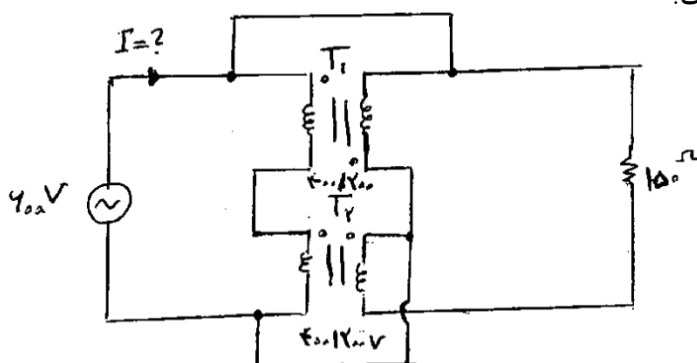


## ماشین‌های الکتریکی

- ۱- دو ترانسفورماتور تکفاز ایده‌آل با نسبت تبدیل‌های داده شده به صورت شکل زیر به یکدیگر متصل شده و مجموعه بار  $150 \Omega$  را تغذیه می‌کند. دامنه جریان  $I$  در این شکل چند آمپر است؟



(۱) ۲۵ A

(۲) ۲۰ A

(۳) ۱۵ A

(۴) ۱۰ A

- ۲- در یک ترانسفورماتور تکفاز با نسبت تبدیل ۲ در هنگام بی‌باری با اعمال ولتاژی به معادله

$$i_0(t) = 10 \cos(\omega t - 95^\circ) + 2 \sin(3\omega t - 15^\circ) \quad V(t) = 200 \sin(\omega t + 65^\circ) + 10 \sin(3\omega t - 15^\circ)$$

از سیم‌بندی اولیه عبور می‌کند. مقاومت معادل تلفات هسته در این ترانسفورماتور تقریباً چند اهم است؟

(۴) ۴۰

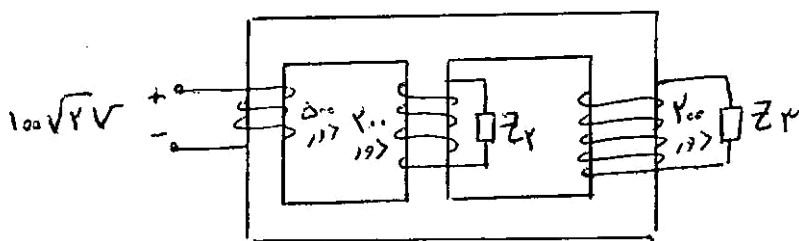
(۳) ۲۰

(۲) ۱۶۰

(۱) ۸۰

- ۳- در ترانسفورماتور تکفاز و سه سیم پیچه شکل زیر با توجه به امیدانس بارهای متصل شده به سیم‌پیچ‌ها جریان ورودی به اولیه

چند آمپر است؟



(۱)  $10 \angle 45^\circ$

(۲)  $4 \angle 45^\circ$

(۳)  $20 \angle 135^\circ$

(۴)  $15 \angle 135^\circ$

- ۴- امیدانس شاخه‌ای یک ترانسفورماتور تکفاز با نسبت تبدیل  $\frac{1}{2}$  از دید فشار ضعیف به صورت  $Z_{eq} = 3 + j4 \Omega$  داده شده

است. ولتاژ نامی ثانویه این ترانسفورماتور ۵۰۰ V و توان نامی ترانسفورماتور ۱۲۵۰ VA است. حداکثر جریان اتصال کوتاه در

سمت فشار قوی هنگامی که فشار ضعیف اتصال کوتاه نشده است چند برابر جریان نامی آن است؟

(۴) ۱۰

(۳) ۲۰

(۲) ۳۰

(۱) ۴۰

- ۵- در یک ترانسفورماتور تکفاز ۴۰ kVA با نسبت تبدیل  $1000/250 V$  امیدانس درصد برابر  $P.U. = 0.04 + j0.06$  است.

اگر تغییرات بار روی این ترانسفورماتور در یک بازه ۲۴ ساعته به صورت زیر باشد راندمان شبانه‌روزی آن با فرض تلفات آهنی

۵۰۰ W کدام است؟

(الف) ۵۰٪ بار اهمی سلفی نامی با ضریب قدرت ۰/۵ پس فاز برای ۶ ساعت

(ب) بار نامی اهمی خالص برای ۱۲ ساعت

(ج) بار نامی سلفی خالص برای ۴ ساعت

(د) بی‌باری برای ۲ ساعت

(۴)  $\frac{135}{145}$

(۳)  $\frac{125}{150}$

(۲)  $\frac{135}{140}$

(۱)  $\frac{125}{143}$

۶- یک ترانسفورماتور تکفاز  $250/100 \text{ V}$  به قدرت  $2/5 \text{ kVA}$  را از سمت اولیه مورد آزمایش های بی باری و اتصال کوتاه تحت شرایط نامی قرار می دهیم. در آزمایش بی باری ترانسفورماتور توان ظاهری  $S_{oc} = (200 + j400) \text{ VA}$  و در آزمایش اتصال کوتاه

توان  $S_{sc} = (400 + j500) \text{ VA}$  را جذب می کند. هنگامی که این ترانسفورماتور بار اهمی سلفی با ضریب قدرت  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  پس

فاز را طوری تغذیه می کند که راندمان آن حداکثر گردد. درصد تنظیم ولتاژ در این حالت چقدر است؟

- (۱) ۹٪ (۲) ۱۴٪ (۳) ۱۸٪ (۴) ۷٪

۷- در یک ترانسفورماتور تکفاز هنگامی که بار نامی با ضریب قدرت  $\frac{\sqrt{3}}{2}$  از ثانویه اخذ می شود درصد تنظیم ولتاژ حداکثر می گردد. در این ترانسفورماتور زاویه بین ولتاژ و جریان ثانویه چقدر باشد تا درصد تنظیم ولتاژ صفر گردد؟

- (۱) ۶۰ (۲) ۶۰- (۳) ۳۰ (۴) ۳۰-

۸- یک ترانسفورماتور تکفاز  $500/200 \text{ V}$  با قدرت نامی  $10 \text{ kVA}$  در سمت فشار ضعیف دارای دو سیم پیچی مشابه و موازی بوده و در سمت فشار قوی دارای یک سیم پیچی است. در حالت عادی تلفات هسته  $1 \text{ KW}$  و تلفات مسی در فشار قوی  $500 \text{ W}$  و در فشار ضعیف  $1 \text{ KW}$  است. بار ترانسفورماتور امپدانس ثابت بوده و برابر قدرت نامی ترانسفورماتور اما با ضریب قدرت  $0.85$  است. اگر یکی از سیم پیچ های فشار ضعیف قطع شود راندمان ترانسفورماتور چند درصد می گردد؟

- (۱) ۷۱ (۲) ۷۳ (۳) ۸۵ (۴) ۷۷

۹- در یک ترانسفورماتور تکفاز به قدرت  $10 \text{ KVA}$  تلفات کل در نصف بار نامی  $500 \text{ W}$  است. هنگامی که همین ترانسفورماتور در بار نامی کار می کند تلفات کل به  $1500 \text{ W}$  افزایش می یابد راندمان این ترانسفورماتور در بار نامی اهمی سلفی با ضریب قدرت  $0.85$  چند درصد راندمان حداکثر آن است؟

- (۱) ۹۵/۲٪ (۲) ۸۶/۵٪ (۳) ۹۸/۳٪ (۴) ۷۳/۱٪

۱۰- نتایج آزمایش های بسیاری و اتصال کوتاه روی یک ترانسفورماتور تکفاز  $250/50 \text{ V}$  به قدرت  $5\sqrt{2} \text{ KVA}$  به صورت زیر داده شده است:

O.C.T:  $250 \text{ V} - 3 \text{ A} - 500 \text{ W}$

S.C.T:  $25 \text{ V} - 10 \text{ A} - 125 \text{ W}$

اگر هر دو آزمایش در سمت فشار قوی انجام شده باشند راندمان حداکثر ترانسفورماتور چقدر است؟

- (۱)  $\frac{5}{7}$  (۲)  $\frac{6}{8}$  (۳)  $\frac{5}{6}$  (۴)  $\frac{7}{8}$

۱۱- هسته یک ترانسفورماتور تکفاز کوچک با نسبت تبدیل  $200/100 \text{ V}$  از  $300$  ورق مغناطیسی نازک تشکیل شده است. اگر نیمی از

ورق های هسته را حذف کنیم در خصوص این ترانسفورماتور کدام گزینه صحیح تر است؟ ( $P_h \sim B^2 f$ )

(۱) دامنه ولتاژ القایی در ثانویه نصف می شود.

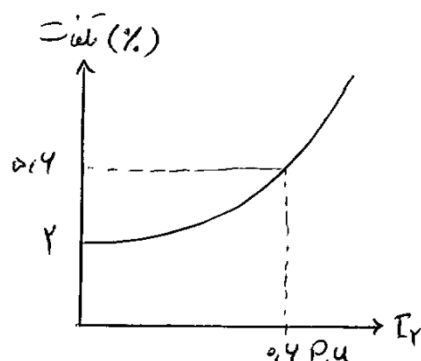
(۲) تلفات هسته ۲ برابر می شود.

(۳) جریان بی باری ترانسفورماتور  $\frac{1}{2}$  می شود.

(۴) هر دو مورد (۲) و (۳) صحیح است.

۱۲- تغییرات تلفات یک ترانسفورماتور تکفاز به تغییر بار به صورت شکل زیر داده شده است. اگر حداقل درصد تنظیم ولتاژ این

ترانسفورماتور ۵٪ باشد حداکثر تنظیم ولتاژ آن چند درصد است؟



(۱)  $5\sqrt{2}\%$

(۲)  $7\sqrt{5}\%$

(۳)  $12\sqrt{2}\%$

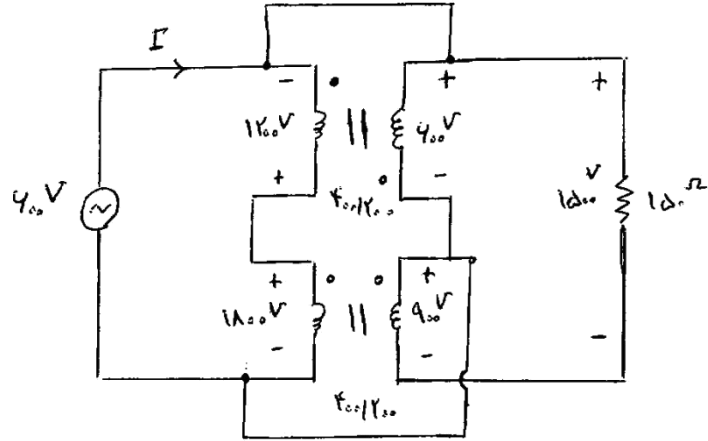
(۴)  $5\sqrt{5}\%$

## ماشین‌های الکتریکی

۱- گزینه «۱» صحیح است.

طبق شکل ثانویه ترانسفورماتور  $T_1$  مستقیماً به منبع  $600\text{ V}$  ورودی متصل شده است لذا با توجه به نقطه‌گذاری روی سیم‌پیچ‌ها داریم:  
حال که ولتاژ دو سر بار محاسبه شده داریم:

$$P_r = \frac{V_L^2}{R_L} = \frac{1500^2}{150} = 15\text{ kW} = P_l = V_S \cdot I \Rightarrow I = \frac{1500}{600} = 2.5\text{ A}$$



دقت شود که مراحل حل این سؤال به صورت زیر طی شده است:

$$V_S = 600\text{ V} = V_{rT_1} \Rightarrow V_{lT_1} = 1200\text{ V} \Rightarrow V_{lT_2} = 1800\text{ V} \Rightarrow V_{rT_2} = 900\text{ V} \Rightarrow V_L = 1500\text{ V}$$

۲- گزینه «۴» صحیح است.

با توجه به فاصله زیاد گزینه‌ها از یکدیگر و توجه به این نکته اساسی که هارمونیک‌های فرکانس بالا تأثیر بسیار کمی در تلفات هسته دارند می‌توان معادلات ولتاژ و جریان را به صورت زیر در نظر گرفت:

$$V(t) = 200 \sin(\omega t + 65^\circ)$$

$$i_o(t) = 10 \cos(\omega t - 95^\circ) = 10 \sin(\omega t - 5^\circ)$$

تلفات هسته که مقدار متوسط حاصل ضرب دو معادله فوق است به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P_{oc} = P_{fe} = \frac{1}{\pi} \times 200 \times 10 \times \cos(65^\circ - 5^\circ) = 500\text{ W}$$

دقت شود که در حالت دقیق (با احتساب تأثیر هارمونیک‌ها) تلفات هسته برابر  $510\text{ W}$  می‌گردد. از طرفی می‌دانیم رابطه بین تلفات هسته و مقاومت معادل آن به طور تقریبی برابر است با:

$$P_{fe} = \frac{V_l^2}{R_c} \Rightarrow R_c = \frac{\left(\frac{2000}{\sqrt{2}}\right)^2}{500} = 40\ \Omega$$

دقت شود که در حالت دقیق (با احتساب تأثیر هارمونیک‌ها) مقاومت  $R_c$  برابر  $39/31\ \Omega$  می‌گردد.

۳- گزینه «۲» صحیح است.

ابتدا باید جریان هر سیم‌پیچی را محاسبه نمود لذا با توجه به نسبت دورهای داده شده داریم:

$$\begin{cases} I_r = \frac{V_r}{Z_r} \\ V_r = \frac{N_r}{2N_l} \cdot V_l = \frac{200}{2 \times 500} \times 1000 \sqrt{2} = 200 \sqrt{2}\text{ V} \end{cases} \Rightarrow \vec{I}_r = \frac{200\sqrt{2}}{1+j} = 200 \angle -45^\circ$$

$$\begin{cases} I_r = \frac{V_r}{Z_r} \\ V_r = \frac{N_r}{rN_1} \cdot V_1 = \frac{r \cdot 0}{r \times 50} \times 100 \sqrt{2} = r \cdot \sqrt{2} \text{ V} \end{cases} \Rightarrow \vec{I}_r = \frac{r \cdot \sqrt{2}}{-j} = r \cdot \sqrt{2} \angle 90^\circ$$

حال باید تصویر این دو جریان را در اولیه محاسبه و با یکدیگر جمع برداری نمود لذا:

$$\begin{aligned} \vec{I}_1 &= \vec{I}_r' + \vec{I}_r'' = \frac{\vec{I}_r}{\frac{rN_1}{N_r}} + \frac{\vec{I}_r}{\frac{rN_1}{N_r}} = \frac{r \cdot \sqrt{2} \angle -45^\circ}{5} + \frac{r \cdot \sqrt{2} \angle 90^\circ}{5} \\ &= 4 \angle -45^\circ + 4 \sqrt{2} \angle 90^\circ = 4 \times \frac{\sqrt{2}}{2} - j4 \times \frac{\sqrt{2}}{2} + j4 \sqrt{2} = \frac{4\sqrt{2}}{2} + j \frac{4\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \vec{I}_1 = 4 \angle 45^\circ \end{aligned}$$

۴- گزینه «۴» صحیح است.

برای محاسبه جریان اتصال کوتاه باید امپدانس پریونیتی ترانسفورماتور را محاسبه نمود:  
لذا:

$$\begin{cases} |\vec{Z}_{eq}(P.U)| = \frac{|Z_{eqLV}(\Omega)|}{Z_{bLV}} = \frac{|Z_{eqLV}(\Omega)|}{\frac{V_{bLV}^2}{S_b}} \Rightarrow |\vec{Z}_{eq}(P.U)| = \frac{\sqrt{3^2 + 4^2}}{\frac{250^2}{1250}} = 0.1 \text{ P.U} \\ V_{nHV} = 500 \text{ V} \Rightarrow V_{nLV} = 250 \text{ V} \end{cases}$$

دقت شود که چون نسبت تبدیل ترانسفورماتور کوچکتر از ۱ است کاهنده بوده لذا فشار قوی آن در ثانویه قرار دارد حال که امپدانس درصد محاسبه شده داریم:

$$I_{SC} = \frac{1}{Z_{eq}(P.U)} = \frac{1}{0.1} = 10$$

یعنی جریان اتصال کوتاه ۱۰ برابر جریان نامی است. دقت شود که در حالتی پریونیتی جریان‌های دو سمت ترانسفورماتور همواره با یکدیگر برابر هستند.

۵- گزینه «۴» صحیح است.

ابتدا باید تلفات آهنی داده شده را پریونیت نمود لذا:

$$P_{fe}(P.U) = \frac{500}{40 \times 10^3} = 0.0125 \text{ P.U}$$

$$P_{cu_n} = R_{eq}(P.U) = 0.04 \text{ P.U}$$

با توجه به ۴ بازه داده شده داریم:

$$W_{out} = (K_{C_1} \cdot \cos \phi_1 \cdot T_1) + (K_{C_r} \cdot \cos \phi_r \cdot T_r) + (K_{C_r} \cdot \cos \phi_r \cdot T_r) + (K_{C_f} \cdot \cos \phi_f \cdot T_f)$$

$$= \left( \frac{1}{2} \times 0.5 \times 6 \right) + (1 \times 1 \times 12) + (1 \times 0 \times 4) + 0 = 13/5$$

$$W_{fe} = 24 \times 0.0125 = 0.3$$

$$W_{cu} = \left( \frac{1}{4} \times 0.04 \times 6 \right) + (1 \times 0.04 \times 12) + (1 \times 0.04 \times 4) + 0 = 0.7$$

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{out} + W_{cu} + W_{fe}} = \frac{13/5}{13/5 + 0.7 + 0.3} = \frac{13/5}{14/5} = \frac{13}{14}$$

۶- گزینه «۳» صحیح است.

$$S_{oc} = 200 + j400 \Rightarrow P_{fe} = P_{oc} = 200 \text{ W}$$

$$S_{sc} = 400 + j500 \Rightarrow P_{cu_n} = 400 \text{ W}$$

ضمناً چون آزمایش‌ها در سمت اولیه و تحت مقادیر نامی صورت گرفته‌اند داریم:

$$\begin{cases} X_{eq} I_{ln}^r = 500 \Rightarrow X_{eq_1} = \frac{500}{1.2} = 5 \Omega \\ R_{eq} I_{ln}^r = 400 \Rightarrow R_{eq_1} = \frac{400}{1.2} = 4 \Omega \\ I_{ln} = \frac{2500}{250} = 10 \text{ A} \end{cases}$$

$$X_{eq} = \frac{5}{\frac{2500}{250}} = 0.2 \text{ P.U}$$

$$R_{eq} = \frac{4}{\frac{2500}{250}} = 0.16 \text{ P.U}$$

چون درصد تنظیم ولتاژ در شرایط  $\eta_{max}$  خواسته شده باید  $K_{cm}$  را نیز محاسبه کنیم لذا:

$$K_{cm} = \sqrt{\frac{P_{fe}}{P_{cu_n}}} = \sqrt{\frac{200}{400}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\% V.R = K_{cm} (R_{eq} (P.U) \cos \phi \pm X_{eq} (P.U) \sin \phi)$$

$$= \frac{\sqrt{2}}{2} \left( 0.16 \times \frac{\sqrt{2}}{2} + 0.2 \times \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = 0.18 \quad \text{or} \quad 18\%$$

۷- گزینه «۲» صحیح است.

طبق گفته صورت تست داریم:

$$\cos \phi_{max} = \frac{R_{eq}}{Z_{eq}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow Z_{eq} = \frac{2}{\sqrt{3}} R_{eq}$$

از طرفی در بار بحرانی که تنظیم ولتاژ صفر می‌گردد داریم:

$$\cos \phi_{cr} = \frac{X_{eq}}{Z_{eq}} = \frac{\sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2}}{Z_{eq}} = \frac{\sqrt{\frac{4}{3} R_{eq}^2 - R_{eq}^2}}{\frac{2}{\sqrt{3}} R_{eq}}$$

$$= \frac{1}{2} \Rightarrow \phi_{cr} = -\cos^{-1} \frac{1}{2} = -60^\circ$$

روش دوم: همواره رابط بین  $\phi_{cr}$  و  $\phi_{max}$  به صورت زیر است:

$$\phi_{cr} = \phi_{max} - 90^\circ = \cos^{-1} \frac{\sqrt{3}}{2} - 90^\circ = -60^\circ$$

توجه شود که همواره درصد تنظیم صفر در بار اهمی خازنی ( $\phi < 0$ ) رخ می‌دهد.

### ۸- گزینه «۱» صحیح است.

چون بار ترانسفورماتور دارای امپدانس ثابت است. لذا با قطع شدن یکی از سیم‌بندی‌های فشار ضعیف که در اینجا ثانویه است جریان بار تغییر نکرده لذا جریان سیم‌پیچی دیگر سمت فشار ضعیف دو برابر و در نتیجه تلفات مسی آن ۴ برابر می‌گردد.

از طرفی چون توان مصرفی بار ثابت مانده لذا جریان فشار قوی (اولیه) و در نتیجه تلفات مسی آن بی‌نظیر می‌ماند لذا می‌توان گفت:

$$\Delta P_{\text{new}} = P_{\text{cuHV}_{\text{new}}} + P_{\text{cuLV}_{\text{new}}} + P_{\text{fe}} = 500 + 2000 + 1000 = 3500 \text{ W}$$

$$\eta_{\text{new}} = \frac{10 \times 0.85}{10 \times 0.85 + 3/5} = \frac{8.5}{12} \approx 71\%$$

### ۹- گزینه «۱» صحیح است.

مقادیر تلفات‌ها در نصف بار نامی  $\left(k_c = \frac{1}{2}\right)$  و بار نامی  $(k_c = 1)$  داده شده است لذا:

$$\Delta P = P_{\text{fe}} + K_c^\gamma P_{\text{cu}_n} \begin{cases} 600 = P_{\text{fe}} + \frac{1}{4} P_{\text{cu}_n} & \text{نصف بار نامی} \\ 1500 = P_{\text{fe}} + P_{\text{cu}_n} & \text{بار نامی} \end{cases}$$

از حل دو معادله فوق داریم:

$$P_{\text{cu}_n} = 1200 \text{ W}, \quad P_{\text{fe}} = 300 \text{ W}$$

نسبت راندمان‌ها برابر است با:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{\frac{k_c S_n \cos \varphi}{k_c S_n \cos \varphi + k_c^\gamma P_{\text{cu}_n} + P_{\text{fe}}}}{\frac{k_{\text{cm}} S_n}{k_{\text{cm}} S_n + 2 R_{\text{fe}}}} = \frac{\frac{1 \times 10 \times 0.85}{1 \times 10 \times 0.85 + 1/2 \times 1200 + 300}}{\frac{\sqrt{\frac{300}{1200}} \times 10}{\sqrt{\frac{300}{1200}} \times 10 + 2 \times 0.3}} = \frac{0.85}{0.95} = 89.5\%$$

### ۱۰- گزینه «۳» صحیح است.

چون ولتاژ آزمایش بی‌باری برابر ولتاژ نامی سمت فشار قوی است (با فرض اینکه فرکانس نیز نامی باشد) تلفات  $400 \text{ W}$  داده شده در O.C.T همان

تلفات هسته است. اما چون جریان نامی فشار قوی  $20\sqrt{2} \text{ A}$   $\frac{500\sqrt{2}}{250} = 20\sqrt{2} \text{ A}$  بوده اما جریان S.C.T برابر  $10 \text{ A}$  است پس توان  $200 \text{ W}$  داده شده در

S.C.T تلفات مسی نامی نبوده و باید اصلاح شود لذا:

$$P_{\text{cu}_n} = P_{\text{sc}} \left( \frac{I_n}{I_{\text{sc}}} \right)^2 = 125 \times \left( \frac{20\sqrt{2}}{10} \right)^2 = 1000 \text{ W}$$

با توجه به این مقادیر داریم:

$$k_{cm} = \sqrt{\frac{P_{fe}}{P_{cu_n}}} = \sqrt{\frac{500}{1000}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\eta_{max} = \frac{k_{cm} S_n}{k_{cm} S_n + 2R_{fe}} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} \times 5\sqrt{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2} \times 5\sqrt{2} + 2 \times 0.5} = \frac{5}{6}$$

۱۱- گزینه «۲» صحیح است.

با توجه به نصف شدن تعداد ورق‌های هسته سطح مقطع و حجم هسته هر دو نصف می‌شوند لذا:

$$\frac{P_{c_1}}{P_{c_2}} = \frac{V_{core_1} B_1^2 f_1^2 + V_{core_1} B_1^2 f_1}{V_{core_2} B_2^2 f_2^2 + V_{core_2} B_2^2 f_2} \xrightarrow[\substack{B_2=2B_1 \\ f_1=f_2}]{V_{core_2}=\frac{1}{2}V_{core_1}} \frac{P_{c_1}}{P_{c_2}} = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow P_{c_2} = 2P_{c_1}$$

چون تلفات هسته دو برابر شده اما ولتاژ نامی تغذیه تغییر نکرده لذا:

$$I_{c_2} = 2I_{c_1}$$

همچنین چون طول هسته تغییر نکرده اما سطح مقطع آن نصف شده لذا

$$I_{m_2} = 2I_{m_1}$$

چون هر دو مؤلفه جریان بی‌باری دو برابر شده‌اند پس جریان بی‌باری ۲ برابر می‌گردد.

دقت شود که نسبت ولتاژ القایی در سیم‌پیچی‌ها مستقل از ابعاد هسته بوده و به تعداد دور آنها وابسته است.

۱۲- گزینه «۴» صحیح است.

طبق شکل داده شده در ۶۰٪ بار نامی تلفات مسی  $3/6\% = 2 - 6/5$  است لذا:

$$3/6\% = 0.6^2 P_{cu_n} \Rightarrow P_{cu_n} = 10\% = R_{eq}$$

از طرفی چون حداقل تنظیم ولتاژ نیز ۵٪- داده شده داریم:

$$V.R_{min} = -X_{eq} \Rightarrow x_{eq} = 5\%$$

با توجه به این مقادیر داریم:

$$V.R_{max} = |Z_{eq} \%| = \sqrt{10^2 + 5^2} = 5\sqrt{5}\%$$