قسمت پانزدهم

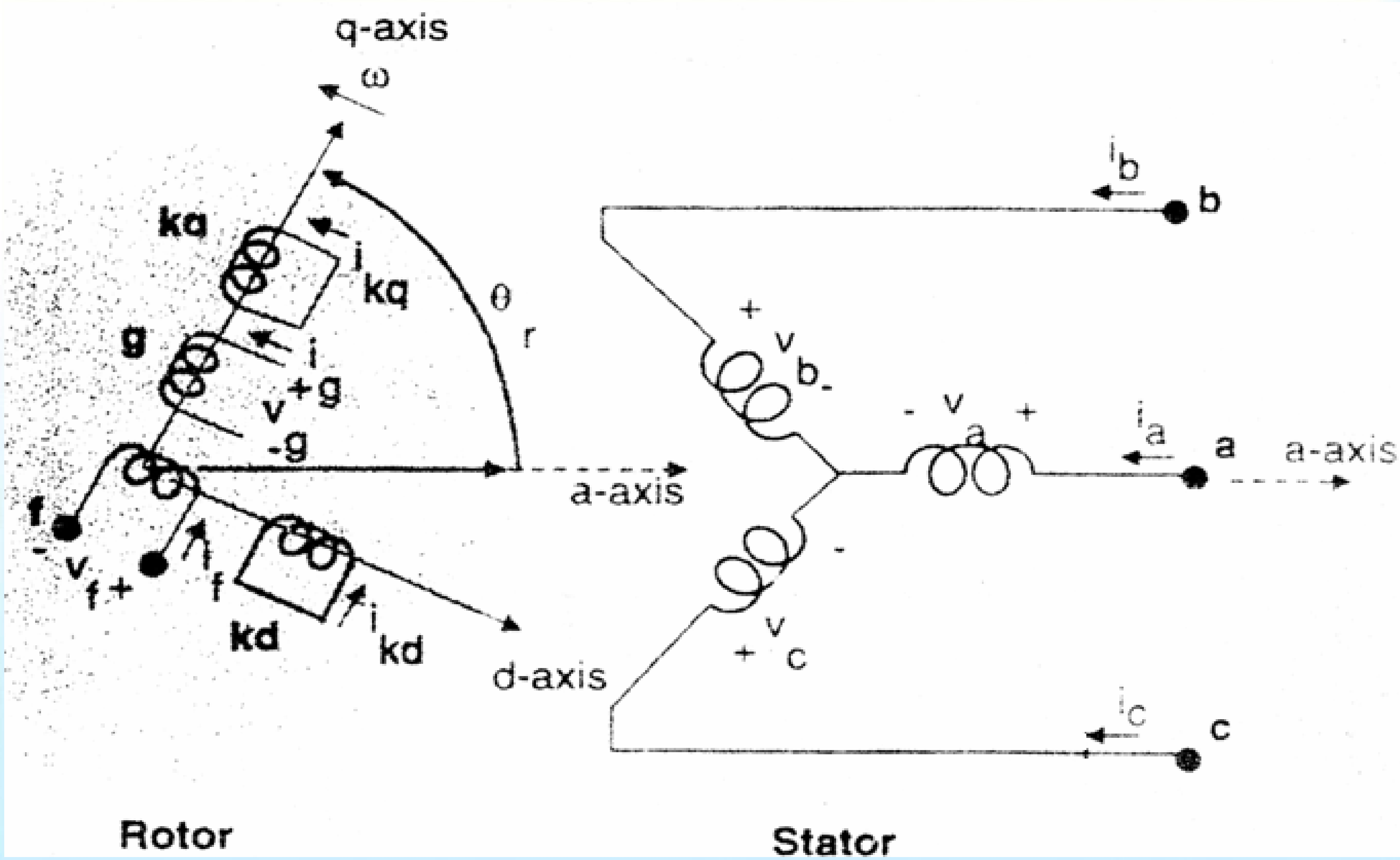
مدل سازی ماشین سنکرون

مدل سازی ماشین سنکرون

در مدل ماشین سنکرون تحریک توسط یک سیم پیچی روی محور مستقیم مدل میشود. برای ایجاد تقارن، یک سیم پیچی تحریک نیز روی محور عرضی در نظر گرفته میشود.

همچنین برای مدل کردن ماشین سنکرون، نقش دمپرها نیز در نظر گرفته میشود. در این مدل دمپرها توسط دو سیم پیچی اتصال کوتاه روی محورهای مستقیم و عرضی در نظر گرفته میشوند.

مدل سازی ماشین سنکرون



معادلات ولتاژ _ جریان

$$\begin{bmatrix} V_s^{abc} \\ V_r^{qd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s^{abc} & 0 \\ 0 & R_r^{qd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s^{abc} \\ i_r^{qd} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Lambda_s^{abc} \\ \Lambda_r^{qd} \end{bmatrix}$$

$$\left[V_s^{abc}\right]^T = \left[V_{as} \quad V_{bs} \quad V_{cs}\right] \qquad \left[V_r^{qd}\right]^T = \left[V_g \quad 0 \quad V_f \quad 0\right]$$

معادلات ولتاژ _ جریان

استاتور

$$V_{as} = r_s i_{as} + \frac{d}{dt} l_{as}$$

$$V_{bs} = r_s i_{bs} + \frac{d}{dt} l_{bs}$$

$$V_{bs} = r_s i_{cs} + \frac{d}{dt} l_{bs}$$

روتور

$$V_g = r_g i_g + \frac{d}{dt} l_g$$

$$V_f = r_f i_f + \frac{d}{dt} l_f$$

$$0 = r_{kq} i_{kq} + \frac{d}{dt} l_{kq}$$

$$0 = r_{kd} i_{kd} + \frac{d}{dt} l_{kd}$$

معادلات شار _ جریان

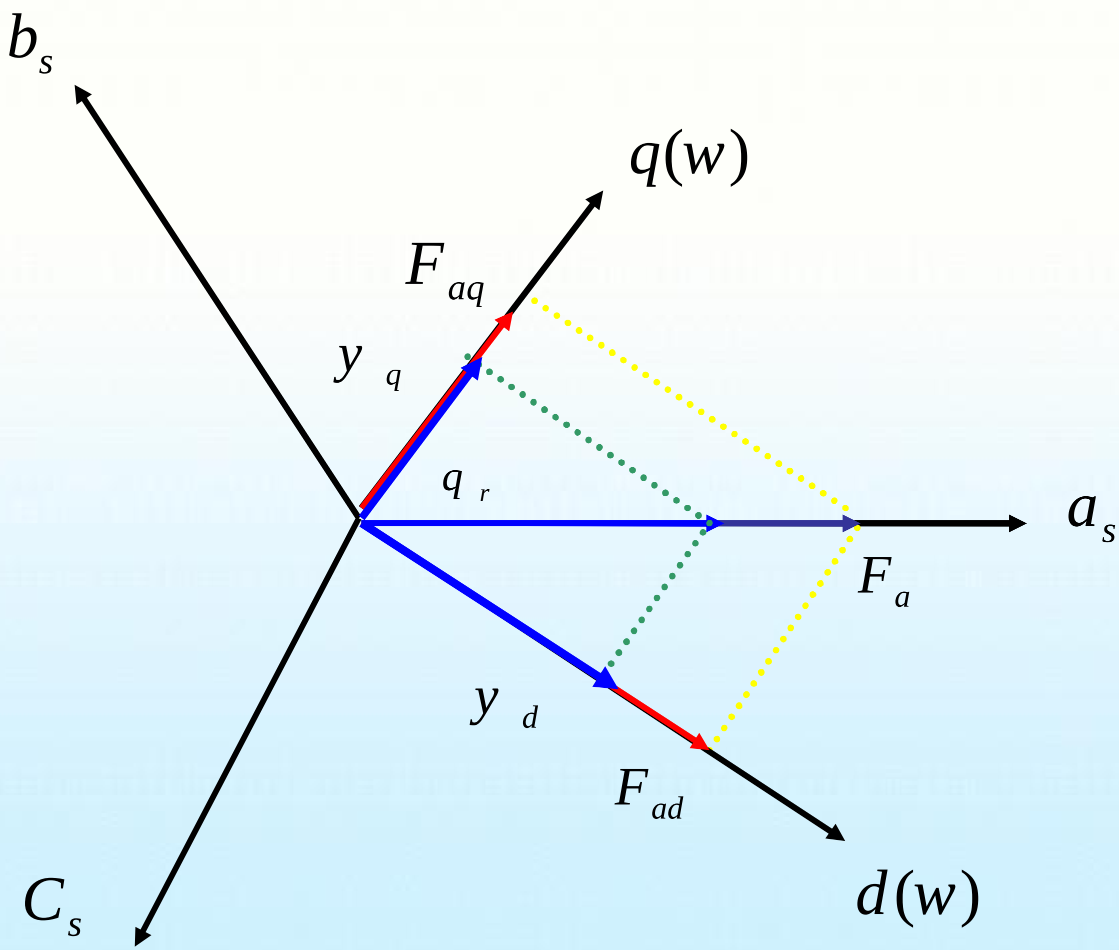
$$\begin{bmatrix} \Lambda_s^{abc} \\ \Lambda_r^{qd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ss}^{abc} & L_{sr} \\ L_{rs} & L_{rr}^{qd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s^{abc} \\ i_r^{qd} \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow [\Lambda_s^{abc}]^T = [\, l_{as} \;\; l_{bs} \;\; l_{cs} \,]$$

$$\rightarrow [i_s^{abc}]^T = [i_{as} \;\; i_{bs} \;\; i_{cs}]$$

ماتریس اندوکتانس استاتور

ماتریس اندوکتانس استاتور یک ماتریس با عناصر متغییر با زمان میباشد.



ماتریس اندوکتانس استاتور

$$\left[L_{ss}^{abc}\right]=\begin{bmatrix} L_{aa}^{s} & L_{ab}^{s} & L_{ac}^{s} \\ L_{ba}^{s} & L_{bb} & L_{bc}^{s} \\ L_{ca}^{s} & L_{cb}^{s} & L_{cc} \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \lambda_{aa} = N_a\left(\varphi_q \cos\theta_r + \varphi_d \sin\theta_r\right) \\ \lambda_{aa} = N_a F_a\left[P_q \cos^2\theta_r + P_d \sin^2\theta_r\right] \end{cases}$$

$$\lambda_{aa} = N_s F_a\left[\frac{P_d + P_q}{2} - \left(\frac{P_d - P_q}{2}\right)\cos 2\theta_r\right]$$

$$\lambda_{ba} = N_s F_a\left[-\frac{P_d + P_q}{4} - \left(\frac{P_d - P_q}{2}\right)\cos\left(2\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right)\right]$$

$$L_{aa} = L_0 - L_{ms}\cos 2\theta_r$$

$$L_{ab} = -\frac{L_0}{2} - L_{ms}\cos\left(2\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right)$$

ماتریس اندوکتانس استاتور

ماتریس اندوکتانس استاتور یک ماتریس با عناصر متغییر با زمان بوده و مولفه های آن عبارتند از :

اندوکتانس پراکندگی فاز استاتور (L_{ls})

حداکثر اندوکتانس متقابل دو فاز استاتور (L_{ms})

مقدار ثابت اندوکتانس متقابل بین فاز سیم پیچهای استاتور(L_0)

$$\left[L_{ss}^{abc}\right]=\begin{bmatrix} L_{ls}+L_0-L_{ms}\cos 2q_r & -\frac{1}{2}L_0-L_{ms}\cos 2(q_r-\frac{p}{3}) & -\frac{1}{2}L_0-L_{ms}\cos 2(q_r-\frac{p}{3}) \\ -\frac{1}{2}L_0-L_{ms}\cos 2(q_r-\frac{p}{3}) & L_{ls}+L_0-L_{ms}\cos 2(q_r-\frac{2p}{3}) & -\frac{1}{2}L_0-L_{ms}\cos 2(q_r-\frac{p}{3}) \\ -\frac{1}{2}L_0-L_{ms}\cos 2(q_r-\frac{p}{3}) & -\frac{1}{2}L_0-L_{ms}\cos 2(q_r-\frac{p}{3}) & L_{ls}+L_0-L_{ms}\cos 2(q_r+\frac{2p}{3}) \end{bmatrix}$$

ماتریس اندوکتانس روتور

مولفه های ماتریس اندوکتانس رتور که نا متغییر با زمان هستند، به شرح زیر میباشد :

اندوکتانس پراکندگی سیم پیچی رتور (L_{1g})

اندوکتانس مغناطیس کنندگی رتور (L_{mg})

اندوکتانس متقابل بین سیم پیچهای رتور (L_{gkq})

$$[L_{rr}]=\begin{bmatrix} L_{gg} & L_{gkq} & 0 & 0 \\ L_{gkq} & L_{kqkq} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_{ff} & L_{fkd} \\ 0 & 0 & L_{fkd} & L_{kdkd} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} L_{1g}+L_{mg} & L_{gkq} & 0 & 0 \\ L_{gkq} & L_{1kq}+L_{mkq} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_{1f}+L_{mf} & L_{fkd} \\ 0 & 0 & L_{fkd} & L_{1kd}+L_{mkd} \end{bmatrix}$$

ماتریس اندوکتانس متقابل استاتور ـ روتور

ماتریس اندوکتانس استاتور یک ماتریس با عناصر متغییر با زمان بوده و مولفه های آن عبارتند از :

حداکثر اندوکتانس متقابل یک سیم پیچی استاتور با رتور (L_{sg})

$$[L_{sr}]=\begin{bmatrix} L_{sg}\cos\theta_r & L_{skq}\cos\theta_r & L_{sf}\sin\theta_r & L_{skd}\sin\theta_r \\ L_{sg}\cos(\theta_r-\frac{2\pi}{3}) & L_{skq}\cos(\theta_r-\frac{2\pi}{3}) & L_{sf}\sin(\theta_r-\frac{2\pi}{3}) & L_{skd}\sin(\theta_r-\frac{2\pi}{3}) \\ L_{sg}\cos(\theta_r+\frac{2\pi}{3}) & L_{skq}\cos(\theta_r+\frac{2\pi}{3}) & L_{sf}\sin(\theta_r+\frac{2\pi}{3}) & L_{skd}\sin(\theta_r+\frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix}$$

ماتریس اندوکتانس متقابل روتور _ استاتور

مقدار q_r به سرعت رتور و طبعا به زمان وابسته است :

$$q_r = w_r t + q_{r0}$$

همانگونه که میدانیم، ماتریس $[L_{rs}]$ ترانهاده ماتریس $[L_{sr}]$ می باشد

$$[L_{rs}] = [L_{sr}]^T$$

معادلات ولتاژ ـ جریان

$$\begin{bmatrix} V_s \\ V_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ i_r \end{bmatrix} + \frac{d}{dt}\left(\begin{bmatrix} L_{ss} & L_{sr} \\ L_{rs} & L_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ i_r \end{bmatrix} \right)$$

$$[R_s^{abc}] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \qquad [R_r^{qd}] = \begin{bmatrix} R_g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_{kq} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_f & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{kd} \end{bmatrix}$$

معادلات ولتاژ _ جریان

درمعادلات ولتاژ- جریان :

کمیات فازها به هم وابسته هستند

ماتریس اندوکتانس متغییر با زمان است

پس برای سهولت محاسبات و حل مشکلات فوق از تبدیل (qd0)

در قاب مرجع گردان با سرعت سنکرون $(\theta = \omega_s t + \theta_0)$ استفاده میکنیم

لازم به ذکر است که ماتریس تبدیل فقط برای مولفه های استاتور است و مولفه های ورتور، نیازی به تبدیل ندارند.

روابط تبدیل (qd0) برای مولفه های استاتور

توابع تبدیل

$$\begin{cases} \left[f_s^{qd0}\right]=\left[T_{qd0}(\theta)\right]\ \left[f_s^{abc}\right] \\ \left[f_s^{abc}\right]=\left[T_{qd0}(\theta)\right]^{-1}\left[f_s^{qd0}\right] \end{cases}$$

ماتریس تبدیل

$$[T_{qdo}(\theta)]=\frac{2}{3}\begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) \\ \sin\theta & \sin(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta+\frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

روابط تبدیل (qd0) برای مولفه های استاتور

$$[V_s^{abc}] = [R_s^{abc}][i_s^{abc}] + \frac{d}{dt}[\lambda_s^{abs}]$$

$$\left[V_s^{abc}\right] = \left[T_{qd0}(q)\right]^{-1}\left[V_s^{qd0}\right]$$

$$\left[i_s^{abc}\right] = \left[T_{qd0}(q)\right]^{-1}\left[i_s^{qd0}\right]$$

$$\left[l_s^{abc}\right] = \left[T_{qd0}(q)\right]^{-1}\left[l_s^{qd0}\right]$$

با جایگزینی مقادیر ولتاژ، جریان و شار سه فاز با مقادیر متناظر قاب مرجع گردان داریم :

$$[T_{qd0}(q)]^{-1}[V_s^{qd0}] = [R_s^{abc}][T_{qd0}(q)]^{-1}[i_s^{qd0}] + p\left([T_{qd0}(q)]^{-1}[l_s^{qd0}]\right)$$

روابط تبدیل (qd0) برای مولفه های استاتور

حال طرفین معادله ولتاژ – جریان را در ماتریس $[T_{qd0}(q)]$ ضرب میکنیم :

$$[T_{qd0}(q)][T_{qd0}(q)]^{-1}[V_s^{qd0}] =$$

$$[T_{qd0}(q)][R_s^{abc}][T_{qd0}(q)]^{-1}[i_s^{qd0}]+[T_{qd0}(q)]p\left([T_{qd0}(q)]^{-1}[l_s^{qd0}]\right)$$

ماتریس مقاومت استاتور را بصورت زیر میتوان نوشت :

$$[R_s^{abc}]=\begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix}=R_s[I]$$

با جایگزینی ماتریس مقاومت داریم :

$$[V_s^{qd0}]=R_s[T_{qd0}(q)][I][T_{qd0}(q)]^{-1}[i_{as}^{qd0}]+[T_{qd0}(q)]p\left([T_{qd0}(q)]^{-1}[l_s^{qd0}]\right)$$

روابط تبدیل (qd0) برای مولفه های استاتور

پس از ساده سازی و بسط رابطه شاردور داریم :

$$[V_s^{qd0}]=[R_s^{qd0}][i_s^{qd0}]+[T(\theta)][T(\theta)]^{-1}p[\lambda_s^{qd0}]+[T(\theta)]p[T(\theta)]^{-1}[\lambda_s^{qd0}]$$

$$[V_s^{qd0}]=[R_s^{qd0}][i_s^{qd0}]+p[\lambda_s^{qd0}]+[T(\theta)]p[T(\theta)]^{-1}[\lambda_s^{qd0}]$$

$$[T(\theta)]\left(p[T(\theta)]^{-1}\right)=\begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ -1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix}.\frac{d\theta}{dt}=\omega\begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ -1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

روابط تبدیل (qd0) برای مولفه های استاتور

$$\left[V_s^{qd0}\right] = \underbrace{\left[R_s^{qd0}\right]\left[i_s^{qd0}\right]}_{1} + \underbrace{p\left[\lambda_s^{qd0}\right]}_{2} + \underbrace{\omega \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \left[\lambda_s^{qd0}\right]}_{3}$$

در رابطه فوق بخش اول ولتاژ اهمی، بخش دوم ولتاژ ترانسفورمری و بخش سوم ولتاژ گردشی میباشد که به سرعت نسبی قاب مرجع و محور سیم پیچیها بستگی دارد :

$$\begin{cases} V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt}\lambda_{qs} + \omega\lambda_{ds} \\ V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt}\lambda_{ds} - \omega\lambda_{qs} \\ V_{0s} = R_s i_{0s} + \frac{d}{dt}\lambda_{0s} \end{cases}$$

اعمال تبدیل (qd0) بر روی روابط شار - جریان استاتور

$$\left[l_s^{abc}\right]=\left[L_{ss}^{abc}\right]\left[i_s^{abc}\right]+\left[L_{sr}^{abc}\right]\left[i_r^{qd}\right]$$

$$\left[T(q)\right]^{-1}\left[l_s^{qd0}\right]=\left[L_{ss}^{abc}\right]\left[T(q)\right]^{-1}\left[i_s^{qd0}\right]+\left[L_{sr}^{abc}\right]\left[i_r^{qd}\right]$$

ضرب طرفین در

$$\left[T(q)\right]$$

$$\left[l_s^{qd0}\right]=\underbrace{\left[T(q)\right]\left[L_{ss}^{abc}\right]\left[T(q)\right]^{-1}}_{\left[L_{ss}^{qd0}\right]}\left[i_s^{qd0}\right]+\underbrace{\left[T(q)\right]\left[L_{sr}^{abc}\right]}_{\left[L_{sr}^{qd0}\right]}\left[i_r^{qd0}\right]$$

$\left[L_{ss}^{qd0}\right]$: ماتریس اندوکتانس خودی استاتور (qd0)

$\left[L_{sr}^{qd0}\right]$: ماتریس اندوکتانس متقابل استاتور- رتور (qd0)

اعمال تبدیل (qd0) بر روی روابط شار - جریان استاتور

فرض می کنیم ماده مغناطیسی داخل روتور و استاتورایده آل می باشد

حال کارهای زیر را انجام می دهیم:

1. کاهش تعداد متغییرها
2. یک scale کردن تمام متغیرها

روابط شار - جریان استاتورو روتور

$$\begin{bmatrix} l_q \\ l_d \\ l_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_q & 0 & 0 \\ 0 & L_d & 0 \\ 0 & 0 & L_{ls} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{0s} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{mq} & L_{mq} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_{md} & L_{md} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_g \\ i'_{kq} \\ i'_f \\ i'_{kd} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} l'_g \\ l'_{kq} \\ l'_f \\ l'_{kd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{mq} & 0 & 0 \\ L_{mq} & 0 & 0 \\ 0 & L_{md} & 0 \\ 0 & L_{md} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{0s} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L'_{gg} & L_{mq} & 0 & 0 \\ L_{mq} & L'_{kqkq} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L'_{ff} & L_{md} \\ 0 & 0 & L_{md} & L'_{kdkd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_g \\ i'_{kq} \\ i'_f \\ i'_{kd} \end{bmatrix}$$

ماتریس اندوکتانس انتقال یافته

$$
\begin{bmatrix} l_{qs} \\ l_{ds} \\ l_{0s} \\ l'_{g} \\ l'_{kq} \\ l'_{f} \\ l'_{kd} \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
L_{ls}+L_{mq} & 0 & 0 & L_{mq} & L_{mq} & 0 & 0 \\
0 & L_{ls}+L_{md} & 0 & L_{mq} & L_{mq} & 0 & 0 \\
0 & 0 & L_{ls} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
L_{mq} & 0 & 0 & L'_{lg}+L_{mq} & L_{mq} & 0 & 0 \\
L_{mq} & 0 & 0 & L_{mq} & L'_{lkq}+L_{mq} & 0 & 0 \\
0 & L_{md} & 0 & 0 & 0 & L'_{lf}+L_{md} & L_{md} \\
0 & L_{md} & 0 & 0 & 0 & L_{md} & L'_{lkd}+L_{md}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{0s} \\ i'_{g} \\ i'_{kq} \\ i'_{f} \\ i'_{kd} \end{bmatrix}
$$

روابط ولتاژ ـ جریان استاتور

از آنجا که معمولا راکتانسها بجای ا ندوکتانسها در اختیار قرار میگیرد، بنابراین ترجیح داده میشود که معادلات بر حسب راکتانسها نوشته شود. در نتیجه معادلات ولتاژ ـ جریان استاتور به صورت زیر تغییر میکند :

$$v_{qs} = Ri_{qs} + \frac{1}{w_b}\frac{d}{dt}y_{qs} + \frac{w}{w_b}y_{ds}$$

$$v_{ds} = Ri_{ds} + \frac{1}{w_b}\frac{d}{dt}y_{ds} - \frac{w}{w_b}y_{qs}$$

روابط ولتاژ ــ جریان روتور

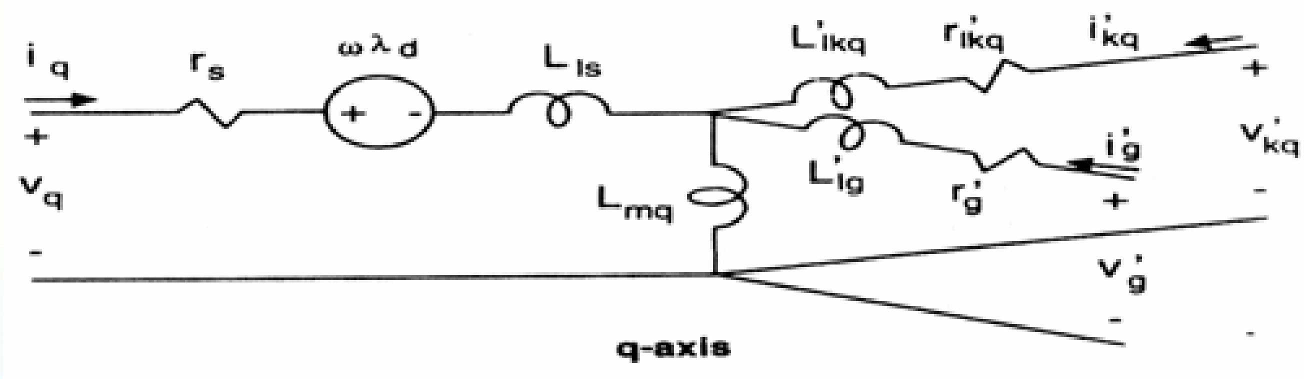
$$v'_g = R'_g \, i'_g + \frac{1}{w_b}\frac{d}{dt}y'_g$$

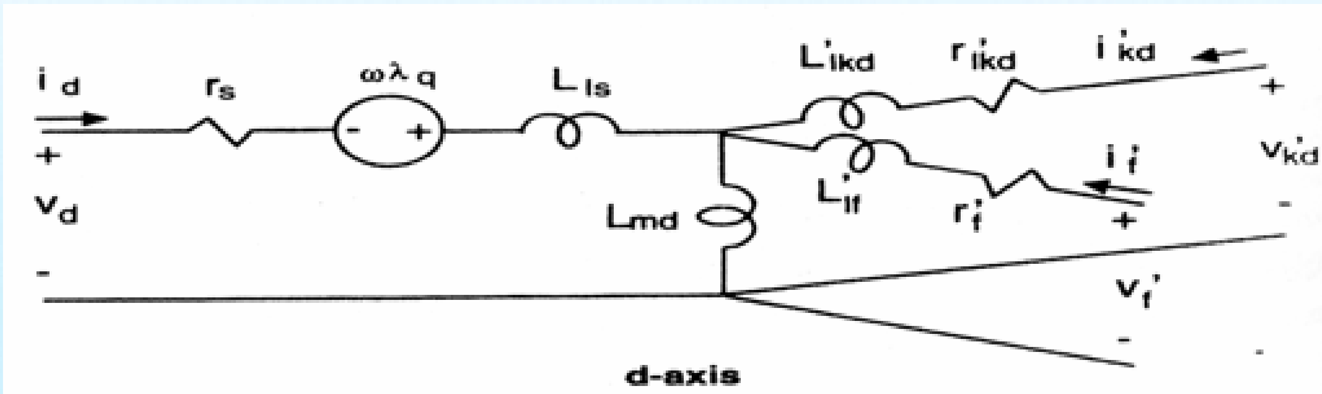
$$0 = R'_{kq} \, i'_{kq} + \frac{1}{w_b}\frac{d}{dt}y'_{kq}$$

$$v'_f = R'_f \, i'_f + \frac{1}{w_b}\frac{d}{dt}y'_f$$

$$0 = R'_{kd} \, i'_{kd} + \frac{1}{w_b}\frac{d}{dt}y'_{kd}$$

مدار معادل محورهای q و d





گشتاور الکترومغناطیسی در ماشین سنکرون

برای بدست آوردن گشتاور الکترومغناطیسی نیز هما نند ماشین القایی عمل میکنیم.

$$T_{em} = \frac{3}{2}\frac{p}{2}(l_d \; i_q - l_q i_d)$$

شبیه سازی معادلات ماشین سنکرون

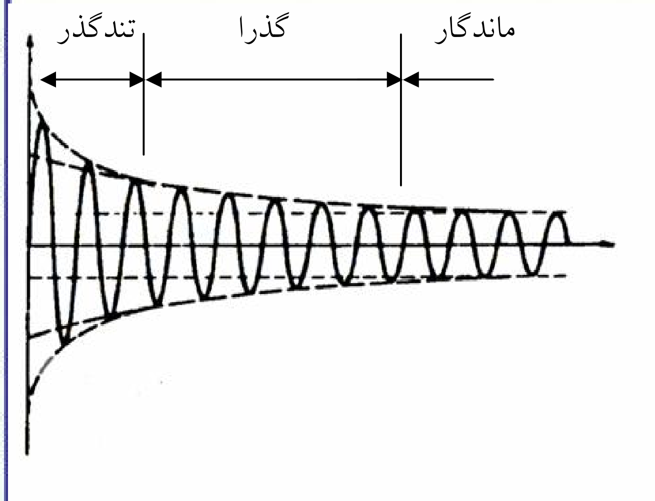
1. معادلات ریاضی را بدست بیاوریم
2. ورودی، خروجی و معادلات حالت را مشخص کنیم
3. معادلات را بازنویسی کنیم
4. ایجاد بلوکهای مربوط به انجام شبیه سازی

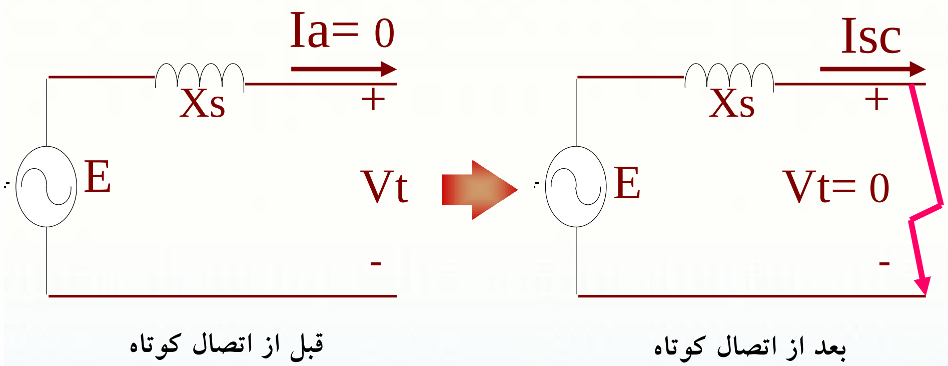
حالتهای گذرا در ماشین سنکرون

1. حالت ژنراتوری
   - تغییرات ناگهانی بار
   - اتصال کوتاه ها
     - سه فاز
       - بی بار
       - بار دار
     - دو فاز
     - تک فاز

2. حالت موتوری : در حالت موتوری ، شرایط گذرا را می توان بعنوان تغییرات ناگهانی بار روی محور موتور تعبیر کرد

بررسی اتصال کوتاه در ژنراتور



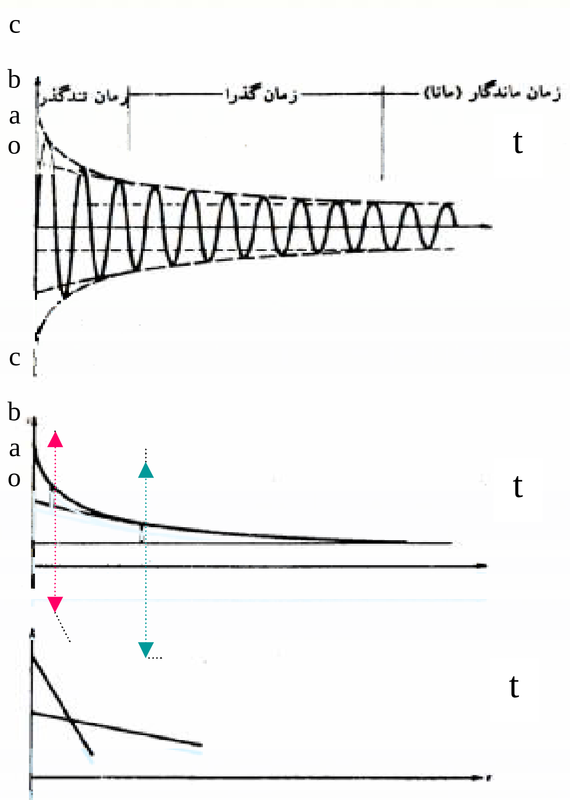


همانگونه که در نمودار جریان فوق (که با صرفنظر از مولفهٔ dc رسم شده) دیده می شود ،دامنه جریان سینوسی ، تغییرات زیادی دارد . نکات مهمی که در این نمودار دارای اهمیت است به شرح زیرند :

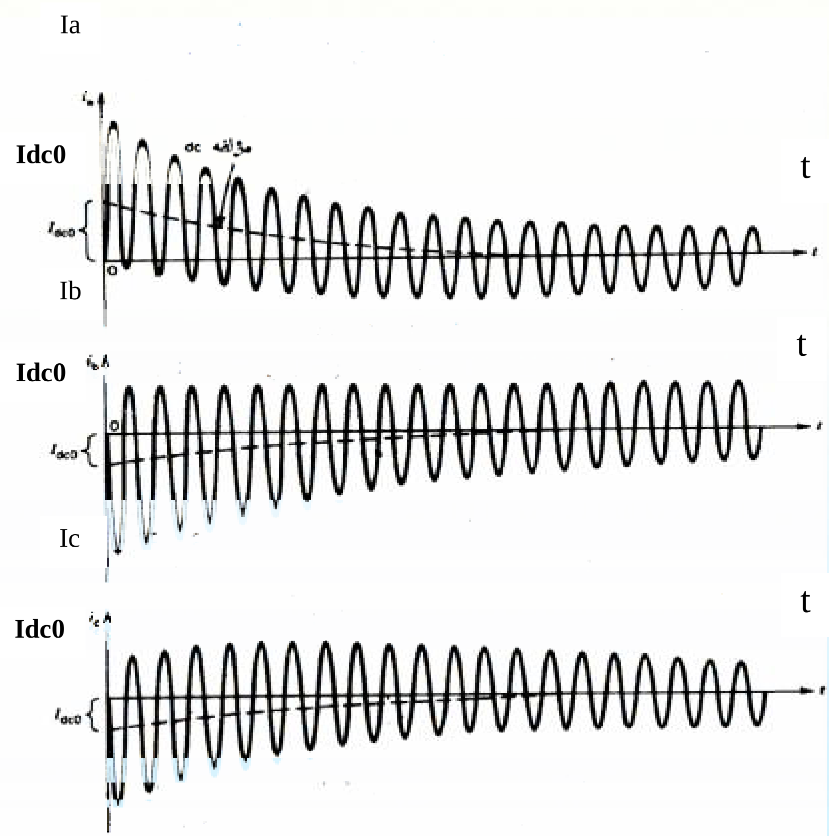
1- این نمودار را می توان به سه قسمت با زمانهای خاص خود تقسیم کرد

2 – علت وقوع این تغییرات در هر کدام از بازه های زمانی

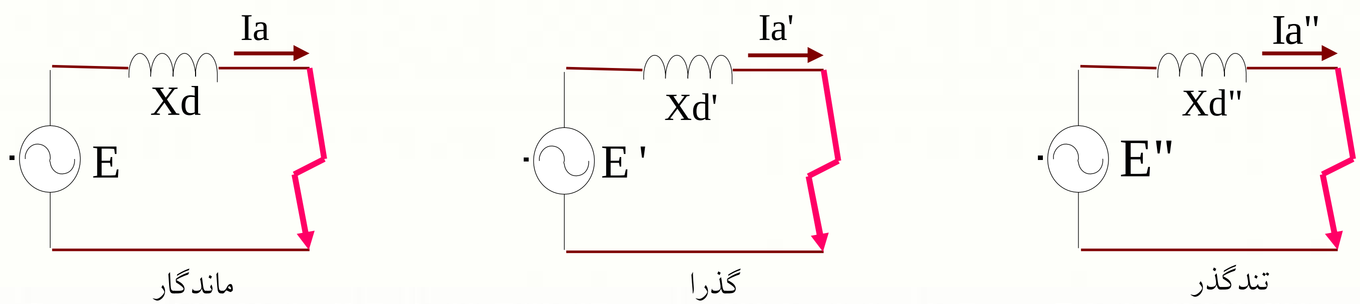
جریانهای اتصال کوتاه ژنراتور سه فاز در حالت بی باری



نمودار نیمه لگاریتمی



مدار معادل ژنراتور سنکرون در حالتهای اتصال کوتاه بی بار و باردار



مدار معادل ژنراتور اتصال وتاه شده در حالت بی باری و بارداری به همین صورت است تنها تفاوت آنها در مقدار ولتاژ القائی آنها می باشد . در حالت بی بار ولتاژهای القائی در تمام حالات یکسان و برابر ولتاژ بی بار ژنراتور می باشند .

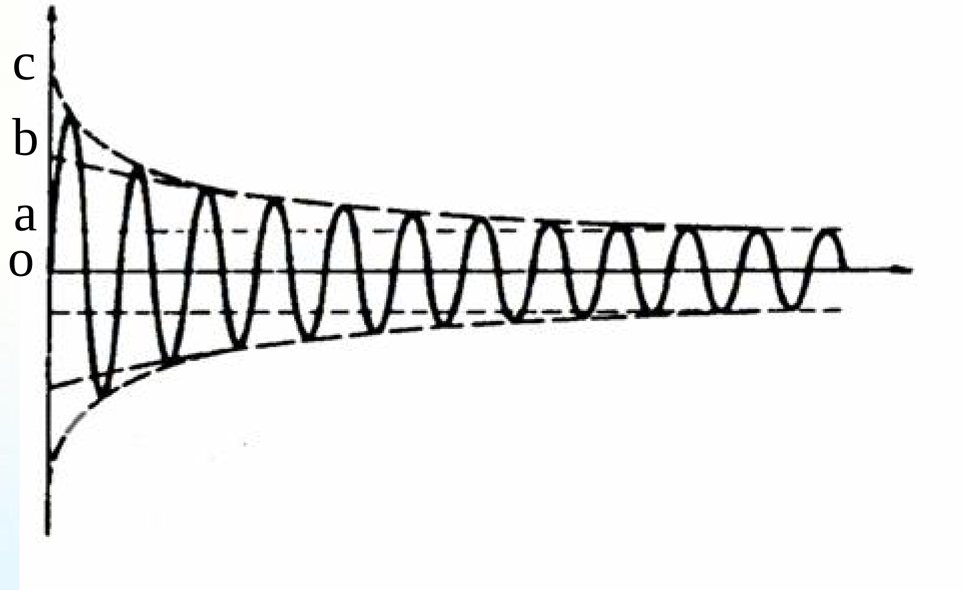
در حالت بار دار ولتاژهای القائی را بصورت زیر در نظر می گیرند :

$$E = V_t + jX_d I_a$$

$$E' = V_t + jX_d' I_a$$

$$E'' = V_t + jX_d'' I_a$$

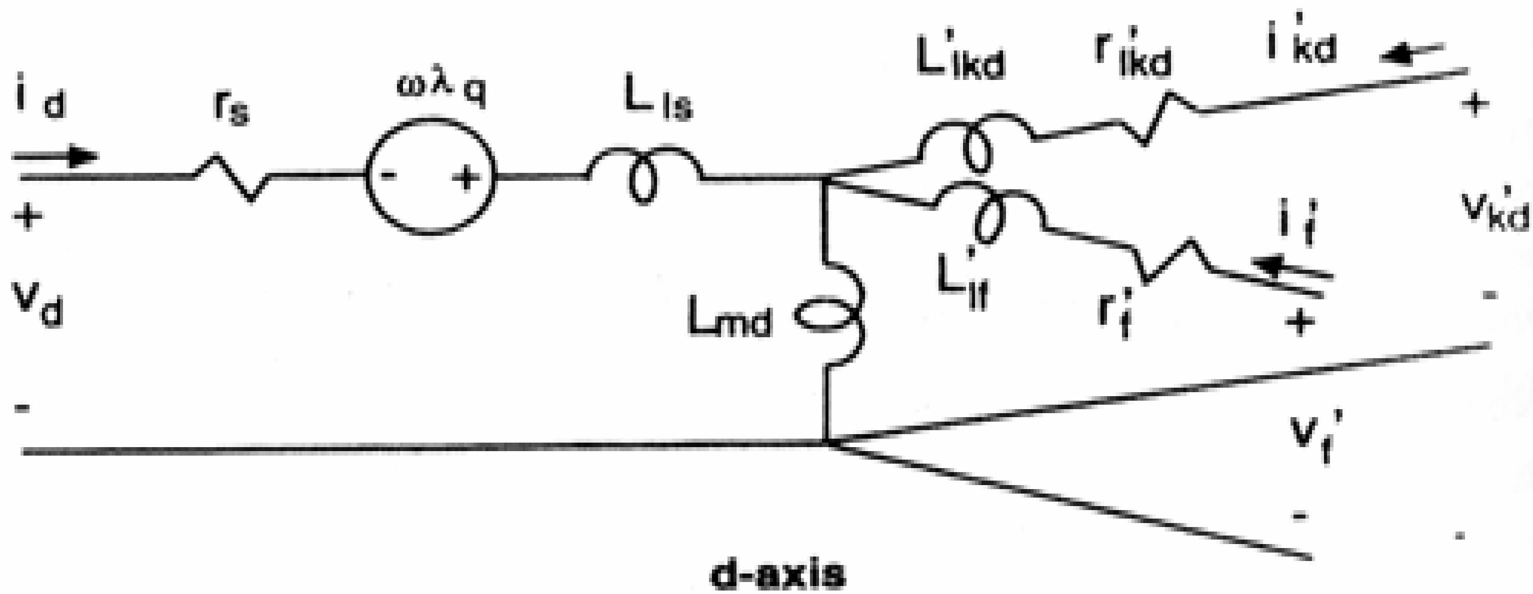
رابطهٔ جریان اتصال کوتاه



$$i_{SC} = \sqrt{2}\left[\underbrace{\frac{E}{X_d}}_{oa} + \underbrace{\left(\frac{E}{X'_d} - \frac{E}{X_d}\right)}_{ab} e^{\frac{-t}{T'_{d0}}} + \underbrace{\left(\frac{E}{X''_d} - \frac{E}{X'_d}\right)}_{bc} e^{\frac{-t}{T''_{d0}}}\right] \sin \omega t + I_{dco} e^{\frac{-t}{T_a}}$$

پارامترهای ماشین سنکرون

اگر به مدار معادل ماشین سنکرون نظری بیاندازیم، پارامترهای متفاوتی نظیر مقامت استاتور، تحریک ودمپرها و همچنین مقادیر اندوکتانسها پراکندگی را مشاهده میکنیم :



پارامترهای ماشین سنکرون

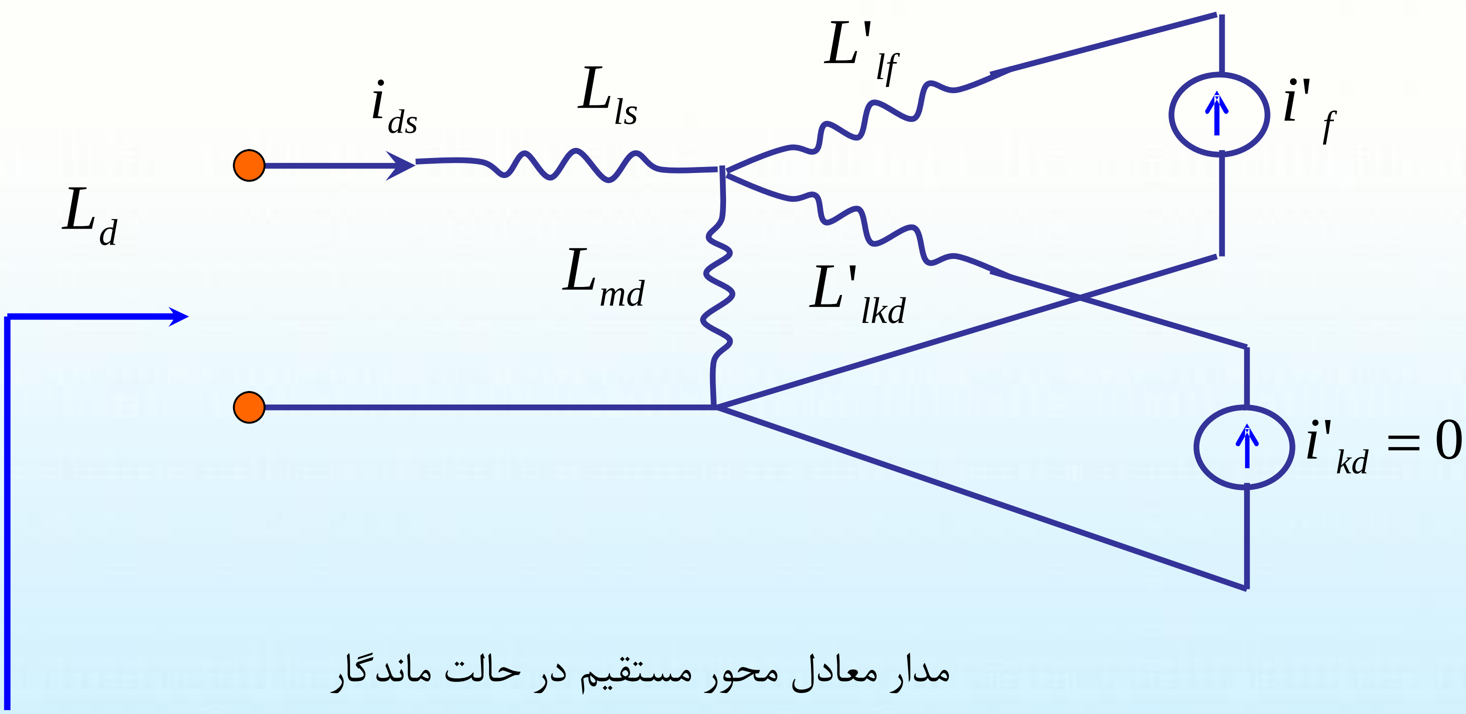
برخی از این پارامترها را میتوان با استفاده از اندازه گیری بدست آورد اما برخی دیگر نظیر مقاومت واندوکتانس دمپرها را مستقیما نمی توان اندازه گیری کرد.

اگر ارتباط بین پارامترهای مدار معادل را بدست آوریم، با دانستن بخشی از پرامترها، سایر پارامترهارا میتوان بدست اورد.

به این منظور اندوکتانس ها و ثابتهای زمانی (مدار باز و اتصال کوتاه) مربوط به هر محور را در حالتهای مختلف دائم، گذرا و تند گذربدست میآوریم.

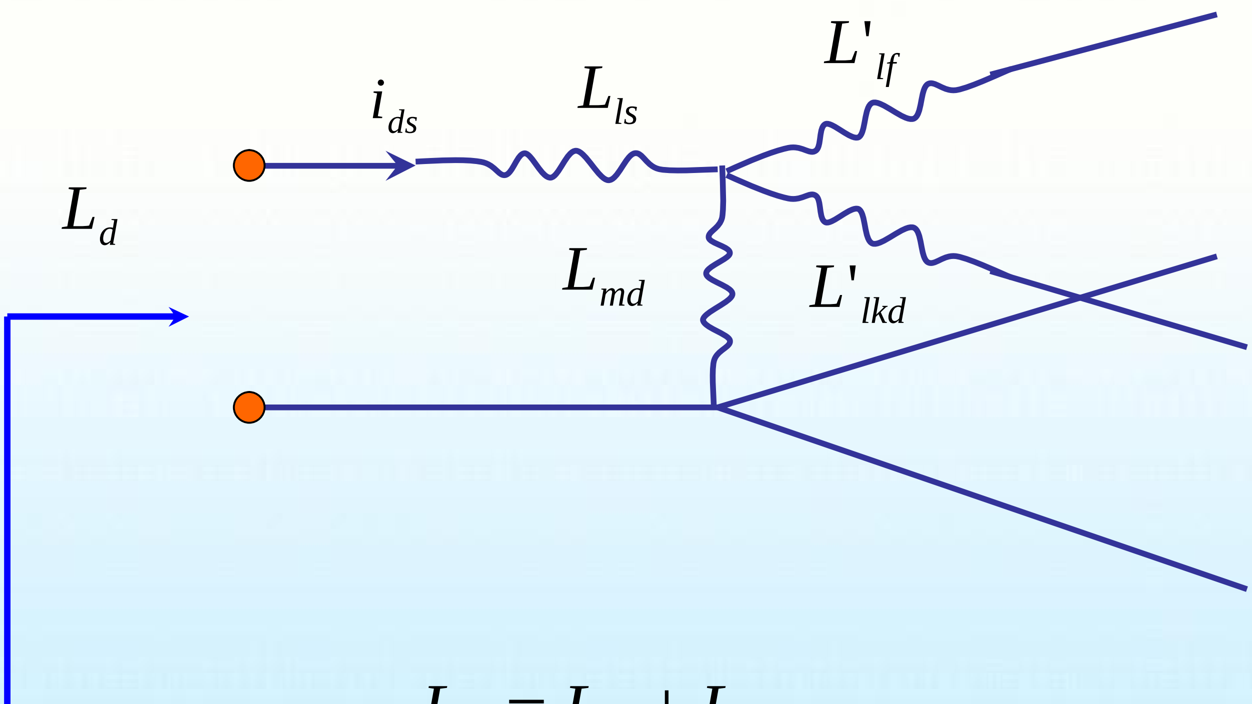
ابتدا مدار معادل برای حالت دائم بدست آورده و بعد این کار را برای حالتهای دیگر تکرار میکنیم:

اندوکتانس محور مستقیم در حالت دائم



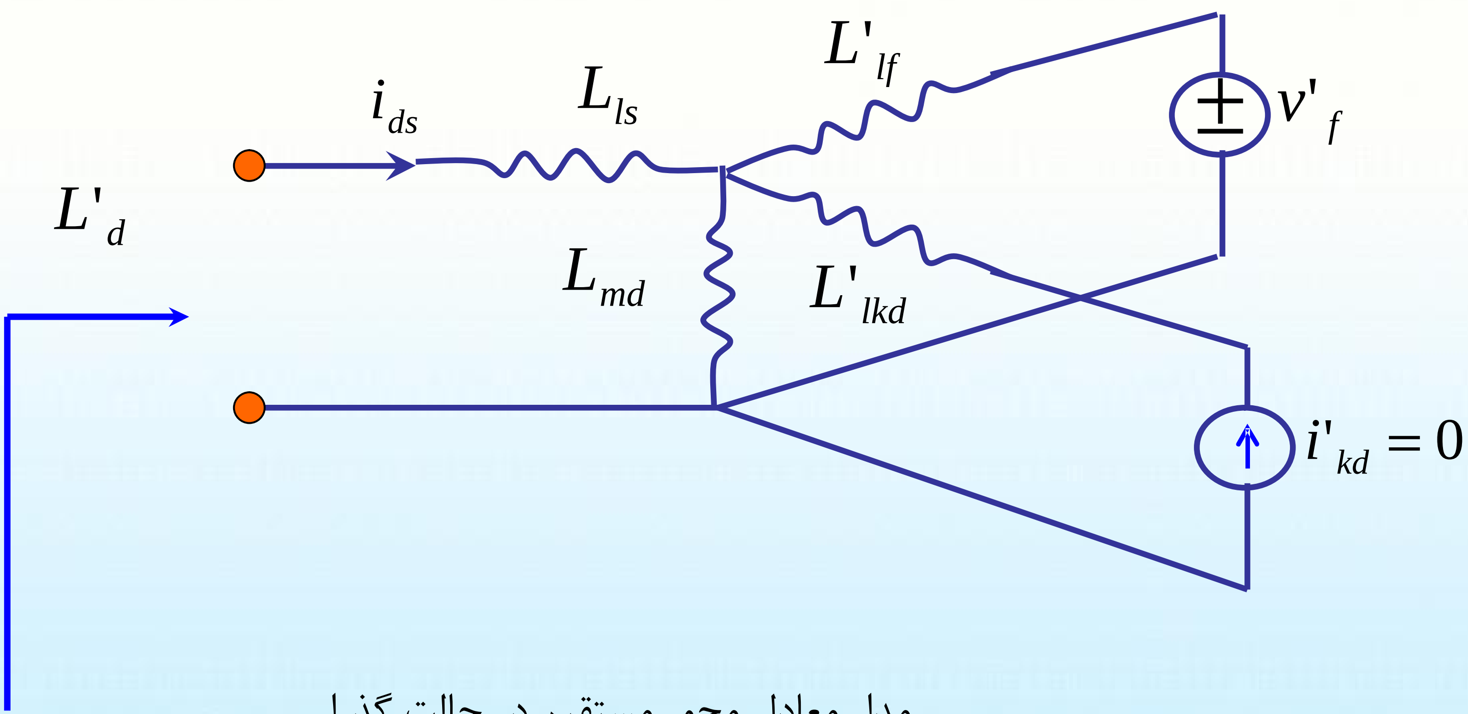
مدار معادل محور مستقیم در حالت ماندگار

اندوکتانس محور مستقیم در حالت دائم



$$L_d = L_{ls} + L_{md}$$

اندوکتانس محور مستقیم در حالت گذرا



مدار معادل محور مستقیم در حالت گذرا

پارامترهای ماشین سنکرون

در حالت گذرا حضور سیم پیچی تحریک باعث میرا شدن نوسانات میگردد. در این حالت سیم پیچهای دمپر دیگر در مدار نیستند. از اصل ثابت ماندن شارها اگر استفاده کنیم، داریم :

$$\begin{cases} \Delta i'_{kd} = 0 \\ \Delta i'_{kq} = 0 \\ \Delta l'_f = 0 \end{cases} \Longrightarrow \begin{cases} \Delta l'_f = L_{md}\Delta i_d + L'_{ff}\Delta i'_f = 0 \\ \Delta l_d = L_d \Delta i_d + L_{md}\Delta i'_f \end{cases}$$

$$L'_d = \frac{\Delta l_d}{\Delta i_d}$$

پارامترهای ماشین سنکرون

در حالت گذرا حضور سیم پیچی تحریک باعث میرا شدن نوسانات میگردد. در این حالت سیم پیچهای دمپر دیگر در مدار نیستند. از اصل ثابت ماندن شارها اگر استفاده کنیم، داریم :

$$\Delta i'_f = -\frac{L_{md}}{L'_{ff}}\Delta i_d \quad \Rightarrow \quad \Delta l_d = L_d \Delta i_d + L_{md}\left(-\frac{L_{md}}{L'_{ff}}\right)\Delta i_d$$

$$L'_d = \frac{\Delta l_d}{\Delta i_d} = L_d - \frac{L^2_{md}}{L'_{ff}}$$

پارامترهای ماشین سنکرون

به روابط زیر توجه کنید :

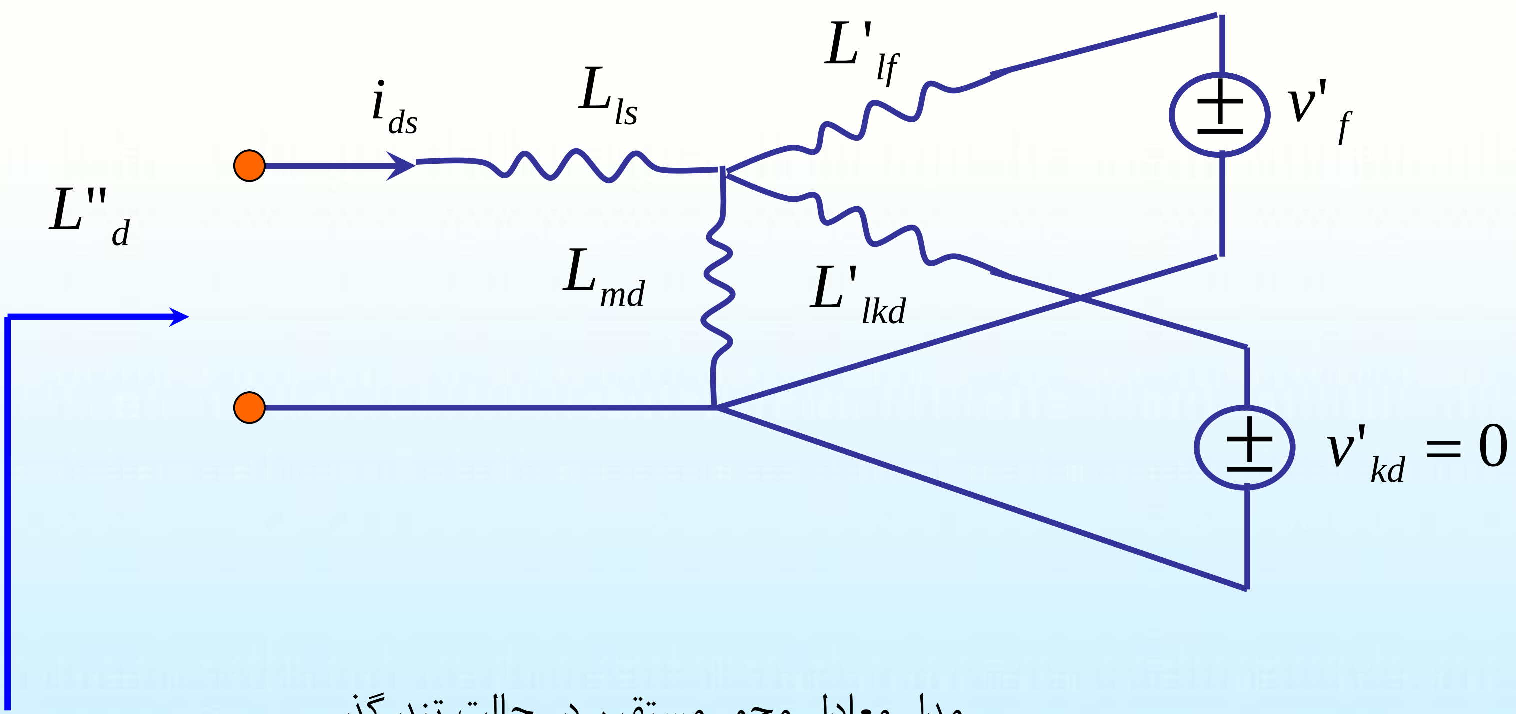
$$\begin{cases} L_d = L_{ls} = L_{md} \\ L'_{ff} = L'_{lf} + L_{md} \end{cases}$$

$$L'_d = L_{ls} + L_{md} \| L'_{lf}$$

مشابه این روابط را برای محورq داریم:

$$L'_q = \frac{\Delta l_q}{\Delta i_q} = L_q - \frac{L^2_{mq}}{L'_{gg}}$$

اندوکتانس محور مستقیم در حالت تندگذرا



مدار معادل محور مستقیم در حالت تند گذر

پارامترهای ماشین سنکرون

در حالت تندگذرحضور سیم پیچیهای دمپر و تحریک باعث میرا شدن نوسانات میگردد. در این حالت سیم پیچیهای دمپر هم در مدار هستند. اگر از اصل ثابت ماندن شارها استفاده کنیم، داریم :

$$\begin{cases}\Delta l'_{f} = 0 \\ \Delta l'_{kd} = 0\end{cases} \Rightarrow \begin{cases}\Delta l'_{f} = L_{md}\Delta i_{d} + L'_{ff}\Delta i'_{f} = 0 \\ \Delta l'_{kd} = L_{md}\Delta i_{d} + L_{md}\Delta i'_{f} + L'_{kdkd}\Delta i'_{kd} = 0\end{cases}$$

$$L''_{d} = \frac{\Delta l_{d}}{\Delta i_{d}}$$

پارامترهای ماشین سنکرون

در حالت گذرا حضور سیم پیچی تحریک باعث میرا شدن نوسانات میگردد. در این حالت سیم پیچهای دمپر دیگر در مدار نیستند. از اصل ثابت ماندن شارها اگر استفاده کنیم، داریم :

$$\begin{bmatrix}\Delta i'_{f}\\ \Delta i'_{kd}\end{bmatrix} = -\frac{L_{md}}{L'_{ff}L'_{kdkd}-L^{2}_{md}}\begin{bmatrix}L'_{lkd}\\ L'_{lf}\end{bmatrix}\Delta i_{d}$$

$$L''_{d} = \frac{\Delta l_{d}}{\Delta i_{d}} \quad\Longrightarrow\quad L'_{d} = \frac{\Delta l_{d}}{\Delta i_{d}} = L_{d} - \frac{L^{2}_{md}\,(L'_{lkd}+L'_{lf})}{L'_{ff}\,L'_{kdkd}-L^{2}_{md}}$$

پارامترهای ماشین سنکرون

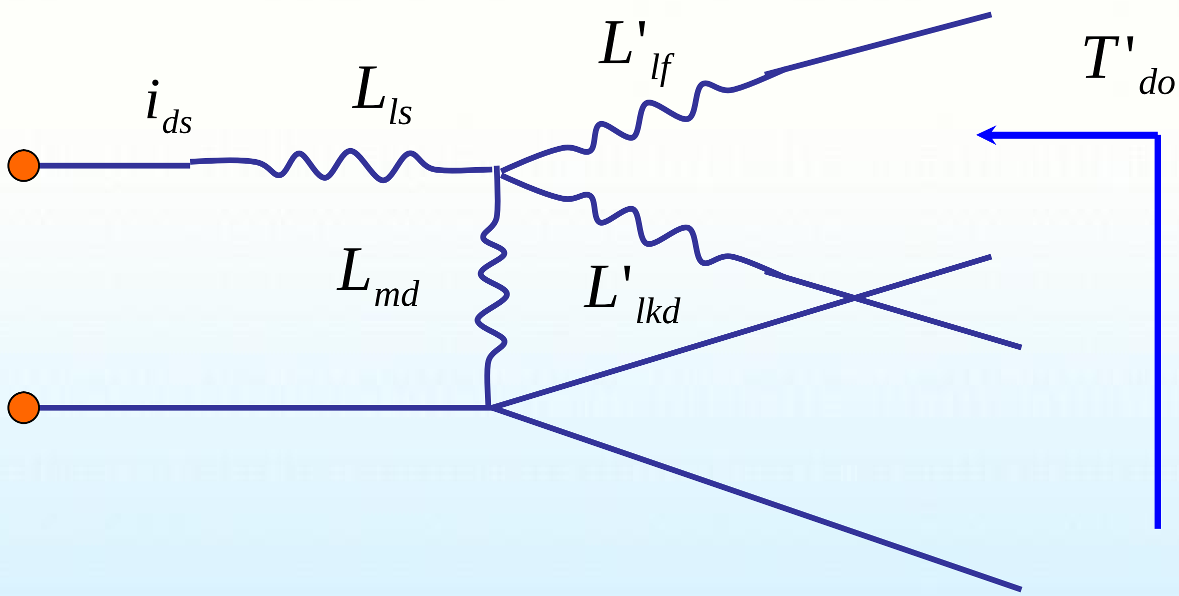
توجه داشته باشید میتوان ثابت کرد :

$$L''_d = L_{\mathbf{l}s} + L_{md} \| L'_{\mathbf{l}f} \| L'_{kd}$$

مشابه این روابط را برای محورq داریم:

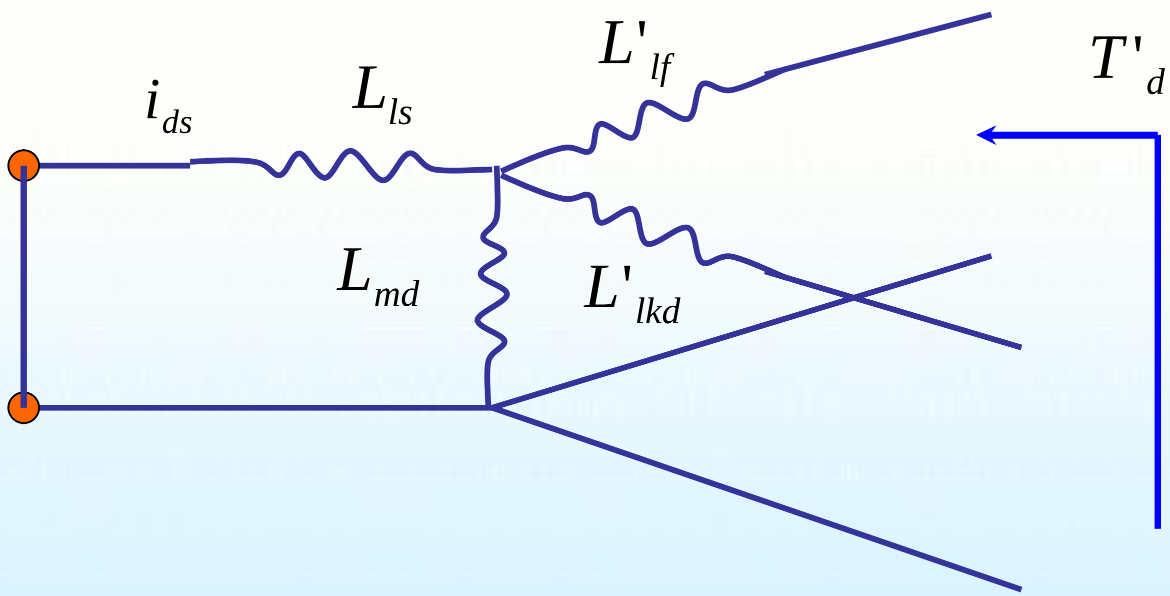
$$L''_q = \frac{\Delta l_q}{\Delta i_q} = L_q - \frac{L^2{}_{mq}(L'_{lkq} + L'_{\lg})}{L'_{gg}\, L'_{kqkq} - L^2{}_{mq}}$$

ثابتهای زمانی بی باری محور مستقیم در حالت گذرا



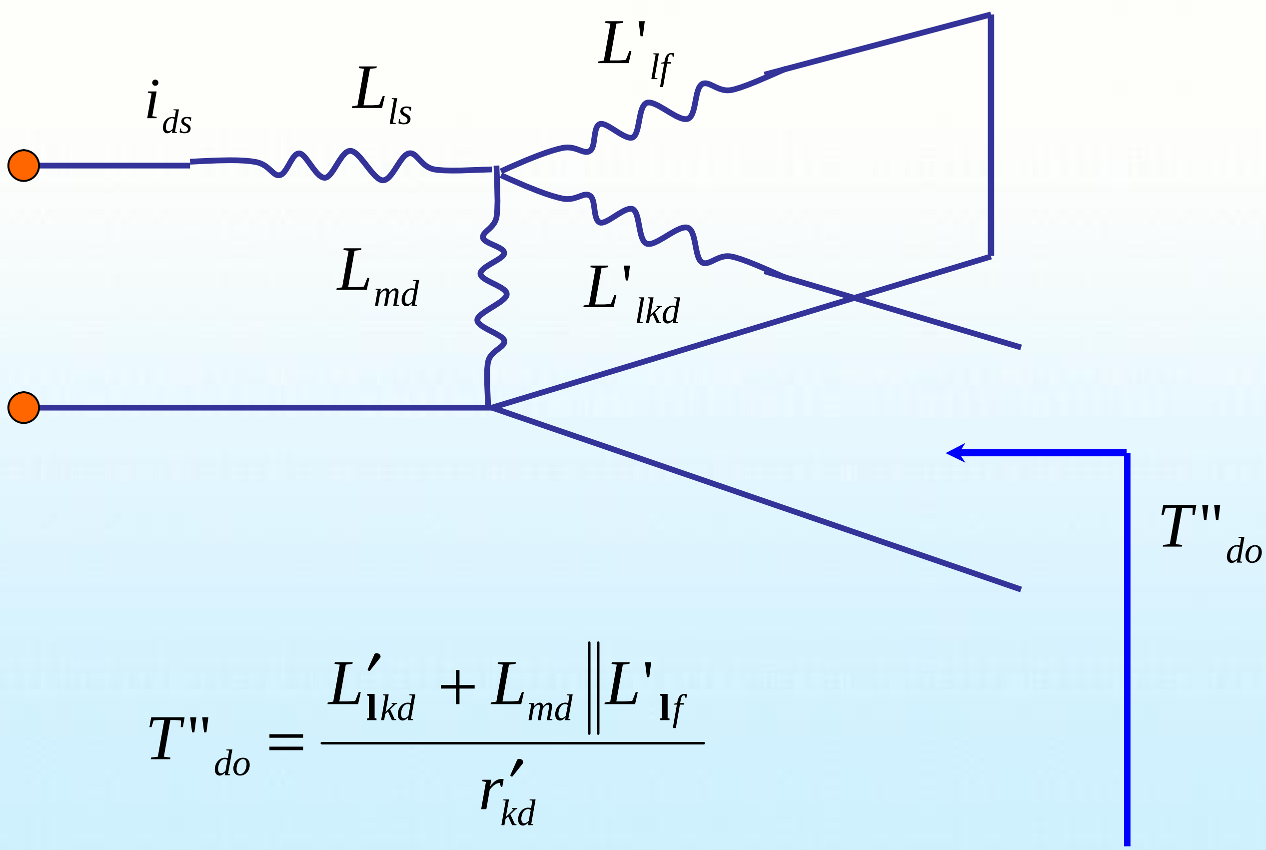
$$T'_{do} == \frac{L'_{lf} + L_{md}}{r'_f}$$

ثابتهای زمانی اتصال کوتاه محور مستقیم در حالت گذرا



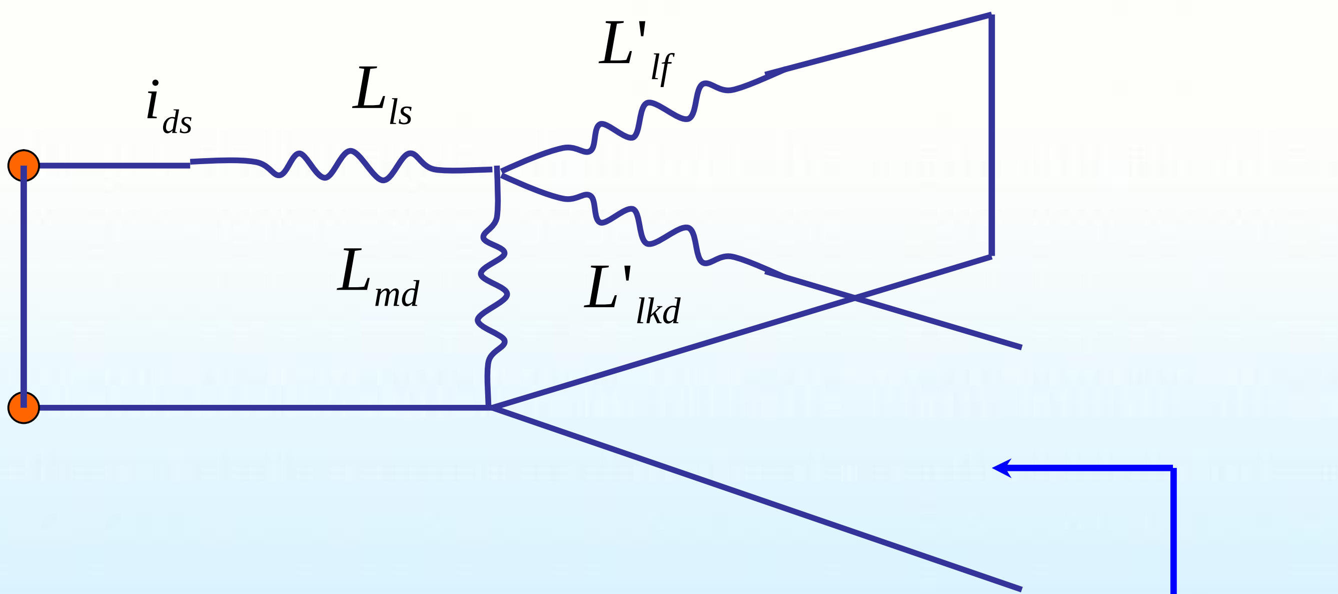
$$T'_{do} = \frac{L'_{lf} + L_{md} \| L_{ls}}{r'_f}$$

ثابتهای زمانی بی باری محور مستقیم در حالت تند گذرا



$$T''_{do} = \frac{L'_{lkd} + L_{md} \| L'_{lf}}{r'_{kd}}$$

ثابتهای زمانی اتصال کوتاه محور مستقیم در حالت تندگذرا



$$T''_d = \frac{L'_{lkd} + L_{md} \| L_{ls} \| L'_{lf}}{r'_{kd}}$$