Te
- سرعت سنکرون $\omega_{sm}$
- گشتاور مکانیکی ورودی Tm






- عملکرد حالت ماندگار: **Tm=Te**
- گشتاور افزایش دهنده شتاب: **Tm>Te**
- گشتاور کاهش دهنده شتاب: **Tm<Te**

خروج از حالت همگامی ناشی از وقوع یک اختلال موجب گشتاوری به فرم ذیل خواهد بود:

این امر موجب پیدایش گشتاور Ta در روتور می گردد:

$$Ta=Tm-Te$$

معادله نوسان ...

با چشم پوشی از گشتاور میرا کننده و اصطکاکی و تنها ملاحظه ممان اینرسی (J):

$$J\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e$$

$\theta m$ جابجایی زاویه روتور نسبت به محور ساکن استاور است. با نظر به اینکه سرعت روتور نسبی است نسبت به سرعت سنکرون.

$$\theta_m = \omega_{sm}t + \delta_m \xrightarrow{\text{مشتق}} \omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{ms} + \frac{d\delta_m}{dt}$$

با مشتق دوباره می توان شتاب زاویه ای روتور را بدست آورد.

$$\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{d^2\delta_m}{dt^2}$$

معادله نوسان ...

$$J\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e$$

$$J\frac{d^2\delta_m}{dt^2} = T_m - T_e \xrightarrow{\text{ضرب در } \omega m} J\omega_m\frac{d^2\delta_m}{dt^2} = \omega_m T_m - \omega_m T_e$$

$$J\omega_m\frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \xrightarrow{\text{تعریف ثابت اینرسی M}} M\frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_m - P_e$$

معادله نوسان ...

- ادامه روابط و جایگزین ثوابت معادله اخیر با تعریف پارامتر H، به عنوان ثابت اینرسی پریونیت، معادله نوسان ماشین طبق رابطه ذیل قابل بیان خواهد بود:

$$\frac{H}{\pi f_0}\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e = P_a$$

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f_0}{H}(P_m - P_e)$$

ضرب در $\frac{d\delta}{dt}$

$$2\frac{d\delta}{dt}\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{2\pi f_0}{H}(P_m - P_e)\frac{d\delta}{dt}$$

$$\frac{d}{dt}\left[\left(\frac{d\delta}{dt}\right)^2\right] = \frac{2\pi f_0}{H}(P_m - P_e)\frac{d\delta}{dt}$$

$$d\left[\left(\frac{d\delta}{dt}\right)^2\right] = \frac{2\pi f_0}{H}(P_m - P_e)d\delta$$

انتگرال گیری از طرفین

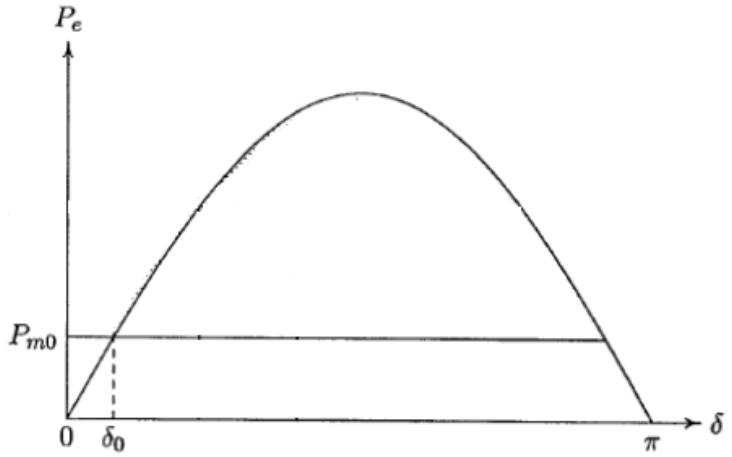
$$\left(\frac{d\delta}{dt}\right)^2 = \frac{2\pi f_0}{H}\int_{\delta_0}^{\delta}(P_m - P_e)d\delta$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\frac{2\pi f_0}{H}\int_{\delta_0}^{\delta}(P_m - P_e)d\delta}$$

معادله نوسان ...

- برای رسیدن به پایداری، تغییرات زاویه روتور بایستی در مدتی پس از وقوع اختلال صفر شود:

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\frac{2\pi f_0}{H}\int_{\delta_0}^{\delta}(P_m - P_e)d\delta} \longrightarrow \int_{\delta_0}^{\delta}(P_m - P_e)d\delta = 0$$



معادله نوسان ...(مثال: تغییر ناگهانی بار)

افزایش پله ای ناگهانی در توان مکانیکی ورودی

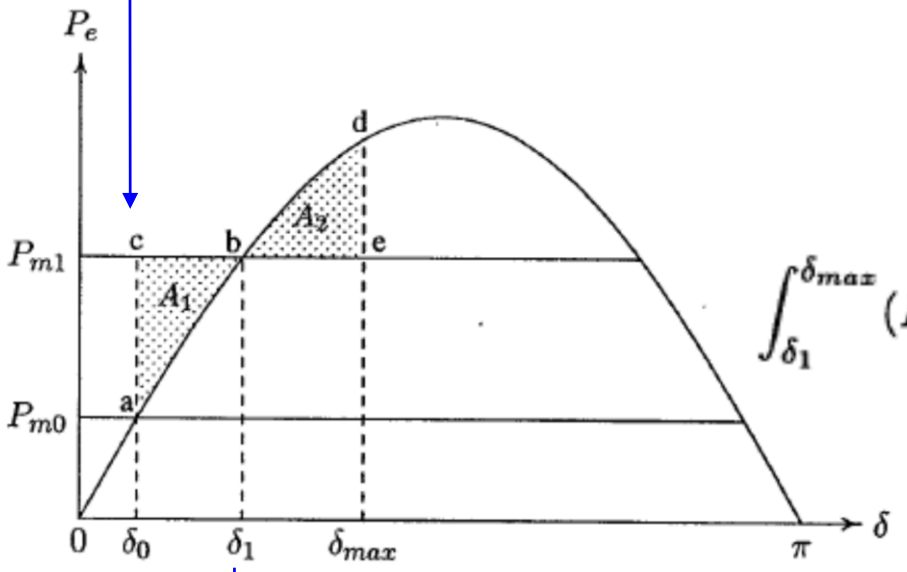
توان شتاب دهنده روتور مثبت و زاویه توان افزایش می یابد.

انرژی اضافی ذخیره شده در روتور در هنگام شتاب گیری اولیه

$$\int_{\delta_0}^{\delta_1}(P_{m1}-P_e)d\delta = \text{area } abc = \text{area } A_1$$

$$|\text{area } A_1| = |\text{area } A_2|$$

$$\int_{\delta_1}^{\delta_{max}}(P_{m1}-P_e)d\delta = \text{area } bde = \text{area } A_2$$




شتاب منفی و کاهش سرعت روتور تا رسیدن به سرعت سنکرون

نقطه تعادل اولیه

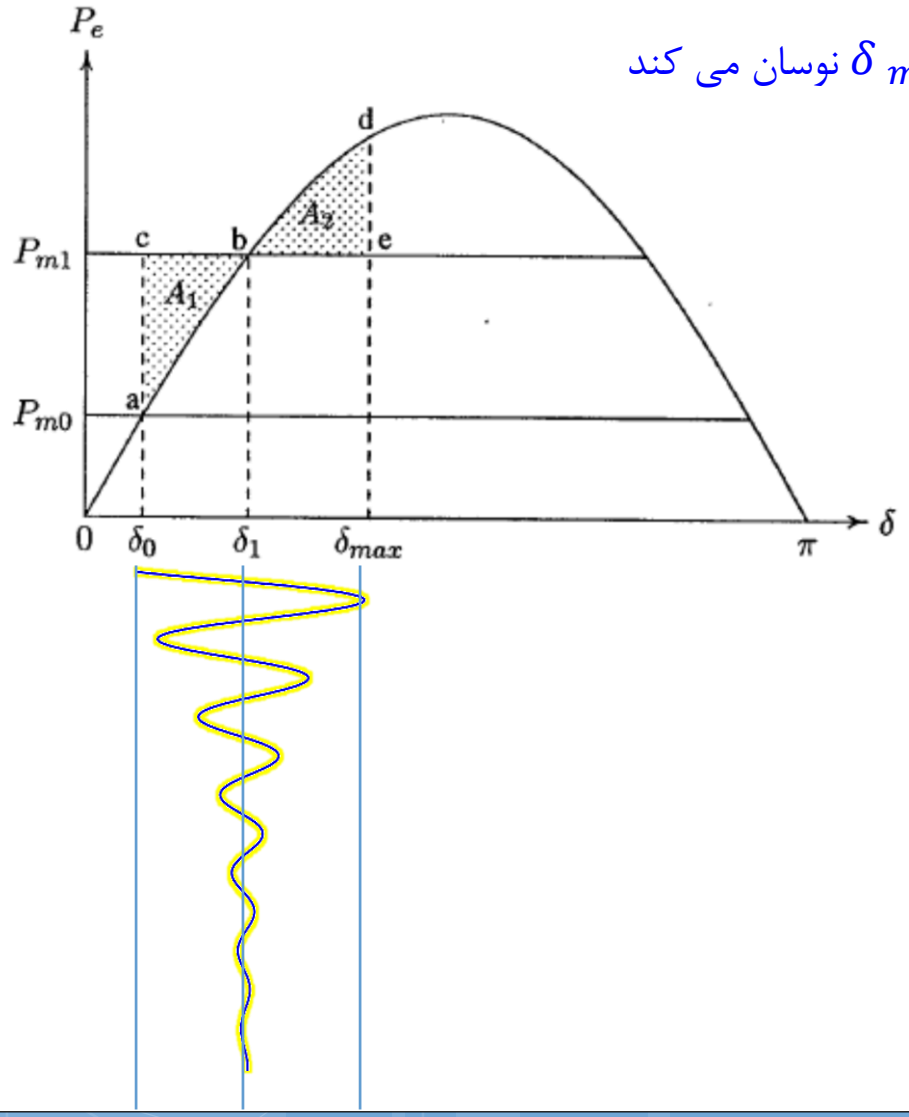
$$P_{m0} = P_{e0}$$

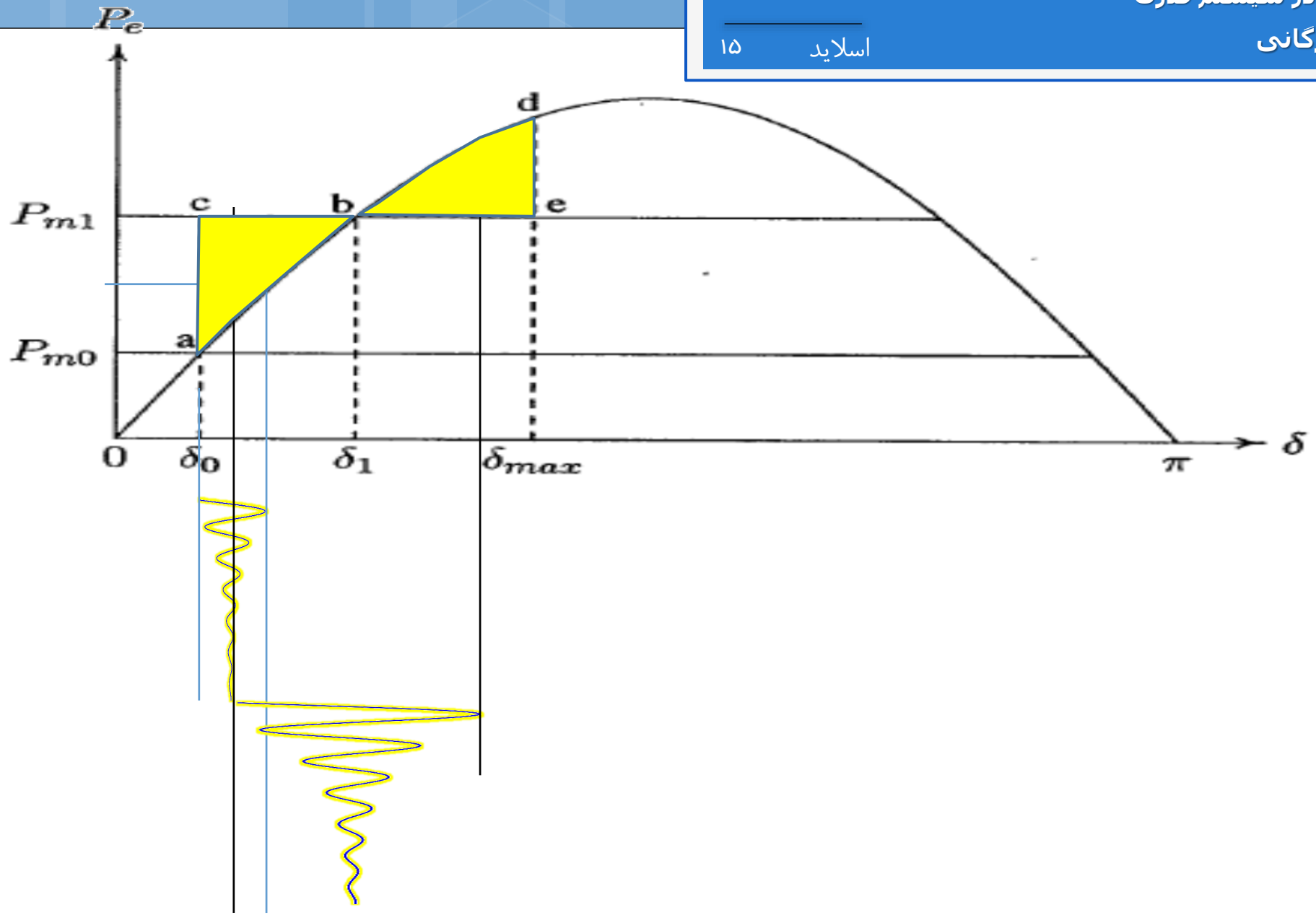
توان الکتریکی با مکانیکی ورودی برابر می گردد اما روتور بیشتر از سرعت سنکرون می چرخد لذا زاویه و توان به افزایش خود ادامه می دهند

$$P_m < P_e$$

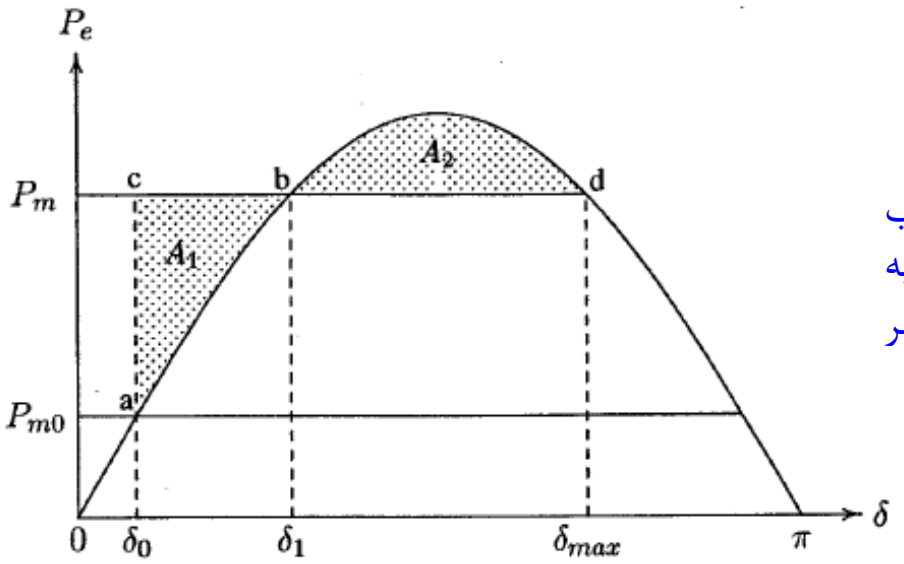
معادله نوسان ...(مثال: تغییر ناگهانی بار)

زاویه روتور با فرکانس طبیعی بین $\delta_0$ و $\delta_{max}$ نوسان می کند




$P_e$
$P_{m1}$
$P_{m0}$
a
b
c
d
e
0
$\delta_0$
$\delta_1$
$\delta_{max}$
$\pi$
$\delta$

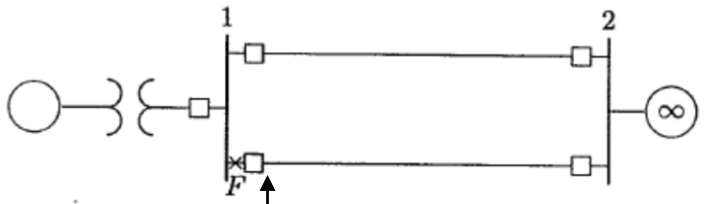
معادله نوسان ...(مثال: تغییر ناگهانی بار)




شرایط بحرانی:

اگر سطح A2 کوچکتر از A1 باشد، شتاب روتور گرفته نخواهد شد و روند افزایش زاویه روتور تا ۱۸۰ درجه و در نهایت توان صفر ادامه خواهد یافت.

معادله نوسان ...(مثال: خطای سه فاز)



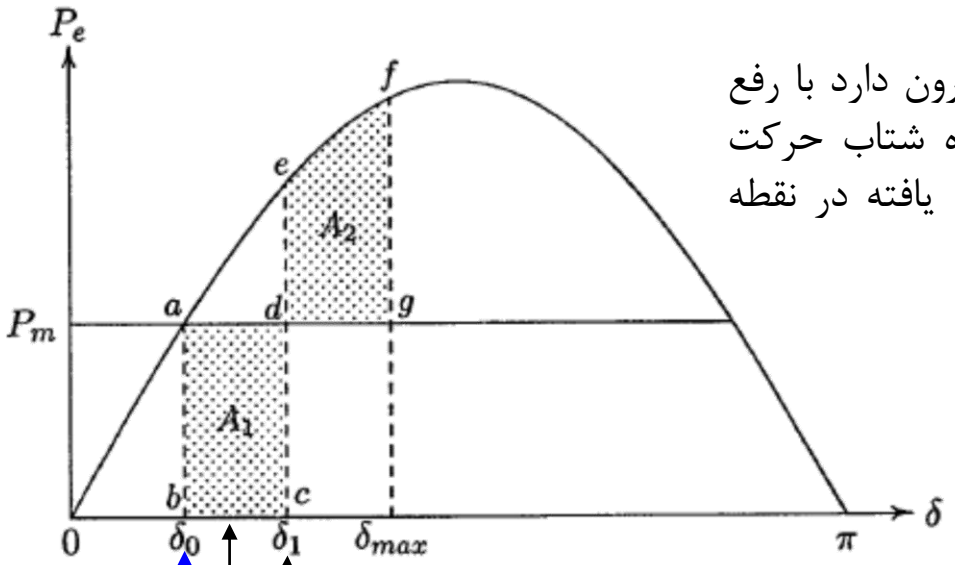

با وقع خطا در پایانه سمت ارسال، توانی به خط ارسال نمی گردد

Pe=0

کل توان ورودی Pm به عنوان توان شتاب دهنده عمل نموده و زوایه روتور افزایش می یابد.

در زاویه مقارن با $\delta_1$ خطا رفع می گردد و هر دو خط در مدارند.

روتور که شتاب گرفته و سرعتی بیشتر از سنکرون دارد با رفع خطا، طی همان منحنی توان در مسیر کاهنده شتاب حرکت کرده تا نهایتا با تساوی سطوح، سرعت کاهش یافته در نقطه اولیه خود ($\delta_0$) به تعادل برسد.




زاویه

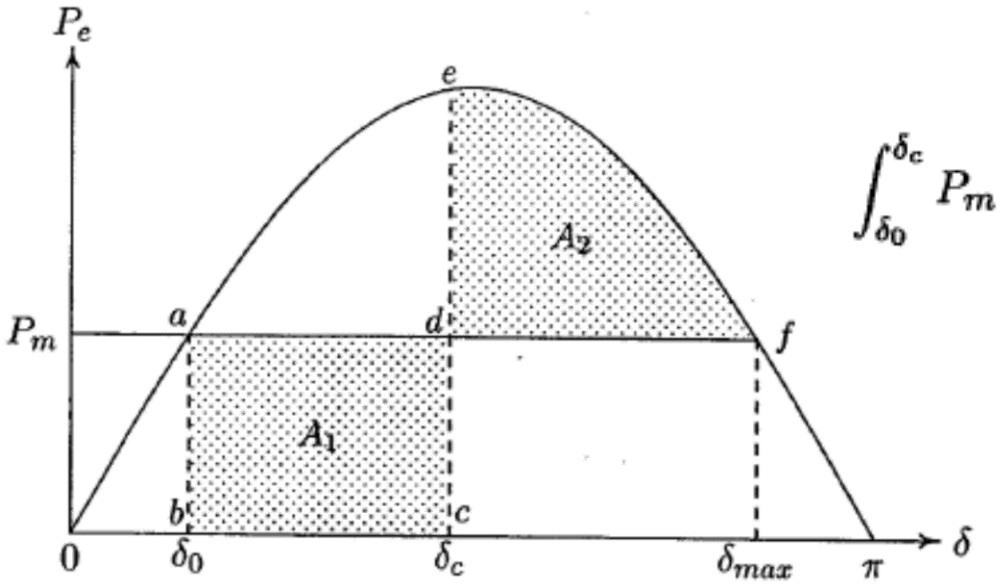
نقطه تعادل اولیه

Pe=0

معادله نوسان ...(مثال: خطای سه فاز)

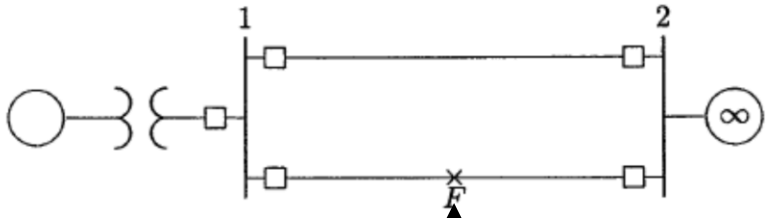
شرایط بحرانی:

زاویه بحرانی رفع خطا ($\delta_c$)، زاویه ایست که به ازای آن هرگونه افزایشی در $\delta$ موجب می شود که سطح کاهنده شتاب (A2) از سطح افزایش دهنده شتاب (A1) کمتر شود.



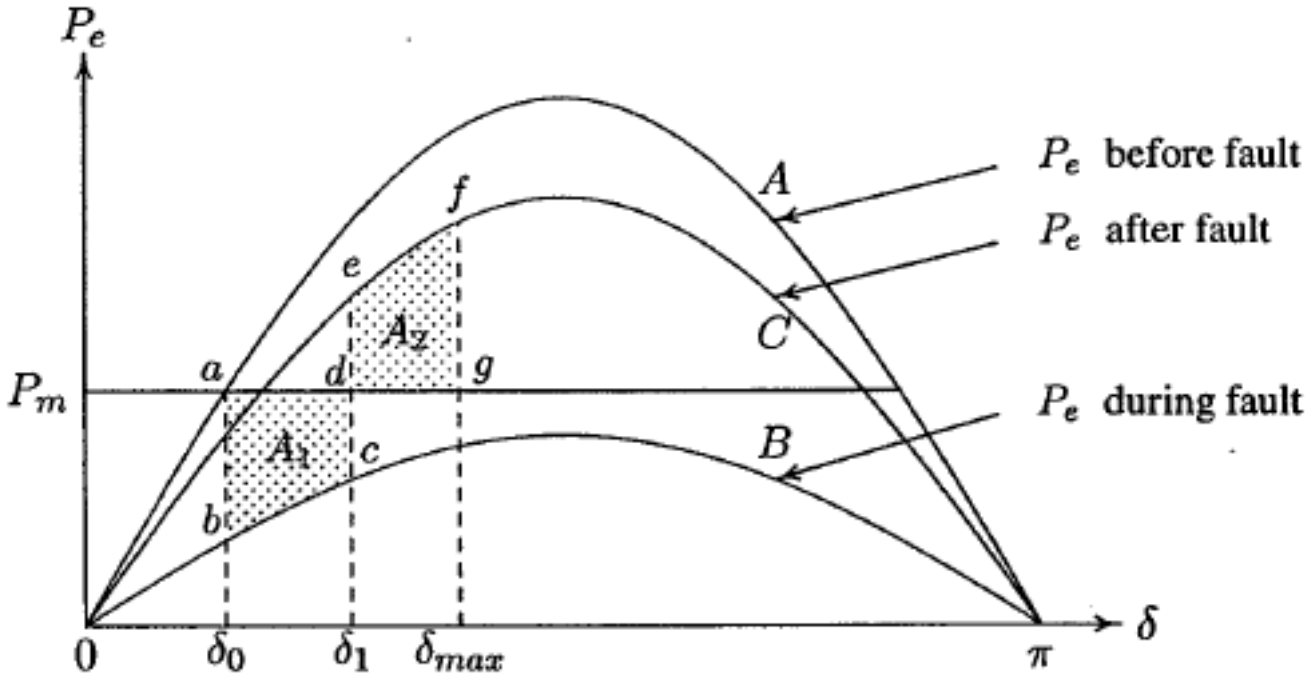

$$\int_{\delta_0}^{\delta_c} P_m \, d\delta = \int_{\delta_c}^{\delta_{max}} (P_{max} \sin\delta - P_m) d\delta$$

معادله نوسان ...(مثال: خطای سه فاز)

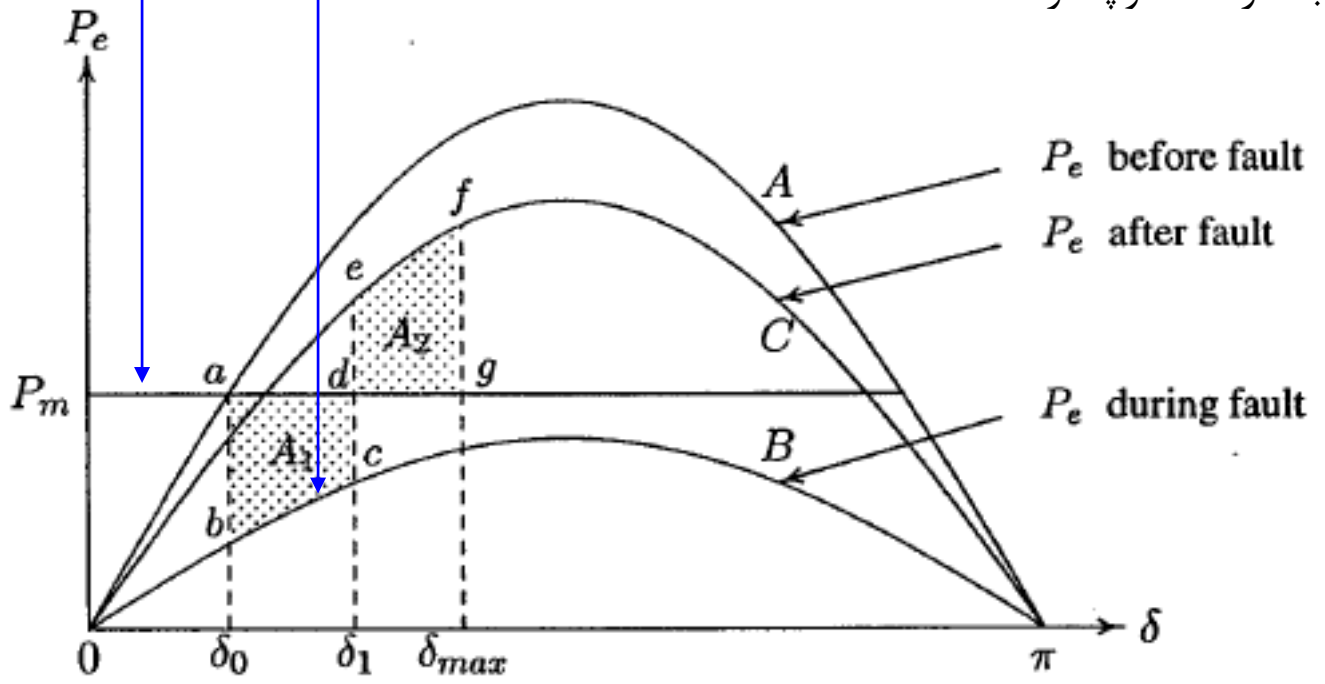



با وقع خطا در طول خط انتقال راکتانس انتقالی معادل بین شین ها افزایش می یابد.

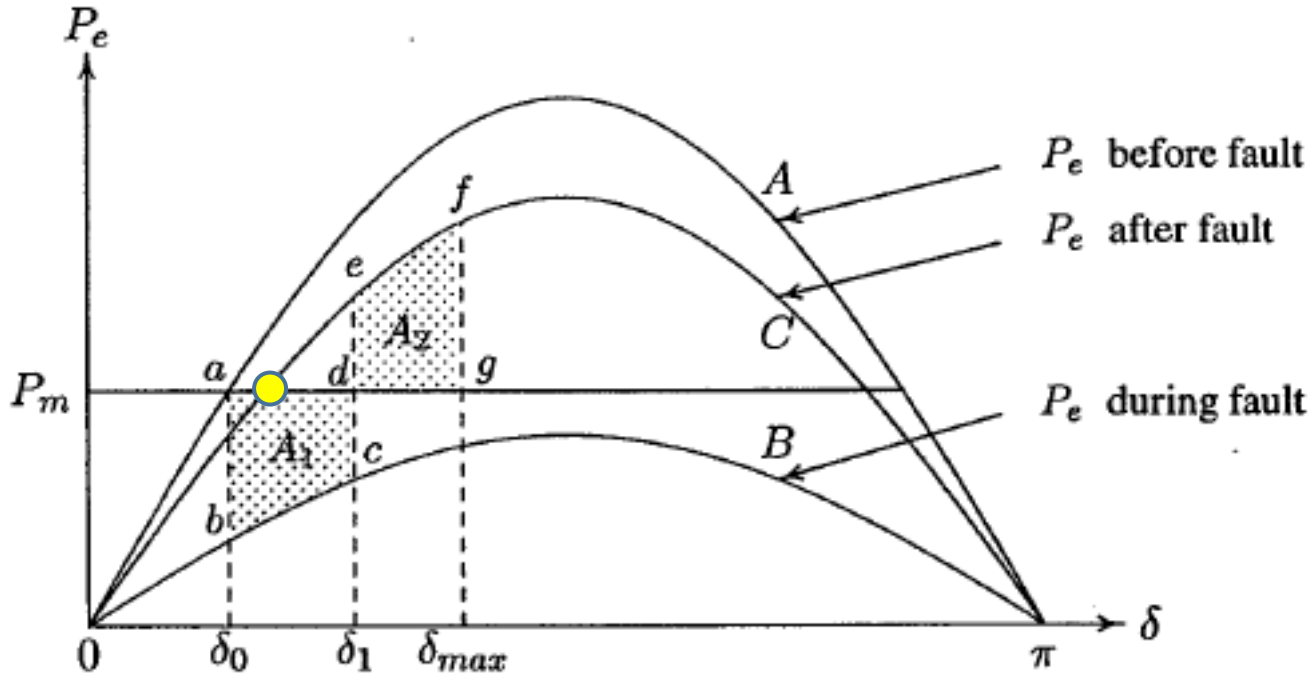
قابلیت انتقال توان کاهش می یابد.

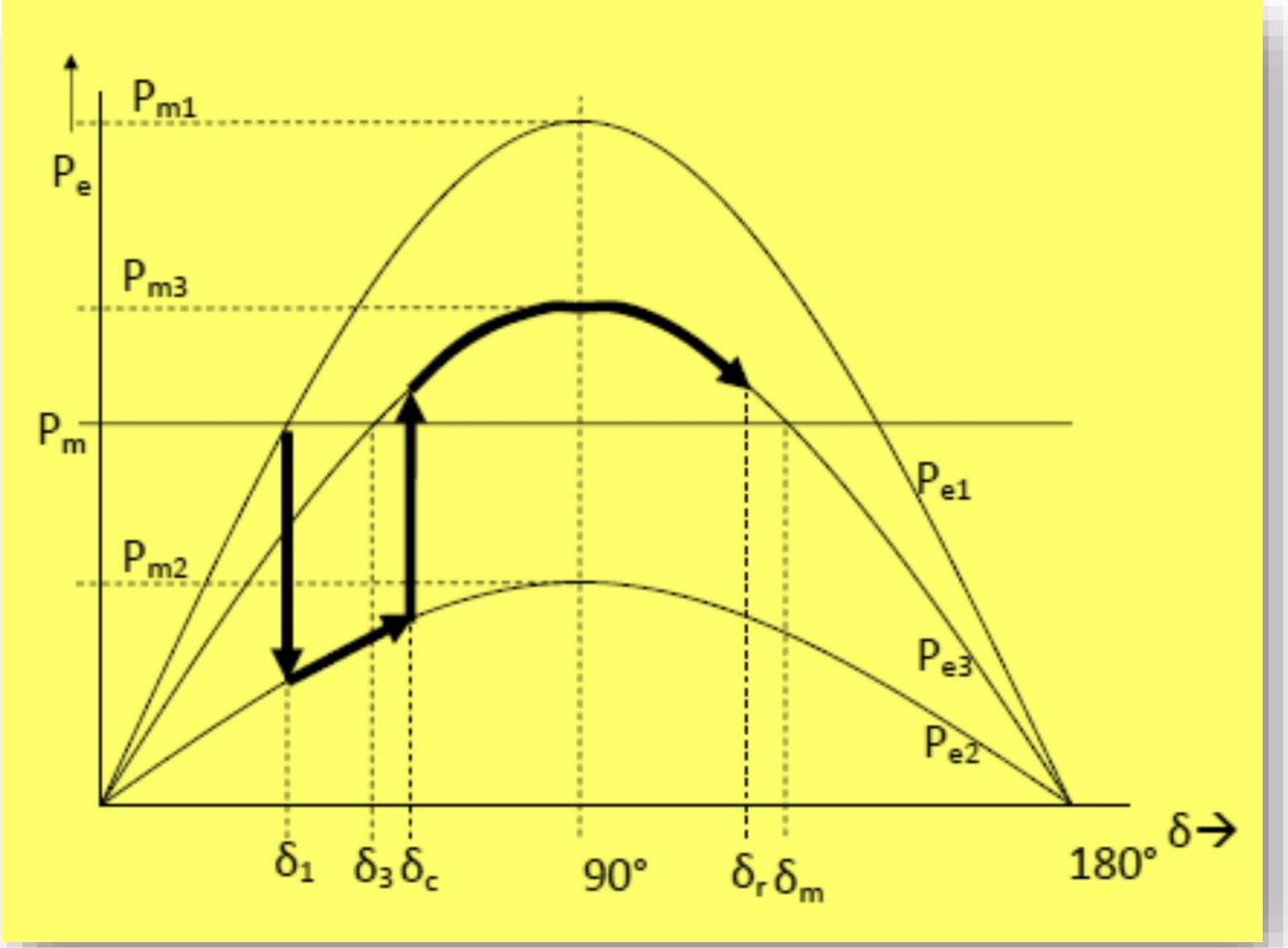


- توان مکانیکی از توان الکتریکی بیشتر است، لذا روتور شتاب می گیرد.
- روند افزایش زاویه بر روی منحنی B در حین خطا خواهد بود.
- در زاویه مقارن با $\delta_1$ خطا رفع می گردد و خط پایینی از مدار خارج می گردد.
- راکتانس انتقالی معادل بین شین ها نسبت به شرایط حین خطا کاهش می یابد.
- با در نظر گرفتن خروج خط و افزایش راکتانس معادل بعد از خطا، این راکتانس کمی از راکتانس بعد از خط کوچکتر است.



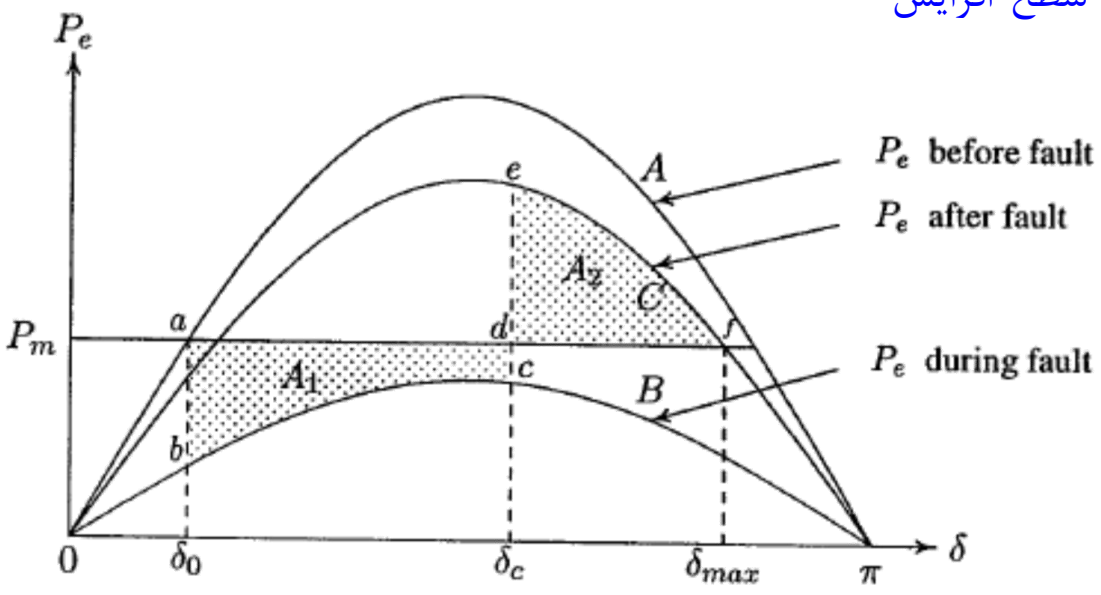
- با توجه به اینکه روتور در لحظه رفع خطا دارای شتاب بوده، و پس از رفع خطا منحنی کار، C می باشد، لذا روند کاهنده شتاب تا زاویه $\delta_{max}$ ادامه داشته تا در این زاویه شتاب صفر شده و نقطه تعادل نهایی تقاطع منحنی C خط Pm خواهد بود.




$P_{m1}$
$P_e$
$P_{m3}$
$P_m$
$P_{m2}$
$P_{e1}$
$P_{e3}$
$P_{e2}$
$\delta_1$
$\delta_3$
$\delta_c$
90°
$\delta_r$
$\delta_m$
180°
$\delta \rightarrow$

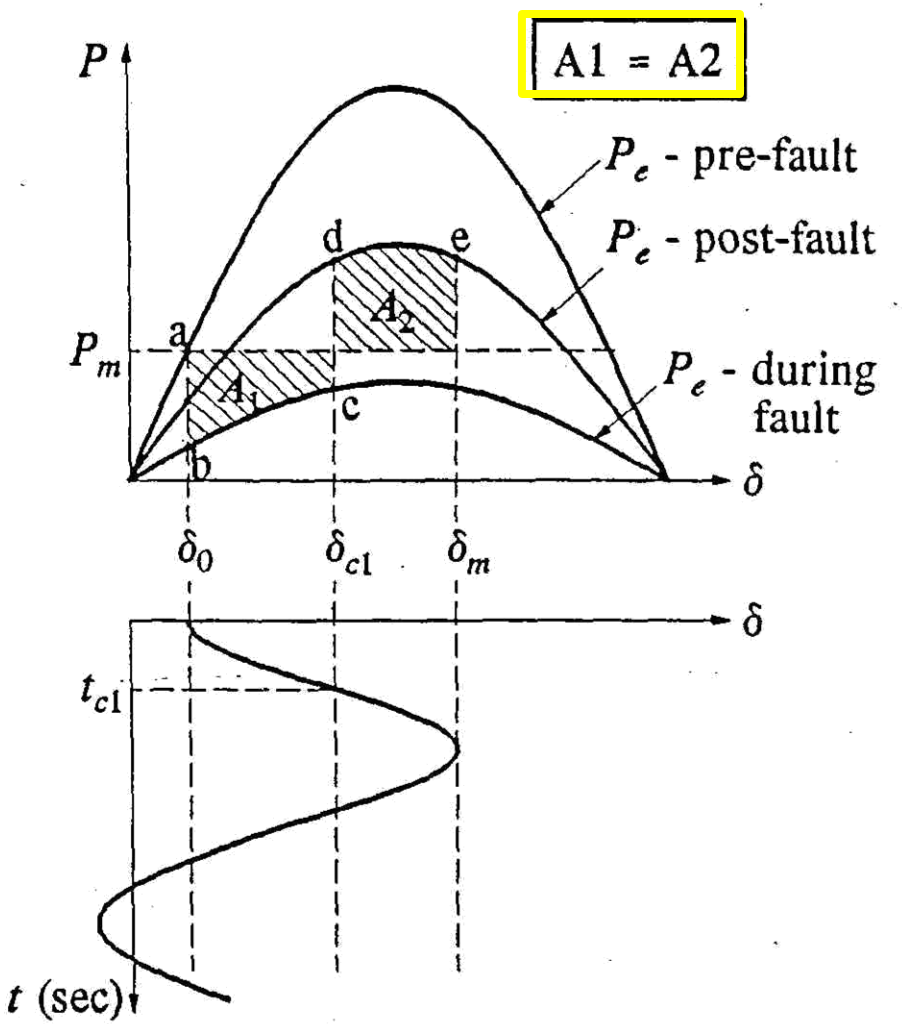
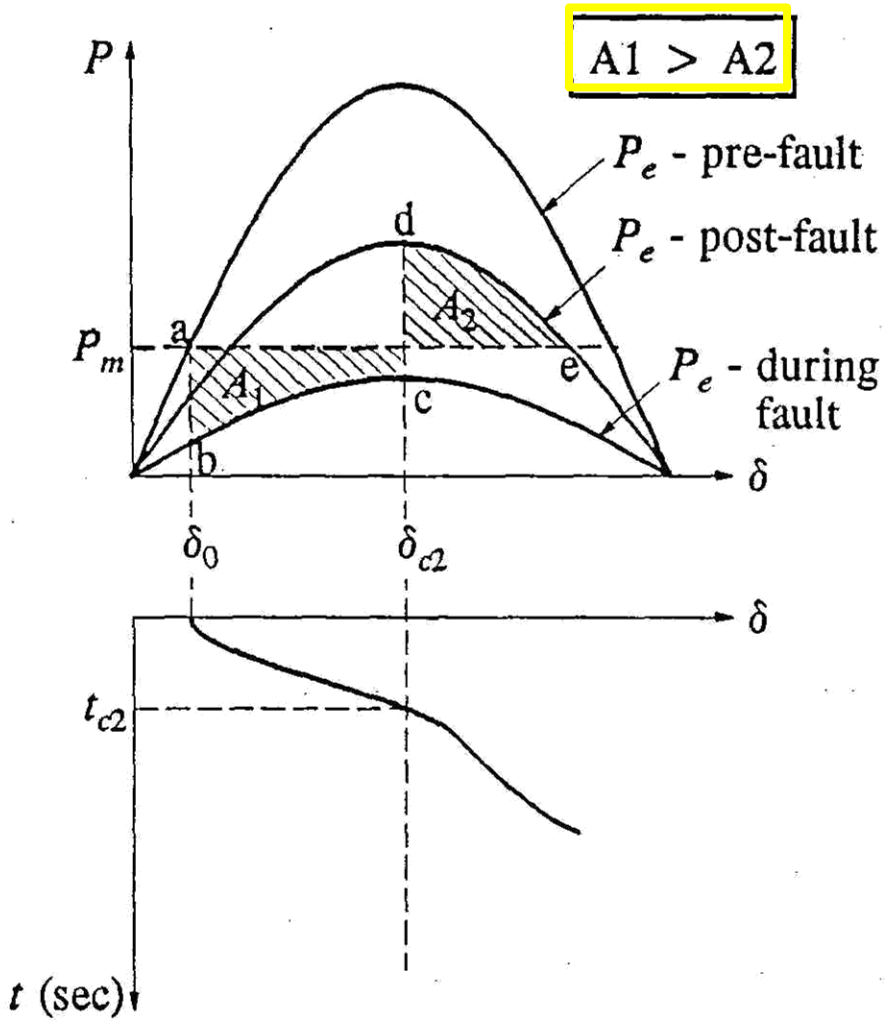
شرایط بحرانی:

زاویه بحرانی رفع خطا ($\delta_c$)، زاویه ایست که به ازای آن هرگونه افزایشی در $\delta$ موجب می شود که سطح کاهنده شتاب (A2) از سطح افزایش دهنده شتاب (A1) کمتر شود.




$$P_m(\delta_c - \delta_0) - \int_{\delta_0}^{\delta_c} P_{2\,max} \sin\delta \, d\delta = \int_{\delta_c}^{\delta_{max}} P_{3\,max} \sin\delta \, d\delta - P_m(\delta_{max} - \delta_c)$$

# Stable Case


A1 = A2
P
$P_e$ - pre-fault
$P'_e$ - post-fault
$P_e$ - during fault
$P_m$
a
b
c
d
e
$A_1$
$A_2$
δ
$\delta_0$
$\delta_{c1}$
$\delta_m$
$t_{c1}$
t (sec)

# Unstable Case