

۵-۱ هدف آزمایش

در این آزمایش جریان راه اندازی موتور القایی قفس سنجابی سه فاز مشاهده می شود. سپس مشخصه گشتاور- سرعت این موتور به دست می آید. همچنین پارامترهای مدار معادل ماشین در این آزمایش محاسبه می شود.

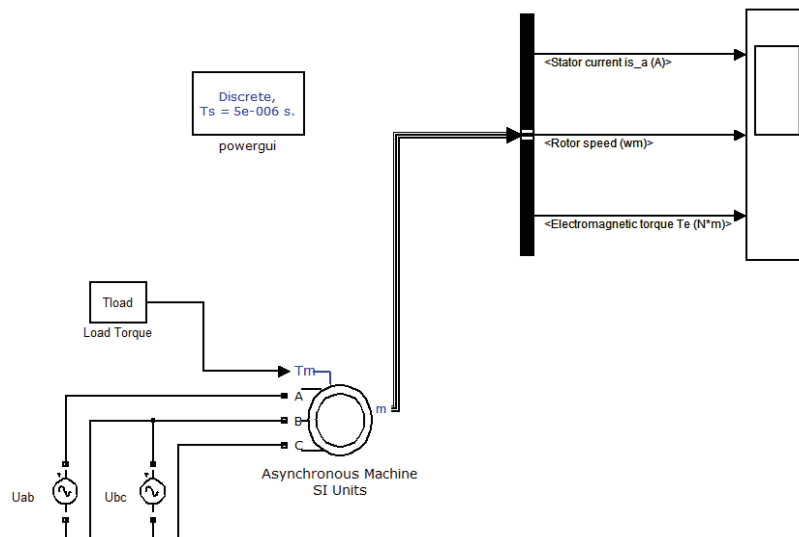
۵-۲ آماده سازی جهت آزمایش

- رابطه ولتاژ فاز و خط در اتصال ستاره و مثلث را با هم مقایسه نمایید.
- روشهای ممکن برای کاهش جریان راه اندازی را ذکر نموده اثر هر یک را در جریان و گشتاور راه اندازی ذکر نمایید.
- نسبت تقریبی جریان راه اندازی یک موتور را وقتی بصورت ستاره راه اندازی می شود به جریان راه اندازی همان موتور وقتی بصورت مثلث راه اندازی می شود محاسبه نمایید.
- مدار معادل موتور القایی را رسم کنید و در مورد پارامترها و نحوه اندازه گیری آنها توضیح دهید.
- مشخصه گشتاور- سرعت موتور القایی را رسم کنید. نواحی سه گانه کار ماشین القایی را مشخص کنید. با استفاده از مدار معادل در این نواحی توضیح دهید آیا ماشین میتواند در ناحیه ای توان راکتیو تولید کند؟
- با استفاده از رابطه توان فاصله هوایی و توان تبدیل شده با تلفات مسی در رتور، جهت انتقال توانهای مکانیکی و الکتریکی (در ورودی ماشین) را در حالت های موتوری، ژنراتوری و ترمزی نمایش دهید.
- بخش شبیه سازی را انجام دهید و نتایج آن را به همراه پیش گزارش تحویل نمایید.

۵-۳ شبیه سازی

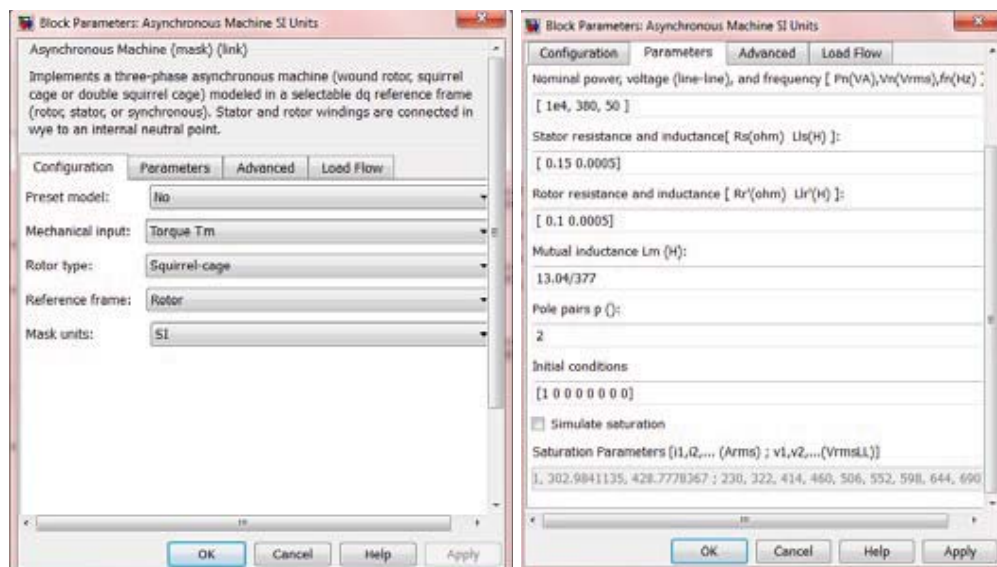
۵-۳-۱ راه اندازی موتور

برای شبیه سازی این قسمت مدل زیر را در یک فایل جدید Simulink ایجاد نمایید. موتور القایی را می توانید از کتابخانه SimPowerSystems/Machines/Asynchronous Machine SI Units انتخاب کنید. همچنین روش حل در بلوک PowerGUI را Discrete با زمان نمونه برداری $5e-6$ و در قسمت Configuration 5 Parameter، از منوی Tool نوع حل مساله را Discrete تعیین کنید.



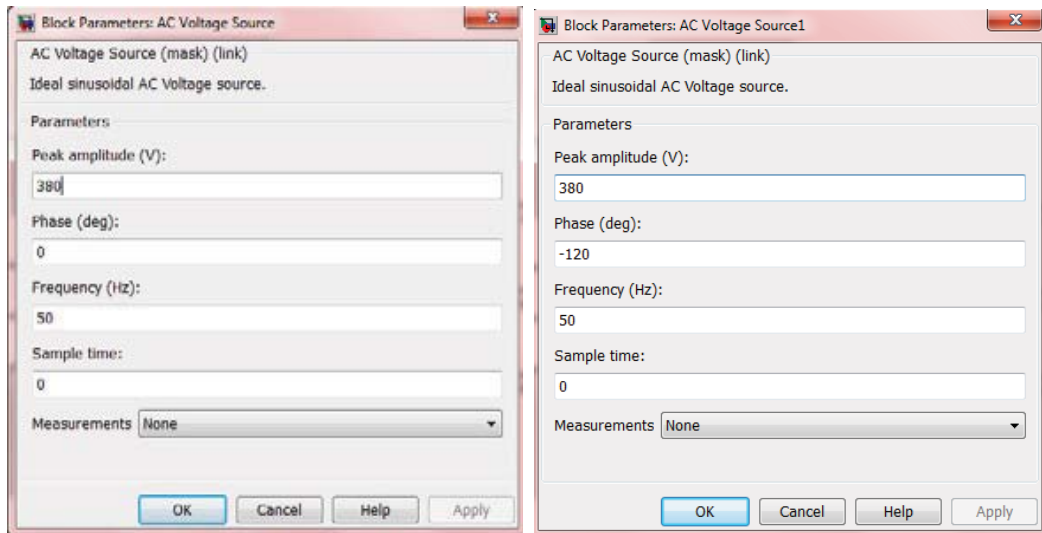
شکل ۱: راه اندازی موتور القایی قفس سنجابی

پارامترهای ماشین القایی را به صورت زیر تنظیم نمایید:



شکل ۲: پارامترهای موتور القایی قفس سنجابی

همچنین پارامترهای ولتاژهای ورودی موتور U_{ab} و U_{bc} را همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است، وارد کنید. دقت کنید که فاز ولتاژ U_{bc} ، 120° - درجه می باشد.



شکل ۳: پارامترهای منبع تغذیه

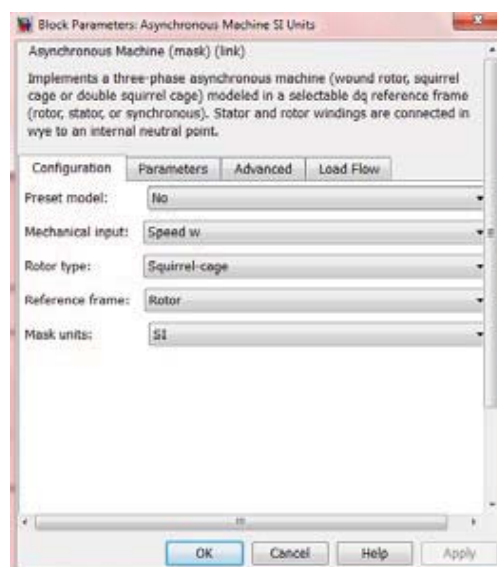
شبیه سازی را به صورت زیر انجام دهید:

۱. مقدار گشتاور ماشین را بر اساس توان و سرعت سنکرون محاسبه کرده و 50 درصد این مقدار را به عنوان ورودی گشتاور به ماشین القایی اعمال نمایید. مدل را اجرا کرده و جریان راه اندازی موتور را مشاهده و رسم نمایید. همچنین سرعت موتور در حالت دائمی را نیز مشخص کنید.

۲. شبیه سازی فوق را برای ورودی صفر گشتاور انجام داده نتایج را مشاهده و رسم نمایید.

۵-۳-۲ تعیین مشخصه سرعت-گشتاور

در این بخش از قسمت Configuration در مشخصات ماشین القایی Mechanical Input را از Torque Tm به SpeedW همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است، تغییر دهید.



شکل ۴: مشخصات ماشین القایی

برای شبیه سازی این قسمت سرعت موتور را که به عنوان ورودی تعیین شده است از $1500 \times 2\pi/60$ تا $3000 \times 2\pi/60$ تغییر داده و در هر مرحله گشتاور حالت ماندگار ماشین و جریان استاتور را مشخص نمایید.

نمودار گشتاور بر حسب سرعت و همچنین جریان استاتور بر حسب سرعت را در نواحی کاری مختلف رسم کنید. توجه داشته باشید در این قسمت با نزدیک شدن سرعت ماشین به صفر، گشتاور حالت گذرا نوسانی بوده و برای مشاهده گشتاور حالت پایدار باید زمان شبیه سازی را بیشتر کرد.

۵-۳-۳ استخراج پارامترهای موتور

شبیه سازی را در حالت بی باری، انجام دهید. سرعت بی باری، جریان بی باری و رابطه آن با جریان نامی، ضریب توان و توان بی باری را یادداشت کنید. سپس حالت رتور قفل شده را نیز شبیه سازی نمایید. در این حالت یک بار شبیه سازی را با ولتاژ نامی، انجام دهید و بار دیگر ولتاژی را اعمال کنید که جریان استاتور موتور نامی شود و مشخصات اتصال کوتاه موتور را یادداشت کنید. درمورد تفاوت مقدار جریان وقتی موتور با ولتاژ نامی و ولتاژ کاهش یافته تغذیه می شود، توضیح دهید.

در نهایت با استفاده از نتایج دو آزمون پارامترهای مدار معادل را محاسبه و با پارامترهای اولیه موتور مقایسه نمایید.

۴-۵ تئوری آزمایش

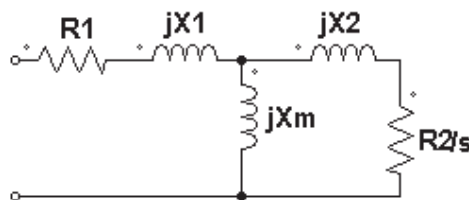
در موتور القایی سه فاز قفس سنجابی، بر روی استاتور سه سیم پیچ قرار گرفته که ۱۲۰ درجه با هم اختلاف فاز دارند. اگر به این سه سیم پیچ یک دسته جریان سه فاز اعمال شود میدان گردانی در فاصله هوایی ایجاد می شود که با سرعت متناسب با فرکانس جریان اعمالی می چرخد. رتور اینگونه موتورها از شیارهای اتصال کوتاه شده تشکیل شده است که به صورت قفس سنجاب می باشد. میله های رتور تغییرات میدان چرخان را دیده و با توجه به قانون فارادی در آنها ولتاژ القا می شود و چون اتصال کوتاه شده اند جریانی در آنها به وجود می آید که طبق قانون لنز می خواهد عامل به وجود آورنده خود را تضعیف کند. لذا میدان ناشی از این جریان نیز میدان گردانی می شود که با سرعت میدان گردان استاتور حرکت می کند. بدین ترتیب گشتاور تولید می شود و رتور را در جهت میدان چرخان استاتور به حرکت در می آورد (اگر گشتاور تولیدی از گشتاور بار بیشتر باشد).

اختلاف سرعت رتور و سرعت میدان چرخان استاتور را با لغزش بیان می کنند به طوری که:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

در هنگام راه اندازی که رتور در حالت سکون است مقدار لغزش ۱ و در سرعت نامی لغزش در نزدیکی صفر خواهد بود ولی هیچوقت صفر نمی شود زیرا در این صورت رتور میدان چرخان استاتور را ساکن دیده و در آن ولتاژ القا نمی شود.

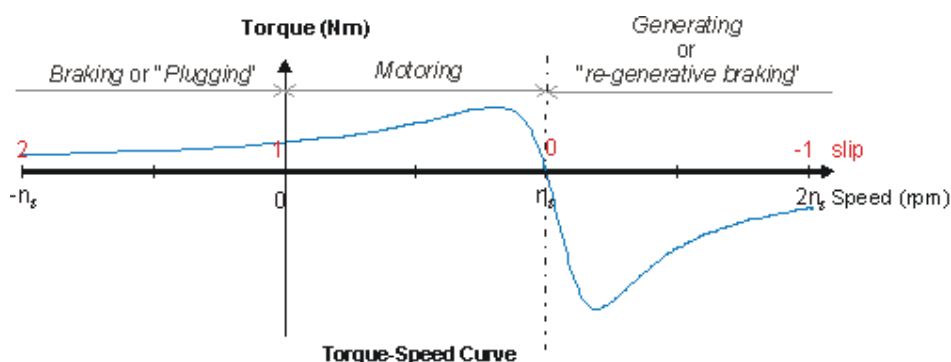
در شکل زیر مدار معادل موتور القایی شامل مقاومت و راکتانس نشتی استاتور، شاخه موازی مدل کننده تلفات هسته و اندوکتانس مدار مغناطیسی، مقاومت و راکتانس نشتی رتور نشان داده شده است.



شکل ۵: مدار معادل ماشین القایی

جریان استاتور از تقسیم ولتاژ آن بر امپدانس مدار معادل حاصل می‌شود. در راهاندازی میزان لغزش بزرگ بوده و مقاومت رتور کوچک می‌باشد و لذا جریان راهاندازی موتورهای القایی معمولاً زیاد می‌باشد.

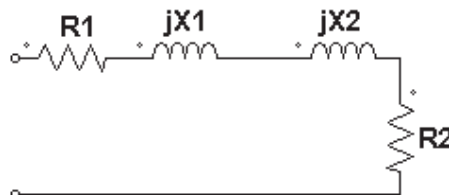
برای تعیین گشتاور در لغزش‌های مختلف باید توان عبوری از فاصله هوایی را بر سرعت زاویه‌ای سنکرون تقسیم نماییم. در این صورت مشخصه گشتاور - سرعت موتور القایی به صورت شکل ۶ خواهد بود.



شکل ۶: منحنی گشتاور-سرعت موتور القایی

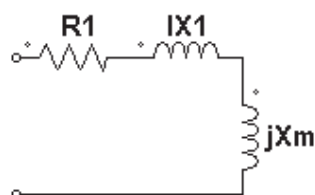
در منحنی گشتاور-سرعت فوق، نواحی کار موتوری، ژنراتوری و ترمزی مشخص شده اند. اگر گشتاوری به محور ماشین القایی وارد شود به نحوی که سرعت ماشین به سرعت بیشتر از سرعت سنکرون رسانده شود، ماشین القایی در حالت ژنراتوری کار میکند. برای سرعت‌های کمتر از صفر (دور معکوس)، ماشین القایی در حالت ترمزی کار خواهد کرد.

برای بدست آوردن پارامترهای مدار معادل ماشین القایی از سه آزمایش رتور قفل شده، بی باری و تعیین مقاومت dc استفاده می‌شود. در آزمایش رتور قفل شده، رتور ماشین ثابت نگه داشته میشود و با اعمال ولتاژ، سعی میشود جریان نامی در استاتور تولید شود. در این حالت $s=1$ و با صرف نظر کردن از شاخه موازی مدار معادل به صورت زیر در خواهد آمد:



شکل ۷: مدار معادل در حالت آزمایش رتور قفل شده

در این حالت جریان، ولتاژ و توان ورودی موتور اندازه گیری می شوند. در آزمایش بی باری، موتور بدون بار مکانیکی کار میکند و جریان، ولتاژ و توان ورودی مجدداً اندازه گیری میشوند. در این حالت سرعت ماشین نزدیک سرعت سنکرون و بنابراین $s \approx 0$ است. مدار معادل ماشین در این حالت به شکل زیر در می آید. لازم به ذکر است که در این حالت، مقاومت اندازه گیری شده علاوه بر مقاومت استاتور، معرف تلفات چرخشی نیز خواهد بود.



شکل ۸: مدار معادل در حالت آزمایش بی باری

با در نظر گرفتن مجموعه تلفات آهن و تلفات مکانیکی بی باری به عنوان تلفات چرخشی، با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده در این آزمایش ها و با توجه به مدار معادل در هر حالت، میتوان پارامترهای ماشین القایی و کمیت تلفات چرخشی را محاسبه کرد. مقاومت استاتور را می توان با اندازه گیری مقاومت DC سیم پیچ با اعمال ولتاژ DC و اندازه گیری جریان، اندازه گیری نمود.

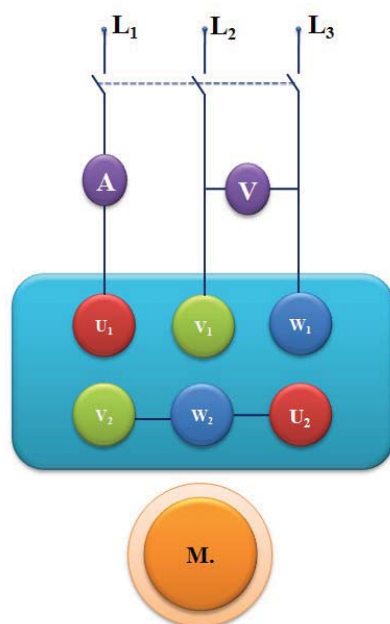
۵-۵ انجام آزمایش

ابتدا پارامترهای ماشین را در جدول زیر یادداشت نمایید. به رابطه ولتاژهای نامی در اتصال ستاره و مثلث دقت کنید.

توان نامی	ولتاژ نامی Y	ولتاژ نامی D	جریان نامی Y	جریان نامی D	سرعت نامی	ضریب توان

۵-۵-۱ راه اندازی موتور با اتصال ستاره

موتور را در اتصال ستاره براساس شکل زیر وصل کنید.



شکل ۹: مدار مربوط به راه اندازی در حالت ستاره

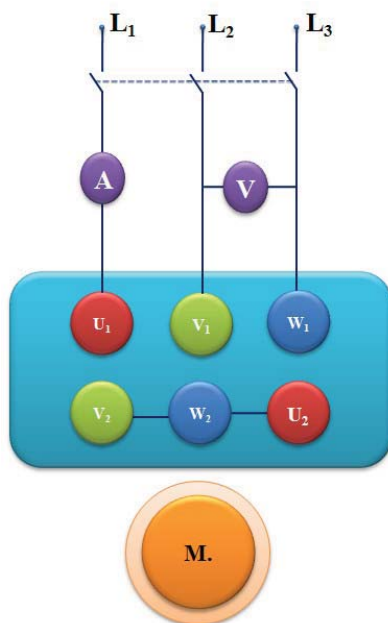
گشتاور نامی را از داده های پلاک موتور و با استفاده از رابطه $T = \frac{P_n}{2\pi n / 60}$ که در آن P_n توان نامی بر حسب وات و n سرعت بر حسب دور در دقیقه است، تعیین کنید. گشتاور سروموتور را برابر ۵۰ درصد این مقدار تنظیم کنید. برای این منظور لازم است سرو را در مود pc راه اندازی کرده و در مود manual، کنترل گشتاور را انتخاب کنید. اتصال بین محور موتور القایی و بار مکانیکی (سروموتور) را برقرار نمایید. کلید manual را فشار دهید و گشتاور مورد نظر را وارد کنید. سپس کلید Continuous را فشار دهید. برای اندازه گیری و ترسیم جریان موتور، از آمپر متر موجود روی تابلوی کنترل سرو استفاده کنید. از قسمت new graph، یک نمودار جدید بسازید. در محور افقی، زمان و در محور عمودی جریان استاتور و سرعت را مشاهده کنید. به محض اینکه علامت ضربدر روی صفر قرار گرفت، موتور را راه اندازی کرده و جریان راه اندازی I_{AY} در اتصال ستاره را را مشاهده و ترسیم کنید.

زمان شتاب گیری t_y را نیز در اتصال ستاره اندازه گیری نمایید. همچنین، سرعت موتور را در حالت دائمی یادداشت نمایید.

آزمایش های فوق را یک بار دیگر برای گشتاور صفر تکرار کنید و نتایج را با حالت قبلی مقایسه کنید و توضیح دهید.

۵-۵-۲ تعیین مشخصه گشتاور- سرعت موتور القایی قفس سنجابی در اتصال ستاره

اتصالات را براساس شکل زیر وصل کنید.



شکل ۱۰: مدار مربوط به آزمایش مشخصه گشتاور- سرعت

برای اندازه گیری توان و ضریب توان از ولت متر و آمپر متر کنترل سرو استفاده نمایید). جهت تعیین مشخصه گشتاور سرعت، مجدداً مود pc را انتخاب کنید. در این مرحله هدف این است که سرعت را از بالاتر از سرعت سنکرون تا سرعت منفی تغییر دهیم و منحنی گشتاور، بازده و جریان استاتور بر حسب سرعت موتور را مشاهده نماییم. نمودار جدیدی باز کنید. موتور القایی را به شبکه متصل کنید، دقت کنید که جهت چرخش موتور با جهت مثبت سرو یکسان باشد. سپس در این حالت، پارامترهای کنترل سرعت سرو را مشابه شکل ۷ تنظیم کنید تا در زمان آزمایش موتور در ۵ ثانیه به سرعت ۱۵۵۰ و سپس در ۳۰ ثانیه به سرعت ۵۰- برسد. منحنی های بدست آمده را مشاهده و تفسیر کنید.

شکل ۱۱: تنظیم کنترل سرعت برای بدست آوردن منحنی گشتاور-سرعت

۵-۶ تعیین پارامترهای مدار معادل موتور القایی

برای تعیین پارامترهای مدار معادل موتور القایی، می‌توان از آزمایش های رتور قفل شده، بی باری و تست DC استفاده کرد.

۵-۶-۱ آزمایش بی باری

مدار شکل ۱۰ را با استفاده از منبع تغذیه سه فاز متغیر ببندید. ولتاژ منبع تغذیه را به تدریج تا ولتاژ نامی افزایش دهید. از کنترل دستی سرو موتور در مود pc، گشتاور را روی صفر ثابت کنید و مقادیر ولتاژ، جریان و توان الکتریکی موتور القایی را اندازه گیری نمایید.

۵-۶-۲ آزمایش رتور قفل

در این قسمت باید با استفاده مشخصه جریان-سرعت که قبلاً بدست آورده اید، ولتاژ مناسب برای داشتن جریان نامی را در حالت رتور قفل شده محاسبه نموده به ماشین اعمال نمایید. برای این منظور

از کنترل سرعت سرو موتور در مود PC، سرعت را روی صفر ثابت کنید (آزمایش رتور قفل شده). سپس ولتاژ منبع ولتاژ متغیر را به آهستگی افزایش دهید تا جریان استاتور برابر مقدار نامی شود. توجه کنید که ولتاژ لازم برای انجام این آزمایش کم است. مقادیر جریان، توان و ولتاژ را در این حالت نیز اندازه گیری نمایید.

۵-۶-۳ تست DC

برای بدست آوردن مدار معادل به مقاومت استاتور نیز نیاز خواهید داشت. برای اندازه گیری مقاومت استاتور ترمینالهای سه فاز را دو به دو به ولتاژ DC منبع تغذیه قابل کنترل، متصل و جریان را اندازه گیری نمایید. با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده، پارامترهای مدار معادل را محاسبه کنید (موتور را یکبار کلاس A و بار دیگر کلاس B فرض نمایید).

۵-۷ پرسش و محاسبه

۱- آیا موتور موجود را می توان با شبکه سه فاز 380V با اتصال مثلث راه اندازی نمود؟ توضیح دهید.

۲- جریان بی باری موتور را با جریان نامی آن مقایسه نمایید. چرا این نسبت خیلی کوچک نمی باشد؟

۳- فکر می کنید که جریان راه اندازی زیاد چه تاثیری می تواند بر روی منبع تغذیه داشته باشد؟
۴- با توجه به منحنی بازده اندازه گیری شده بر حسب سرعت، بازده در چه سرعتی حداکثر است؟ چه نتیجه ای از این قسمت می گیرید؟

۵- با استفاده از پارامترهای بدست آمده، موتور القایی را شبیه سازی کنید و منحنی گشتاور-سرعت آن را با منحنی ای که در این آزمایش بدست آوردید مقایسه کنید. (موتور را یک بار کلاس A و بار دیگر کلاس B فرض نمایید)