

1 - Os modelos de linha de Transmissão podem ser para linhas curtas (até 80 km), médias (até 240 km) e longas.

K3M1

Para linhas curtas

~~as~~ nas poucas consideradas

~~e efeitos capacitivos.~~

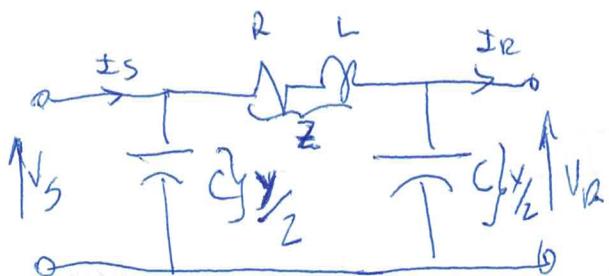
\Rightarrow

$$V_S = (R+jX) I_R + V_R$$

$$\left[\begin{array}{c} V_S \\ I_S \end{array} \right] = \left[\begin{array}{cc} R+jX & 1 \\ 0 & 1 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} V_R \\ I_R \end{array} \right]$$

$$\text{Regulação (\%)} = \frac{(R+jX) I_{R,\text{nom}}}{V_R} \times 100$$

Para linhas médias



$$\left\{ \begin{array}{l} I_S = V_S Y_L + I_R + V_R Y_L \\ V_S = V_R + Z_0 (I_R + V_R Y_L) \\ Q_S = (1+Z_0) V_R + Z I_R \end{array} \right.$$

~~$I_S = V_R + 2(I_R + V_R Y_L)$~~

$$V_S = \left(1 + \frac{Z_0 Y}{2}\right) V_R + Z I_R$$

~~$I_S = \left[\left(1 + \frac{Z_0 Y}{2}\right) V_R + Z I_R \right] Y_L + V_R Y_L + I_R$~~

~~$= \left(1 + \frac{Z_0 Y}{2}\right) V_R Y_L + \frac{Z Y I_R}{2} + V_R Y_L + I_R$~~

↓ falta m

~~$= \frac{V_R Y}{2} + \frac{Z Y^2}{4} V_R + \frac{Z Y}{2} I_R + \frac{V_R Y}{2}$~~

~~$= V_R Y + \frac{Z Y^2}{4} V_R + \frac{Z Y}{2} I_R$~~

Vou melhorar

$$I_S = \left[Y + \frac{Z Y^2}{4} \right] V_R + \frac{Z Y}{2} I_R$$

eff

(2)

$$\dot{V}_S = \left(1 + \frac{Zy}{2}\right) V_R + Z I_R \quad e \quad \dot{I}_S = V_S \frac{Y}{2} + I_R + V_R \frac{Y}{2} \Rightarrow$$

K3M1

$$\dot{I}_S = \left[\left(1 + \frac{Zy}{2}\right) V_R + Z I_R \right] \frac{Y}{2} + I_R + V_R \frac{Y}{2} \Rightarrow$$

$$\dot{I}_S = \left(1 + \frac{Zy}{2}\right) V_R \frac{Y}{2} + \frac{Zy}{2} I_R + I_R + V_R \frac{Y}{2} \Rightarrow$$

$$\dot{I}_S = Y V_R + \frac{Zy^2}{4} V_{12} + \frac{Zy}{2} I_R + I_R \Rightarrow$$

$$\dot{I}_S = \left[Y + \frac{Zy^2}{4}\right] V_R + \left[1 + \frac{Zy}{2}\right] I_R$$

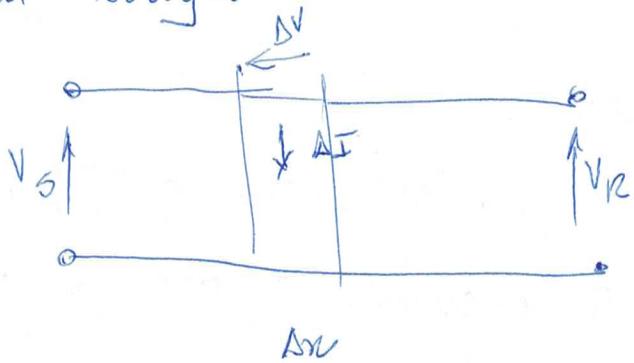
$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}, \text{ onde } \begin{array}{l} A = D = \left[1 + \frac{Zy}{2}\right], \\ B = Z \quad e \quad C = \left[Y + \frac{Zy^2}{4}\right] \end{array}$$

$$\text{Regulação (\%)} = 100 \frac{\frac{Zy}{2} V_R}{V_R}$$

$$\frac{w_L}{w_C}$$

$$\beta = \frac{1}{w_C} \quad y = w_C$$

Linha longa



$$\Delta V = I g \Delta x, \quad g = \frac{\Delta z}{\Delta x}$$

$$\Delta I = V_y \Delta n, \quad y = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$$\Rightarrow \frac{dV}{dx} = I g \quad \text{e} \quad \frac{dI}{dx} = V_y \Rightarrow$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} = g \frac{dI}{dx} = gyV \quad \text{e} \quad \frac{d^2I}{dx^2} = y \frac{dV}{dx} = yzI \Rightarrow$$

$$V = A_1 e^{\sqrt{gy}x} + A_2 e^{-\sqrt{gy}x}, \quad \frac{dV}{dx} = \sqrt{gy} A_1 e^{\sqrt{gy}x} + \sqrt{gy} A_2 e^{-\sqrt{gy}x}$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} = gyA_1 e^{\sqrt{gy}x} + gyA_2 e^{-\sqrt{gy}x} = gyV \quad \text{on}$$

$$yzI = \frac{dV}{dx} \Rightarrow I = \frac{A_1 e^{\sqrt{gy}x}}{\sqrt{gy}} - \frac{A_2 e^{-\sqrt{gy}x}}{\sqrt{gy}}, \quad \text{Assim:}$$

$$V = A_1 e^{\sqrt{gy}x} + A_2 e^{-\sqrt{gy}x} \quad \text{e} \quad I = \frac{A_1}{\sqrt{gy}} e^{\sqrt{gy}x} - \frac{A_2}{\sqrt{gy}} e^{-\sqrt{gy}x} \quad //$$

Tomando o ponto de recepção, onde $x = 0$, temos:

$$V_R = A_1 + A_2 \quad \text{e} \quad I_R = \frac{A_1}{\sqrt{gy}} - \frac{A_2}{\sqrt{gy}} \Rightarrow$$

$$\cancel{A_1}(A_2 \cancel{x}) \quad \cancel{\sqrt{gy}} I_R = A_1 - A_2 \Rightarrow$$

$$A_1 = V_R + \sqrt{gy} I_R \quad \text{e} \quad A_2 = \frac{V_R - \sqrt{gy} I_R}{2} \Rightarrow$$

$$V = V_R \left(\frac{e^{\sqrt{gy}x}}{2} + \frac{e^{-\sqrt{gy}x}}{2} \right) + \sqrt{gy} I_R \left(\frac{e^{\sqrt{gy}x} - e^{-\sqrt{gy}x}}{2} \right), \quad \text{podendo ser}$$

expressa em ~~cosh~~ e ~~senh~~.

O parâmetro $\sqrt{\beta_y}$ é chamado de impedância característica e

$\sqrt{\beta_y}$ de constante de propagação.

A parcela $A_1 e^{\sqrt{\beta_y}x}$ é em analogia às ondas na água, e é chamada de onda incidente, enquanto a parcela $A_2 e^{-\sqrt{\beta_y}x}$ é chamada de onda refletida.

A constante de propagação $\sqrt{\beta_y}$ pode ser expressa como $\alpha + j\beta$, onde α é o parâmetro de atenuação, dado em neper por unidade de comprimento e β o parâmetro de fase em radianos por unidade de comprimento.

Quando a linha possui a carga igual à impedância característica $\sqrt{\beta_y}$, então $\sqrt{\beta_y}I_R = V_R$ e $A_2 = 0$. Então não há onda refletida. Neste caso a linha é conhecida como linha plana ou infinita.

Para uma linha sem perdas a impedância característica fica igual a $\sqrt{L/C}$.

Esta impedância também é chamada de impedância de perda e a potência de sinal pode ser calculada (SIL).

$$SIL = \frac{\sqrt{3} V_R I_R}{\sqrt{3} \sqrt{L/C}} = \frac{\sqrt{3} V_R I_R}{\sqrt{L/C}} = \frac{V_R^2}{\sqrt{L/C}}$$

2- Máquina Síncrona

A máquina síncrona em sua forma mais comum possui o enrolamento de campo no rotor e o de armadura no estator.

O enrolamento de campo é alimentado com corrente CC e forma um campo magnético ~~estático~~ estático em relação ao próprio rotor, assemelhando-se a um imã permanente, podendo ser aumentado ou reduzido, conforme variações na corrente do enrolamento, chamada de corrente de excitação. O estator possui enrolamentos trifásicos com correntes equilibradas e simétricas em seu funcionamento normal da máquina. Como os enrolamentos se distribuem ~~no~~ espacialmente, formando eixos magnéticos deforados alternadamente de 120° ou espacialmente de 120° .

As correntes trifásicas nos enrolamentos trifásicos formam um campo girante que gira na velocidade $n = \frac{60f}{p/2} = \frac{120f}{p}$

No gerador, uma máquina motriz (turbina ou outro tipo) aciona o rotor, fazendo girar em uma velocidade para formar tensões no estator com a frequência desejada de acordo com a relação $f = \frac{n}{120}$, sendo o nosso sistema de 60 Hz.

No motor o campo girante do estator carrega o campo magnético ~~estático~~ do rotor e ~~pega~~ a própria estrutura na velocidade síncrona. Daí se, o rotor gira na mesma velocidade do campo girante do estator.

Entretanto, o motor não possui partida própria somente com esta estrutura. O campo girante do estator não consegue mover a inércia do rotor a partir de sua posição inicial parado.

Dizem que o motor síncrono precisa de uma outra máquina auxiliada para ser colocado em movimento, mas, o que é comum é o rotor ter barras e anéis, em forma de gaiola, como de um motor de indução. Assim, o motor consegue partir, acelerando seu rotor até atingir da velocidade síncrona, quando a excitação do campo é ligada e o rotor ~~síncrono~~ ^{síncronize}.

Em regime permanente, motor e rotor diferem muito pouco no funcionamento. Há um campo girante ~~que~~ do estator que se contrapõe ao movimento do rotor.

K3M1

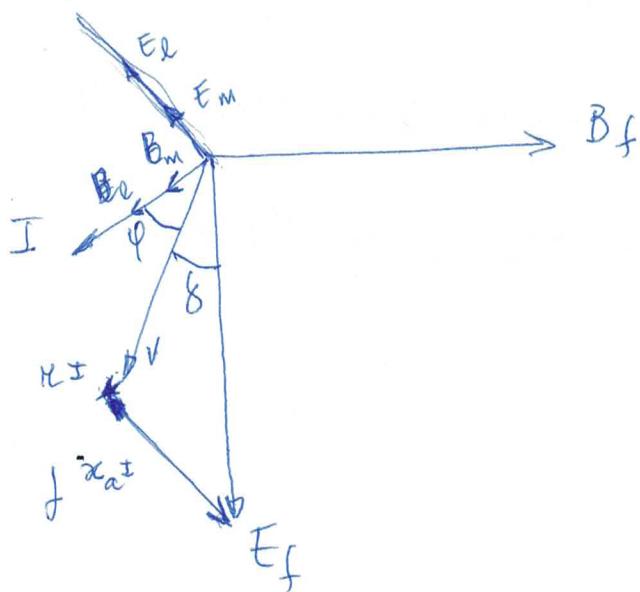
(interagiu)

No motor o rotor vai atrás do campo girante e no gerador é o contrário. No motor são aplicadas tensões trifásicas nos enrolamentos, para produzir correntes trifásicas. ~~No gerador~~ Campos magnéticos pulsantes sua direção? como descrito anteriormente, resultando ~~no~~ no campo girante.

No gerador, o campo magnético do rotor volta os condutores do estator, induzindo tensões ~~que~~, que compõem ~~o~~ no enrolamento distribuídos, conforme descrito antes, produz as tensões nos terminais. As correntes de carga nos enrolamentos de armadura formarão o campo girante do estator.

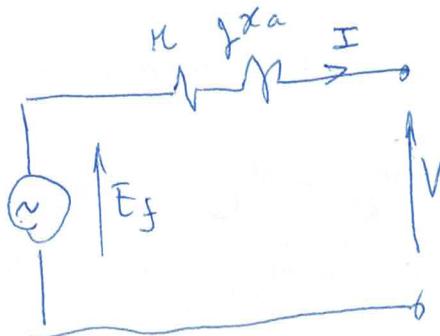
A estrutura em gaiola do motor também é chamada de enrolamento amortecedor. Este pode entrar em ação para equilibrar ou neutralizar os possíveis distúrbios na máquina síncrona, que produzem pequenas variações na velocidade. Com a diferença de velocidade do rotor para a síncrona, surgem correntes nas barras, sempre tendendo a contrariar os efeitos do distúrbio, produzindo configuração.

Polo bruto



$$x_a = x_m + x_e$$

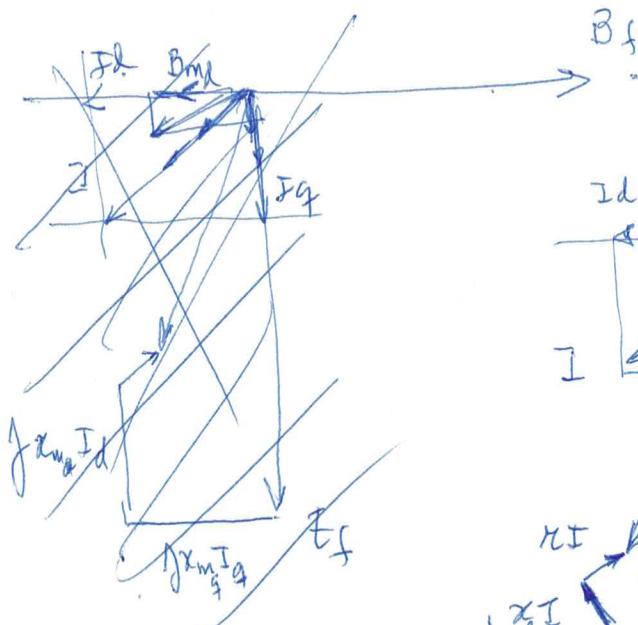
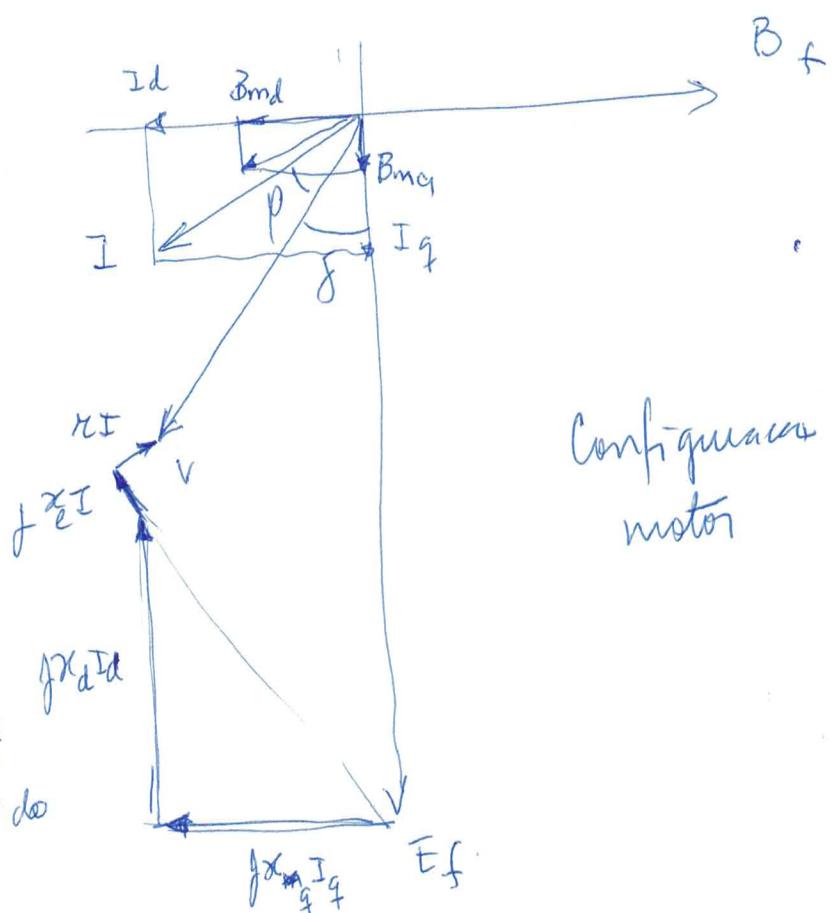
$$E_f = (\eta + jx_a) I + V$$



$$\text{Reactância parâmona} = x_m + x_e$$

Configuração de gerador

Polo paciente

~~Configuração de gerador~~

Configuração de motor

$$E_f = V + \eta I + jx_e I + jx_a I_d + jx_q I_q$$

Desconsiderando os efeitos das diferenças do entreferro, pode-se escrever

$$E_f = V + \eta I + jx_e I + jx_d I$$

→ segue

No valor do conjugado esta consideracao nao afeta muito, mas no calculo da potencia pode produzir diferenças consideráveis.

Com esta simplificacao a realanca sincrona fica

K3M1
$$x = x_d + x_l \text{ ou } x_d + x_p, \text{ onde } x_p \text{ é a}$$

realanca de Potier.

3 - Transformadores

Um transformador é um dispositivo projetado para transformar tensões ou correntes elétricas de uma intensidade em outra. Se ele eleva a tensão é dito elevador. Do contrário é dito abaixador.

Existem os transformadores um para um, que nem elevam e nem abaixam a tensão. São usados para isolamento galvânico.

O funcionamento dos transformadores se baseia nas leis de Faraday e Lenz, além das propriedades advindas do enlace de fluxo magnético entre dois meios condutores. Na prática, são bobinas de condutores encapçadas por linhas de fluxo. O dispositivo, em geral, possui um núcleo e bobinas enroladas nele. Esse núcleo pode ser linear ou não. Digo de comportamento linear ou não. Linear é quando a relação entre a tensão e a corrente é de proporcionalidade.

Os núcleos lineares são utilizados em pequenos dispositivos para conversão de pequenos sinais elétricos sua comparação com o rendimento destes.

Para transformadores de sistemas de energia ou mesmo de fontes de aparelhos, onde o rendimento é importante, os núcleos são feitos de material ferromagnético, cuja permeabilidade magnética é muito elevada, atingindo atualmente mais de 24000 rezes μ_0 (do ar, ou vácuo).

178

Os transformadores podem ser classificados sob várias formas.
Podem ser de força (ou potência), de áudio, de isolamento, de comunicação, de instrumentos (de medição ou proteção), de pulso etc.

Os trafo de áudio e de comunicação (ou outros similares) fornecem núcleos mais lineares, onde a característica mais importante é transformar o sinal recebido mantendo a mesma forma de onda, não fazendo compromisso com o rendimento (pode ter perdas altas).

Os trafo de pulso fornecem características parecidas com o grupo anterior, mas devem ter fidelidade na sua função, mas produzindo ruídos ou pior o sinal estranhos ao sinal de interesse.

Os trafo de potência são construídos com núcleos de material ferromagnético laminado (para reduzir as perdas de correntes parassíticas), com elevada permeabilidade e laço de histerese estreito para reduzir as perdas por histerese, além de pequenas quedas de tensão nas bobinas ou enrolamentos. Possuem rendimento elevado (~95%) e pequena regulação de tensão (~2%).

Sua finalidade é adaptar a tensão nos sistemas de energia, elevando da gerações para as LTs e reduzindo gradativamente a tensão, à medida em que as LTs se aproximam dos centros de consumo. Trabalham com níveis elevados da ordem de 138 a 750 kV, podendo ter maiores tensões em LTs ou gerações especiais, ou médias, da ordem de 138 a 69 kV, além de baixas tensões, como 127 V, 220 V, 380 V e 440 V.

Um trafo de isolamento possui as mesmas características físicas dos trafo de potência, mas sua finalidade é bem definida para isolas duas instalações elétricas, evitando interferências de um sistema no outro. Usado em laboratórios, sistemas médicos, experimentos elétricos,

Os traços de instrumentos de proteção ou medição são usados nesses sistemas citados com finalidade de transformar exclusivamente as correntes ou as tensões, definindo os traços TCs e TPs, traços de corrente ou de potencial respectivamente. K3M1

Os TCs e TPs também precisam ser eficientes e também possuem núcleos ferromagnéticos, mas isso ocasiona uma das grandes é desejável e a outra é a de funcionalidade.

Nos TCs, o primário pode ser de poucas espiras, ou uma, ou até meia espira (~~ou~~ um condutor passando por dentro do núcleo). A corrente no primário é a do sistema forte, que não é alterada pelo secundário. ~~O~~ O secundário possui muitas espiras, centenas ou milhares, sendo projetado para disponibilizar até 5A aos instrumentos, quando a corrente máxima do primário for atingida. Pode ser tipo fiamela ou bigorna.

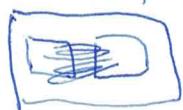
Nos TPs, o primário possui muitas espiras e o secundário poucas, obedecendo a relação que se quer obter. Em geral, o secundário disponibiliza cerca de 115 volts para os instrumentos. A resistência é fixa. Os enrolamentos são projetados para queda de tensão bem reduzida. Como a impedância dos instrumentos são elevadas, a corrente no secundário é bem reduzida e no primário ainda menor. Nos sistemas de tensões muito elevadas, utiliza-se divisores capacitivos para reduzir bastante a tensão na entrada do TP.

Ainda há o transformador de aterramento e os transformadores de carregamento de impedâncias. Suas características são similares aos já descritos, força e sinal, respectivamente, e suas funcionalidades nas citadas nos próprios nomes.

Os trafo monofásicos podem ser conectados para formar um banco trifásico ou pode-se construir um transformador trifásico. As conexões dos enrolamentos podem ser:
estrela-estrela, estrela-delta e delta-delta, ^{que} as conexões em estrela podem ser alteradas ou não.

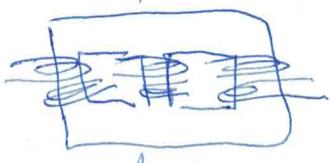
Eletricamente não há diferenças entre banco trifásico e trafo trifásico, mas o núcleo de um trafo trifásico deve ser construído de forma que a soma dos fluxos produzidos pelos enrolamentos primários se anule, de forma a não aumentar a dispersão magnética.

Os núcleos dos trafos ^{monofásicos} podem ser de um caminho, ou de ferro central

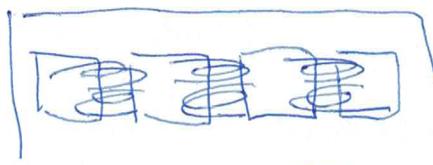
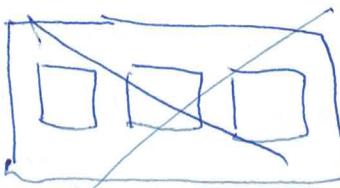


O primeiro é chamado núcleo envolvido e o segundo envolvente

Núcleos trifásicos podem ser:



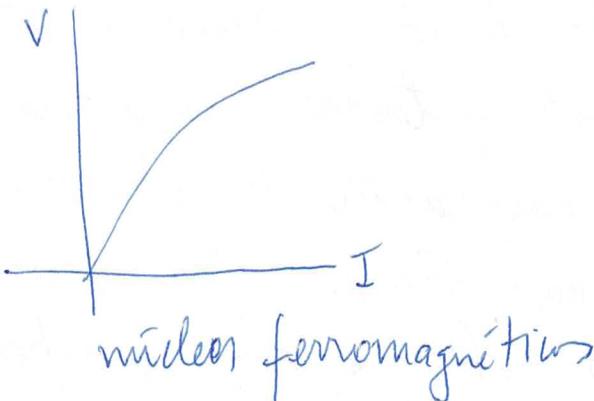
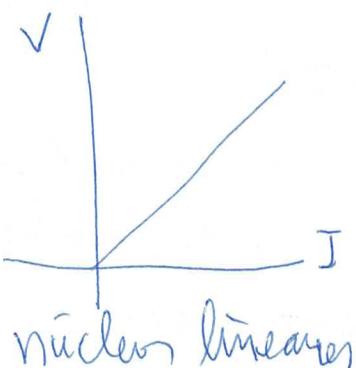
envolvido



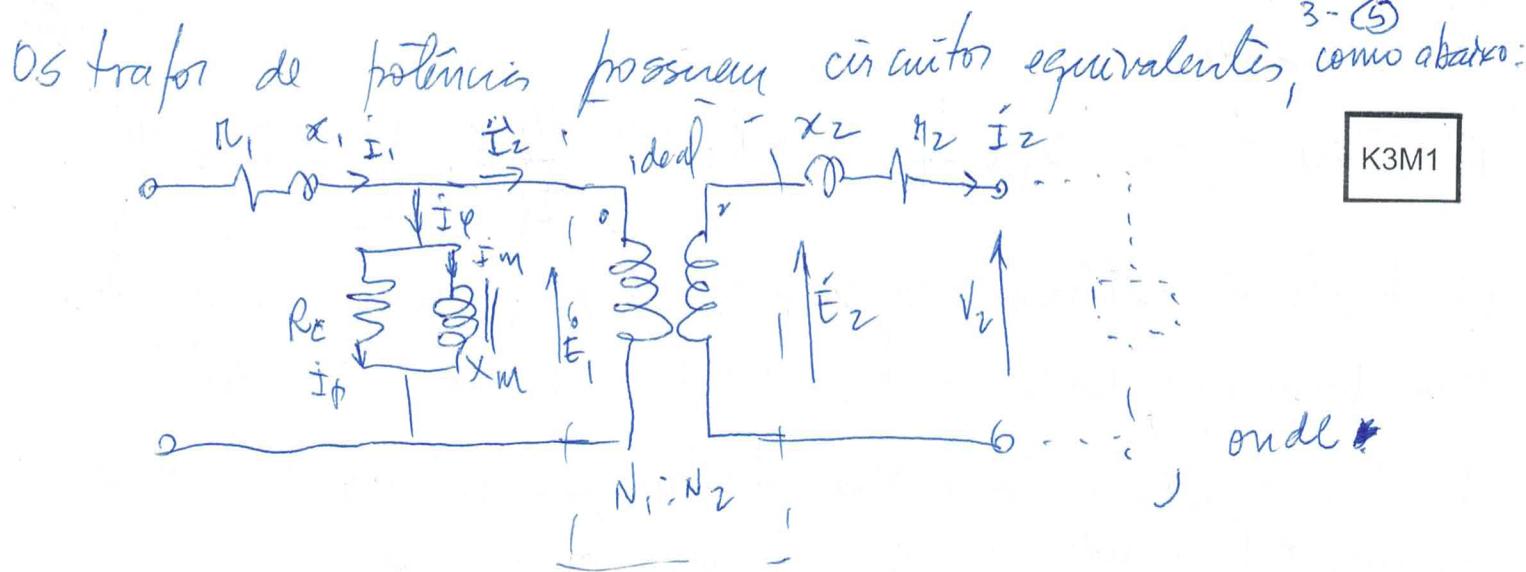
envolvente ou

encaracolado

As relações de tensão x corrente a vazios seguem os gráficos:

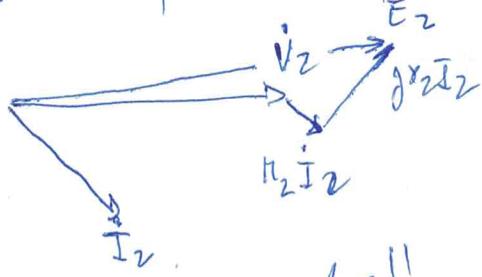


As curvas $V \times I$ podem ser representadas a partir das curvas de magnetização $B \times H$

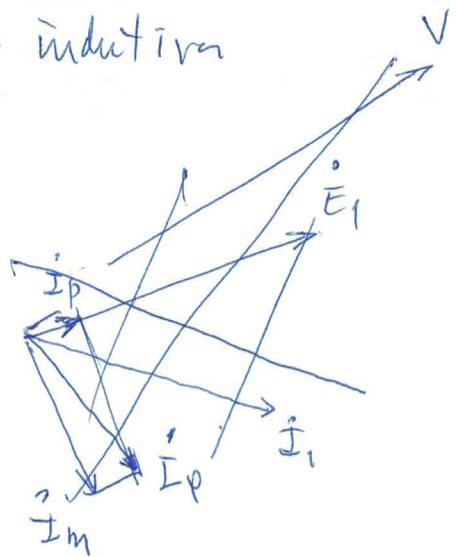
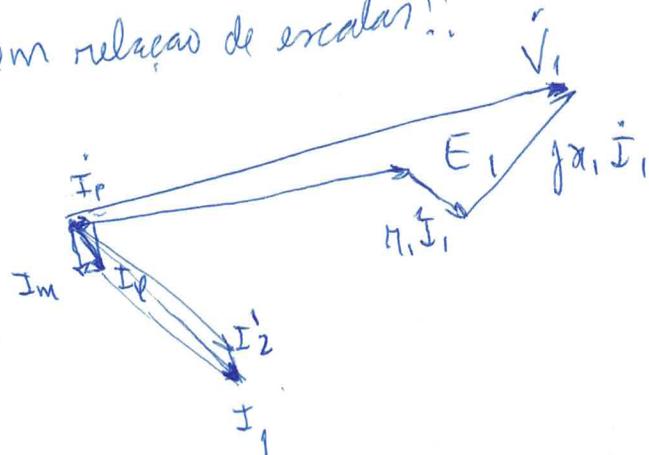


R_1 e R_2 são as resistências dos enrolamentos primário e secundário, x_1 e x_2 reatâncias ~~de~~ representativa dos fluxos de dispersão devido às correntes nos enrolamentos primário e secundário, R_c a resistência representativa das perdas no núcleo (correntes parásitas e histerese), X_m a reatância correspondente ao fluxo concatenado no núcleo de magnetização e traço ideal elemento representativo do fenômeno do enlace de fluxo entre os enrolamentos.

Diagrama fasorial para uma carga indutiva



Sem relações de escala!!



até

Finalizando:

$$\text{A razão } \dot{I}_2 = 0, \dot{I}_1 \approx I_p, \dot{V}_2 = \dot{E}_2 \Rightarrow \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \approx \frac{\dot{E}_1}{\dot{E}_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

K3M1

No traço de potência os quedes nos enrolamentos devem ser bem pequenos, como comumente de projeto, então $\dot{V}_1 \approx \dot{E}_1$

Os parâmetros R_c e X_m podem ser obtidos do ensaio a vazio, desfazendo a queda em $\alpha_1 + jx_1$.

Em curto-círcuito, com \dot{V}_1 sendo feito tal que I_1 seja nominal.

$$\dot{V}_1 = (\alpha_1 + jx_1) I_1 + \dot{E}_1 = (\alpha_1 + jx_1) I_1 + \frac{N_1}{N_2} \dot{E}_2$$

$$= (\alpha_1 + jx_1) I_1 + \frac{N_1}{N_2} (\alpha_2 + jx_2) \frac{N_1}{N_2} I_1, \text{ onde } I_p \text{ é desprezada.}$$

Se I_p já é pequena em relação a I_1 nominal, será menor ainda com \dot{V}_1 reduzido no ensaio de curto.

Dai, obtém-se R_c e X_m .

Em ambos os ensaios deve-se usar as relações de potência:

$$\frac{\dot{E}_1^2}{R_c} = P_C \text{ ou } \alpha_1^2 I_1^2 + \alpha_2^2 \bar{I}_2^2 = P_C //$$