

آزمایش بالانسینگ

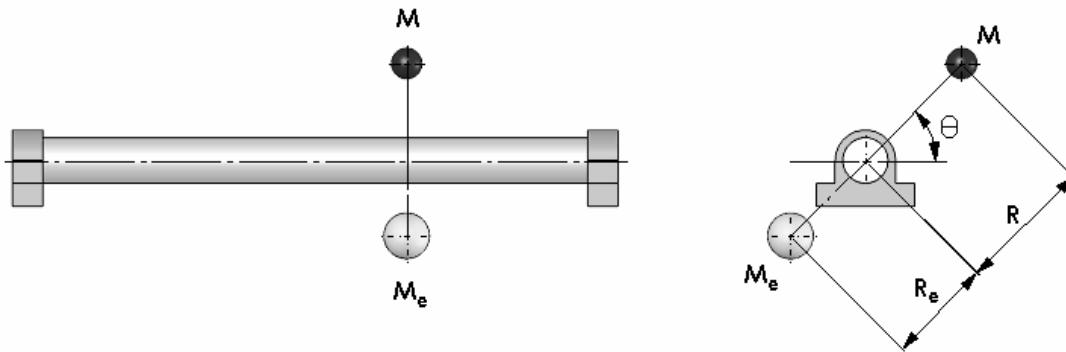
فهرست:

| | |
|----|--|
| ۳ | ۱- انواع بالانسینگ |
| ۳ | ۱-۱- تک جرم گردان |
| ۴ | ۱-۲- تعدادی جرم گردان واقع در یک صفحه عرضی |
| ۵ | ۱-۳- چند جرم گردان واقع در چند صفحه عرضی |
| ۶ | ۲- معرفی دستگاه تست بالانس |
| ۱۰ | ۳- انجام آزمایش |
| ۱۲ | ۴- بحث و بررسی |
| ۱۳ | پیوست ۱ |

۱- انواع بالانسینگ:

۱-۱- تک جرم گردان:

در شکل ۱ شفت حاصل دارای یک جرم متحرک M در فاصله شعاعی R می باشد. فرض می شود M_e جرمی است که می بایست جهت توازن در فاصله شعاعی R_e اضافه گردد.



شکل ۱: بالانس تک جرم گردان

اگر گشتاور نیروهای جاذبه، حول محور دوران صفر باشد، توازن استاتیکی حاصل خواهد شد.

$$-MgR \cos \theta + M_e g R_e \cos \theta = 0 \quad (۱)$$

$$M_e R_e = MR \quad (۲)$$

اگر مقدار R_e به طور دلخواه انتخاب گردد. مقدار M را می توان از رابطه ۲ تعیین نمود.

موقعی که توازن استاتیکی برقرار است، صرف نظر از اینکه شفت در چه موقعیتی قرار دارد، شفت تمایلی به گردش نخواهد داشت.

برای دسترسی به توازن دینامیکی، برآیند نیروهای اینرسی در شکل ۱ می بایست صفر باشد بنابراین اگر سرعت

زاویه ای ω باشد:

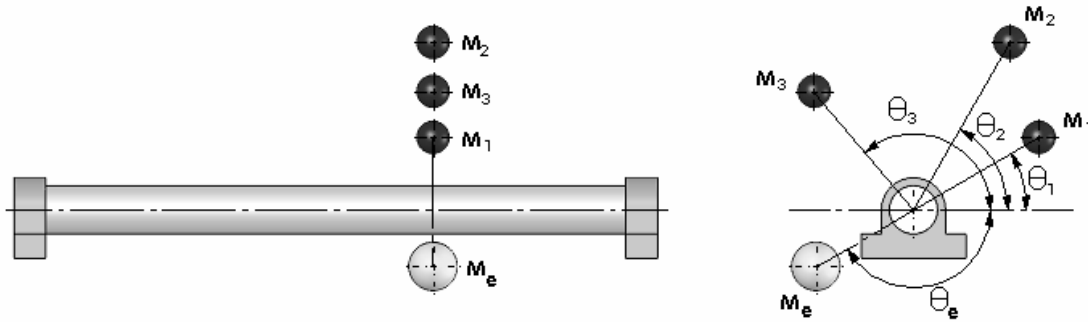
$$MR\omega^2 - M_e R_e \omega^2 = 0 \quad (۳)$$

$$M_e R_e = MR \quad (۴)$$

با توجه به رابطه ۲ و ۴ ملاحظه می کنیم که اگر $M_e R_e = MR$ باشد هم توازن استاتیکی و هم توازن دینامیکی برقرار خواهد بود.

۱-۲- تعدادی جرم گردان در یک صفحه عرضی:

در شکل ۲ شفت دارای جرم های M_1 ، M_2 و M_3 در فواصل R_1 ، R_2 و R_3 می باشد که همگی در یک صفحه دوران واقع می باشند. M_e جرمی است که می بایست به منظور توازن مجموعه در فاصله شعاعی R_e و موقعیت زاویه ای θ_e اضافه گردد.



شکل شماره ۲: بالانسینگ چند جرم گردان در یک صفحه

برای توازن استاتیکی، برآیند گشتاور جرم های اولیه و جرم اضافه شده حول محور دوران باید صفر باشد، بنابراین:

$$\sum MgR \cos \theta + M_e g R_e \cos \theta_e = 0 \quad (5)$$

$$\sum MR \sin \theta + M_e R_e \sin \theta_e = 0 \quad (6)$$

برای توازن دینامیکی می بایست نیروهای اینرسی در تعادل باشند:

$$\sum MR \omega^2 \cos \theta + M_e R_e \omega^2 \cos \theta_e = 0 \quad (7)$$

$$\sum MR \omega^2 \sin \theta + M_e R_e \omega^2 \sin \theta_e = 0 \quad (8)$$

که اگر روابط ۷ و ۸ را بر ω^2 تقسیم شوند:

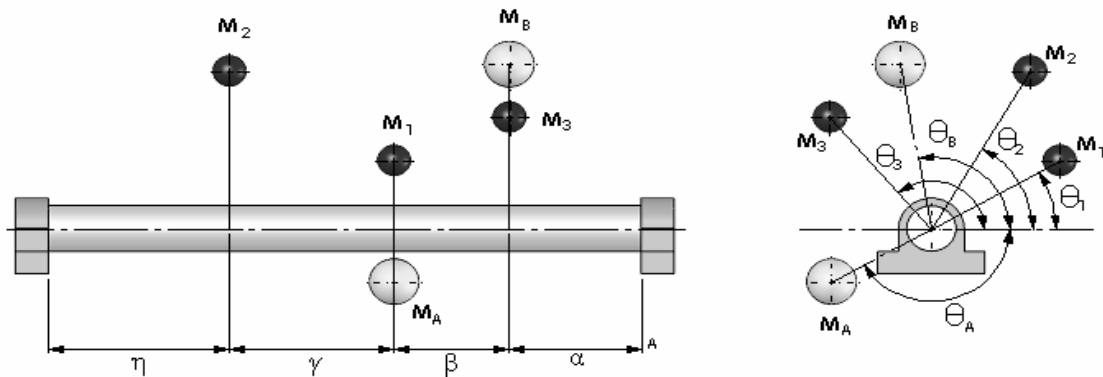
$$\sum MR \cos \theta + M_e R_e \cos \theta_e = 0 \quad (9)$$

$$\sum MR \sin \theta + M_e R_e \sin \theta_e = 0 \quad (10)$$

روابط ۸ و ۹ شرط توازن دینامیکی می باشند. با مقایسه روابط ۵ و ۶ با روابط ۹ و ۱۰ ملاحظه می شود که به شرط برقراری روابط ۹ و ۱۰، هم توازن دینامیکی و هم توازن استاتیکی برقرار خواهند شد.

۱-۳- چند جرم گردان واقع در چند صفحه عرضی:

در شکل ۳ یک روتور حاوی دو جرم متمرکز M_1 و M_2 واقع در دو صفحه عرضی مختلف نشان داده شده است.



شکل ۳: بالانسینگ چند جرم گردان در چند صفحه عرضی

واضح است که نیروهای استاتیکی بالانس بوده و نیروهای دینامیکی F_1 و F_2 نیز با یکدیگر مساوی بوده و بنابراین بالانس می باشند ولی F_1 و F_2 یک کوپل نابالانس را ایجاد کرده که موجب بروز عکس العمل های R_A, R_B در یاتاقانهای A و B می گردد.

بالانس یا توازن یک وسیله گردان یعنی؛ نیروهای موثر در یاتاقانها به طور کامل حذف و یا در حد امکان کاهش یابند. بنابر این علاوه بر نیروها باید در توازن باشند.

برای نشان دادن روش بالانس، یک مجموعه جرم واقع در چند صفحه عرضی، مجموعه جرم های M_1, M_2, M_3 نشان داده شده در شکل ۳ را در نظر می گیریم.

مراحل کار به شرح زیر می باشد:

(۱) بر روی شکل در صفحه عرضی، A و B به عنوان صفحات مرجع انتخاب می شوند.

(۲) فرض می شود فاصله جرم های M_1, M_2, M_3 نسبت به صفحه A در امتداد محور به ترتیب a_1, a_2, a_3 باشند. فواصل سمت راست a مثبت منظور شده (+) و فواصل سمت چپ این صفحه منفی (-) منظور می گردد.

(۳) چون نیروی اینرسی برابر $F = MR\omega^2$ می باشد بنابر این نیروهای F متناسب با MR می باشند. گشتاورها نسبت به صفحه A را می توان با اضافه کردن جرم M_B در صفحه B به گونه ای بالانس کرد که مجموع گشتاورها حول صفحه B صفر باشد.

این منظور به شرطی حاصل می گردد که:

$$\sum MRa \cos \theta + M_B R_B a_B \cos \theta_B = 0 \quad (۱۱)$$

$$\sum MRa \sin \theta + M_B R_B a_B \sin \theta_B = 0 \quad (۱۲)$$

(۴) به منظور بالانس نمودن تمام نیروها جرمی در صفحه A اضافه می شود، بنابراین:

$$\sum MR \cos \theta + M_A R_A \cos \theta_A = 0 \quad (۱۳)$$

$$\sum MR \sin \theta + M_A R_A \sin \theta_A = 0 \quad (۱۴)$$

اگر روابط ۱۳ تا ۱۴ برقرار باشند، مجموعه در بالانس دینامیکی خواهد بود. مجموعه در بالانس دینامیکی باشد در بالانس استاتیکی هم خواهد بود.

توجه به این نکته از اهمیت خاصی برخوردار است که در مرحله چهارم وقتی که جرم M_A جهت بالانس مجموعه به آن اضافه می گردد، این جرم می بایست حتما در صفحه A اضافه گردد.

۲- معرفی دستگاه تست بالانس:

هدف اصلی از به کارگیری دستگاه تست بالانس در حقیقت تجربه کردن تئوری هایی می باشد که پیش از این مطالعه شده است. نحوه طراحی دستگاه به گونه ای می باشد که می توان بالانس استاتیک و دینامیکی را بر روی آن تجربه نمود.

اجزای تشکیل دهنده دستگاه به شرح زیر می باشند:

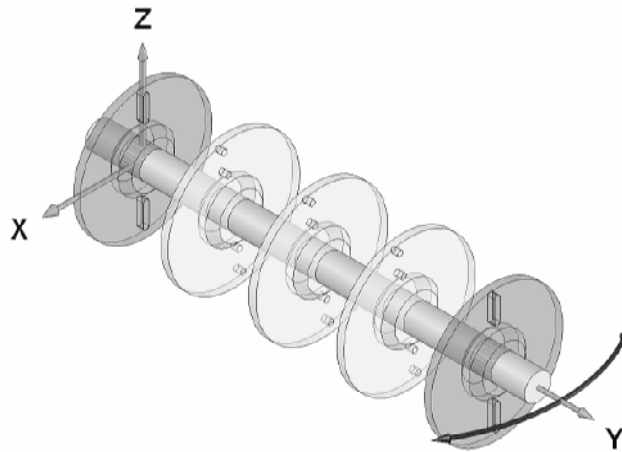
- ۱- یک قاب پیوسته که گهواره نامیده می شود. این قاب به صورت معلق قرار گرفته است تا اثرات نابالانسی را به خوبی نمایش دهد.
- ۲- یک موتور که می توان دور آن را به صورت دلخواه تغییر داد.
- ۳- یک عدد ترانسدیوسر (Transducer) جهت اندازه گیری دامنه نوسانات گهواره.
- ۴- پنج دیسک چرخان که دارای شیارها و سوراخ های مخصوص می باشند. این شیارها و سوراخ ها جهت نصب جرم های نابالانسی و جرم های تصحیح به کار می روند.
- ۵- استروبوسکوپ (Stroboscope)
- ۶- تابلو فرمان
- ۷- یک جعبه شامل جرم های استاندارد.



شکل ۴: نمایی از تابلو فرمان دستگاه تست بالانس

شفت اصلی به همراه دیسک های چرخان و همچنین بیرینگ آن بر روی یک گهواره معلق قرار گرفته اند. ارتعاشات ناشی از نابالانسی، از طریق بیرینگ ها به گهواره منتقل می شود. نکته قابل توجه نحوه اتصال گهواره به بدنه اصلی دستگاه می باشد، این اتصال از دو سمت صورت گرفته است. اگر از روبه رو به دستگاه نگاه شود، درست چپ این اتصال از طریق یک فنر ضربدری و از سمت راست از طریق دو عدد طناب فولادی انجام شده

است. توسط این نوع اتصال در حقیقت حرکت گهواره در یک درجه آزادی محدود می گردد. به این طریق که گهواره تنها در صفحه افقی قادر خواهد بود حول محور مرکزی فنر ضربداری که در راستای محور Z می باشد دوران نماید، که به علت بیشتر بودن طول گهواره نسبت به عرض آن و کوچک بودن زاویه دوران، می توان این حرکت را اینگونه در نظر گرفت که سمت راست گهواره در راستای محور X و عمود بر محور Y حرکت خطی دارد. به این ترتیب حرکت گهواره در راستای محورهای Y و Z توسط فنر ضربداری و اتصالات سمت راست مهار شده است.



شکل ۵: جهت حرکت روتور دستگاه

فرکانس طبیعی سیستم بستگی به اینرسی روتوری دارد که بالانس می شود. این مقدار توسط شرکت سازنده برای گهواره به تنهایی حدود 3Hz و برای گهواره به همراه 5 دیسک حدود 2Hz اعلام شده است. اما همانطور که در بالا شرح داده شد، تاثیر نیروهای ناشی از نابالانسی روتور به صورت یک حرکت نوسانی بر روی تکیه گاه سمت راست که توسط دو عدد کابل معلق شده اند به صورت حرکت ارتعاشی خطی نمایان می شود. به منظور اندازه گیری دامنه این نوسانات از یک ترانسدیوسر استفاده شده است، که در تکیه گاه سمت راست نصب شده است. مقادیر دامنه اندازه گیری شده توسط این وسیله بر روی تابلو فرمان توسط یک نمایشگر آنالوگ

نمایش داده می شود. به منظور بالا بردن دقت نمایش از سه مقیاس متفاوت، جهت نمایش استفاده شده است. ۵-۰، ۲۰-۰ و ۱۰۰-۰.

پنج عدد دیسک موجود بر روی روتور به دو دسته تقسیم می شود. دسته اول که دیسک شماره ۱ و دیسک شماره ۵ را شامل می شود که از این دیسک ها جهت قرار دادن جرم های تصحیح استفاده می شود. و دسته دوم که دیسک های ۲، ۳ و ۴ را شامل می شود که به منظور قرار دادن جرم های نابالانسی استفاده می شود. هر دو دسته باید این قابلیت را داشته که جرم ها در زوایای دلخواه و فاصله شعاعی مناسب نصب شوند. در مورد تنظیم فاصله شعاعی بر روی دیسکهای ۲، ۳ و ۴، سوراخ اول به فاصله ۴۰mm و سوراخ دوم به فاصله ۶۵mm از مرکز قرار گرفته اند، که به این ترتیب فقط دو حالت انتخاب وجود خواهد داشت. اما در مورد دسته اول دو عدد شیار در نظر گرفته شده است که فاصله شعاعی از ۴۰mm الی ۶۵mm را ارائه می دهد. این مسئله به این خاطر است که جرم هایی که برای تصحیح نابالانسی ارائه شده اند قابل تغییر نیستند، در نتیجه به منظور دستیابی به مقدار ۱mm مورد نظر، فاصله شعاعی باید تغییر داده شود، در نتیجه، در این دو دیسک، کاربر در می تواند فاصله شعاعی دلخواهی را در محدوده ۴۰ الی ۶۵ میلی متر انتخاب کند.

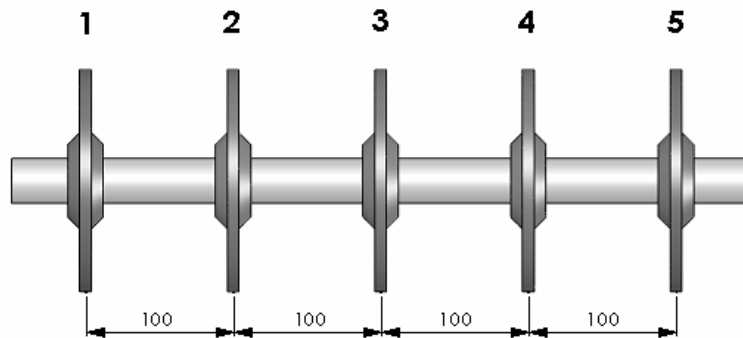
مسئله دیگر تنظیم زاویه اجرام نابالانسی و تصحیح نسبت به مبدا می باشد. جهت این امر، سه عدد پیچ آلنی در نظر گرفته شده است که با شل کردن این پیچ ها و با استفاده از درجه بندی موجود بر روی نافی دیسک ها می توان زاویه مورد نظر را بدست آورد. (امکان این تنظیمات برای هر ۵ دیسک وجود دارد).

در کنار تکیه گاه سمت راست، وسیله ای به نام استروبوسکوپ قرار دارد. این وسیله در دو وضعیت کار می کند. می توان توسط کلیدی که بر روی تابلو فرمان قرار دارد آن را در حالت Internal یا External قرار داد. نحوه کار استروبوسکوپ بدین ترتیب است که، با فرکانسی که کاربر از روی تابلو فرمان برای آن مشخص می کند و یا کنتاکتور دستگاه تعیین می کند، استروبوسکوپ روشن و خاموش می شود. بر روی تابلو فرمان یک کلید چهار وضعیته قرار دارد که می تواند فرکانس های ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۶ را برای استروبوسکوپ ایجاد کند. اما در حالت دوم

یک کنتاکتور در تکیه گاه سمت چپ نصب شده است، و زمانی که دستگاه در حالت Internal است، کار می کند. به این شکل که یک ورق فلزی در گوشه گهواره قرار دارد، پیچ کنتاکتور به گونه ای تنظیم شود که نوک آن در ماکزیمم جابجایی گهواره قرار گیرد، هر بار که ارتعاشات گهواره به ماکزیمم خود می رسد، صفحه فلزی با نوک کنتاکتور برخورد نموده و جریان برقرار می شود و استروبوسکوپ یک بار خاموش و روشن می شود. به این ترتیب روتور با هر فرکانسی دوران کند، استروبوسکوپ نیز باهمان فرکانس کار می کند.

۳- انجام آزمایش:

جهت شروع آزمایش یک توزیع جرم نابالانسی مطابق جدول زیر بر روی دستگاه قرار دهید:



شکل ۶: نمای روبرو روتور

جدول ۱: مشخصات جرم های نابالانسی

| شماره دیسک | جرم (گرم) | شعاع (میلی متر) | زاویه (درجه) | mr (g.mm) |
|------------|-----------|-----------------|--------------|-----------|
| ۲ | ۱۲ | ۶۵ | ۱۵۰ | ۷۸۰ |
| ۳ | ۱۷ | ۶۵ | ۲۸۰ | ۱۱۰۷ |
| ۴ | ۲۲ | ۶۵ | ۲۳۰ | ۱۴۳۰ |

پس از آنکه وزنه ها در موقعیت های مورد نظر قرار گرفت، آزمایش شروع می شود. استروبوسکوپ را در حالت Internal قرار داده و فرکانس آن بر روی ۱۲Hz قرار داده شود. دور روتور به گونه ای تنظیم می شود که اعداد موجود بر روی دیسک شماره ۵ ثابت به نظر برسند. هنگامی که اعداد ثابت شدند، در حقیقت فرکانس چرخشی روتور به مقدار ۱۲Hz رسیده است، یا به عبارتی دور روتور ۷۲۰ rpm باشد. پس از ثابت شدن دور روتور، کمی صبر کرده تا عدد نمایش داده شده در نمایشگر دامنه ثابت شود. سپس این عدد را در مقیاس ۱-۱۰۰ یادداشت نمایید. سپس استروبوسکوپ را در حالت External قرار داده و کنتاکتور طوری تنظیم شود که در هر نوسان ماکزیم جابجایی صفحه فلزی متصل به روتور، مماس بر نوک کنتاکتور باشد. در نتیجه فرکانس استروبوسکوپ دقیقا برابر فرکانس چرخشی روتور می گردد. هنگامی که استروبوسکوپ در حالت Internal تنظیم شد، عددی که روی دیسک نمایش داده می شود و درست روبه روی آن در محور افقی قرار دارد را یادداشت نمایید. این زاویه در حقیقت همان زاویه ای است که مجموع نابالانسی ها در آن موجود می باشد. پس از یادداشت دامنه نوسان گهواره و زاویه مربوط به محل نابالانسی، دستگاه را خاموش نمایید.

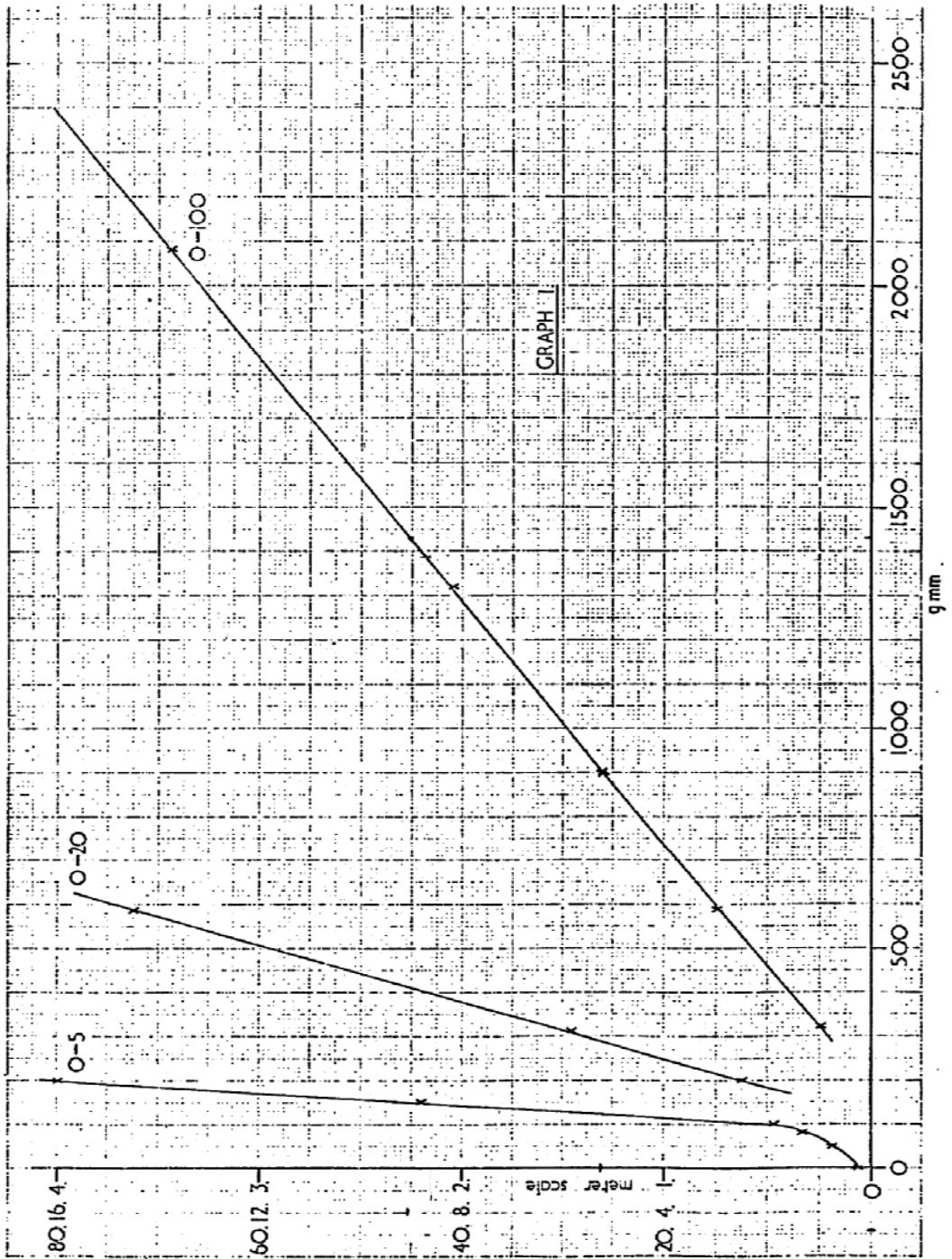
ابتدا می بایست مقدار Im که معرف مقدار جرم مورد نیاز جهت بالانس و همچنین شعاع مورد نظر جهت نصب می باشد بدست آید. جهت بدست آوردن مقدار Im به نمودار کالیبراسیون مراجعه نمایید (پیوست ۱). با استفاده از مقدار یادداشت شده برای دامنه نوسان، مقدار Im از نمودار کالیبراسیون به دست می آید. سپس با توجه به جرم های موجود در آزمایشگاه و محدوده فاصله شعاعی موجود، جرم مناسب انتخاب می شود.

پس از بدست آوردن جرم و شعاع می بایست زاویه مورد نظر را جهت نصب جرم تصحیح بدست آورد. جهت خنثی کردن نابالانسی باید جرم تصحیح با ۱۸۰ درجه اختلاف نسبت به زاویه یادداشت شده حین آزمایش، نصب گردد. پس، در این مرحله زاویه مورد نظر جهت بالانس بدست می آید. جرم مورد نظر را در موقعیت بدست آمده نصب نمایید. سپس دستگاه را روشن نموده، استروبوسکوپ را در حالت ۱۲ Hz قرار دهید. دور دستگاه را طوری تنظیم نمایید که اعداد ثابت به نظر برسند. پس از اینکه دور ثابت شد، دامنه نوسانات گهواره را یادداشت نمایید.

۴- بحث و بررسی:

با توجه به جرم های موجود در جدول توزیع جرم نابالانسی، جرم مورد نیاز جهت بالانس روتور را از طریق تئوری بدست آورید و با مقدار بدست آمده از آزمایش مقایسه نمایید. در صورت وجود اختلاف، دلیل آن را بیان کنید.

پیوست ۱:



شکل ۱: نمودار کالیبراسیون