



DEGHATAZMA Co.
Engineering Education
www.deghatazma.com

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشگاه قم

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

دستور کار

آزمایشگاه دینامیک و ارتعاشات

محمد رسول نجفی

مهر ۹۳

فهرست:

فهرست:	۲
مقدمه	۳
آزمایش (۱) نیروی گریز از مرکز	۵
آزمایش (۲) گاورنر	۸
آزمایش (۳) بادامک و پیرو	۱۲
آزمایش (۴) بالانس جریمهای چرخان	۱۷
آزمایش (۵) چرخندها	۲۱
آزمایش (۶) ژيروسکوپ	۲۶
آزمایش (۷) تست ارتعاشات	۳۰
آزمایش (۸) ارتعاشات پیچشی	۳۵
آزمایش (۹) یاتاقان ژورنال	۴۰
آزمایش (۱۰) نیروی کوریولیس	۴۲

مقدمه

این مجموعه شامل دستور کار، جهت انجام آزمایشهای مربوط به درس «آزمایشگاه دینامیک و ارتعاشات» در دوره کارشناسی مهندسی مکانیک است. مطالب که به اختصار ذکر شده به منظور کمک به دانشجویان در برگزاری منظم درس، یادآوری تئوری و روش کار، و تدوین گزارشها به صورت یکسان فراهم شده است. از شرکت دقت آزما، تولید کننده تجهیزات آموزش مهندسی مورد استفاده در این درس تشکر و قدردانی می‌گردد.

روش کار در آزمایشگاه

- ۱- ظرفیت هر کلاس ۱۲ نفر است که به صورت ۳ گروه چهار نفری در جلسه اول گروه‌بندی می‌شوند.
- ۲- جابجایی در گروهها و کلاسها ممنوع است.
- ۳- حضور در تمام جلسات الزامی است و یک جلسه غیبت موجب حذف درس خواهد شد.
- ۴- آزمایشگاه از هفته سوم ترم، شروع و تا هفته چهاردهم ادامه خواهد داشت.
- ۵- زمان‌بندی هر جلسه به صورت زیر است:

۵ دقیقه	حضور و غیاب و تعیین آزمایشها
۴۵ دقیقه	شرح آزمایش توسط استاد یا کارشناس آزمایشگاه
۶۰ دقیقه	انجام آزمایش
۱۰ دقیقه	مرتب کردن وسایل
- ۶- در هر جلسه فرم نتایج (داده‌های خام) توسط هر گروه، کامل شده و به امضای مدرس می‌رسد. این فرم در زمان ارائه گزارش، به همراه آن، تحویل می‌گردد.
- ۷- تمام دانشجویان در حفظ وسایل آزمایشگاه مسئول می‌باشند.
- ۸- رعایت نکات ایمنی هنگام انجام آزمایشها الزامی است.
- ۹- ارزشیابی در این درس به صورت زیر است:

۵ نمره	حضور منظم و انجام کار گروهی
۱۰ نمره	گزارشها
۵ نمره	امتحان کتبی
نمره فوق العاده	پروژه

تهیه گزارش

برای ایجاد ساختار مناسب و یکسان در تدوین و ارائه گزارشها، رعایت نکات زیر الزامی است:

- ۱- تحویل هر گزارش به صورت پرینت دورو در کاغذ A4 می‌باشد.
- ۲- هر گزارش شامل مطالب زیر است:
 - صفحه عنوان: شامل آرم دانشگاه، نام دانشکده و گروه، عنوان آزمایش، نام اعضای گروه و تاریخ (مطابق نمونه)
 - هدف آزمایش
 - چکیده: شامل بیان مختصر روش رسیدن به هدف از راه انجام آزمایش مورد نظر در حد چند سطر

- تئوری آزمایش: شامل قوانین، اصول و روابط حاکم مربوط به آزمایش
 - روش کار: شامل شرح مراحل انجام آزمایش و کار با وسایل
 - نتایج: شامل فرم نتایج امضا شده، کمیته‌های محاسبه شده، جداول و نمودارها
 - نتیجه گیری: شامل بحث روی نتایج و مقایسه داده‌ها، توضیح علل خطا و پاسخ به سؤالات
 - ضمیمه: ذکر منابع و مآخذ استفاده شده در صورت نیاز
- ۳- گزارش هر آزمایش باید توسط هر گروه مطابق با فرمت خواسته شده، آماده گردیده و در زمان مقرر تحویل گردد.
- ۴- در صورت تأخیر در تحویل گزارش نمره قابل توجهی از آن کسر خواهد شد.

بسمه تعالی



دانشگاه قزوین

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

گزارش آزمایشگاه مقاومت مصالح

آزمایش پیچش الاستیک

نستاد:

محمد رسول نجفی

توسط:

(گروه شماره ۱)

۸۹۱۰۰۰۰۲۳	محمد امین رضایی
۸۹۱۰۰۰۰۴۱	امید باقری
۸۹۱۰۰۰۰۴۷	حامد رنجبر

آبان ۹۱

شکل ۰-۱) نمونه صفحه عنوان

آزمایش (۱) نیروی گریز از مرکز

هدف

- اندازه‌گیری نیروی گریز از مرکز وارد بر اجرام چرخان
- رابطه نیروی گریز از مرکز با سرعت دوران
- مقایسه مقادیر تئوری و آزمایشی

تئوری

یکی از نیروهای مهم وارد بر اجسام چرخان، نیروی گریز از مرکز است. این نیرو به صورت یک نیروی توزیع شده جسمی ($Body$ $Force$) است که از دید ناظر چرخان (غیر لخت) وجود دارد و تمایل دارد جسم را در جهت شعاع به سمت بیرون پرتاب کند. نیروی گریز از مرکز از رابطه

$$F = mr\omega^2 \quad (1-1)$$

قابل محاسبه است که در آن، m جرم جسم چرخان، r شعاع مرکز جرم جسم و ω سرعت زاویه‌ای چرخش است. بنا بر این، نیروی گریز از مرکز با توان دوم سرعت رابطه مستقیم دارد و در سیستمهای چرخان می‌تواند باعث ایجاد نیروهای بزرگ، تنش، ضربه و یا شکست شود.

شرح دستگاه

شکل ۱-۱ دستگاهی برای اندازه‌گیری نیروی گریز از مرکز را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱) دستگاه نیروی گریز از مرکز

۱- کلید روشن/خاموش، ۲- نمایشگر نیرو، ۳- کنترل دور، ۴- نمایشگر سرعت،
۵- محفظه، ۶- تیر چرخان، ۷- لغزنده و وزنه‌ها، ۸- وزنه تعادل

این دستگاه شامل یک تیر است که توسط یک الکتروموتور دوران می‌کند. دور موتور توسط کنترلر دیجیتال قابل تنظیم است. روی تیر چرخان، یک لغزنده قرار دارد که تعدادی وزنه با جرمهای مختلف روی آن قابل نصب هستند. انتهای دیگر تیر یک وزنه جهت ایجاد تعادل نصب شده است. لغزنده توسط یک کابل مهار شده که یک سر آن به لودسل در مرکز دستگاه متصل است. نیروی گریز از مرکز وارد بر مجموعه‌ی لغزنده و وزنه‌ها از طریق اندازه‌گیری نیروی کشش کابل، توسط لودسل قابل سنجش است.

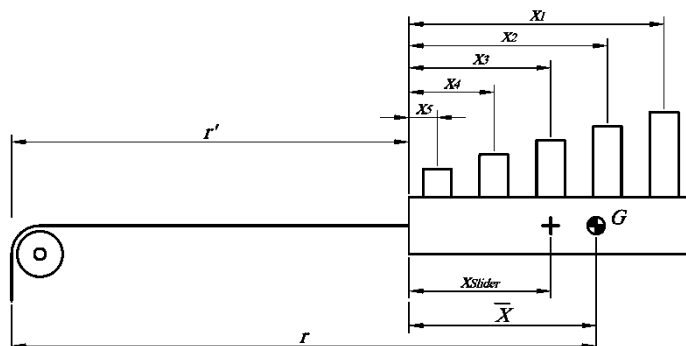
مراحل کار

- ۱- ابتدا وزنه یا وزنه‌های مورد نظر را بر روی پایه لغزنده نصب کنید.
 - ۲- جرم وزنه‌ها را در جدول ۱-۱ ثبت کنید.
 - ۳- پس از اتصال دستگاه به جریان برق شهر، توسط کلید "روشن/خاموش"، دستگاه را روشن کنید.
 - ۴- قبل از شروع تست، با فشردن کلید صفر نمایشگر نیرو، مقدار نیرو را صفر کنید.
 - ۵- به وسیله پیچ کنترل دور، دور موتور را در سرعت‌های مختلف قرار دهید و مقدار سرعت زاویه‌ای و مقادیر نیروی گریز از مرکز (ماکزیمم و مینیمم) مربوط به هر سرعت را در جدول ۱-۲ ثبت کنید.
- توجه:
- ۱- نمایشگر سرعت، سرعت زاویه‌ای را بر حسب rpm (دور بر دقیقه) نمایش می‌دهد.
 - ۲- نمایشگر نیرو، دو عدد ماکزیمم و مینیمم نیرو را بر حسب gf (گرم نیرو) نمایش می‌دهد که باید از آنها میانگین گرفته شده و برای مقایسه با مقدار تئوری، به N (نیوتن) تبدیل شود.

خواسته‌های آزمایش و پرسشها

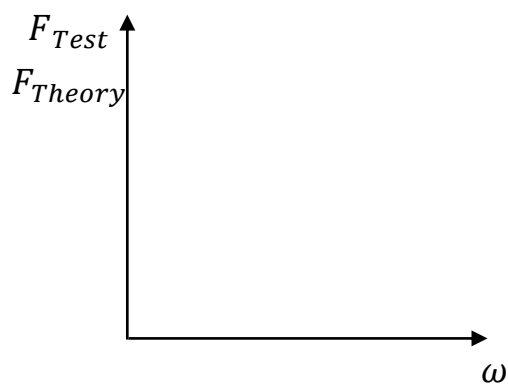
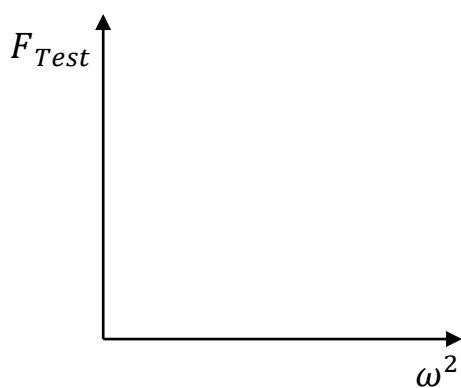
- ۱- نمودار نیروی گریز از مرکز حاصل از آزمایش را بر حسب ω^2 رسم کنید و رابطه نیروی گریز از مرکز را با سرعت زاویه‌ای بیان کنید.
- ۲- دو منحنی نیروی گریز از مرکز حاصل از تست و تئوری را در یک نمودار، رسم و با هم مقایسه کنید.
- ۳- دلایل احتمالی اختلاف نتایج تست با تئوری را ذکر کنید.
- ۴- برای افزایش دقت دستگاه چه اقداماتی را پیشنهاد می‌کنید؟

تاریخ:	۲- ۴-	۱- ۳-	اعضای گروه:	گروه:
--------	----------	----------	-------------	-------



<i>Weight No.</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>Slider</i>
<i>x(cm)</i>	<i>12.9</i>	<i>10.4</i>	<i>7.9</i>	<i>5.4</i>	<i>2.8</i>	<i>7.5</i>
<i>m(qr)</i>						<i>664</i>

$\omega(rpm)$	$F_{min}(gr)$	$F_{max}(gr)$	$F_{Test} = \frac{F_{min} + F_{max}}{2}$	$F_{Theory} = mr\omega^2$	%Error
80					
100					
120					
140					
160					
180					



آزمایش (۲) گاورنر

هدف

- آشنایی با نحوه کار گاورنرها در اندازه‌گیری و کنترل سرعت
- محاسبه خطای گاورنر و مقایسه مقادیر تست و تئوری
- مطالعه حساسیت و پایداری گاورنر

تئوری

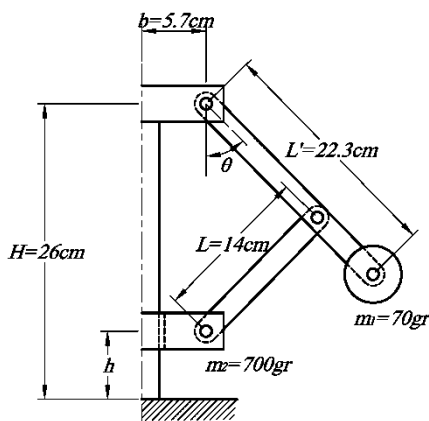
گاورنر وسیله‌ای است که سرعت یک موتور را با وجود تغییرات بار روی آن، یکنواخت نگاه می‌دارد. یک گاورنر با کنترل سوخت رسانی به موتور می‌تواند از کارکردن خیلی سریع یا خیلی آهسته آن جلوگیری کند. بعضی از انواع گاورنر بر اساس نیروی گریز از مرکز ایجاد شده توسط موتور کار می‌کنند. با زیاد شدن سرعت دوران شفت، نیروی گریز از مرکز وارد بر وزنه‌ها باعث بالا رفتن یک طوقه می‌شود که از آن می‌توان برای کنترل دریچه سوخت استفاده نمود. حرکت طوقه توسط نیروی وزن طوقه یا فنر پایدار می‌شود. در اینجا به شرح دو نوع گاورنر پورتر و پروئل پرداخته می‌شود.

شرح دستگاه

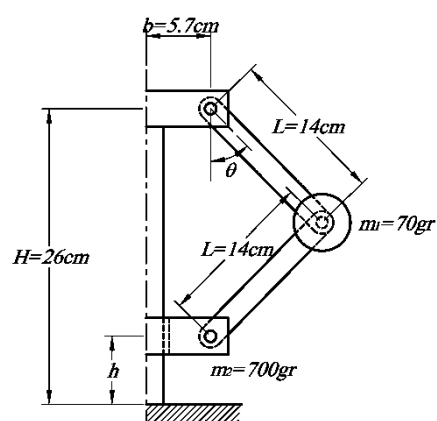
شکل (۱-۲) دستگاه گاورنر را نشان می‌دهد که شامل دو گاورنر پورتر و پروئل است. هر گاورنر به صورت مجزا، به یک موتور محرک با قابلیت تغییر دور کوپل شده است. سرعت دوران هر یک از گاورنرها به وسیله ولوم کنترل دور مربوطه، تنظیم شده و توسط نمایشگر دیجیتال نمایش داده می‌شود. جرم بازو و اهرم در مقابل جرم وزنه‌ها ناچیز فرض می‌شود. مقدار جابجایی طوقه گاورنرها توسط شاخص اندازه‌گیری طول، اندازه‌گیری می‌شود. ابعاد اصلی گاورنرها مطابق شکل (۲-۲) است.



شکل (۱-۲) دستگاه گاورنر



ب) گاورنر پروئل



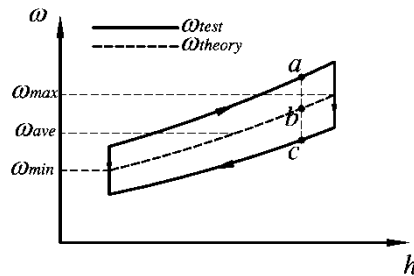
الف) گاورنر پورتر

شکل (۲-۲) ابعاد و مشخصات گاورنرها

با اندازه گیری ارتفاع h طوقه می توان سرعت زاویه ای چرخش گاورنر را محاسبه نمود. با صرف نظر کردن از اصطکاک و جرم بازوها روابط زیر برای محاسبه سرعت زاویه ای به دست می آیند:

$$\begin{aligned}\theta &= \arccos\left(\frac{H-h}{2L}\right) \\ r &= b + L' \sin \theta \\ \omega &= \sqrt{\frac{g \tan \theta (m_1 + m_2 \frac{L}{L'})}{m_1 r}}\end{aligned}\quad (1-2)$$

با وجود شرایط واقعی، رفتار طوقه گاورنر در افزایش و کاهش سرعت با مقدار تئوری فوق متفاوت و شبیه شکل زیر است:



شکل ۲-۳) نمودار سرعت بر حسب ارتفاع طوقه در رفت و برگشت

حساسیت گاورنر

تعاریف مختلفی برای حساسیت گاورنر گفته شده است. حساسیت گاورنر در یک نقطه را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$S = \frac{dh/h}{d\omega/\omega} = \frac{dh}{d\omega} \frac{\omega}{h} \quad (2-2)$$

حساسیت کلی گاورنر به صورت زیر تعریف می شود:

$$S = \frac{\omega_{ave}}{\omega_{max} - \omega_{min}} \quad (3-2)$$

ضریب عدم حساسیت گاورنر در یک نقطه مانند b عبارت است از:

$$C_{ins} = \frac{\omega_a - \omega_c}{\omega_b} \quad (4-2)$$

پایداری گاورنر

گاورنر را پایدار گویند اگر برای هر سرعت، یک شعاع چرخش برای وزنه ها و در نتیجه یک ارتفاع برای طوقه وجود داشته باشد، یعنی در یک سرعت مشخص، گاورنر در یک وضعیت پایدار بماند. در غیر این صورت موتور دچار نوسان سرعت خواهد شد. برای پایداری گاورنر باید رشد نسبی نیروی باز گرداننده از رشد نسبی شعاع چرخش وزنه ها بیشتر باشد. یعنی:

$$\frac{dF}{F} > \frac{dr}{r} \quad (5-2)$$

مراحل کار

تست اول) گاورنر پورتر:

- ۱- دستگاه را روشن کنید.
- ۲- پیچ ولوم دور را مقداری بچرخانید تا حرکت گاورنر آغاز شود.
- ۳- دور دستگاه را افزایش داده و در سرعت های مختلف، میزان ارتفاع طوقه و سرعت مربوط را در جدول ثبت کنید. (توجه: سرعت را از حدود $120rpm$ تا حدود $220rpm$ تغییر دهید. روند افزایشی سرعت را حفظ کنید و آن را کند نکنید.)
- ۴- دور دستگاه را کاهش داده و در سرعت های مختلف، میزان ارتفاع طوقه و سرعت مربوط را در جدول ثبت کنید. (توجه: سرعت را از حدود $220rpm$ تا حدود $120rpm$ تغییر دهید. روند کاهشی سرعت را حفظ کنید و آن را تند نکنید.)
- ۵- دستگاه را خاموش کنید.

تست دوم) گاورنر پروئل:

کار را برای گاورنر پروئل تکرار کنید.

خواسته‌های آزمایش و پرسشها

- ۱- با استفاده از داده‌های به دست آمده در آزمایش (برای هر یک از گاورنرها) نمودار سرعت زاویه‌ای حاصل از تئوری و تست را بر حسب جابجایی طوقه رسم کنید.
- ۲- مقدار متوسط درصد خطا را محاسبه کنید.
- ۳- علل خطا را ذکر کنید.
- ۴- حساسیت دو گاورنر را مقایسه کنید.
- ۵- رابطه (۱-۲) را اثبات کنید.
- ۶- در مورد شرط پایداری (رابطه ۲-۵) توضیح دهید.

فرم نتایج: آزمایش ۲ - گاورنر

تاریخ:	اعضای گروه:	گروه:
	۱-۲	
	۳-۴	

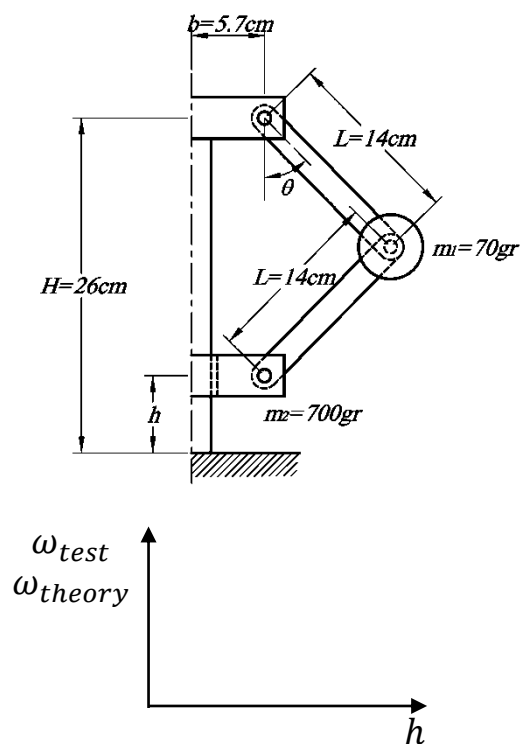
تست (۱) گاورنر پورتر

$$\theta = \arccos\left(\frac{H-h}{2L}\right)$$

$$r = b + L \sin \theta$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta (m_1 + m_2)}{m_1 r}}$$

$h(\text{cm})$	$\omega_{\text{test}}(\text{rpm})$	$\omega_{\text{theory}}(\text{rpm})$	%Error



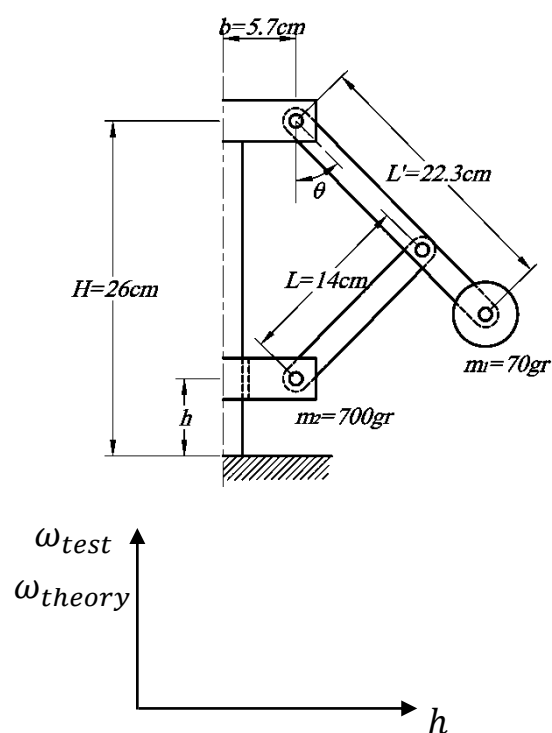
تست (۲) گاورنر پروئل

$$\theta = \arccos\left(\frac{H-h}{2L}\right)$$

$$r = b + L' \sin \theta$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta (m_1 + m_2 \frac{L}{L'})}{m_1 r}}$$

$h(\text{cm})$	$\omega_{\text{test}}(\text{rpm})$	$\omega_{\text{theory}}(\text{rpm})$	%Error



آزمایش (۳) بادامک و پیرو

هدف

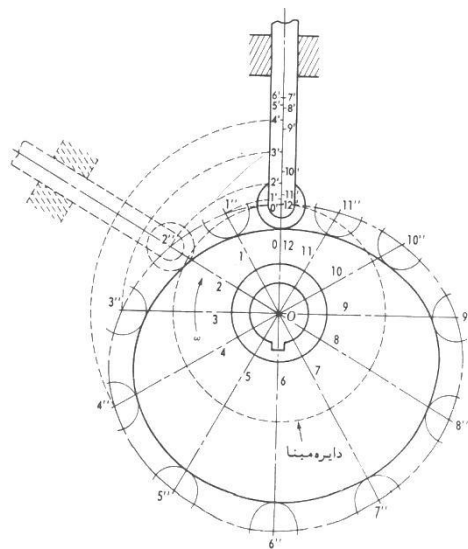
- ترسیم تجربی منحنی جابجایی پیرو
- محاسبه سرعت و شتاب ماکزیمم پیرو
- مطالعه تأثیر شکل پروفیل بادامک در مقادیر سرعت و شتاب بادامک

تئوری

طراحی یک بادامک به منظور ایجاد یک حرکت از پیش تعیین شده در یک لینک به نام پیرو صورت می‌گیرد. نوع حرکت پیرو شکل پروفیل بادامک را تعیین خواهد کرد. برعکس، اگر شکل پروفیل مشخص باشد، مشخصات تغییر مکان، سرعت و شتاب ایجاد شده در پیرو قابل تعیین است.

در تجزیه و تحلیل یک بادامک موجود و یا طراحی یک بادامک جدید، منحنی تغییر مکان پیرو از اطلاعات اولیه می‌باشد. از آنجا که این منحنی تغییرات مکان را نسبت به زمان نشان می‌دهد، می‌توان با مشتق‌های متوالی، منحنی تغییرات سرعت و شتاب را نسبت به زمان تعیین نمود. مشتق شتاب نسبت به زمان اصطلاحاً جرک (*Jerk*) نامیده می‌شود. به علت تأثیر نیروهای اینرسی که موجب ارتعاش، صدا، تنش و سایش می‌گردند، شتاب پیرو در سرعت‌های بسیار زیاد حائز اهمیت می‌باشد. ضربه یک معیار و یا میزان جهت اندازه‌گیری تغییرات نیروی اینرسی نسبت به زمان است و نشان دهنده ویژگیهای ضربهای می‌باشد. جرک بی‌نهایت (ناپیوستگی در شتاب) موجب ارتعاش و ضربه در پیرو شده که بدین ترتیب در عمر بادامک موثر خواهد بود.

رسم منحنی محیطی بادامک با استفاده از رسم موقعیت پیرو در زاویه‌های مختلف نسبت به بادامک انجام می‌شود. شکل زیر یک بادامک دیسکی با پیرو رفت و برگشتی غلتکی را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۳) رسم پروفیل بادامک بر اساس موقعیتهای پیرو

سرعت و شتاب پیرو با مشخص بودن منحنی جابجایی پیرو (منحنی $s - \theta$) قابل محاسبه می‌باشند:

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \omega \frac{ds}{d\theta} = \omega \frac{\Delta s}{\Delta \theta} \quad (1-3)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \omega \frac{\Delta v}{\Delta \theta} \quad (2-3)$$

در صورتی که منحنی تغییر مکان را به صورت داده‌های آزمایشگاهی داشته باشیم، سرعت و شتاب را می‌توان با استفاده از مشتق‌گیری عددی بدست آورد.

شرح دستگاه

دستگاه حاضر یک مکانیزم بادامک و پیرو با پیروی غلتکی می‌باشد. انواع مختلف بادامک توسط این دستگاه مورد تست قرار می‌گیرند. بادامک در انتهای محور به وسیله مهره بر روی آن محکم می‌گردد. با دادن فرمان توسط ولوم کنترل دور، الکتروموتور شروع به کار نموده و حرکت توسط تسمه و محور فلایویل به بادامک منتقل می‌شود. فلایویل، نوسانات ناشی از تغییر سرعت و گشتاورهای متغیر، برای بلند شدن پیرو را کاهش می‌دهد.



شکل ۳-۲) دستگاه بادامک و پیرو

اجزای تشکیل دهنده دستگاه عبارتند از: انواع بادامک، پیرو غلتکی، الکتروموتور، سیستم انتقال حرکت (تسمه، پولی، فلایویل)، سنسور الکترونیکی سنجش زاویه، سنسور الکترونیکی سنجش مقدار جابجایی پیرو، کلید "روشن/خاموش" و ولوم کنترل دور موتور. پیرو از نوع "غلتکی" است که از انتها به یک لغزنده متصل شده است. لغزنده بر روی یک ریل حرکت می‌کند. به این ترتیب پیرو در یک مسیر مستقیم حرکت نموده و انحراف نخواهد داشت. یک میله به سمت دیگر لغزنده نصب شده است. میله از میان یک فنر فشاری عبور داده شده است تا تماس سطح بادامک با پیرو در طول آزمایش برقرار باشد. بادامک به وسیله یک الکتروموتور شروع به گردش می‌نماید. سرعت دوران موتور توسط نرم افزار قابل کنترل می‌باشد.

زاویه قرارگیری بادامک توسط سنسور سنجش زاویه و مقدار حرکت پیرو توسط سنسور اندازه گیری جابجایی، اندازه گیری شده و اطلاعات مربوطه، به برد الکترونیکی منتقل می‌شود. برد الکترونیکی توسط کابل USB به کامپیوتر و نرم افزار مربوطه مرتبط می‌شود. قبل از روشن نمودن دستگاه، از اتصال برد الکترونیکی آن به کامپیوتر، توسط کابل USB، اطمینان حاصل شود. در این حالت چراغ LED برد الکترونیکی روشن می‌شود. دقت نمایید که نرم افزار تنها یک بار اجرا شود. در غیر این صورت با اجرای دوباره نرم افزار پیغام خطایی به صورت مکرر داده می‌شود. برای رهایی از این پیغام، کلیدهای **Alt + Ctrl + Delete** را به طور همزمان گرفته تا پنجره **Task Manager** باز شود. سپس وارد تب **process** شده و از آنجا **project1** را انتخاب نموده و روی **End process** کلیک کنید و پیغامی که کامپیوتر می‌دهد را **yes** کنید.

مراحل کار

به وسیله کلید "روشن/خاموش"، دستگاه را روشن کنید. ارتباط دستگاه با کامپیوتر برقرار نموده و نرم افزار **Cam Shaft** را اجرا نمایید. بادامک مورد نظر را - مطابق روش شرح داده شده در قسمت "نحوه نصب بادامک" - روی دستگاه مستقر کنید. حال توسط

ولوم کنترل دور موتور، بادامک را حرکت داده و دکمه *Start Graph* نرم افزار را برای شروع ترسیم گراف فشار دهید. پس از یک دور گردش بادامک، نرم افزار گراف ترسیم شده را نمایش می دهد.

نحوه نصب بادامک :

پیچ نصب بادامک به انتهای شفت را باز نمایید. به منظور کم کردن فشار پیرو، آن را به سمت بالا حرکت داده و با دست نگه دارید طوری که پیرو با بادامک تماس نداشته باشد. بادامک را به سمت خود حرکت داده و از شفت بیرون آورید. قبل از نصب بادامک جدید، پیرو را به آرامی رها کنید و سپس برای تعیین مبنای اندازه گیری جابجایی پیرو، قبل از نصب بادامک در کادر مربوط به *Deflection* کلیک نمایید. با کلیک در این قسمت، مقدار فاصله سطح غلتک تا مرکز محور دوران - که در قسمت کالیبراسیون وارد شده است - نمایش داده می شود. برای نصب بادامک جدید پیرو را به سمت بالا حرکت داده و بادامک را بر روی شفت جا بزنید. پیرو را به آرامی رها کنید تا بر روی سطح بادامک بنشیند. بادامک را در وضعیت زاویه ای دلخواه قرار داده و توسط پیچ مخصوص بر روی شفت محکم نمایید. پیچ را به حدی محکم نمایید که در زمان حرکت شفت، بادامک بر روی آن نلغزد. در نهایت در کادر مربوط به *Angle* کلیک نمایید تا صفر شده و مبنای اندازه گیری زاویه بادامک مشخص گردد. توجه داشته باشید که بادامک و پیرو در هر حالت با یکدیگر تماس داشته باشند. اگر این تماس وجود نداشته باشد جواب آزمایش اشتباه خواهد بود.

نرم افزار *Cam Shaft*

در قسمت بالای صفحه اصلی یک نوار ابزار وجود دارد که دکمه های مختلفی روی آن قرار دارد.

Start Graph  : با فشردن این کلید ترسیم گراف جابجایی پیرو نسبت به زمان آغاز می شود.

Export to EXCEL  : برای انتقال اطلاعات به صورت عددی به نرم افزار *EXCEL* از این آیکون استفاده می شود.

Save  : با فشردن این دکمه پنجره *Save* استاندارد ویندوز باز می شود و اطلاعات مربوط به تست جاری را با نام دلخواه می توان ذخیره کرد.

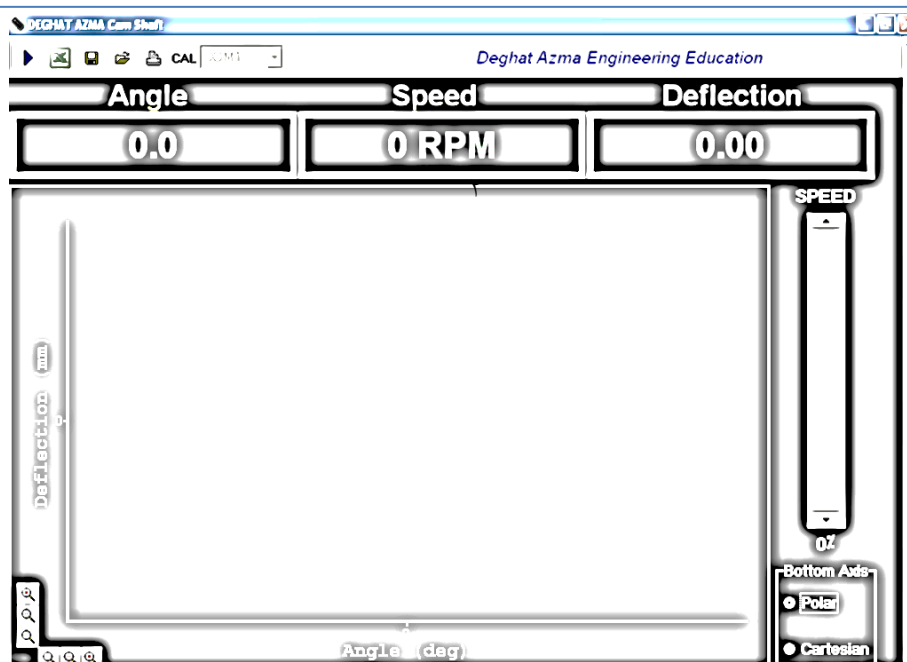
Open  : با فشردن این دکمه پنجره *Open* استاندارد ویندوز باز می شود و با وارد کردن نام فایل، نتایج تستهای ذخیره شده را می توان بازیابی کرد.

Print  : به منظور چاپ اطلاعات به کار می رود.

CAL دکمه ***Calibration*** : با فشردن این دکمه پس از وارد کردن *Password* پنجره کالیبراسیون باز می شود که در آن ضرایب کالیبراسیون وارد می شود. کالیبراسیون، توسط شرکت سازنده دستگاه (دقت آزما) انجام می پذیرد.

الکتروموتور توسط ولوم کنترل دور، شروع به کار می نماید. دور موتور قابل تنظیم است. با فشردن دکمه *Start*، نرم افزار شروع به ترسیم گراف تغییرات جابجایی پیرو نسبت به زاویه دوران بادامک می کند. مقدار جابجایی پیرو، زاویه بادامک و سرعت موتور را به طور لحظه ای می توان بر روی صفحه نرم افزار مشاهده نمود.

در سمت راست و پایین صفحه نرم افزار، در قسمت *Bottom Axis* می توان نوع مختصات را مشخص نمود. در صورتی که گزینه *Polar* علامت دار شده باشد، نرم افزار پس از یک دور گردش بادامک منحنی پروفیل بادامک را رسم می نماید و در صورتی که گزینه *Cartesian* فعال باشد، نرم افزار گراف تغییر مکان پیرو نسبت به زاویه دوران بادامک را ترسیم می کند. البته پس از یک دور گردش بادامک نرم افزار هر دو گراف را ثبت می نماید و با فعال نمودن هر یک از دو گزینه *Polar* و یا *Cartesian* گراف مربوطه نمایش داده می شود.



شکل ۳-۳ نرم افزار Cam Shaft

با کلیک بر آیکون *Export to Excel* اطلاعات را به صورت فایل *Excel* ذخیره نموده، سپس با توجه به آن، جدول (۱-۳) را کامل نمایید.

مراحل فوق را برای نوع دیگری از بادامک تکرار کنید.

خواسته‌های آزمایش و پرسشها

- ۱- جدول نتایج را با استفاده از فایل اکسل مربوط به بادامکها کامل کنید. از مشتق گیری عددی استفاده کنید.
- ۲- سرعت و شتاب ماکزیمم را برای پیرو دو بادامک محاسبه کنید.
- ۳- دو بادامک را از نظر سرعت و شتاب ایجاد شده در پیرو با هم مقایسه کنید.
- ۴- سرعت پیرو را به ازای یک زاویه خاص از بادامک با استفاده از روش ترسیمی محاسبه و با مقدار موجود در تست مقایسه کنید.

فرم نتایج: آزمایش ۳ - بادامک و پیرو

گروه:	اعضای گروه:	-۱	-۲	تاریخ:
		-۳	-۴	

بادامک (۱)

$$\omega =$$

$\theta(^{\circ})$	$s(mm)$	$ds/d\theta$	$d^2s/d\theta^2$	$v = \omega ds/d\theta \quad (mm/s)$	$a = \omega^2 d^2s/d\theta^2 \quad (mm/s^2)$
0					
10					
20					
30					
...					
360					

$$v_{max} =$$

$$a_{max} =$$

پروفیل بادامک:

بادامک (۲)

$$\omega =$$

$\theta(^{\circ})$	$s(mm)$	$ds/d\theta$	$d^2s/d\theta^2$	$v = \omega ds/d\theta \quad (mm/s)$	$a = \omega^2 d^2s/d\theta^2 \quad (mm/s^2)$
0					
10					
20					
30					
...					
360					

$$v_{max} =$$

$$a_{max} =$$

پروفیل بادامک:

آزمایش ۴) بالانس جرمهای چرخان

هدف

○ آشنایی با نحوه بالانس نمودن محور چرخان با استفاده از دو وزنه بالانس

تئوری

یک محور با جرمهایی که بر روی آن سوار شده، می تواند به صورت استاتیکی و یا دینامیکی بالانس باشد. اگر یک محور به صورت استاتیکی بالانس باشد، در آن صورت محور در هر زاویه‌ای که قرار گیرد بدون تمایل به چرخش خواهد بود. اگر یک محور به صورت دینامیکی بالانس باشد، در آن صورت محور در هر سرعتی بدون ارتعاش قادر به چرخش خواهد بود.

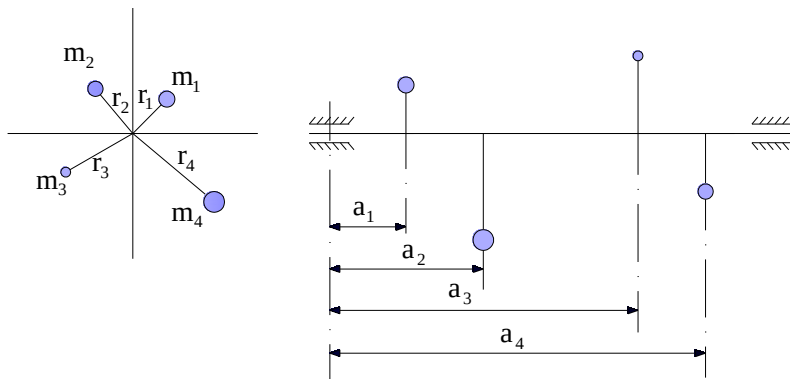
الف) بالانس استاتیک

برای اینکه یک سیستم چرخان تعادل استاتیکی داشته باشد، لازم است که برآیند گشتاور نیروهای وزن حول محور صفر باشد. برای این منظور باید مرکز جرم سیستم یا روتور بر روی محور دوران قرار داشته باشد. در صورتیکه یک سیستم شامل چند جرم مطابق شکل (۴-۱) داشته باشیم، شرط بالانس استاتیک به صورت زیر خواهد بود:

$$\sum m_i r_i \cos \theta_i = 0$$

$$\sum m_i r_i \sin \theta_i = 0$$

که در آن روابط r فواصل جرمها از مراکز دوران و θ زاویه بستن جرمها نسبت به یک مرجع مشخص می باشد.



شکل ۴-۱) روتور با اجزاء نابالانس

ب) بالانس دینامیک

برای اینکه یک سیستم تعادل دینامیکی داشته باشد، لازم است علاوه بر نیروهای اینرسی، کوپل های ناشی از این نیروها نیز در حال تعادل باشند. برای این منظور لازم است علاوه بر اینکه مرکز جرم بر روی محور دوران قرار می گیرد، محور دوران، محور اصلی سیستم باشد. برای سیستمهایی که شامل چند جرم می باشند شرط بالانس دینامیکی به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\sum m_i r_i \cos \theta_i = 0$$

$$\sum m_i r_i \sin \theta_i = 0$$

$$\sum m_i r_i a_i \cos \theta_i = 0$$

$$\sum m_i r_i a_i \sin \theta_i = 0$$

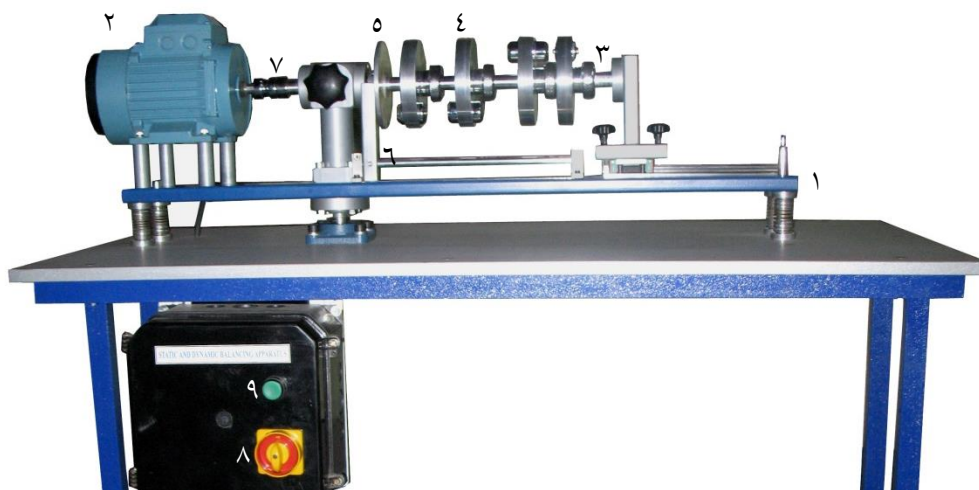
که a_i فاصله هر جرم از یک مبدا دلخواه در راستای محور می باشد.

شرح دستگاه

مجموعه دستگاه شامل یک محور فولادی بالانس است که بر روی فریم اصلی سوار شده است. فریم توسط یک بلبرینگ سانترال در قسمت میانی و چهار عدد فنر در چهار گوشه، بر روی میز دستگاه نگه داشته می‌شود. انتهای آزاد محور، داخل بلبرینگ که بر روی پایه ای سوار است، قرار می‌گیرد. پایه به راحتی بر روی یک ریل جابه جا شده و توسط دو عدد پیچ روی آن ثابت می‌شود. چهار عدد دیسک نیز جزئی از دستگاه بالانسینگ می‌باشند. بر روی هر یک از دیسک ها یک سوراخ تعبیه شده است که وزنه‌هایی با جرم های مختلف (به عنوان جرم نامیزان) بر روی آنها نصب می‌گردد. با باز کردن پیچ تثبیت پایه، انتهای محور آزاد شده و می‌توان دیسکها را روی آن سوار کرد. دیسکها به راحتی توسط کولت روی شفت بسته می‌شوند. بهتر است خط شعاعی حک شده روی دیسک در راستای شکاف کولت قرار گیرد. به منظور جابجا نمودن هر یک از دیسکها، ابتدا باید مهره سفت کننده، کمی باز شود. سپس با یک ضربه کوچک، دیسک از روی کولت جدا شده و به راحتی روی محور جابجا می‌شود. ضمناً لزومی ندارد که مهره کاملاً باز شود. محل قرارگیری دیسک ها و زاویه قرارگیری جرم نامیزان به ترتیب توسط شاخص طولی و زاویه سنج قابل تنظیم است. توسط فلکه پیچی ابتدای محور می‌توان از گردش محور در زمان تنظیم زاویه قرار گیری دیسک جلوگیری نمود. به منظور بررسی تعادل دینامیکی شفت، توسط یک کلاچ، شفت به موتور کوپل می‌شود.

نحوه تنظیم محل قرارگیری دیسک ها بر روی محور:

یک نمایانگر زاویه و یک شاخص طولی، وضعیت زاویه‌ای و مکانی جرم نامیزان هر یک از دیسک ها را روی محور مشخص می‌کند. نحوه تنظیم محل قرارگیری دیسک ها به این ترتیب است که ابتدا فلکه پیچی ابتدای محور را باز نمایید تا محور آزادانه دوران نماید. شاخص را در ابتدای محور (محل قرارگیری زاویه سنج یا همان صفر خط کش) قرار دهید. محور را حرکت دهید تا جایی که عدد زاویه مورد نظر (مثلاً صفر درجه) در مقابل شاخص قرار گیرد. در این حالت محور را با بستن فلکه پیچی ثابت نمایید. شاخص را حرکت دهید تا به فاصله طولی مورد نظر جهت نصب دیسک برسد. دیسک را طوری در محل قرارگیری شاخص ثابت نمایید که علامت روی آن با شاخص مماس شود. حال با محکم کردن مهره کولت، دیسک را در جای خود ثابت نمایید. دیسکهای دیگر نیز به همین ترتیب روی محور سوار می‌شوند. پس از نصب دیسک ها بر روی محور، فلکه پیچی را باز کنید تا محور بتواند آزادانه حرکت کند.



شکل ۴-۲) دستگاه تست بالانس

اجزای تشکیل دهنده دستگاه: ۱- شاسی اصلی ۲- الکتروموتور ۳- محور فولادی بالانس

۴- چهار عدد دیسک (بلوک) با جرم نامیزان ۵- نمایانگر زاویه ای متصل به شاسی اصلی

۶- شاخص اندازه گیری طول ۷- کلاچ جهت انتقال قدرت از موتور به شفت (باید در حالت تست بالانس دینامیکی نصب شود).

۸- کلید روشن و خاموش کردن دستگاه ۹- کلید RUN جهت روشن و خاموش کردن الکتروموتور

مراحل کار

بالانس استاتیکی:

در حالت بررسی بالانس استاتیکی، پس از نصب بلوکها و باز نمودن فلکه پیچی، محور را کمی منحرف نمایید. به عبارت دیگر محور را با دست به اندازه چند درجه دوران داده و رها کنید. برای بالانس استاتیکی باید بتوان در هر موضع دلخواهی، محور را به حال سکون نگه داشت. اگر محور به موضع اولیه بازگشت از نظر استاتیکی بالانس نیست و باید زاویه قرارگیری حداقل یکی از دیسکها را تغییر داد. توجه نمایید که در حالت بررسی بالانس استاتیک محور با موتور ارتباط نداشته باشد.

بالانس دینامیکی:

در حالت بررسی بالانس دینامیکی، شفت اصلی، توسط الکتروموتور به حرکت در می‌آید. جهت ایجاد ارتباط بین شفت و محور موتور، از یک کلاچ استفاده می‌شود. با قرار دادن کلید *on/off* در حالت *on*، و فشار دادن کلید سبز رنگ، موتور شروع به حرکت می‌کند و با برداشتن دست از روی کلید سبز رنگ، موتور از حرکت باز می‌ایستد. در صورتی که سیستم از نظر دینامیکی بالانس باشد، دستگاه هیچ گونه ارتعاشی نخواهد داشت.

بالانس با محاسبه:

۱. دو زاویه از چهار زاویه را فرض کرده و با فرض دو مقدار برای دو فاصله، به کمک روابط بالانس دینامیکی دو زاویه و دو فاصله دیگر را به دست آورید.

توجه: اختلاف بزرگترین فاصله a و کوچکترین آنها نباید از طول محور بیشتر و کمترین اختلاف بین فواصل a نباید از ضخامت وزنه‌ها (حدود ۱.۳ cm) کمتر گردد.

۲. وزنه‌ها را طبق مقادیر بدست آمده a در روی محور دستگاه ببندید و بالانس بودن استاتیکی و دینامیکی سیستم را کنترل نمایید.

خواسته‌های آزمایش و پرسشها

- ۱- نتیجه مشاهده خود از بالانس شدن دستگاه را گزارش کنید.
- ۲- آیا اگر یک سیستم از نظر استاتیکی بالانس نباشد می‌تواند از نظر دینامیکی بالانس باشد.
- ۳- می‌دانید که معمولاً تیر اتومبیل را فقط از نظر استاتیکی بالانس می‌کنند، علت را بیان کنید.
- ۴- آیا همیشه می‌توان با افزودن یا کاستن فقط یک جرم در یک صفحه در یک روتور نابالانس، آن را بالانس دینامیکی نمود.
- ۵- با توجه به سوال فوق بگویید اینکه گفته می‌شود که یک روتور در یک صفحه یا دو صفحه نابالانسی دارد به چه معناست.

فرم نتایج: آزمایش ۴- بالانس جرمهای چرخان

تاریخ:	-۲	-۱	اعضای گروه:	گروه:
	-۴	-۳		

تست (۱)

	$m(gr)$	$r(cm)$	$a(cm)$	$\theta(^{\circ})$
<i>Main Weights</i>	8	4.5	4	...
	26	4.5	10	...
<i>Balance Weights</i>	80	4.5	?	?
	53	4.5	?	?

آزمایش (۵) چرخنده‌ها

هدف

- اندازه‌گیری بازده مکانیکی سیستم چرخنده
- محاسبه ممان اینرسی شفتها در سیستم چرخنده
- اندازه‌گیری ممان اینرسی معادل

تئوری

در یک سیستم چرخنده «نسبت سرعت» به صورت نسبت سرعت زاویه‌ای شفت خروجی به سرعت زاویه‌ای شفت ورودی تعریف می‌شود.

$$n = \frac{\omega_o}{\omega_i} \quad (1-5)$$

«مزیت مکانیکی» سیستم به صورت گشتاور خروجی به گشتاور ورودی تعریف می‌شود.

$$\overline{MA} = \frac{T_o}{T_i} \quad (2-5)$$

بازده:

بازده یا راندمان مکانیکی نیز نسبت توان خروجی به توان ورودی است.

$$e = \frac{P_o}{P_i} = \frac{T_o \omega_o}{T_i \omega_i} = \overline{MA} \cdot n \quad (3-5)$$

برای اندازه‌گیری بازده سیستم چرخنده، باید توان ورودی و خروجی را در حالتی که شفتها با سرعت ثابت می‌چرخند، اندازه‌گیری نمود. برای این کار می‌توان یک گشتاور مقاوم مشخص به شفت خروجی اعمال نمود و گشتاور محرک را در شفت ورودی آنقدر تغییر داد تا در آستانه حرکت به سمت مخالف قرار گیرد. در این حالت سرعت شفتها ثابت است و می‌توان بازده را از رابطه ۳-۵ محاسبه نمود.

ممان اینرسی:

برای تعیین ممان اینرسی هر شفت می‌توان به آن یک گشتاور مشخص، اعمال و شتاب زاویه‌ای آن را اندازه‌گیری نمود. ممان اینرسی شفت از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$T = I \alpha \quad (4-5)$$

ممان اینرسی معادل:

در سیستم شکل (۱-۵) الف می‌توان اینرسی I را از شفت خروجی به شفت ورودی منتقل کرد و برای آن یک ممان اینرسی معادل در نظر گرفت که در شکل (۱-۵) ب نمایش داده شده است.



ب- سیستم معادل

شکل (۱-۵) الف- سیستم چرخنده

ممان اینرسی معادل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{eq} = \frac{I n^2}{e} \quad (5-5)$$

که در آن e بازده سیستم و n نسبت سرعت خروجی به ورودی می‌باشد.

شرح دستگاه

دستگاه چرخنده شامل ۴ محور ۱، ۲، ۳، ۴ می باشد. محورها دارای چرخنده و پینیون می باشند. پینیونها می توانند در امتداد محور جابجا شوند و با درگیر شدن در چرخنده ها، محورها را به هم مرتبط نموده و نسبت سرعت های متفاوتی را به وجود آورند. به منظور بارگذاری و ایجاد گشتاور، بر روی هر یک از محورها یک پولی بارگذاری نصب شده است و به هر یک از پولی ها یک ریسمان متصل است. به انتهای هر یک از ریسمانها یک آویز بارگذاری بسته شده است. جرم کفه بارگذاری محور A، 490 gr و جرم کفه های محورها دیگر هر کدام 135 gr می باشد که باید در محاسبات با جرم وزنه بارگذاری جمع شود. دستگاه دارای چهار عدد سنسور دور می باشد که توسط آنها زمان های تناوب هر یک از ۴ محور اندازه گیری شده و نمایشگر دیجیتال این مقادیر را نمایش می دهد.



شکل ۵-۲) دستگاه سیستم چرخنده

نمایشگر دیجیتال طوری برنامه ریزی شده است که در هر مرحله کاربر را در انتخاب محور، شروع و توقف تست راهنمایی می نماید. سه کلید بر روی نمایشگر تعبیه شده است. کلیدهای *UP* و *Down*، کلیدهای *UP* و *Down* جهت انتخاب محور و نیز بالا و پایین رفتن در لیست داده ها در صفحه نمایشگر استفاده می شوند. کلید *Enter* نیز جهت شروع و توقف تست بکار می رود. ابتدا محوری را که می خواهید زمان های تناوب آن را به دست آورید انتخاب نمایید. همزمان با رها شدن آویز بارگذاری و فشار دادن کلید *Enter* ثبت داده شروع می شود و با دوباره فشار دادن کلید *Enter* ثبت داده متوقف می شود. پس از توقف تست، یک لیست از داده ها در صفحه نمایشگر نمایش داده می شود. $(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4)$ که زمانهای دور اول تا چهارم را نشان می دهد. از این مقادیر برای محاسبه سرعت و شتاب زاویه ای به صورت زیر استفاده می شود:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= 2\pi/\tau_1 \\ \omega_2 &= 2\pi/\tau_2 & \Delta t_1 &= (\tau_1 + \tau_2)/2 & \alpha_1 &= \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t_1} \\ \omega_3 &= 2\pi/\tau_3 & \Delta t_2 &= (\tau_2 + \tau_3)/2 & \alpha_2 &= \frac{\omega_3 - \omega_2}{\Delta t_2} \\ \omega_4 &= 2\pi/\tau_4 & \Delta t_3 &= (\tau_3 + \tau_4)/2 & \alpha_3 &= \frac{\omega_4 - \omega_3}{\Delta t_3} & \alpha &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}{3} \end{aligned} \quad (6-5)$$

مراحل کار

آزمایش اول) محاسبه بازده مکانیکی سیستم چرخنده

- ۱- شفت های ۱ و ۲ را درگیر کنید.
- ۲- روی آویز ۱ وزنه ای مثلاً به اندازه 2 kg قرار دهید.
- ۳- روی آویز ۲ به تدریج آنقدر وزنه اضافه کنید تا آویز ۱ در آستانه حرکت به سمت بالا قرار گیرد.
- ۴- مقدار جرم وزنه ۲ را در جدول ثبت کنید و مطابق فرمول، بازده سیستم ۱ تا ۲ را به دست آورید.
- ۵- شفت های ۱ و ۲ و ۳ را درگیر کنید.
- ۶- روی آویز ۱ وزنه ای مثلاً به اندازه 8 kg قرار دهید.

- ۷- روی آویز ۳ به تدریج آنقدر وزنه اضافه کنید تا آویز ۱ در آستانه حرکت به سمت بالا قرار گیرد.
- ۸- مقدار جرم وزنه ۳ را در جدول ثبت کنید و مطابق فرمول، بازده سیستم ۱ تا ۳ را به دست آورید.
- ۹- شفتهای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ را درگیر کنید.
- ۱۰- روی آویز ۱ وزنه‌ای مثلاً به اندازه $25kg$ قرار دهید.
- ۱۱- روی آویز ۴ به تدریج آنقدر وزنه اضافه کنید تا آویز ۱ در آستانه حرکت به سمت بالا قرار گیرد.
- ۱۲- مقدار جرم وزنه ۴ را در جدول ثبت کنید و مطابق فرمول، بازده سیستم ۱ تا ۴ را به دست آورید.

آزمایش دوم) ممان اینرسی شفتها

- ۱- شفتها را از هم مستقل کنید.
- ۲- روی آویز مربوط به هریک از شفتها یک وزنه دلخواه قرار دهید.
- ۳- با استفاده از سنسور زمان چهار دور متوالی چرخش هر شفت را اندازه گیری کنید.
- ۴- از طریق محاسبه شتاب زاویه‌ای ممان اینرسی هر شفت را به دست آورید.

آزمایش سوم) ممان اینرسی معادل

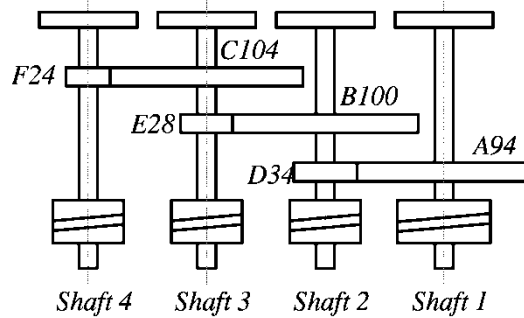
- ۱- شفتهای ۱ و ۲ را درگیر کنید.
- ۲- روی آویز ۱ وزنه‌ای مثلاً به اندازه $2kg$ قرار دهید.
- ۳- از طریق سنسورها شتاب زاویه‌ای شفت ۱ را محاسبه کنید.
- ۴- ممان اینرسی معادل مجموعه شفتهای ۱ و ۲ را محاسبه کنید.
- ۵- شفتهای ۱ و ۲ و ۳ را درگیر کنید.
- ۶- روی آویز ۱ وزنه‌ای مثلاً به اندازه $8kg$ قرار دهید.
- ۷- از طریق سنسورها شتاب زاویه‌ای شفت ۱ را محاسبه کنید.
- ۸- ممان اینرسی معادل مجموعه شفتهای ۱ و ۲ و ۳ را محاسبه کنید.
- ۹- شفتهای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ را درگیر کنید.
- ۱۰- روی آویز ۱ وزنه‌ای مثلاً به اندازه $25kg$ قرار دهید.
- ۱۱- از طریق سنسورها شتاب زاویه‌ای شفت ۱ را محاسبه کنید.
- ۱۲- ممان اینرسی معادل مجموعه شفتهای ۱ تا ۴ را محاسبه کنید.

خواسته‌های آزمایش و پرسشها

- ۱- رابطه (۵-۵) را اثبات کنید.
- ۲- کمتر شدن بازده سیستم از ۱۰٪ به چه علت است؟
- ۳- چرا برای محاسبه بازده باید جرم در آستانه حرکت به سمت مخالف قرار گیرد؟
- ۴- ممان اینرسی معادل حاصل از آزمایش را با مقدار حاصل از فرمول مقایسه کنید.

فرم نتایج: آزمایش ۵ - چرخنده‌ها

گروه:	اعضای گروه:	تاریخ:
	۱- ۳-	۲- ۴-



مشخصات:

Shaft	Gear teeth	Pinion teeth	Pulley Dia.	Mass of hanger
1	$N_A = 94$	-	$D_1 = 67\text{mm}$	$m_{h1} = 492\text{gr}$
2	$N_B = 100$	$N_D = 34$	$D_2 = 51\text{mm}$	$m_{h2} = 135\text{gr}$
3	$N_C = 104$	$N_E = 28$	$D_3 = 51\text{mm}$	$m_{h3} = 135\text{gr}$
4	-	$N_F = 24$	$D_4 = 51\text{mm}$	$m_{h4} = 135\text{gr}$

آزمایش اول) محاسبه بازده مکانیکی سیستم چرخنده

	Test 1 (Shafts 1,2)		Test 2 (Shafts 1,2,3)		Test 3 (Shafts 1,2,3,4)	
Speed Ratio	$n_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} =$		$n_{31} = \frac{\omega_3}{\omega_1} =$		$n_{41} = \frac{\omega_4}{\omega_1} =$	
Shaft	1	2	1	3	1	4
Weights	$m_{w1} = 2\text{kg}$	$m_{w2} =$	$m_{w1} = 8\text{kg}$	$m_{w3} =$	$m_{w1} = 25\text{kg}$	$m_{w4} =$
Hangers	$m_{h1} = 0.492\text{kg}$	$m_{h2} = 0.135\text{kg}$	$m_{h1} = 0.492\text{kg}$	$m_{h3} = 0.135\text{kg}$	$m_{h1} = 0.492\text{kg}$	$m_{h4} = 0.135\text{kg}$
Mass	$m_1 = \frac{m_{h1} + m_{w1}}{2}$	$m_2 = m_{h2} + m_{w2}$	$m_1 = \frac{m_{h1} + m_{w1}}{2}$	$m_3 = m_{h3} + m_{w3}$	$m_1 = \frac{m_{h1} + m_{w1}}{2}$	$m_4 = m_{h4} + m_{w4}$
Mechanical Advantage	$\overline{MA}_{21} = \frac{m_2 D_2}{m_1 D_1} =$		$\overline{MA}_{31} = \frac{m_3 D_3}{m_1 D_1} =$		$\overline{MA}_{41} = \frac{m_4 D_4}{m_1 D_1} =$	
Efficiency	$e_{21} = \frac{1}{\overline{MA}_{21} n_{21}} =$		$e_{31} = \frac{1}{\overline{MA}_{31} n_{31}} =$		$e_{41} = \frac{1}{\overline{MA}_{41} n_{41}} =$	

آزمایش دوم) ممان اینرسی شفتها

	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4
m_w (kg)				
m (kg)				
$T = mgD/2$				
τ_1 (s)				
τ_2 (s)				
τ_3 (s)				
τ_4 (s)				

محاسبات:

	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4
$\omega_1 = 2\pi/\tau_1$				
$\omega_2 = 2\pi/\tau_2$				
$\omega_3 = 2\pi/\tau_3$				
$\omega_4 = 2\pi/\tau_4$				
$\Delta t_1 = (\tau_1 + \tau_2)/2$				
$\Delta t_2 = (\tau_2 + \tau_3)/2$				
$\Delta t_3 = (\tau_3 + \tau_4)/2$				
$\alpha_1 = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t_1}$				
$\alpha_2 = \frac{\omega_3 - \omega_2}{\Delta t_2}$				
$\alpha_3 = \frac{\omega_4 - \omega_3}{\Delta t_3}$				
$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}{3}$				
$I = T/\alpha$	$I_1 =$	$I_2 =$	$I_3 =$	$I_4 =$

آزمایش سوم) ممان اینرسی معادل

Shaft 1	Test 1 (Shafts 1,2)	Test 2 (Shafts 1,2,3)	Test 3 (Shafts 1,2,3,4)
$m_w (kg)$			
$m (kg)$			
$T = mgD/2$			
$\tau_1 (s)$			
$\tau_2 (s)$			
$\tau_3 (s)$			
$\tau_4 (s)$			
$\alpha (\frac{rad}{s})$			
$I_{eq} = T/\alpha$ (Test)			
I_{eq} (Theory)	$I_{eq} = I_1 + \frac{I_2 n_{21}^2}{e_{21}} =$	$I_{eq} = I_1 + \frac{I_2 n_{21}^2}{e_{21}} + \frac{I_3 n_{31}^2}{e_{31}} =$	$I_{eq} = I_1 + \frac{I_2 n_{21}^2}{e_{21}} + \frac{I_3 n_{31}^2}{e_{31}} + \frac{I_4 n_{41}^2}{e_{41}} =$

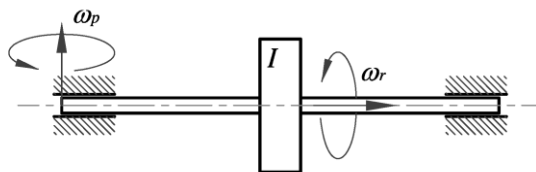
آزمایش ۶) ژيروسکوپ

هدف

- اندازه گیری ممان اینرسی روتور از طریق اندازه گیری فرکانس نوسان
- اندازه گیری کوپل ژيروسکوپی و مقایسه آن با رابطه تئوری
- تحقیق رابطه کوپل ژيروسکوپی با سرعتهای دوران

تئوری

هنگامی که محور یک روتور در حال چرخش، تغییر جهت می دهد، یک گشتاور از طرف روتور به تکیه گاههای آن وارد می شود که به آن کوپل ژيروسکوپی گفته می شود. کوپل ژيروسکوپی در طراحی و تحلیل دینامیکی و ارتعاشی روتورها اهمیت دارد. همچنین از دستگاه ژيروسکوپ می توان به عنوان حسگر دوران برای اندازه گیری و کنترل چرخش در وسائل نقلیه هوایی و دریایی استفاده نمود.



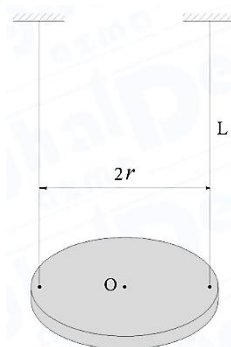
شکل ۱-۶) روتور با تغییر جهت محور

اگر ممان اینرسی روتور I ، سرعت چرخش روتور (سرعت اسپین) ω_r و سرعت تغییر جهت محور آن ω_p باشد، کوپل ژيروسکوپی وارد به تکیه گاهها از رابطه زیر به دست می آید:

$$\vec{M}_{gyro} = -I \vec{\omega}_p \times \vec{\omega}_r \quad (۱-۶)$$

که محور این کوپل به هر دو بردار سرعت زاویه ای عمود است.

برای اندازه گیری ممان اینرسی یک جسم حول یک محور، به صورت آزمایشگاهی، می توان دوره تناوب نوسان جسم حول آن محور را اندازه گیری نمود که به آن آونگ پیچشی گفته می شود.



شکل ۲-۶) اندازه گیری ممان اینرسی از طریق آونگ پیچشی

اگر در آونگ پیچشی جرم جسم m ، طول ریسمانها L و فاصله آنها $2r$ باشد، رابطه ممان اینرسی جسم حول محور گذرنده از مرکز O با زمان تناوب آونگ به صورت زیر است:

$$I = \frac{mgr^2\tau^2}{4\pi^2L} \quad (۲-۶)$$

شرح دستگاه

دستگاه از یک مجموعه دوار تشکیل شده است که می‌تواند به طور همزمان در دو جهت، سرعت زاویه‌ای اعمال کند. به وسیله وزنه متحرک روی محور افقی، نیز می‌توان گشتاوری معادل گشتاور ژيروسکوپ را اعمال نمود.



شکل ۶-۳) دستگاه ژيروسکوپ

- | | | |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| ۱- موتور گرداننده روتور | ۲- قاب حامل | ۳- موتور گرداننده قاب |
| ۴- مجموعه روتور و دیسک | ۵- وزنه تعادل (100 gr) | ۶- کنترلرهای دور روتور و قاب |
| ۷- نمایشگرهای دور روتور و قاب (rpm) | ۸- زاویه سنج دیجیتال | ۹- کلید روشن / خاموش |

سرعت دوران توسط کنترلر دور روتور و کنترلر دور قاب، قابل تنظیم بوده و مقدار آن توسط نمایشگرهای دیجیتال بر حسب "دور بر دقیقه" (RPM) قابل مشاهده است. همچنین به منظور برقراری حالت تعادل محور افقی، یک زاویه سنج دیجیتال، زاویه قرارگیری محور افقی را اندازه گیری نموده و نمایشگر دیجیتال، مقدار آن را بر حسب "دهم درجه" نمایش می‌دهد. فاصله بین شیارهایی که بر روی میله روتور درج شده است 5mm می‌باشد. به منظور تعیین ممان اینرسی روتور، یک آونگ پیچشی همراه دستگاه می‌باشد. آونگ شامل یک دیسک است که توسط دو کابل، آویخته شده و در مرکز آن یک سوراخ جهت قرار دادن روتور تعبیه شده است.

$$\begin{aligned}
 r &= 6\text{cm}, \\
 L &= 46\text{cm}, \\
 m_{\text{disk}} &= 622\text{gr}, \\
 m_{\text{rotor}} &= 484\text{gr}
 \end{aligned}$$

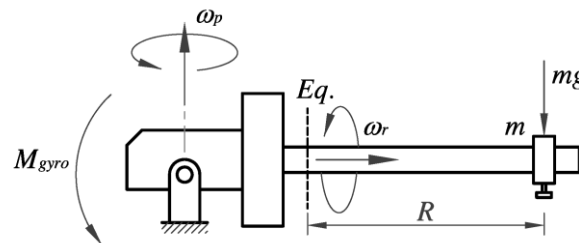


شکل ۶-۴) آونگ پیچشی

مراحل کار

مرحله اول) تعیین ممان اینرسی روتور:

- ۱- آونگ پیچشی را آماده نمایید به نحوی که روتور بر روی دیسک نصب نباشد.
- ۲- سپس دیسک را از حالت عادی تحت زاویه $\theta < 8^\circ$ منحرف کرده و رها نمایید و تعداد N نوسان را در زمان t ثانیه با دقت اندازه گیری نمایید.
- ۳- چند بار این عمل را تکرار نموده و نتایج را در جدول یادداشت کنید.
- ۴- پرپود نوسانات را در هر مرحله محاسبه نموده و در نهایت میانگین بگیرید.
- ۵- ممان اینرسی دیسک را محاسبه کنید.
- ۶- روتور ژيروسکوپ را بر روی دیسک نصب نموده و مجدداً مراحل قبل تکرار کنید.
- ۷- ممان اینرسی مجموعه دیسک و روتور را محاسبه کنید.
- ۸- ممان اینرسی روتور را با کم کردن ممان اینرسی دیسک از ممان اینرسی کل بدست آورید.



شکل ۵-۶) بالانس کوپل ژيروسکوپی با گشتاور وزن

مرحله دوم) تست کوپل ژيروسکوپی:

- ۱- ابتدا وزنه تعادل متحرک را که بر روی میله قاب قرار گرفته است در وضعیت تعادل قرار دهید. به طوری که مجموعه کاملاً به صورت افقی قرار گیرد. در این لحظه کلید Zero زاویه سنج را فشار دهید تا محل مبنا (تعادل) با زاویه صفر مشخص شود. شیار محل مورد نظر را به خاطر بسپارید.
- ۲- سپس با استفاده از پیچ وزنه آن را آزاد کرده و به اندازه مثلاً ۲۴ شیار، وزنه را جابجا نمایید. در این حالت گشتاور اعمالی به سیستم بدین صورت محاسبه می گردد. $R = 24 * 0.5 = 12 \text{ cm}$ ، $M = mgR$
- ۳- دستگاه را روشن نمایید.
- ۴- سرعت روتور را در هر مرحله بر روی عدد دلخواهی قرار دهید و سپس سرعت قاب را به حدی برسانید تا محور روتور به صورت افقی قرار گیرد و زاویه سنج عدد صفر را نمایش دهد. مقادیر ω_p و ω_r را در جدول یادداشت نمایید.
- ۵- پس از انجام آزمایش موتور ها را خاموش نمایید.
- ۶- مقدار ω_p را از طریق تئوری با برابر قرار دادن کوپل ژيروسکوپی و گشتاور وزنه محاسبه نمایید.
- ۷- مقدار درصد خطا را محاسبه کرده و جدول را تکمیل نمایید.

خواسته‌های آزمایش و پرسشها

- ۱- رابطه (۱-۶) را اثبات کنید.
- ۲- رابطه (۲-۶) را اثبات کنید.
- ۳- منحنی سرعت قاب حاصل از تست و تئوری را در یک نمودار رسم کنید.
- ۴- در مورد عوامل خطا بحث کنید.

فرم نتایج: آزمایش ۶ - ژيروسکوپ

تاریخ:	۲- ۴-	اعضای گروه: ۱- ۳-	گروه:
--------	----------	----------------------	-------

تست ۱) اندازه گیری ممان اینرسی روتور

$$r=6\text{cm}, L=46\text{cm}, m_{\text{disk}}=622\text{gr}, m_{\text{rotor}}=484\text{gr}$$

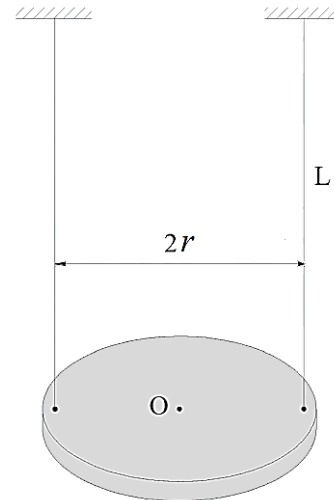
Disk			
	N	t(s)	τ (s)
Test 1	20		
Test 2	20		
Test 3	20		
mean:			$\tau =$

$$I_{\text{disk}} = \frac{m_{\text{disk}} g r^2 \tau^2}{4\pi^2 L} =$$

Total			
	N	t(s)	τ (s)
Test 1	20		
Test 2	20		
Test 3	20		
mean:			$\tau =$

$$I_{\text{total}} = \frac{m_{\text{total}} g r^2 \tau^2}{4\pi^2 L} =$$

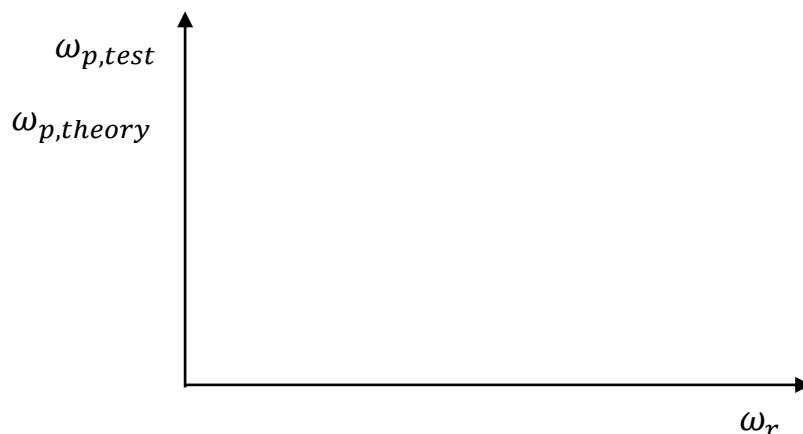
$$I_{\text{rotor}} = I_{\text{total}} - I_{\text{disk}} =$$



تست ۲) رابطه سرعت قاب با سرعت روتور در گشتاور ثابت

$$m=100\text{gr}, R=12\text{cm}, M_{\text{gyro}} = I_{\text{rotor}} \omega_p \omega_r = mgR$$

Test	ω_r (rpm)	$\omega_{p,\text{test}}$ (rpm)	$\omega_{p,\text{theory}}$ (rpm)	error (%)
1	300			
2	600			
3	900			
4	1200			
5	1500			



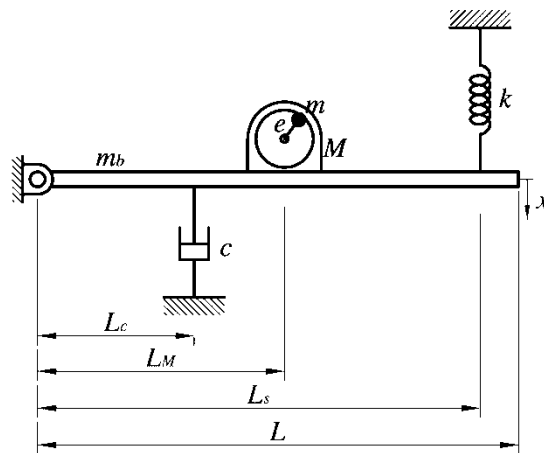
آزمایش (۷) تست ارتعاشات

هدف

- اندازه‌گیری فرکانس طبیعی در یک سیستم ارتعاشی
- اندازه‌گیری میرایی سیستم ارتعاشی
- اندازه‌گیری فرکانس ارتعاشات میرا
- اندازه‌گیری دامنه ارتعاش ماندگار سیستم در اثر تحریک هارمونیک

تئوری

سیستم ارتعاشی نشان داده شده در شکل ۱-۷ شامل یک میله صلب است که حول لولا نوسان می‌کند.



شکل ۱-۷) سیستم ارتعاشی به همراه نامیزانی چرخان

اگر جرم نامیزان با سرعت ω بچرخد، معادله حاکم بر ارتعاش سیستم بر حسب جابجایی x انتهای میله، به صورت زیر خواهد بود:

$$m_{eq}\ddot{x} + c_{eq}\dot{x} + k_{eq}x = F \sin \omega t \quad (1-7)$$

که در آن:

$$m_{eq} = \frac{1}{3}m_b + M \left(\frac{L_M}{L}\right)^2 \quad (2-7)$$

$$k_{eq} = k \left(\frac{L_s}{L}\right)^2 \quad (3-7)$$

$$c_{eq} = c \left(\frac{L_c}{L}\right)^2 \quad (4-7)$$

$$F = \frac{L_M}{L} m e \omega^2 \quad (5-7)$$

شرح دستگاه

این آزمایش روی یک سیستم یک درجه آزادی که شامل یک تیر سر مفصل که سر دیگر آن به یک فنر متصل می‌باشد انجام می‌گیرد. همان‌طور که در دستگاه مشاهده می‌شود، تمامی تکیه‌گاه‌ها بر روی یک قاب به طرز ساده‌ای قرار گرفته‌اند که به سادگی بتوان اتصال آنها را به ارتعاش‌کننده برای انجام آزمایش‌های مختلف تغییر داد. ارتعاش‌کننده از یک تیر صلب به همراه واحد تحریک‌کننده که بر روی آن نصب شده است، تشکیل شده است. تکیه‌گاه‌های فنر، دمپر، تحریک‌کننده به نحوی قرار گرفته‌اند که امکان چیده شدن در حالات مختلف آزمایش وجود دارد.



شکل ۷-۲) دستگاه تست یونیورسال ارتعاشات

بر روی تیر یک موتور الکتریکی با نامیزانی روتور تعبیه شده است. زمانی که موتور روشن شود، بر اثر نامیزانی نیروی پریودیک حاصل از چرخش روتور بر تیر اعمال می‌شود و این نیرو به عنوان یک نیروی خارجی در این سیستم در نظر گرفته می‌شود. لذا در صورت روشن بودن موتور ارتعاشات اجباری تیر را که به صورت رفت و برگشتی است خواهیم داشت. در صورت خاموش بودن آن با تحریک دستی تیر، ارتعاشات آزاد تیر را خواهیم داشت.

همچنین امکان تست سیستم یک درجه آزادی با مستهلک کننده نیز وجود دارد. به این منظور دستگاه مجهز به یک دمپر (مستهلک کننده) روغنی می‌باشد که به وسیله پین به سیستم جرم و فنر متصل می‌شود. دمپر شامل یک پیستون و یک سیلندر شفاف حاوی روغن است. پیستون از اتصال دو دیسک به یکدیگر تشکیل شده است. بر روی هر یک از دیسک‌ها ۶ عدد سوراخ وجود دارد. یکی از دیسک‌ها ثابت بوده و دیگری امکان دوران دارد و می‌توان دیسک متحرک را در چهار حالت نسبت به دیسک ثابت قرار داد. به این ترتیب امکان بررسی ارتعاش سیستم با چهار ضریب میرایی مختلف وجود خواهد داشت.

نرم‌افزار Vibration Test

در قسمت بالای صفحه اصلی یک نوار ابزار وجود دارد که دکمه‌های مختلفی روی آن قرار دارد.

Start: با فشردن این کلید ترسیم گراف فاز نسبت به زمان آغاز می‌شود. 

Stop Test: برای متوقف کردن تست (رسم نمودار) به کار می‌رود. 

Zero: برای صفر کردن داده‌ها، هنگام شروع باید روی این دکمه کلیک کرد. 

Save: با فشردن این دکمه پنجره **Save** استاندارد ویندوز باز می‌شود و اطلاعات مربوط به تست جاری را با نام دلخواه می‌توان ذخیره کرد. 

Open: با فشردن این دکمه پنجره **Open** استاندارد ویندوز باز می‌شود و با وارد کردن نام فایل، نتایج تست های ذخیره شده را می‌توان بازبینی کرد. 

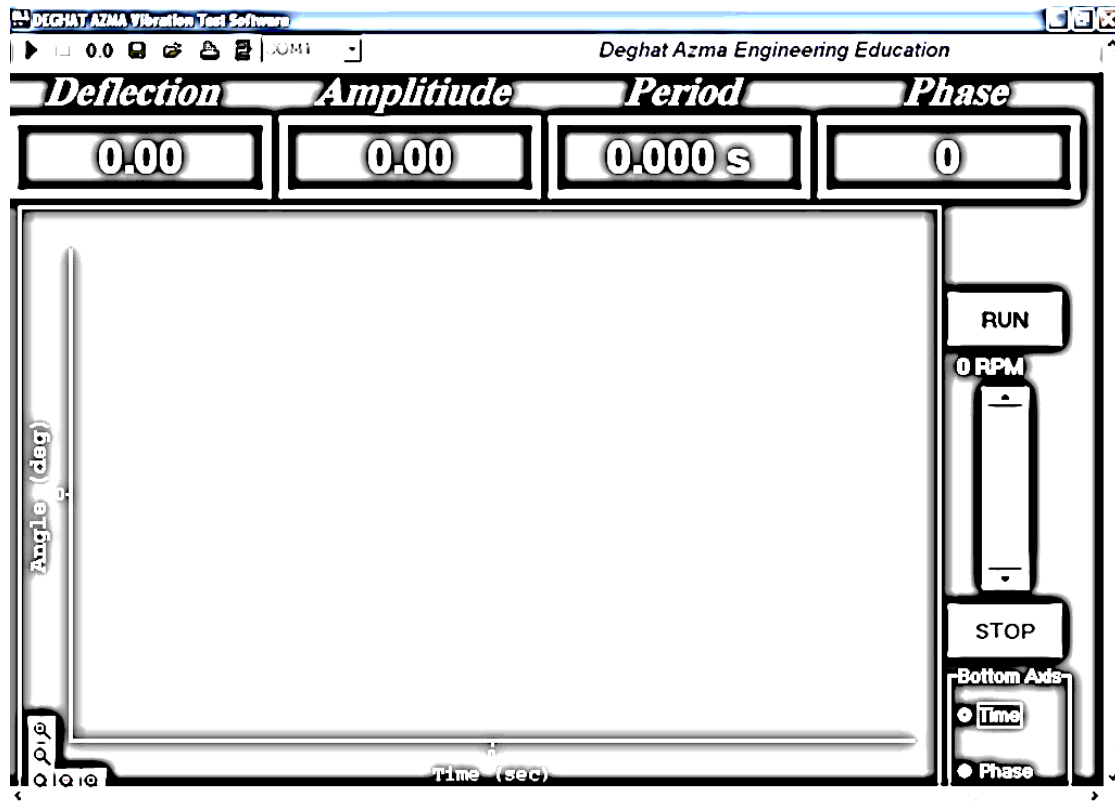
Print: به منظور چاپ اطلاعات به کار می‌رود. 



دکمه **Calibration**: با فشردن این دکمه پس از وارد کردن **Password** پنجره کالیبراسیون باز می‌شود که در آن ضرایب کالیبراسیون وارد می‌شوند. کالیبراسیون، توسط شرکت سازنده دستگاه (دقت آزما) انجام می‌پذیرد.

نرم‌افزار با فشردن دکمه **Start** شروع به کار کرده و نمودار تغییرات فاز نسبت به زمان را ترسیم می‌نماید. همچنین زمان تناوب نوسان و دامنه ماکزیمم و جابجایی در هر زمان توسط نرم‌افزار ثبت می‌شود.

در آزمایش ارتعاشات اجباری، دور موتور توسط نرم‌افزار کنترل می‌شود. برای این منظور پس از فشردن کلید **RUN** واقع در سمت راست صفحه نرم‌افزار، دور موتور بر روی عدد دلخواه تنظیم می‌گردد. این کار با حرکت دادن لغزنده مربوط به تنظیم دور موتور که در زیر کلید **RUN** قرار دارد، انجام می‌شود. مقدار دور در هر لحظه قابل مشاهده است. برای توقف موتور از کلید **STOP** واقع در قسمت پایین لغزنده استفاده می‌شود.



شکل ۷-۳) نرم‌افزار Vibration Test

مراحل کار

فاصله‌ها و طولهای مورد نیاز را اندازه‌گیری کنید.

تست ۱) ارتعاش آزاد نامیرا:

- ۱- دمپر را از میله جدا کنید.
- ۲- انتهای میله را چند سانتیمتر جابجا نموده و سپس آن را رها کنید.
- ۳- با شروع شدن ارتعاشات دستگاه، آیکن **Start** نرم‌افزار را کلیک کنید.
- ۴- پس از نوسانهای کافی، آیکن **Stop** را کلیک کرده و پرپود نوسانات را ثبت کنید.

تست ۲) ارتعاش آزاد میرا:

- ۱- دمپر را به میله متصل کنید.
- ۲- انتهای میله را چند سانتیمتر جابجا نموده و سپس آن را رها کنید.

- ۳- با شروع شدن ارتعاشات دستگاه، آیکن *Start* نرم افزار را کلیک کنید.
 - ۴- پس از نوسانهای کافی، آیکن *Stop* را کلیک کرده و پرپود نوسانات را ثبت کنید.
 - ۵- دامنه ارتعاش در سیکل اول و سیکل n ام را ثبت کنید.
- تست ۳) ارتعاش اجباری با تحریک هارمونیک:

- ۱- با استفاده از نرم افزار دور موتور را روی یک عدد مثلا $1000rpm$ قرار دهید.
- ۲- آیکن *Run* و سپس آیکن *Start* را کلیک کنید.
- ۳- صبر کنید تا دامنه ارتعاش یکنواخت شود.
- ۴- آیکن *Stop* را کلیک کنید و دامنه ماندگار را ثبت کنید.

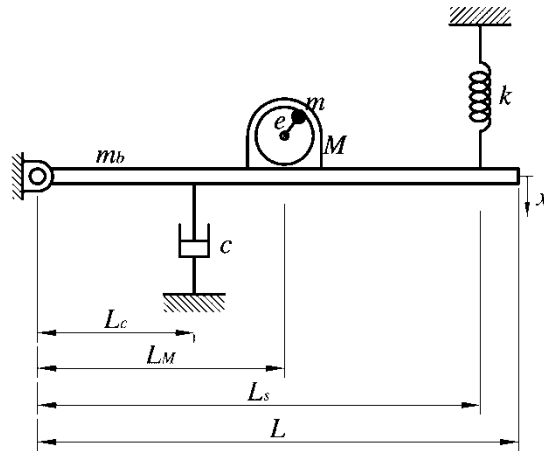
خواسته‌های آزمایش و پرسشها

- ۱- روابط ۲-۷ تا ۵-۷ را اثبات کنید.
- ۲- برای تست ۱ فرکانس طبیعی تست و تئوری را مقایسه کنید.
- ۳- با استفاده از نتایج تست ۲ ضریب میرایی دمپر را به دست آورید.
- ۴- برای تست ۲ فرکانس ارتعاش میرای تست و تئوری را مقایسه کنید.
- ۵- برای تست ۳ دامنه ارتعاش ماندگار تست و تئوری را مقایسه کنید.
- ۶- چگونه می‌توان با استفاده از موتور، فرکانس طبیعی سیستم را به طور تقریبی به دست آورد؟

فرم نتایج: آزمایش ۷ - تست یونیورسال ارتعاشات

گروه:	اعضای گروه:	۱- ۳-	۲- ۴-	تاریخ:
-------	-------------	----------	----------	--------

$$\begin{aligned}
 M &= 3.1 \text{ kg}, \\
 m_b &= 1.65 \text{ kg}, \\
 m &= 50 \text{ gr}, \\
 e &= 5.5 \text{ cm} \\
 k &= 280 \text{ N/m}, \\
 L &= 100 \text{ cm}
 \end{aligned}$$



اندازه گیری طولها:

$$L_s = \quad \text{cm}, \quad L_M = \quad \text{cm}, \quad L_c = \quad \text{cm}$$

معادله حرکت:

$$m_{eq}\ddot{x} + c_{eq}\dot{x} + k_{eq}x = F \sin \omega t$$

تست (۱) ارتعاش آزاد نامیرا:

$\tau_{n,test}(s)$	$\omega_{n,test} = \frac{2\pi}{\tau_{n,test}}$	$\omega_{n,theory} = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m_{eq}}}$	error (%)

تست (۲) ارتعاش آزاد میرا:

$X_1(mm)$ دامنه سیگنال اول	n	$X_n(mm)$ دامنه سیگنال n ام	$\delta = \frac{1}{n-1} \ln \frac{X_1}{X_n}$ کاهش لگاریتمی	ζ	$c_{eq} = \zeta c_c = \zeta 2 \sqrt{k_{eq} m_{eq}}$	$c(N.s/m)$

$\tau_{d,test}(s)$	$\omega_{d,test} = \frac{2\pi}{\tau_{d,test}}$	$\omega_{d,theory} = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$	error (%)

تست (۳) ارتعاش اجباری با تحریک سینوسی:

$\omega_m(s)$ سرعت موتور	$X_{ss,test}(mm)$	$\omega = \frac{\omega_m}{3.8}$ فرکانس تحریک	$r = \frac{\omega}{\omega_n}$	$X_{ss,theory} = \frac{F/k_{eq}}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$	error (%)

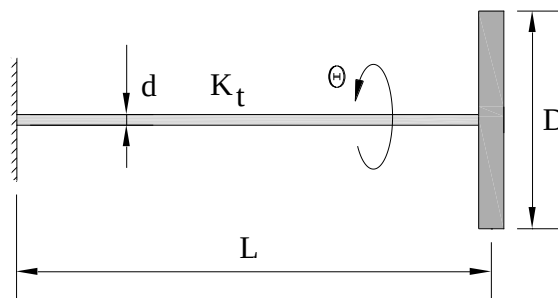
آزمایش ۸) ارتعاشات پیچشی

هدف

- اندازه‌گیری فرکانس طبیعی ارتعاشات پیچشی
- اندازه‌گیری میرایی سیستم ارتعاشی پیچشی
- اندازه‌گیری فرکانس ارتعاشات میرا در سیستم پیچشی

تئوری

روتور به ممان اینرسی جرمی J را در نظر بگیرید که به یک شفت با قطر d و مدول برشی G متصل شده است. شفت مانند یک فنر پیچشی با سختی k_t عمل می‌کند.



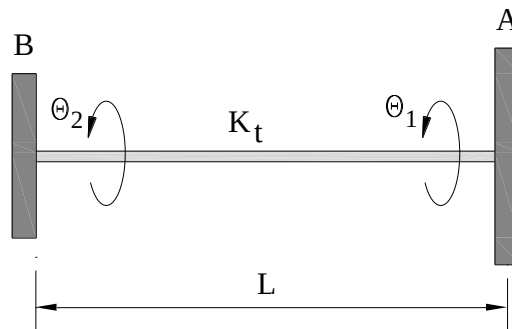
شکل ۸-۱) سیستم پیچشی یک درجه آزادی

فرکانس طبیعی سیستم به صورت زیر است:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_t}{J}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega_n}, \quad K_t = \frac{GJ}{L}, \quad J = \frac{mr^2}{2} \quad (۱-۸)$$

سیستم دو درجه آزادی:

دو دیسک A و B با ممان اینرسی جرمی J_1, J_2 را در نظر بگیرید که به یک فنر پیچشی با سختی k_t متصل شده‌اند.



شکل ۸-۲) سیستم پیچشی دو درجه آزادی

فرکانس های طبیعی این سیستم عبارت اند از:

$$\omega_{n1} = 0$$

$$\omega_{n2} = \sqrt{\frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} K_t} \quad (۲-۸)$$

شرح دستگاه

دستگاه نوسانات پیچشی دارای دو قسمت است. یک قسمت مربوط به نوسانات پیچشی سیستم یک درجه و دو درجه آزادی بدون دمپر، قسمت دیگر مربوط به سیستم یک درجه آزادی با دمپر (مستهلك‌کننده) می‌باشد. میله پیچشی با قطرهای متفاوت همراه دستگاه می‌باشد که برای هر آزمایش می‌توان از چند میله با قطرهای متفاوت استفاده کرد.



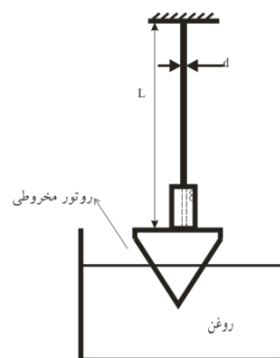
شکل ۸-۳) دستگاه ارتعاشات پیچشی

نوسانات پیچشی سیستم بدون دمپر

این قسمت از دستگاه، از دو دیسک اینرسی که به وسیله یک میله به یکدیگر مرتبط شده‌اند، تشکیل شده است. یک پایه کشویی متحرک، همراه با سه‌نظام متحرک بر روی آن بین دو دیسک طوری تعبیه شده است که می‌توان با بستن و محکم کردن سه‌نظام، نوسانات یک درجه آزادی تحت طولهای متفاوت را داشت. به منظور تست سیستم دو درجه آزادی، دیسک اینرسی دوم همراه با سه‌نظام بر روی میله تحت آزمایش نصب می‌گردد. با ثبت نوسانات سیستم توسط نرم‌افزار، زمان تناوب و دامنه ارتعاش قابل محاسبه است.

نوسانات پیچشی سیستم همراه با دمپر

این قسمت از دستگاه، شامل یک روتور با یک قطعه مخروطی شکل است که توسط میله‌ای به قطر d آویخته شده است (شکل ۸-۴). یک ظرف محتوی روغن در زیر مخروط قرار دارد که قابل جابجایی در جهت قائم می‌باشد. ظرف روغن توسط اهرم واقع در قسمت زیرین آن قابل حرکت به سمت بالا و پایین می‌باشد و می‌توان مخروط را در هر ارتفاعی در درون روغن قرار داده و ضریب استهلاک دمپر را تغییر داد. حرکت ارتعاشی مخروط توسط نرم‌افزار همراه دستگاه قابل رسم است که می‌توان از روی آن زمان تناوب و دامنه ارتعاش را بدست آورد.



شکل ۸-۴) دمپر مخروطی

ثبت نوسانات سیستم ارتعاشی

دو عدد حسگر جهت اندازه‌گیری زاویه انحراف دیسک از حالت تعادل اولیه بر روی دستگاه نصب شده است که یکی مربوط به سیستم ارتعاشی بدون دمپر و دیگری مربوط به سیستم ارتعاشی با دمپر می‌باشد. توسط سوییچ نصب شده بر روی برد الکترونیکی می‌توان ارتباط حسگرهای ۱ و ۲ را با برد الکترونیکی برقرار نمود. به این ترتیب حسگر انتخابی اطلاعات دریافتی از سیستم ارتعاشی مربوطه را به برد الکترونیکی منتقل می‌نماید. برد الکترونیکی بوسیله کابل USB به کامپیوتر متصل شده و اطلاعات را به نرم افزار *Vibration Test* انتقال می‌دهد. قبل از شروع آزمایش باید از اتصال برد الکترونیکی به کامپیوتر اطمینان حاصل شود. در این حالت چراغ LED برد الکترونیکی روشن می‌گردد.

نرم افزار *Vibration Test*

در قسمت بالای صفحه اصلی نرم افزار یک نوار ابزار وجود دارد که آیکونهای مختلفی روی آن قرار دارد که به شرح زیر است:

آیکون *Start*: با فشردن این آیکون ترسیم گراف بر اساس اطلاعات دریافتی شروع می‌شود.

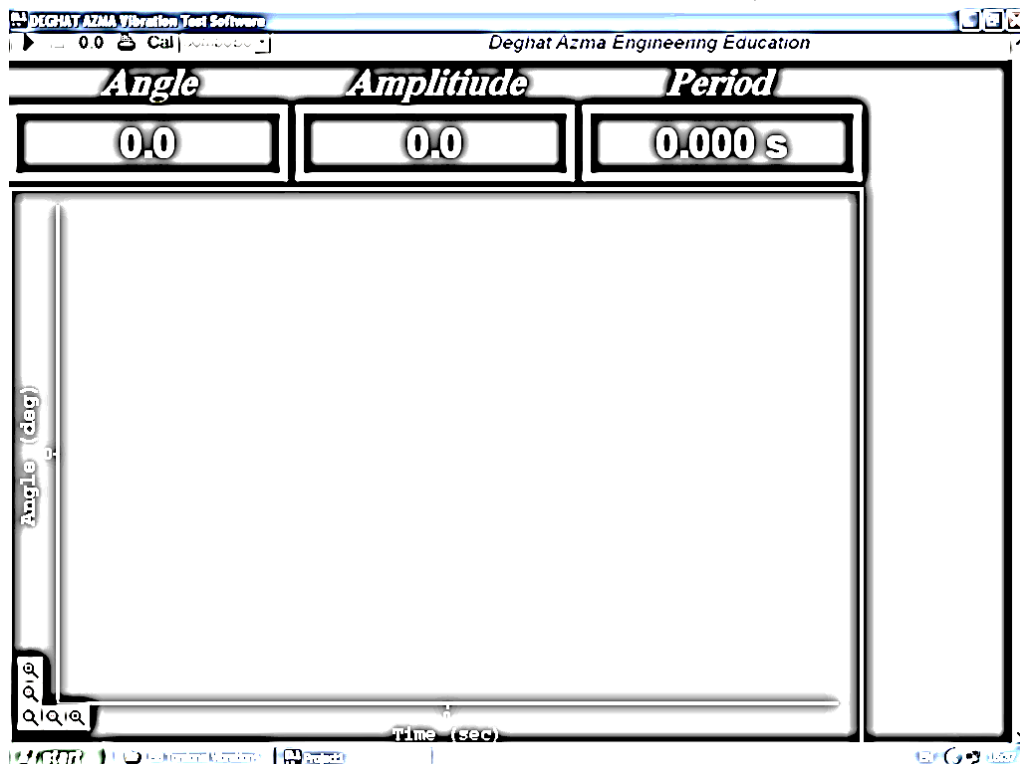
آیکون *Stop*: با فشردن این آیکون ترسیم گراف متوقف می‌شود.

دکمه *Zero*: با فشردن این کلید، تمامی مقادیر نمایش داده شده در نرم افزار صفر می‌شود.

دکمه *Print*: با فشردن این دکمه صفحه *Print Preview* باز می‌شود که در آن گراف تست، قابل مشاهده است.

دکمه *Calibration*: با فشردن این دکمه پس از وارد کردن *Password* پنجره کالیبراسیون باز می‌شود.

با شروع آزمایش و کلیک بر کلید *Start* رسم گراف آغاز می‌شود. گراف، تغییرات فاز بر حسب زمان را نمایش می‌دهد. همچنین فاز، دامنه و زمان تناوب در هر لحظه توسط نرم افزار نمایش داده می‌شود.



شکل ۸-۵ نرم افزار *Vibration Test*

مراحل کار

تست ۱) سیستم پیچشی یک درجه آزادی:

۱- سه نظام انتهایی شفت را محکم کنید تا شفت به صورت یک سردرگیر درآید.

۲- طول شفت را ثبت کنید.

۳- دیسک را چند درجه بچرخانید و سپس آن را رها کنید.

۴- با شروع شدن ارتعاشات دستگاه، آیکن *Start* نرم افزار را کلیک کنید.

۵- پس از نوسانهای کافی، آیکن *Stop* را کلیک کرده و پرپود نوسانات را ثبت کنید.

تست ۲) سیستم پیچشی دو درجه آزادی:

۱- سه نظام انتهایی را باز کنید و سه نظام دیسک ۲ را محکم کنید تا دو دیسک به شفت محکم شده اما شفت آزادانه روی تکیه-گاه بچرخد.

۲- طول شفت را ثبت کنید.

۳- دو دیسک را مقداری در خلاف جهت هم بچرخانید و سپس به طور همزمان آنها را رها کنید.

۴- با شروع شدن ارتعاشات دستگاه، آیکن *Start* نرم افزار را کلیک کنید.

۵- پس از نوسانهای کافی، آیکن *Stop* را کلیک کرده و پرپود نوسانات را ثبت کنید.

۶- دامنه ارتعاش در سیکل اول و سیکل n ام را ثبت کنید.

تست ۳) سیستم پیچشی میرا:

۱- سه نظام انتهایی شفت عمودی را محکم کنید تا شفت به صورت یک سردرگیر درآید.

۲- طول شفت را ثبت کنید.

۳- مخروط انتهایی را تا عمق دلخواه در روغن فرو ببرید.

۴- دیسک را چند درجه بچرخانید و سپس آن را رها کنید.

۵- با شروع شدن ارتعاشات دستگاه، آیکن *Start* نرم افزار را کلیک کنید.

۶- پس از نوسانهای کافی، آیکن *Stop* را کلیک کرده و پرپود نوسانات را ثبت کنید.

۷- دامنه ارتعاش در سیکل اول و سیکل n ام را ثبت کنید.

خواسته‌های آزمایش و پرسشها

۱- روابط ۸-۲ را اثبات کنید.

۲- برای تست ۱ فرکانس طبیعی تست و تئوری را مقایسه کنید.

۳- برای تست ۲ فرکانس طبیعی دوم حاصل از تست و تئوری را مقایسه کنید.

۴- با استفاده از نتایج تست ۳ ضریب میرایی دمپر پیچشی را به دست آورید.

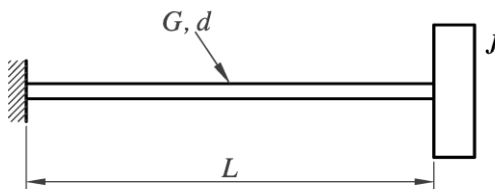
۵- برای تست ۳ فرکانس ارتعاش میرای تست و تئوری را مقایسه کنید.

۶- رابطه‌ای برای محاسبه میرایی دمپر مخروطی برحسب هندسه و ویسکوزیته روغن به دست آورید.

فرم نتایج: آزمایش ۸ - ارتعاشات پیچشی

گروه:	اعضای گروه:	تاریخ:
	۱- ۳-	۲- ۴-

تست (۱) فرکانس طبیعی سیستم پیچشی یک درجه آزادی

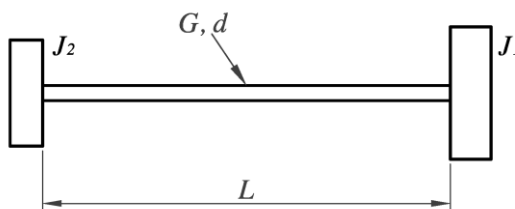


$$D=20\text{cm}, \quad R=D/2, \quad m=4.66\text{kg}, \quad J=mR^2/2$$

$$d=6\text{mm}, \quad G=77\text{GPa}, \quad J_A=\pi d^4/32$$

$L(\text{cm})$	$k_t=GJ_A/L$	$\tau_{n,\text{test}}(\text{s})$	$\omega_{n,\text{test}}=\frac{2\pi}{\tau_{n,\text{test}}}$	$\omega_{n,\text{theory}}=\sqrt{\frac{k_t}{J}}$	error (%)

تست (۲) فرکانس طبیعی سیستم پیچشی دو درجه آزادی



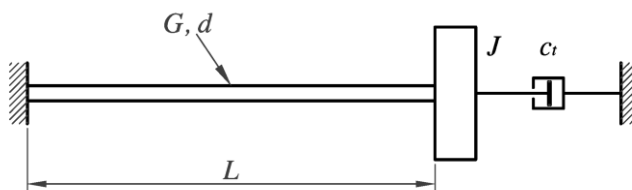
$$D_1=20\text{cm}, \quad R_1=D_1/2, \quad m_1=4.66\text{kg}, \quad J_1=m_1R_1^2/2$$

$$D_2=15\text{cm}, \quad R_2=D_2/2, \quad m_2=2.8\text{kg}, \quad J_2=m_2R_2^2/2$$

$$\omega_1=0, \quad \omega_2=?$$

$L(\text{cm})$	$k_t=GJ_A/L$	$\tau_{2,\text{test}}(\text{s})$	$\omega_{2,\text{test}}=\frac{2\pi}{\tau_{2,\text{test}}}$	$\omega_{2,\text{theory}}=\sqrt{\frac{k_t(J_1+J_2)}{J_1J_2}}$	error (%)

تست (۳) سیستم پیچشی میرا



$$D=20\text{cm}, \quad R=D/2, \quad m=4.66\text{kg}, \quad J=mR^2/2$$

$L(\text{cm})$	$k_t=GJ_A/L$	θ_1 دامنه سیکل اول	n	θ_n دامنه سیکل n ام	$\delta=\frac{1}{n-1}\ln\frac{\theta_1}{\theta_n}$ کاهش لگاریتمی	ζ	$c_t=\zeta c_c=\zeta 2\sqrt{k_t J}$	$c(\text{N.s/m})$

$\tau_{d,\text{test}}(\text{s})$	$\omega_{d,\text{test}}=\frac{2\pi}{\tau_{d,\text{test}}}$	$\omega_{d,\text{theory}}=\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$	error (%)

آزمایش ۹) یاتاقان ژورنال

هدف

○ اندازه‌گیری مقاومت خستگی (تعداد سیکل بار گذاری) مواد

تئوری

خستگی عبارت است از شکست مواد بر اثر بارگذاری مکرر

شرح دستگاه

شکل

مراحل کار

- ۱- یکی از نمونه‌ها را انتخاب و مشخصات آن را ثبت کنید.
- ۲- در پوش محافظ را بردارید.
- ۳-

خواسته‌های آزمایش و پرسشها

- ۱- تعداد سیکلهای شکست را برای

فرم نتایج: آزمایش ۹ – یاتاقان ژورنال

گروه:	اعضای گروه:	۱- ۳-	۲- ۴-	تاریخ:
-------	-------------	----------	----------	--------

تعداد سیکل N	$F(N)$	نمونه	
تست ۱			
تست ۲			
تست ۳			
تست ۴			

آزمایش ۱۰) نیروی کوریولیس

هدف

○ اندازه‌گیری مقاومت خستگی (تعداد سیکل بار گذاری) مواد

تئوری

خستگی عبارت است از شکست

شرح دستگاه

شکل زیر

مراحل کار

۴- یکی از نمونه‌ها

خواسته‌های آزمایش و پرسشها

۲- تعداد سیکل‌های

فرم نتایج: آزمایش ۱۰ - نیروی کوریولیس

گروه:	اعضای گروه:	۱- ۳-	۲- ۴-	تاریخ:
-------	-------------	----------	----------	--------

تعداد سیکل N	$F(N)$	نمونه	
تست ۱			
تست ۲			
تست ۳			
تست ۴			