A "regra empírica" é impor uma carga secundária de 50% da carga especificada pela classe de precisão, isso corresponde a operar próximo ao joelho da curva. Esta regra mitiga os efeitos de saturação por AC. Para correntes assimétricas (com componente aperiódica exponencial) provavelmente a saturação irá ocorrer, deve-se, portanto, trabalhar com carga ainda menor.

c) Critérios usados para mitigar saturação por DC

c.1) Trabalhar com uma tensão secundária igual à meta de da tensão de joelho.

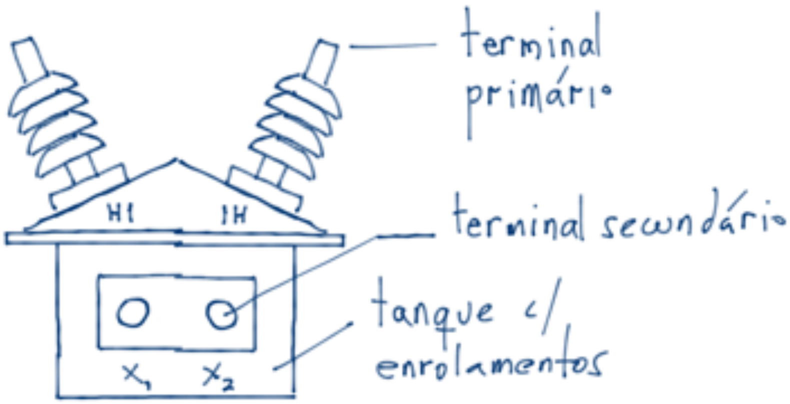
c.2) Limitar a tensão secundária em $V_{sec} \leq \dfrac{V_{SEC}^{CLASSE}}{1 + \underbrace{X/R}_{\text{do eq. de Thévenin}}}$, mas nem sempre é viável

2.2 Transformadores de potencial

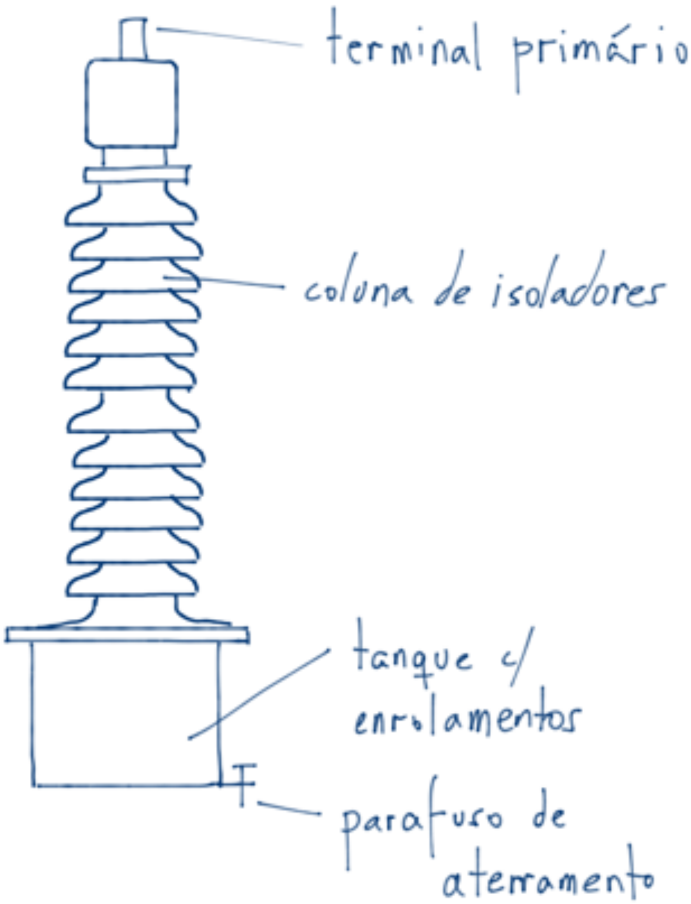
Há dois tipos de transformadores de potencial utilizados em proteção e automação de sistemas elétricos: indutivos e capacitivos.

2.2.1) Transformadores de potencial do tipo indutivo.

É um transformador convencional, com núcleo de material ferromagnético e enrolamentos (c/ TAP secundário, tipicamente). São utilizados em níveis de tensão de até 145 [kV]. Esses transformadores têm dois tipos: Tipo 1 (p/ ligação entre fases); e Tipo 2 (p/ ligação em sis temas solidamente aterrados.



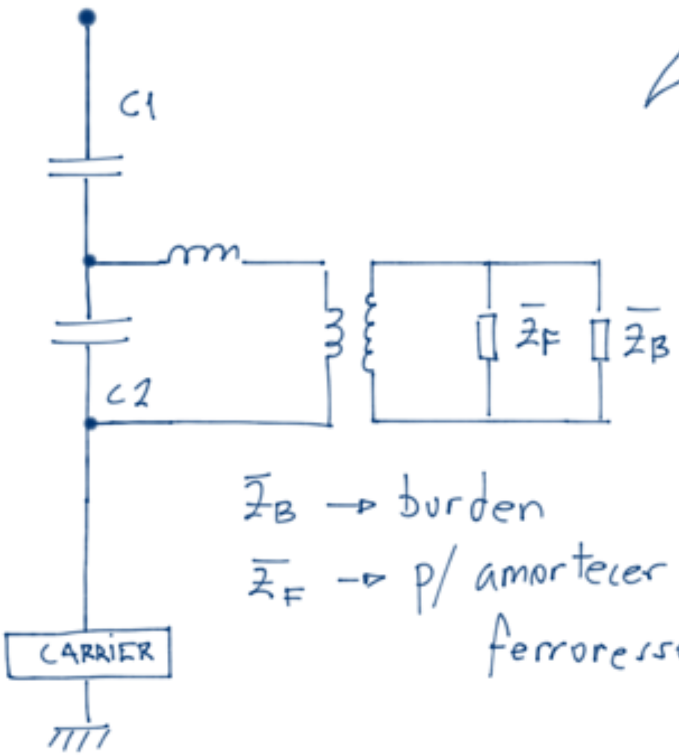
Tipo 1



Tipo 2

2.3.1) Transformador de potencial do tipo capacitivo

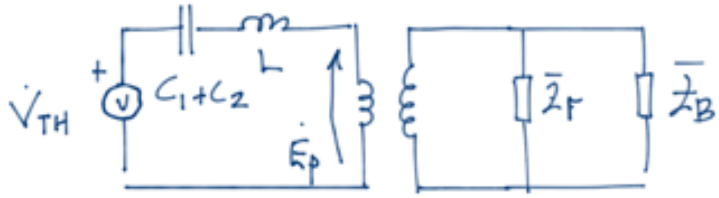
O arranjo desse tipo é:



$\bar{Z}_B \rightarrow$ burden

$\bar{Z}_F \rightarrow$ p/ amortecer ferroressonância

O circuito equivalente fica:



Onde $\dot{V}_{TH} = V_P \cdot \dfrac{C_1}{C_1+C_2}$

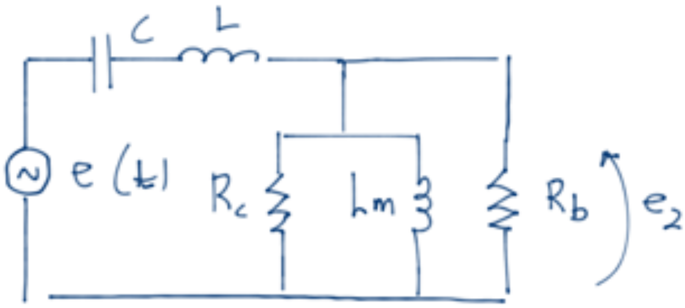
Logo: $E_p = \dot{V}_{TH} - j\left(\omega L - \dfrac{1}{\omega(C_1+C_2)}\right)$

Em regime permanente as capacitâncias do TPC podem produzir erros de leitura, que devem ser compensados pelo indutor. Para tanto, deve-se sintonizá-lo com os capacitores C_1 e C_2, de modo a produzir ressonância. Para tanto:

$$\omega L = \frac{1}{\omega(C_1+C_2)} \longrightarrow L = \frac{1}{\omega^2} \cdot \frac{1}{C_1+C_2}$$

Um TP capacitivo bem sintonizado não deve produzir erro de regime, no entanto, devido ao circuito de sintonia, há variação significativa da tensão no secundário do TP em relação à tensão no primário quando há curto-circuito.

Para simplificar o modelo e permitir uma análise mais simples considera-se $\bar{Z}_B = R_B$, despreza-se a indutância de magnet. (permanece linear durante o curto-circuito) e a impedância de amortecimento para ferroressonância. Nesse caso, o circuito fica:

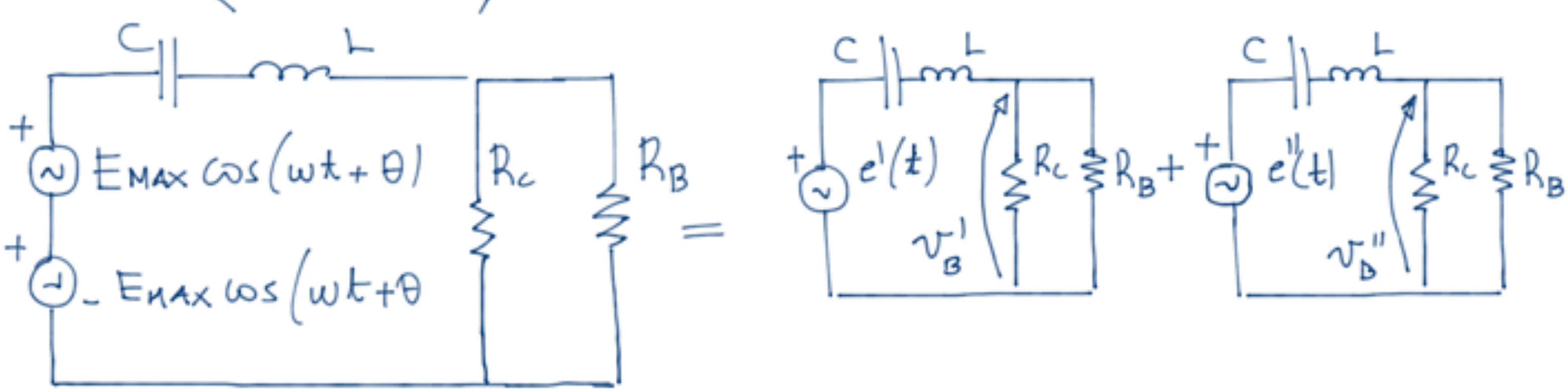


Cenário → curto-circuito muito próximo ao TPC, portanto:

$$\begin{cases} e(t) = E_{MAX} \cdot \cos(\omega t + \theta), & \text{para } t < 0 \\ \quad\;\; = 0, & \text{para } t > 0 \end{cases}$$

Dado que L e C estão sintonizados, a tensão sobre a resistência de burden é exatamente a mesma, até $t = 0_-$. Pelo princípio da superposição, pode-se determinar a resposta do sistema.

$$\begin{cases} e''(t) = -E_{MAX} \cos(\omega t + \theta), & t \geqslant 0 \\ \quad\;\; = 0, & t < 0 \end{cases}$$



$(t > 0)$

✓ $v_B'(t) = E_{MAX}\cos(\omega t+\theta)$

✓ $v_B''(t) = ?$

A transformada de Laplace de $e''(t)$ é:

$$\mathcal{L}\{e''(t)\} = E''(s) = -E_{MAX}\cos\theta \cdot \frac{s-\omega\,tg\theta}{s^2+\omega^2} \quad (1)$$

Logo $V_B''(s) = E''(s) \cdot \dfrac{R_B // R_C}{R_B // R_C + sL + \frac{1}{sC}}$, fazendo $R_B // R_C = R$

$$V_B''(s) = E''(s) \cdot \frac{R}{L} \cdot \frac{s}{s^2 + s \cdot R/L + 1/LC} \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2) e fazendo a transformada inversa

$$v_B''(t) = -E_{MAX}\left\{\cos(\omega t+\theta) - \left[\cos\theta\sqrt{1+(\cot\varphi + \operatorname{cosec}\varphi\, tg\theta)^2}\right] \times e^{-\omega t\cos\varphi} \cdot \operatorname{sen}(\omega t \operatorname{sen}\varphi + \psi)\right\}$$

Onde: $\psi = tg^{-1}\left\{\dfrac{-\operatorname{sen}\varphi}{\cos\varphi + tg\theta}\right\}$

$\sec\varphi = 2\omega\tau$

$\tau = \dfrac{L(R_C+R_B)}{R_C R_B}$

Sendo assim: $v_B(t) = v_B'(t) + v_B''(t)$

$$v_B(t) = \cos\theta\sqrt{1+(\cot\varphi + \operatorname{cosec}\varphi\, tg\theta)^2}\cdot e^{-\omega t\cos\varphi}\cdot \operatorname{sen}(\omega t \operatorname{sen}\varphi + \psi)$$

2.3.2) Classes de exatidão para TC

0,3 $\longrightarrow$ medição de energia para faturamento;

0,6 $\longrightarrow$ proteção e medição (sem faturamento); e

1,2 $\longrightarrow$ medição indicativa de tensão.