مبحث دهم:

حالت های گذرا در ماشین های سنکرون

- حالت های گذرا
- مدارهای معادل حالت های زیرگذرا، گذرا و دائم در شرایط اتصال کوتاه ژنراتور بی بار
- اتصال کوتاه ژنراتور باردار

■ **تعریف حالت های گذرا:** حالت های قبل از رسیدن ماشین به حالت دائمی را حالت های گذرا گویند.

■ **علل ایجاد حالت گذرا در ژنراتور:**

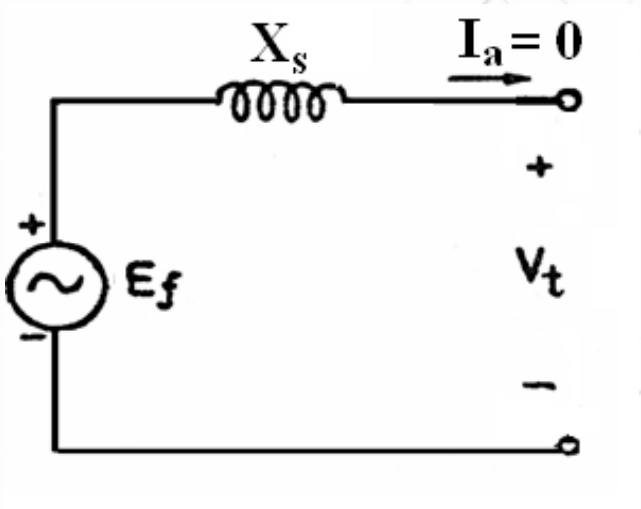
- تغییرات ناگهانی بار الکتریکی روی ژنراتور
- اتصال کوتاه ها
  - تک فاز
  - دو فاز
  - سه فاز
    - تحت بار
    - بی بار

■ **علت ایجاد حالت گذرا در موتور:** در حالت موتوری، شرایط گذرا بواسطه تغییر ناگهانی بار مکانیکی روی روتور بوجود می آید.

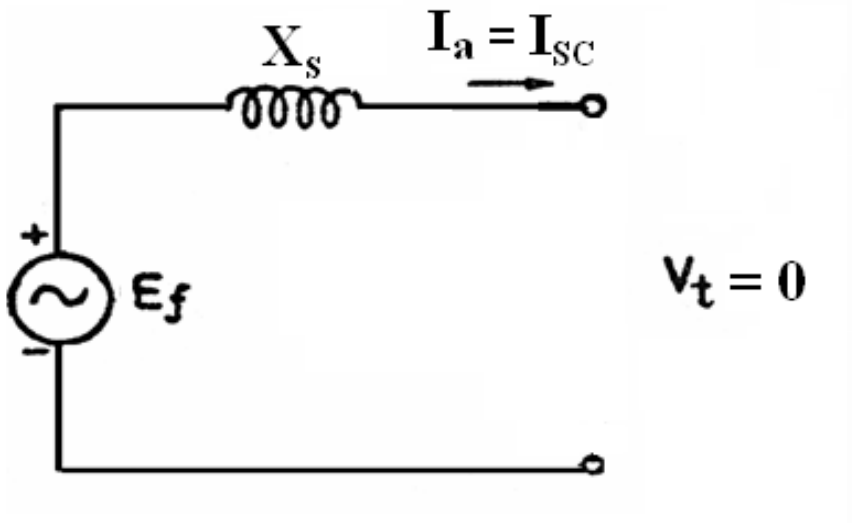
❑ حالت های گذرا

➢ مقایسه رفتار یک سلف با ماشین سنکرون:

- **رفتار جریانی یک سلف در لحظه تغییر ناگهانی شرایط مدار: اگر ژنراتور را یک مدار سلفی معمولی می دانستیم، انتظار داشتیم پس از اتصال کوتاه ترمینال خروجی، دامنه جریان در لحظه اولیه اتصال کوتاه صفر باقی بماند که در نتیجه آن، شکل موج جریان دارای مقداری DC می شد. برای یک سلف معمولی پس از تغییر شرایط مدار، دامنه مولفه سینوسی جریان ثابت باقی می ماند.**
- **اما در ماشین سنکرون، علاوه بر ایجاد مقدار DC، دامنه مولفه سینوسی جریان نیز تغییر می کند.**



(الف) ژنراتور بی بار قبل از اتصال کوتاه



(ب) ژنراتور بی بار بعد از اتصال کوتاه

❑ حالت های گذرا

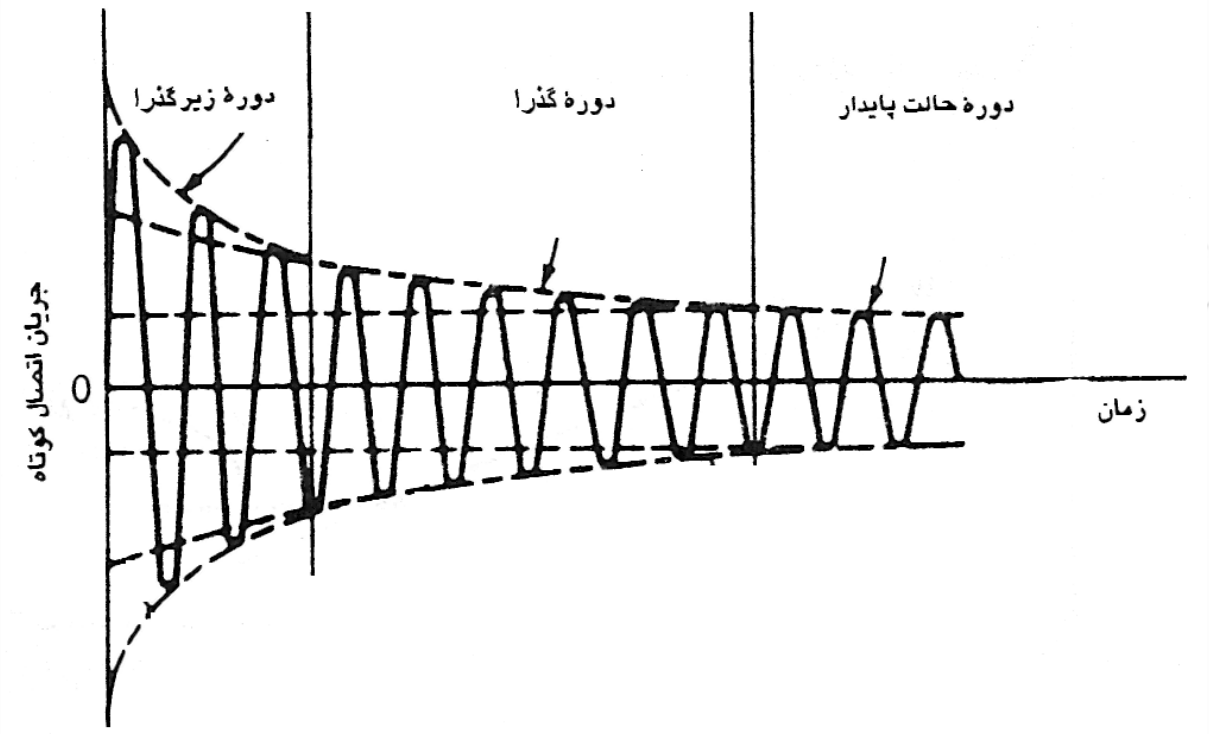
➢ دوره های زمانی مختلف در حالت گذرا:

- **مدت زمان شروع اتصال کوتاه تا رسیدن به حالت اتصال کوتاه پایدار را می توان به سه بازه زمانی مختلف تقسیم بندی نمود که به ترتیب از زمان شروع عبارتند از:**

(۱) حالت زیرگذرا (تندگذر)

(۲) حالت گذرا

(۳) حالت پایدار



شکل موج جریان فاز a در هنگام اتصال کوتاه ژنراتورسنکرون تا رسیدن به حالت پایدار اتصال کوتاه

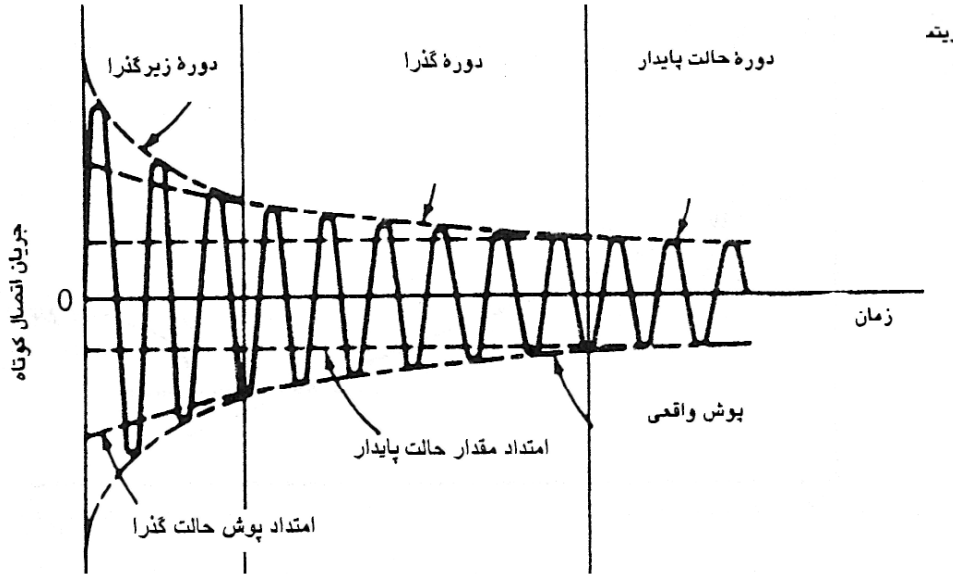
- **علت ایجاد دوره زیرگذرا:** اتصال کوتاه ناگهانی باعث القای جریان در سیم پیچ های دمپرها شده و دمپرها همانند تحریک عمل می کنند. لذا جریان آرمیچر افزایش می یابد.
- **مدت زمانی دوره زیرگذرا:** مدت این بازه را ثابت زمانی الکتریکی مدار دمپر تعیین می کند که آنرا معمولا با T''_o نشان می دهند و اغلب مدت این بازه، حداکثر ۲ تا ۳ سیکل زمانی را شامل می شود.
- **دامنه جریان در دوره زیرگذرا،** حداکثر مقدار ممکن است و تا ۱۰ برابر جریان اتصال کوتاه در حالت دائم می تواند باشد.

- **علت ایجاد دوره گذرا:** اتصال کوتاه ناگهانی باعث افزایش جریان در سیم پیچ های تحریک شده و درنتیجه جریان آرمیچر افزایش می یابد. به نحویکه دامنه آن از مقدار جریان اتصال کوتاه دائمی بیشتر می شود.
- **مدت زمانی دوره گذرا:** مدت این بازه را ثابت زمانی الکتریکی مدار تحریک تعیین می کند که آنرا معمولا با T'_o نشان می دهند و اغلب مدت این بازه، حداکثر ۱۵ تا ۲۰ سیکل زمانی را شامل می شود.
- **دامنه جریان در دوره گذرا،** مقدار جریان در این دوره تا حداکثر ۵ برابر جریان اتصال کوتاه در حالت دائم می تواند باشد.

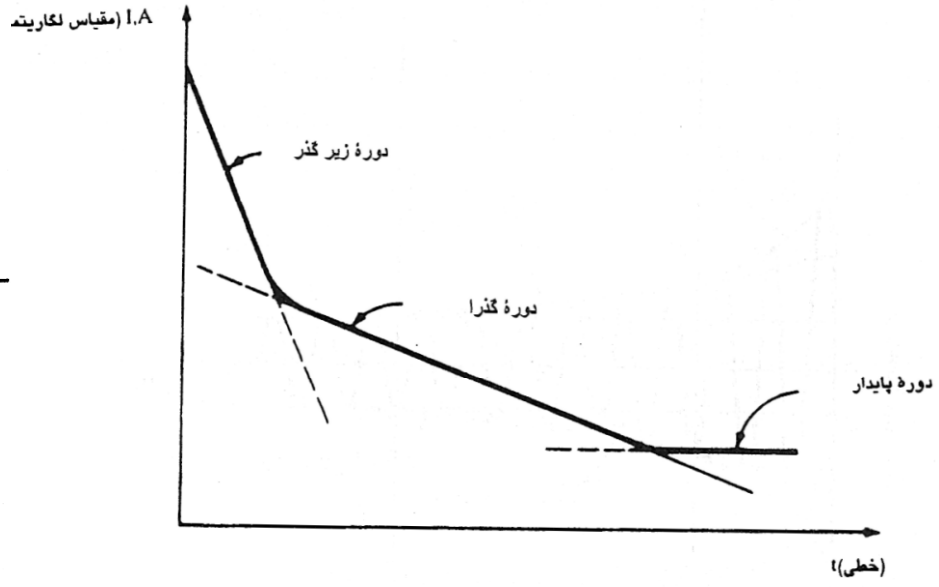
❑ حالت های گذرا

➢ معادله جریان در حالت های گذرا:

- **ثابت های زمانی پوش جریان در هر دوره را می توان با رسم جریان فاز a در مقیاس لگاریتمی و تعیین شیب کاهش جریان بدست آورد.**



(الف) جریان و پوش دامنه جریان در حالت های گذرا



(ب) شیب کاهش دامنه جریان در مقیاس لگاریتمی در هر دوره

❑ حالت های گذرا

... معادله جریان در حالت های گذرا:

- دامنه پوش جریان هر فاز را می توان بعد از بروز خطا از رابطه زیر بدست آورد:

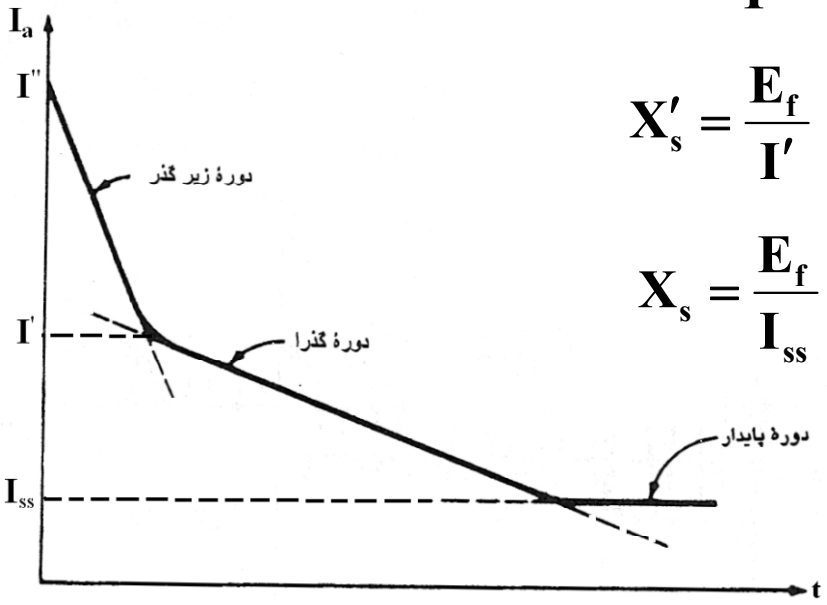
$$I_a(t) = (I'' - I')e^{-t/T_o''} + (I' - I_{ss})e^{-t/T_o'} + I_{ss} \qquad (۱)$$

- افزایش دامنه جریان در دوره های زیرگذرا و گذرا را می توان به جای آنکه ناشی از تغییر ولتاژ E_f دانست می توان ناشی از تغییر عکس العمل آرمیچر و به عبارتی تغییر راکتانس X_s در دوره های مختلف دانست. لذا:

راکتانس زیرگذرا: $$X_s'' = \frac{E_f}{I''} \qquad (۲)$$

راکتانس گذرا: $$X_s' = \frac{E_f}{I'} \qquad (۳)$$

راکتانس سنکرون: $$X_s = \frac{E_f}{I_{ss}} \qquad (٤)$$

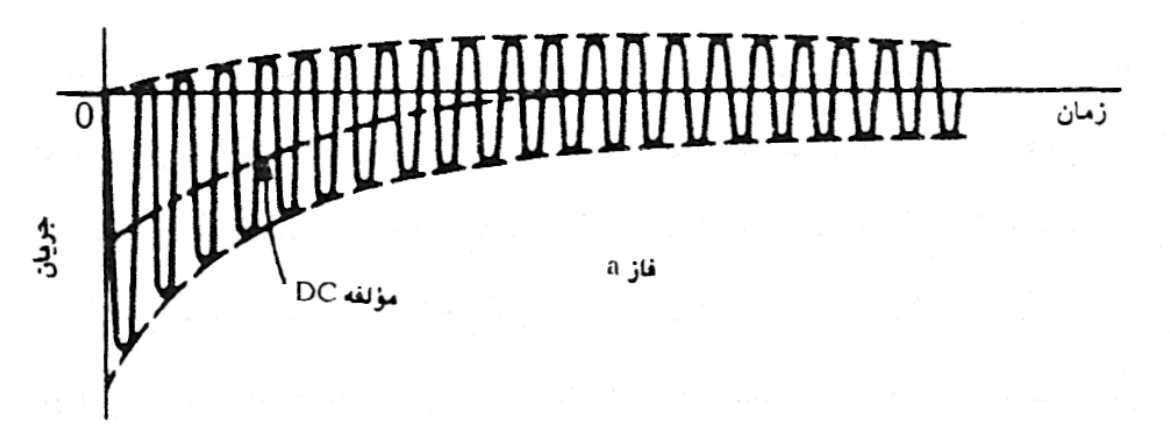


- با جایگذاری روابط (۲) تا (٤) در رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$i_a(t) = \sqrt{2}\left[\left(\frac{E_f}{X''_s} - \frac{E_f}{X'_s}\right)e^{-\frac{t}{T''_o}} + \left(\frac{E_f}{X'_s} - \frac{E_f}{X_s}\right)e^{-\frac{t}{T'_o}} + \frac{E_f}{X_s}\right]\sin\omega t + I_{dco}\,e^{-\frac{t}{T_a}} \qquad (۵)$$

- در رابطه فوق، T_a ثابت زمانی مدار آرمیچر بوده و مولفه dc جریان در انتهای رابطه برای ایجاد شرط لزوم صفر بودن جریان در لحظه اتصال کوتاه اضافه شده است که در آن:

$$I_{dco} = \sqrt{2}\,\frac{E_f}{X''_s} \qquad (٦)$$



تغییرات جریان فاز a بعد از اتصال کوتاه

❑ حالت های گذرا

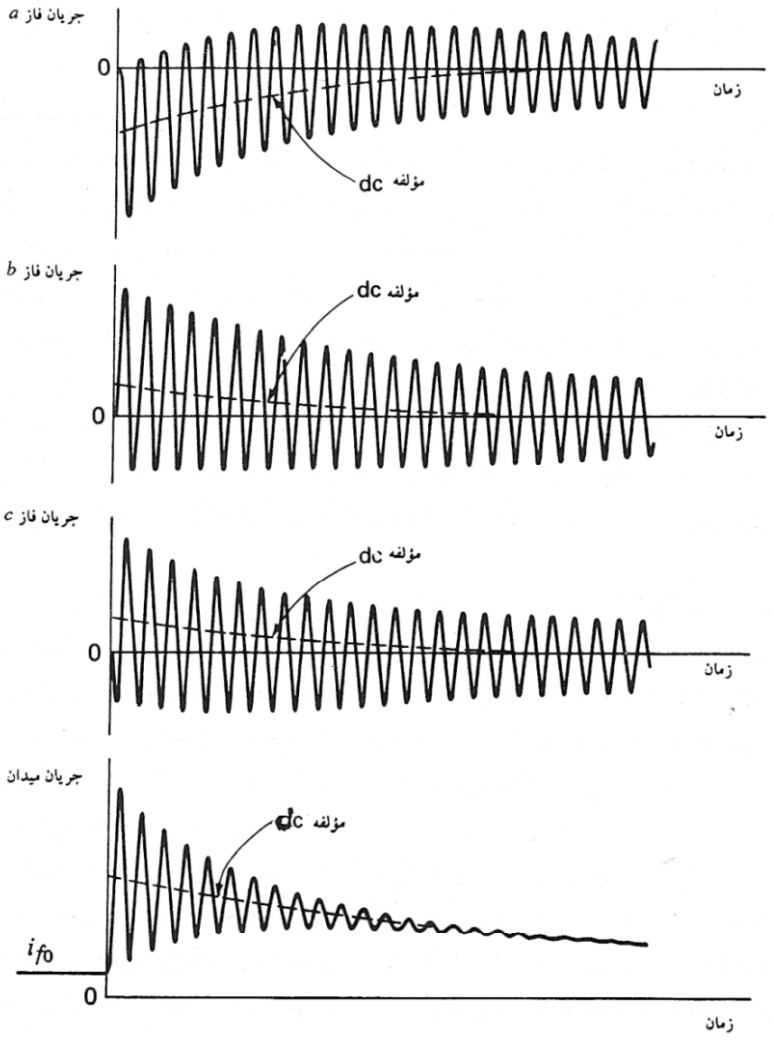
... معادله جریان در حالت های گذرا:

- **نکته ۱:** جمع مولفه های dc و ac جریان هر فاز در لحظه بعد از بروز خطا برابر جریان ac در لحظه قبل از بروز خطاست.

- **نکته ۲:** جریان تحریک نیز دارای حالت گذرایی خواهد بود که دامنه نوسانی آن پس از طی شدن حالت گذرا حذف می شود، و مقدار DC آن نیز با توجه به ثابت زمانی مدار تحریک به مقدار قبل از اتصال کوتاه بر خواهد گشت.

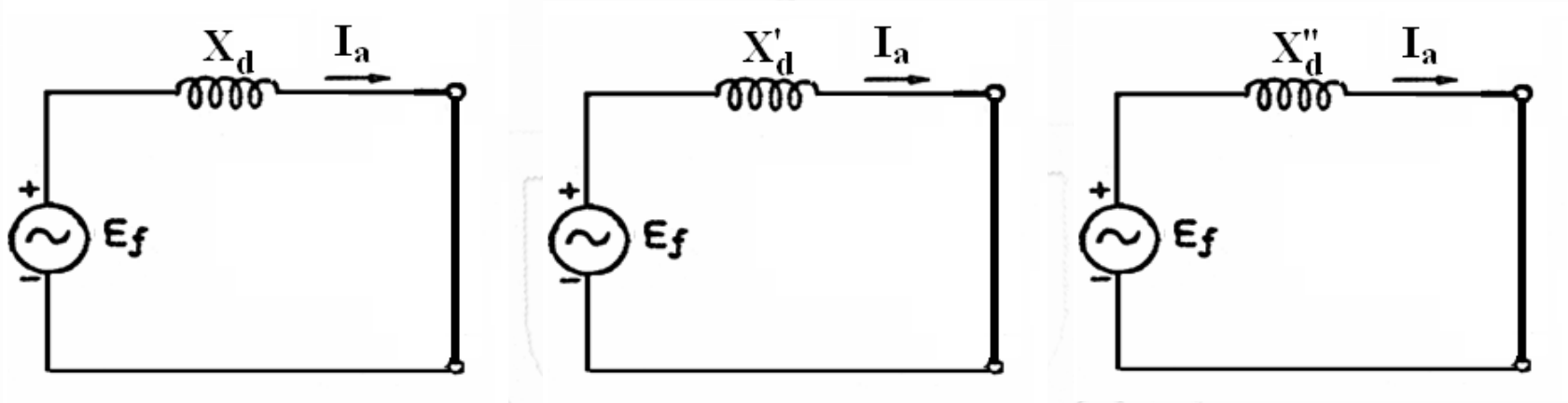
- **نکته ۳:** از مقادیر جریان های زیرگذرا و گذرا در تنظیم رله های حفاظتی استفاده می شود.

- **نکته ٤:** بحث ارائه شده برای اتصال کوتاه سه فاز متقارن است. اگر خطا بصورت نامتقارن رخ بدهد، از روش مولفه های متقارن استفاده می شود.



تغییرات جریان فازهای استاتور و جریان تحریک بعد از اتصال کوتاه

■ **نکته ۵: در ماشین با قطب برجسته، راکتانس X_s در روابط قبل در شرایط اتصال کوتاه به X_d ، X'_d و یا X''_d تبدیل می شود.**



(الف) حالت دائم (ب) حالت گذرا (ج) حالت زیرگذرا

مدار معادل ژنراتور سنکرون قطب برجسته در دوره های زمانی مختلف در شرایط اتصال کوتاه ژنراتور بی بار

$$i_a(t) = \sqrt{2}\left[\left(\frac{E_f}{X''_d} - \frac{E_f}{X'_d}\right)e^{-\frac{t}{T''_{do}}} + \left(\frac{E_f}{X'_d} - \frac{E_f}{X_d}\right)e^{-\frac{t}{T'_{do}}} + \frac{E_f}{X_d}\right]\sin\omega t + I_{dco}\,e^{-\frac{t}{T_a}} \qquad (۷)$$

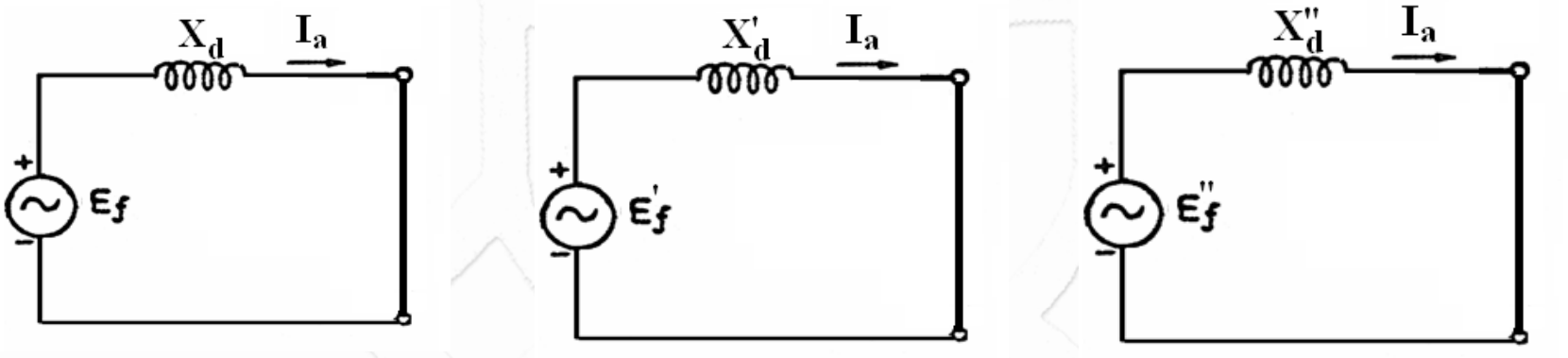
■ **نکته ٦: دلیل استفاده از راکتانس X_d در مدار معادل آنست که در شرایط اتصال کوتاه، $X_q I_q = 0$ است و X موثر X_d است.**

■ **نکته ۷: علت آنکه در تحلیل حالت گذرا، فقط از مدار معادل محور d استفاده می شود، آنست که ثابت زمانی گذاری محور q یعنی T'_q از ثابت زمانی گذاری محور d یعنی T'_d خیلی کوچکتر است و تغییرات در محور q سریعا محو می شود.**

❑ حالت های گذرا

➢ اتصال کوتاه ژنراتور باردار:

- در صورت اتصال کوتاه ژنراتور سنکرون باردار، اندوکتانس های دائم، گذرا و زیرگذرا کماکان وجود خواهند داشت، اما در هر دوره، ولتاژ بی باری متفاوتی خواهد داشت یعنی:



(الف) حالت دائم (ب) حالت گذرا (ج) حالت زیرگذرا

مدار معادل ژنراتور سنکرون قطب برجسته در دوره های زمانی مختلف در شرایط اتصال کوتاه ژنراتور باردار

$$i_a(t) = \sqrt{2}\left[\left(\frac{E''_f}{X''_d} - \frac{E'_f}{X'_d}\right)e^{-\frac{t}{T''_d}} + \left(\frac{E'_f}{X'_d} - \frac{E_f}{X_d}\right)e^{-\frac{t}{T'_d}} + \frac{E_f}{X_d}\right]\sin\omega t + I_{dco}e^{-\frac{t}{T_a}} \qquad (۸)$$

$$i_a(t)=\sqrt{2}\left[\left(\frac{E''_f}{X''_d}-\frac{E'_f}{X'_d}\right)e^{-\frac{t}{T''_d}}+\left(\frac{E'_f}{X'_d}-\frac{E_f}{X_d}\right)e^{-\frac{t}{T'_d}}+\frac{E_f}{X_d}\right]\sin\omega t+I_{dco}e^{-\frac{t}{T_a}} \qquad (۸)$$

- در رابطه فوق داریم:

$$\begin{cases}\vec{E}_f=\vec{V}_t+jX_d\vec{I}_a & (۹)\\ \vec{E}'_f=\vec{V}_t+jX'_d\vec{I}_a & (۱۰)\\ \vec{E}''_f=\vec{V}_t+jX''_d\vec{I}_a & (۱۱)\end{cases}$$

I_a : جریان ماشین قبل از اتصال کوتاه است.

$$I_{dco}=\sqrt{2}\frac{E''_f}{X''_d} \qquad (۱۲)$$

T'_{do} و T''_{do} : ثابت های زمانی در حالت اتصال کوتاه بی باری هستند.

$$\begin{cases}T'_d\approx\frac{X'_d}{X_d}T'_{do} & (۱۳)\\ T''_d\approx\frac{X''_d}{X'_d}T''_{do} & (۱۴)\end{cases}$$

T'_d و T''_d : ثابت های زمانی در حالت اتصال کوتاه باردارهستند.

❑ حالت های گذرا

➢ پارامترهای نوعی ماشینهای سنکرون:

پارامتر		واحدهای آبی	واحدهای حرارتی
راکتانس سنکرون محور d	X_d	۰/۶–۱/۵	۱/۰–۲/۳
راکتانس سنکرون محور q	X_q	۰/۴–۱/۰	۱/۰–۲/۳
راکتانس گذرای محور d	X'_d	۰/۲–۰/۵	۰/۱۵–۰/۴
راکتانس گذرای محور q	X'_q	---	۰/۳–۱/۰
راکتانس زیرگذرای محور d	X''_d	۰/۱۵–۰/۳۵	۰/۱۲–۰/۲۵
راکتانس زیرگذرای محور q	X''_q	۰/۲–۰/۴۵	۰/۱۲–۰/۲۵
ثابت زمانی گذرای مدار باز محور d	T'_{d0}	۹/۰ –۱/۵ ثانیه	۱۰/۰ –۳/۰ ثانیه
ثابت زمانی گذرای مدار باز محور q	T'_{q0}	---	۲/۰ –۰/۵ ثانیه
ثابت زمانی زیرگذرای مدار باز محور d	T''_{d0}	۰/۰۵ –۰/۰۱ ثانیه	۰/۰۵ –۰/۰۲ ثانیه
ثابت زمانی زیرگذرای مدار باز محور q	T''_{q0}	۰/۰۹ –۰/۰۱ ثانیه	۰/۰۵ –۰/۰۲ ثانیه
راکتانس پراکندگی استاتور	X_l	۰/۱–۰/۲	۰/۱–۰/۲
مقاومت استاتور	R_a	۰/۰۲ –۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۲ –۰/۰۰۵

❑ حالت های گذرا

➢ مقایسه پارامترهای ماشین سنکرون:

- مقادیر راکتانسها و مقاومت داده شده برحسب پریونیت بر پایه مقادیر نامی ماشین داده شده اند.
- بطور کلی داریم:

مقایسه راکتانسهای گذرا و زیرگذاری محورها: $X_d \geq X_q \geq X'_q \geq X'_d \geq X''_q \geq X''_d$

مقایسه ثابت های زمانی روی محور d: $T'_{d0} \geq T'_d \geq T''_{d0} \geq T''_d \geq T_{kd}$

مقایسه ثابت های زمانی روی محور q: $T'_{q0} \geq T'_q \geq T''_{q0} \geq T''_q$

- برای مثال برای یک توربوژنراتور ۶۰ هرتزی با توان نامی ۵۵۵ MVA و ضریب توان ۰/۹ پارامترهای فوق بصورت پریونیتی عبارتند از:

$L_d = 1.81$	$L_q = 1.76$	$L_l = 0.15$	$R_a = 0.003$
$L'_d = 0.3$	$L'_q = 0.65$	$L''_d = 0.23$	$L''_q = 0.25$
$T'_{d0} = 8$ s	$T'_{q0} = 1$ s	$T''_{d0} = 0.03$ s	$T''_{q0} = 0.07$ s