



قسمت سوم

مدلسازی دینامیکی ترانسفورماتور تکفاز



مدلسازی دینامیکی ترانسفورماتور تکفاز :

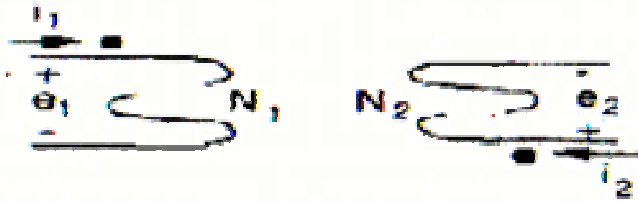
برای مدلسازی ترانسفورماتور تکفاز ابتدا مدلی برای ترانسفورماتور ایده آل بدست می آوریم.

ترانسفورماتور ایده آل

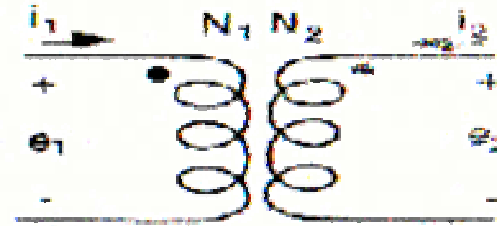
- جریان مغناطیس کنندگی آن برابر صفر است.
- تلفات هسته آن صفر در نظر گرفته میشود.
- شارهای پراکندگی آنرا صفر در نظر میگیریم.
- تلفات اهمی آن نیز صفر در نظر گرفته میشود.



در ترانسفورماتور ایده ال معادلات زیر برقرار میباشد:



(a) Windings and core of a two-winding transformer



(b) Circuit symbol of a two-winding transformer



(c) Referred value of Z_2

$$\sum_{j=1}^2 n_j i_j = 0 \rightarrow \begin{cases} \frac{i_1}{i_2} = \frac{n_2}{n_1} \\ e_1 = n_1 \frac{df_1}{dt} \\ e_2 = n_2 \frac{df_2}{dt} \end{cases} \Rightarrow f_1 = f_2 = f_m \Rightarrow \frac{e_1}{e_2} = \frac{n_1}{n_2}$$



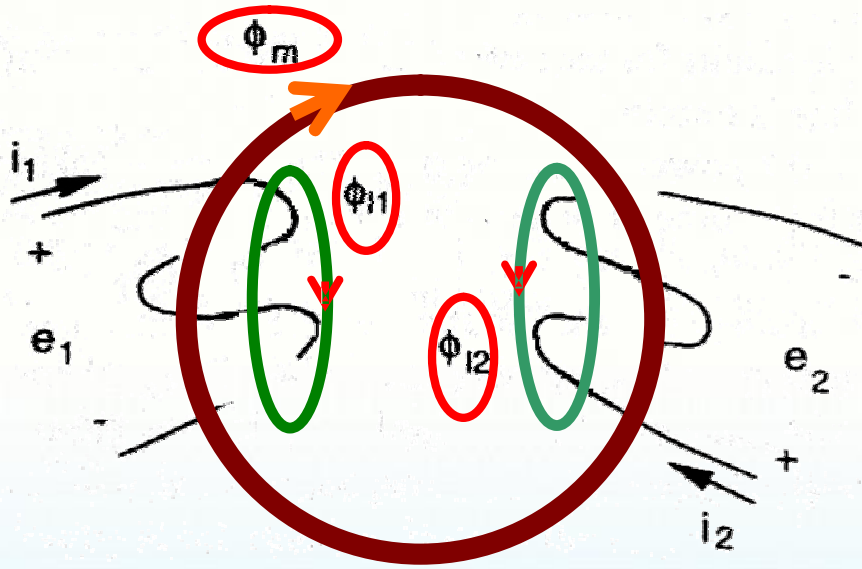
برای نزدیک کردن مدل به واقعیت :

- هسته ایدآل در نظر گرفته نمیشود (ولی کماکان از تلفات هسته صرف نظر میشود)

- مقاومت اهمی سیم پیچی در نظر گرفته میشود



۲) ترانسفورماتور واقعی :



$$f_1 = f_{L1} + f_m$$

$$f_2 = f_{L2} + f_m$$

$$I_1 = N_1 f_1 = N_1 f_{L1} + N_1 f_m$$

$$I_2 = N_2 f_2 = N_2 f_{L2} + N_2 f_m$$



روابط شاردها را بر
اساس پرمانس مینویسیم :

$$MMF = \mathfrak{R}f$$

$$MMF = \frac{f}{P}$$

$$I_1 = N_1 \left[(N_1 i_1 P_{L1}) + (N_1 i_1 + N_2 i_2) P_m \right]$$



$$I_1 = \underbrace{(N_1^2 P_{L1} + N_1^2 P_m)}_{L_{11}} i_1 + \underbrace{(N_1 N_2 P_m)}_{L_{12}} i_2$$



$$\& \longrightarrow I_2 = \underbrace{\begin{pmatrix} N_1 & N_2 & P_m \\ 1 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 3 \end{pmatrix}}_{L_{21}} i_1 + \underbrace{\begin{pmatrix} N_1^2 P_{L2} + N_2^2 P_m \\ 1 & 4 & 4 \\ 2 & 4 & 4 \\ 3 \end{pmatrix}}_{L_{22}} i$$

ماتریس اندوکتانسهای ترانسفورماتور

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

Diagram showing the inductance matrix equation with red circles around L_{11} and L_{22} . A green arrow points from a question mark above to L_{11} , and another green arrow points from a question mark below to L_{22} .

$$L_{11} = L_{L1} + L_{m1}$$

$$L_{22} = L_{L2} + L_{m2}$$



$$\frac{L_{m_1}}{L_{m_2}} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

رابطه بین اندوکتانسهای مغناطیسی :

جریان مغناطیس کنندگی معادل :

$$\begin{aligned} N_1 \mathbf{f}_m &= N_1 (\mathbf{f}_{m_1} + \mathbf{f}_{m_2}) = L_{m_1} i_1 + \frac{N_1}{N_2} N_2 \mathbf{f}_{m_2} \\ &= L_{m_1} i_1 + \frac{N_1}{N_2} L_{m_2} i_2 = L_{m_1} \left(i_1 + \frac{N_2}{N_1} i_2 \right) \end{aligned}$$



معادلات ولتاژ- جریان ترانسفورماتور :

$$V_1 = r_1 i_1 + e_1$$

$$V_2 = r_2 i_2 + e_2$$

ولتاژ القایی را بر اساس اندوکتانسها و جریانها بازنویسی میکنیم :

$$e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} = L_{L1} \frac{di_1}{dt} + L_{m1} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{N_2}{N_1} \frac{di_2}{dt} \right)$$

$$e_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = L_{21} \frac{di_1}{dt} + L_{22} \frac{di_2}{dt} = L_{L2} \frac{di_2}{dt} + L_{m2} \left(\frac{di_2}{dt} + \frac{N_1}{N_2} \frac{di_1}{dt} \right)$$



انتقال ولتاژ القایی ثانویه به اولیه :

$$\begin{cases} e_1 = L_{L1} \frac{di_1}{dt} + \underline{L_{m1}} \frac{d}{dt} (i_1 + \underline{i'_2}) \\ e'_2 = L'_{L2} \frac{di'_2}{dt} + \underline{L_{m1}} \frac{d}{dt} (i_1 + \underline{i'_2}) \end{cases}$$



جایگذاری معادل ولتاژ القایی در روابط ولتاژ - جریان ترانسفورماتور

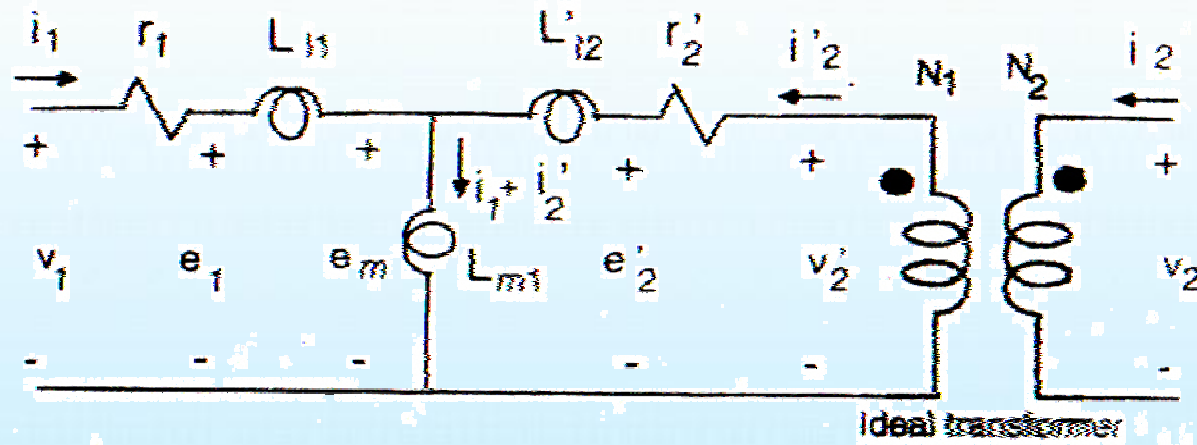
$$V_1 = r_1 i_1 + L_{L_1} \frac{di_1}{dt} + L_{m1} \frac{d}{dt} (i_1 + i'_2)$$

$$V'_2 = r'_2 i'_2 + L'_{L_2} \frac{di'_2}{dt} + L_{m1} \frac{d}{dt} (i_1 + i'_2)$$



بر اساس معادلات بدست آمده از ترانسفورماتور

مدل T





برای شبیه سازی ترانسفورماتور موارد زیر را انجام میدهیم:

۱. معادلات حاکم بر سیستم را مینویسیم
۲. ورودیها و خروجیها و متغیرهای حالت را مشخص می کنیم
۳. بازنویسی معادلات بصورت معادلات حالت
۴. پیاده سازی
۵. انتخاب روش انتگرال گیری، گام محاسبات و تفرانس
۶. اجرای شبیه سازی

در سیستم مورد بحث ما V_1 و V_2 را بعنوان ورودی سیستم و جریانهای i_1 و i_2 را بعنوان خروجی و λ_1 و λ_2 بعنوان متغیر حالت در نظر میگیریم.




بازنویسی معادلات برای اجرای شبیه سازی :

$$y_1 = w_b l_1 \rightarrow l_1 = \frac{y_1}{w_b}$$

$$v_1 = r_1 i_1 + \frac{d l_1}{dt}$$

$$v_1 = r_1 i_1 + \frac{1}{w_b} \frac{d y_1}{dt}$$

$$v_2' = r_2' i_2' + \frac{1}{w_b} \frac{d y_2'}{dt}$$


$$y_1 = w_b \int (v_1 - r_1 i_1) dt$$
$$y_2' = w_b \int (v_2' - r_2' i_2') dt$$



$$y_1 = w_b L_{L_1} i_1 + y_m = x_{L_1} i_1 + y_m$$

$$y_2' = w_b L_{L_2}' i_2' + y_m = x_{L_2}' i_2' + y_m$$

$$y_m = w_b L_{m1} (i_1 + i_2')$$

$$i_1 = \frac{y_1 - y_m}{x_{L_1}}$$

$$i_2' = \frac{y_2' - y_m}{x_{L_2}'}$$

1

2



$$y_m = x_{m1} \left[\frac{y_1 - y_m}{x_{L1}} + \frac{y_2' - f_m}{x_{L2}'} \right]$$

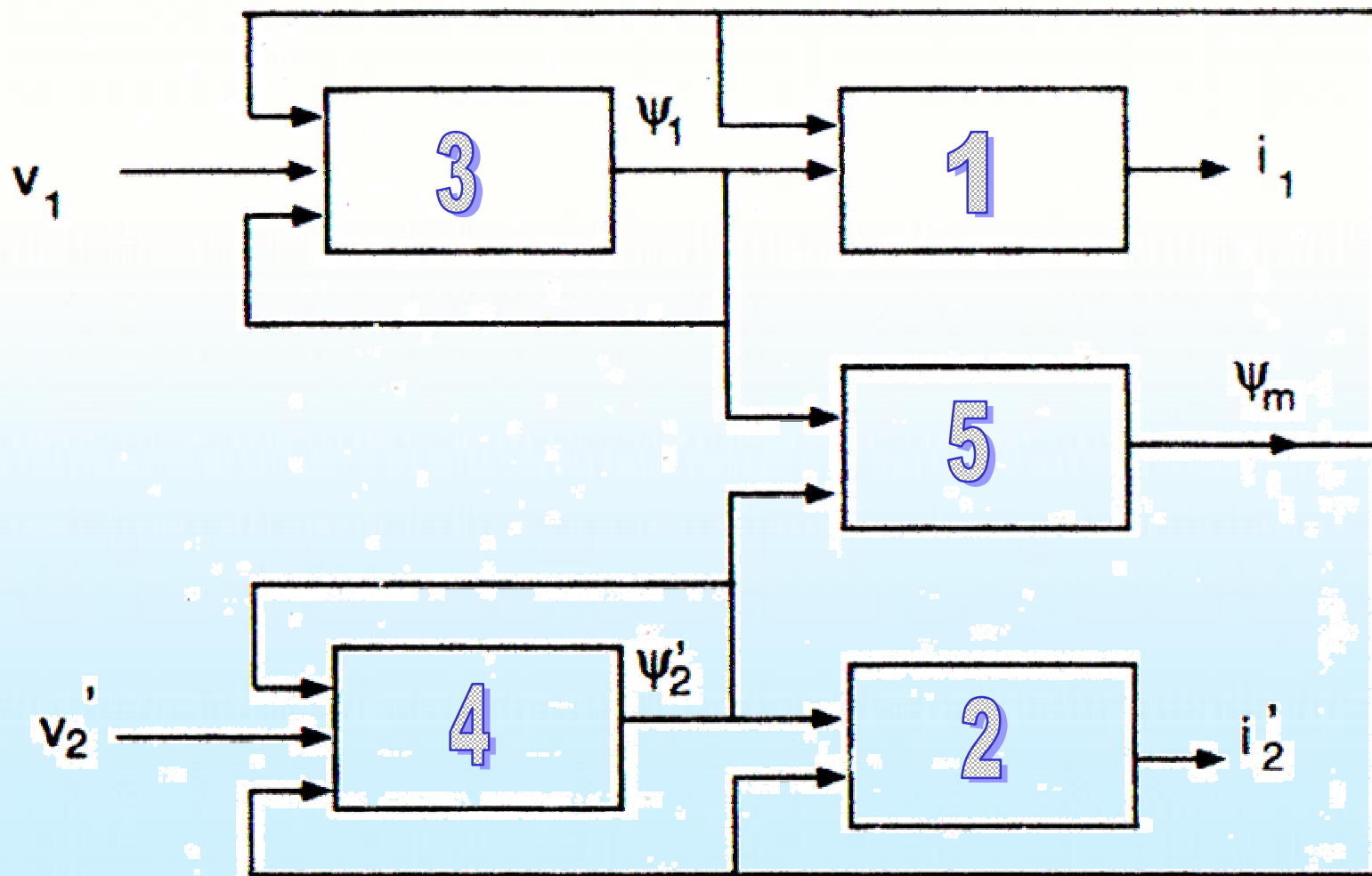
$$y_m = x_M \left[\frac{y_1}{x_{L1}} + \frac{y_2'}{x_{L2}'} \right]$$

$$\frac{1}{x_M} = \frac{1}{x_{L1}} + \frac{1}{x_{L2}'} + \frac{1}{x_{m1}}$$

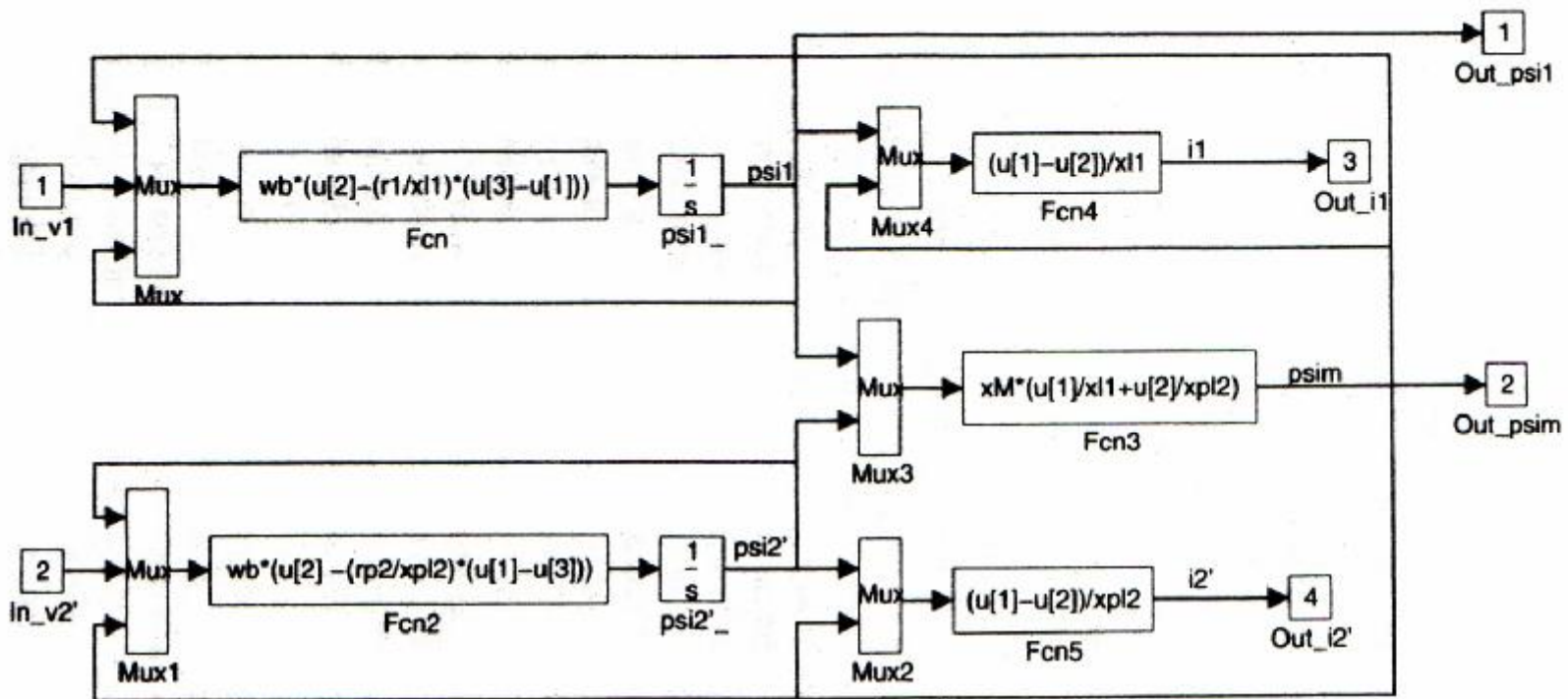
$$\begin{array}{l} y_1 = w_b \int \left[V_1 - r_1 \left(\frac{y_1 - y_m}{x_{L1}} \right) \right] dt \\ y_2' = w_b \int \left[V_2' - r_2' \left(\frac{y_2' - y_m}{x_{L2}'} \right) \right] dt \end{array} \begin{array}{l} \text{3} \\ \text{4} \end{array} \rightarrow y_m = x_M \left[\frac{y_1}{x_{L1}} + \frac{y_2'}{x_{L2}'} \right] \text{5}$$

بلوك دياگرام كلي شبیه سازي

بلوك دياگرام كلي شبیه سازي



پایه سازی مدل





شبیه سازی حالت اتصال کوتاه و مدار باز در ترانسفورماتور :

$$V_2' = 0$$

اتصال کوتاه

$$i_2' = 0$$

مدار باز



2. مدار باز

با استفاده از روابط موجود :

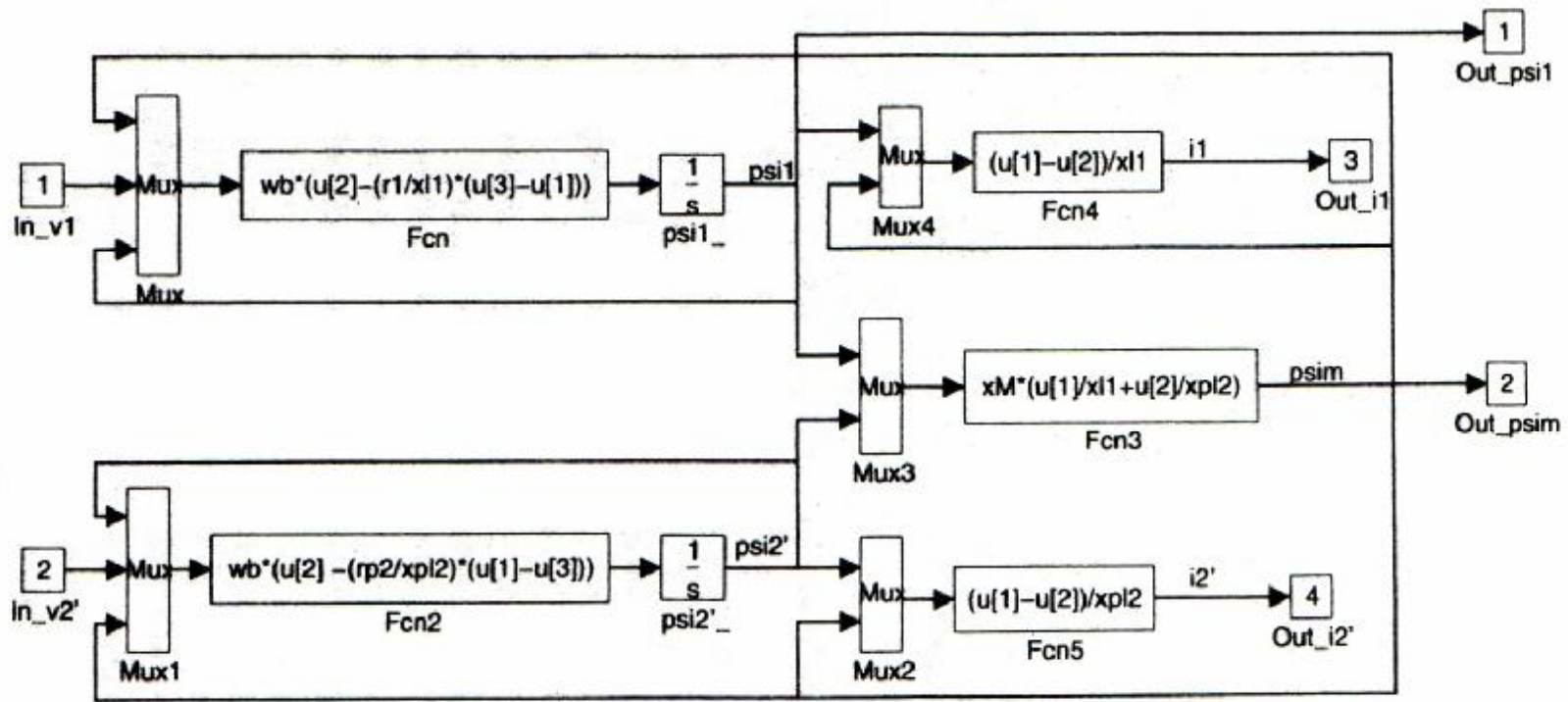
$$i'_2 = 0 \quad \longrightarrow \quad v'_2 = \frac{1}{wb} \frac{d}{dt} y'_2 = \frac{1}{wb} \frac{d}{dt} y_m$$

$$\begin{cases} y_m = x_{m1} (i_1 + i'_2) = x_{m1} i_1 \\ y_1 = x_{L1} i_1 + x_{m1} i_1 \end{cases} \quad \longrightarrow \quad y_m = \frac{x_{m1}}{x_{m1} + x_{L1}} y_1$$

$$V'_2 = \frac{1}{w_b} \frac{X_{m1}}{X_{m1} + X_{L1}} \frac{dy_1}{dt}$$



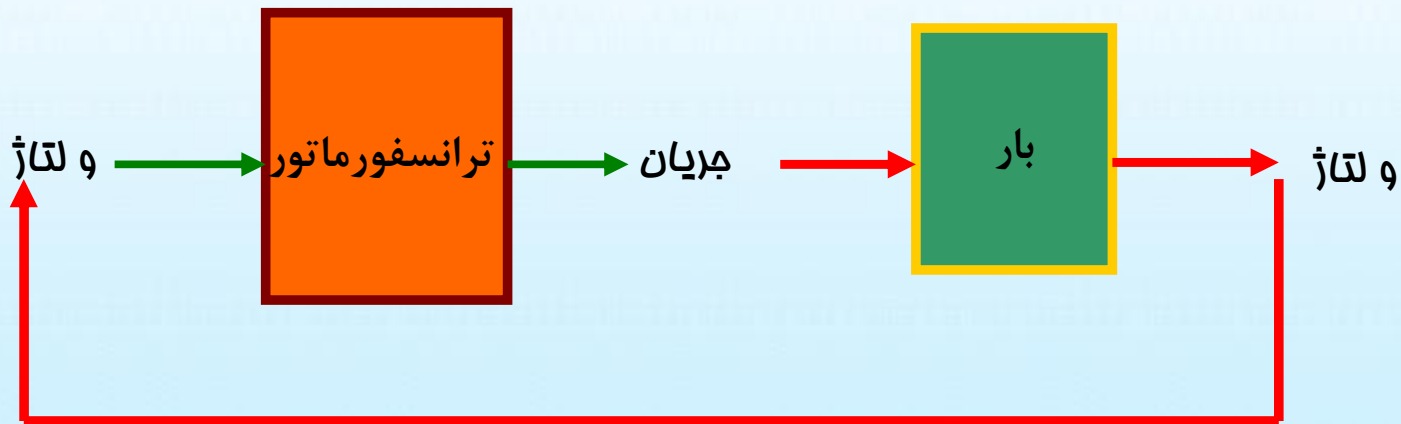
بنیاده سازی مدل





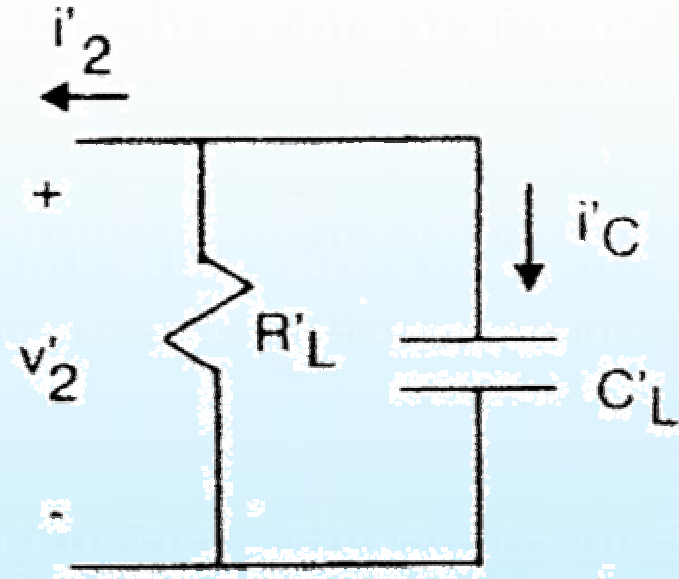
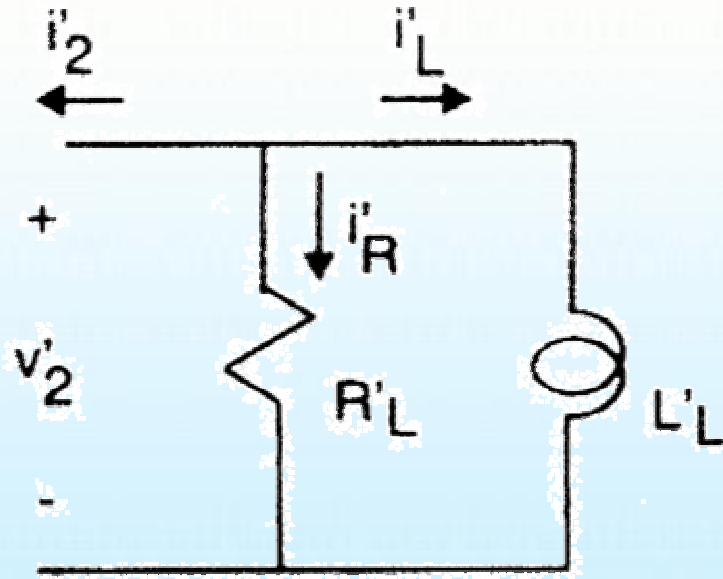
مدلسازی بار

قبلا دیدیم شرایط ساده مانند بی باری و اتصال کوتاه را چگونه میتوان شبیه سازی کرد. اکنون اگر باری در ترمینالها ی یک ترانسفورماتور داشته باشیم، میتوان آنرا در قالب یک مدار RC , RL مدلسازی نمود.





مدلسازی بار در قالب یک مدار RC , RL





مدلسازی بار در قالب مدار RL

$$V_2' = R_L' i_2' = R_L' (-i_2' - i_L')$$

$$i_L' = \frac{1}{L'} \int V_2' dt = B_L' w_b \int V_2' dt$$

$$V_2' = R_L' [i_2' - w_b B_L' \int V_2' dt]$$



با توجه به مدل ارائه شده بایست مقادیر ادمیتانس معادل را بر اساس خصوصیات بار داشته باشیم :

$$V'_2 = R'_L [i'_2 - w_b B'_L \int V'_2 dt]$$

$$S = VI^* = Y^* V^2$$

$$Y' = \frac{S_L^*}{V_{2rated}^2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2} = G'_L + jB'_L$$



مدلسازی بار در قالب مدار RC

$$V_2' = \frac{1}{C_L'} \int i_c' dt$$

$$V_2' = \frac{-W_b}{B_L'} \int \left[i_2' + \frac{V_2'}{R_L'} \right] dt$$

$$Y' = \frac{S_L^*}{V_{rated}^2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2} = G_L' + jB_L'$$



$$i_1 = \frac{y_1 - y_m}{x_{L1}} \quad 1$$

$$i'_2 = \frac{y'_2 - y_m}{x'_{L2}} \quad 2$$

$$y_1 = w_b \int \left[V_1 - r_1 \left(\frac{y_1 - y_m}{x_{L1}} \right) \right] dt \quad 3$$

$$y'_2 = w_b \int \left[V'_2 - r'_2 \left(\frac{y'_2 - y_m}{x'_{L2}} \right) \right] dt \quad 4$$

$$y_m = x_M \left[\frac{y_1}{x_{L1}} + \frac{y'_2}{x'_{L2}} \right] \quad 5$$

BACK