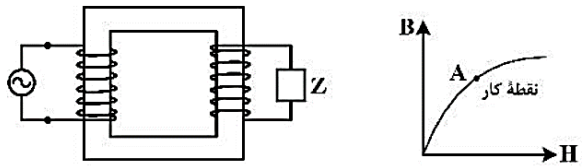
فایل آپدیت کتاب ماشین ۲

مثالهای اضافه شده:

صفحه ۱۶

مثال دکتری ۱۴۰۰ (نقطه کار ثابت ترانسفورماتور)

سیم پیچ ترانسفورماتور تک فاز شکل زیر از یک منبع سینوسی ثابت تغذیه می شود. نقطه کار ترانسفورماتور روی منحنی B-H نیز در همان شکل نشان داده شده است. هرگاه قدرمطلق امپدانسZ به آرامی از ۱۰ اهم به ۱ اهم کاهش یابد، نقطه کار چگونه تغییر می کند؟ مقاومت اهمی سیم پیچ اولیه قابل چشم‌پوشی است.



۱) تغییر نمی کند

۲) به سمت مبدا حرکت می کند.

۳) به سمت اشباع حرکت می کند.

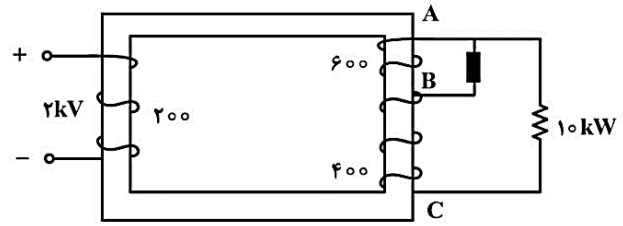
بسته به سلفی یا خازنی بودنZ می تواند در هر یک از دو جهت حرکت کند.

به طور کلی نقطه کار ترانسفورماتور وابسته به بار وصل شده نمی باشد (شار ماکزیمم از بی باری تا بار کامل ثابت است.) در نتیجه گزینه ۱ صحیح است.

صفحه ۲۰

مثال دکتری ۱۴۰۰(جمع آثار در ترانسفورماتور)

سیم پیچ اولیه یک ترانسفورماتور تک فاز ایده‌آل ۲۰۰ دور دارد. در سمت ثانویه آن تعداد دورها بین A,B برابر ۶۰۰ و بین B,C برابر ۴۰۰ دور است. مقاومتی بین A,C وصل است و ۱۰ کیلو وات توان مصرف می کند. به علاوه بار $2000\angle 45^\circ$اهم بین نقطهA,B متصل است. اگر ولتاژ دو سر سیم پیچ اولیه ۲ کیلو ولت باشد، مقدار جریان اولیه چند آمپر است؟



$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}\Rightarrow\frac{2000}{V_2}=\frac{200}{1000}\Rightarrow V_2=1000V$$
$$\frac{V_1}{V_3}=\frac{N_1}{N_3}\Rightarrow\frac{2000}{V_3}=\frac{200}{600}\Rightarrow V_3=6000V$$

قانون اهم در امپدانس بین A,B

$$I_3=\frac{V_3}{Z_3}=\frac{6000}{2000\angle 45^\circ}=3\angle -45^\circ$$

در نتیجه:

$$S_3=V_3I_3^*=6000\times 3\angle 45^\circ=18000\angle 45^\circ=12728+j12728$$
$$S_T=S_2+S_3=1000\angle 0+18000\angle 45^\circ=22728+j12728$$

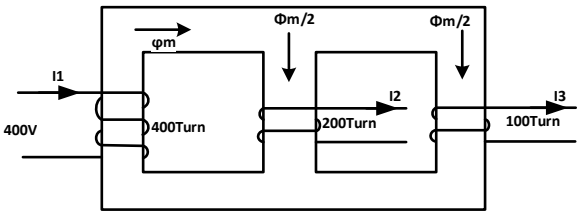
پس جریان کل برابر است با:

$$|I|=\left|\frac{S}{V}\right|=\frac{\sqrt{22728^2+12728^2}}{2000}=13.02A$$

صفحه ۲۰

مثال تالیفی(ترانس سه سیم پیچه با چند ساق)

در شکل زیر اگر به ترمینالهای سیم پیچ ۲۰۰ دور یک مقاومت ۱۰ اهم و به ترمینالهای سیم پیچ ۱۰۰ دوری یک سلف ۲۵ اهمی متصل گردد جریان سیم پیچ ۴۰۰ دوری که به ولتاژ۴۰۰ ولت متصل است چقدر می گردد؟(سیم پیچهای ترانسفورماتور ایده آل هستند و از افت آمپردور در کل هسته صرفنظر گردد.)



۱) $5-j0.5$ ۲) $5+j0.5$ ۳) $2.5-j0.25$ ۴) $2.5+j0.25$

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{\frac{1}{2}N_2}\Rightarrow\frac{400}{V_2}=\frac{400}{\frac{1}{2}\times 200}\Rightarrow V_2=\frac{400}{4}=100V\Rightarrow I_2=\frac{V_2}{R}=\frac{100}{10}=10A$$
$$\frac{V_1}{V_3}=\frac{N_1}{\frac{1}{2}N_3}\Rightarrow\frac{400}{V_3}=\frac{400}{\frac{1}{2}\times 100}\Rightarrow V_3=\frac{400}{8}=50V\Rightarrow I_3=\frac{V_3}{jX_L}=\frac{50}{j25}=-j2(A)$$

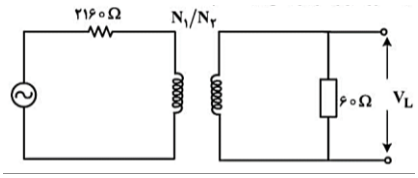
در نتیجه برای یافتن جریان کل از قانون جمع آثار استفاده می کنیم:

$$\begin{cases} \dfrac{I_2}{I_1}=\dfrac{N_1}{\frac{1}{2}N_2}\Rightarrow\dfrac{10}{I_1}=\dfrac{400}{\frac{1}{2}\times 200}\Rightarrow I_1=2.5(A) \\ \dfrac{I_3}{I_1}=\dfrac{N_1}{\frac{1}{2}N_3}\Rightarrow\dfrac{-j2}{I_1}=\dfrac{400}{\frac{1}{2}\times 100}\Rightarrow I_1=-j0.25(A) \end{cases} \Rightarrow I_{1total}=2.5-j0.25(A)$$

صفحه ۲۱

مثال دکتری ۱۴۰۰(انتقال امپدانس و شرط حداکثر توان)

یک ترانسفورماتور ایده آل در سیستم صوتی برای تزویج بار مقاومتی ۶۰ اهم به منبع الکتریکی به کار رفته و با ولتاژ موثر ۶ ولت به صورت سری با مقاومت داخلی ۲۱۶۰ اهم نمایش داده شده است. برای اطمینان از انتقال حداکثر توان با تطبیق امپدانس های بار و منبع، نسبت دور ها و ولتاژ بار به ترتیب، کدام است؟



برای انتقال حداکثر توان باید امپدانس ارجاع شده به سمت اولیه با امپدانس منبع برابر باشد، همچنین لازم است نصف ولتاژ منبع روی هر مقاومت بیفتد تا انتقال توان ماکزیمم رخ دهد:

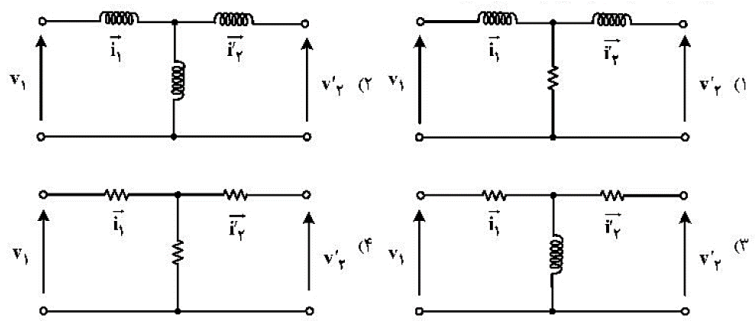
$$60a^2=2160\Rightarrow a=6$$

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}=a\Rightarrow\frac{3}{V_2}=6\Rightarrow V_2=0.5v$$

صفحه۲۵

مثال ارشد ۱۴۰۰(مدار معادل ترانسفورماتور)

در یک ترانسفورماتور تک فاز، تلفات هسته و نیز شار نشتی در اولیه و ثانویه قابل چشم‌پوشی است. کدام گزینه نشانگر مدار معادل دقیق این ترانسفورماتور است؟



تلفات هسته نداریم در نتیجه Rc وجود ندارد، شار نشتی نداریم در نتیجه X1,X2 در مدار معادل حذف می گردد در نتیجه گزینه ۳ صحیح است.

صفحه۲۸

مثال دکتری ۱۴۰۰(آزمایش اتصال کوتاه)

برای یک ترانسفورماتور تک فاز ۴۴۰/۲۲۰ ولت، ۱۱ کیلوولت آمپر، دوبار آزمایش اتصال کوتاه انجام شده است. در هر دو بار، جریان اسمی توسط ترانسفورماتور کشیده شده است. نتایج اندازه گیری آزمایش اول به صورت زیر است:

فرکانس۲۰ هرتز، ولتاژ ۲۲,۵ ولت، و ضریب توان $\frac{1}{2\sqrt{2}}$

آزمایش دوم در فرکانس ۵۰ هرتز انجام شده است. ولتاژ اندازه گیری در این آزمایش چند ولت است؟

$$Z_{eq}=\frac{V_{sc}}{I_{sc}}=\frac{22.5}{50}=0.45\Omega$$

$$\cos\phi=\frac{R_{eq}}{Z_{eq}}=\frac{1}{2\sqrt{2}}\Rightarrow R_{eq}=\frac{0.45}{2\sqrt{2}}\Omega$$

$$X_{eq}=\sqrt{Z_{eq}^2-R_{eq}^2}=\sqrt{0.45^2-(\frac{0.45}{2\sqrt{2}})^2}=\frac{0.45\sqrt{7}}{2\sqrt{2}}\Omega$$

$$X_{eq50Hz}=\frac{50}{20}\times\frac{0.45\sqrt{7}}{2\sqrt{2}}=\frac{1.125\sqrt{7}}{2\sqrt{2}}$$

$$Z_{eq50Hz}=\sqrt{R_{eq}^2+X_{eq}^2}=\frac{3}{2\sqrt{2}}\Omega$$

جریانها در هر دو آزمایش برابرند در نتیجه:

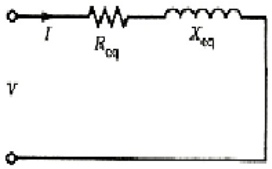
$$I_{sc1}=I_{sc2}\Rightarrow\frac{V_1}{Z_{eq1}}=\frac{V_2}{Z_{eq2}}\Rightarrow\frac{22.5}{0.45}=\frac{V_2}{\frac{3}{2\sqrt{2}}}\Rightarrow V_2=37.5\sqrt{2}V$$

صفحه۲۸

مثال ارشد ۱۴۰۰(آزمایش اتصال کوتاه)

یک ترانسفورماتور تک فاز با نسبت تبدیل ۲:۱ مفروض است. وقتی که سمت فشار ضعیف اتصال کوتاه و ولتاژ ۳۰ ولت از سمت فشار قوی به آن اعمال می‌شود. توان مصرفی ۶۰۰ وات و جریان در سمت فشار ضعیف ۸۰ آمپر می‌شود. اگر سمت فشارقوی اتصال کوتاه شود و ولتاژ ۷,۵ ولت از سمت فشار ضعیف به

آن اعمال شود، توان مصرفی و جریان در طرف فشار قوی به ترتیب چند وات و چند آمپر می شود (راست به چپ)؟



$$R_{eq_{HV}} = \frac{P_{s.c}}{I^2_{s.c_{HV}}} = \frac{600}{40^2} = \frac{3}{8}\Omega \Rightarrow Z_{eq_{HV}} = \frac{V_{s.c_{HV}}}{I_{s.c_{HV}}} = \frac{30}{40} = \frac{3}{4}\Omega$$

$$Z_{eq_{LV}} = Z_{eq_{HV}}(\frac{1}{2})^2 = \frac{3}{4}(\frac{1}{2})^2 = \frac{3}{16}\Omega$$

$$\Rightarrow Z_{eq_{LV}} = \frac{V_{s.c_{LV}}}{I_{s.c_{LV}}} = \frac{7.5}{I_{s.c_{LV}}} \Rightarrow I_{s.c_{LV}} = 40A \Rightarrow I_{s.c_{HV}} = \frac{40}{2} = 20A$$

$$P_{s.c} = R_{eq_{HV}} I^2_{s.c_{HV}} = \frac{600}{1600} \times 20^2 = 150W$$

مثال دکتری ۱۴۰۰(شرط راندمان ماکزیمم)

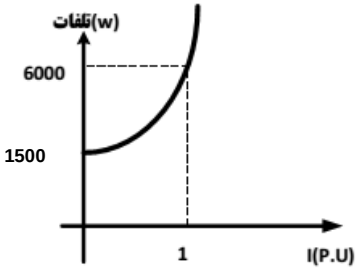
بازده بیشینه یک ترانسفورماتور تکفاز ۹۰ کیلوولت آمپر، ۵۰ هرتز، برابر ۹۰ درصد است، که در نصف بار نامی اتفاق می‌افتد. تلفات مسی این ترانسفورماتور در بار اسمی چند کیلووات است؟

$$\eta_{\max} = \frac{k_m S_n}{k_m S_n + 2P_{Fe}} \Rightarrow 0.9 = \frac{0.5 \times 90}{0.5 \times 90 + 2P_{Fe}} \Rightarrow P_{Fe} = 2.5KW$$

$$k_m = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{cun}}} \Rightarrow 0.5 = \sqrt{\frac{2.5}{P_{cun}}} \Rightarrow P_{cun} = 10KW$$

مثال تالیفی(شرط راندمان ماکزیمم)

تغییرات تلفات یک ترانس ۳۰۰ کیلوولت آمپر به صورت زیر است.



به ازای چه باری بر حسب کیلو ولت آمپر، راندمان این ترانس ماکزیمم است؟

۱) $100\sqrt{3}$ ۲) $\frac{100}{\sqrt{3}}$ ۳) $\frac{300}{\sqrt{3}}$ ۴) $\frac{150}{\sqrt{3}}$

با توجه به نمودار داریم:

$$\Delta P_n = 6000W$$
$$P_{Fe} = 1500W$$
$$P_{cun} = 4500W$$

در نتیجه:

$$k_m = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{cun}}} = \sqrt{\frac{1500}{4500}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$S = k_m S_n = \frac{\sqrt{3}}{3} \times 300 = 100\sqrt{3} KVA$$

صفحه ۳۴

مثال ارشد ۹۹(بازده شبانه روزی)

یک ترانسفورماتور تک فاز ۱۰ کیلو ولت آمپر مفروض است. تلفات هسته تحت ولتاژ نامی ۱۰۰ وات و تلفات مسی در بارنامی ۲۰۰ وات و منحنی بار روزانه این ترانسفورماتور به صورت زیر است:

۱۰ ساعت با ۷۰ درصد بار نامی و ضریب توان ۰,۸

چهار ساعت بی بار

۱۰ ساعت با ۹۰ درصد بار نامی و ضریب توان ۰,۹

راندمان شبانه روزی ترانسفورماتور چند درصد است؟

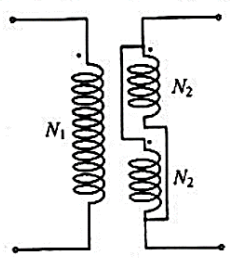
$$\eta_{24h} = \frac{\sum_i k_i S_n \cos\phi_i t_i}{\sum_i k_i S_n \cos\phi_i t_i + \sum_i k_i^2 P_{cun} t_i + 24 P_{Fe}}$$

$$\eta_{24h} = \frac{(10^h \times 0.7 \times 0.8 \times 10^K) + (10^h \times 0.9 \times 0.9 \times 10^K)}{(10^h \times 0.7 \times 0.8 \times 10^K) + (10^h \times 0.9 \times 0.9 \times 10^K) + ((10^h \times 0.7^2 \times 200) + (10^h \times 0.9^2 \times 200)) + 24 \times 100}$$

$$\eta_{24h} = 96.47\%$$

مثال ارشد ۹۹(محاسبه راندمان)

ثانویه یک ترانسفورماتور تک فاز ۱۰ کیلو ولت آمپر مطابق شکل زیر از دو سیم پیچ مشابه، که موازی هم هستند، تشکیل شده است. ترانسفورماتور با ولتاژ نامی تغذیه می شود و هنگامی که در بار کامل قرار دارد تلفات آهن معادل ۲,۲ کیلو وات و تلفات مس در اولیه و ثانویه به ترتیب ۰,۸ کیلو وات و ۱,۲ کیلو وات می شود. یکی از سیم پیچ های ثانویه مدار باز می شود و اولیه از منبع ولتاژ نامی خود تغذیه می‌شود. راندمان ترانسفورماتور در حالی که سیم پیچ دیگر ثانویه یک بار را با جریان نامی خود و با ضریب توان واحد تغذیه می کند، چند درصد می شود؟ از مدار معادل تقریبی استفاده کنید.



اولا تلفات سیم پیچی ثانویه در کل ۱,۲ کیلووات است در نتیجه تلفات هر سیم پیچ در ثانویه ۰,۶ کیلووات است.

ثانیا تلفات مسی اولیه ۰,۸ کیلووات است در نتیجه تلفات مسی در حالی که یک سیم پیچ ثانویه از مدار خارج شود و بار ثانویه نصف بار نامی باشد، برابر است با:

$$P_{cu1} = (\frac{1}{2})^2 \times 0.8 = 0.2KW$$

در نتیجه تلفات مسی کل برابر است با:

$$P_{cu} = 0.2 + 0.6 = 0.8KW$$

با توجه به صورت سوال، در این حالت توان خروجی نامی نصف توان حالت اولیه است یعنی:

$$S_{n_{new}} = \frac{1}{2} S_{n_{old}} = 5KVA$$

در نتیجه:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{kS_n \cos\phi}{kS_n \cos\phi + k^2 P_{cun} + P_{Fe}} = 62.5\%$$

مثال دکتری ۹۹(ترکیبی بازده و آزمایشها با ولتاژ و جریان غیر نامی)

نتایج آزمایش های اتصال کوتاه و بی باری یک ترانسفورماتور به شرح زیر است:

بی‌باری	اتصال کوتاه
$P_{NL}=0/008pu$	$P_{sc}=0/02pu$
$I_{NL}=0/05pu$	$I_{sc}=1/1pu$
$V_{NL}=1pu$	$V_{sc}=0/03pu$

بازده حداکثر این ترانسفورماتور، در چند درصد بار نامی اتفاق می‌افتد؟

$$\frac{P_{cun}}{P_{cu}}=(\frac{I_n}{I})^2\Rightarrow\frac{P_{cun}}{0.02}=(\frac{1}{1.1})^2\Rightarrow P_{cun}=\frac{0.02}{1.1^2}$$

$$k_m=\sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{cun}}}=\sqrt{\frac{0.08}{\frac{0.02}{1.1^2}}}=1.1\sqrt{\frac{4}{10}}=\frac{2.2}{\sqrt{10}}=0.22\sqrt{10}=22\sqrt{10}\%$$

مثال دکتری ۹۹(راندمان)

جریان بی باری یک ترانسفورماتور، که از منبع ولتاژ $6000\sin\omega t$ تغذیه می‌شود، به صورت $2\sin(\omega t-\frac{\pi}{3})$ است. بازده این ترانسفورماتور در حالتی که بار ۴۸ کیلو وات را با ضریب توان ۰٫۸ پس فاز تغذیه می‌کند، ۸۰ درصد است. تلفات ترانسفورماتور هنگامی که بار ۸۰ کیلو ولت آمپر را با ضریب توان ۰٫۶ پس فاز تغذیه می کند، چند کیلووات است؟

$$P_{o.c}=V_{o.c}I_{o.c}\cos\phi_{o.c}=\frac{1}{2}\times6000\times2\times\cos(-\frac{\pi}{3})=3000W=3KW$$

$$\eta=\frac{P_2}{P_2+P_{Fe}+P_{cu}}\Rightarrow0.8=\frac{48}{48+3+P_{cu}}\Rightarrow P_{cu}=9KW$$

$$P_{2_1}=48KW,\cos\phi_1=0.8\Rightarrow S_{2_1}=60KVA$$

$$\frac{P_{cu2}}{P_{cu1}}=(\frac{S_2}{S_1})^2\Rightarrow\frac{P_{cu2}}{9}=(\frac{80}{60})^2\Rightarrow P_{cu2}=16KW$$

$$\Delta P=P_{Fe}+P_{cu}=3+16=19KW$$

مثال تالیفی(تبدیل ترانس به اتوترانس)

یک ترانسفورماتور تکفاز ۲۰ کیلوولت آمپر ، ۲۰۰/۵۰۰ ولت و ۵۰ هرتز را به یک اتوترانس ۲۰۰/۷۰۰ تبدیل می کنیم. توان نامی اتوترانس و جریان طرف فشار ضعیف به ترتیب برابر است با:

۱) $14KVA, 280A$ ۲) $14KVA, 140A$

۳) $28KVA, 140A$ ۴) $28KVA, 280A$

$$k = \frac{V_L}{V_H} = \frac{200}{700} = \frac{2}{7}$$

در نتیجه:

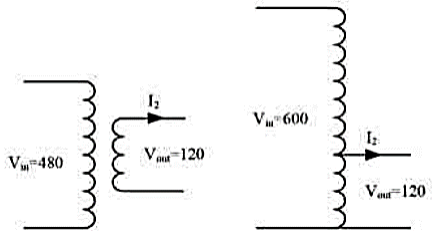
$$S_{Auto} = \frac{S_t}{1-k} = \frac{20}{1-\frac{2}{7}} = 28KVA$$

$$S_{Auto} = V_L I_L \Rightarrow 28000 = 200 I_L \Rightarrow I_L = 140A$$

صفحه ۷۳

مثال ارشد ۹۴(تبدیل ترانس به اتوترانسفورماتور)

یک ترانسفورماتور تکفاز $480V / 120V$ را به صورت اتوترانسفورماتور برای تغذیه یک بار ۱۲۰ ولت که قرار است توسط منبع ۶۰۰ ولت تغذیه شود تبدیل می کنیم. نسبت تلفات مس ترانسفورماتور به اتوترانسفورماتور، کدام است؟ توان ظاهری بار در هر دو حالت یکسان $(S \neq 0)$ است.



در اینجا توان بار ثابت است اما جریان سیم پیچها ثابت نیست در نتیجه تلفات مسی تغییر می کند :

$$S_{Auto} = S_t \Rightarrow 600 J_1 = 480 I_1 \Rightarrow \frac{I_1}{J_1} = \frac{5}{4}$$

$$\frac{P_{cut}}{P_{cuAuto}} = (\frac{5}{4})^2 = \frac{25}{16}$$

مثال تالیفی(ترکیبی تغییر ولتاژ و تغییر ابعاد)

یک ترانسفورماتور تک فاز در حالت بی باری وقتی از منبع ۳ کیلوولت تغذیه می گردد، جریان $1+j2$ آمپر و توان ۱۰۰ وات از منبع دریافت می کند، اگر ابعاد ترانس در همه جهات ۲ برابر شود و ولتاژ ورودی ۱,۵ کیلوولت گردد، مقادیر توان و جریان چه مقداری می شود؟(مدار مغناطیسی خطی است.)

۱) $12.5W, 0.25+j0.5A$ ۲) $25W, 0.25+j0.5A$

۳) $12.5W, 0.5+j1A$ ۴) $25W, 0.5+j1A$

چون فقط ولتاژ تغییر کرده و فرکانس و تعداد دور ثابت هستند با نصف شدن ولتاژ، تلفات یک چهارم و جریان بی باری نصف می گردد:

$$P_{Fe} = \frac{1}{4}\times 100 = 25W$$

$$I_{o.c} = \frac{1}{2}(1+j2) = 0.5+j1(A)$$

چون ابعاد دوبرابر شده پس تلفات و جریان بی باری نصف می شود:

$$P_{Fe} = \frac{1}{2}\times 25 = 12.5W$$

$$I_{o.c} = \frac{1}{2}(0.5+j1) = 0.25+j0.5$$

مثال دکتری ۹۹(ترکیبی تغییر ولتاژ، فرکانس و ابعاد)

یک ترانسفورماتور تک فاز با ولتاژ $v = 3\cos 2\omega t$ تغذیه می شود و جریان بی باری آن به صورت $3+j4$ آمپر است. در صورتی که ابعادی هسته در هر سه جهت، دو برابر و تعداد دور سیم پیچ سه برابر و ولتاژ تغذیه ترانسفورماتور به صورت $v = 18\cos \omega t$ باشد، جریان بی باری کدام است؟ مشخصه هسته خطی فرض می شود و از امپدانس سری اولیه چشم پوشی می شود.

$$P_f = K_f f^2 B_m^2 = K_f f^2 (\frac{V_{rms}}{4.44NfA})^2 \Rightarrow \frac{P_{f1}}{P_{f2}} = (\frac{V_1}{V_2})^2 (\frac{N_2}{N_1})^2 = (\frac{3}{18})^2 (3)^2 \Rightarrow P_{f2} = 4P_{f1}$$

$$I_{C_2} = \frac{P_{Fe2}}{V_2} \Rightarrow I_{C_2} = \frac{4P_{Fe1}}{\frac{18}{3}V_1} = \frac{2}{3}I_{C_1}$$

$$\begin{cases} L_m = \dfrac{\mu N^2 A}{l} \Rightarrow \dfrac{L_{m2}}{L_{m1}} = (\dfrac{N_2}{N_1})^2 = 3^2 = 9 \\ I_m = \dfrac{E}{jL_m\omega} \Rightarrow \dfrac{I_{m2}}{I_{m1}} = \dfrac{E_2}{E_1}\dfrac{f_1}{f_2}\dfrac{L_{m1}}{L_{m2}} = \dfrac{18}{3}\times 2\times\dfrac{1}{9} = \dfrac{4}{3} \end{cases}$$

$$\Rightarrow I_{o.c2} = 3\times\frac{2}{3} + j4\times\frac{4}{3} = 2 + j\frac{16}{3}(A)$$

حالا تغییر ابعاد را اعمال می کنیم.

ابعاد دو برابر شده در نتیجه جریان بی باری نصف می شود:

$$I_{o.c2} = \frac{1}{2}(2 + j\frac{16}{3}) = 1 + j\frac{8}{3}(A)$$

صفحه ۸۶

مثال دکتری ۹۹(هارمونیکها)

در یک ترانسفورماتور تکفاز رابطه $\phi = 2i + i^3$ بین شار و جریان برقرار است. سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور با $i(t) = 2\cos\omega t$ تغذیه می شود و سیم پیچ ثانویه مدار باز است. ولتاژ القایی دو سر ثانویه چند هارمونیک دارد و دامنه بزرگترین هارمونیک غیر اصلی آن چند برابر هارمونیک اصلی است؟

$$\begin{cases} \phi = 2i + i^3 \\ i(t) = 2\cos\omega t \end{cases} \Rightarrow \phi = 4\cos\omega t + 8\cos^3\omega t$$

$$V_2 = -N_2\frac{d\phi}{dt} = -N_2(-4\omega\sin\omega t - 24\omega\sin\omega t\cos^2\omega t)$$

$$V_2 = N_2(4\omega\sin\omega t + 24\omega\sin\omega t\frac{(1+\cos 2\omega t)}{2})$$

$$V_2 = N_2((4\omega + 12\omega)\sin\omega t + 12\omega\sin\omega t\cos 2\omega t)$$

$$V_2 = N_2(16\omega\sin\omega t + 12\omega\times\frac{1}{2}(\sin 3\omega t - \sin\omega t))$$

$$V_2 = N_2(10\omega\sin\omega t + 6\omega\sin 3\omega t)$$

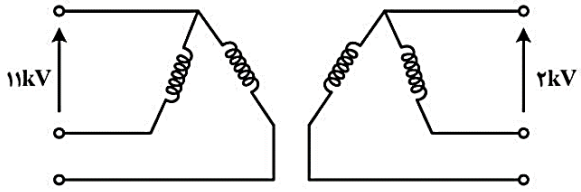
در نتیجه ولتاژ دارای دو هارمونیک است ودامنه هارمونیک بزرگ $\frac{3}{5}$ دامنه هارمونیک اصلی است.

صفحه ۹۲

مثال دکتری ۱۴۰۰(مثلث باز)

دو ترانسفورماتور تک فاز هرکدام دارای مقادیر اسمی $50Hz, \frac{11}{2}kV, 250kVA$ هستند. اولیه و ثانویه دو ترانسفورماتور مطابق شکل زیر بسته شده‌اند. اولیه آنها به یک منبع سه فاز ۱۱ کیلو ولت و ثانویه آن

ها به یک بار سه فاز ۲۵۰ کیلو ولت آمپر با ضریب توان ۰,۸ در ولتاژ ۲ کیلو ولت متصل است. جریان فاز در سمت ۱۱ کیلو ولت چند آمپر است؟



$$I_L = \frac{S_{load}}{\sqrt{3}V_L} = \frac{250}{\sqrt{3}\times 2}$$

$$VV-connection \Rightarrow I_L = I_{ph2} = \frac{250}{\sqrt{3}\times 2}$$

$$\frac{I_{ph1}}{I_{ph2}} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow \frac{I_{ph1}}{\frac{250}{\sqrt{3}\times 2}} = \frac{2}{11} \Rightarrow I_{ph1} = \frac{250\sqrt{3}}{33} = 13.12A$$

مثال دکتری ۹۹(موتور تغذیه دوگانه)

یک ماشین القایی سه فاز ۶ قطب از نوع روتور سیم پیچی شده مفروض است. استاتور این موتور از منبع ۶۰ هرتز و روتور آن نیز از منبع ۲۰ هرتز تغذیه می شود. در حالت بی باری، موتور چه سرعت و یا سرعت هایی(بر حسب دور بر دقیقه) می تواند داشته باشد؟ از تمامی تلفات موتور صرف نظر شود.

$$n_r = \pm\frac{120(f_1 \pm f_2)}{P} = \pm\frac{120(60\pm 20)}{6} = \pm 1600, \pm 800 rpm$$

مثال دکتری ۱۴۰۰(موتور تغذیه دوگانه)

از یک ماشین القایی روتور سیم پیچی شده ۴ قطب به عنوان تغییردهنده فرکانس استفاده می شود. استاتور این موتور از یک منبع سه فاز ۵۰ هرتز تغذیه می شود. باری به حلقه های لغزان روتور متصل است. سرعت های ممکن که در آنها روتور می تواند بار مزبور را در فرکانس ۲۵ هرتز تامین کند، چند دور بر دقیقه است؟

$$n_r = \pm\frac{120(f_1 \pm f_2)}{P} = \pm\frac{120(50\pm 25)}{4} = \pm 2250, \pm 750 rpm$$

مثال دکتری ۱۴۰۰(تعویض شدن توالی فازها)

یک موتور القایی سه فاز ۶ قطبی ۵۰ هرتز با لغزش ۲ درصد می چرخد. اگر توالی فاز سیم پیچ استاتور عوض شود، سرعت میدان مغناطیسی گردان نسبت به بدنه روتور، بلافاصله بعد از تعویض توالی فاز، چند دور بر دقیقه خواهد بود؟

$$n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120\times 50}{6} = 1000rpm$$
$$n_r = n_s(1-s) = 1000(1-0.02) = 980rpm$$
$$N = n_s + n_r = 1000 + 980 = 1980rpm$$

مثال دکتری ۹۹(ولتاژ القایی در روتور)

یک موتور القایی سه فاز ۶ قطب، ۵۰ هرتز با روتور سیم بندی شده از یک منبع ولتاژ سه فاز با ولتاژ خط $220\sqrt{3}$ تغذیه می‌شود. هر دو سیم پیچ روتور و استاتور آن به صورت ستاره بسته شده اند و نسبت دور بر فاز آن ها $\frac{N_s}{N_r} = 2$ است. این موتور در سرعت ۹۵۰ دور در دقیقه کار می کند. ولتاژ القا شده در هر فاز روتور، چند ولت است؟

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1000-950}{1000} = 0.05$$
$$\frac{E_{1_{ph}}}{E_{r_{ph}}} = \frac{N_1}{sN_2} = \frac{a}{s} \Rightarrow \frac{220}{E_{r_{ph}}} = \frac{2}{0.05} \Rightarrow E_{r_{ph}} = 5.5V$$

مثال دکتری ۱۴۰۰(حالات خاص راندمان)

در یک موتور القایی سه فاز که باری را در لغزش ۳٪ می چرخاند، تلفات اهمی استاتور و تلفات اهمی روتور با هم برابرند. با صرف‌نظر کردن از سایر تلفات، بازده موتور کدام است؟

$$\eta = \frac{1-s}{1+s} = \frac{1-0.03}{1+0.03} = \frac{97}{103}$$

مثال دکتری ۹۹(توازن توان در حالت روتور قفل شده)

یک موتور القایی سه فاز ۴ قطب ۵۰ هرتز در آزمایش روتور قفل شده ۳۰ کیلووات توان دریافت می‌کند. در این ماشین، مقاومت استاتور با مقاومت روتور انتقال یافته به استاتور برابر است. گشتاور راه اندازی موتور چند نیوتون متر است؟ از جریان تحریک ماشین در حالت روتور قفل شده چشم‌پوشی شود.

$$P_{Fe} \simeq 0$$
$$P_2 = P_{mech} = P_{conv} = 0$$
$$R_1 = R_2' \Rightarrow P_{cun} = P_{jrn}$$
$$P_1 = P_{BR} = P_{cun} + P_{jrn} = P_{jrn} + P_{jrn} = 30KW \Rightarrow P_{jrn} = 15KW$$
$$n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500rpm$$
$$T_{ag} = \frac{P_{ag}}{\omega_s} = \frac{60P_{ag}}{2\pi n_s} = \frac{60\frac{P_{jr}}{s}}{2\pi n_s} \Rightarrow T_s = \frac{60P_{jr}}{2\pi n_s} = \frac{60 \times 15000}{2\pi \times 1500} = \frac{300}{\pi} = 95.54N.m$$

صفحه ۱۳۰

مثال ارشد ۹۹(توازن توان.....)

یک موتور القایی سه فاز ۱۵ کیلو وات، ۴۰۰ ولت، ۴ قطب ۵۰ هرتز با اتصال ستاره زیر بار کامل با گشتاور الکترومغناطیسی ۱۰۰ نیوتن متر کار می کند. مقاومت هر فاز استاتور یک اهم است. جریان بی باری موتور ۸ آمپر، توان ورودی در حالت بی باری ۱,۵ کیلو وات و تلفات هسته ۸۰۸ وات است. سرعت موتور در بار کامل چند دور بر دقیقه است؟

$$P_{ag} = T_{ag}\omega_s = T_{ag}\frac{2\pi n_s}{60} = 100 \times \frac{2\pi \times 1500}{60} = 15707.5W$$
$$P_{NL} = P_{mech} + 808 + 3R_1I_{NL}^2 = P_{mech} + 808 + 3 \times 1 \times 1^2 \Rightarrow P_{mech} = 500W$$
$$P_{conv} = P_2 + P_{mech} = 15500W$$
$$P_{jr} = P_{ag} - P_{conv} = 202.5W$$

در نتیجه:

$$P_{jr} = sP_{ag} \Rightarrow s = 0.01289$$
$$n_r = n_s(1-s) = 1500(1-0.01289) = 1480rpm$$

مثال دکتری ۱۴۰۰(توازن توان در حالت بی باری)

یک موتور القایی ۵ اسب بخار، ۶ قطب، سه فاز، ۵۰ هرتز، در لغزش ۲,۲ درصد کار می کند. زمانی که موتور بار معمول خود را دارد، ۱۱,۵ آمپر جریان کشیده و توان ورودی آن ۳۵۰۰ وات است. وقتی ماشین بی بار کار می کند، ۴,۴ آمپر جریان کشیده و توان ورودی ۲۰۰ وات است. از تلفات مکانیکی و هسته چشم‌پوشی می شود، گشتاور خروجی موتور چند نیوتن متر است؟

در حالت بی باری:

$$P_1 = P_{cus} = 3R_1 I_1^2 \Rightarrow R_1 = \frac{200}{3\times 4.4^2} = 3.44\Omega$$

در حالت معمول بار:

$$P_{cus} = 3R_1 I_1^2 \Rightarrow P_{cus} = 3\times 3.44\times 11.5^2 = 1365W$$
$$P_{ag} = P_1 - P_{cus} = 3500 - 1365 = 2135W$$
$$P_{mec} = 0 \Rightarrow T_{ag} = T_{conv} = T_2 = \frac{60P_{ag}}{2\pi n_s} = \frac{60\times 2135}{2\pi\times 1000} = 20.39N.m$$

مثال ارشد ۱۴۰۰(توازن توان....)

یک موتور القایی قفس سنجابی ۸ قطبی، ۶۰ هرتز با اتصال مثلث مفروض است. مقاومت هر فاز استاتور، ۳ اهم است. در حالتی که سرعت نسبی میدان گردان استاتور و محور روتور $3\pi\frac{rad}{s}$ است، تلفات کل روتور یک کیلو وات و جریان فاز استاتور ۱۰ آمپر است. توان فاصله هوایی و توان کل ورودی به موتور به ترتیب (از راست به چپ) چند کیلووات هستند؟

$$\begin{cases} \omega_s - \omega_r = s\omega_s = 3\pi\frac{rad}{s} \\ n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120\times 60}{8} = 900rpm \Rightarrow \omega_s = \frac{2\pi n_s}{60} = 30\pi \end{cases} \Rightarrow s = 0.1$$
$$P_{jr} = sP_{ag} = 1KW \Rightarrow P_{ag} = 10KW$$
$$P_{cus} = 3R_1 I_1^2 = 3\times 3\times 10^2 = 900W$$

اگر از تلفات آهنی صرفنظر کنیم:

$$P_1 = P_{cus} + P_{ag} = 10.9KW$$

مثال ارشد ۱۴۰۰(آزمایش قفل روتور و گشتاور)

یک موتور القایی قفسه سنجابی سه فاز، ۴ قطب، ۵۰ هرتز، ۴۰۰ ولت (ولتاژ خط) با اتصال ستاره، در آزمایش روتور قفل با ولتاژ ۲۰۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتز جریان خط ۲۰ آمپر را از شبکه می کشد و توان اندازه گیری شده در این حالت ۸,۷ کیلو وات است. اگر مقاومت اندازه گیری شده از دو سر ترمینال استاتور ۲ اهم باشد، گشتاور راه اندازی موتور در شرایط تغذیه با ولتاژ و فرکانس نامی چند نیوتن متر است؟

$$\begin{cases} R_{BR}=\dfrac{P_{BR_{3\phi}}}{3I^2_{BR_{PH}}}=\dfrac{8700}{3\times 20^2}=7.25\Omega\approx R_1+R_2'\Rightarrow R_2'=R_{BR}-R_1=6.25\Omega \\ Z_{BR}=\dfrac{V_{BR_{PH}}}{I_{BR_{PH}}}=\dfrac{\frac{200}{\sqrt{3}}}{20}=\dfrac{10}{\sqrt{3}}\Omega \end{cases}$$

$$V_{th}=V_1=\frac{400}{\sqrt{3}}V$$

$$T_s=\frac{3}{\omega_s}R_2'\frac{{V_{th}}^2}{(R_{th}+R_2')^2+(X_{th}+X_2')^2}=\frac{3}{\omega_s}R_2'\frac{{V_{th}}^2}{Z_{BR}^2}=\frac{3}{50\pi}\times 6.25\times(\frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{\frac{10}{\sqrt{3}}})^2=\frac{600}{\pi}N.m$$

مثال تالیفی(لغزش در گشتاور و توان ماکزیمم)

در یک موتور القایی سه فاز ۴ قطب ۵۰ هرتز اگر امپدانس روتور $0.1+j0.15$ اهم در هر فاز باشد به ترتیب در چه لغزشی گشتاور ماکزیمم و توان ماکزیمم اتفاق می افتد؟(از امپدانس استاتور صرفنظر شود.)

۱)۰,۶۶ و ۰,۳۶ ۲)۰,۶۶و ۰,۵۶ ۳) ۰,۵۶و۰,۳۶ ۴)۰,۵۶و ۰,۵۶

$$s_m=\frac{R_2}{X_2}=\frac{0.1}{0.15}=\frac{2}{3}=0.667$$

$$s_{Pm}=\frac{s_m}{s_m+\sqrt{{s_m}^2+1}}=\frac{0.667}{0.667+\sqrt{0.667^2+1}}=0.36$$

سرعت را در هر دو حالت بیابید.

مثال دکتری ۹۹(شرط گشتاور ثابت)

یک موتور القایی سه فاز روتور سیم پیچی شده، ۶۰ هرتز، چهار قطبی یک بار با گشتاور ثابت را با سرعت ۱۷۱۰ دور بر دقیقه می چرخاند. مقاومت سیم پیچ روتور به ۵ برابر مقدار فعلی افزایش داده می شود. با فرض ثابت ماندن شار فاصله هوایی و $sX_2 \ll r_2$، سرعت موتور چند دور بر دقیقه می شود؟

$$s_1 = \frac{n_s - n_{r1}}{n_s} = \frac{1800-1710}{1800} = \frac{1}{20}$$

$$\frac{R_{2_1}}{s_1} = \frac{R_{2_2}}{s_2} \Rightarrow \frac{R_{2_1}}{s_1} = \frac{5R_{2_1}}{s_2} \Rightarrow s_2 = 5s_1 = 5\times\frac{1}{20} = \frac{1}{4} = 0.25$$

$$n_{r2} = n_s(1-s_2) = 1800(1-0.25) = 1350rpm$$

مثال دکتری ۹۹(نسبت تلفات اهمی و نسبت گشتاورها)

در یک موتور القایی سه فاز، تلفات اهمی روتور در گشتاور ماکزیمم ۵ برابر تلفات اهمی روتور در گشتاور بار کامل است. در این ماشین، گشتاور ماکزیمم چند برابر گشتاور نامی است؟ از امپدانس استاتور صرف نظر شود.

$$\left(\frac{P_{cur_{T\max}}}{P_{cur_n}} = \left(\frac{I_{T\max}}{I_n}\right)^2 = d = 5\right) \Rightarrow \frac{s_m}{s_n} = \sqrt{2d-1} = \sqrt{9} = 3 \Rightarrow s_m = 3s_n$$

$$\frac{T_n}{T_m} = \frac{2S_nS_m}{S_m{}^2 + S_n{}^2} \Rightarrow \frac{T_n}{T_m} = \frac{2S_nS_m}{S_m{}^2 + S_n{}^2} = \frac{2s_n(3s_n)}{(3s_n)^2 + s_n{}^2} = \frac{6}{10} \Rightarrow \frac{T_m}{T_n} = \frac{10}{6} = \frac{5}{3}$$

مثال دکتری ۱۴۰۰(راه اندازی ستاره مثلث و اتوترانس)

در یک موتور القایی در حالت روتور قفل شده، وقتی ولتاژ اسمی بدان اعمال می شود، جریان ۵ برابر جریان بار کامل و لغزش بار کامل ۴ درصد است. در راه اندازی با کلید ستاره مثلث و اتو ترانس با سر سیم های ۵۰ درصد، گشتاور راه اندازی به ترتیب (از راست به چپ) چند درصد گشتاور بار کامل است؟

در راه اندازی با اتوترانس:

$$\frac{T_s}{T_{FL}} = k^2\left(\frac{I_{sc}}{I_{FL}}\right)^2 s_{FL} = 0.5^2 \times 5^2 \times 0.04 = 0.25$$

در راه اندازی با روش ستاره مثلث:

$$\frac{T_s}{T_{FL}}=\frac{1}{3}\left(\frac{I_{sc}}{I_{FL}}\right)^2 \quad s_{FL}=\frac{1}{3}\times 5^2\times 0.04=0.33$$

غلطها و تغییرات

صفحه	خط	غلط	صحیح
۱۴	۸	$P_h=S_{loop}V_{core}f=(2.4\times200)\times(0.8\times10^{-4})\times50=48w$	$P_h=S_{loop}V_{core}f=(2.4\times200)\times(25\times10^{-4})\times(0.8\times10^{-4})\times50=48w$
۱۸	۱	5KVA,cosφ=0	5KVA,cosφ=0.8lag
۱۹	۳	$V_2=100v$	$V_3=100v$
۳۳	۲	تلفات ۱,۴۷	تلفات آهنی ۱,۴۷
۳۵	۸	$\begin{cases}P_{o.c}=P_{Fe}=720W\\P_{s.c}=P_{cun}=460.8W\end{cases}$	$\begin{cases}P_{o.c}=P_{Fe}=460.8W\\P_{s.c}=P_{cun}=720W\end{cases}$
۳۶	۹	***باید S_n,V_n,I_n (توان ظاهری نامی، ولتاژ نامی و جریان نامی) را به عدد "یک" تبدیل نمود.***	***باید S_n,V_n,I_n و a(توان ظاهری نامی، ولتاژ نامی و جریان نامی و نسبت تبدیل)را به عدد "یک" تبدیل نمود.***
۵۷	۵و۶	$\begin{cases}S_A=\frac{S_{nA}}{S_{nA}+S_{nB}+\dots}S_L\frac{Z_{eq_{P.U}}}{Z_{A_{P.U}}}\\S_B=\frac{S_{nB}}{S_{nA}+S_{nB}+\dots}S_L\frac{Z_{eq_{P.U}}}{Z_{B_{P.U}}}\\S_C=\frac{S_{nA}}{S_{nA}+S_{nB}+\dots}S_L\frac{Z_{eq_{P.U}}}{Z_{C_{P.U}}}\end{cases}$	$\begin{cases}S_A=\frac{S_{nA}}{S_{nA}+S_{nB}+\dots}S_L\frac{Z_{eq_{P.U}}}{Z_{A_{P.U}}}\\S_B=\frac{S_{nB}}{S_{nA}+S_{nB}+\dots}S_L\frac{Z_{eq_{P.U}}}{Z_{B_{P.U}}}\\S_C=\frac{S_{nC}}{S_{nA}+S_{nB}+\dots}S_L\frac{Z_{eq_{P.U}}}{Z_{C_{P.U}}}\end{cases}$
۵۸	۱۰	$\frac{S_{nA}\angle-36.8^\circ}{\vec{S}_B}$	$\frac{S_{nA}\angle+36.8^\circ}{\vec{S}_B}$
۵۸	۱۲	$\vec{S}_B=1.22S_{nA}\angle-28.54^\circ$	$\vec{S}_B=1.22S_{nA}\angle+28.54^\circ$
۷۷	۱۷	$\frac{V_1'}{220}=\frac{40}{50}$	$\frac{V_2'}{220}=\frac{40}{50}$
۹۲	۶	طبق نکته بالا	طبق نکته صفحات قبل
۹۲	۱۸	... به کار ببریم ابعاد ترانس چه تغییری می کند؟	... به کار ببریم تلفات ترانس چه تغییری می کند؟
۱۱۱	۱۹	$s=\frac{n_s+n_r}{n_s}=\frac{1800+750}{1800}$	$s=\frac{n_s+n_r}{n_s}=\frac{1800+720}{1800}$
۱۰۵	۵	$\frac{120\times50}{60}(1-0.033)$	$\frac{120\times50}{6}(1-0.033)$
۱۱۶	۸	$(sX_L-\frac{X_c'}{s})^2=1$	$(sX_L-\frac{X_c'}{s})^2=0$

۱۱۸	۲	یک موتور القایی ۲ قطب ۵۰ هرتز با اتصال مثلث	یک موتور القایی ۲ قطب ۵۰ هرتز و ۳۸۰ ولت با اتصال مثلث
۱۲۴	۱۱	با توجه به نمودار توازن توان و صفر بودن تلفات مسی و آهنی استاتور:	با توجه به نمودار توازن توان :
۱۲۴	۱۹	لرزش	لغزش
۱۲۷	آخر جدول	$s=0$	$s=1$
۱۵۲	آخر	$\Rightarrow (\frac{800}{960})^2 = \frac{0.2}{0.04}\frac{0.04+R_{ext}}{0.04}$	$\Rightarrow (\frac{960}{800})^2 = \frac{0.04}{0.2}\frac{0.04+R_{ext}}{0.04}$

جملات یا عباراتی که در ورژن جدید اضافه می شوند:

صفحه	بعد از خط	عبارت یا جمله
۲۹	۱۰	آیا همیشه کاهش تلفات مساوی با افزایش راندمان است؟
۳۰	۸	اگر آزمایش بی باری در ولتاژ نامی و آزمایش اتصال کوتاه در جریان نامی انجام نشود آنگاه: $\frac{P_{cu2}}{P_{cu1}}=(\frac{I_2}{I_1})^2=(\frac{S_2}{S_1})^2$ و $\frac{P_{Fe1}}{P_{Fe2}}=(\frac{V_1}{V_2})^2$
۴۱	۱۰	در محاسبه قدرت قطع کلیدها و وسایل حفاظتی لازم است تا جریان اتصال کوتاه دائم محاسبه گردد.
۴۲	۹	ولتاژ اتصال کوتاه در این مثال چند ولت است؟ جریان اتصال کوتاه چند پریونیت است؟
۵۷	۱۲	فرمول دیگر محاسبه به صورت زیر می باشد: $S_A=\frac{\frac{S_{nA}}{Z_{A_{P.U}}}}{\frac{S_{nA}}{Z_{A_{P.U}}}+\frac{S_{nB}}{Z_{B_{P.U}}}+...}S_L$
۹۲	آخر	۶-مفهوم heavy load , ligh load در ترانسفورماتورها چیست؟ ۷- یک پلاک ترانسفورماتور روغنی و یک پلاک ترانسفورماتور خشک را بررسی کنید. ۸- ترانس سیه فاز مثلث ۴ سیمه چیست؟ ۹- در مورد تاثیر هارمونیک روی جریان و شار و ولتاژ در اتصالهای ستاره، مثلث و زیگزاگ تحقیق کنید.
۱۰۳	۱۳	آیا می توان ژنراتور القایی مستقل از شبکه داشت؟

۱۱۱	۱۱	چرا باید سیم پیچ های استاتور نسبت به بدنه عایق شوند اما میله های روتور نیاز به عایق بندی ندارند؟
۱۱۹	۵	معمولا مقدار جریان راه اندازی بر روی پلاک موتورها با KVA CODE نمایش داده می شود. عبارتهای I_A / I_N ,FLA, LRA در پلاک موتورها هر کدام چه مفهومی دارند؟
۱۱۹	آخر	در حالتهای اورلود و اور دیزاین رابطه بین جریان حالت ستاره و مثلث چه تغییری می کند؟
۱۲۶	۹	$\eta = 1 - \frac{4s}{1+2s} = \frac{1-2s}{1+2s}$
۱۷۸	آخر	۷- چرا در موتورهای با قابلیت کار در دو حالت ستاره و مثلث، فقط یک توان و یک سرعت نوشته می شود؟ ۸-نقطه کار ماشینهای القایی، سنکرون ، دی سی و ترانس در کدام ناحیه(خطی، زانویی، اشباع) است؟ برای هر کدام جداگانه دلیل بیاورید. ۹- در درایوهای موتورهای القایی مفهوم speed search چه مفهومی دارد؟