

ای نام تو بهترین سر آغاز





حفاظت و رله نرانس فورمانورها جریان

مدرس: نبی اله رضانی

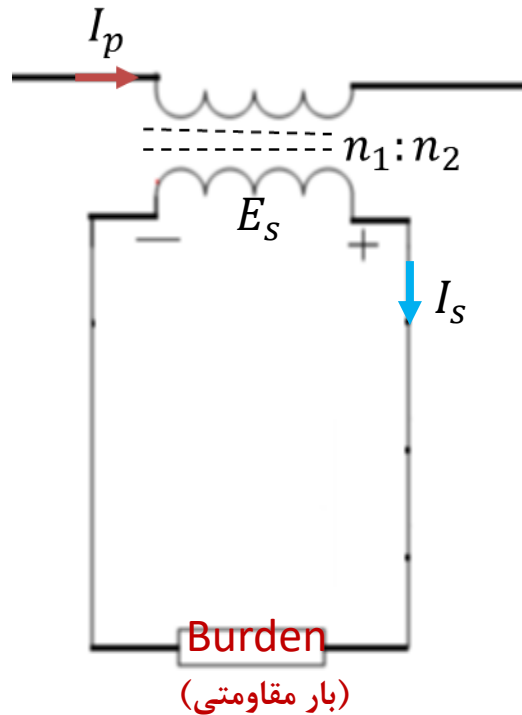




✓ بررسی عملکرد حالت گذرای CT ها

❖ عملکرد در برابر جریان خطا با مولفه DC

فرضیات: دامنه مولفه DC جریان اتصال کوتاه ۱۰۰٪ است. هسته ایده آل است. شار پسماند صفر است.



$$i_f(t) = i_m \left(\sin(\omega t + \alpha - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{\frac{-t}{\tau_p}} \right)$$

$$\Rightarrow i_f(t) = i_m \left(\cos \omega t - e^{\frac{-t}{\tau_p}} \right) = I_p$$

DC offset=100%

$$\alpha - \theta = \frac{\pi}{2}$$

$$\tau_p = \frac{L_p}{R_p}$$

$$\Rightarrow I_s(t) = -\frac{n_1}{n_2} i_m \left(\cos \omega t - e^{\frac{-t}{\tau_p}} \right)$$

نکته: بدترین حالت، حالتی است که دامنه مولفه DC جریان اتصال کوتاه ۱۰۰٪ و بردن مقاومتی (?) باشد.

$$E_s(t) = R_s i_s(t) \quad \text{و} \quad \varphi(t) = -\frac{1}{n_2} \int_0^t E_s dt + \varphi(t=0)$$

$$\Rightarrow \varphi(t) = i_m \underbrace{\frac{n_1 R}{n_2 \omega}}_{I_m} \left[\underbrace{\sin \omega t}_{\text{بخش AC}} + \underbrace{\omega \tau_p \left(e^{\frac{-t}{\tau_p}} - 1 \right)}_{\text{بخش DC}} \right]$$



• شرط عدم اشباع هسته CT

$$\varphi_{max} \leq \varphi_{sat}$$

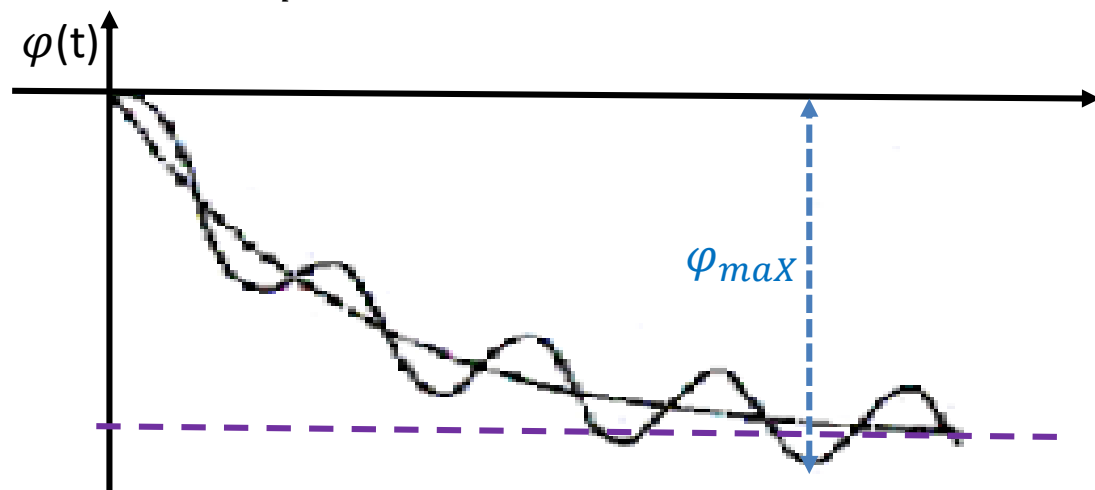
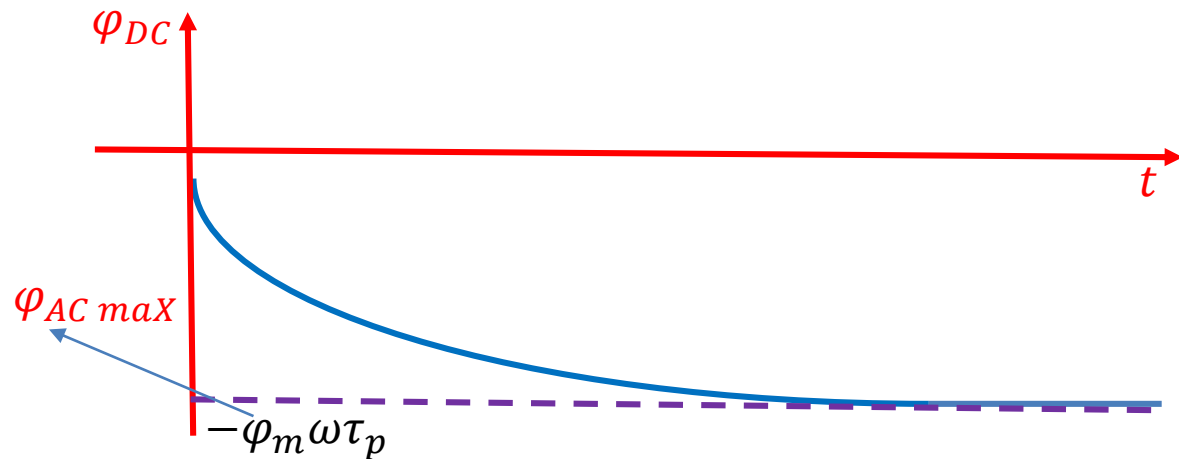
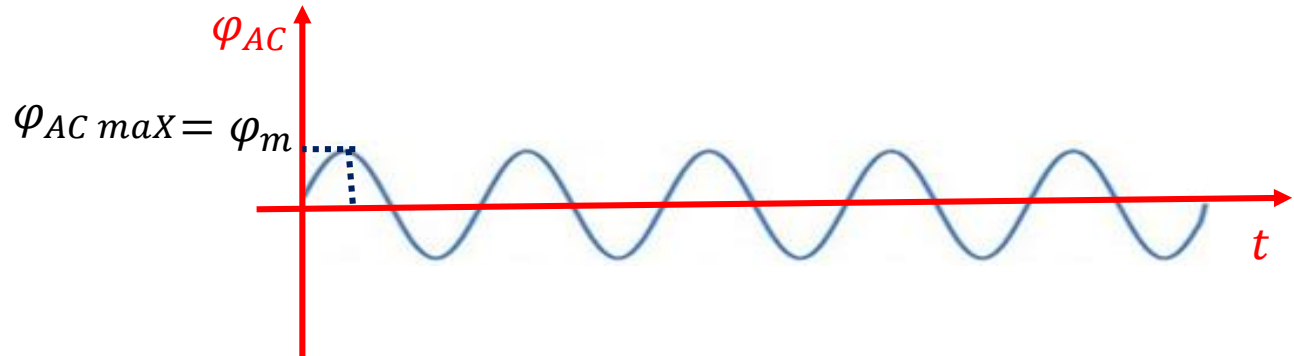
$$\begin{aligned}\varphi_{max} &= \varphi_{Ac max} + \varphi_{Dc max} \\ &= \varphi_{Ac max} + \omega \tau_p \varphi_{Ac max}\end{aligned}$$

$$\Rightarrow \varphi_{max} = \varphi_{Ac max} (1 + \omega \tau_p)$$

$$\begin{aligned}\Rightarrow \varphi_{max} &= \varphi_{Ac max} \left(1 + \omega \frac{L_p}{R_p} \right) \\ &= \varphi_{Ac max} \left(1 + \frac{X_p}{R_p} \right)\end{aligned}$$

ضریب بزرگی هسته $k \triangleq \frac{\varphi_{max}}{\varphi_{Ac max}} = 1 + \frac{X_p}{R_p}$

$$= 1 + \frac{\varphi_{Dc max}}{\varphi_{Ac max}}$$





✓ بررسی عملکرد حالت گذرای CT ها

• مقادیر عملی برای τ_p

$$12ms < \tau_p < 32ms$$

$$\tau_p = 300ms$$

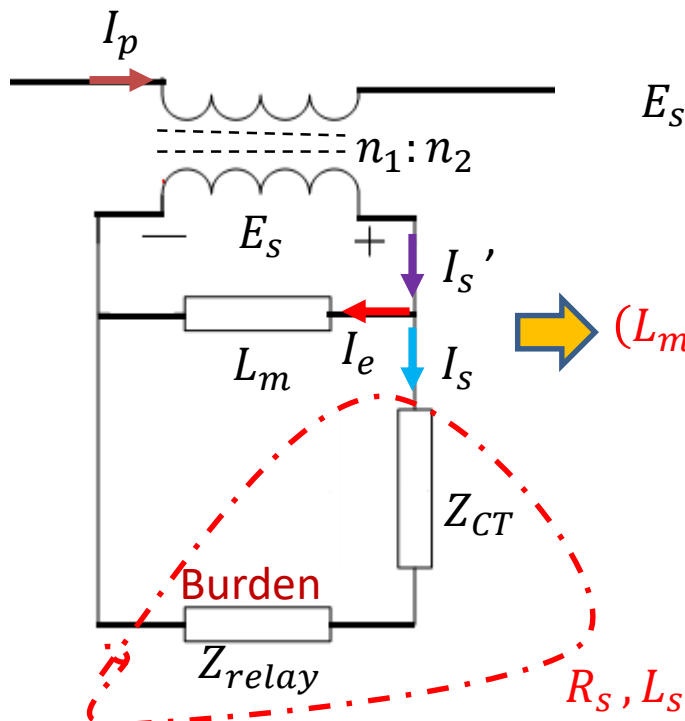
$$70ms < \tau_p < 100ms$$

- در خطوط فشار قوی

- نزدیک ژنراتورهای بزرگ

- بطور عمومی در شبکه های قدرت

• ترانسفورماتور جریان واقعی



$$E_s = L_m \frac{dI_e}{dt} = R_s(I_s' - I_e) + L_s \frac{d}{dt}(I_s' - I_e)$$


$$(L_m + L_s) \frac{dI_e}{dt} + R_s I_e = R_s I_s' + L_s \frac{d}{dt} I_s'$$

$$I_s'(t) = -\frac{n_1}{n_2} i_m (\cos \omega t - e^{-\frac{t}{\tau_p}})$$


با توجه به اینکه:

$$L_m I_e = -n_2 \phi$$






$$\frac{n_2}{L_m} \left[(L_m + L_s) \frac{d\varphi}{dt} + R_s \varphi \right] = - \left(R_s I'_s + L_s \frac{d}{dt} I'_s \right)$$
 معادله دیفرانسیل
مرتبه اول خطی




$$\varphi(t) = \frac{n_1 i_m}{n_2^2} L_m \left[\frac{\tau_p - \frac{L_s}{L_m} \tau_s}{\tau_p - \tau_s} \left(e^{-\frac{t}{\tau_p}} - e^{-\frac{t}{\tau_s}} \right) + \frac{L_s}{L_m} e^{-\frac{t}{\tau_s}} - \left(\frac{1}{\omega \tau_s} \sin \omega t + \frac{L_s}{L_m} \cos \omega t \right) \right]$$

$$\tau_s = \frac{L_s + L_m}{R_s} \approx \frac{L_m}{R_s} \quad \text{که:}$$




$$\varphi(t) = \varphi_{AC}(t) + \varphi_{DC}(t)$$

$$\begin{cases} \varphi_{DC}(t) = \frac{n_1 i_m}{n_2^2} L_m \left[\frac{\tau_p - \frac{L_s}{L_m} \tau_s}{\tau_p - \tau_s} \left(e^{-\frac{t}{\tau_p}} - e^{-\frac{t}{\tau_s}} \right) + \frac{L_s}{L_m} e^{-\frac{t}{\tau_s}} \right] \\ \varphi_{AC}(t) = \frac{-n_1 i_m}{n_2^2} L_m \left(\frac{1}{\omega \tau_s} \sin \omega t + \frac{L_s}{L_m} \cos \omega t \right) \end{cases}$$

$$\tan \theta = \frac{\omega L_s}{R_s}$$


$$\varphi_{AC}(t) = \frac{-n_1 i_m}{n_2^2} \frac{R_s}{\omega \cos \theta} \left(\underbrace{\cos \theta}_{\sin \theta} \sin \omega t + \frac{\omega L_s}{R_s} \cos \theta \cos \omega t \right)$$

$$k_{max} = 1 + \frac{\varphi_{DC \max}}{\varphi_{AC \max}}$$



$$\varphi_{AC}(t) = \frac{-n_1 i_m}{n_2^2} \frac{R_s}{\omega \cos \theta} \sin(\omega t + \theta)$$

$$\varphi_{AC}(t) = \frac{-n_1 i_m}{n_2^2} \frac{R_s}{\omega} \sin(\omega t)$$

$$\theta = 0, \cos \theta = 1$$

کمترین مقدار به ازای بار اهمی

$$\phi_{\max} = \phi_{AC \max} + \phi_{DC \max} = \phi_{AC \max} \left(1 + \frac{\phi_{DC \max}}{\phi_{AC \max}}\right)$$

• شرط عدم اشباع هسته CT

$$\phi_{\max} \leq \phi_{\text{sat}}$$

➤ بحث در خصوص مولفه DC

$$\phi_{DC}(t) = \frac{n_1 i_m}{n_2^2} L_m \left[\frac{\tau_p - \frac{L_s}{L_m} \tau_s}{\tau_p - \tau_s} \left(e^{-\frac{t}{\tau_p}} - e^{-\frac{t}{\tau_s}} \right) + \frac{L_s}{L_m} e^{-\frac{t}{\tau_s}} \right]$$

$\phi_{AC \max}$ $\frac{R_s}{\omega}$ $\omega \tau_s$

• برای کاهش k_{\max}

$$\frac{d}{dt} \phi_{DC}(t) = 0 = \frac{-1}{\tau_p} e^{-\frac{t}{\tau_p}} + \frac{-1}{\tau_s} e^{-\frac{t}{\tau_s}} \Rightarrow t_m = \frac{\tau_p \tau_s}{\tau_p - \tau_s} \ln \frac{\tau_p}{\tau_s}$$

$$\Rightarrow \phi_{DC \max} = \phi_{AC \max} \left[\omega \tau_s \left(\frac{\tau_p}{\tau_s} \right)^{\frac{\tau_s}{\tau_p - \tau_p}} \right]$$



$$\Rightarrow k_{max} = 1 + \frac{\varphi_{DC\ max}}{\varphi_{AC\ max}} = 1 + \omega \tau_s \left(\frac{\tau_p}{\tau_s} \right)^{\frac{\tau_s}{\tau_s - \tau_p}}$$

• بحث در خصوص کاهش k_{max}

نکته: ثابت زمانی شبکه (τ_p) قابل تغییر نیست. پس:

۱.

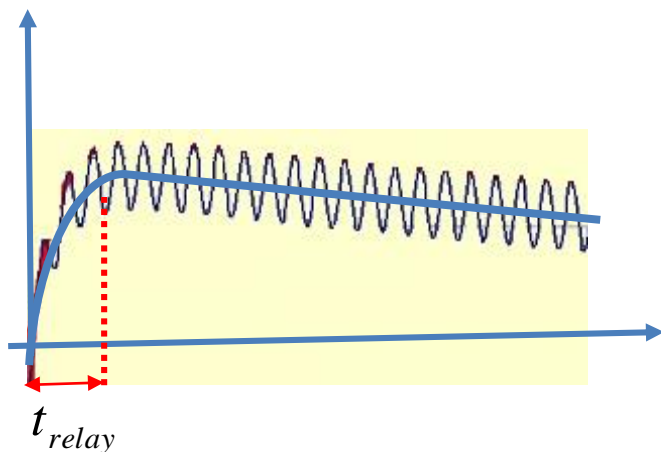
$$\tau_s \downarrow \Rightarrow k_{max} \downarrow$$

$$\tau_s = \frac{L_s + L_m}{R_s} \approx \frac{L_m}{R_s} \Rightarrow$$

هسته با فاصله هوایی که:

- در حالت ماندگار: باعث افزایش خطای CT و
- در حالت گذرا: موجب کاهش ضریب بزرگی می شود.

۲.

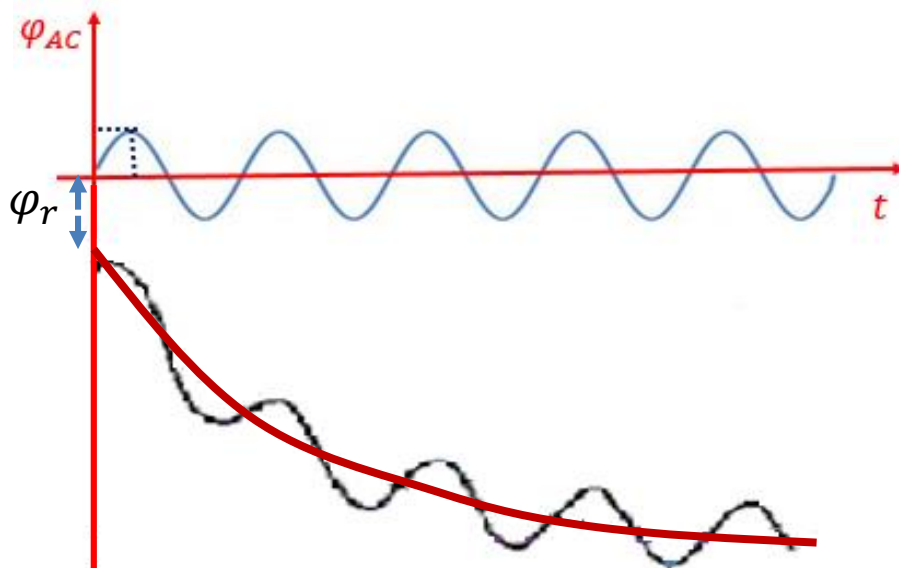


$$k_{max}|_{t=t_{relay}} = 1 + \frac{\varphi_{DC}(t=t_{relay})}{\varphi_{AC\ max}}$$



✓ بررسی عملکرد حالت گذرای CT ها

نکته: ممکن است شار پس ماند صفر نباشد.



$$k_r = \frac{\varphi_{sat}}{\varphi_{sat} - \varphi_r}$$

$$\Rightarrow k = k_r \cdot k_{max}$$

- استاندارد **IEC185** تعریفی از شرایط حاکم بر ترانسفورماتورهای جریان در برابر جریانهای اتصال کوتاه متقارن ارائه می دهد.

- استاندارد **IEC44** تعریفی از شرایط حاکم بر ترانسفورماتورهای جریان در برابر جریانهای اتصال کوتاه نامتقارن ارائه می دهد.

- جریان خطای لحظه ای

$$i_e = \frac{n_2}{n_1} i_s - i_p$$

$$i_e = i_{eAC} + i_{eDC} = \left(\frac{n_2}{n_1} i_{sAC} - i_{pAC} \right) + \left(\frac{n_2}{n_1} i_{sDC} - i_{pDC} \right)$$

مولفه AC جریان
خطای لحظه ای

مولفه DC جریان
خطای لحظه ای

$$\hat{\varepsilon} = \frac{100i_e}{\sqrt{2}I_p}$$

- حداکثر خطای لحظه ای

$$\hat{\varepsilon}_{AC} = \frac{100i_{eAC}}{\sqrt{2}I_p}$$

- حداکثر خطای مولفه AC



تعریف دقت	نوع هسته	کلاس
معرفی دقت بر اساس خطای مرکب و بر حسب جریان اتصال کوتاه متقارن		P
معرفی عملکرد بر اساس نقطه کار یا ولتاژ ثانویه در شرایط حداکثر اتصال کوتاه عبوری و خطای نسبت تبدیل، بدون محدودیت بر شار پس ماند	Low Leakage Flux	TPS
معرفی دقت بر اساس خطای لحظه ای برای مدت زمان خاص، بدون محدودیت در شار پس ماند	Closed Core (هسته بسته)	TPX
معرفی دقت بر اساس خطای لحظه ای برای مدت زمان خاص	Gapped core (هسته با فاصله هوایی - شار پس ماند کم - حداکثر 10% شار پس ماند نسبت به شار اشباع)	TPY
معرفی دقت بر اساس مولفه AC خطای لحظه ای برای حداکثر مولفه DC در جریان اتصال کوتاه و به ازای ثابت زمانی ثانویه مشخص	Linear core (هسته خطی - بدون شار پسماند)	TPZ



با آرزوی سلامتی، بهروزی و موفقیت