



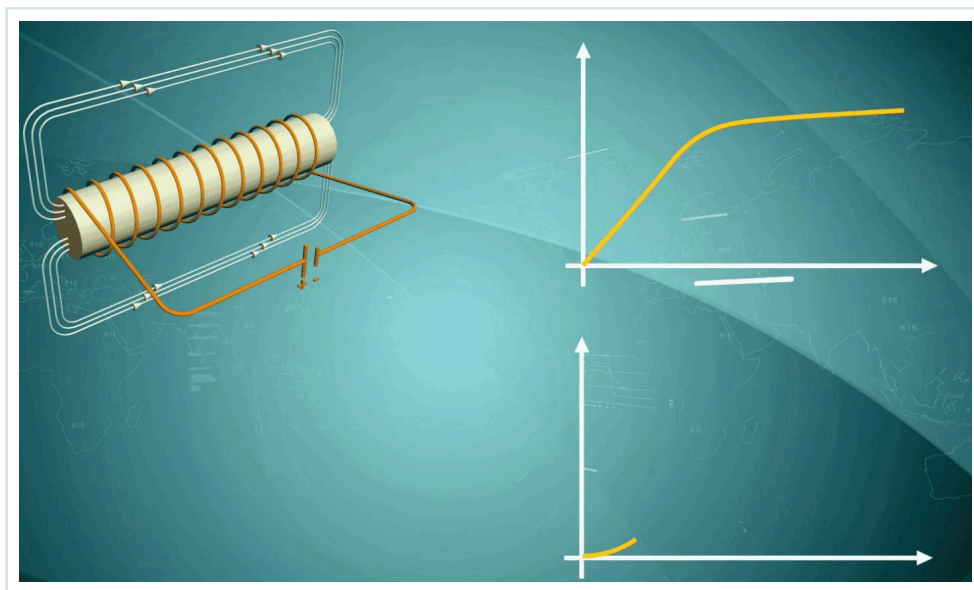
راهنمای آنلاین وبکو

تست اشباع "CT" قسمت 3

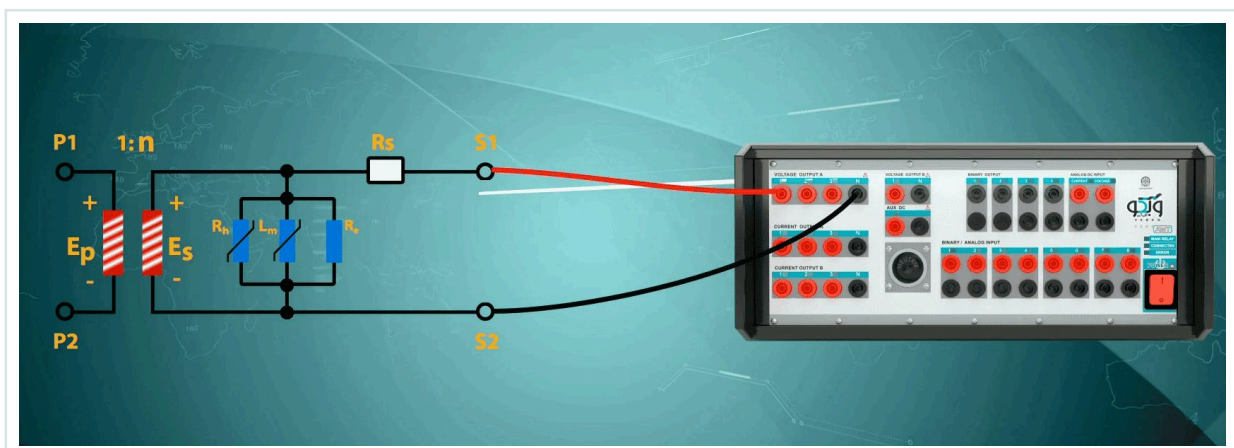
tester	دسته
Current Trasformer	بخش
فارسی	زبان
2026-10-23	تاریخ تولید

پدیده اشباع و رفتار غیرخطی در ترانسفورماتور

همانطور که می‌دانید سلف یک عنصر خطی است اما اگر ولتاژ دو سر آن از یک حدی بیشتر شود سلف اشباع شده و وارد ناحیه غیرخطی می‌شود. منظور از اشباع سلف، اشباع هسته آن است. در واقع با افزایش ولتاژ به بیش از حد آستانه، هسته نمی‌تواند شار بیشتری را عبور دهد و به همین دلیل اشباع شده و سلف غیرخطی می‌شود. اما اگر منحنی اشباع یک "CT" رسم شود می‌بینید که در ولتاژهای پایین هم یک بخش غیرخطی دارد. تا اینجا گفته شد سلف در ولتاژهای بالا به اشباع رفته و غیرخطی می‌شود. برای توضیح ناحیه غیرخطی در ولتاژ پایین، مدار معادل یک "CT" رسم می‌شود. در این مدار معادل، "CT" یک ترانس با نسبت تبدیل "N:1" است. "Rs" نشان‌دهنده مقاومت و شار پراکندگی ثانویه "CT" هستند. در شاخه موازی "R_h" و "R_{eddy}" به ترتیب نشانگر تلفات فوکو و هیستریزیس هسته و "L" هم اندوکتانس مغناطیس‌کنندگی یا سلف ثانویه "CT" است. برای انجام تست اشباع، به ثانویه "CT" ولتاژ داده می‌شود و بررسی می‌شود که چه عنصر غیرخطی وجود دارد که باعث می‌شود "CT" در ولتاژ پایین رفتار غیرخطی نشان دهد.

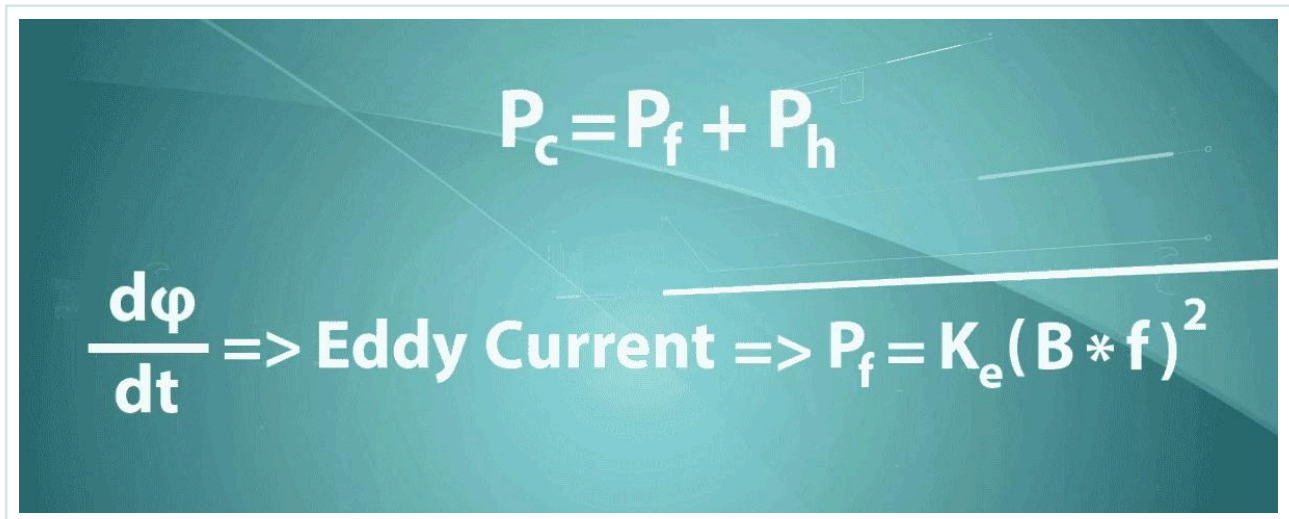


تصویر 1



تصویر 2

همانطور که گفته شد تلفات هسته شامل، تلفات فوکو و تلفات هیستریزیس است. بنابراین برای تحلیل رفتار غیرخطی ترانس باید به بررسی تلفات فوکو و هیستریزیس پرداخت. تلفات فوکو ناشی از تلفات جریان گردابی ("Eddy Current") است که به دلیل وجود شار متغیر با زمان در هسته و القای ولتاژ، در مقطع هسته به وجود می‌آید. از آنجایی که شار مستقیماً به ولتاژ وابسته است، می‌توان گفت که تلفات فوکو ناشی از یک مقاومت خالص است. رابطه تلفات فوکو به صورت تجربی بدست آمده به فرمی است که می‌بینید.

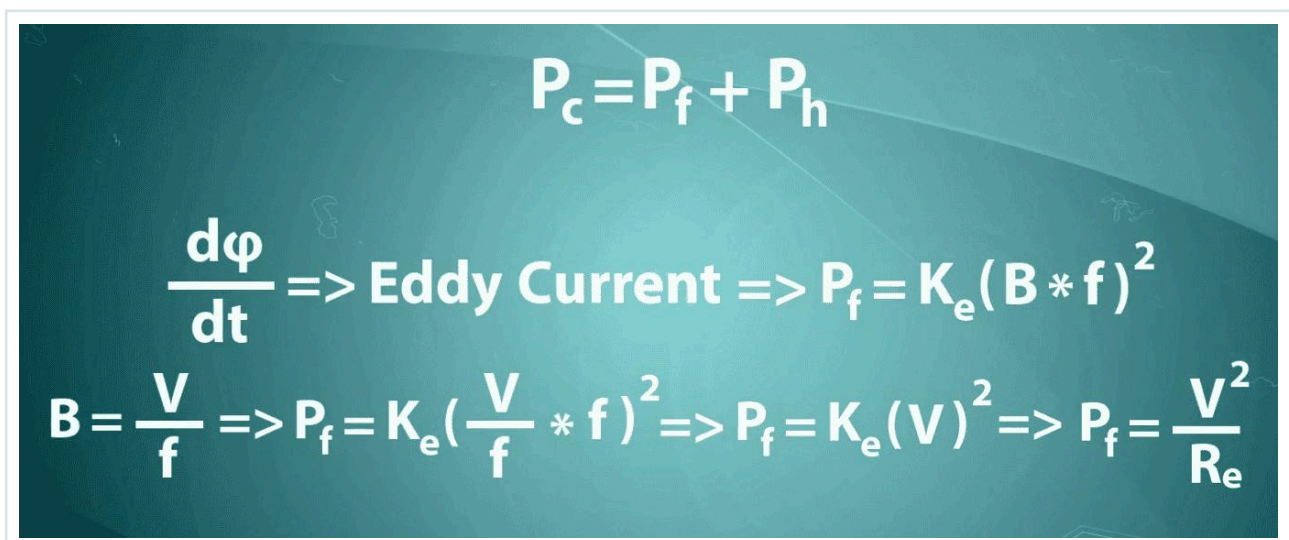


$$P_c = P_f + P_h$$

$$\frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \text{Eddy Current} \Rightarrow P_f = K_e (B * f)^2$$

تصویر 3

$$P_f = K_e (B * f)^2$$

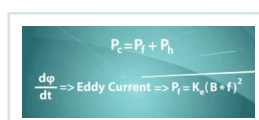


$$P_c = P_f + P_h$$

$$\frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \text{Eddy Current} \Rightarrow P_f = K_e (B * f)^2$$

$$B = \frac{V}{f} \Rightarrow P_f = K_e \left(\frac{V}{f} * f \right)^2 \Rightarrow P_f = K_e (V)^2 \Rightarrow P_f = \frac{V^2}{R_e}$$

تصویر 4



$$P_c = P_f + P_h$$

$$\frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \text{Eddy Current} \Rightarrow P_f = K_e (B * f)^2$$

تصویر 5

در این رابطه "B" چگالی شار است که برابر با "V/f" می‌باشد. با جایگزینی این رابطه، تلفات فوکو به صورت " $P_f = V^2/R_e$ " قابل بازنویسی است.

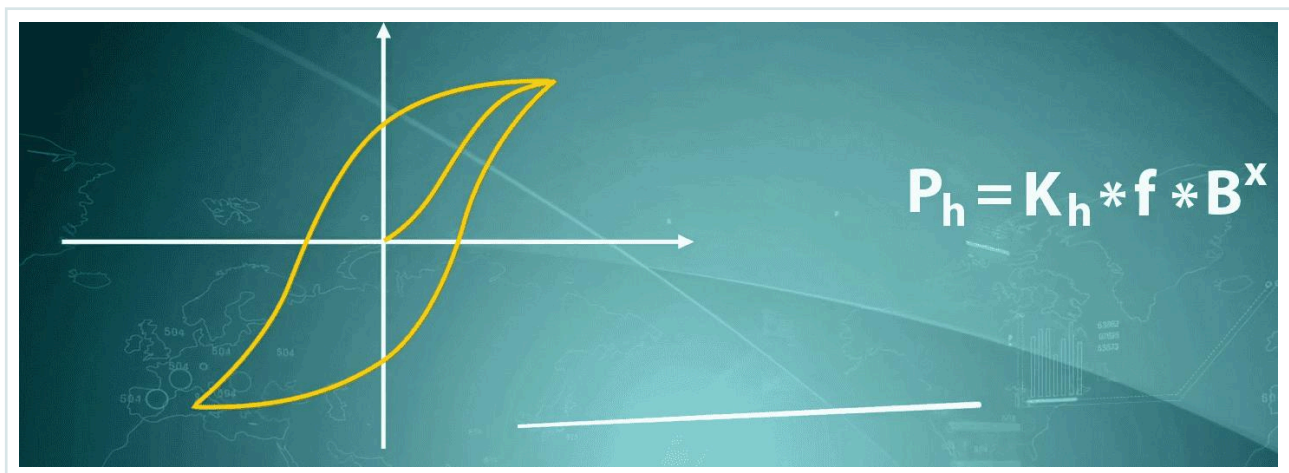
$$P_c = P_f + P_h$$

$$\frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \text{Eddy Current} \Rightarrow P_f = K_e (B * f)^2$$

$$B = \frac{V}{f} \Rightarrow P_f = K_e \left(\frac{V}{f} * f \right)^2 \Rightarrow P_f = K_e (V)^2 \Rightarrow P_f = \frac{V^2}{R_e}$$

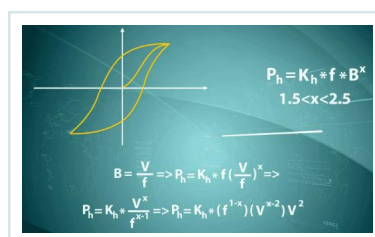
P_f : Linear P_h : None Linear

تصویر 6



تصویر 7

$$B = V/f \Rightarrow P_e = K_e (V/f * f)^2 \Rightarrow P_f = K_e (V^2) \Rightarrow P_e = V^2/R_e$$



تصویر 8

$$P_c = P_f + P_h$$

$$\frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \text{Eddy Current} \Rightarrow P_f = K_e (B * f)^2$$

$$B = \frac{V}{f} \Rightarrow P_f = K_e \left(\frac{V}{f} * f \right)^2 \Rightarrow P_f = K_e (V)^2 \Rightarrow P_f = \frac{V^2}{R_e}$$

تصویر 9

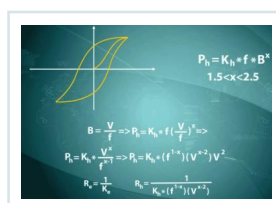
از این رابطه قابل استنباط است که تلفات فوکو ناشی از یک مقاومت ثابتی است که به ولتاژ بستگی ندارد و نمی‌تواند عامل رفتار غیرخطی ترانس در ولتاژ پایین باشد. بنابراین فقط تلفات هیستریزیس می‌تواند عامل رفتار غیرخطی در "CT" باشد. تلفات هیستریزیس در اثر خاصیت پس ماند مغناطیسی در هسته ایجاد می‌شود. به این معنی که عبور شار مغناطیسی از هسته آهنی در یک جهت، باعث می‌شود هسته به مقدار کمی آهن ربا شده و در نتیجه در نیم سیکل بعدی مقداری انرژی برای از بین بردن خاصیت آهن ربایی نیم سیکل قبل تلف می‌شود و این عمل دائماً تکرار می‌شود. رابطه تجربی تلفات هیستریزیس به صورت زیر است:

$$B = \frac{V}{f} \Rightarrow P_h = K_h * f \left(\frac{V}{f} \right)^x \Rightarrow$$

$$P_h = K_h * \frac{V^x}{f^{x-1}} \Rightarrow P_h = K_h * (f^{1-x}) (V^{x-2}) V^2$$

تصویر 10

$$P_h = K_h * f * B^x$$



تصویر 11

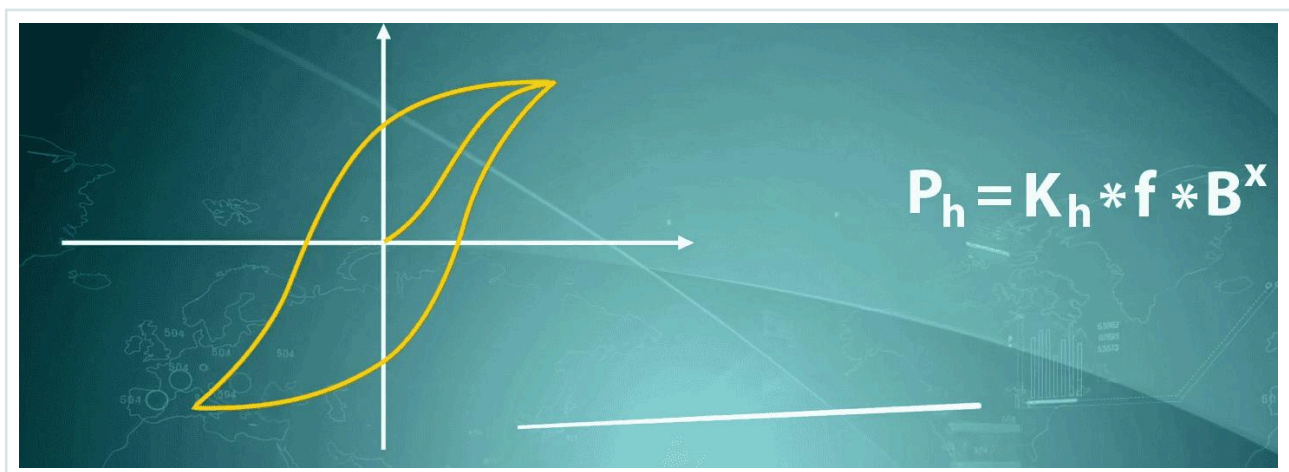
$$P_c = P_f + P_h$$

$$\frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \text{Eddy Current} \Rightarrow P_f = K_e (B * f)^2$$

$$B = \frac{V}{f} \Rightarrow P_f = K_e \left(\frac{V}{f} * f \right)^2 \Rightarrow P_f = K_e (V)^2 \Rightarrow P_f = \frac{V^2}{R_e}$$

P_f : Linear P_h : None Linear

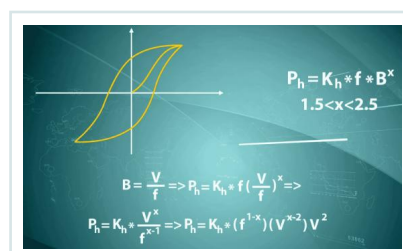
تصویر 12



تصویر 13

مقدار "x" وابسته به جنس هسته است و بین 1.5 تا 2.5 قابل تغییر است. همچنین در این رابطه "B" چگالی شار است که برابر با "V/f" می باشد و با جایگزینی آن، تلفات هیستریزیس به صورتی که می بینید، قابل بازنویسی است.

$$P_h = K_h * V^x / f^{x-1} \Rightarrow B = V/f \Rightarrow P_h = K_h * f * (V/f)^x \Rightarrow P_h = K_h * V^x / f^{x-1} \Rightarrow P_h = K_h * (f^{1-x}) * (V^{x-2}) * V^2$$



تصویر 14

همانطور که از رابطه به دست آمده پیداست مقاومت هیستریزیس غیرخطی و وابسته به ولتاژ دو سر آن است.

$$R_e = 1/K_e$$

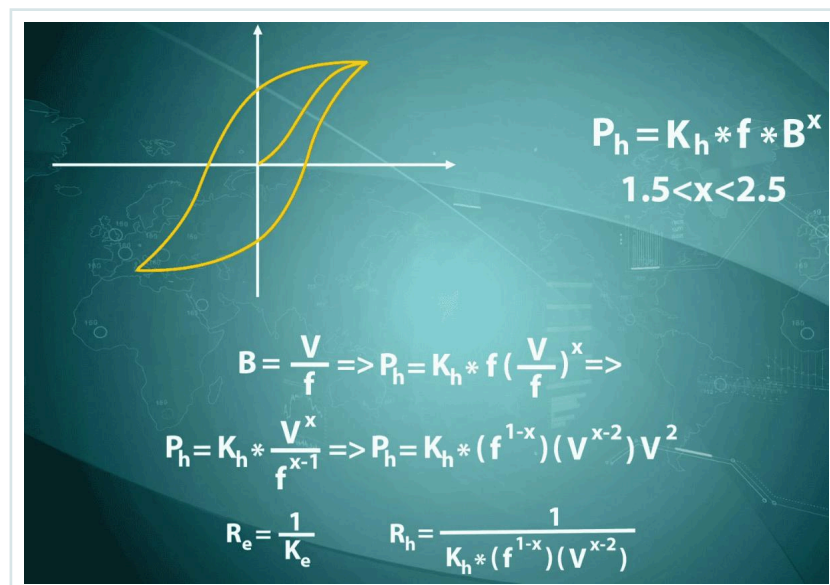
$$R_h = 1 / (K_h * f^{1-x} * V^{x-2})$$

$$B = \frac{V}{f} \Rightarrow P_h = K_h * f \left(\frac{V}{f} \right)^x \Rightarrow$$

$$P_h = K_h * \frac{V^x}{f^{x-1}} \Rightarrow P_h = K_h * (f^{1-x}) (V^{x-2}) V^2$$

تصویر 15

تاثیر این مقاومت در مقاومت معادل کل "CT" در ولتاژهای پایین قابل توجه است، اما از یک ولتاژی به بالاتر، تاثیر این مقاومت کاهش یافته و باعث می شود رابطه جریان و ولتاژ "CT" به حالت خطی نزدیک شود. همین عامل باعث می شود در یک محدوده ای از ولتاژهای کم رابطه بین ولتاژ و جریان غیرخطی باشد.



تصویر 16

CT_Excitation_Test_Part3[V1]