

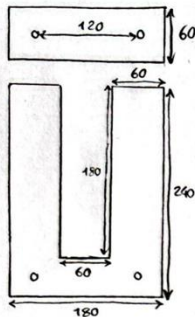


UNIVERSITY OF
TEHRAN

Electrical machines
Final project
Spring 2024

Helia zolghadr 810101427
Amir Shahang 810101448

برای طراحی ترانسفورماتور تک فاز 230V / 40V ، گام اول تعیین مشخصات سیم پیچ اولیه و ثانویه است. با توجه به توضیحات صورت پروژه نیاز به محاسبه طول متوسط هسته داریم. برای این کار به صورت زیر عمل می کنیم:



$$L_{\text{داخل}} = 2 \times (60 + 180) = 480 \text{ mm} \quad L_{\text{بیرونی}} = 2 \times (180 + 240) = 960 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow L_m = \frac{L_{\text{داخل}} + L_{\text{بیرونی}}}{2} = \frac{480 + 960}{2} = 720 \text{ mm}$$

طبق محاسبات بالا طول متوسط هسته برابر 720mm می شود.
مشخصات B-H ماده فرومغناطیس هسته به صورت زیر می باشد :

$$B = 1.578 (e^{9.69 \times 10^{-6} H} - e^{-0.00589 H})$$

در مرحله بعد نیاز به محاسبه شار عبوری داریم. برای اینکار طبق زیر عمل می کنیم :

$$B = \mu * H$$

$$\Phi = B * A \Rightarrow \Phi = \mu * H * A$$

برای محاسبه شار نیاز به محاسبه μ و A داریم

برای بدست آوردن مساحت از رابطه $V_{rms} = 4.44 N f A B_{max}$ استفاده می کنیم:

$$V_{max} = N \omega \Phi_{max} \Rightarrow \sqrt{2} V_{rms} = N \times 2\pi f \times A B_{max} \Rightarrow V_{rms} = 4.44 N f A B_{max}$$

$$f = 50 \text{ Hz} \quad V_{rms} = 230 \text{ V} \quad B_{max} = 0.9 \text{ T} \quad N = 345 \quad \text{از کتاب می برد}$$

$$\Rightarrow A = \frac{230}{4.44 \times 50 \times 345 \times 0.9} = 3.33 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{L_m}{\mu A} \quad \mu = \frac{\partial B}{\partial H} = \frac{\partial}{\partial H} (1.578 e^{9.69 \times 10^{-6} H} - 1.578 e^{-0.00589 H})$$

$$\Rightarrow \mu = 1.578 \times 9.69 \times 10^{-6} e^{9.69 \times 10^{-6} H} + 1.578 \times 0.00589 e^{-0.00589 H}$$

$$\Rightarrow \mu = 15.29082 \times 10^{-6} e^{9.69 \times 10^{-6} H} + 0.013555 e^{-0.00589 H}$$

$$mmf = R\varphi = \frac{L_m}{\mu A} \times \varphi = \frac{L_m \times \varphi}{A \times \mu (0.1431e^{6.253\varphi} - 0.1431)}$$

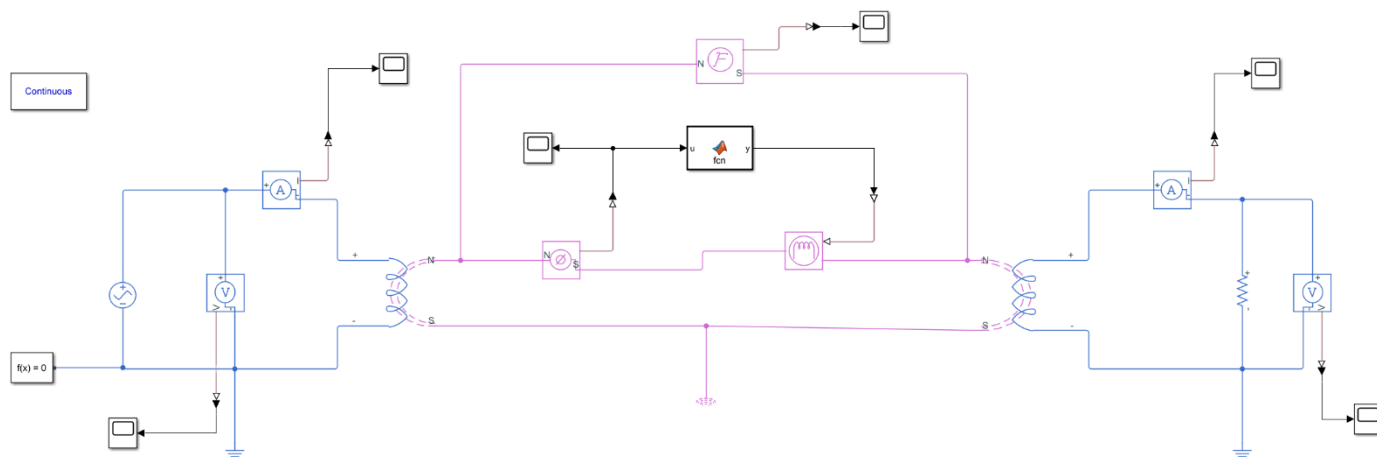
$$\varphi = AB \rightarrow B = \frac{\varphi}{A} *$$

در آخر mmf را محاسبه میکنیم:

با فرض $N_1 = 230$ ، N_2 برابر با 60 دور بدست می آید :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{230}{40} = \frac{345}{N_2} \Rightarrow N_2 = \frac{345 \times 40}{230} = 60$$

حال به شبیه سازی ترانسفورماتور در Simulink میپردازیم :

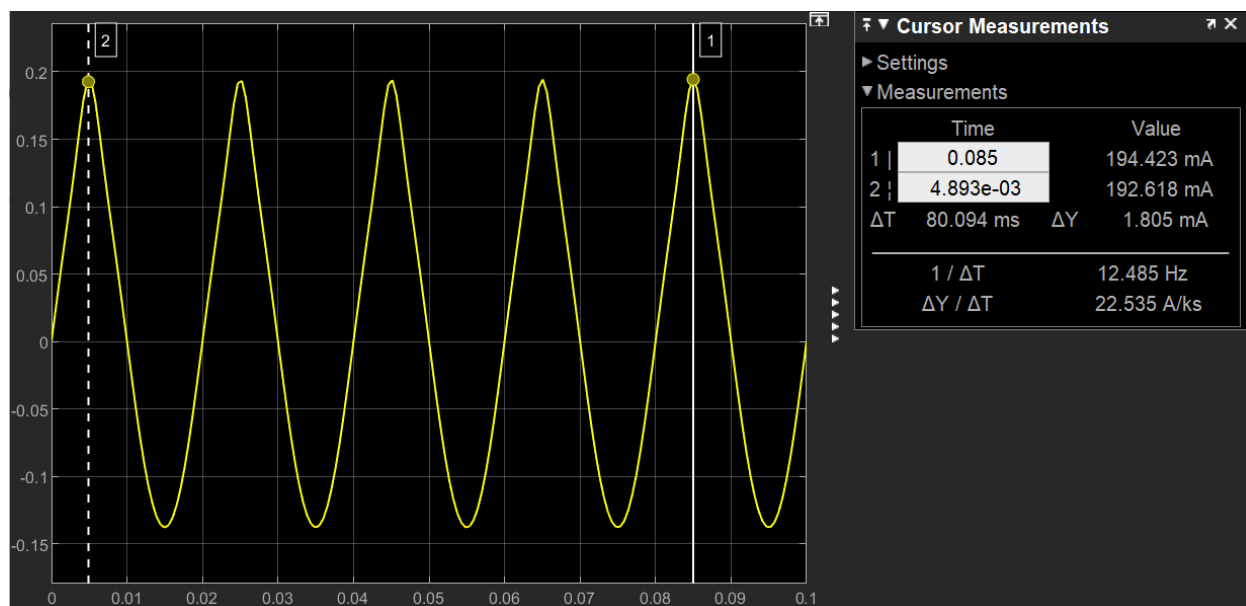


طبق توضیحات صورت پروژه منبع ورودی را به گونه ای تنظیم می کنیم که رلوکتانس منفی به وجود نیاید و مدل ناپایدار نشود.

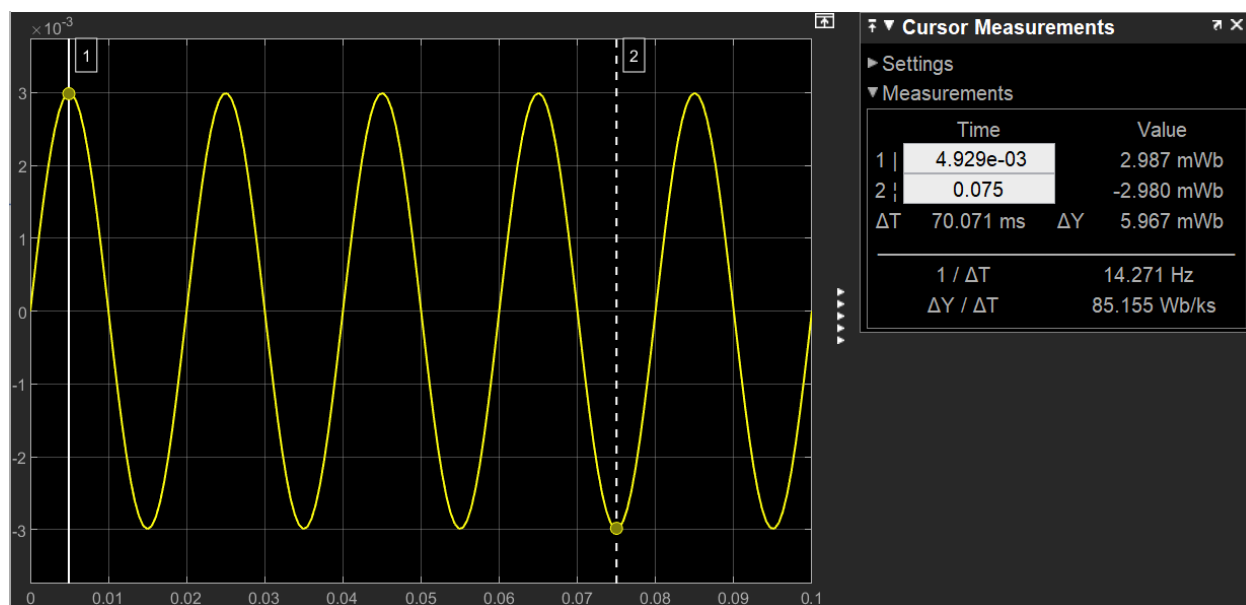
مطالعات و مطالبات :

۲) در حالتی که ترانسفورماتور بی بار است شکل موج شار هسته و همچنین جریان بی باری ترانسفورماتور را گزارش می‌کنیم.

جریان بی باری:



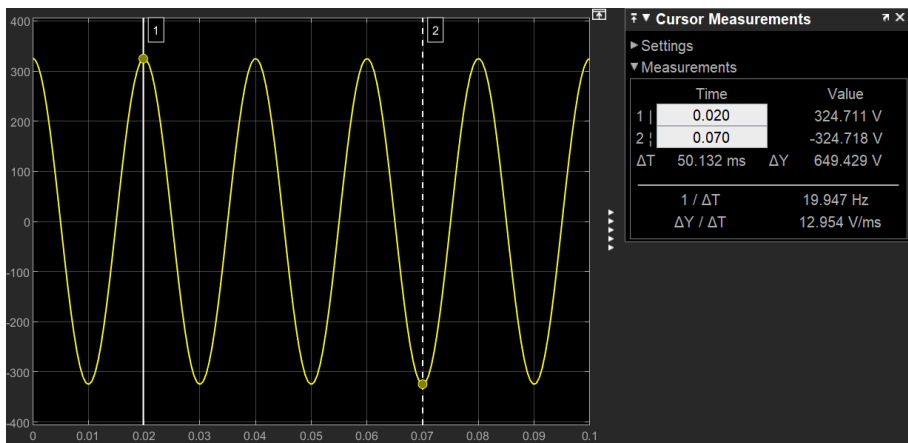
شکل موج شار هسته:



همانطور که از نمودار ها قابل مشاهده است جریان بی‌باری غیر سینوسی و شار سینوسی است.
رابطه شار :

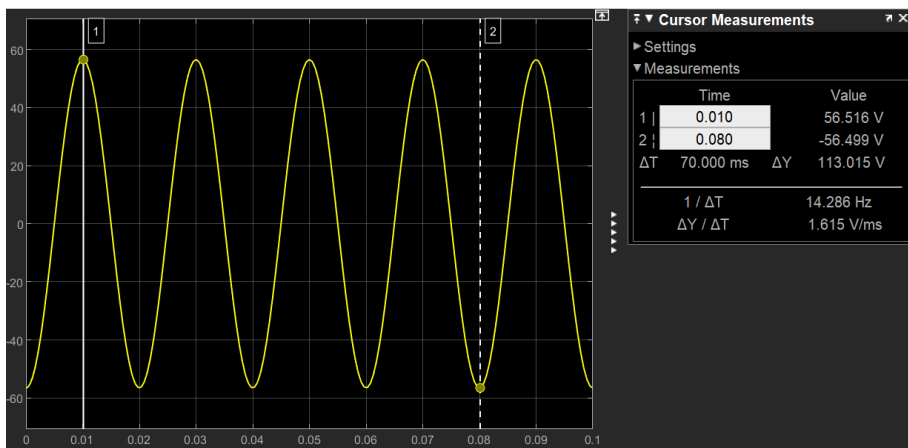
$$V = N \frac{d\phi}{dt}$$

در نتیجه چون ولتاژ ورودی سینوسی باشد انتظار می‌رود شار نیز سینوسی باشد. رابطه ی ϕ و B خطی است پس B هم سینوسی است اما چون مشخصه ی $B-H$ غیر خطی است H سینوسی نمی‌شود. همچنین می‌دانیم رابطه ی H و i خطی است پس متوجه می‌شویم که جریان بی‌باری سینوسی نیست. همچنین به دلیل کوچک بودن μ انتظار داشتیم جریان بی‌باری به سمت صفر میل کند.



(۳)

شکل موج ولتاژ ورودی:



شکل موج ولتاژ خروجی:

$$V_{1-rms} = 324.71/\sqrt{2} \approx 230v \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{324.71}{56.6} \approx 5.75 = \frac{N_1}{N_2}$$

$$V_{2-rms} = 56.50/\sqrt{2} \approx 40v$$

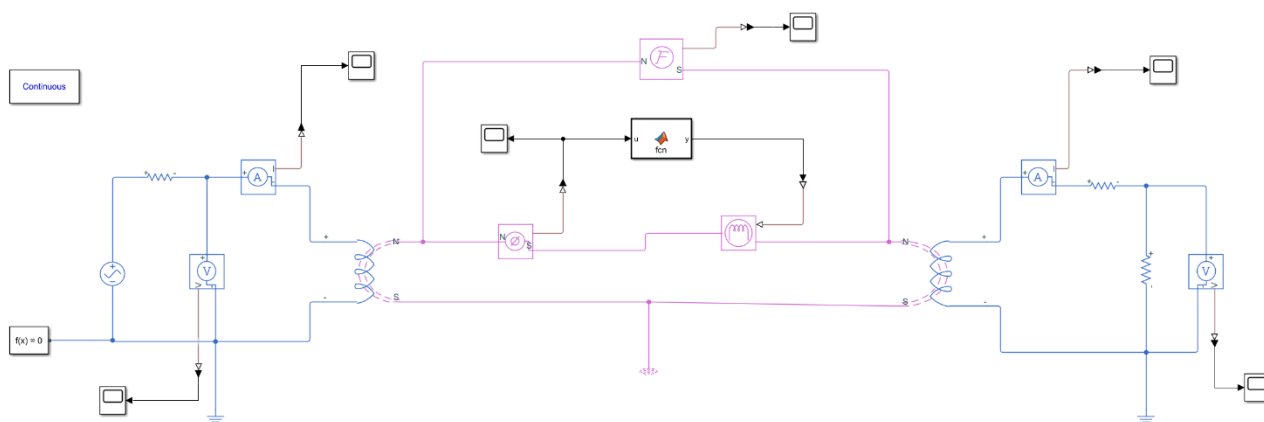
پس نسبت تبدیل رعایت شده است.

(۴) مقدار پیک شار برابر با 2.987mWb است:

$$B_{\max} = \frac{\phi}{A} = \frac{0.002987}{0.00333} = 0.89 \approx 0.9T$$

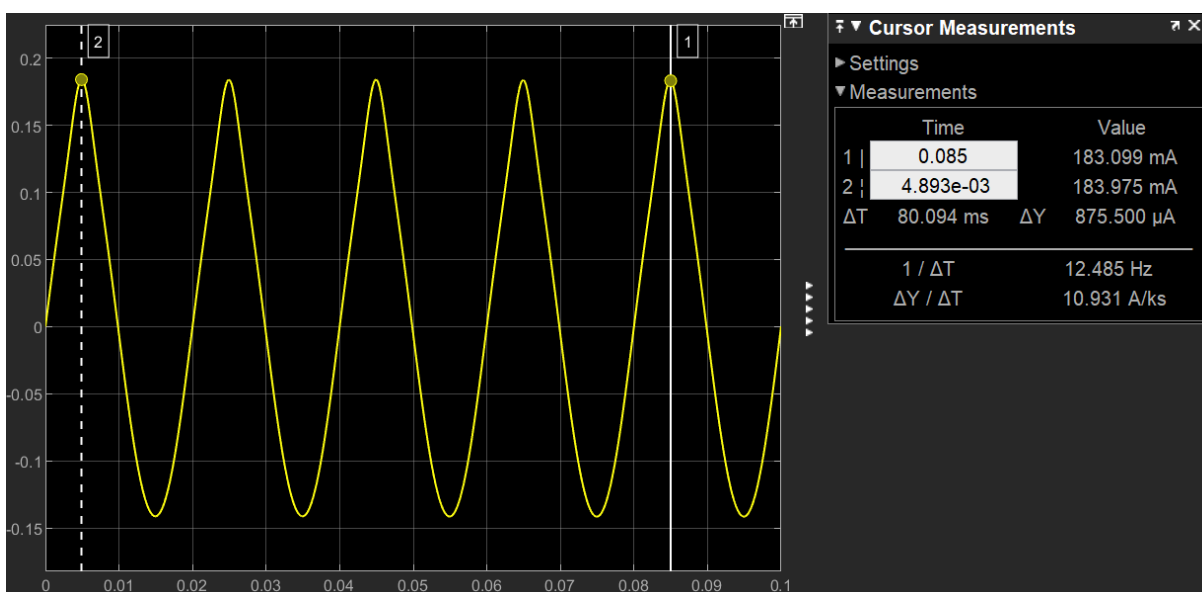
در نتیجه پیک شار با مقدار تئوری آن در طراحی یعنی 0.9T هم‌خوانی دارد.

(۵) با اضافه کردن مقاومت‌ها مدار به شکل زیر می‌شود:

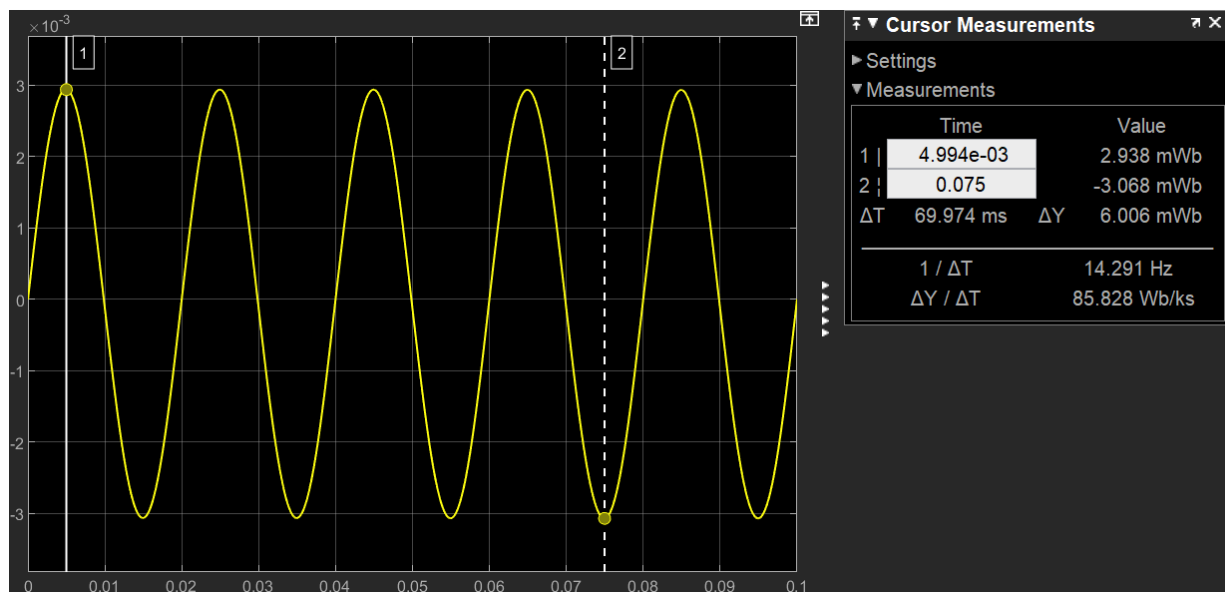


مقاومت ورودی را $10\ \Omega$ و مقاومت خروجی را $0.5\ \Omega$ قرار می‌دهیم و در این حالت نیز جریان و شار هسته را اندازه می‌گیریم:

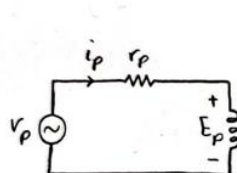
جریان بی‌باری: همچنان غیر سینوسی است.



شار هسته:



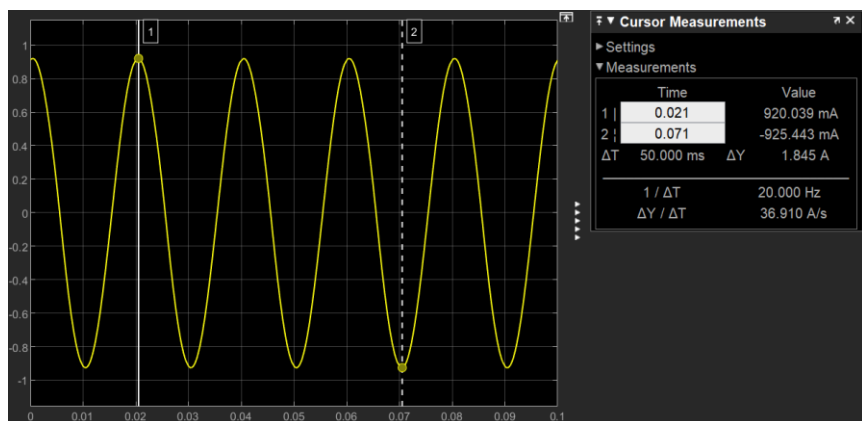
با توجه به اختلافی که در قله های مثبت و منفی وجود دارد متوجه می شویم که شار سینوسی نیست. در حالت اول قبل از قرار دادن مقاومت سیم پیچ اولیه، همه ی ولتاژ منبع دو سر ترانسفورماتور می افتد ولی در حالتی که مقاومت سیم پیچ اولیه در مدار قرار گیرد مقداری افت ولتاژ خواهیم داشت. می دانیم جریان سینوسی نیست و به همین دلیل قسمتی از ولتاژ منبع که کم میشود تا دو سر ترانس بیافتد غیر سینوسی است. پس در صورتی که جریان سینوسی نباشد و ولتاژ سینوسی باشد دیگر شار دیگر سینوسی نخواهد بود.



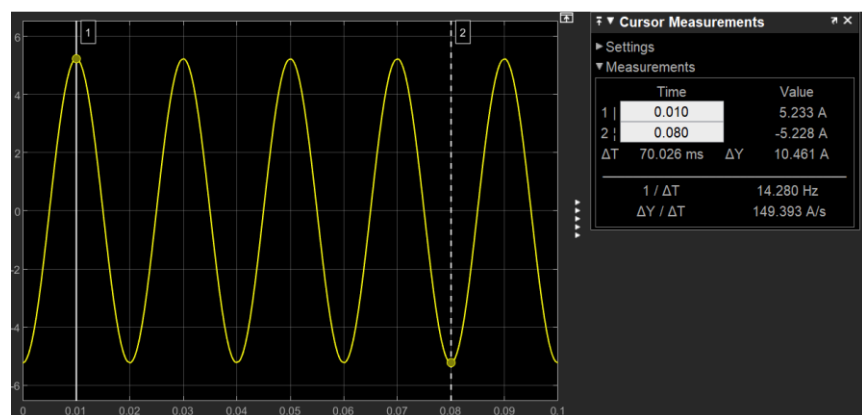
$$\begin{aligned}
 \text{KVL: } v_p &= E_p + r_p i_p \\
 E_p &= N \frac{d\phi}{dt}
 \end{aligned}
 \Rightarrow v_p = r_p i_p + N \frac{d\phi}{dt}$$

\uparrow شار سینوسی هست
 \downarrow شار سینوسی نیست

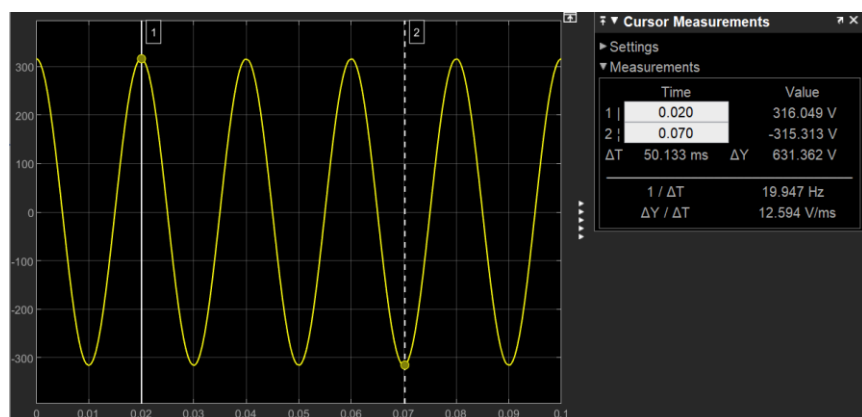
(۶)



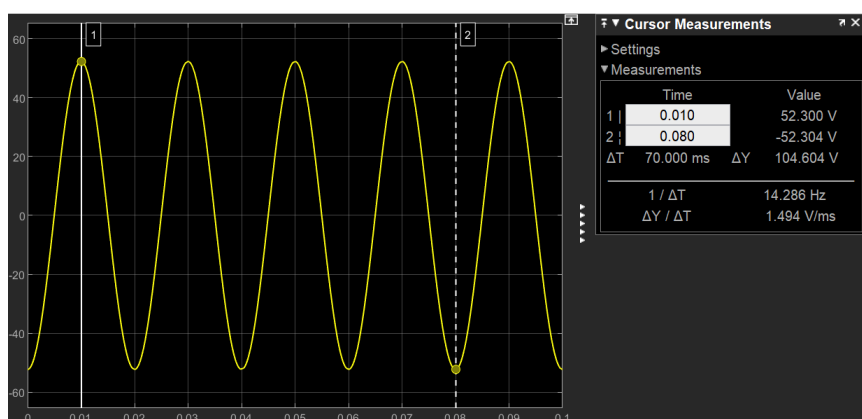
شکل موج جریان ورودی :



شکل موج جریان خروجی :



شکل موج ولتاژ ورودی :



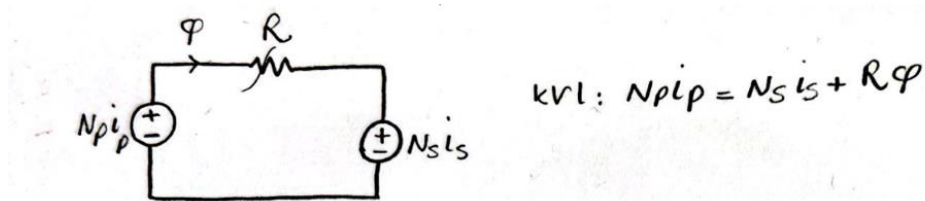
شکل موج ولتاژ خروجی :

$$V_{1\text{-rms}} = 316.05/\sqrt{2} \approx 223.5\text{v}$$

$$V_{2\text{-rms}} = 52.3/\sqrt{2} \approx 37\text{v}$$

شکل موج ولتاژ با تقریب سینوسی هستند.

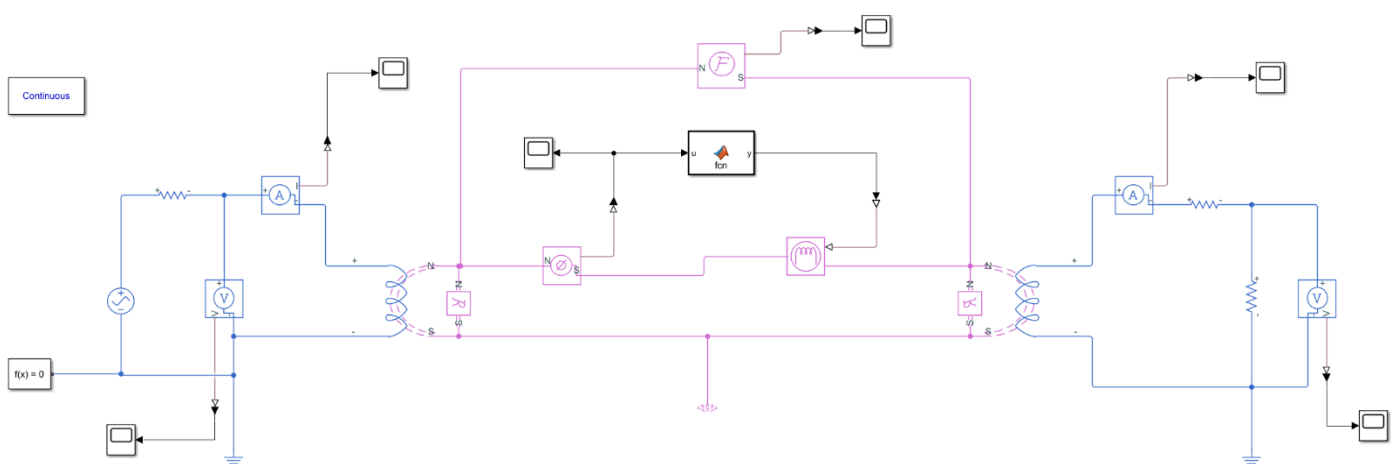
زمانی که در حالت بی باری تحلیل می کردیم جریان primary کم و غیرسینوسی بود (به دلیل مقاومت بالا) ولی زمانی که در حالت بارگذاری تحلیل می کنیم چون μ به دلیل رد شدن B از نقطه زانویی خطی شده و طبق تحلیل هایی که در قبل دیدیم جریان ها سینوسی هستند.

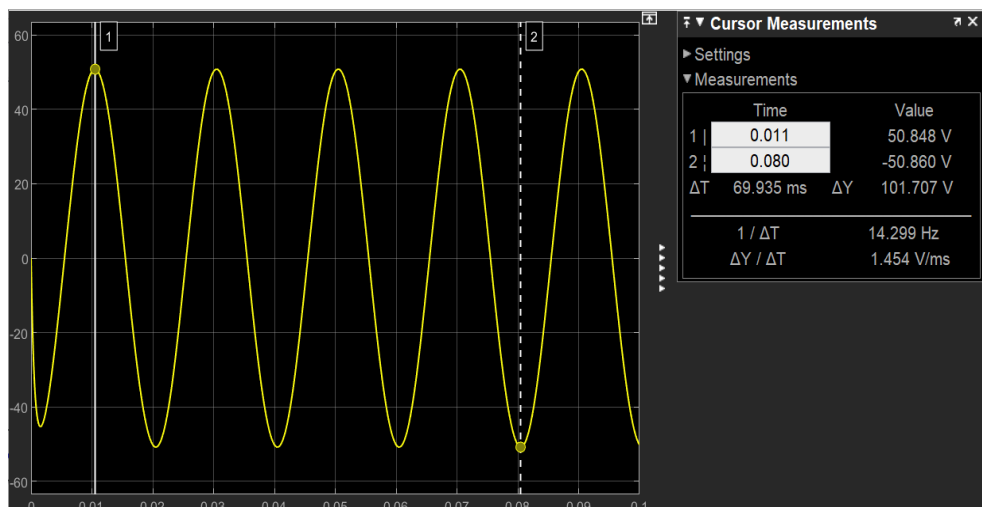


با تقسیم پیک جریان های secondary و primary به یکدیگر و برابر بودن آن با نسبت $\frac{N_1}{N_2}$ به رعایت شدن نسبت تبدیل پی می بریم.

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{5.233}{0.920} \approx 5.75 = \frac{N_1}{N_2}$$

(۷) با اضافه کردن رلوکتانس ها مدار به شکل زیر در می آید:

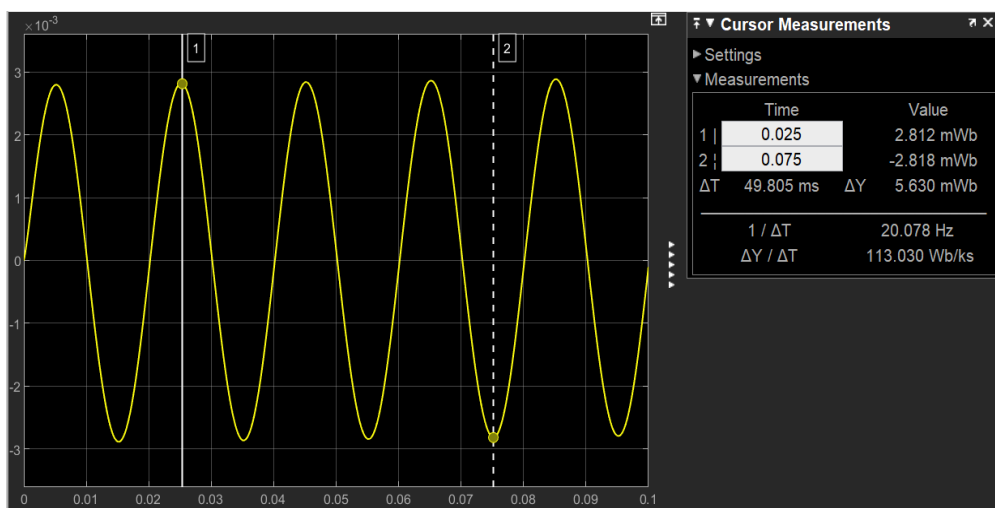




شکل موج ولتاژ خروجی:

$$\Rightarrow V_{2-rms} = 50.85/\sqrt{2} \approx 34v$$

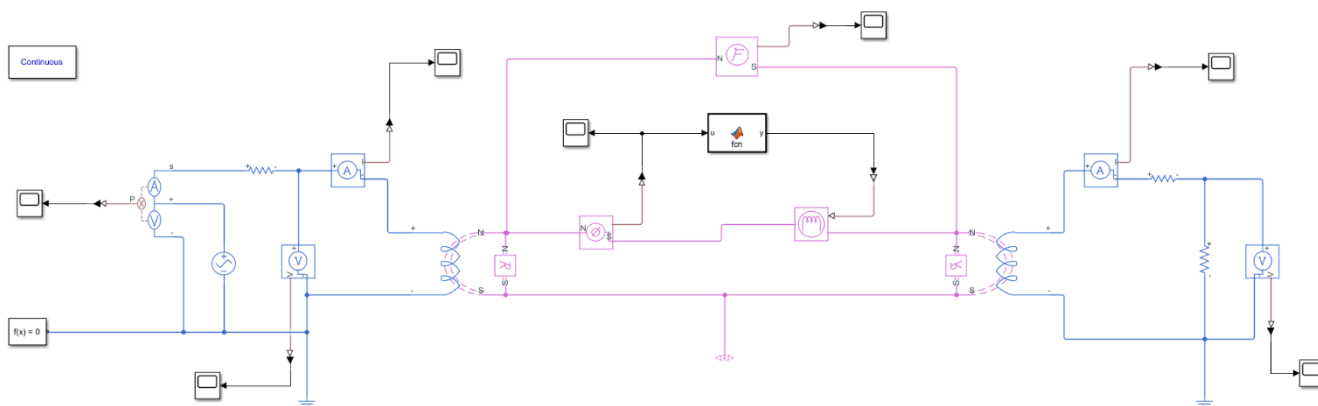
در حالت قبلی مقدار V_{2-rms} برابر با 37v بود و در این حالت کمتر شده است. این اتفاق به دلیل به وجود آمدن شار نشتی ناشی از حضور رلوکتانس ها است که باعث افت ولتاژ و همینطور کاهش مقدار موثر ولتاژ می شود.



شکل موج شار هسته:

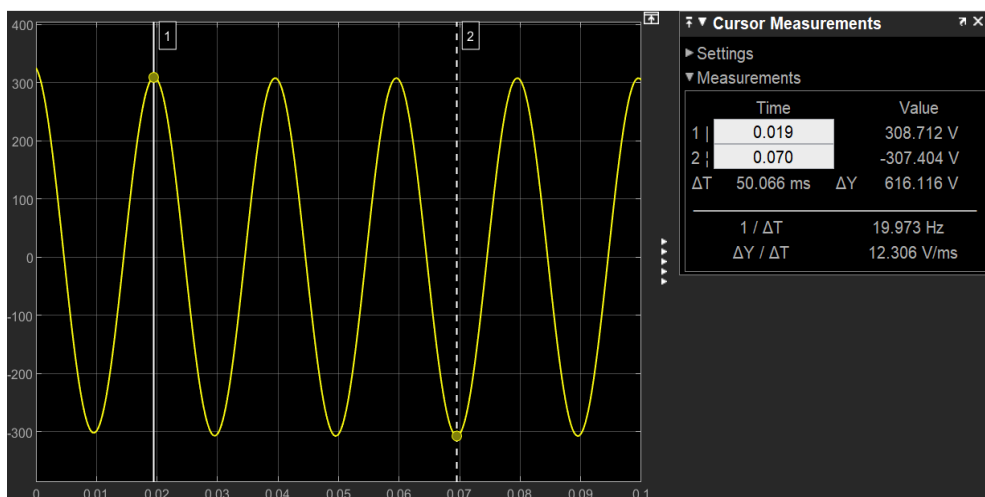
در قسمت قبل پیک شار برابر با 2.94mWb بود و در این قسمت به 2.81mWb می رسد یعنی اندکی کاهش پیدا کرده است. وقتی فاصله هوایی داریم که آن را با اضافه کردن رلوکتانس نمایش دادیم، شار نشتی به وجود می آید و به همین دلیل شار هسته کاهش می یابد.

۸) برای یافتن مقادیر چهار عنصر باید دو آزمایش انجام دهیم: ۱- اتصال کوتاه ۲- مدار باز

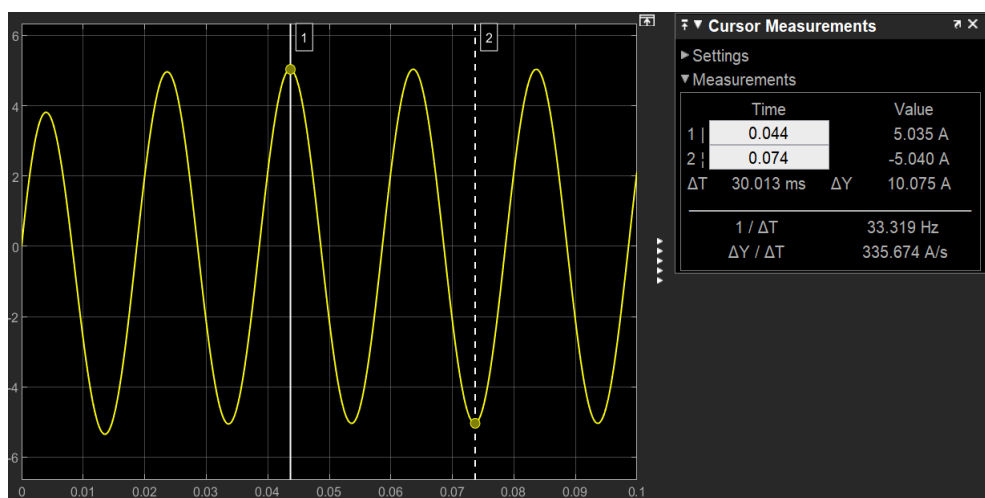


آزمایش اتصال کوتاه:

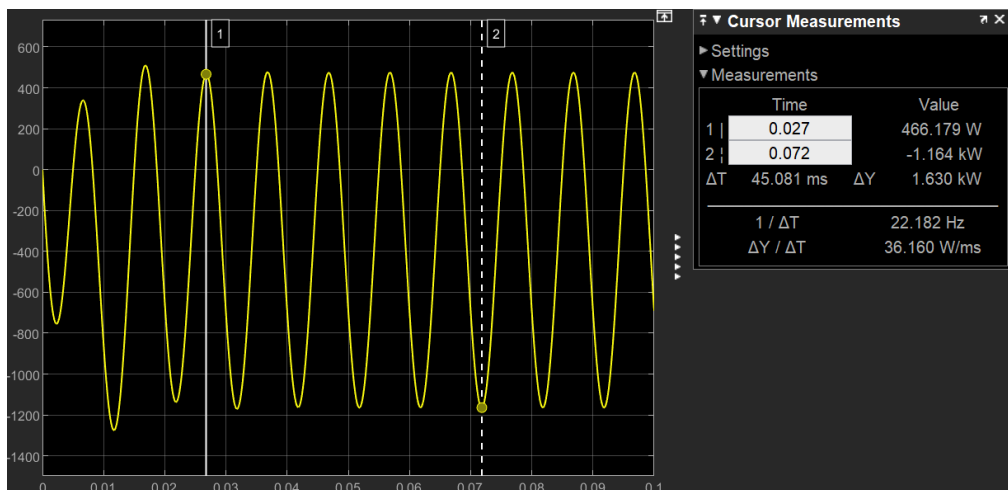
در این حالت مقاومت بار را صفر می‌کنیم و مقادیر توان، ولتاژ و جریان ورودی را اندازه می‌گیریم.



شکل موج ولتاژ ورودی:



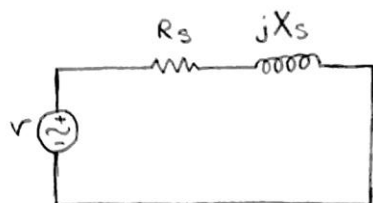
شکل موج جریان ورودی:



شکل موج توان ورودی:

$$V_{SC} = 308.05V \quad I_{SC} = 5.038 A \quad P_{SC} = 815 W$$

در نتیجه طبق محاسبات زیر مقدار سلف و مقاومت سری محاسبه می‌شوند:



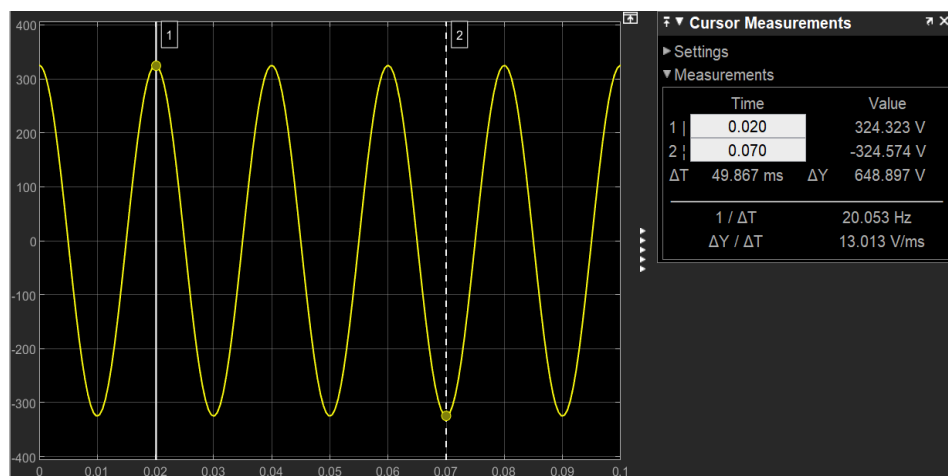
$$P_{sc} = R_s I_{sc}^2 \Rightarrow R_s = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{815}{(5.038)^2} \approx 32 \Omega$$

$$|Z_s| = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \frac{308.05}{5.038} = 61.15 \quad Z_s = R_s + jX_s$$

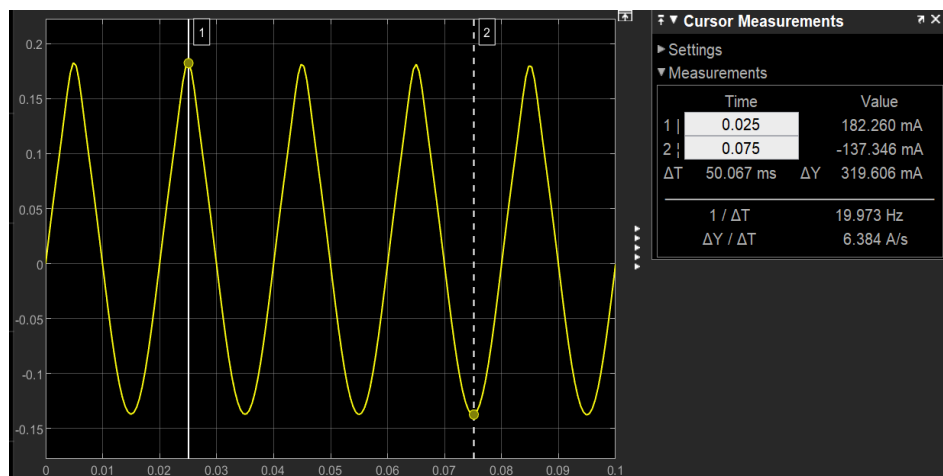
$$X_s = \sqrt{|Z_s|^2 - R_s^2} = \sqrt{(61.15)^2 - (32)^2} = 52.11 \Rightarrow L_s = \frac{X_s}{2\pi f} \approx 0.17 H$$

آزمایش مدار باز:

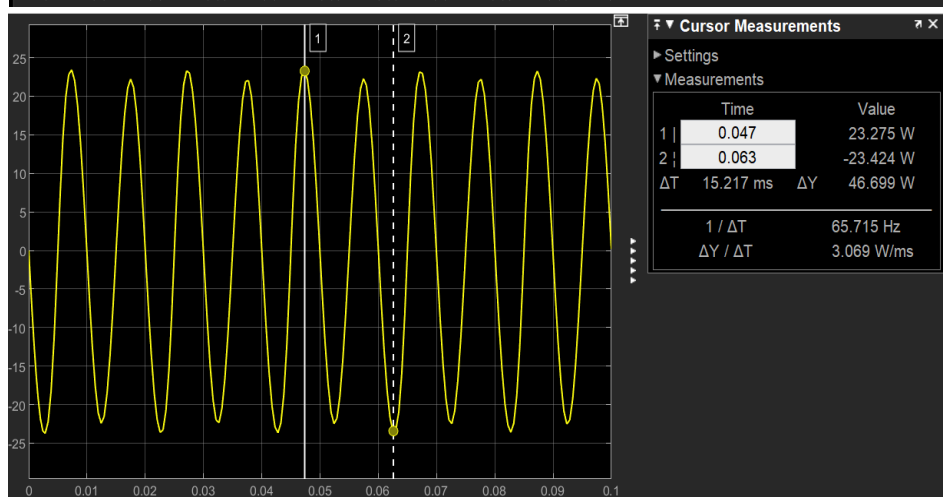
در این حالت مقاومت بار را مقدار بزرگی قرار داده و مانند قبل ولتاژ، جریان و توان ورودی را اندازه‌گیری کنیم:



شکل موج ولتاژ ورودی:



شکل موج جریان ورودی:



شکل موج توان ورودی:

$$V_{OC} = 324.45V \quad I_{OC} = 159.8 \text{ mA} \quad P_{OC} = 23.35 \text{ W}$$

در نتیجه طبق محاسبات زیر مقدار سلف و مقاومت موازی محاسبه می‌شوند:

$$\begin{aligned}
 & \text{Circuit diagram: } V \text{ (AC source)} \text{ in series with } R_p \text{ (parallel resistor)} \text{ and } L_p \text{ (parallel inductor).} \\
 & P_{OC} = \frac{V_{OC}^2}{R_p} \Rightarrow R_p = \frac{V_{OC}^2}{P_{OC}} = \frac{(324.45)^2}{23.35} = 4.527 \text{ k}\Omega \\
 & I_C = \frac{V_{OC}}{R_p} = \frac{324.45}{4527} = 0.07 \text{ A} \quad I_m = \sqrt{I_{OC}^2 - I_C^2} \\
 & I_m = \sqrt{(0.160)^2 - (0.07)^2} = 0.021 \text{ A} \quad X_p = \frac{V_{OC}}{I_m} = \frac{324.45}{0.02} = 16222 \\
 & L_p = \frac{X_p}{2\pi f} = \frac{16222}{100\pi} = 51.4 \text{ H}
 \end{aligned}$$