دستور العمل انجام آزمایشات آز
دینامیک ماشین و ارتعاشات
جلد اول

گرد آورنده : دکتر تیموری فعال

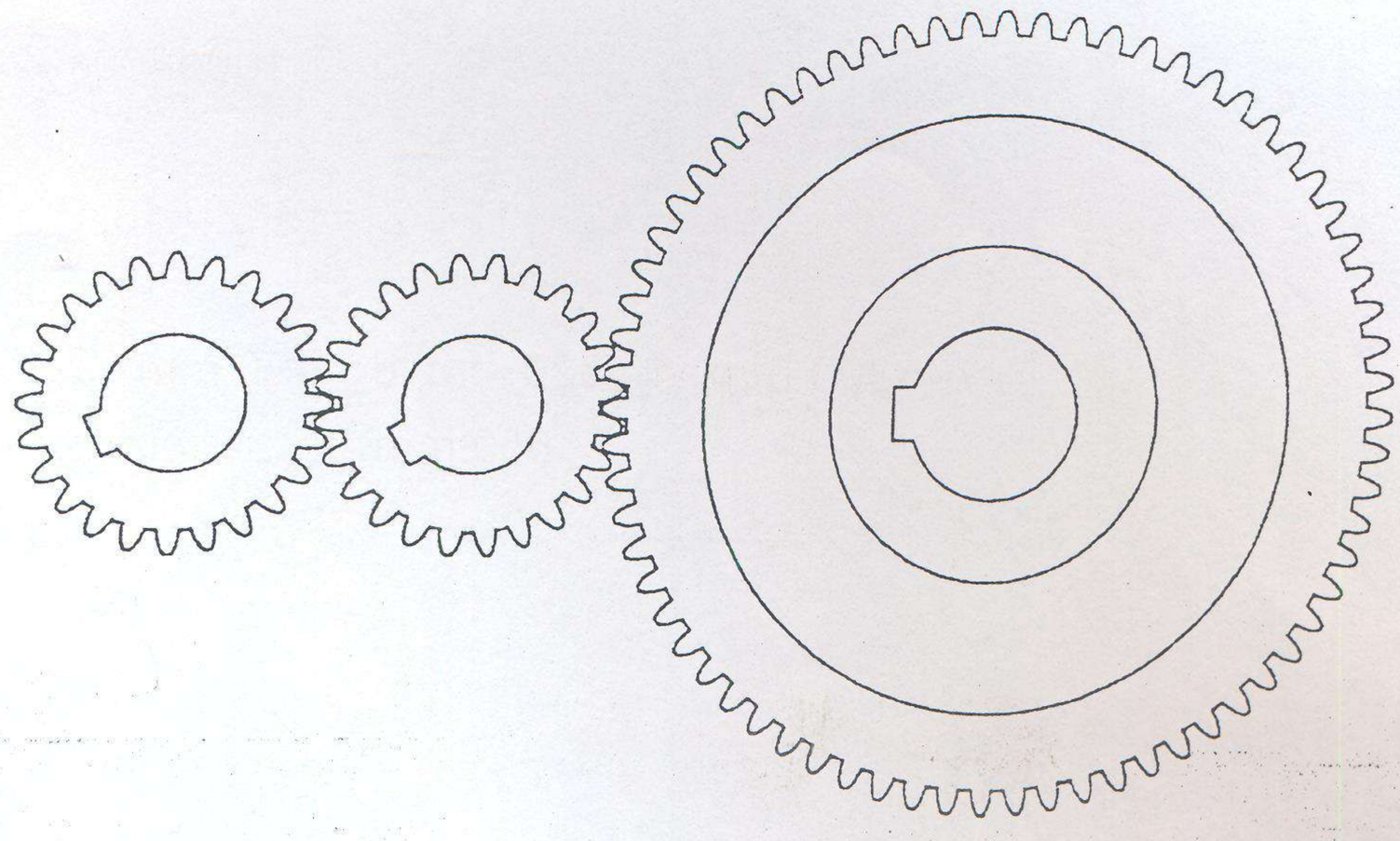
٤٨ ش

تشکر و قدردانی :

بدینوسیله از زحمات همکار گرامی جناب آقای دکتر غریبلو که در امر تهیه این دستور العمل راهنمای اینجانب بوده اند و نیز از زحمات سرکار خانم جعفری و رسولی که در تایپ آن به اینجانب کمک نمود ه اند کمال تشکر را دارم.

رضا تیموری فعال

دستگاه مجموعه چرخ دندهای GL 100



Instruction Manual

1. مقدمه عمومی

1.1 اهداف

دستگاه مجموعه چرخ دنده ای GL 100 برای توضیح روابط بین چرخ تسمه ها، چرخ های اصطکاکی و چرخ دنده ها بکار می رود. آزمایشات برای یافتن معادلات اصلی انواع متفاوت سیستمهای تولید حرکت انجام می شود. این آزمایشات رابطه بین انواع متفاوت چرخها، یعنی چرخ های غلتان اصطکاکی متناظر با دایره گام چرخ دنده ها را مختصرا شرح می دهد. جنبه های ویژه یک نوع مورد نظر ازچرخ از قبیل، لغزش، دقت نسبت انتقال و جهت دوران مختصرا شرح داده می شود. قوانین اصلی و اطلاعات درباره چرخ دنده های ساده از قبیل دایره گام، ارتفاع سر دنده، ارتفاع پای دنده، مدول، گام و فاصله بین مراکز بررسی می گردد.

2. تشریح طراحی

دستگاه مجموعه چرخ دنده ای GL 100 روی یک فریم آلومینیومی محکم نصب می شود. فریم دستگاه از سه پایه واقع در شیارهای T شکل که می توانند بوسیله اهرمهای گیر دار کننده آزاد شوند و بطور افقی تغییر موقعیت دهند، تشکیل می شود. سه پایه طوری طراحی شده اند که چرخهای اصطکاکی متفاوت را در خود جای

دهند. چرخ دنده ها روی چرخهای اصطکاکی نصب می شوند که شبیه تسمه پولی ها عمل می کنند. پیچهای آجدار برای جدا کردن چرخ دنده ها بکار می روند.

1.3 اطلاعات فنی

ابعاد اصلی : 1100×600×320 mm

وزن : 20 kg

تعداد دندانه ها : $Z_1=15, Z_2=16, Z_3=20$

مدول : $m=20$ mm

قطر پولی های دارای تسمه : $d_1=300$ mm, $d_2=320$ mm, $d_3=400$ mm

تسمه : از نوع ارینگ با قطر 5 mm و طول 650 mm

چرخ دنده ها از فولاد و پولی های دارای تسمه از جنس پلاستیک هستند.

2 اصول تئوری

2.1 رابطه بین چرخ تسمه، چرخ اصطکاکی و چرخ دنده

چرخها از چرخهای اصطکاکی ساده به چرخ تسمه و سپس به چرخ دنده مدرن توسعه یافته اند. این توسعه به دلیل عدم توانایی چرخهای اصطکاکی در انجام نیازمندیهای مربوط به لغزش و توان انتقالی می باشد. در حقیقت چرخهای اصطکاکی نقطه شروع توسعه (ایجاد) انواع دیگر چرخها بود. قطر چرخ اصطکاکی معادل با قطر پولی چرخ تسمه و قطر دایره گام چرخ دنده می باشد. در دستگاه مجموعه چرخ دنده ای GL 100 می توان نشان داد که چگونه قطر دایره گام چرخ دنده منطبق بر قطر چرخ اصطکاکی می شود. رابطه بین سه نوع چرخ بصورت زیر می باشد

$$d_1 n_1 = d_2 n_2$$

که در این رابطه d_1 و n_1 به ترتیب قطر معادل و تعداد دور چرخ اول و d_2 و n_2 به ترتیب قطر معادل و تعداد دور چرخ دوم می باشند که به طور مستقیم یا غیر مستقیم با این چرخ در گیر می باشد. این رابطه بر اساس DIN 3999 می باشد.

2.2 چرخ اصطکاکی

2.2.1 نحوه عملکرد

چرخهای اصطکاکی چرخهای با حرکت یکنواخت[1] هستند که نیروهای محیطی را بین چرخ های ساده با محورهای موازی یا محور های متقاطع از طریق تماس غلتشی انتقال می دهند. حرکت لغزشی میکروسکوپی در سطح تماس لغزش همرا با تنشهای هرتز را تولید می نماید. بنابر این نسبت انتقال وابسته به بار می باشد. این

[1] uniform- motion

چرخها فقط برای توانهای محدود مناسب هستند. مزیت این چرخها کار با نویز نسبتا پایین همرا با پوششهای اصطکاکی نرم می باشد. چرخهای اصطکاکی برای مثال در وسایل خانگی و مکانیزمهای دقیق بکار می روند.

2.2.2 مشخصات

در چرخهای اصطکاکی فاصله بین مراکز چرخها (a) از رابطه $a = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)$ بدست می آید که در آن d_1، قطر چرخ اصطکاکی اول و d_2 قطر چرخ اصطکاکی دوم می باشد.

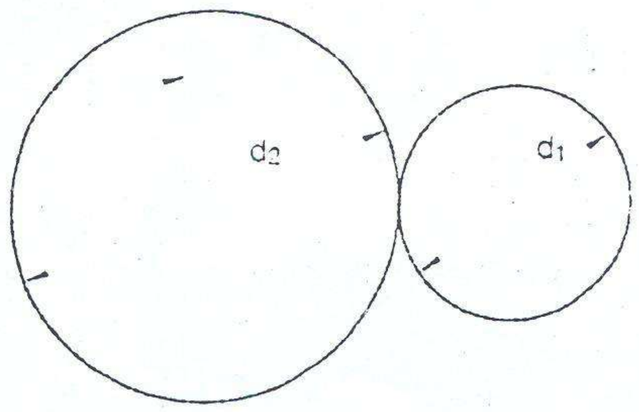


Fig. 1: Friction-gear specifications

شکل ۱ : مشخصات چرخ اصطکاکی

2.3 چرخ تسمه

2.3.1 نحوه عملکرد

چرخ تسمه ها (چرخهای انعطاف پذیر) حرکت دورانی و توان بین دو محور غیرهم راستا[2] (بویژه با فاصله بین محوری زیاد) یا بیشتر از دو محور، را همراه با هزینه ساخت مینیمم انتقال می دهند. برای استفاده از چرخ تسمه، از تسمه های مسطح طویل، تسمه های V شکل، تسمه های گرد یا زنجیرهائی که حول پولی ها یا چرخ زنجیرهای محور های ورودی و خروجی پیچیده می شوند استفاده می شود و بنابر این سرعتها و نیروهای محیطی را انتقال می دهند. انعطاف پذیری و مقاومت اصطکاکی این چرخ ها همیشه نیاز به مینیمم کشش اولیه را برای برقراری مقاومت اصطکاکی ایجاب می کند. انتقال دورانی بار همرا با اندکی بستگی به لغزش می باشد. این چرخها می توانند برای نسبتهای انتقال ثابت یا متغییر بکار برده شوند.

2.3.2 مشخصات

---

[2] non-coaxial

در شکل ۲ مشخصات چرخ تسمه مشاهده می گردد که در آن d_1، قطر پولی راننده و d_2 قطرپولی رانده شده و a فاصله بین مراکز چرخها می باشد.

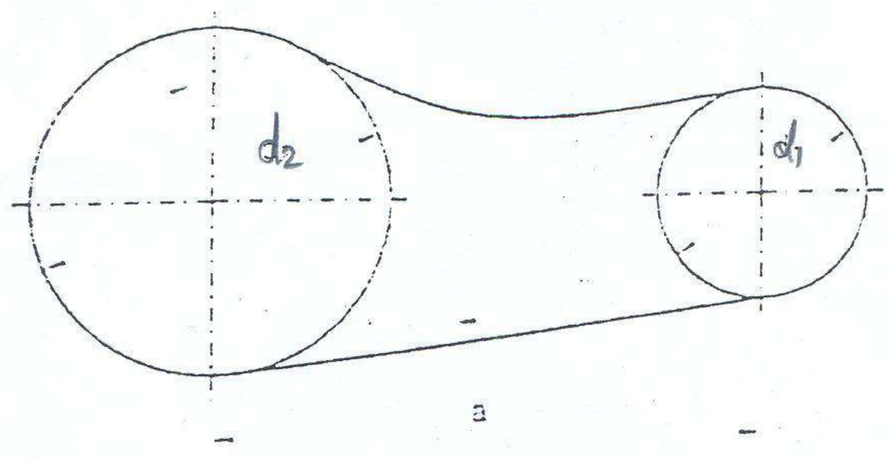


Fig. 2: Belt drive specifications

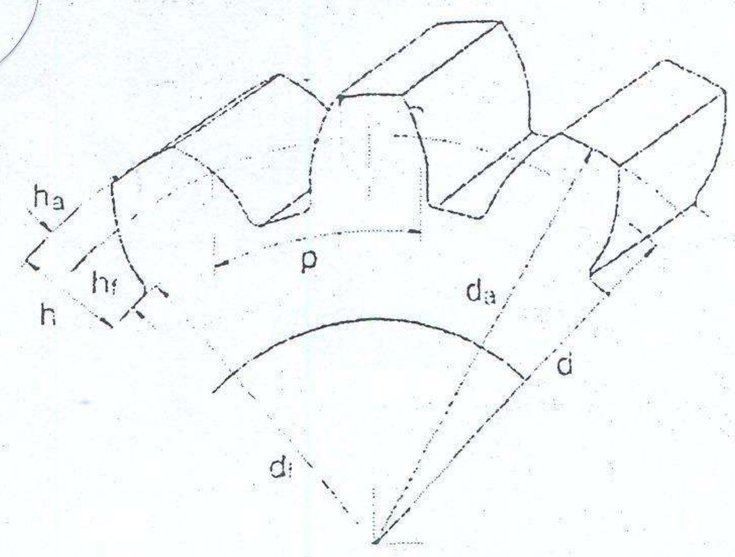
شکل ۲ : مشخصات چرخ تسمه

2.4 چرخ دنده

2.4.1 نحوه عملکرد

چرخ دنده ها حرکت دورانی را از یک محور به محور دیگر از طریق تماس مثبت بین دندانه های درگیر انتقال می دهند و بنابر این بر عکس چرخهای انعطاف پذیر نیازی به تسمه، تسمه دندانه دار یا زنجیر ندارند. چون محور های دستگاه مجموعه چرخهای GL 100 موازی هستند چرخ دنده های ساده بکار برده می شوند.

2.4.2 مشخصات



شکل۳ : مشخصات چرخ دنده ساده

d: قطر گام

d_a : قطر دایره سردنده

D_f: قطر دایره ته دنده

h: عمق دندانه

h_a : ارتفاع سر دنده

h_f : ارتفاع ته دنده

b: پهنا

p: مدول

c : لقی دایره سَردنده ها

a: فاصله مراکز چرخ دنده ها

Z: تعداد دندانه ها

n : سرعت دورانی (تعداد دور)

2.4.3 فرمولها

قطر دایره گام: $d=mZ$

عمق دندانه: $h= 2m+c$

قطر خارجی: $d_a=d+2m=m(Z+2)$

ارتفاع سردنده: $h_a= m$

قطرریشه : $d_f =d-2(m+c)$

ارتفاع ته دنده: $h_f= m+c$

لقی سر دندانه: $c= (0.1 \text{ تا } 0.3)m$

گام: $p=m\pi$

فاصله بین مراکز چرخ دنده ها: $a=\frac{1}{2}(d_1+d_2)$

مدول: $m=p/\pi$

3. آزمایشات

در بخش زیر چندین آزمایش شرح داده می شود که با دستگاه مجموعه چرخ دنده ای GL100 می تواند انجام شود. در این آزمایشات پنج هدف زیر مدنظر می باشند.

3.1 آزمایش چرخ اصطکاکی

برای نمایش طرز کار چرخ اصطکاکی اتصال چرخ دنده ها از چرخهای اصطکاکی بوسیله شل کردن پیچهای آجدار قطع می گردد. با آزادکردن اهرمهای گیردارکننده امکان حرکت به جلو چرخهای اصطکاکی با هم در داخل شیار راهنما T شکل فراهم می آید.

اولین هدف:

- کاربرد و درک معادله اصلی $d_1 n_1 = d_2 n_2$
- کاربرد و درک معادله نسبت $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$
- کاربرد روابط فوق به مدل
- مقایسه جهت دوران چرخها (غیر همجهت می چرخند)
- درک اینکه چرخهای اصطکاکی تمایل به لغزش دارند و نسبت دقیق همواره برقرار نخواهد بود. این نواقص از طریق استفاده از چرخ دنده یا تسمه قابل حل کردن است.

قطر چرخ اصطکاکی اول: d_1=400 mm:

قطر چرخ اصطکاکی دوم: d_2=300 mm:

نسبت i را محاسبه نمائید.

توجه: ایجاد تلرانس می تواند سبب شود تا قطر چرخ اصطکاکی از قطر ایده آلش متفاوت باشد و همین امر سبب یک اختلاف در مقدار نسبت i گردد. بعنوان مثال 30 دوران چرخ اصطکاکی به قطر d_1 می تواند سبب 40 دوران چرخ اصطکاکی به قطر d_2 با حدود 3^o -8^o اختلاف گردد.

نکته: برای تعیین تعداد دورانها بهتر است بکمک یک گچ در جلوی چرخهای اصطکاکی علامتگذاری نمائید.

3.2 آزمایش چرخ تسمه

برای نمایش طرز کار یک چرخ تسمه، دو چرخ اصطکاکی به قطرهای d_2, d_1 باید از هم جدا شوند. سپس ارینگ تهیه شده دورپولی ها قرار می گیرد. حرکت چرخهای اصطکاکی قبل از جداسازی بطور جزئی کشش اولیه ایجاد می کند.

هدف دوم:

معادله اصلی چرخ اصطکاکی برای چرخ تسمه ها هم بکار می رود.

- نسبت ثابت باقی می ماند
- مقایسه جهت دوران چرخها (هم جهت می چرخد)
- فاصله مراکز تاثیری ندارد

برای بررسی تعداد دوران های پولی های دارای تسمه راننده و رانده شده جدول زیر را تهیه کنید.

n_1	3	30	60	300
n_2				

توجه: ایجاد تلرانس می تواند سبب شود تا قطر پولی از قطر ایده آلش متفاوت باشد و همین امر سبب اختلاف در مقدار نسبت i گردد. بعنوان مثال 30 دروان چرخ اصطکاکی به قطر d_1 می تواند سبب 40 دوران چرخ اصطکاکی به قطر d_2 با حدود $3°-8°$ اختلاف گردد.

- نسبت i را در این حالت نیز محاسبه نمائید.

3.1 آزمایش چرخ دنده

چرخ دنده دار روی دستگاه مجموعه چرخ دنده ای از طریق پیچ کردن روی طوقه های چرخ به کار می افتد. فاصله مراکز چرخ دنده ها بوسیله شل کردن اهرمهای گیردار کننده تنظیم می گردد.

هدف سوم: چرخ دنده یک مرحله های

- پولی های دارای تسمه/ چرخهای اصطکاکی در این حالت متناظر با دوایر گام چرخ دنده ها هستند.
- دوایر گام چرخ دنده ها دوایر خیالی هستند که هنگامی که دندانه ها درگیر می شوند در تماس با یکدیگر روی هم می غلتند.
- معادله اصلی و رابطه نسبت i مشابه حالتهای قبل هستند
- بررسی جهت چرخش چرخ دنده ها (در جهت مخالف همدیگر می چرخند.)

هدف چهارم: چرخ دنده تک مرحله ای واسط

- به مجموعه چرخ دنده ای یک چرخ دنده واسط سوار می شود.
- چرخ دنده واسط هیچ تأثیری روی نسبت i ندارد.
- بررسی جهت چرخش چرخ دنده های راننده و رانده شده (همجهت با یکدیگر می چرخند)

هدف پنجم: تعیین رابطه $d=mZ$

جدول زیر را پر کنید.

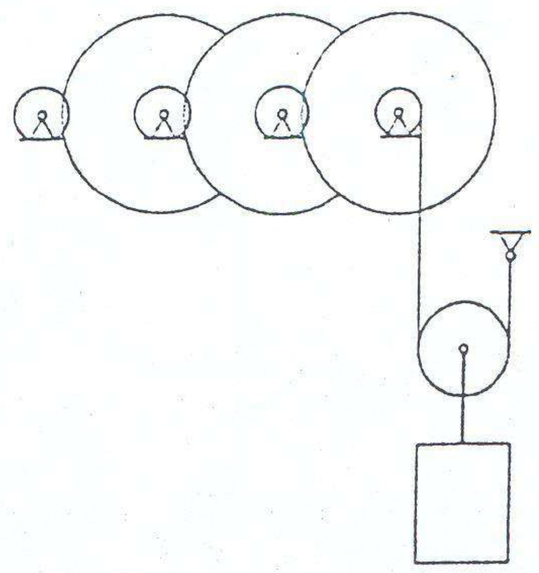
	Z_1	Z_2	Z_3
D[mm]	300	320	400
Z	15	16	20
d/Z[mm]			

نتایج سه ستون بالا را مقایسه نمائید. حاصل d/Z چه نامیده می شود؟

بدلیل انتقال توان مثبت در دیواره های دندانه امکان لغزش وجود ندارد و بر خلاف چرخ تسمه و چرخ اصطکاکی نسبت دچار انحراف نمی گردد.

دستگاه سیستم چرخ دنده ای GL 210 Geared System Apparatus

1.مقدمه



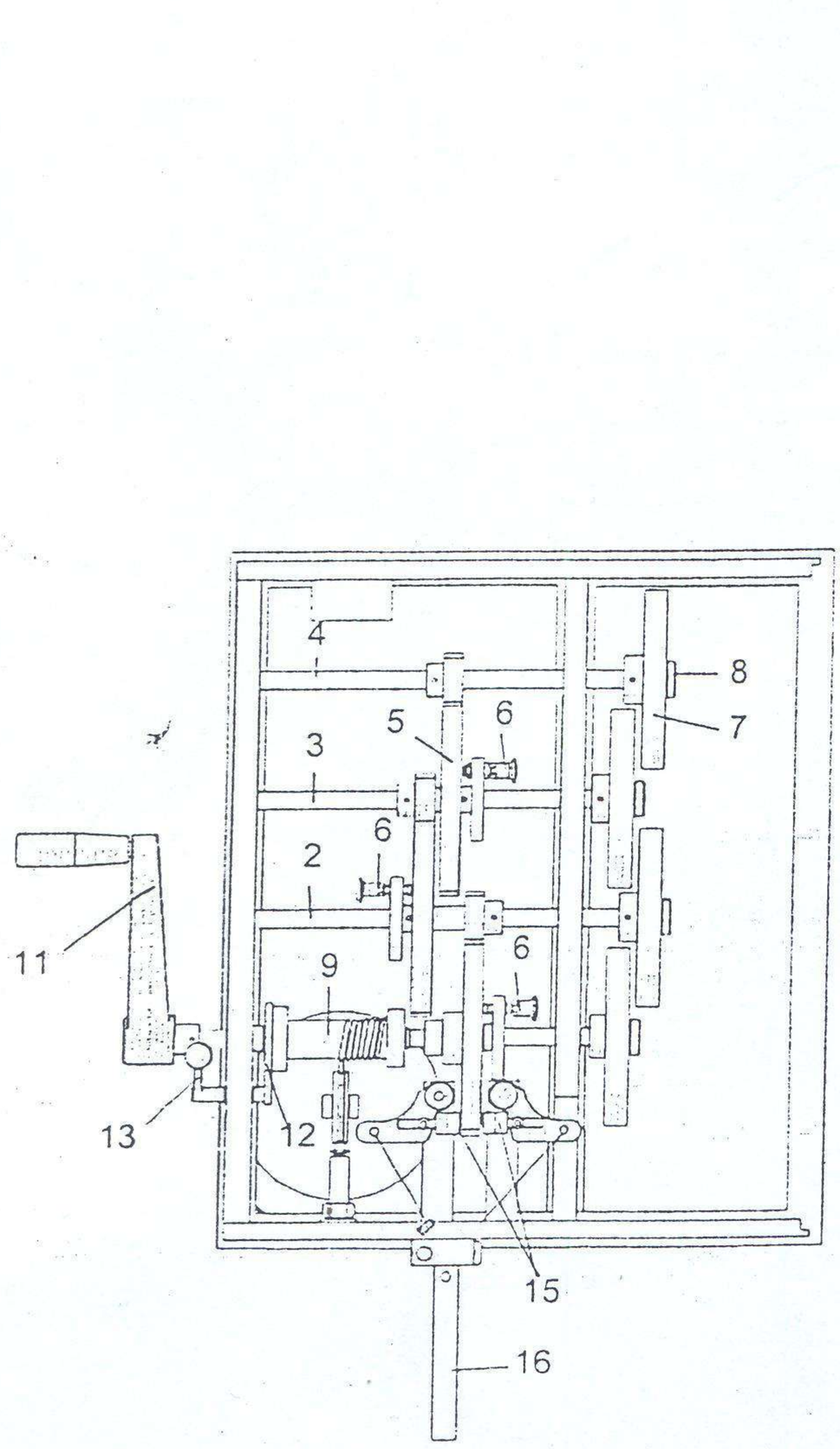
دستگاه سیستم چرخ دنده ای GL 210 امکان ملاحظه و بررسی رفتار دینامیکی دستگاه چرخ دنده ای چند سرعته با گشتاورهای اینرسی توزیع شده (اینرسی دورانی) را فراهم می کند. دستگاه موردنظر برای مطالعه عناوین زیر مفید است:

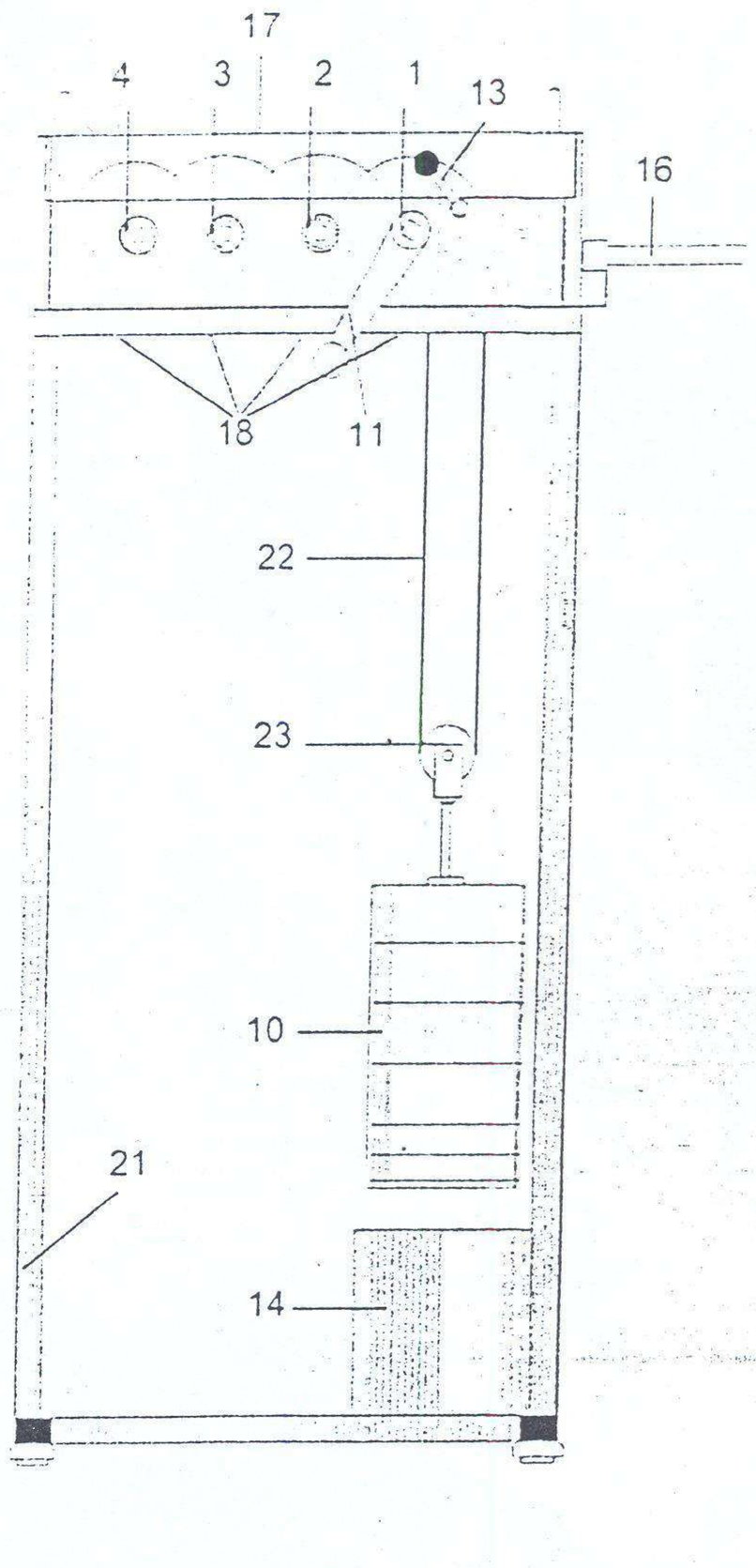
- شتاب چرخ دنده تحت یک گشتاور ثابت محرک
- تأثیر گشتاور اینرسی
- تأثیر نسبت انتقال
- تعیین گشتاور اینرسی جرمی کاهش یافته
- تعیین مقاومت در شروع حرکت
- تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی

مقایسه شتابهای اندازه گیری شده و محاسبه شده امکان بررسی کارائی سیستم چرخ دنده ای را فراهم می کند. شتاب سیستم بوسیله یک ثبت کننده بصورت خط پیوسته ترسیم می گردد که نمودار سرعت — زمان را تشکیل می دهد. این عمل توسط مجموعه ای از وزنه ها با یک ریسمان و یک استوانه[1] بعنوان محرک با گشتاور ثابت انجام می گیرد.

[1] drum

2. طراحی و عملکرد



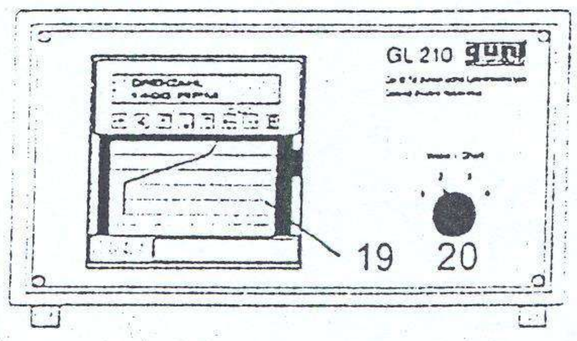


دستگاه سیستم چرخ دنده ای شامل یک بخش چرخ دنده ی ساده[1] سه سرعته با چهار محور (1,2,3,4) و نسبت انتقال 1:4 در هر حالت می باشد. چرخ دنده ای محرک (5) از طریق پینهای رابط جدا شونده[2] به محورها (1,2,3,4) متصل می شوند و امکان ایجاد دستگاههای چرخ دنده ای یک و دو سرعته را فراهم می کنند. فلایویل[3] اضافی(7) می تواند به هر محور متصل گردد تا گشتاور اینرسی را افزایش دهد. اتصال فلایویل از طریق دو پین محرک صورت می گیرد. فلایویل بوسیله پیچ آجدار مرکزی (8) در جایش نگداشته می شود. محورها و چرخ دنده های محرک به ترتیب بوسیله یاتاقهای خود تنظیم[4] و یا یاتاقهای باشیارگود[5] نگه داشته می شوند. قسمت چرخ دنده ای روی یک فریم لوله ای چهارگوش جوش داده شده (21) نصب می شود. قسمت چرخ دنده ای بوسیله ریسمان حول درام (9) و یک مجموعه از وزنه های متفاوت (10) (ماکزیمم 50kg) می چرخد. ارتفاع سقوط 65cm می باشد و لذا ماکزیمم انژی پتانسیل ذخیره شده 320Nm می باشد. برای دوبرابر کردن مسافت طی شده در درام ریسمان پیچ شده، ریسمان(22) حول یک پولی راهنما (23) متصل به مجموعه ای از وزنه ها دور می زند. یک کلاچ فلاویول با

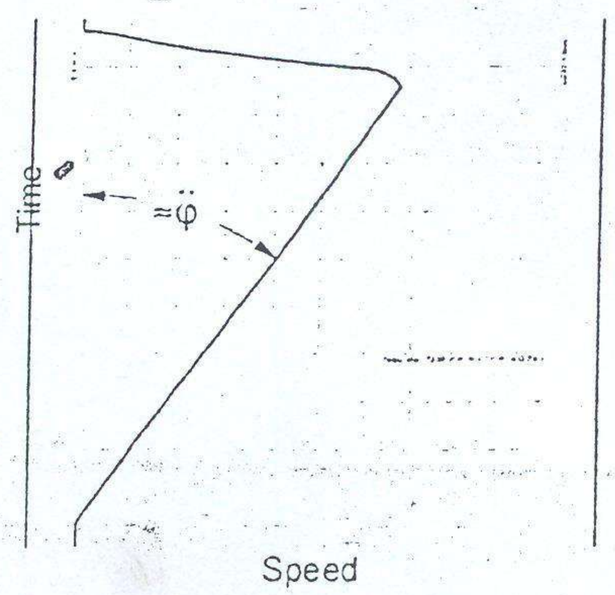
---

[1] spur gear
[2] disengaging coupling pin
[3] flywheel
[4] self – aligning
[5] deep – groove

گیره غلتکی[1] در درام ریسمان پیچ شده از پیچش ناخواسته ریسمان در پایان مرحله شتابگیری جلوگیری می نماید. **لنگ** جداشونده (11) بر روی اولین محور برای بالابردن وزنه ها بکار می رود و یک **ضامن نگه دارنده**[2] (12) از سرخوردن جلوگیری می کند. در شروع ضامن بوسیله یک دستگیره[3] (13) آزاد می شود. ترمز (15) با دستگیره (16) که روی چرخ دنده محرک اولین محورعمل می کند، امکان کاهش شتاب تدریجی چرخ دنده شتاب دهی شده دستگاه و همچنین مجموعه وزنه ها را فراهم می آورد. **پوشش شفاف محافظ**[4] (17) از احتمال برخورد با قسمتهای دوار جلوگیری می کند. برای همه محورها سنورهای القائی[5] (18) وجود دارند که سرعت را اندازه گیری می کنند. یک مبدل فرکانس به ولتاژ و ثبت کننده خطی (19) واقع در محفظه جداگانه برای ترسیم گرافهای سرعت – زمان بکار برده می شوند. محوری که باید سرعتش اندازه گیری شود از طریق کلید دورانی (20)می تواند انتخاب گردد.



Line recorder



Speed/time graph

ثبت کننده خطی و نمودار سرعت – زمان

[1] grip – roller
[2] retaining pawl
[3] hand lever
[4] transparent protective cover
[5] inductive sensors

3. مراقبتهای ایمنی

مقدار خیلی زیادی انرژی جنبشی در قسمت چرخ دنده ای وقتی که با ماکزیمم سرعتش حرکت می کند ذخیره می شود. نسبت انتقال نهائی بالا یعنی 1:64 می تواند گشتاورها و نیروهای بالائی را تولید کند. لذا **قسمت چرخ دنده ای فقط باید بوسیله ترمز متوقف شود. هرگز کوشش نکنید**
قسمت چرخ دنده ای را از طریق لنگ یا بزور نگه داشتن قسمتهای دوار متوقف نمائید.

3.1 ایمنی

خطر

- **خطر آسیب دیدگی** بوسیله قسمتهای دوار (چرخ دنده ها، فلایویها، محرکهای حرکت، لنگها، بلحورها)
- هرگز دستگاه را بدون پوشش محافظ بکار نیندازید
- **هرگز از قسمت پایین بخش چرخ دنده ای را در حال کار لمس نکنید.**
- **قبل از شروع کار لنگ دستی را آزاد کنید.**

خطر له شدگی یا خردشدگی

- وقتی وزنه ها را جابجا می کنید مواظب باشید (ماکزیمم وزن 50kg)
- هرگز دست خود را زیر وزنه های معلق نبرید.
- ریسمان را از لحاظ آسیب دیدگی (پارگی جزئی) در فواصل معین بویژه در نقاط اتصال چک کنید. **اگر ریسمانها پارگی دارند آنها را تعویض نمائید.**

خطر شوک الکتریکی

- اتصال اصلی برق را قبل از بازکردن ثبت کننده قطع کنید.
- کار روی سیستم الکتریکی فقط باید بوسیله افراد متخصص بکار برده شود.

توجه

هرگز کوشش نکنید که ضامن نگه دارنده را برای توقف وزنه های درحال سقوط بکار ببرید چرا که این عمل می تواند ضامن را معیوب نماید. وزنه ها را بوسیله ترمز متوقف کنید و سپس ضامن نگه دارنده را برای ایمنی درگیر کنید.

3.2 نکات مهم برای راه اندازی

توجه

- قبل از بالا بردن وزنه ها، مطمئن باشید که ریسمان بطور مناسب روی پولی راهنما و درام قرار گرفته است.
- وزنه را خیلی بالا نبرید. پولی راهنما نباید با نگهدارنده ریسمان تماس پیدا کند.

- هرگز جاذب شوک جاگذاری شده را از کاسه مربوطه خارج نکنید چرا که ضربه اعتدال نیافته[1] وزنه می تواند سبب ایجاد عیوب گردد.
- عدم اتصال اولین چرخ دنده راننده ترمز را غیرفعال می کند. در این حالت فقط وزنه های کمتر از 10kg و با وجود فلایویل روی اولین محور مجاز هستند.
- قبل از شروع کار، سفتی پیچهای اتصال وزنه های اضافی را چک کنید. وزنه های اضافی باید بطور مناسب هم مرکز شده و درست حرکت کنند. قبل از شروع کار، سفتی مهره قفل کننده را برای مجموعه وزنه ها چک کنید.
- با مقدار ماکزیمم شتاب (وزنه 50kg، دومحور، بدون فلاویلها) ترمز را برای کاهش شتاب وزنه درست قبل از ضربه بکار ببرید.

4. عملکرد

4.1 آماده سازی برای آزمایش

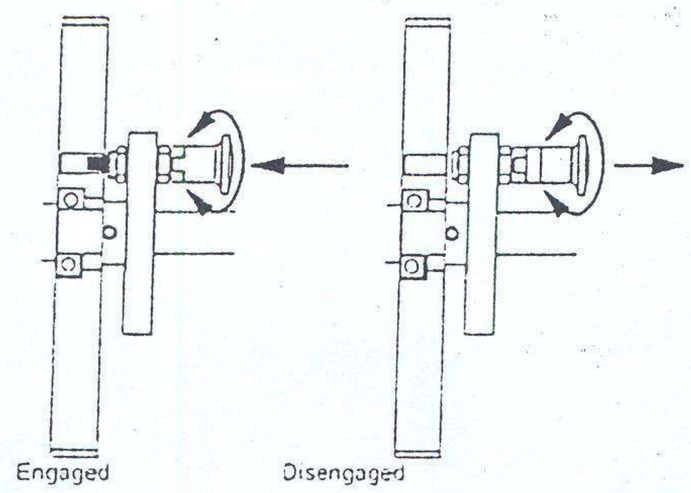
- کابل مهیاشده برای اتصال ثبت کننده به دستگاه را بکار ببرید.
- ثبت کننده را به منبع (280 V/50Hz) وصل کنید.
- کاغذ مطابق را با دستورالعمل قرار دهید (**mega-log recorder from Endres+Hauser**)

تعداد موردنیاز محور، فلایویل و اندازه وزنه راننده را مطابق ذیل گردآوری نمائید.

4.1.1 درگیرکردن و خلاص کردن محورهای اضافی

- وزنه را رها کنید تا به موقعیت پایینی اش سقوط کند.
- لنگ را جا بزنید
- پوشش محافظ را بردارید.

درگیرکردن: پین اتصال در چرخ دنده راننده مناسب را یک چهارم دور بچرخانید تا قفل شود. به آرامی چرخ دنده را بچرخانید و مطمئن شوید که پین بطور مناسب در سوراخ چرخ دنده راننده درگیر شده (جا افتاده) است.



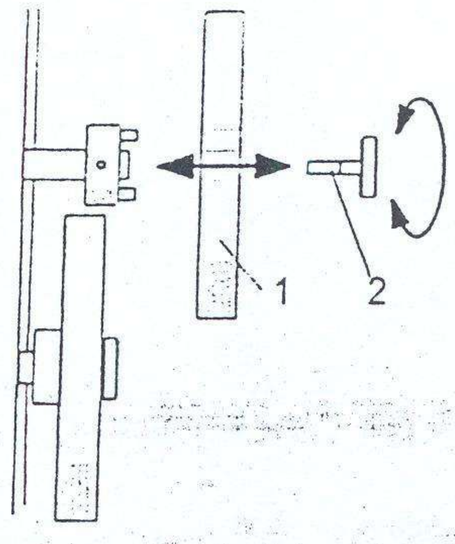
[1] non- cushioned

خلاص کردن: پین اتصال را بیرون بکشید و آنرا یک چهارم دور بچرخانید تا قفل شود. به آرامی چرخ دنده را بچرخانید و مطمئن شوید که محور نمی چرخد.

- پوشش محافظ را دوباره بگذارید.
-

4.1.2 سوارکردن فلاویلها

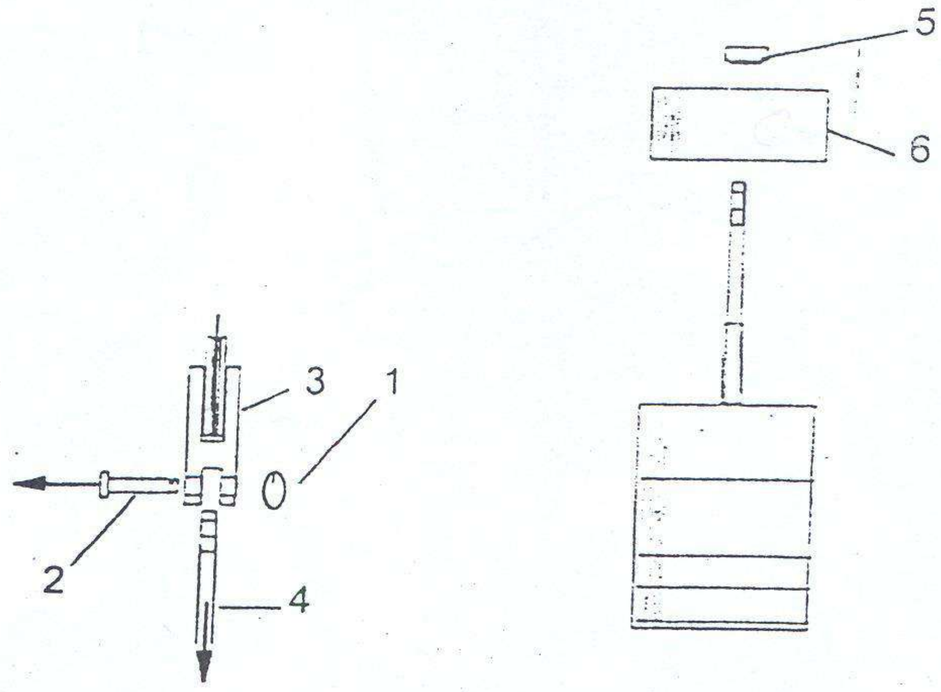
- وزنه را به موقعیت پایینی بیاورید.
- لنگ را جا بیندازید
- پوشش محافظ را بردارید



- فلایویل (1) را به محور دارای خار متصل کنید و مطمئن شوید که بصورت مسطح در مقابل فلانج قرار دارد.
- پیچ آجدار (2) را قرار دهید و بدقت بوسیله دست آنرا سفت کنید.
- به آرامی چرخ دنده را بچرخانید و مطمئن شوید که فلایویل صحیح می چرخد.
- فرآیند بالا را بهنگام جداکردن فلاویلها بطور معکوس انجام دهید. بملایمت فلایویل را جلو و عقب حرکت دهید تا آسانتر جدا شود. هرگز چکش یا وسیله دیگر را برای جداکردن استفاده نکنید.
- پوشش محافظ را دوباره بگذارید.

4.1.3 قراردادن وزنه راننده

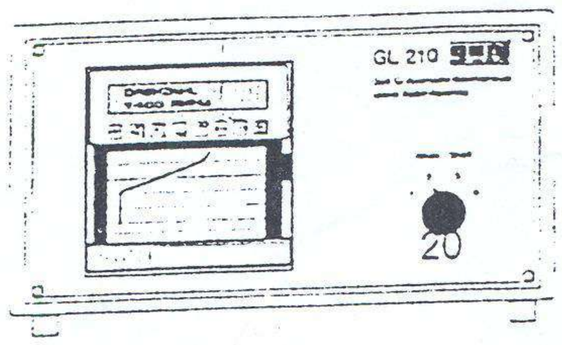
- وزنه را بطور کامل داخل کاسه اش قرار دهید
- رینگ فنری نگه دارنده (1) را از روی پین اتصال (2) که بین پولی راهنما (3) و میله رزوه شده (4) قرار دارد بردارید و پین را بیرون بکشید.

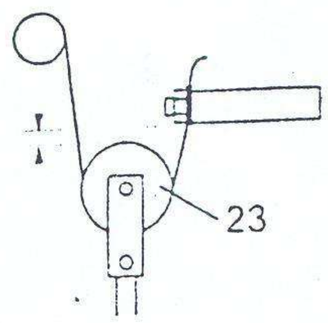


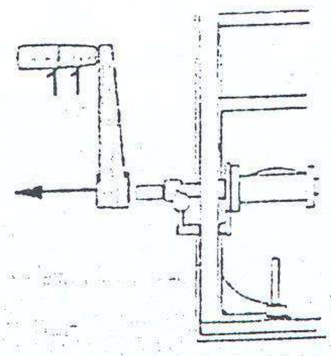
- مهره (5) را باز کنید و وزنه ها (6) را سوار/جدا نمائید.
- مهره را دوباره ببندید و پولی راهنما را به میله رزوه دار پایین اتصال سوار کنید.
- رینگ نگهدارنده را قرار دهید و مطمئن شوید که بطور مناسب در پولی راهنما قرار داده شده است.

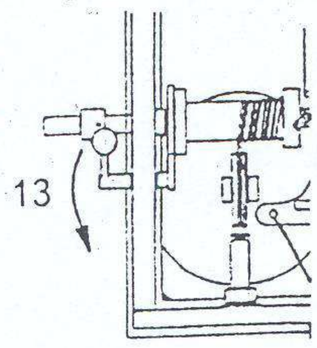
4.2 انجام آزمایش

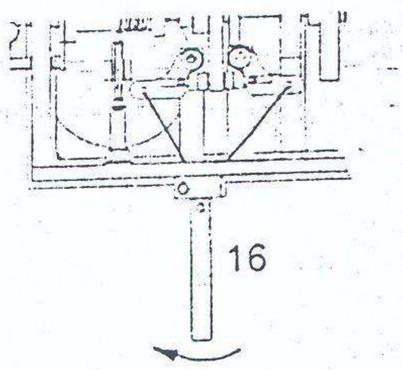
- ثبت کننده را بوسیله کلید اصلی در پشت آن روشن کنید.
- کلید دوار (20) را بکار ببرید تا محور موردنظر را برای اندازه گیری سرعت انتخاب کنید.











- لنگ (11) را سوار کنید و اجازه دهید تا ضامن نگه دارنده (12) درگیر شود.
- وزنه را بالا ببرید مطمئن شوید که پولی راهنما (23) در بالا با نگهدارنده طناب تماس ندارد.
- لنگ (11) را رها کنید.
- جلو برنده کاغذ ثبت کننده را بوسیله فشار کلید F روشن کنید.
- آزمایش را بوسیله رهاکردن ضامن نگهدارنده (12) در اهرم (13) شروع نمائید.
- در سرعتهای بالا ترمز (16) را برای ضربه گیری وزنه بکار ببرید.
- سرعت چرخ دنده را با ترمز کاهش دهید.
- جلو برنده کاغذ را دوباره با کلید F متوقف کنید.

- سرعت جلوبرنده کاغذ می تواند بوسیله فشار کلید: ↓ تنظیم گردد.

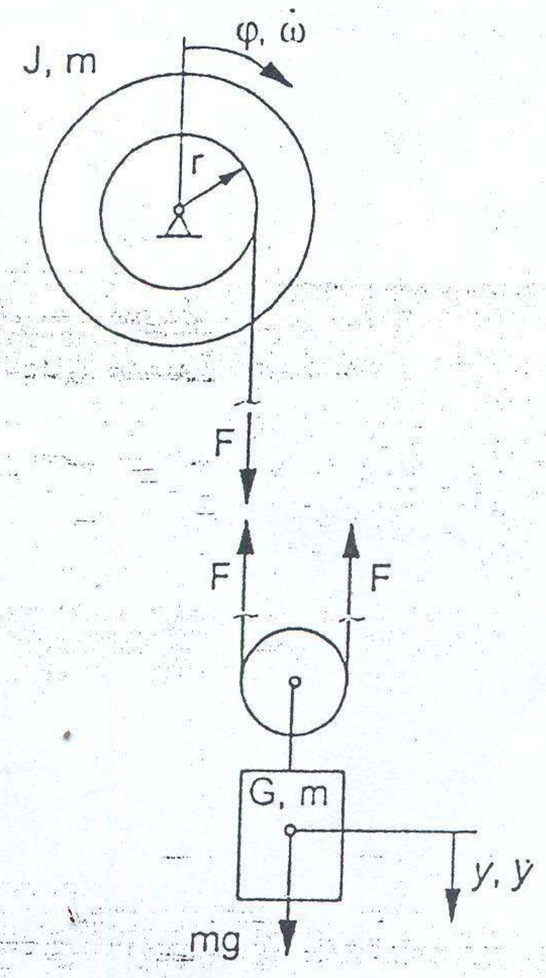
5 آزمایشات

5.1 تئوری

5.1.1 حرکت دورانی شتابدار

ممان اینرسی جرمی[1] یک دیسک یکنواخت به جرم m و شعاع R عبارتست از: $J = \frac{1}{2} mR^2$

5.1.2 شتاب دورانی قسمت چرخ دنده ای



دیاگرام آزاد جسم

در سیستم چرخ دنده ای، گشتاور راننده از طریق وزنه G و ریسمان حول درام به شعاع r تولید می شود. سرعت دورانی با حرف ω و شتاب دورانی با $\dot{\omega}$ نمایش داده می شوند. از دیاگرام آزاد جسم داریم

$$J\dot{\omega} = Fr$$

$$m\ddot{y} = mg - 2F$$

از طرفی داریم $\dot{y} = \frac{r\omega}{2}$، لذا با این جایگذاری این رابطه در روابط بالا نتیجه می شود.

$$J\dot{\omega} = \frac{mr}{2}(g - \frac{1}{2}r\dot{\omega})$$

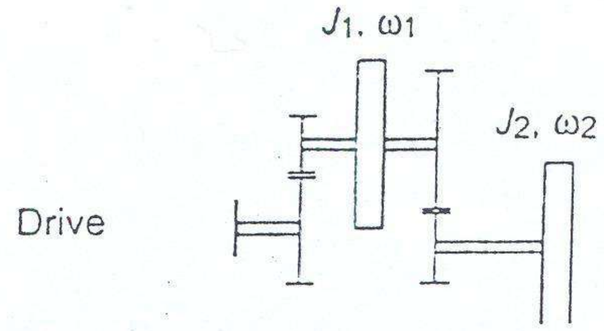
و یا

$$\dot{\omega} = \frac{mgr}{2(J + mr^2/4)} \quad (1)$$

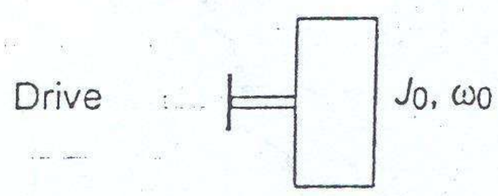
[1] mass moment of inertia

5.1.3 ممان اینرسی جرمی کاهش یافته (انعکاس یافته)

اگر اجرام دورانی متفاوت در قسمت چرخ دنده ای سرعتهای متفاوت داشته باشند، ممان اینرسی کل سیستم می تواند بوسیله انعکاس (کاهش) ممان اینرسی های تک تک چرخ دنده ها در محور ورودی تعیین شود.
برای این منظور فرض می شود که در سیستم انعکاس یافته (کاهش یافته، یعنی ممان اینرسی فقط در محور ورودی است) انرژی جنبشی برابر با مجموع انرژی جنبشی تک تک چرخ دنده ها، یعنی داریم:



سیستم اصلی



سیستم کاهش یافته

$$T_{red} = \Sigma T_i \Rightarrow \frac{1}{2} J_0 {\omega_0}^2 = \frac{1}{2} J_1 {\omega_1}^2 + \frac{1}{2} J_2 {\omega_2}^2 + \ldots$$

با تعریف نسبت دنده های (نسبت های انتقال[1]) زیر رابطه بالا می تواند ساده تر نوشته شود.

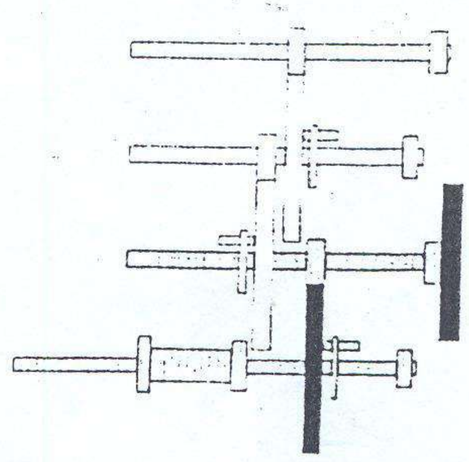
$$i_i = \frac{\omega_i}{\omega_o}, i = 1,2,\ldots$$

لذا ممان اینرسی جرمی کاهش یافته[2] برابر است با:

$$J_0 = {i_1}^2 J_1 + {i_2}^2 J_2 + \ldots$$

5.2 آزمایش: تعیین شتاب زاویه ای

قسمت چرخ دنده ای را مطابق توضیحات بخش 4.1 بصورت زیر سوار کنید.

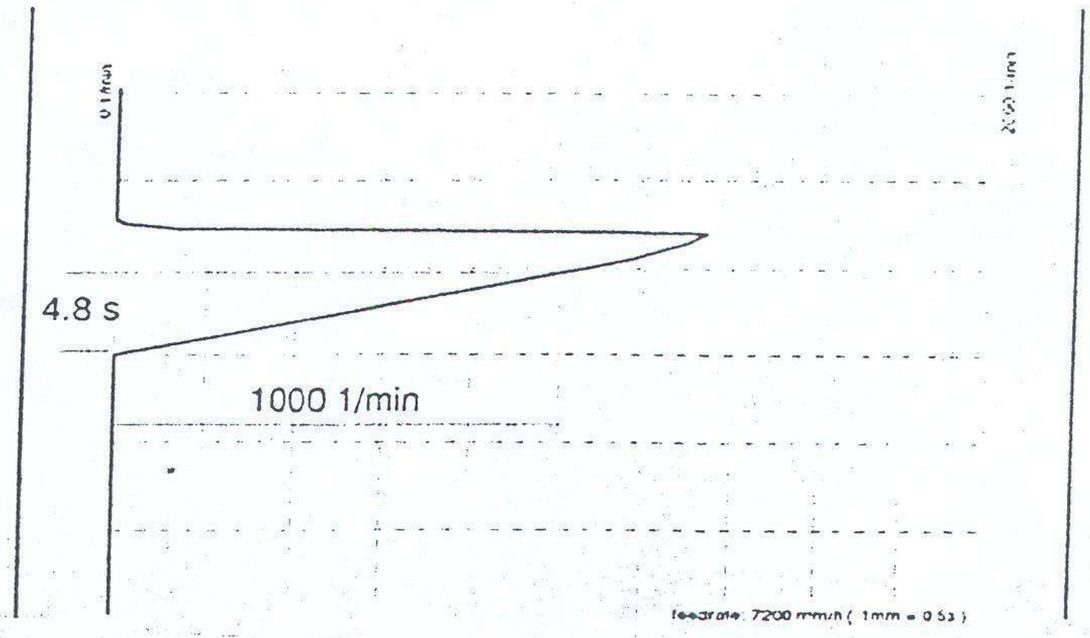


- چرخ دنده یک سرعته با دو محور

[1] transmission
[2] reduced mass moment of inertia

- فلایویل: محور2
- وزنه: 10kg
- اندازه گیری سرعت: محور 2
- با توجه به اطلاعات ارائه شده در اطلاعات فنی ممان اینرسی کاهش یافته را برای $i_1=1$ و $i_2=2$ محاسبه کنید.
- شتاب زاویه ای محور 1 (شعاع درام $r=15\ mm$) محاسبه نمائید.

پس از انجام آزمایش مطابق بخش 4.2 نموداری مطابق شکل زیر ثبت می گردد.

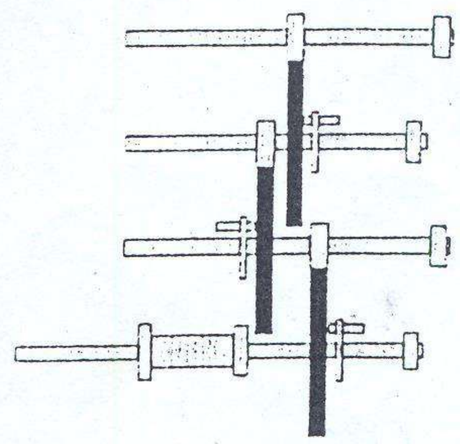


سرعت جلو رفتن کاغذ $2\,mm/s$ می باشد. از روی نمودار دور n (برحسب دور بر دقیقه) برحسب زمان t (برحسب ثانیه) نسبت $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ را پیدا کنید و را از رابطه $\omega_1 = \frac{2\pi\Delta n}{60 i \Delta t}$ محاسبه نمائید و با جواب بدست آمده از رابطه $\omega_1 = mgr/2(J_0 + mr^2/4)$ مقایسه کنید.

5.3 آزمایش: تعیین اصطکاک

هدف ازاین آزمایش تعیین اصطکاک قسمت چرخ دنده ای می باشد که مخصوصا در نسبت دنده های بالا ظاهر می شود.

قسمت چرخ دنده ای را مطابق با توضیحات بخش 4.1 بصورت زیر سوار کنید.

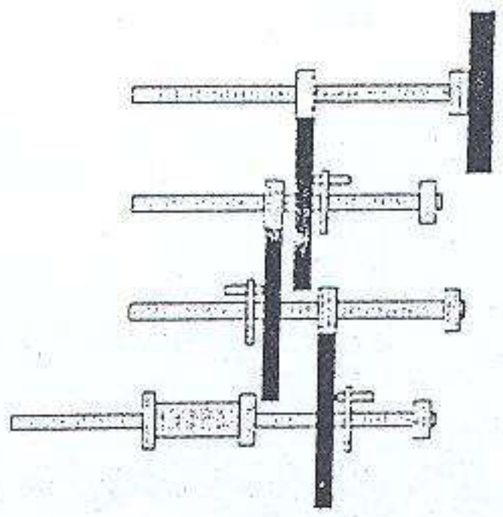


- چرخ دنده سه سرعته با چهارمحور
- فلایویل ها: هیچ محوری
- وزنه: بستگی به مقدار اصطکاک
- اندازه گیری سرعت: هیچ محوری

وزنه ها به تدریج افزوده می شوند تا قسمت چرخ دنده ای شروع به حرکت نماید. برای کمینه کردن تأثیر اصطکاک ایستایی قسمت چرخ دنده ای بوسیله اعمال نیروی بیشتری توسط دست به حرکت وا داشته می شود. اگر قسمت چرخ دنده ای دوباره متوقف شد وزنه ها باید افزوده شوند. اندازه گیری نشان می دهد که یک وزنه $m_R = 5kg$ سبب می شود تا قسمت چرخ دنده ای بطور مستقل شروع به حرکت نماید. گشتاور اصطکاکی مربوط به محور ورودی را از رابطه $M_R = \frac{mgr}{2}$ محاسبه نمائید.

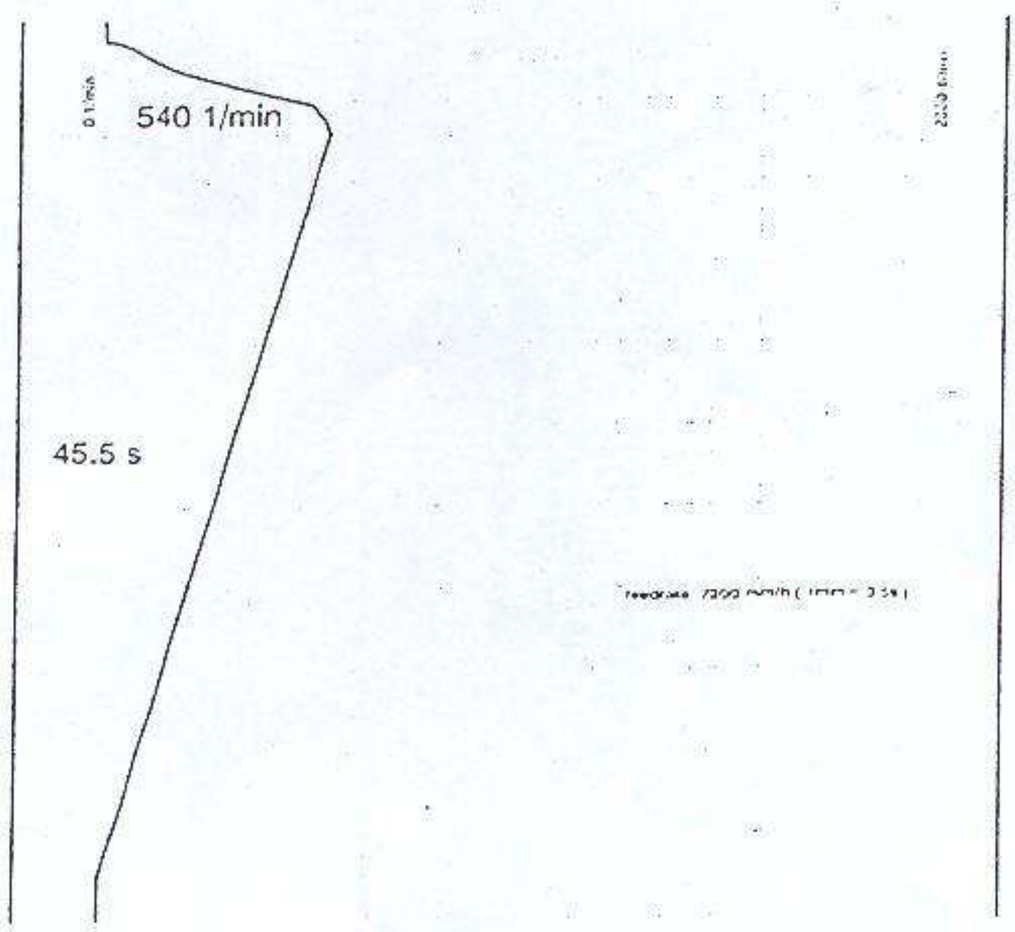
5.4 آزمایش: تعیین ممان اینرسی جرمی

این آزمایش برای تعیین ممان اینرسی کاهش یافته از شتاب اندازه گیری شده، طراحی شده است.
قسمت چرخ دنده ای را مطابق با توضیحات بخش 4.1 بصورت زیر سوار کنید



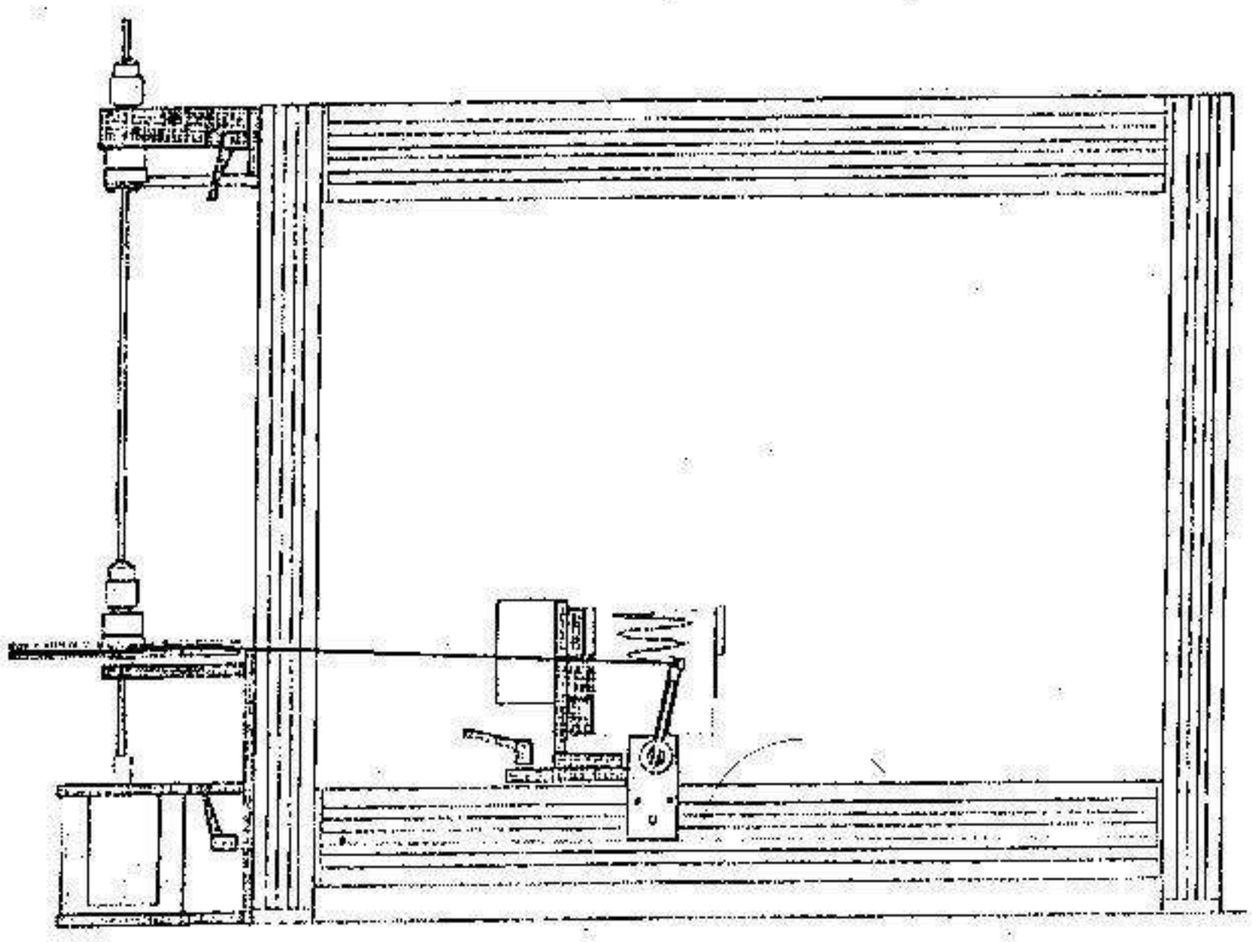
- چرخ دنده سه سرعته با ۴ محور
- فلایویل ها: محور4
- وزنه: 40kg
- اندازه گیری سرعت: روی محور 3

انجام آزمایش مطابق بخش 4.2 نمودار زیر (دور برحسب rpm– زمان برحسب ثانیه) را تولید می نماید.



TM 150.02 Torsional Vibrations

ارتعاشات پیچشی

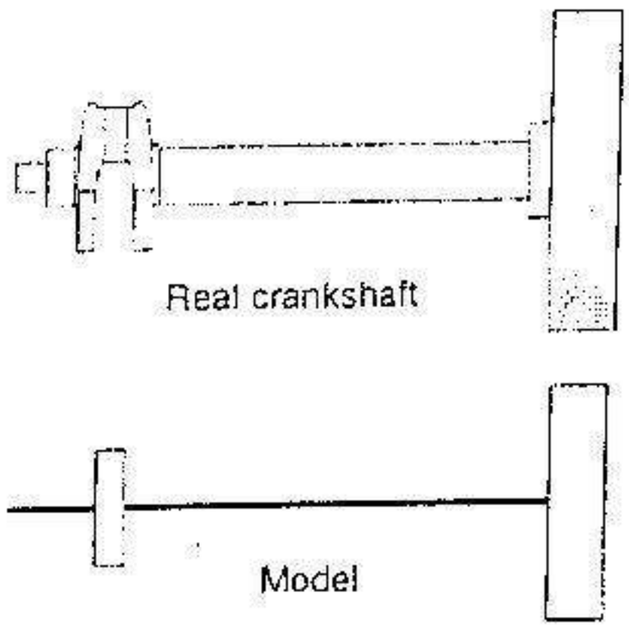


1- مقدمه

در کنار دستگاه سیستم ارتعاشات عمومی TM 150، دستگاه ارتعاشات پیچشی TM 150.02 امکان بررسی آزمایشگاهی ارتعاشات پیچشی را فراهم می‌آورد. طیف ارتعاشی ثبت شده شامل موارد زیر می‌باشد.

- صلبیت پیچشی
- ممان اینرسی جرمی
- ارتعاشات پیچشی آزاد
- ارتعاشات پیچشی میرا
- نوسانگر با چندین جرم

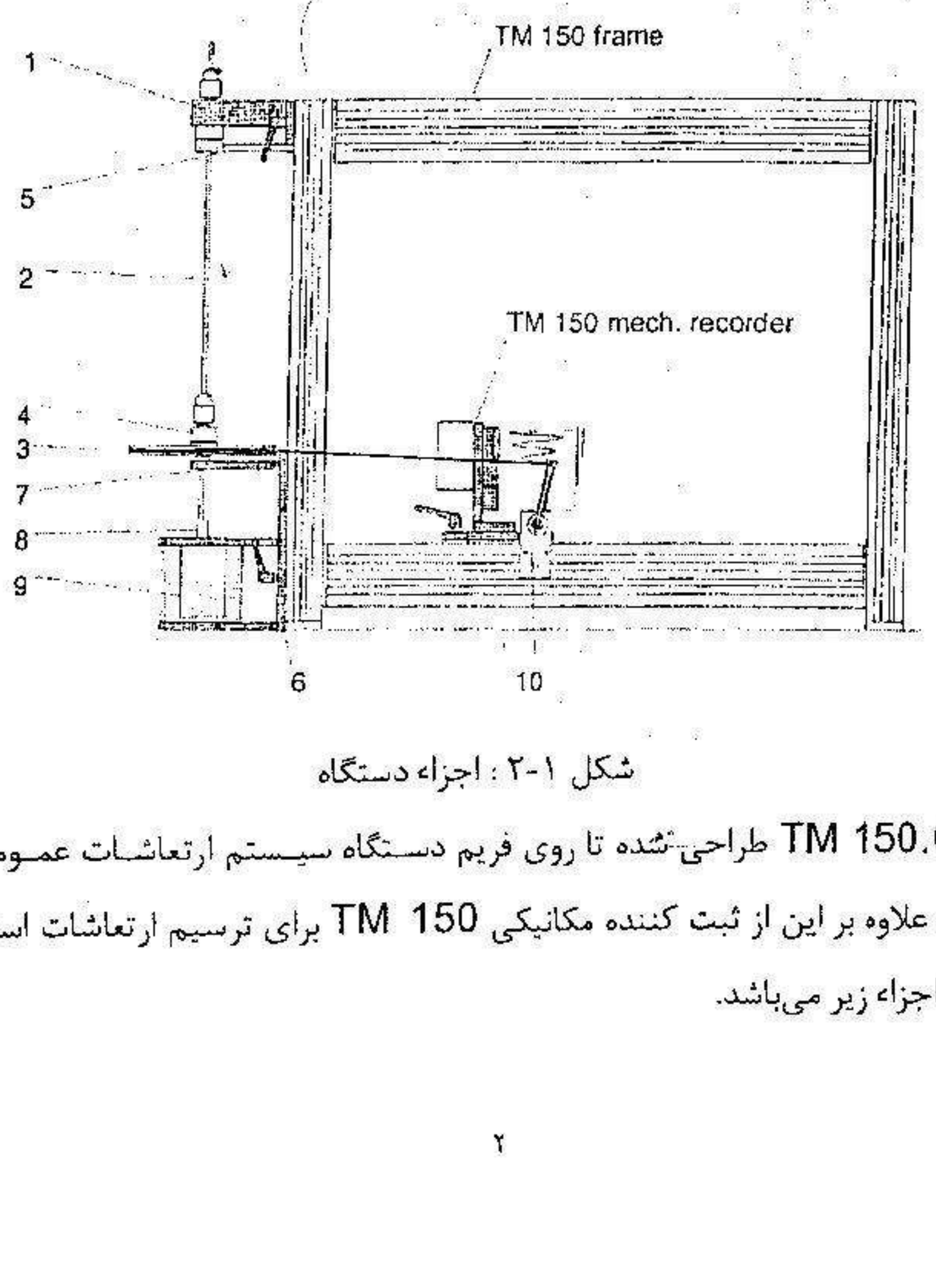
دامنهٔ نوسانات می‌تواند بکمک ثبت کننده دستگاه TM 150، ثبت گردد.



شکل ۱-۱: مدل ارتعاشات پیچشی

بخش آزمایشی با یک مقدمه تئوری مختصری آغاز می‌شود که مفاهیم مهمی از قبیل معادله حکم بر حرکت، فرکانس طبیعی و میزان استهلاک را توضیح داده و با نتایج حاصل از آزمایش دنبال می‌شود. این مقدمه همبندی بین تئوری و آزمایش را که برای درک این بحث پیچیده لازم است، فراهم می‌کند.

2- تشریح دستگاه



شکل ۱-۲ : اجزاء دستگاه

دستگاه TM 150.02 طراحی شده تا روی فریم دستگاه سیستم ارتعاشات عمومی TM 150 نصب می‌گردد. علاوه بر این از ثبت کننده مکانیکی TM 150 برای ترسیم ارتعاشات استفاده می‌نماید. دستگاه شامل اجزاء زیر می‌باشد.

- گیره‌هائی با فلانژ[1] و مرغک[2] (0.5-8mm) (1)
- میله پیچشی به اقطار3 و5 و 6 میلیمتری و طول 900mm (2)
- چرخهای دارای فلانژ کوچک و بزرگ (3) . چرخ بزرگ با یک شیار مخصوص ریسمان برای اتصال به ثبت کننده می‌باشد.
- یک وسیله گیردار کننده (4) برای اینکه چرخها مستقیماً به میله پیچشی متصل شوند.
- اهرم راننده (5) برای متوقف کردن گیره و فراهم آوردن امکان اتصال محکم میله پیچشی
- بخش میرا کننده (6)، شامل بلبرینگ راهنما (7)، استوانه میرا کننده (8) و ظرف میرا کننده پر از روغن
- یک نگهدارنده قلم[3] برای ثبت مکانیکی همراه با قلم، اهرم عملگر و سیم.

3- دستورات برای کار با دستگاه

دستورات آزمایشگاهی را بدقت قبل از کار با دستگاه بخوانید پیش از انجام آزمایشات کار آموزان می‌بایستی با عملکرد دستگاه و نکات ایمنی مورد نیاز آشنا شوند.

3.1- احتیاطهای لازم برای ایمنی

خطر شوک الکتریکی

دوشاخه اصلی برق را قبل از باز کردن قسمت کنترل از پریز بیرون بکشید. تنها اشخاص مجرب می‌تواند بخش کنترلی را باز نمود و روی سیستم الکتریکی کار نمایند.

نکته مهم :

سفتی قسمتهای مختلف دستگاه را قبل از شروع آزمایش چک کنید. مرغکهای مربوط به میله پیچشی را محکم ببندید.

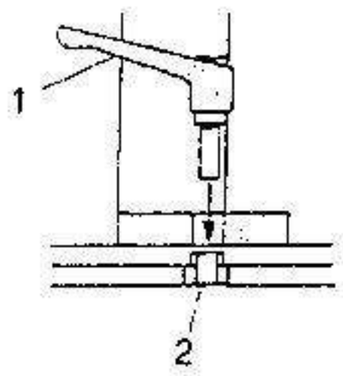
3.2- دستورات برای مونتاژ

3.2.1- جا انداختن پایه‌ها

پایه‌ها در فریم قرار داده شده و با یک اهرم گیردار کننده محکم بسته می‌شوند و از طریق یک زبانه و شیار هم مرکز[4] می‌شوند (شکل ۱-۳)

---

[1] flange
[2] chuck
[3] stylus
[4] centered



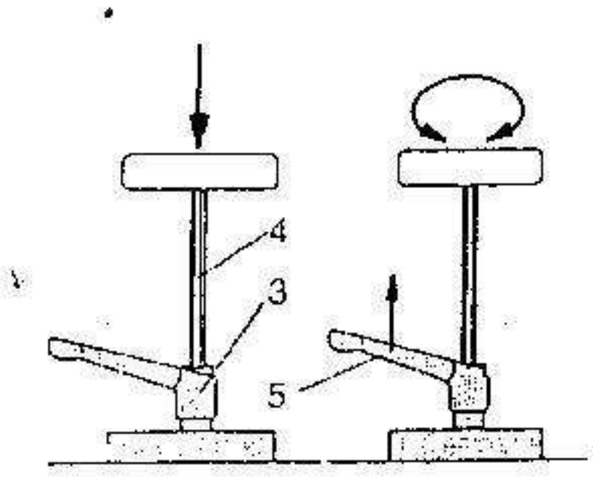
شکل ۱-۳

- اهرم گیردار کننده (1) را از بالا به داخل مهره شیاردار (2) عبور داده و پیچ نمائید.

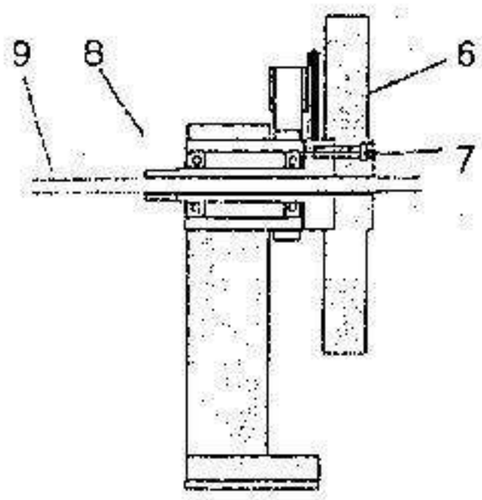
فرامین زیر را اگر اهرم گیردار کننده قادر نیست به اندازه کافی بچرخد، دنبال نمائید.

- پیچ گوشتی (4) را برای اعمال نیرو (به سمت پایین) به ساق اهرم گیردار کننده (3) بکار ببرید.
- اتصال بین اهرم دستی و ساق اهرم گیردار کننده را بوسیله بالا کشیدن اهرم دستی (5) آزاد نمائید.
- در لحظه‌ای که اهرم دستگاه رها شده است با ساق اهرم گیردار کننده دوباره به صورت اصطکاکی قفل می‌شود.

اگر اهرم دستی (4) با یک متوقف کننده، وقتی که سفت یا شل می‌شود در تماس باشد می‌تواند دوباره بوسیله بالا بردن و چرخاندن آن جا بیفتد. چرخهای (6) بطور مستقیم به پایه یا مرغک مجزا با سه پیچ M5 (7) متصل می شوند (شکل ۳-۳). در ضمن این امکان وجود دارد که چندین چرخ متصل گردد. مرغک (8) امکان قفل شدن اصطکاکی با میله پیچشی (9) را فراهم می‌آورد.



شکل ۲-۳

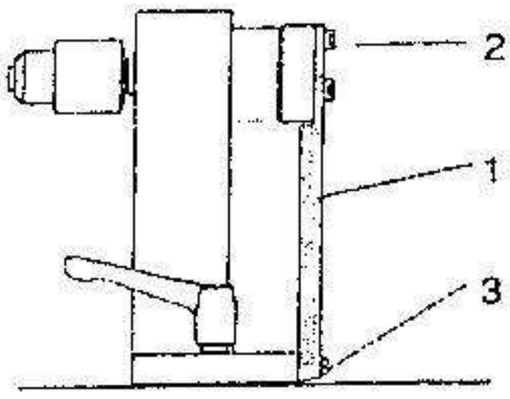


شکل ۳-۳

3.2.2 مهار کردن پایه

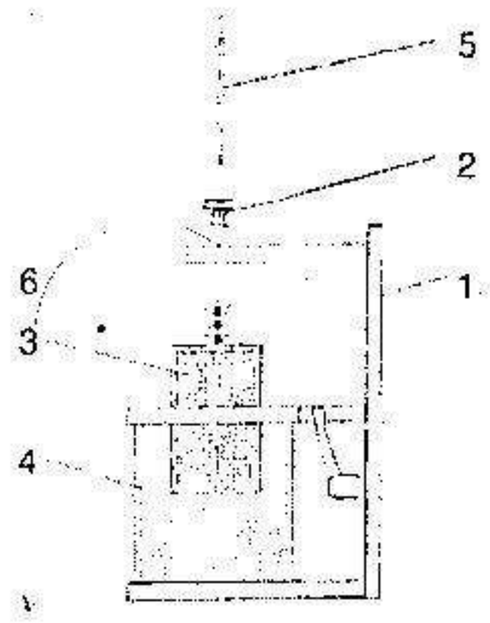
اگر پایه بعنوان یک محل قرارگیری یاتاقان بکار برده می‌شود محورش باید مهار شود.

- برای این امر اهرم راننده (1) با سه پیچ M5 به فلانژ (2) و با دو پیچ به صفحه مبنای (3) پیچ می-شود.



شکل ۴-۳: مهار کردن پایه

3.2.3- سوار کردن قسمت میرا کننده



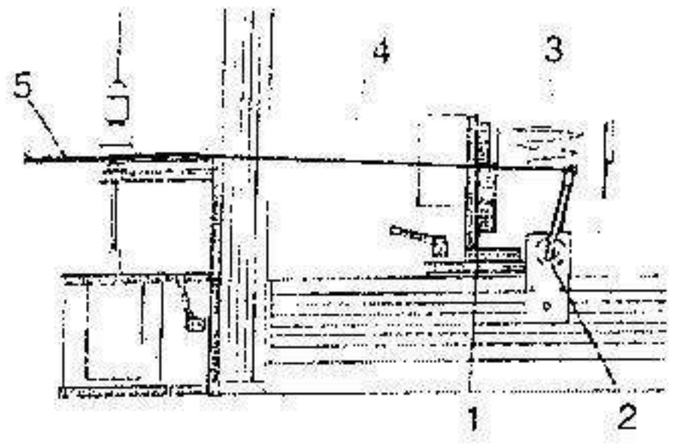
شکل ۵- ۳ : نصب میرا کننده

قسمت میرا کننده فقط می‌تواند با آرایش (چیدمان)[1] عمودی آزمایش بکار برده شود.

- قسمت میرا کننده را به انتهای پایینی فریم نصب کنید.
- بوش (2) با قطر مناسب (3,5,6 mm) را روی میله پیچشی قرار دهید.
- استوانه میرا کننده (3) را در ظرف میرا کننده (4) قرار دهید و میله پیچشی (5) را از بالا بلغزانید تا از یاتاقان راهنما به داخل سوراخ پله پله استوانه میرا کننده برود. پیچ مغزی (6) را برای اتصال استوانه میرا کننده به میله پیچشی بکار ببرید.
- ظرف میرا کننده را با روغن مخصوص پر نمائید.

3.2.4- نصب ثبت کننده

[1] set-up

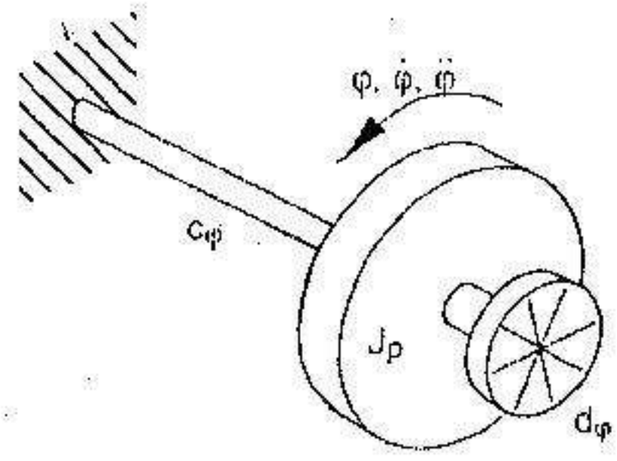


شکل ۶-۳ : نصب ثبت کننده

- ثبت کننده را روی قسمت پائینی فریم متصل نمائید.
- نگهدارنده قلم (2) را طوری به قلم (3) متصل نمائید که بطور عمودی در مرکز کاغذ شطرنجی قرار بگیرد.
- سیم نگهدارنده قلم را با ساچمه به چرخ بزرگ (5) آویزان کنید و دور چرخ بپیچید تا قلم در مرکزصفحه شطرنجی قرار بگیرد. میله پیچشی را در بالا در این موقعیت محکم نمائید.
- قلم را نصب کرده و با پیچ آجدار ببندید . قلم را طوری قرار دهید که تماس جزئی با کاغذ ایجاد نماید. فشار بیش از حد استهلاک اضافی تولید می‌کند.
- نسبت انتقال اهرم عملگر می‌تواند بعد از شل کردن پیچ مغزی در وجه انتهائی ساق بوسیله حرکت اهرم عملگر تنظیم گردد.

4 آزمایشات

4.1 اصول اصلی



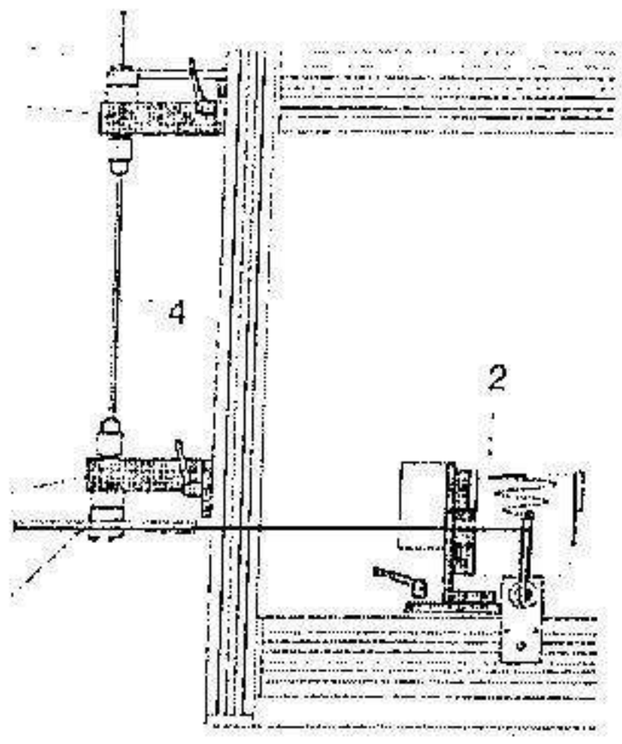
شکل ۱-۴ : نوسانگر پیچشی

مطابق شکل 4.1 معادله حاکم بر حرکت با بررسی گشتاور جبرانساز میله تحت پیچش با سختی پیچشی c_p که یک دیسک (چرخ) با ممان اینرسی جرمی J_p به آن متصل شده است به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\sum M_o = J_p\ddot{\varphi} = -c_\varphi\varphi - d_\varphi\dot{\varphi}$$

حل معادله (1) با شرط اولیه $\varphi(0) = \varphi_0$ و $\dot{\varphi}(0) = \dot{\varphi}_0$ می‌تواند برای D های متفاوت بدست آید. که برای D<1 جواب برحسب ω_d بدست می‌آید که در آن ω_d فرکانس طبیعی میرا و $\omega_d = \omega_0\sqrt{1-D^2}$ می‌باشد.

4.2 مقدمات آزمایش



شکل ۳-۴: چیدمان آزمایش

آزمایش در ابتدا بدون میرا کننده انجام می‌پذیرد.

- دو پایه (5 و3) را به قسمت عمودی فریم طوری متصل نمائید که فاصله بین مرغکها 300mm باشد.
- چرخ بزرگ (1) را با سه پیچ به فلانژ راننده پایه پائینی (3) پیچ کنید.
- اهرم راننده (7) را با سه پیچ به فلانژ راننده پایه بالائی (5) و با دو پیچ به صفحه مبنا پیچ نمائید.
- میله پیچشی به قطر 5mm ϕ(4) را قرار دهید و درقسمت پائینی گیردار نمایید.
- ثبت کننده (2) و نگهدار قلم را در داخل فریم همانطور که در بخش 3.2.4 شرح داده شده سوار کنید.
- سیم نگهدار قلم را از چرخ بزرگ آویزان نموده و دور چرخ بپیچید تا قلم در مرکز کاغذ شطرنجی قرار بگیرد. میله پیچشی را در بالای این موقعیت گیردار نمائید.

4.3 انجام و ارزیابی آزمایش

تأثیرات گذرا در ابتدا برای سیستم بدون استهلاک اضافی بررسی می‌شود.

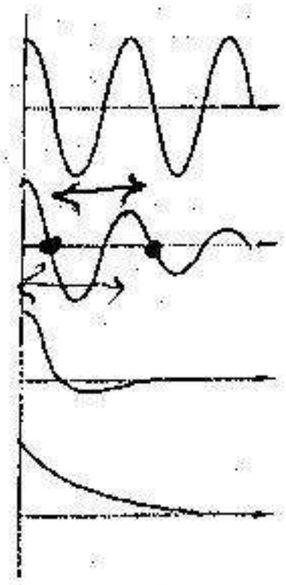
- ثبت کننده را روشن کنید
- چرخ بزرگ (1) را بوسیله دست حدود 20 درجه منحرف کرده و رها نمائید.

که در آن φ زاویه پیچش و d_φ ضریب میرائی پیچشی دمپر می‌باشد. بنابراین معادله همگن زیر بدست می‌آید.

$$\ddot{\varphi} + \frac{d_\varphi}{J_p}\dot{\varphi} + \frac{c_\varphi}{J_p}\varphi = 0$$

با تعریف $D = \frac{d_\varphi}{2J_p\omega_0}$ و $\omega_0 = \sqrt{\frac{c_\varphi}{J_p}}$ که به ترتیب نمایشگر نسبت میرائی (درجه میرائی)[1] و فرکانس زاویه‌ای طبیعی[2] هستند معادله بالا بصورت عمومی تر زیر نوشته می‌شود.

$$\ddot{\varphi} + 2D\omega_0\dot{\varphi} + \omega_0{}^2\varphi = 0$$



شکل۲-۴ : تأثیر میرائی روی اثرات گذرا

فرکانس طبیعی خطی نیز از رابطه $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{c_\varphi}{J_p}}$ محاسبه می‌گردد. اگر گشتاور اعمالی به میله M_d باشد و طول میله و مدول پیچشی آن به ترتیب L و G باشد زاویه پیچش عبارت خواهد بود از

$$\varphi = \frac{M_d}{GI_p}L = \frac{32M_dL}{\pi GD^4}$$

که در آن D قطر میله پیچشی و I_p ممان اینرسی قطبی میله پیچشی است. صلبیت پیچشی عبارتست از

$$c_\varphi = \frac{M_d}{\varphi} = \frac{GD^4\pi}{32L}$$

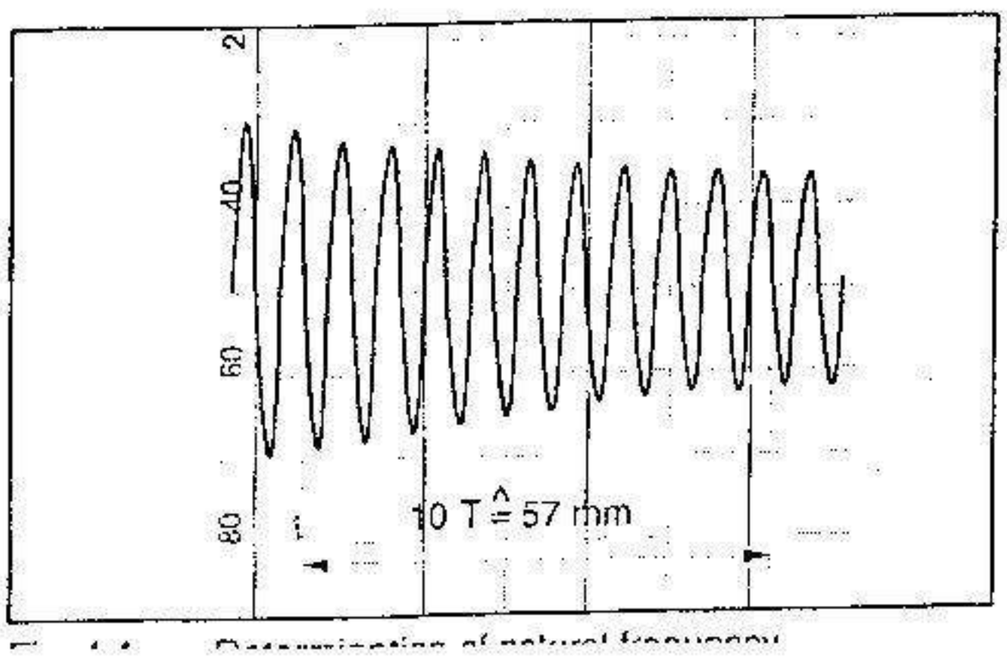
در ضمن I_p برای چرخ نیز از رابطه $I_p = \frac{1}{2}mR^2$ که در آن m جرم چرخ و R شعاع چرخ می‌باشد محاسبه می‌گردد.

---

[1] degree of damping
[2] natural angular frequency

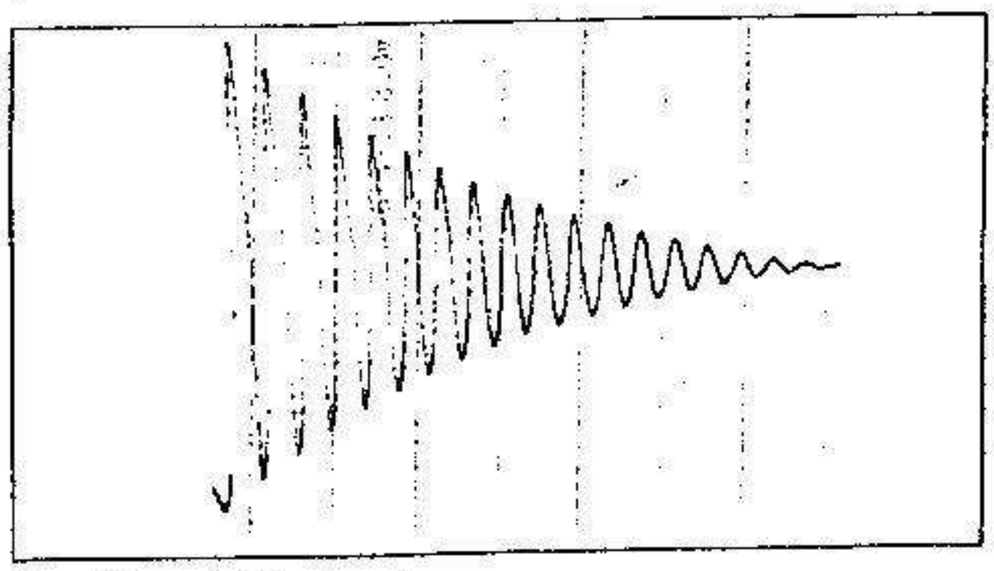
مطابق شکل 4.4 اندکی کاهش دامنه نوسان در اثر میرائی مشاهده می‌شود. ۱۰نوسان درخ 2.8: می دهد (از روی کاغذ شطرنجی که با سرعت 20 mm/s حرکت می کند استخراج می گردد.)

پریود نوسان و فرکانس زاویه ای را بکمک روابط بین پریود و فرکانس زاویه ای محاسبه نمائید. سختی پیچشی (c_φ) را برای قطر D=5 mm و G=78 Gpa محاسبه نمائید. بکمک رابطه $\omega_0 = \sqrt{\frac{c_\varphi}{J_p}}$ فرکانس را بدست آورده و با نتایج بدست آمده از ثبت کننده مقایسه نمائید.

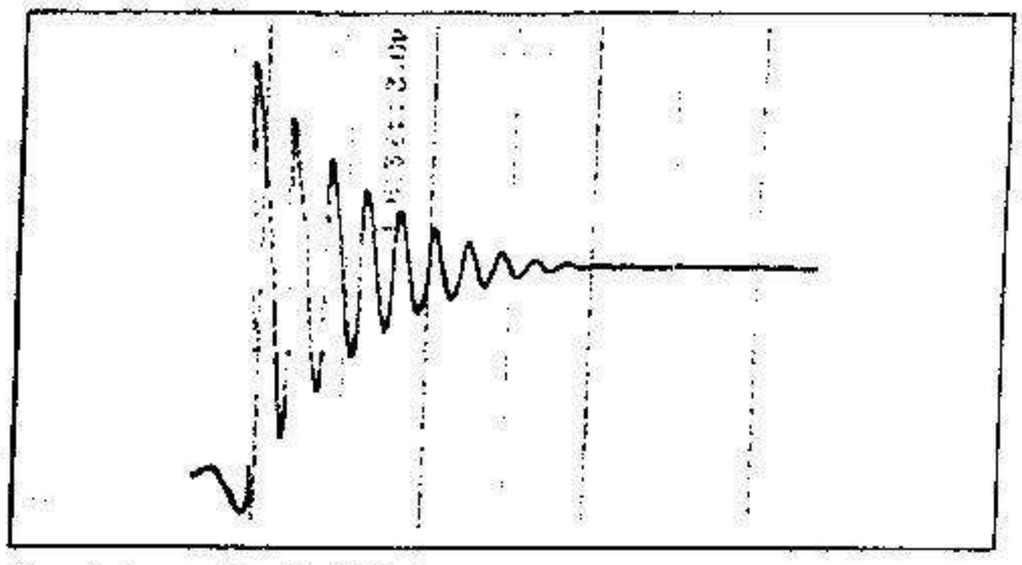


شکل۴-۴: تعیین فرکانس طبیعی

میرا کننده را به سیستم متصل نموده و آزمایش را تکرار کنید. میزان استهلاک از طریق عمق فرو بردن استوانه میرا کننده در روغن تنظیم می گردد. مشابه اشکال (۵-۴) و (۶-۴) برای مقادیر متفاوت میزان استهلاک حاصل می شود. از نمودارهای حاصله بکمک رابطه مربوط به کاهش لگاریتمی مقدار D را محاسبه نمائید.



شکل۵-۴: میرائی کم



شکل۶-۴: میرائی زیاد

5 پیوست

5.1 اطلاعات فنی

میله پیچشی

جنس : فولاد زنگ نزن

قطر: 3,5,6 mm

طول : 900 mm

مدول پیچشی : $7800\ N/mm^2$

گیره ها، وسیله گیردارکننده

ارتفاع ساق: 130 mm

قطر فلانژ متصل شونده : ϕ 40 mm

سه پیچ M5 برای ϕ 28 mm

چرخها

وزن چرخ کوچک : 2.774 kg

وزن چرخ بزرگ : 4.807 kg

قطرچرخ کوچک: ϕ 150 mm

قطرچرخ بزرگ: ϕ 228 mm

شعاع شیار مخصوص ریسمان : 110 mm

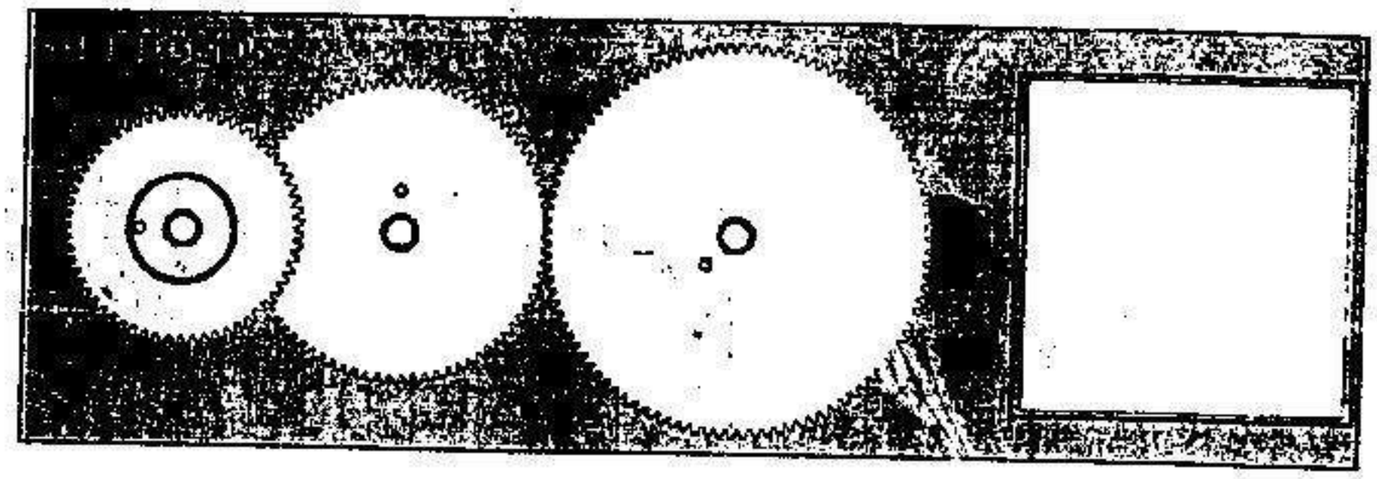
ممان اینرسی جرمی چرخ کوچک : $0.0078\ kgm^2$

ممان اینرسی جرمی چرخ بزرگ : $0.0312\ kgm^2$

قسمت میرا کننده

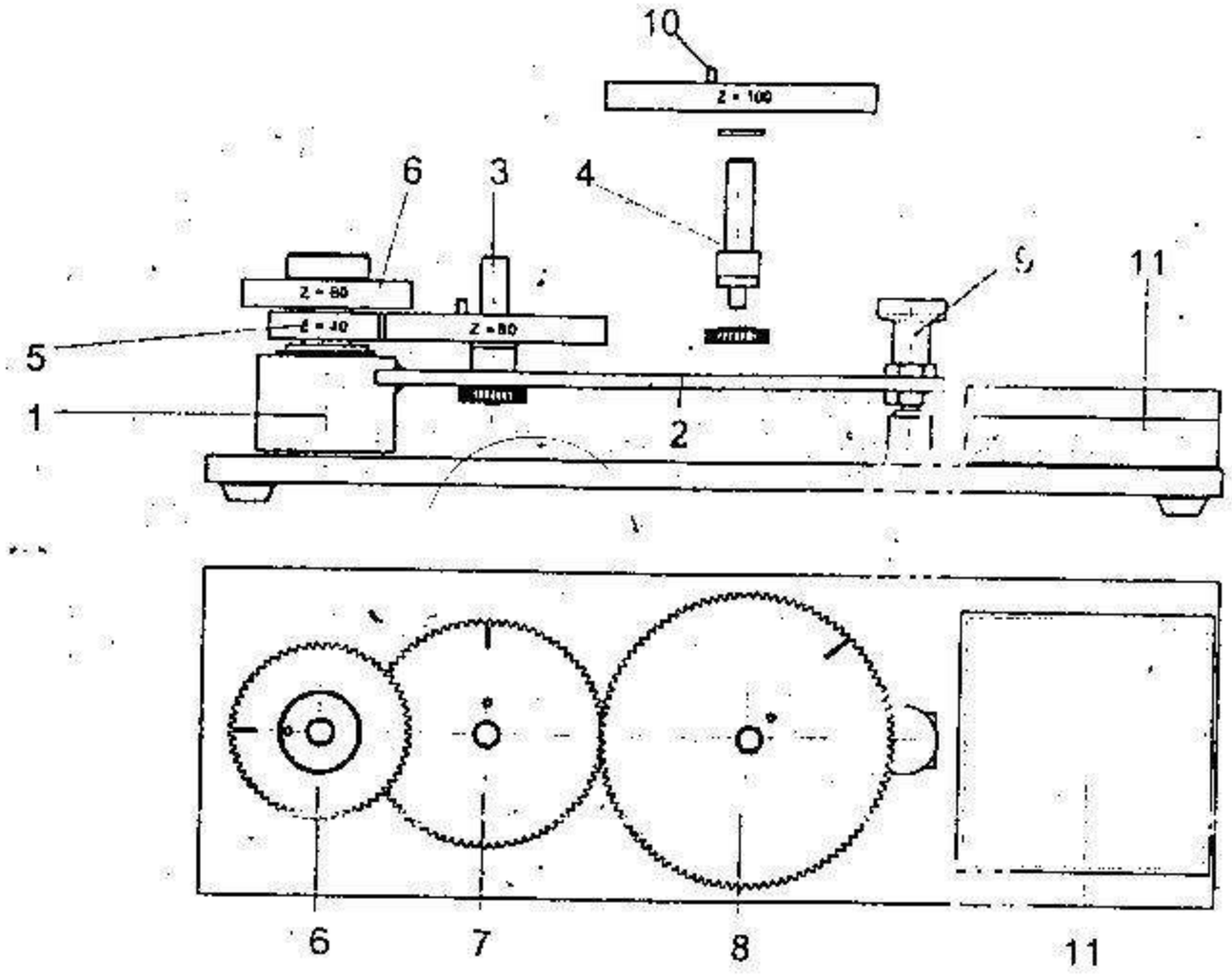
قطر استوانه میرا کننده : ϕ 80/70 mm

روغن میرا کننده : 6000 cSt



1 شرح دستگاه

مدل GL 105 رابطه بین نسبت دنده دو چرخ دنده ساده از یک طرف و نسبت انتقال دستگاههای چرخ دنده ای را از طرف دیگر تشریح می کند. این دستگاه هم برای کارآموزان در آزمایشگاه مناسب بوده و هم بلحاظ کیفیت (کارائی) نمایش توسط مدرس مناسب می باشد.



شکل ۱- ۱ : طراحی دستگاه

این وسیله شامل یک صفحه پایه با محور ثابت (1) و یک بازوی دوار[1] که می تواند درهر موقعیتی به دو محور دیگر (3,4) ثیردار گردد. این کارامکان ایجاد واحدهای چرخ دنده ای تک مرحله ای و دو مرحله ای را فراهم می کند. دستگاه شامل چهار چرخ دنده با ,(7) 80 ,(6) 60 ,(5) 40 (8) 100 می باشد. آزاد نمودن پین قفل کننده (9) بازو را قادر می سازد تا حول محور ثابت دوران نماید و بنابر این امکان نمایش مجموعه چرخ دنده خورشیدی را فراهم می کند. چرخ دنده

[1] swivel arm

هامی توانند به **یکدیگر یا به محور** ثابت از طریق پیچهای (10) متصل شوند. سوراخ قطعات بدنه در ناحیه پلاستیکی (11) نگهداری شوند.

2 آزمایشات

2.1 نسبت انتقال در دستگاه چرخ دنده ساده

نسبت انتقال یک جفت چرخ دنده ساده بوسیله تعداد دندانه ها یا اقطار دوایر گام چرخ دنده ها تعیین می شود. نسبت انتقال از رابطه زیر محاسبه می شود

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

که در آن d_1 و d_2 به ترتیب اقطار دوایر گام چرخ دنده های راننده و رانده شده بر حسب mm هستند و Z_1 و Z_2 به ترتیب تعداد دندانه های چرخ دنده های راننده و رانده شده هستند. از آنجائیکه سرعتهای محیطی دو چرخ دنده در دایره گام یکسان هستند، لذا نسبت انتقال بصورت زیر محاسبه می شود

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

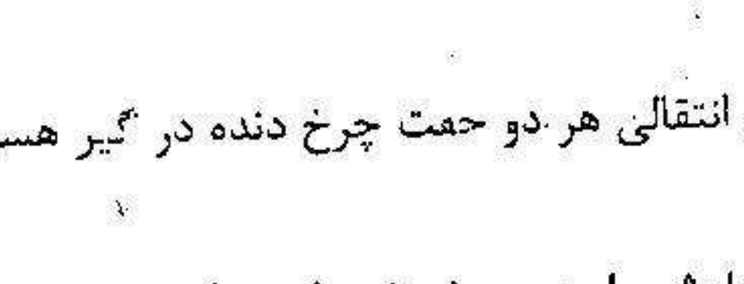
که در آن ω_1 و ω_2 به ترتیب سرعتهای زاویه ای چرخ دنده های راننده و رانده شده بر حسب $[s^{-1}]$ هستند و n_1 و n_2 به ترتیب دورهای چرخ دنده های راننده و رانده شده بر حسب دور بر دقیقه هستند. نسبت کلی انتقال در یک واحد چرخ دنده ای ساده بصورت زیر ارائه می شود

$$i_{tot} = i_1 i_2 i_3 \dots$$

که در آن $i_1, i_2, \dots$ نسبتهای انتقالی هر دو جفت چرخ دنده درگیر هستند.

2.2 آماده سازی برای آزمایش واحد چرخ دنده ای ساده

- بازوی دوار را قفل کنید
- چرخ دنده کوچک (۴۰ دندانه) با وجه دوار رو به بالا را روی محور قرار دهید بطوریکه به آزادی دوران نماید.



شکل ۱-۲ : واحد چرخ دنده تک مرحله ای

- چرخ دنده بزرگ (۶۰، ۸۰، ۱۰۰ دندانه) را برروی محور قابل تنظیم قرار دهید و طوری تنظیم نمائید که چرخ دنده ها درگیر گردند. سپس محور قابل تنظیم را از زیر با مهره ثابت کنید. نسبت انتقال می تواند بوسیله شمارش کل دورانهای چرخ دنده ها تعیین شود.

نمونه مثال چرخ دنده کوچک ۵ دوران و چرخ دنده بزرگ ۲ دوران انجام خواهد داد و بنابر این نسبت انتقال برابر است با

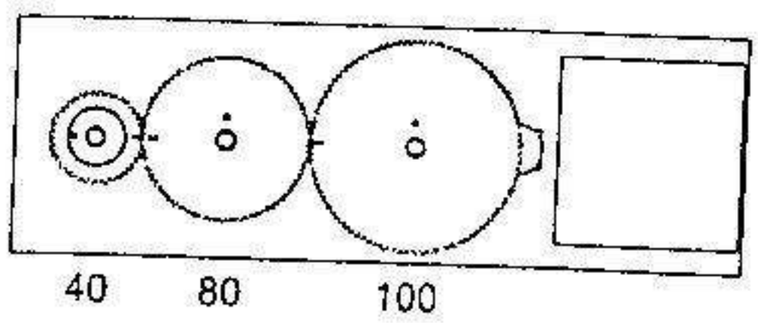
$$i = \frac{5}{2} = 2.5$$

و نیز داریم

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{100}{40} = 2.5$$

لذا نسبت انتقال متناظر است با نسبت تعداد دندانه ها

2.3 آماده سازی برای آزمایش واحد چرخ دنده ای با چرخ دنده هرزگرد

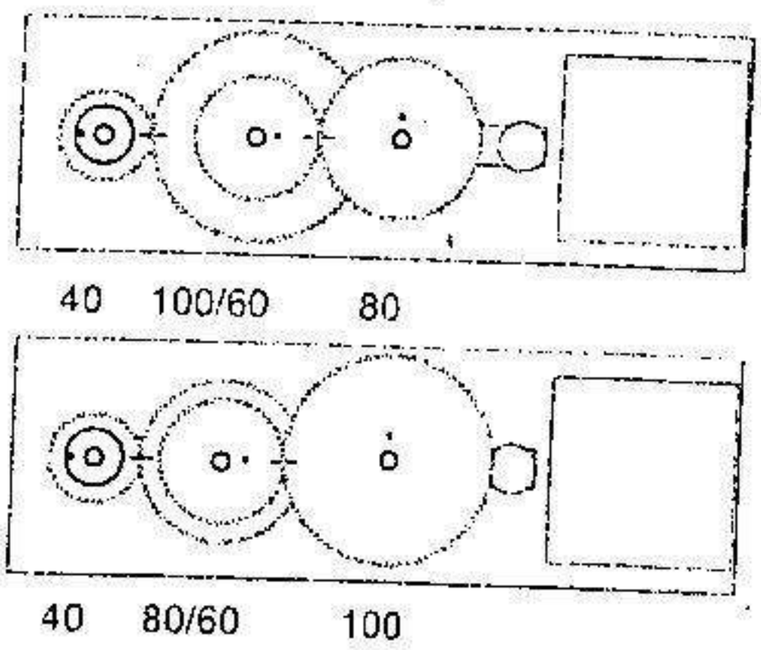


شکل ۲-۲ : واحد چرخ دنده ای با چرخ هرزگرد

چرخ دنده ها مطابق آزمایش قبلی چیده می شود اما یک چرخ دنده اضافی هرزگرد بین دو چرخ دنده قرار داده می شود. آزمایش نشان می دهد که نسبت انتقال بین اولین و آخرین چرخ دنده (چرخ دنده راننده و رانده شده) تغییر نمی کند. چرخ دنده راننده و رانده شده در جهت یکسان دوران می کنند.

چرخ دنده هرزگرد امکان تغییر جهت دوران را فراهم می کند نه تغییر نسبت انتقال

2.4 آماده سازی برای آزمایش واحد چرخ دنده ای دو مرحله ای



شکل ۳-۲ : واحد چرخ دنده ای دو مرحله ای

اولین مرحله ایجاد واحد چرخ دنده ای تک مرحله ای همانطور که در 2.2 شرح دادیم می باشد. چرخ دنده کوچک دیگری را روی چرخ دنده بزرگ قرار دهید و مطمئن شوید که دو چرخ دنده

بصورت متحد بهم بوسیله پین راننده **پین‌شده** اند چهارمین چرخ دنده بانرمایه به محور دوم قابل تنظیم متصل می شود. آزمایش نشان می دهد که نسبت انتقال کلی بین اولین چرخ دنده (چرخ دنده راننده) و آخرین چرخ دنده (چرخ دنده رانده شده) از حاصل ضرب نسبتهای انتقال هر دو جفت چرخ دنده درگیر حاصل می شود.

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{100}{40} = 2.5$$

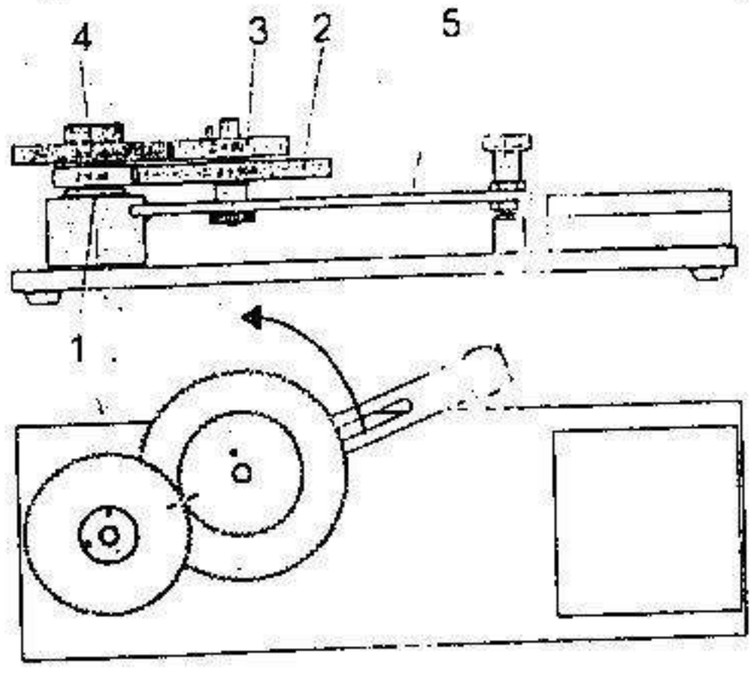
$$i = \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{80}{60} = 1.33$$

لذا نسبت انتقال کلی برابر است با

$$i_{tot} = i_1 i_2 = 2.5 \times 1.33 = 3.33$$

برای واحدهای چرخ دنده ای چند مرحله ای نسبت انتقال کلی از حاصل ضرب نسبتهای انتقال هر دو جفت چرخ دنده محزای درگیر بدست می آید.

2.5 آماده سازی برای آزمایش واحد چرخ دنده ای خورشیدی



شکل ۲-۳ : واحد چرخ دنده ای خورشیدی

چرخ دنده ها را مطابق شکل ۲-۴ بچینید. چرخ دنده (1) بطور دائمی به محور ثابت می شود. چرخ دنده های (2) و(3) از طریق پین راننده بهم پین می شوند و چرخ دنده خورشیدی را بوجود می آورند. پین قفل کننده رها می شود تا بازوی (5) با دو چرخ دنده (2) و (3) حول محور ثابت دوران کند. بازوی (5) بعنوان ورودی واحد چرخ دنده (چرخ دنده اقماری[2]) است و خروجی چرخ دنده (4) می باشد که بعنوان چرخ دنده خورشیدی عمل می کند. نسبت انتقال می تواند بوسیله شمارش تعداد دورانهای کامل محاسبه گردد. برای مجموعه حاصل نسبت انتقال برابر است با

$$i = \frac{10}{7} = 1.43$$

---

[2] planet

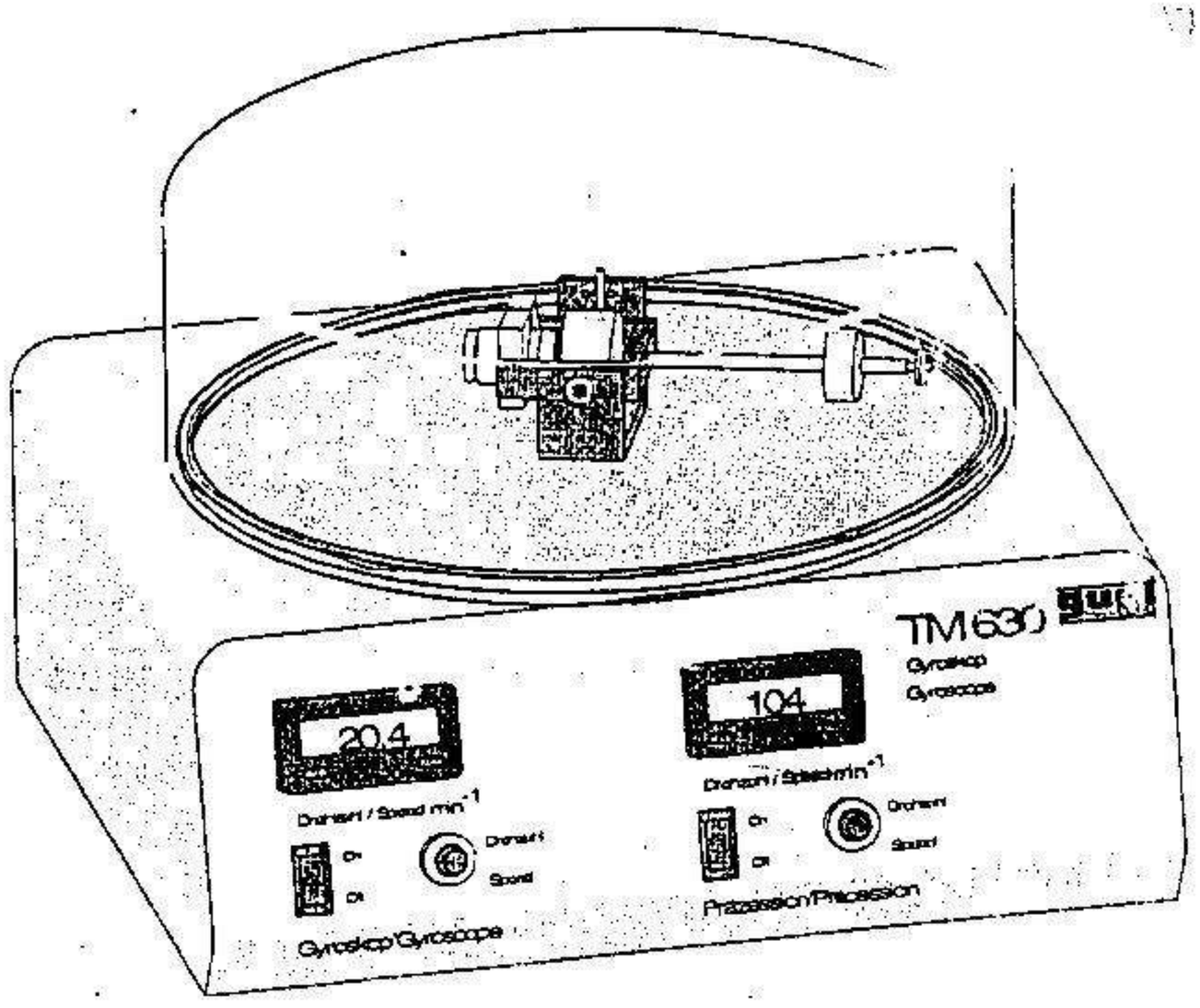
با تشکیل جدول و همچنین یکسان نمودن انتقال را مجددا محاسبه نموده و با سرعت بالا مقایسه نمائید.

$$\frac{\omega_L)_{Arm}}{\omega_F)_{Arm}} = \frac{\omega_L - \omega_{Arm}}{\omega_F - \omega_{Arm}}$$

که در آن ω_F و ω_L و ω_{Arm} به ترتیب سرعتهای زاویه ای مطلق اولین و آخرین چرخ دنده و بازو می باشند. $\omega_F)_{Arm}$ و $\omega_L)_{Arm}$ به ترتیب سرعتهای زاویه ای اولین و آخرین چرخ دنده نسبت به بازو هستند.

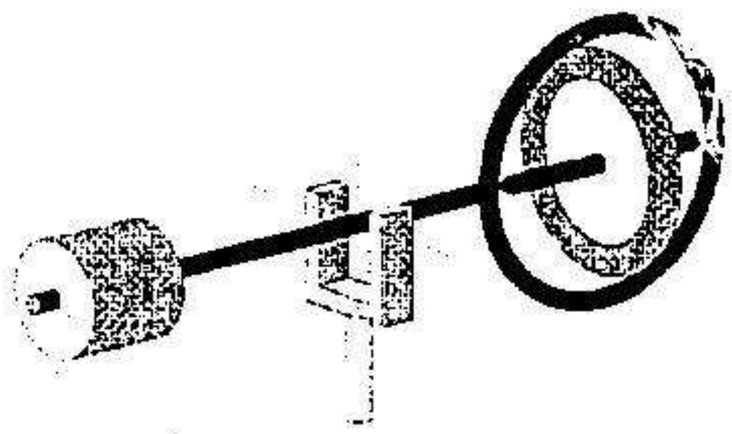
3 اطلاعات فنی

ابعاد :	375×120×100 mm: ارتفاع ×عرض× طول
وزن :	7 kg
چرخ دنده ها (۴ عدد):	
مدول:	1
تعداد دندانه ها :	40, 60, 80, 100



۱. مقدمه

ژایروسکوپ **TM630** برای نمایش ویژگیهای ژایروسکوپهای هدایت شونده بکار برده می شود. این وسیله می تواند برای ملاحظه گشتاورهای ناشی از اثرات ژایروسکوپی بکار برده شود. در عمل این گشتاورها[1] اغلب نیروهای تکیه گاهی زیادی را تولید می کنند لذا در طراحی ماشینها می بایستی در نظر گرفته شوند (مانند محورهای پروانه کشتی و غیره). از طرفی ژایروسکوپهای هدایت شونده بعنوان المانهای (اعضای) پایدارکننده حرکت کشتی ها و وسایل نقلیه تک ریلی و غیره بکار می روند. نمایش دیجیتالی سرعتهای دورانی و اندازه گیری ساده گشتاورها بوسیله یک میله تعادلی همراه با یک لغزنده سبب می شود که آزمایش بسادگی و بطور دقیق انجام شود.

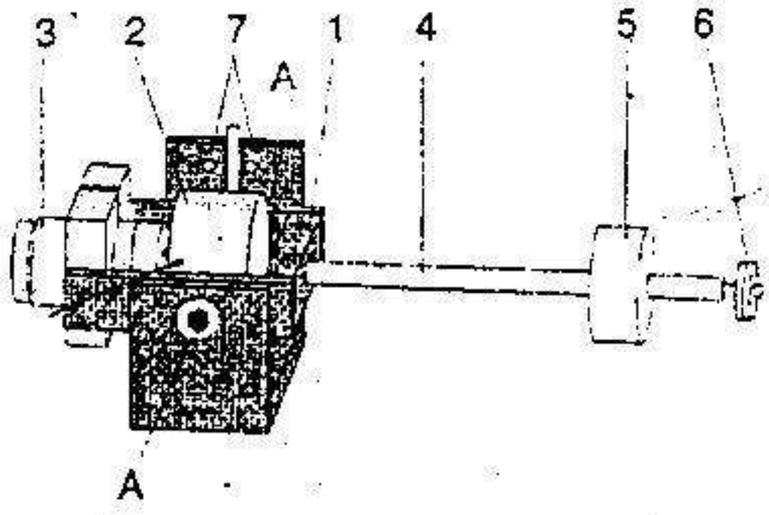


شکل ۱- ۱: ژایروسکوپ هدایت شونده

[1] moments

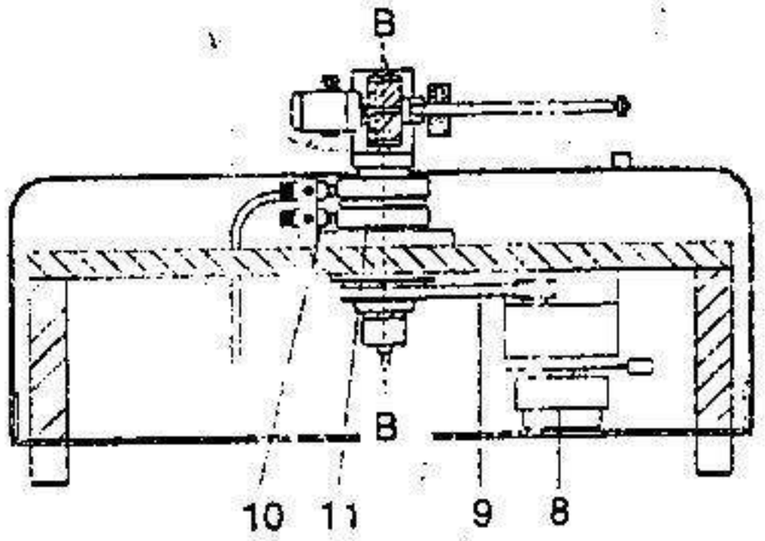
۲. شرح دستگاه

۲-۱ عملکرد



شکل ۱- ۲ : اجزاء ژایروسکوپ

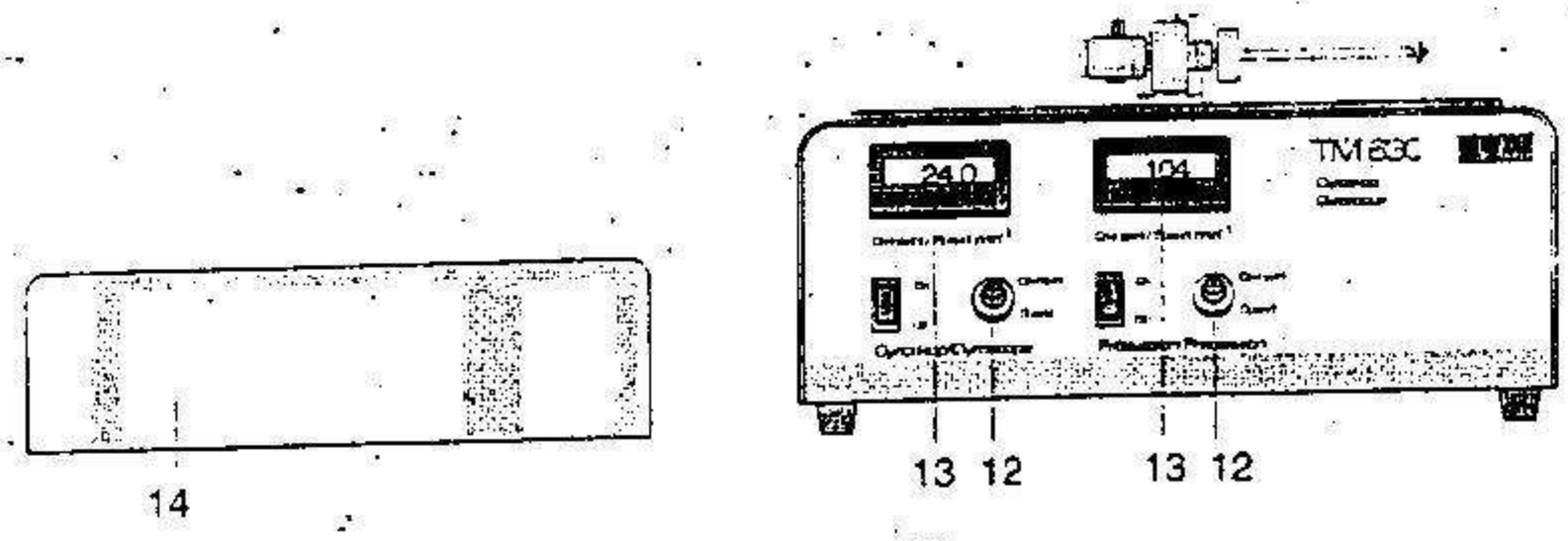
هسته دستگاه جرم گریزاز مرکز(2) را که روی تکیه گاه واقع در محفظه نوسانگر[1] (1) قرار دارد می چرخاند. جرم گریزاز مرکز بهمراه موتورراننده(3) یک ژایروسکوپ هدایت شونده را تشکیل می دهد. میله تعادلی[2] (4) با وزنه لغزنده(5) و وزنه های تنظیم کننده دقت تعادل[3] به ادامه محور ژایروسکوپ متصل می شوند. محفظه نوسانگر حول محورA لولا شده است و می تواند بین پینهای متوقف کننده حرکت[4] (7) به سمت جلو و عقب نوسان کند. وزنه لغزنده(5) گشتاوری حول محورA ژایروسکوپ ایجاد می کند در ضمن کل سیستم حول محورعمودی B لولا شده است. بوسیله موتور ثانوی (2) و تسمه رانش (9) مجموعه قادر است حول محور عمودی دوران کند. توان موردنیاز برای موتور ژایروسکوپ بوسیله دوجاروبک کربنی[5] (10) و رینگهای لغزشی[6] (11) فراهم می گردد.



شکل ۲- ۲: نقشه برش خورده

---

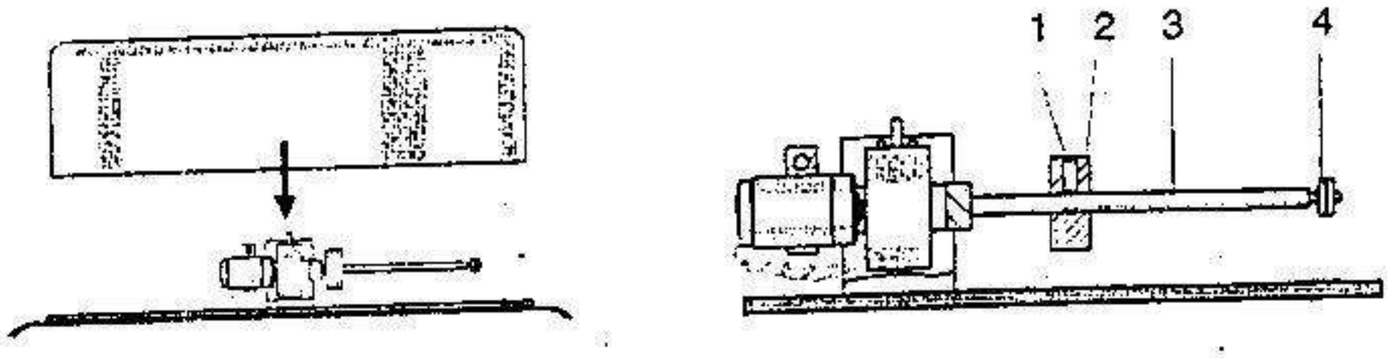
[1] rocker
[2] bdlance bar
[3] precision weights
[4] stop limits
[5] carbon brushes
[6] slip rings



شکل ۳- ۲: نمای کلی

سرعتهای هر یک از دو موتور می تواند مرحله به مرحله بطور گسسته بوسیله یک پتانسیومتر[1] دو سرعته (12) تنظیم می گردد. سرعتها در سرعت سنج[2] دیجیتالی (13) برحسب rpm نمایش داده می شوند. درپوش شفاف (14)قسمتهای دوار را درحین آزمایش می پوشاند.

۲-۲ ایمنی



شکل ۴- ۲ : علائم ایمنی

نکته ۱: همواره باید دستگاه با درپوش شفاف شروع به کار نماید و به هیچوجه در حین کار به قسمتهای دوار دست نزنید.

نکته۲: مطمئن شوید که پیچ مغزی[3] (1) اتصال دهنده وزنه لغزنده (2) به میله تعادل (3) کاملا بسته شده است. وزنه های تنظیم کننده دقت می بایستی کاملا محکم باشند چرا که در غیر اینصورت امکان دارد در حین کار شل شده و به بیرون پرتاب شوند.

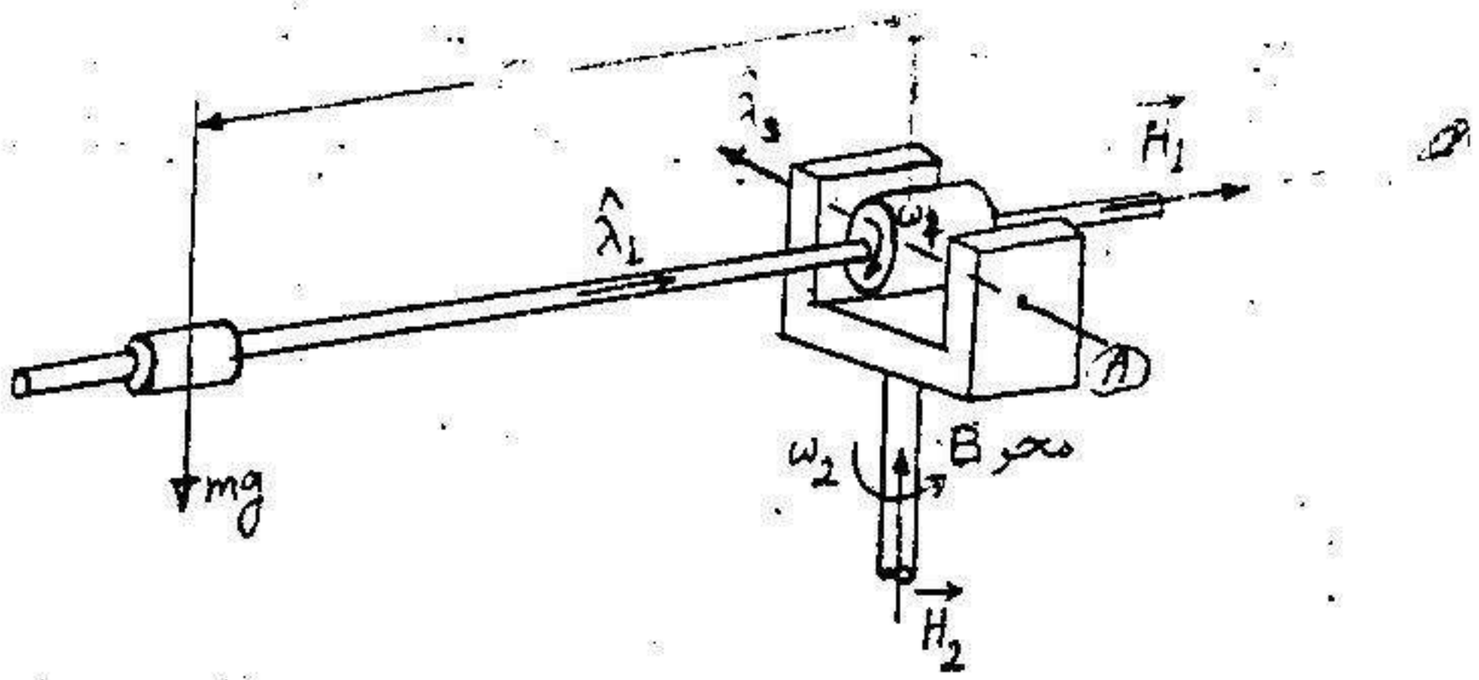
۳. تئوری

۳-۱ حرکت تقدیمی[4] ژایروسکوپ

---

[1] potentiometer
[2] tachometer
[3] gurb screw
[4] precession

45



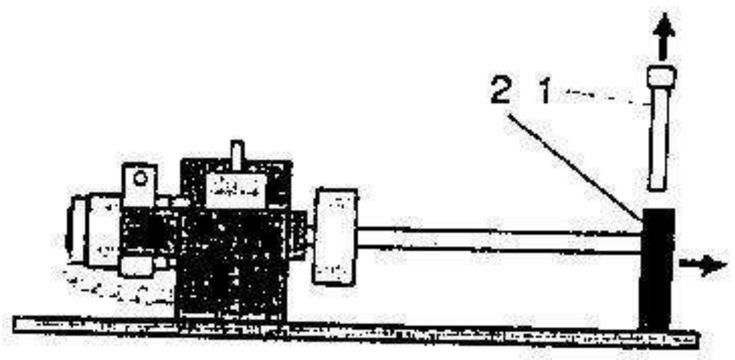
شکل ۱- ۳: ژایروسکوپ هدایت شونده

وقتی یک ژایرو دوران می کند محور مرکزی اش در موقعیت صفحه ای باقی می ماند چرا که هیچ گشتاوری روی ژایرو اثر نمی کند. هنگامیگه ژایرو حول محورعمودی B بطور اجباری دوران می کند مشاهده می گردد که ژایرو حول محور A نیز دوران می کند. ژایرو دوار دارای بردار اندازه حرکت زاویه ای $\vec{H}_1$ که جهت آن بوسیله جهت دوران ژایرو مشخص می شود، بوده و $H_1 = J_1\omega_1$ می باشد. با فرض جهت دوران به سمت راست (شکل۱-۳) بردار $\vec{H}_1$ در جهت محور ژایرو می باشد. گشتاور اجباری $\vec{T}$ حول محور عمودی B بردار اندازه حرکت زاویه ای دیگری، $\vec{H}_2$ تولید می کند که در آن $H_2 = J_2\omega_2$ می باشد. مجموع بردارهای اندازه حرکت زاویه ای $\vec{H}_1$ و $\vec{H}_2$ بردار اندازه حرکت زاویه ای $\vec{H}$ خواهد بود که در شکل (۱-۳) مشخص شده است. بنابراین محور ژوایرو در جهت این بردار، $\vec{H}$ حرکت می کند. حرکت ژایرو تحت تاثیر یک نیروی خارجی، حرکت تقدیمی ژایرو نامیده می شود. گشتاور تولیدی توسط جرم mg با گشتاور ژایروسکوپی همدیگر را خنثی نموده و سبب می شود تا میله تعادلی در وضعیت افقی باقی بماند.

۴. آزمایش

۱-۴ نحوه انجام آزمایش

جداسازی محافظ حرکت[1] :



شکل ۱-۴: جداسازی محافظ حرکت

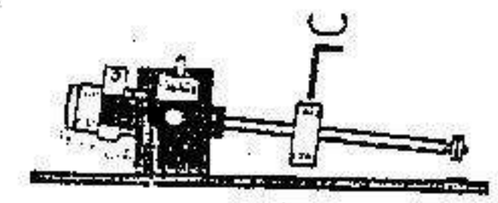
[1] transport protection

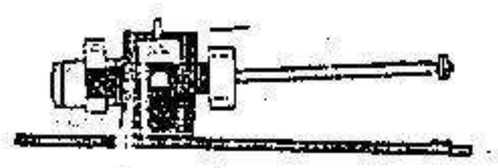
- هر دو پیچ الن[1] M_6 را سفت نمائید.
- بلوک قرمز رنگ ایمنی (2) را جدا کنید

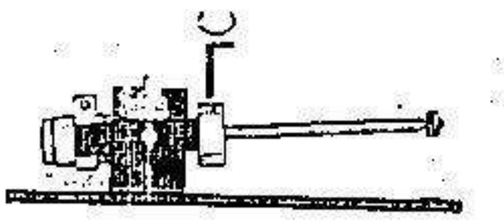
تنظیم دقت میله تعادلی:

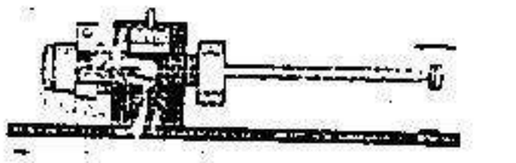
مطابق شکل دستورات زیر را انجام دهید:

- وزنه لغزنده را بوسیله شل کردن پیچ مغزی آزاد نمائید.
- وزنه لغزنده را بسمت محفظه نوسانگر فشار دهید.
- وزنه لغزنده را ثابت نمائید (با بستن پیچ مغزی)
- وزنه های تنظیم کننده دقت تعادل را باز نموده و آنها را طوری تنظیم نمائید تا میله تعادلی بطور افقی قرار گیرد.
- وزنهای تنظیم کننده دقت تعادل را در جهت عکس محکم نمائید. (سفت نمائید)







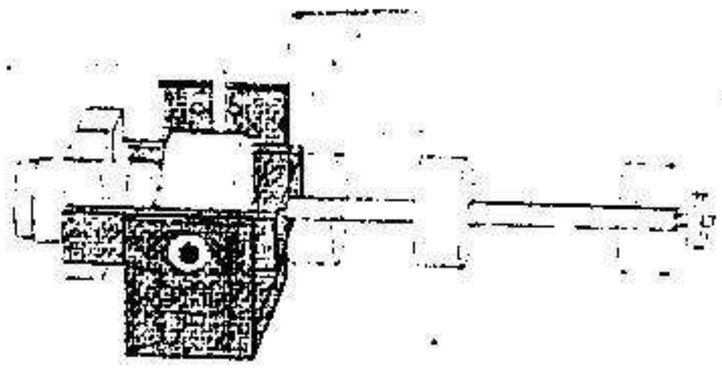


شکل ۲-۴: تنظیم دقت میله تعادلی

تنظیم وزنه لغزنده:

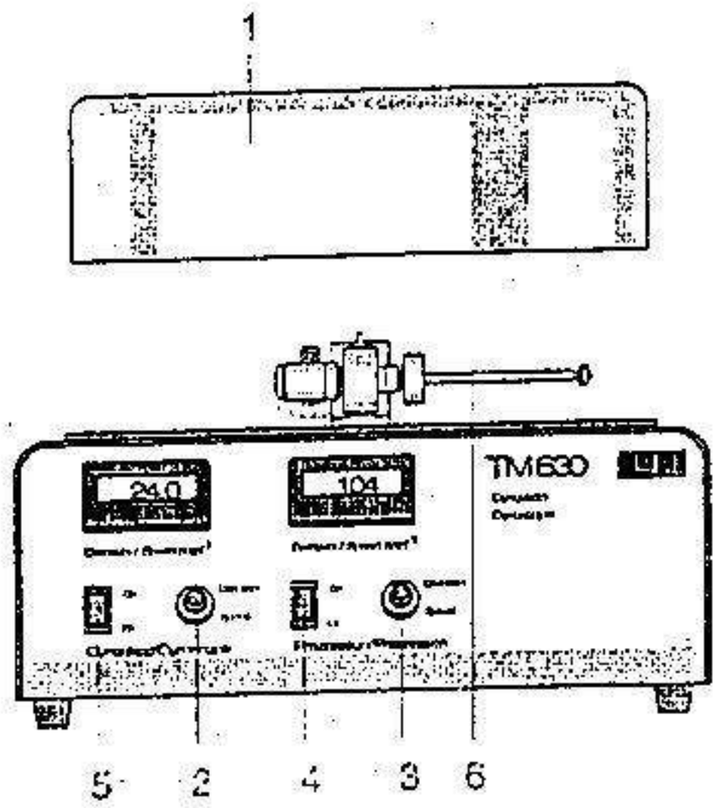
- وزنه لغزنده را با شل کردن پیچ مغزی آزاد نمائید.
- فاصله مطلوب r (ماکزیمم 95mm) را تنظیم نمائید.
- پیچ مغزی را محکم نمائید.

[1] hexagon socket screws



شکل ۳-۴: تنظیم وزنه لغزنده

انجام اندازه گیری:



شکل ۴-۴: اندازه گیری

- سر پوش شفاف (۱) را نصب نمائید
- پتانسیومتر دو سرعته (3) را بچرخانید و روی درجه صفر قرار دهید.
- موتور ژایرو را روشن نمائید (حرکت تقدیمی) (کلید 4)
- با پتانسیومتر (3) به سرعت دورانی موردنظر برسید.
- موتور فریم را روشن نمائید (ژایروسکوپ) (کلید5)
- با پتانسیومتر سرعت (2) سرعت دورانی موردنظر را افزایش دهید تا میله تعادلی (6) بطور افقی قرار بگیرد.
- هر دو سرعت دورانی را یادداشت نمائید.

۲-۴ اثبات اعتبار قوانین حاکم بر ژایروسکوپها

درآزمایشات، وزنه لغزنده که جرمش $m = 65.6[gr]$ است در فواصل $r = 25,50,75,95[mm]$ تنظیم نمائید. شعاع جرم لغزنده $R = 3.381[cm]$ می باشد. درهر فاصله r برای حداقل چهار دور متفاوت $n_1[rpm]$ و $n_2[rpm]$ موتور ژایرو و موتور فریم که در آن میله تعادلی بحالت افقی است جدول زیر را تنظیم نمائید.

... پاسخ ستونهای دوم و پنجم جدول (برحسب٪)	... گشتاور $M_3 = J_1\omega_1\omega_2$ (برحسب N.m)	سرعت دورانی فریم n_2 (برحسب rpm)	سرعت دورانی ژایرو n_1 (برحسب rpm)	گشتاور $M_3 = mgr$ (برحسب N.m)	شعاع r (برحسب m)
5	0.0169	15.81	2600	o.o161	0.025
6.2	0.0171	14.10	2950	0.0161	0.025

نمودارهای سرعتی دورانی $n_2[rpm]$ را برحسب سرعت دورانی $n_1[rpm]$ برای مقادیر مختلف M_3 درج شده در ستون دوم جدول بالا بکمک رابطه $M_3 = J_1\omega_1\omega_2$ ترسیم نمائید. (منحنی گشتاور تئوری ژایروسکوپ) نتایج را با ترسیم نقاط (n_1, n_2) بدست آمده از ستونهای سوم و چهار جدول بالا مقایسه نمائید (منحنی گشتاور آزمایشگاهی ژایروسکوپ)

5 ضمیمه

5.1 اطلاعات فنی

محدوده گشتاور قابل تنظیم: 0-61.6[nmm]

محدوده سرعت دورانی ژایرو: 1000- 6000[rpm]

محدوده سرعت دورانی فریم: 5-63 rpm

اندازه گیری سرعتهای دورانی فریم ژایرو با نمایشگر LCD هشت دیجیتالی به ترتیب با رزولوشنهای[1] 0000 و 00.00

ابعاد دستگاه: 420x435x280 mm

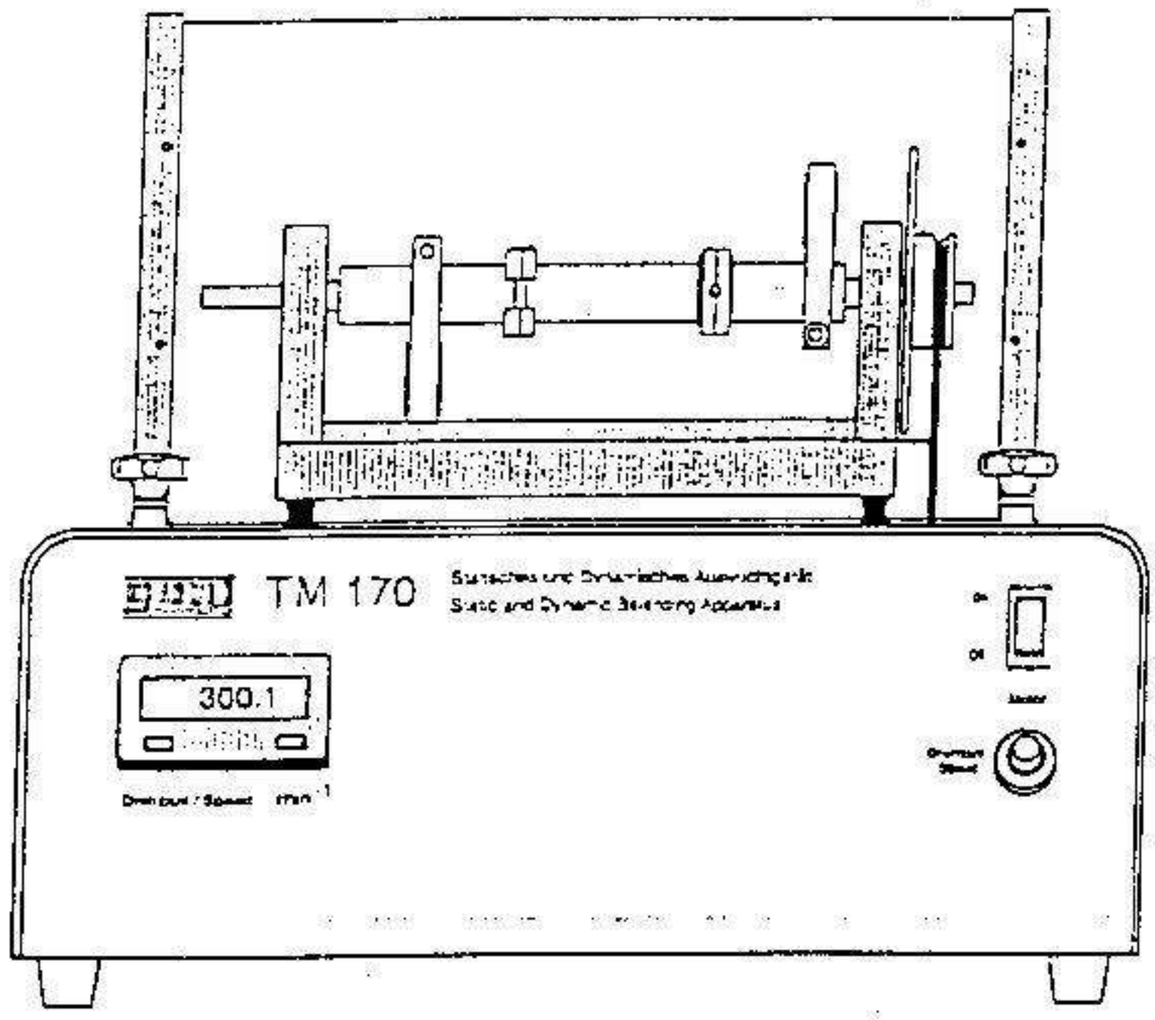
وزن دستگاه: 22kg

منبع تغذیه: 50Hz, 230v

[1] resolution

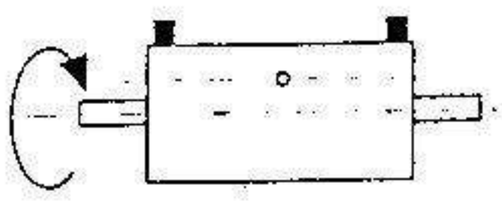
دستگاه بالانسینگ استاتیکی و دینامیکی

Tm 170 Static and Dynamic Balancing Apparatus

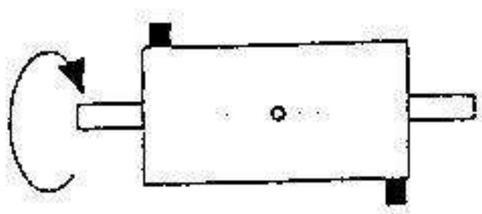


1 مقدمه

دستگاه بالانسینگ TM170 برای تشریح بالاسینگ بکار می رود. بالاسینگ یک جنبه بسیار مهم در مهندسی می باشد. در تمامی ماشینهائی که در سرعت بالا دوران می کنند قسمتهای دوار می بایستی بالانس باشند. اگر اجزاء بالانس نباشند یا بطور مناسب بالانس نشده باشند نیروی اینرسی آزاد منجر به تنشهای تکیه- گاهی، ارتعاشات و نویز می شوند. نابالانسی شدید می تواند سبب بارگذاری بیش از حد مجاز شده و تکیه گاهها را از بین ببرد. بالانسینگ شامل بالانسینگ تایر ماشینها، موتورهای الکتریکی، چرخهای سنگ زنی[1] و توربینها و... می باشد.



روتور با نابالانسی استاتیکی



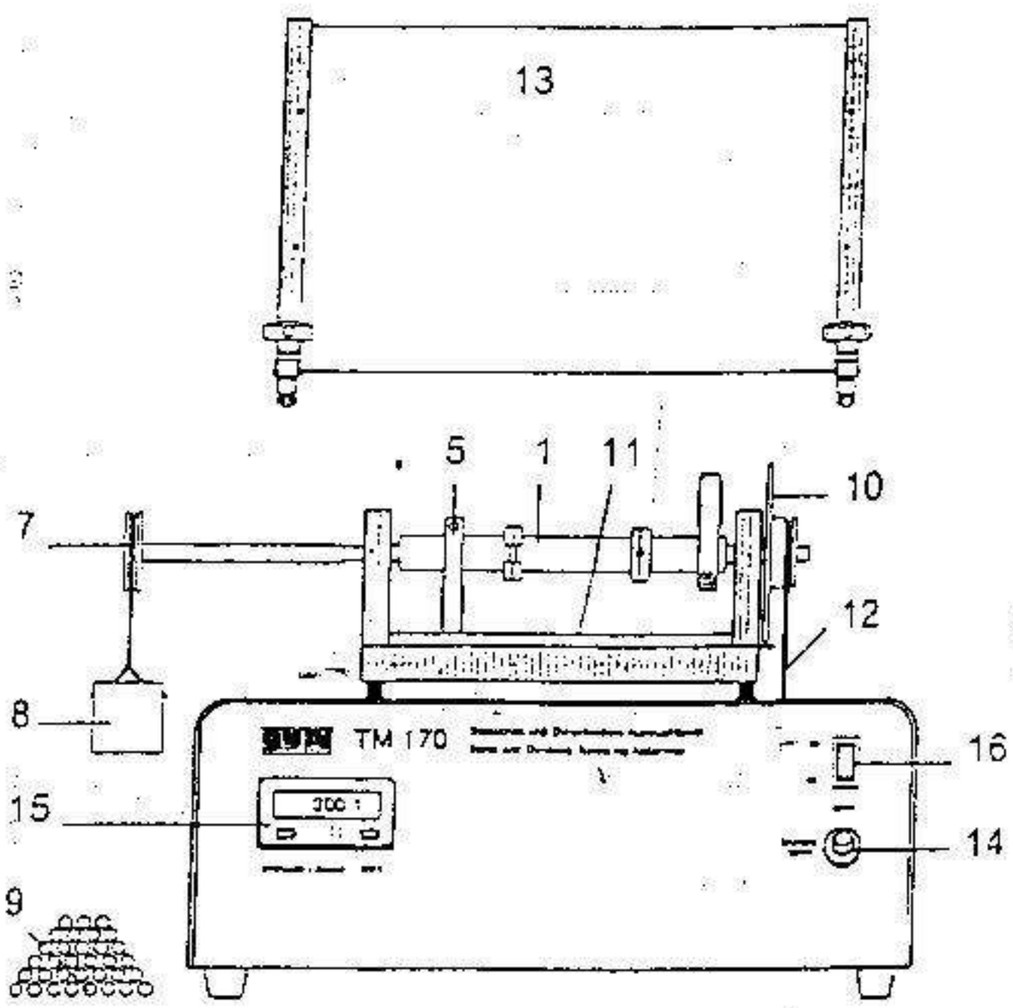
روتور با نابالانسی دینامیکی

[1] grinding wheels

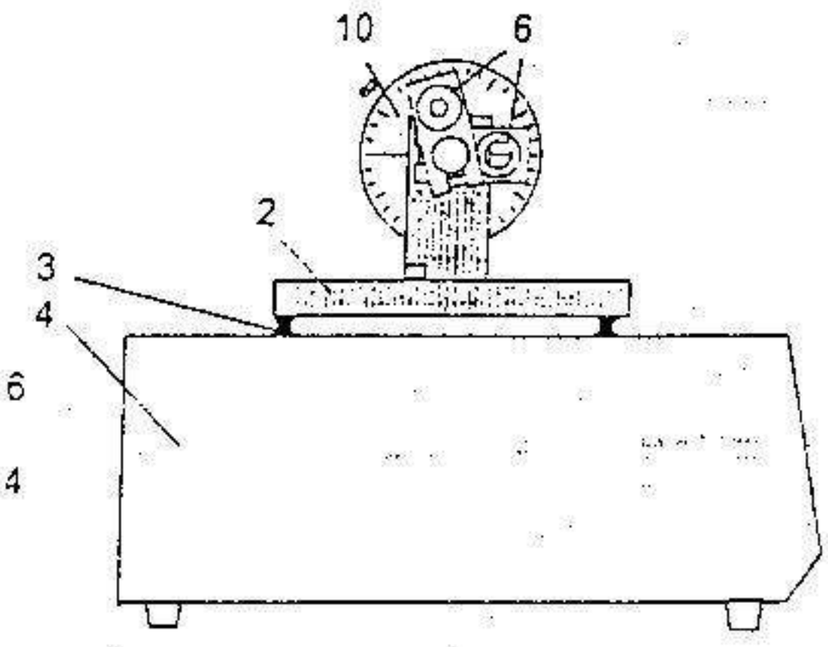
2 شرح دستگاه

دستگاه بالانسینگ اساسا شامل محور (1) که بطور افقی روی تکیه گاهها قرار دارد و چهار جرم نامیزانی (5) می توانند در هر موقعیت زاویه ای و محوری دلخواه به آن متصل شوند (بطور گیردار). این محور روتور[1] نامیده می شود. تکیه گاههای روتور دو بلبرینگ خود تنظیم[2] با اصطکاک کم هستند. روتور همراه با پایه اش(2) روی یک محفظه[3] بوسیله اجزاء لاستیکی (3) متصل شده است. روتور بوسیله یک تسمه جداشدنی با مقطع گرد (12) و یک موتور با سرعت متغیر واقع در داخل محفظه می چرخد. موتور از طریق کلید (16) روشن می شود. پتانسیومتر 10 چرخشه[4] (14)امکان تنظیم فوق العاده حساس سرعت را فراهم می کند. محدوده سرعت [min^{-1}]0-1400 می باشد. سرعت روتور بوسیله دورشمار دیجیتالی[5] (15) نشان داده می شود. مقیاس زاویه (10) و مقیاس طول (11) امکان اینکه موقعیت قرارگیری نابالانسی بدقت تعیین گردد را فراهم می آورند.

پولی ریسمانی[6] (7) و سبد وزنه (8) برای تعیین نابالانسی بکار می روند. وزنه های اضافی (6) می توانند به اجرام نابالانسی (5) متصل شده و از این طریق هر زمان که نیاز باشد به روتور بطور گیردار متصل گردند. محافظ (13) از حوادث ناشی از تماس با قسمتهای دوار جلوگیری می کند.



1 Shaft
2 Base
3 Rubber elements
4 Housing
5 Unbalance mass
6 Additional mass
7 Rope pulley with plug-in shaft
8 Weight basket
9 Ball weights
10 Angle scale
11 Length scale
12 Drive belt
13 Protective cover
14 Speed adjuster
15 Rev counter
16 Motor switch



3 ایمنی و دستورات مهم اجرائی

دستورات زیر می بایستی انجام پذیرد تا کارآیی ایمن دستگاه را تضمین نماید. سرعت ماکزیمم روتور می تواند $1400[min^{-1}]$ باشد لذا با توجه به ابعاد اجرام نامیرانی سرعت محیطی لبه تیز اجرام نامیرانی می تواند تا $7.5[m/s]$ باشد.

3-1 مقررات ایمنی

خطر

- خطر صدمه ایجاد شده بوسیله قسمتهای دوار
- هرگز قسمتهای دوار را لمس نکنید
- هرگز با دستگاه بدون پوشش محافظ کار نکنید. مطمئن باشید که گیره های رهایش سریع قفل می شوند
- همیشه وقتی با روتور بدون محافظ کار می کنید موتور را خاموش کنید.

خطر

- خطر آسیب دیدگی بوسیله اجزاء به بیرون پرتاب شونده.
- مطمئن شوید که اجرام اضافی بطور کاملا ایمن با پیچ مغزی محکم شوند.

خطر شوک الکتریکی

- دوشاخه اصلی برق[1] را قبل از تعویض فیوزها یا بازکردن محفظه بیرون بکشید
- کار روی سیستم الکتریکی می بایستی فقط توسط متخصصین انجام پذیرد.
- مطمئن باشید که نوع صحیحی از فیوزهای تعویضی بکار برده می شود (800 mA M)

توجه

هرگز دستگاه را تا ماکزیمم سرعت همراه با حداکثر نابالانسی بکار نیندازید چرا که بار روی تکیه گاهها می تواند از میزان مجاز تجاوز کند.

توجه

- همیشه محورو پولی (دارای شیار برای عبورتسمه) را قبل از اینکه تسمه را جا بیندازید ازهم جدا نمائید.
- قبل از روشن کردن موتور، تنظیم کننده سرعت را روی صفر تنظیم کنید چرا که در غیر اینصورت ممکن است موتور بطور ناگهانی سرعت بگیرد.
- اگر نابالانسی نامشخص است به آهستگی سرعت روتور را افزایش دهید و نوسان دستگاه را مشاهده نمائید.

توجه

- هرگز دستگاه را بدون حضور داشتن در حال کار رها نکنید

3-2 دستوران کاربرد

3.2.1 تنظیم اجرام نامیزانی

اجرام نامیزانی (1) می تواند با شل کردن پیچ گیردار کننده[2] (2) بوسیله یک آچارشش گوش[1] 3mm جابجا و یا چرخانده شود.

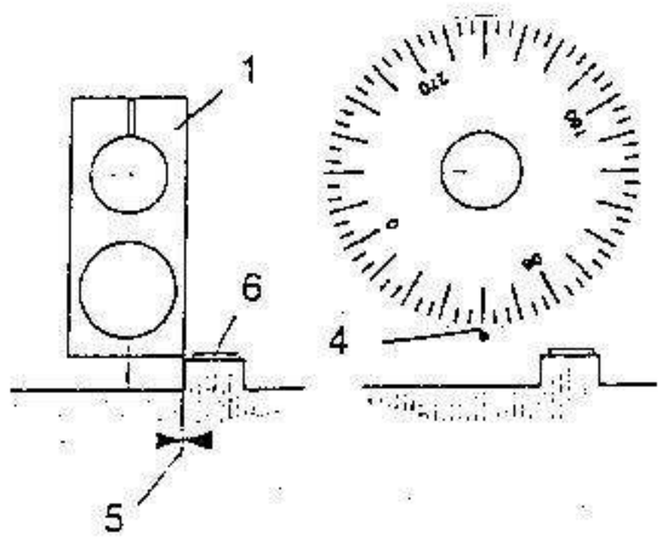
---

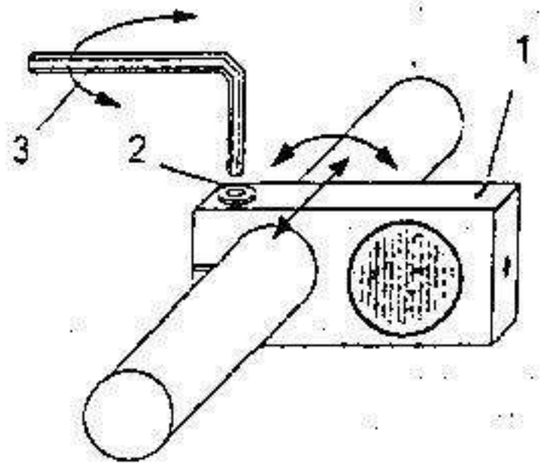
[1] mains play
[2] clamping screw

زاویه قرارگیری نابالانسی بصورت زیر تنظیم می شود:

- تسمه راننده را محکم کنید (از دوران ناخواسته جلوگیری نمائید)
- گردونه مدرج (4) را در صفحه موردنظر قرار داده و محور را نگه دارید.
- جرم نامیرانی (1) را بچرخانید بطوریکه لبه پشتی پایین تر همراستا با مقیاس طولی (5) قرارگیرد. پیچ گیردارکننده را با احتیاط سفت کنید تا جرم نامیرانی ثابت شود. بعد از انجام این عمل دوباره زاویه را چک کنید و مطمئن شوید که جرم نامیرانی بطور کاملا ثابت در موقعیت قرارمی گیرد. جرم می بایستی قادر به دوران نباشد.

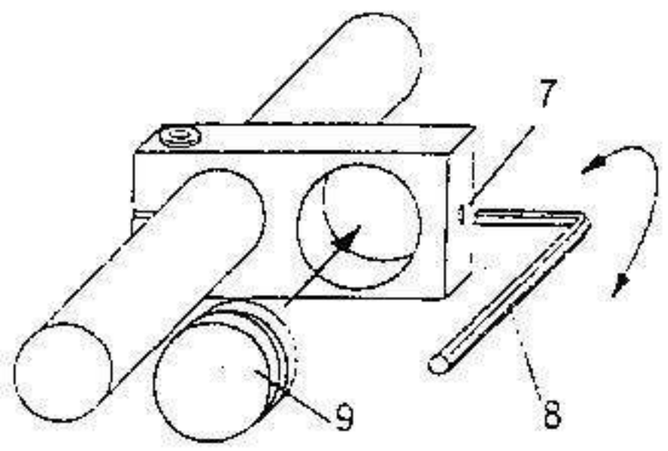
موقعیت محوری می تواند با بکاربردن مقیاس طولی تعیین گردد.





3-22 تعویض اجرام اضافی

- اجرام اضافی (9) بعد از شل کردن پیچ گیردار کننده (7) با یک آچار شش گوش 2mm (8) می تواند تعویض گردد.
- مطمئن شوید پیچ گیردارکننده وقتی که جرم اضافی نصب می گردد سفت است. پیچ باید در شکاف V شکل جرم اضافی جا بیفتد. دو نوع جرم متفاوت وجود دارند.

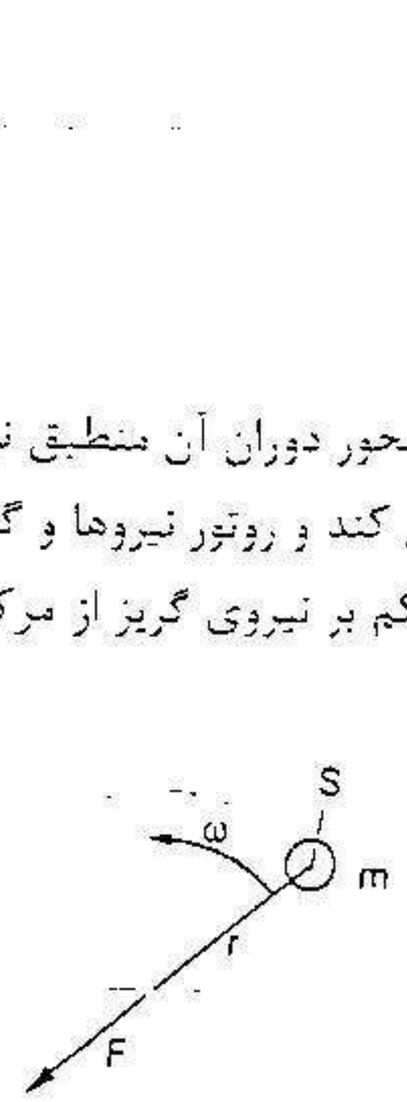


[1] hexagon - socket

4 آزمایشات

اگر مرکز ثقل یا محور اینرسی یک روتور بر محور دوران آن منطبق نباشد آن روتور نامیزان می شود. در طی دوران مرکز جرم روی یک مسیر دایروی حرکت می کند و روتور نیروها و گشتاورهای گریز از مرکز را روی محل نصبش اعمال می کند. علاوه بر جرم پارامترهای حاکم بر نیروی گریز از مرکز یک جسم شعاع مسیر دایروی و سرعت زاویه ای می باشد.

$F = mr\omega^2$ (نیروی گریز از مرکز)



دو نوع نابالانسی بصورت زیر تعریف می شوند:

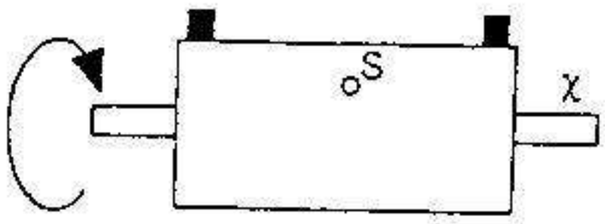
الف- نابالانسی استاتیکی: مطابق شکل در حالت وجود نابالانسی استاتیکی خالص مرکزجرم S بیرون محور دوران قرار دارد ولی محور اصلی اینرسی χ موازی محور گذرنده از آن است. در این حالت فقط نیروهای نابالانسی تولید می شوند و هیچ گشتاور نابالانسی وجود ندارد.

ب- نابالانسی دینامیکی: با وجود نابالانسی دینامیکی خالص مطابق شکل مرکز جرم S روی محور دوران قرار دارد و روتور گشتاور نابالانسی اطرافش در اعمال می کند.

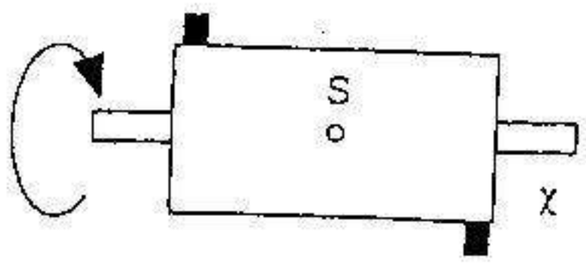
نابالانسی استاتیکی می تواند در حالت سکون از طریق نوسان تعیین گردد (بنابر این نابالانسی استاتیکی نامیده می شود). مرکز جرم روتور به پایین ترین نقطه اش می رسد. با کاهش نابالانسی روتور در هر موقعیت زاویه ای تمایل به توقف دارد. هر گاه مرکز جرم روی محور دوران قرار داشته باشد نابالانسی دینامیکی نمی تواند ایجاد گردد. برای توزیع جرم نامنظم، نیروهای متفاوتی را در امتداد محور طولی رتوراعمال می گردند و بنابراین گشتاورهای نابالانسی تولید می کنند. این گشتاورها فقط وقتی که روتور دوران می کند وجود دارند لذا نابالانسی دینامیکی نامیده می شوند.

در حالت کلی هر نابالانسی ترکیبی از نابالانس استاتیکی و دینامیکی است.

برای اهداف موردنظر روتور نابالانسی بطور ایده آل بصورت یک محور و اجرام نابالانس گیردار شده به آن در نظر گرفته می شود.



Static unbalance



Dynamic unbalance

4.1 تعیین نابالانسها

اولین قدم تعیین نابالانسی اجرام نامیران گیردارشده به روتور می باشد. دو نوع از نابالانسیها می تواند درنظر گرفته شود.

- جرم نابالانسی بدون جرم اضافی : نابالانسی جزئی[1] (ناچیز) که در شکل با نقاط سفید (دوایر توخالی) مشخص شده
- جرم نابالانسی با جرم اضافی : نابالانسی بزرگ[2] که در شکل با نقاط سیاه (دوایر کوچک توپر) مشخص شده

برای آزمایش ذیل مناسب است که دو جرم نابالانسی فاقد جرم اضافی را در طرفین روتور دو جرم نابالانسی باقیمانده با جرم اضافی را در مرکز روتور قرار می دهیم. برای تعیین نابالانسی روتور در ابتدا روتور بطور آزاد رها می شود تا ساکن شود و اجرام نابالانس در پایین ترین موقعیت قرار می گیرند. یک گشتاور خارجی توسط پولی ریسمانی و سبد وزنه ها اعمال می شود. روتور به موقعیت تعادل جدیدش می چرخد و مطابق شکل در زاویه α قرار می گیرد.

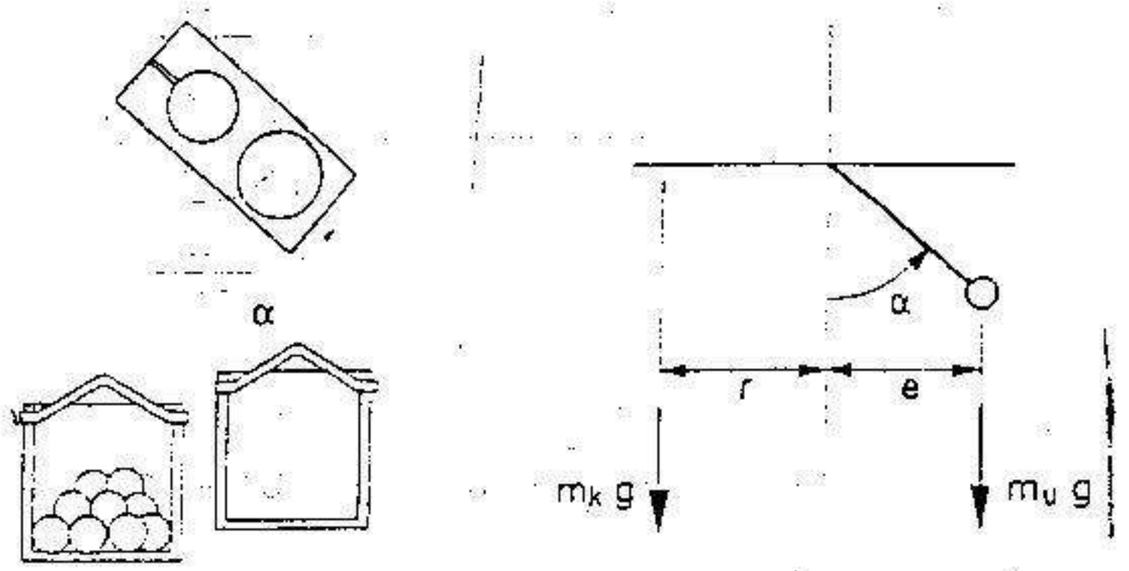
ازتعادل گشتاورها نتیجه می شود:

$$\sum M = 0 \Rightarrow m_k g r - m_u g e \sin\alpha = 0$$

که در آن m_k جرم ساچمه ها واقع در سبد، r شعاع پولی، m_u جرم نابالانسی، e خروج از مرکز نامیرانی و α زاویه انحراف نامیرانی فاقد جرم اضافی است.

نابالانسی U بصورت $U = m_u e$ تعریف می شود و یا داریم

$$U = \frac{m_k r}{\sin\alpha}$$



4.1.1 اندازه گیری جرم نابالانسی فاقد جرم اضافی (نابالانسی ناچیز U_1)

- دو جرم نابالانسی کوچک (نقطه سفید) را در موقعیت زاویه ای یکسان (زاویه صفر) قرار می دهیم.
- اجرام نابالانسی بزرگ (نقطه سیاه) را در موقعیتهای زاویه ای قرار می دهیم که نسبت به هم زاویه 180° بسازند.
- تسمه راننده را جدا نمائید.

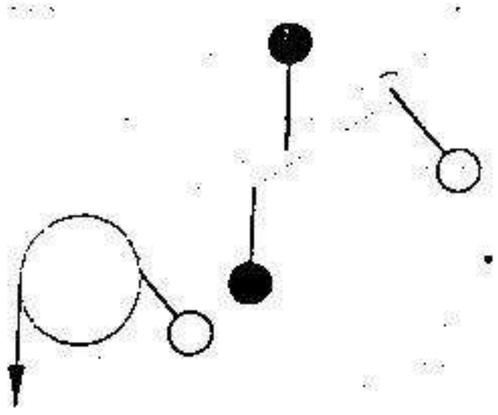
---

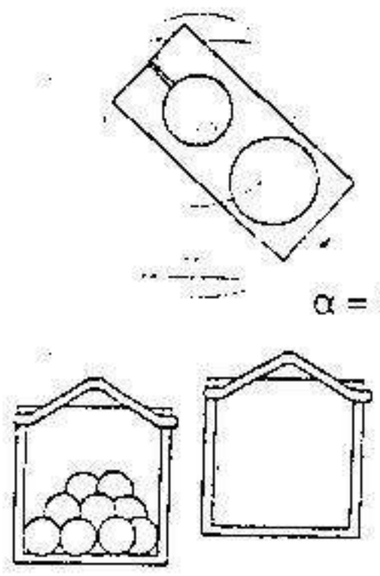
[1] minor unbalance
[2] major unbalance

- پولی ریسمانی را به انتهای آزاد محور وصل نمائید.
- ریسمان را به سبدهای بدون وزنه متصل نمائید.
- روتور باید به حالت سکون در بیاید بطوریکه وجود اجرام نابالانسی کوچک بطورقائم بسمت پایین باشند. زاویه در مقیاس زاویه باید 0° مشاهده گردد.
- ساچمه ها را در یک سبد قرار دهید. این عمل سبب می شود تا روتور وضعیت سکون را ترک نماید. ساچمه ها را اضافه نمائید تا زاویه 30° -40° گردد. زاویه α را تعیین کنید.
- جرم هر ساچمه 3gr و شعاع پولی ریسمانی r =3.33cm می باشد.

اگر نابالانسی ناچیز U_1 باشد آنرا محاسبه کنید.

- برای رسیدن به دقت بیشتر نتایج اندازه گیری را در جهت مخالف تکرار کنید و مقدار متوسط هر دو اندازه گیری را بدست آورید.





4.1.2 اندازه گیری جرم نابالانسی با جرم اضافی (نابالانسی بزرگ U_2)

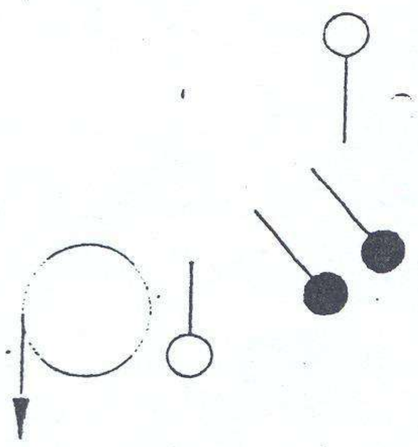
- دو جرم نابالانسی بزرگ را در وضعیت زاویه ای یکسان (زاویه 0°) قرار دهید.
- جرم نابالانسی کوچک را در موقعیتهای زاویه ای قرار می دهیم که نسبت به هم زاویه 180° بسازند.

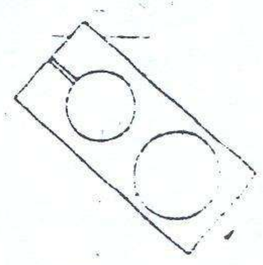
تسمه راننده را جدا نمائید.

- پولی ریسمانی را به محور متصل نمائید.
- سبدهای بدون وزنه ها (سبد خالی) را به ریسمان متصل نمائید. روتور باید به حالت سکون در بیاید بطوریکه وجوه اجرام نابالانسی بزرگ بطورقائم بسمت پایین باشند. زاویه در مقیاس زاویه باید 0° مشاهده گردد.

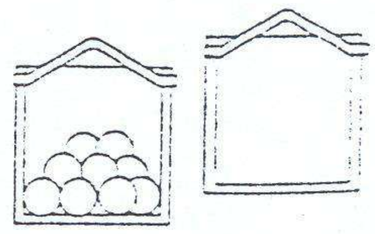
ساچمه ها را در یک سبد قرار دهید. این عمل سبب می شود تا روتور وضعیت سکون را ترک نماید. ساچمه ها را اضافه نمائید تا زاویه 30° -40° گردد. زاویه α را تعیین کنید. اگر نابالانسی بزرگ U_2 باشد آنرا محاسبه کنید.

- برای رسیدن به دقت بیشتر نتایج اندازه گیری را در جهت مخالف تکرار کنید و مقدار متوسط هر دو اندازه گیری را بدست آورید.

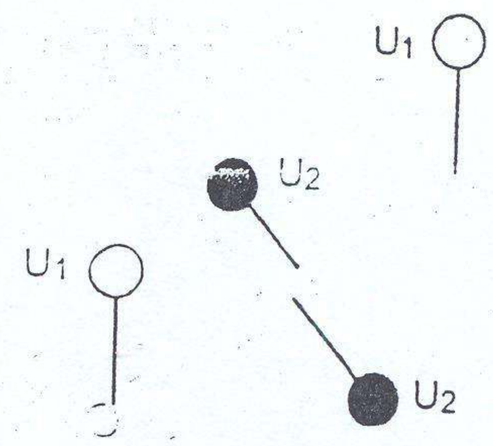




$\alpha = 30° - 40°$



4.2 نابالانسی استاتیکی



نابلانسی استاتیکی با اختلاف زاویه صفر درجه برای اجرام نابالانسی

در ابتدا تاثیرنابالانسی استاتیکی تشریح می شود

- دو جرم نابالانسی U_1 را به دو انتهای محور در جهت یکسان متصل می کنیم (موقعیتهائی که نسبت به هم زاویه صفر درجه می سازند)

- دو جرم نابالانسی U_2 را با هم در وسط محور قرار می دهیم و آنها را در موقعیتهای زاویه ای متضاد (که نسبت به هم زاویه 180° بسازند) قرار می دهیم بنابراین تاثیرشان بطور کامل خنثی می شود.

بدون تسمه راننده روتور به حالت سکون در می آید بطوریکه اجرام نابالانسی کوچک بطورقائم بسمت پایین باشند. موقعیت نابالانسی می تواند از مقیاس زاویه بعنوان زاویه α مشاهده گردد.

حال تاثیر نابالانسی در سرعت بالاتر تشریح می شود.

- تسمه راننده را محکم نمائید (جا بیندازید)

- درپوش را قرار داده و با چهار گیره رهایش سریع[1] محکم نمائید.

- موتور را روشن نمائید.

- با احتیاط بوسیله پتانسیومتر دور موتور را افزایش دهید. در دور حدود $1000\ min^{-1}$ ارتعاشات ناشی از نابالانسی به سطح غیر قابل تحمل می رسد که باید آزمایش خاتمه یابد.

---

[1] quick- release catche

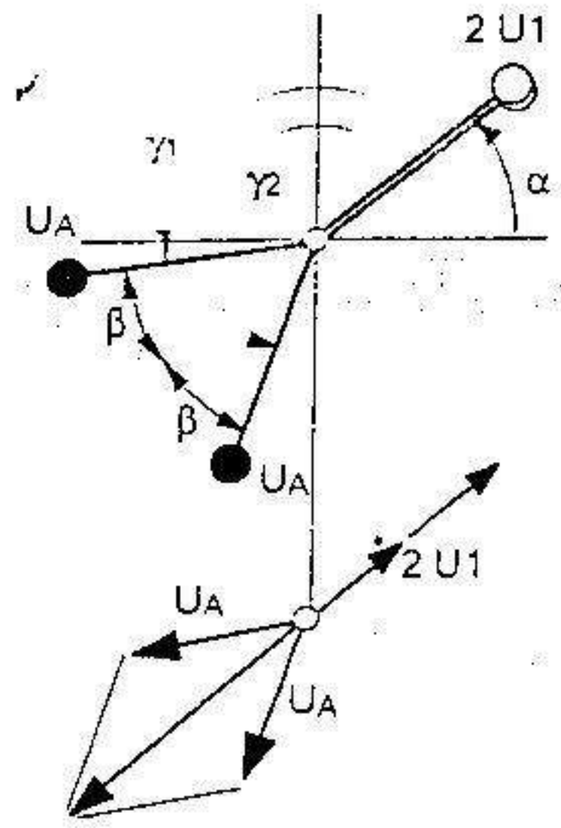
حال بالانسینگ توسط دو جرم نابالانسی بزرگ U_A صورت می گیرد. دو جرم بالانس کننده U_A طوری بر روی محور قرار داده می شود که نیروهای گریز از مرکز منتجه آنها با نیروهای گریز مرکز U_1 معادل شوند یعنی داریم

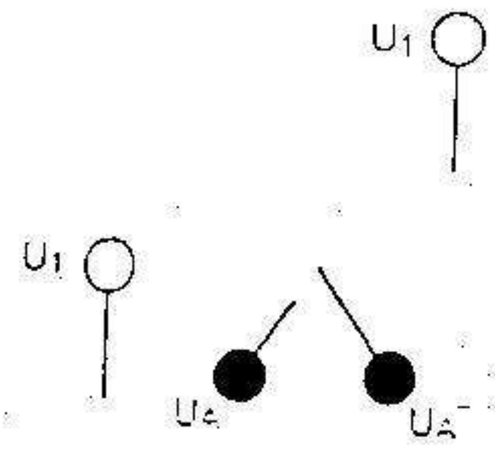
$$\sum F = 0 \Rightarrow 2U_1\omega^2 - 2U_A\omega^2 \cos\beta = 0$$

بنابراین موقعیتهای زاویه ای اجرام بالانس کننده مطابق شکل به ترتیب عبارتند از

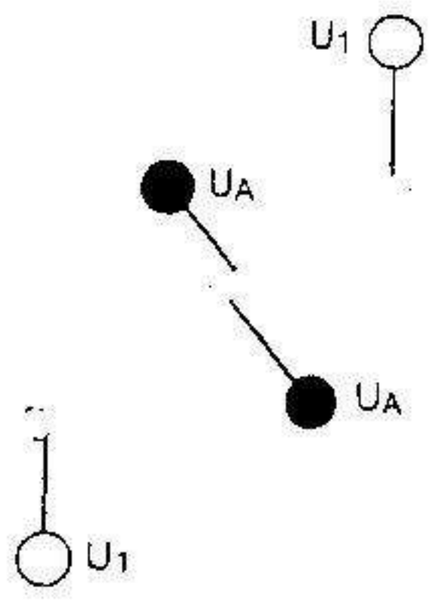
$$\begin{cases}\gamma_1 = \alpha + 180 - \beta \\ \gamma_2 = \alpha + 180 + \beta\end{cases}$$

توجه دارید که اجرام بالانس کننده باید در مرکز محور قرار بگیرند. اگر در نصب اجرام بالانس کننده دقت کنیم روتور می تواند.تا حدود دور ماکزیمم ۱- 1400 min دوران کند.





4.3 نابالانسی دینامیکی



نابلانسی دینامیکی با اختلاف زاویه ۱۸۰ درجه برای اجرام نابالانسی

برای بالانس کردن نابالانسی دینامیکی بصورت زیر عمل می شود

- برای نابالانسی دینامیکی خالص اجرام نابالانسی کوچک U_1 روی محور در فاصله $a=190^{mm}$ از همدیگر و در موقعیت زاویه ای 180° نسبت به یکدیگرنصب می شوند.
- دو جرم نابالانسی بزرگ U_A در موقعیت مکانی یکسان (در موقعیتهای زاویه ای که زاویه 180° نسبت به هم می سازند) همانند آزمایش قبل قرار می دهیم. بدون تسمه راننده روتور بطور پیوسته و با سرعت پایین دوران

می کند و هیچ موقعیت توقف مشخصی ندارد و به اصلاح بطور استاتیکی بالانس شده است. حال تاثیر نابالانسی دینامیکی در سرعت بالاتر شرح داده می شود.

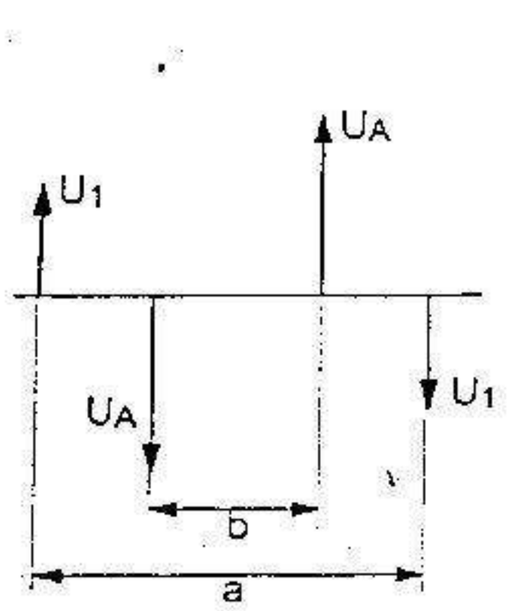
- تسمه راننده را متصل نمائید.
- درپوش را قرار داده و چهار گیره رهایش سریع را محکم نمائید.
- موتور را روشن کنید.
- به دقت دور موتور را با پتانسیومتر افزایش دهید. در حدود دور $1000min^{-1}$ ارتعاشات منتجه از نابالانسی به سطح غیرقابل تحمل می رسد و آزمایش می بایستی متوقف شود. پایه دستگاه، یک نوسان متمایزرا حول محور عمودی نشان می دهد که بوسیله گشتاورهای نابالانسی تولید می شود.

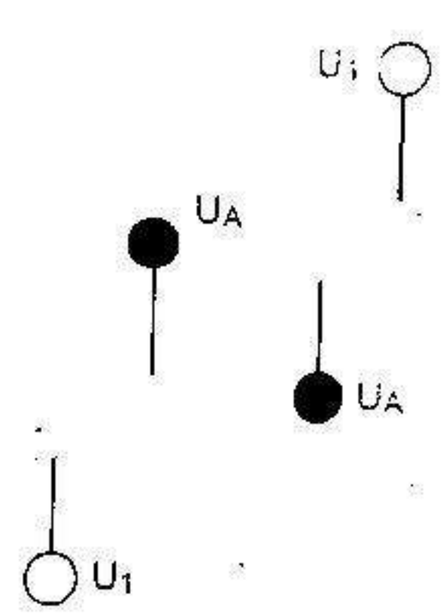
حال بالانسینگ با دو جرم بالانس کننده U_Aانجام می گیرد.

گشتاور ایجاد شده بوسیله نیروهای گریز از مرکز جرمهای بالانس کننده U_A می بایستی گشتاورنیروهای اجرام نابالانس کننده U_1 را جبران نماید. تعادل گشتاورها با نیروهای گریز از مرکز نابالانسی و اجرام بالانس کننده مطابق شکل نتیجه می دهد.

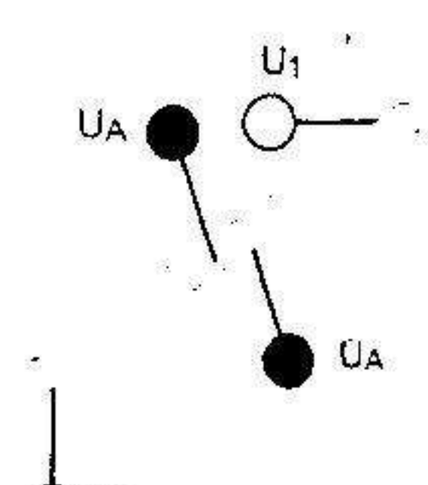
$$\sum M = 0 \Rightarrow U_1 \omega^2 a - U_A \omega^2 b = 0 \Rightarrow b = \frac{U_1}{U_A} a$$

آزمایشهای دیگری را نیز می توان با تنظیم اجرام بالانس کننده U_A با U_2 انجام داد. اگر در نصب اجرام بالانس کننده دقت کنیم روتور می تواند تا حدود دور ماکزیمم $1400min^{-1}$ دوران کند.





4.4 نابالانسی عمومی (کلی)



نابلانسی عمومی با اختلاف زاویه ۹۰ درجه برای اجرام نابالانسی

منظور از نابالانسی عمومی ترکیب نابالانسی استاتیکی و دینامیکی می باشد و نمونه ای از آن بصورت زیر حاصل می شود.

- دو جرم نابالانسی U_1 را به دو انتهای محور با اختلاف موقعیت زاویه ای 90° متصل کنید.
- دو جرم نابالانسی بزرگ U_A در موقعیت مشابه آزمایش قبل (در موقعیتهای زاویه ای 180° نسبت به یکدیگر) قرار دهید.

بدون تسمه راننده روتور یک موقعیت مشخص دارد که در آن متوقف می شود و یا بطور استاتیکی بالانس نیست.

حال تاثیر نابالانسی دینامیکی در سرعت بالاتر تشریح می شود.

- تسمه راننده را محکم نمائید.
- درپوش را قرار داده و چهار گیره رهایش سریع را محکم نمائید.
- موتور را روشن کنید.
- به آرامی دور موتور را با پتانسیومتر افزایش دهید. در حدود دور 1000min^{-1} ارتعاشات ناشی از نابالانسی به سطح غیرقابل تحمل می رسد وباید آزمایش خاتمه یابد.

دو شرط تعادل زیر بمنظور جبران نابالانسی کلی می بایستی ارضاء گردد

- تعادل نیروها برای مولفه نابالانسی استاتیکی
- تعادل گشتاورها برای مولفه نابالانسی استاتیکی

در ابتدا مولفه نابالانسی استاتیکی بالانس می شود. اگر اختلاف بین موقعیتهای زاویه ای اجرام نابالانسی U_1، $2\alpha = 90^\circ$ و اختلاف بین موقعیتهای زاویه ای اجرام بالانس کننده U_A، 2β باشد نتیجه می شود:

$$\sum F = 0 \Rightarrow 2U_1 \cos\alpha - 2U_A \cos\beta = 0 \Rightarrow \beta = \cos^{-1}\left(\frac{U_1 \cos\alpha}{U_A}\right)$$

با فرض اینکه یکی از اجرام نابالانسی U_1 در موقعیت زاویه ای 0° قرار دارد موقعیتهای زاویه ای اجرام بالانس کننده مطابق شکل عبارتند از

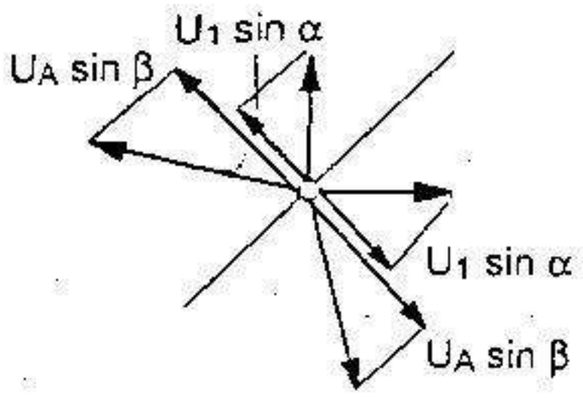
$$\begin{cases} \gamma_1 = \alpha + 180 - \beta \\ \gamma_2 = \alpha + 180 + \beta \end{cases}$$

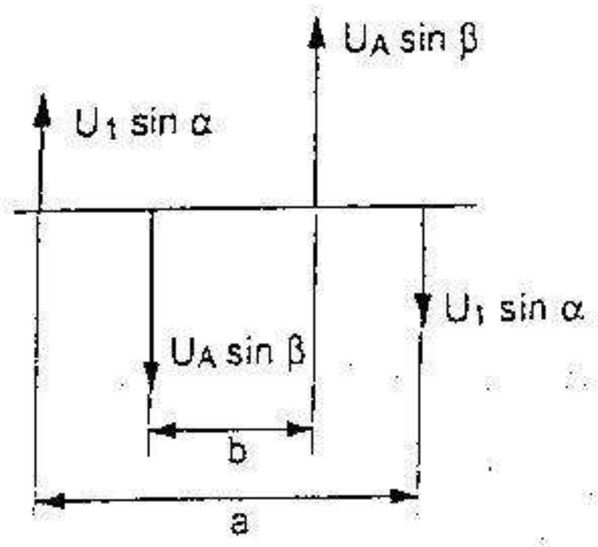
و بنابراین روتور بطور استاتیکی بالانس می شود.

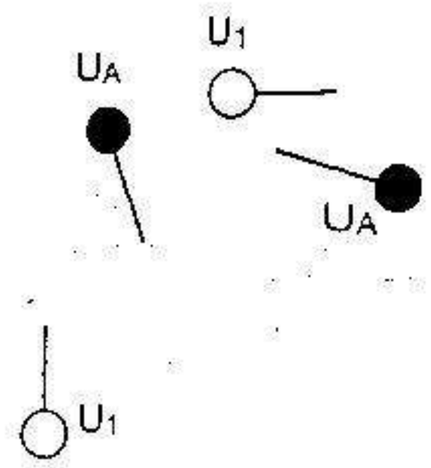
گشتاور نابالانسی برای مولفه نابالانسی دینامیکی را می توان از طریق فاصله دادن بین دو جرم بالانس کننده از بین برد. مولفه های عمودی اجرام نابالانسی و اجرام بالانس کننده یعنی $U_1 \sin\alpha$ و $U_A \sin\beta$ همدیگر را حذف می کنند و دو مولفه دیگر $U_1 \cos\alpha$ و $U_A \cos\beta$ از طریق بالانس استاتیکی حذف می شوند. تعادل گشتاورها نتیجه می دهد

$$\sum M = 0 \Rightarrow aU_1\omega^2 \sin\alpha - bU_A\omega^2 \sin\beta = 0 \Rightarrow b = \frac{U_1 \sin\alpha}{U_A \sin\beta} a$$

آزمایشهای دیگری را می توان بعد از تنظیم موقعیتهای زاویه ای اجرام بالانس کننده U_A انجام داد. توجه دارید که اجرام بالانس کننده باید در مرکز محور قرار بگیرند. اگردر نصب اجرام بالانس کننده دقت کنیم روتور می تواند تا حدود دور ماکزیمم 1400mim^{-1} دوران کند.







Balanced general unbalance

5 پیوست

5.1 اطلاعات فنی دستگاه

ابعاد: (L*W*H) : 430*430*390 mm

وزن: 28 kg

منبع برق: 230v/50Hz

طول محور: 200mm

تعداد اجرام نابالانسی: 4

وزن اجرام نابالانسی: 91.5g

خروج از مرکز نابالانسی: 11mm

نابالانسی: 100cmg

وزن اجرام اضافی (کوچک/ بزرگ): 37/18.5 g

خروج از مرکز نابالانسی: 30mm

نابالانسی (کوچک/ بزرگ) 110/55 cmg

ماکزیمم کل نابالانسی: 840cmg

محدوده سرعت: mim^{-1} 1400 -0 (از طریق پتانسیومتر 10 مرحله ای تنظیم می گردد)

دورشمار: دیجیتال ,LCD

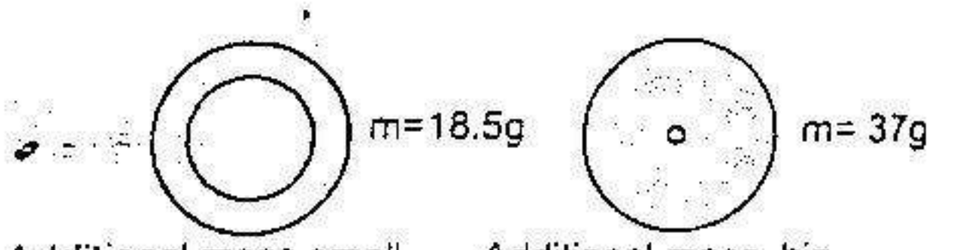
رزولوشن: mim^{-1} 1

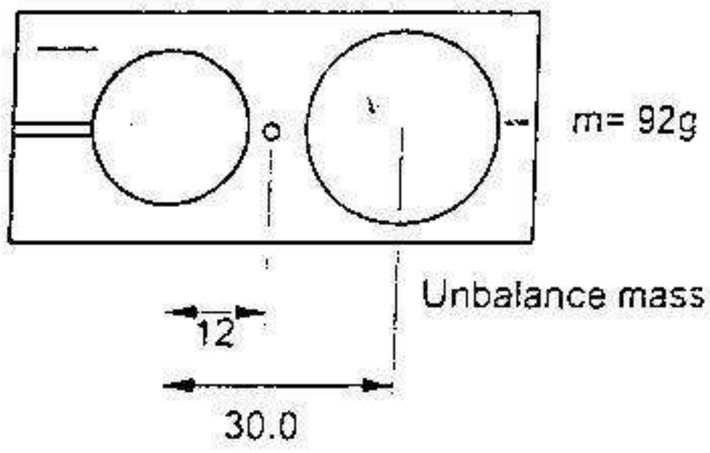
جرم ساچمه: 3g

محدوده اندازه‌گیری: 500 cmg

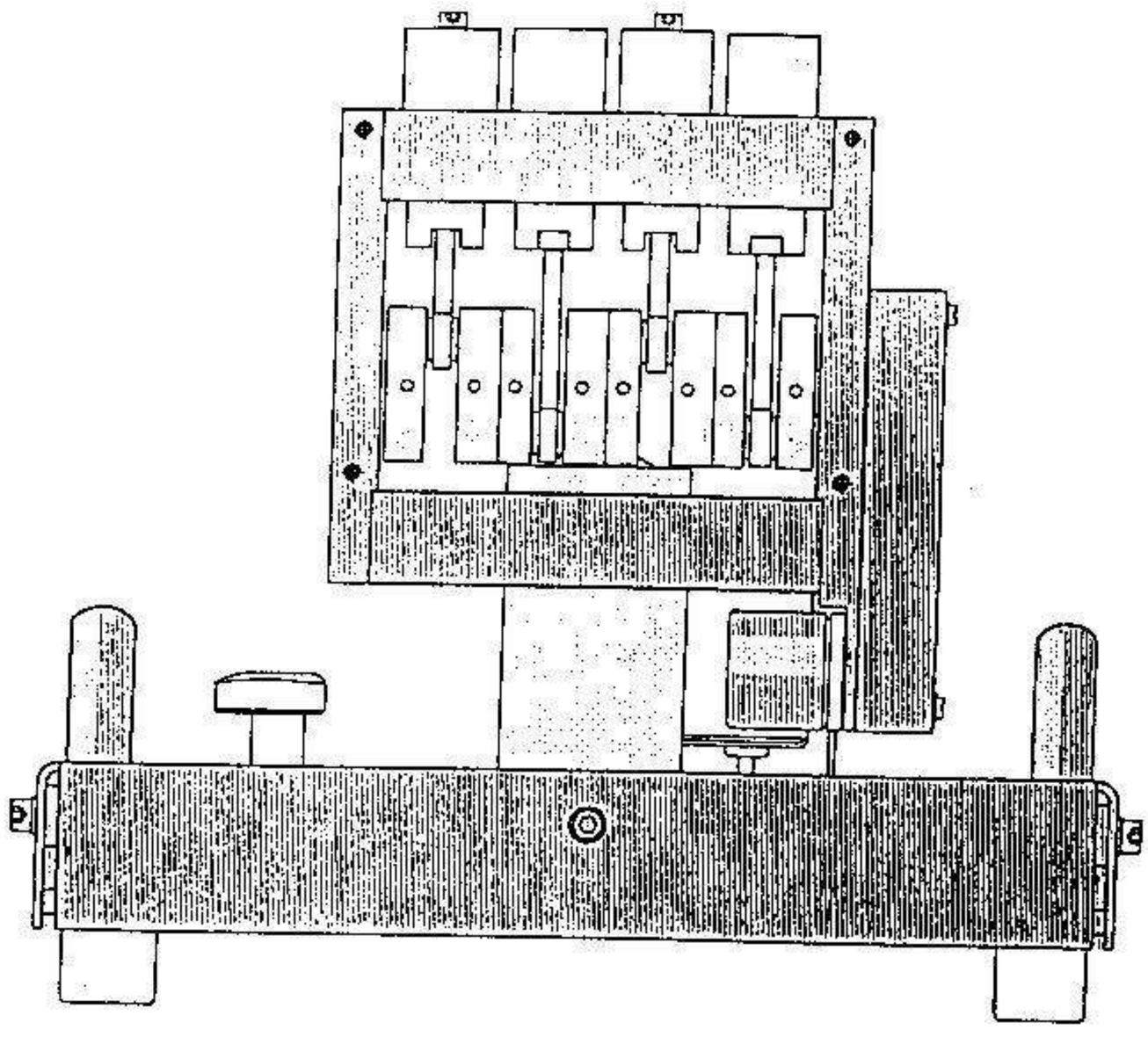
شعاع پولی ریسمانی: 33.3 mm

رزولوشن (دقت) اندازه‌گیری: 10 cmg





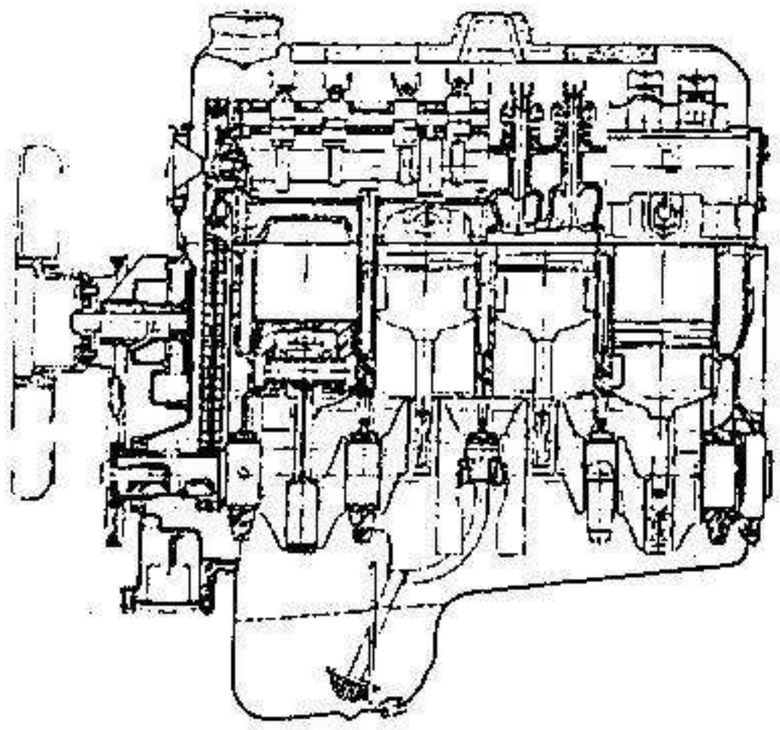
بالانس اجرام رفت و برگشتی TM 180 Balance of Reciprocating Masses



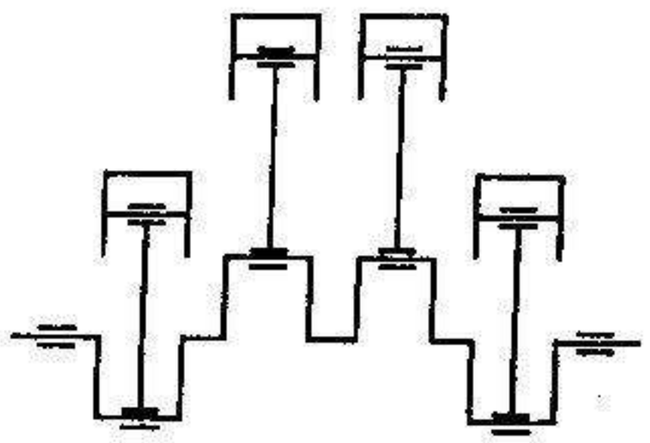
۱ مقدمه

دستگاه ماکت چهار سیلندر TM180 برای ملاحظه نیروها و گشتاورهای جرمی آزاد یک موتور رفت و برگشتی بکار برده می‌شود. نیروها و گشتاورهای ناشی از یک موتور می‌توانند بصورت سیگنالهای الکتریکی درآیند ومی توان آنها را در یک اسیلوسکوپ مشاهده نمود. بوسیله تحلیل فوریه با یک تحلیلگر[1] مناسب این نیروها و گشتاورها تعیین می‌شوند.

[1] analyser



شکل۱.۱: موتوریک ردیفه[1] چهارسیلندر(اپل)



شکل۱.۲: مدل چهار لنگ و پیستون

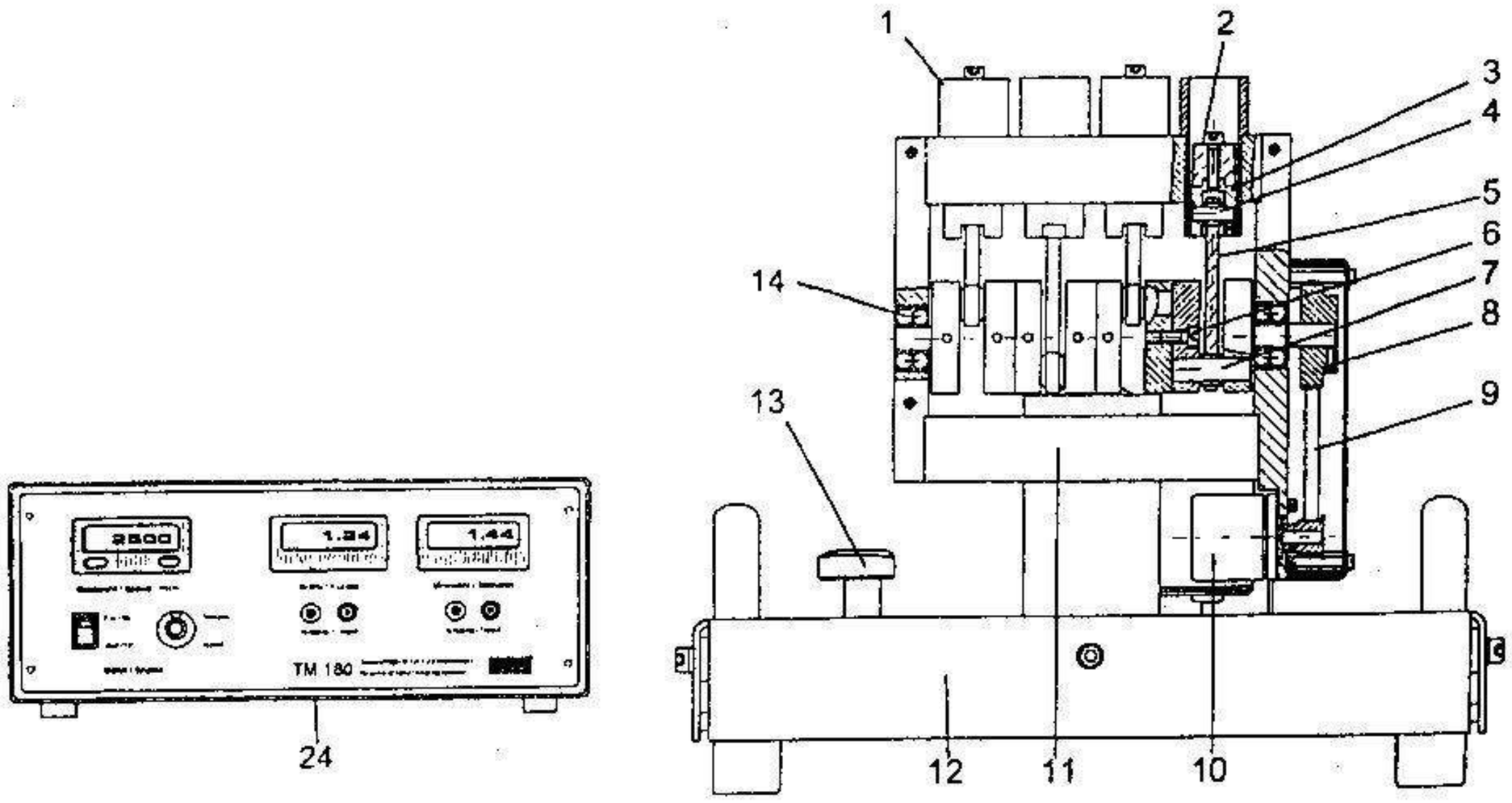
۲. شرح دستگاه

۱- استوانه ۲- جرم اضافی پیستون ۳- پیستون ۴- پین پیستون ۵- شاتون (میل رابط)[2] ۶- پیچ گیردار کننده[3] ۷- لنگ محور[4]، شامل ساقهای لنگ و پین بالابرنده ۸- پولی تسمه دندانه‌دار ۹- تسمه دانه‌دار[5] ۱۰- موتور راننده ۱۱- مدل چهار سیلندر ۱۲- شاسی[6] ۱۳- محافظ انتقالی[7] ۱۴- بلبرینگ پاندولی ۱۵- میله خمشی و پیچشی ۱۶- کرنش سنج ۱۷- پریز اتصال کرنش سنج ۱۸- پریز اتصال موتور۱۹-

[1] in-line engine
[2] connecting rod
[3] clamping screw
[4] throw
[5] toothed belt
[6] chassis
[7] Transport protection

المان فنر لاستیکی ۲۰- صفحه فندانسیون ۲۱-پایه لاستیکی ۲۲- صفحه پوشش ۲۳- پیچهای آجـدار[1]

۲۴- دستگاه کنترل



شکل۱-۲ : دید از مقابل

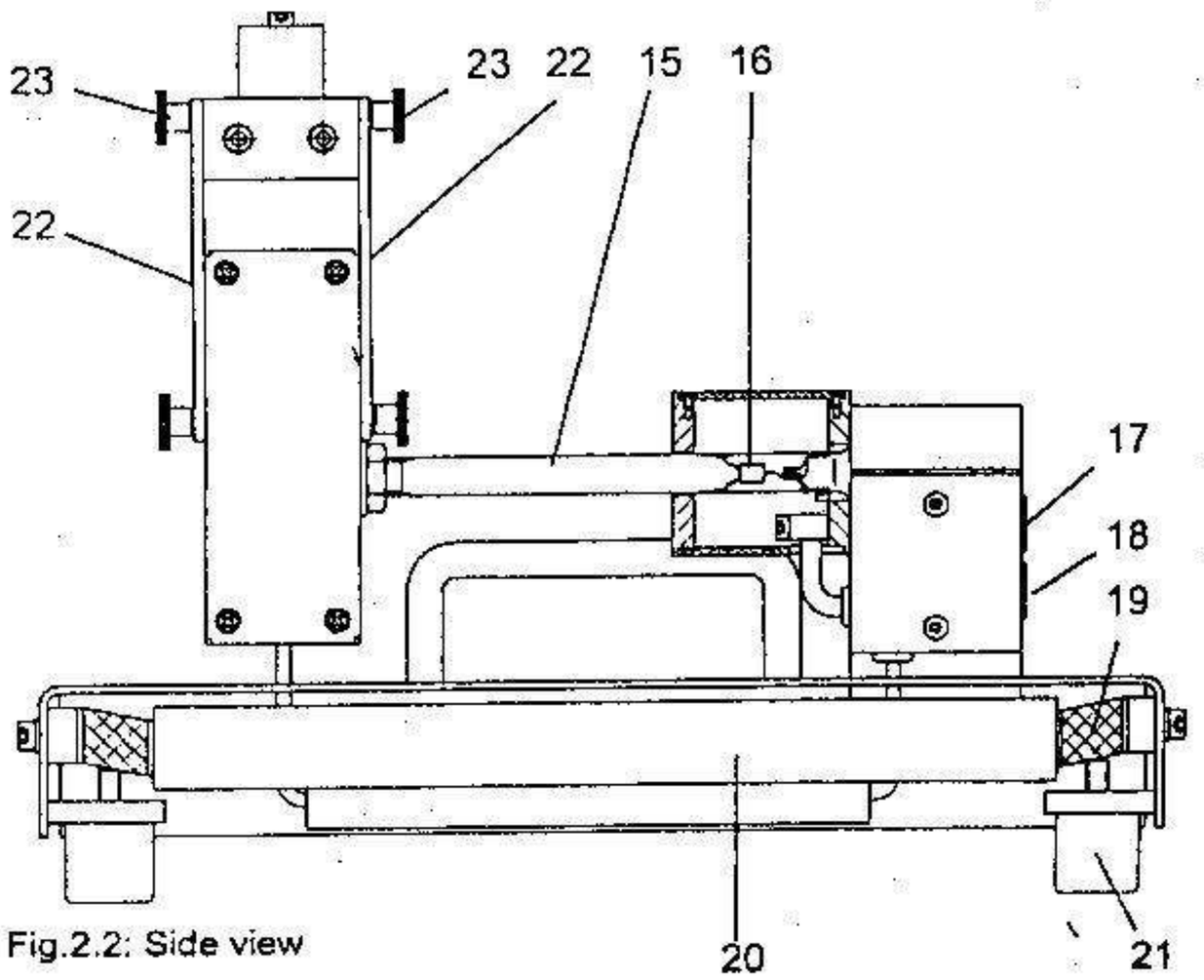
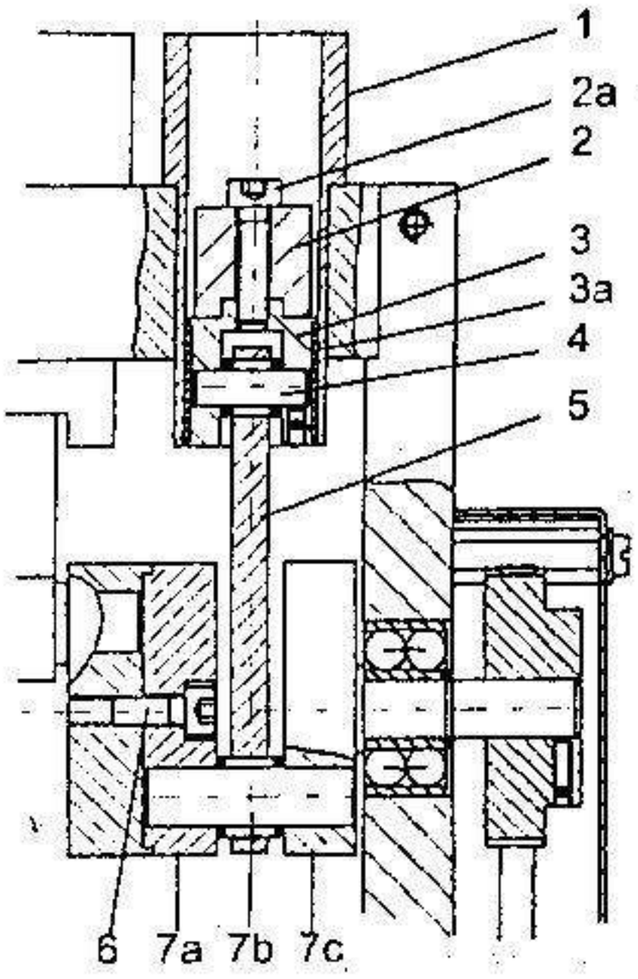


Fig.2.2: Side view

شکل ۲-۲: دید جانبی

[1] knurled screws

دستگاه TM180 شامل ماکت چهار سیلندر، صفحه فندانسیون، یک یاتاقان از نوع انعطاف پذیر[1] و دستگاه کنترل می‌باشد. هسته ماکت چهار سیلندر میل لنگ با چهارلنگ که از فولاد ضد زنگ ساخته شده می‌باشد. اختلاف زاویه ای بین لنگهای مجزای (7) می‌تواند باشل کردن پیچ گیردار کننده (6) تنظیم گردد. علائم در فواصل 90 درجه، تنظیم دقیق زاویه را امکان‌پذیر می‌نماید. میل لنگ روی بلبرینگ پاندولی (8) در دو انتهایش سوارشده است. میل رابطهای (5) هر کدام با یاتاقانهای سوزنی روی دو انتهایشان قرار دارند. یاتاقان پایین‌تر میل رابط غیرقابل پیاده شدن است. لنگهای مجزا رویهم از طریق دو ساق لنگ (7a,c) و پین بالابرنده (7b) فشرده می‌شوند.



شکل ۳-۲ : پیستون، شاتون و میل لنگ

پیستونهای (3) در بوشهای پلاستیکی جا زده می‌شوند و بدون نیاز به روغن کاری داخل استوانهای فولادی زنگ نزن (1) حرکت می‌کنند. اجرام اضافی (2,2a) که می‌توانند روی پیستون پیچ شوند امکان تغییر اجرام نوسان کننده را فراهم می‌آورند. ماکت بوسیله یک روتور خارجی (10) با تسمه دندانه‌دار (8,9) به حرکت وا داشته می‌شود. پوششهای قابل جداسازی (22) از تماس با لنگ در حال حرکت بدون اینکه مانع رویت کامل عملکردش گردد، جلوگیری می‌کنند. تکیه گاه ماکت روی یک تیر یک سرگیردار[2] (15) قرار دارد. تیر یک

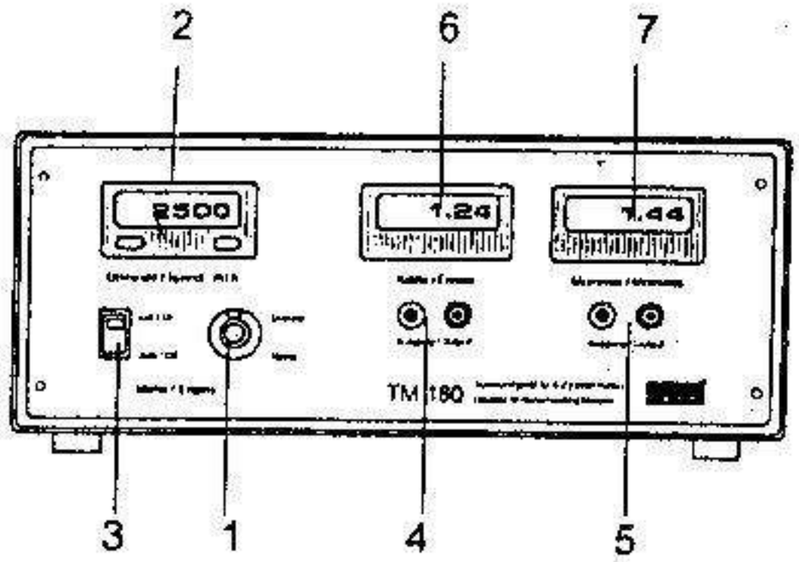
[1] flexible model bearing
[2] cantilever

سرگیردار نقش یک میله تحت خمش و کشش را ایفا می‌کند، و کرنش سنجهای (16) برای اندازه‌گیری نیروها و گشتاورهای فعال به آن متصل گردیده است. تکیه گاه روی یک صفحه فونداسیون سنگین (20) نصب می‌شود. فرکانسهای طبیعی سیستم شامل ماکت، تیر یک سرگیردار و فوندانسیون طوری انتخاب می‌شوند که وجود نیروها و گشتاورهای جرمی بوسیله ارتعاشات همساز[1] در سرعتهای دورانی خاصی نشان داده می‌شود.

صفحه فوندانسیون (20) نیز به نوبه خود بطور انعطاف پذیری روی شاسی (12) با فنرهای لاستیکی (19) معلق شده است. صفحه طوری تنظیم می‌گردد که جداسازی بهینه ارتعاشات در تمامی سرعتهای کاری تضمین می‌شود. یعنی اینکه دستگاه TM180 نیازی به هیچ مکانیزمی محکم کننده (استوار کننده) ندارد و می‌تواند روی میزهای معمولی بدون ارتعاشات کار کند.

کلیه عملگرهای الکتریکی و نمایشگرها در دستگاه کنترلی (24) نصب شده است. اتصال به دستگاه کنترلی از طریق دو کابل دو شاخه خور (17,18) انجام می‌پذیرد.

2.1 دستگاه کنترل

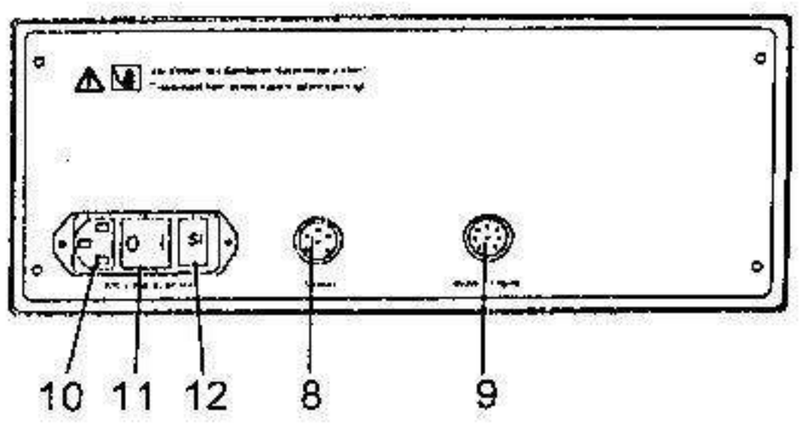


شکل ۴-۲ : دستگاه کنترل، دید از جلو

دستگاه کنترل شامل یک کنترلر سرعت دورانی برای موتور بدون ذغال راننده می‌باشد. سرعت دورانی بطور دقیق و تکرار پذیر بوسیله یک پتانسیومتر ده سرعته مارپیچی[2] (1) تنظیم می‌گردد. دور حقیقی بطور دیجیتالی (2) نمایش داده می‌شود. سیگنال کنترلی مبدل الکترونیکی موتورراننده بعنوان سیگنال سرعت

[1] sympathetic
[2] helical

دورانی در نظر گرفته می‌شود. موتور محرک می‌تواند توسط کلید (3) روشن و خاموش گردد. دو تقویت کننده[1] اندازه‌گیر، سیگنال ضعیف ناشی از کرنش سنج‌ها را تقویت می‌کنند. سیگنال تقویت شده (max. ±10V) می‌تواند بطور جداگانه برای نیرو (4) و گشتاور (5) از مادگی جداگانه ثبت گردد. ولتاژ خروجی در 40N/V (نیرو) و 2.2Nm/ V(گشتاور) مقیاس می‌شود. همزمان مقدار مؤثر یکسو شده و در دو ولتمتر دیجیتال (6,7) در صفحه جلوئی نمایش داده می‌شود. در قسمت پشت دستگاه مادگیهای[2] رابط منبع برق اصلی (8,9) با رابط ورودی برای وسیله غیر حرارتی[3] (10)، کلید اصلی (11) و فیوز (12,1.6 Am) وجود دارد.



شکل ۵-۲ : دستگاه کنترل، دید از پشت

3 دستورات ایمنی و مهم برای اجرا

دستورات زیر باید بمنظور اطمینان از کارائی ایمن و فاقد اشتباه دستگاه دنبال شود.

تمامی افرادی که این دستگاه را بکار می‌برند، بویژه دانشجویان، باید با این دستورات ایمنی آشنا باشند. این دستگاه می‌بایستی فقط درحضور اشخاص کاملاً حائز صلاحیت به کار انداخته شود. این دستگاه فقط برای کار در اتاقهای خشک و فاقد غبار طراحی شده است. دستگاه می‌بایستی در برابر رطوبت محافظت گردد.

3.1 ایمنی

خطر

- خطر آسیب‌دیدگی از قسمتهای دوار و نوسانگر
- هرگز دستتان را داخل محرک (راننده) لنگ در حال دوران نبرید.

---

[1] amplifier
[2] sockets
[3] non-heating apparatus

- همیشه دستگاه را با پوشش خاص که بسته شده باشد بکار اندازید.
- وقتی روی قسمت راننده لنگ کار می‌کنید، همیشه موتور و کلید اصلی را خاموش کنید.
-

خطر شوک الکتریکی

قبل از تعویض فیوزها یا باز کردن محفظه، دو شاخه اصلی را از پریز برق خارج نمائید. کار روی اجزاء الکتریکی باید فقط بوسیله اشخاص حائز صلاحیت انجام شود. فیوزهای جایگزین از نوع 1.6A با پس فاز[1] متوسط بکار ببرید.

نکته مهم:

قبل از روشن کردن موتور چک کنید که پیچهای گیردار کننده قسمت راننده لنگ و پیچهائی که اجرام اضافی را نگه می‌دارند کاملاً محکم شده‌اند. پوششهای محافظ را نصب نموده و محافظ شفاف را بردارید (بخش 3.2.1)

نکته مهم:

سرعت دورانی تنظیم‌گر را قبل از روشن کردن موتور روی صفر تنظیم کنید. در غیر اینصورت موتور ممکن است فوراً سرعتش افزایش یابد. به آهستگی سرعت موتور را افزایش دهید و ارتعاش دستگاه را کنترل نمائید. از سرعتهای تولید کننده ارتعاشات که سبب می شود ماکت محکم به شاسی ضربه وارد کند دوری نمائید. اجازه ندهید که دستگاه در رزنانس فزاینده کار نماید.

نکته مهم:

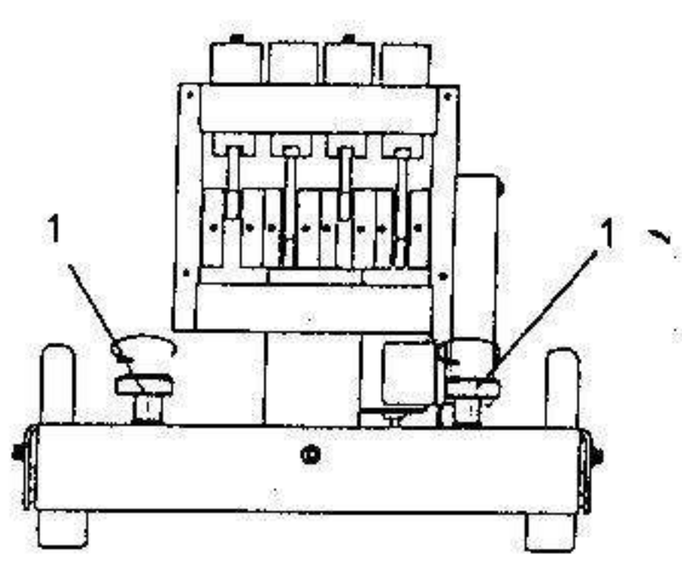
هرگز اجازه ندهید دستگاه بدون ناظر رها شود.

3.2 دستورات اجرائی

3.2.1 محافظ انتقالی

[1] time-lag

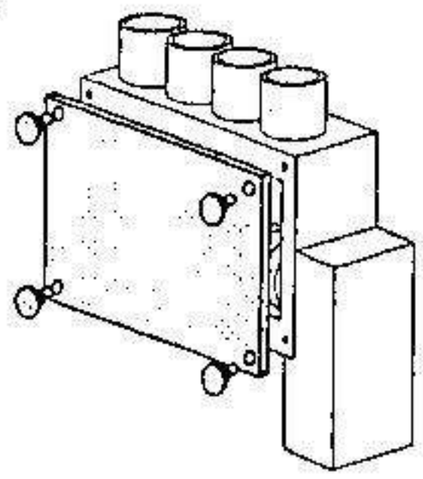
بمنظور جلوگیری از خسارت احتمالی آتی ایجاد شونده بوسیله نوسان آزاد، صفحه فوندانسیون بطور غیرصلب روی تکیه‌گاهها سوار می‌شود. صفحه بوسیله دو پیچ به شاسی نصب می‌شود. قبل از شروع کار دستگاه، این پیچهای نارنجی رنگ (1) را بردارید. اگر این کار انجام نشود جداسازی ارتعاشات انجام نخواهد شد و ارتعاشات شدید اتفاق خواهد افتاد.



شکل ۱-۳: برداشتن محافظ انتقالی

3.2.2: تنظیم اختلاف زاویه‌ای لنگ

اختلاف زاویه‌ای بوسیله چرخاندن لنگهای محور نسبت به یکدیگر تنظیم می‌گردد.

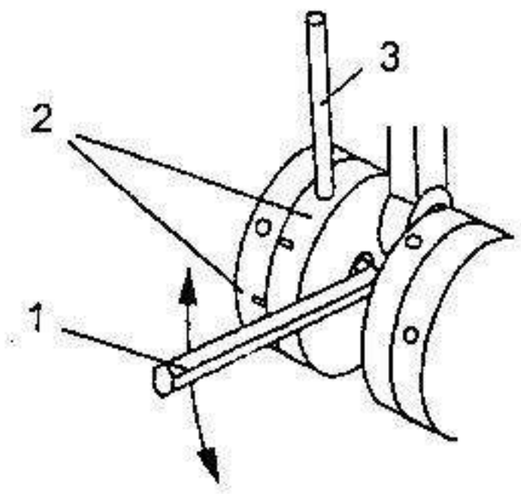


شکل۲-۳: برداشتن پوشش محافظ

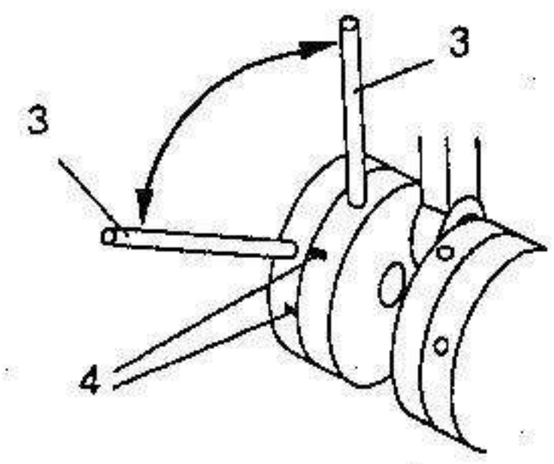
- موتور را خاموش کنید
- پیچهای آجدار را شل کنید و پوششهای محافظ را بردارید. (شکل۲-۳)
- پیچ گیردار کننده مرکزی را با آچار آلن شش گوش WAF4-(1) شل نمائید. ساق لنگ (2) را با یک پین به قطر4mm ϕ، (3) سفت کنید.

- ساق‌های لنگ را بسمت همدیگر به اندازه دلخواه بچرخانید، (با استفاده از دو پین با قطر4mm ϕ (3))

. علائم (4) امکان تنظیم دقیق با فواصل زاویه‌ای 90 درجه را فراهم می‌آورند.



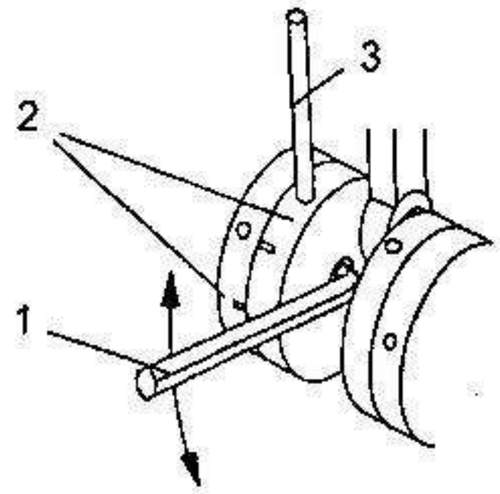
شکل۳-۳: شل کردن پیچ گیردار کننده



شکل۴-۳: چرخاندن ساقهای لنگ

پیچهای گیردار کننده مرکزی را دوباره سفت کنید و مطمئن شوید که ساقهای لنگ نمی‌توانند دوباره بچرخند.

پین (3) را دوباره سفت کنید.



شکل۵-۳: سفت کردن پیچ گیردار کننده

دوباره پوششهای محافظ رانصب کنید.(شکل ۲-۳)

برای تنظیم اختلاف زاویه لنگ شکلهای زیر می تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

شکل۶-۳: چهار سیلندر، طراحی مسطح، متقارن

شکل۷-۳: چهار سیلندر، طراحی مسطح، نا متقارن

شکل۸-۳: چهار سیلندر، طراحی 3D، متقارن

شکل۹-۳: چهار سیلندر، طراحی 3D، نا متقارن

شکل۱۰-۳: دو سیلندر، جفت 180°

شکل۱۱-۳: دو سیلندر، جفت موازی

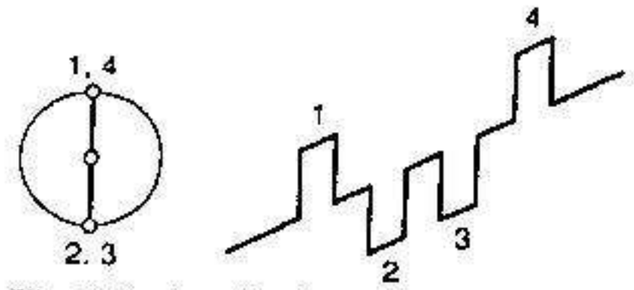


Fig.3.6: 4-cylinder, flat design, sym.

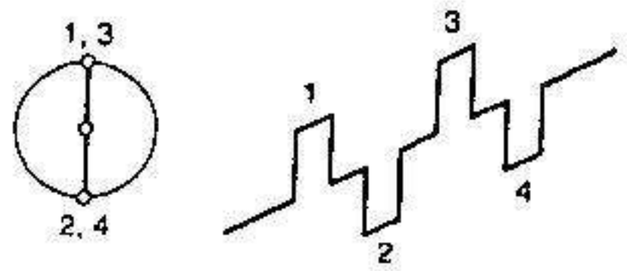


Fig.3.7: 4-cylinder, flat design, asym.

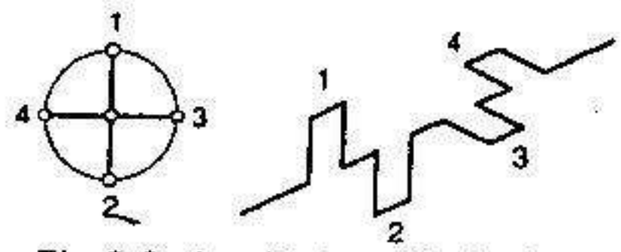


Fig.3.8: 4-cylinder, 3D design, sym.

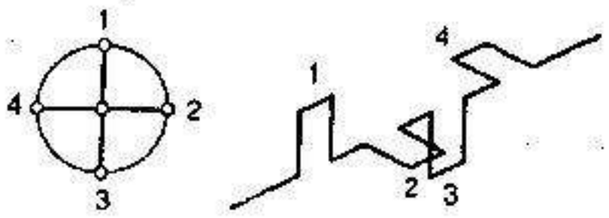


Fig.3.9: 4-cylinder, 3D design, asym.

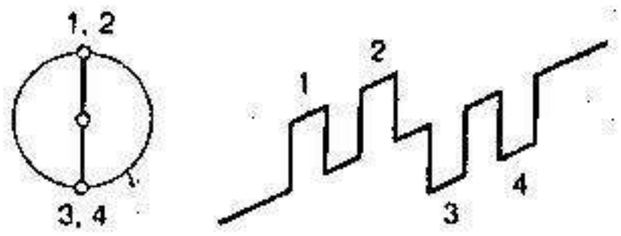


Fig.3.10: 2-cylinder, 180° twin

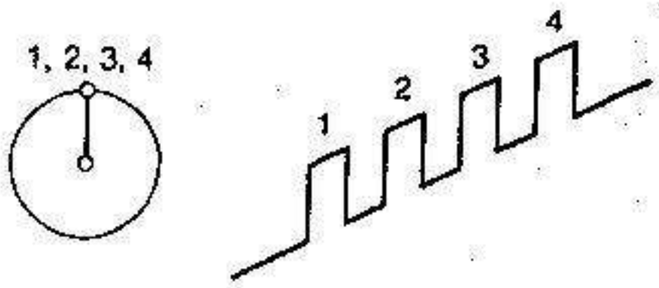
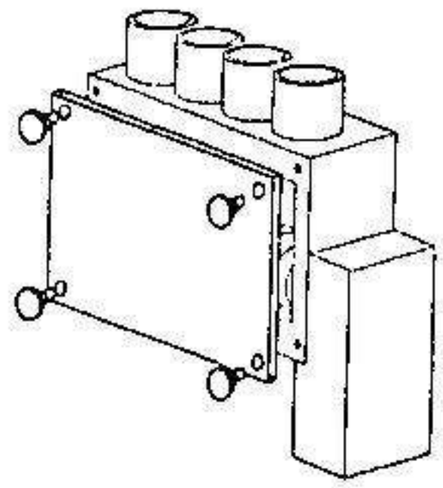


Fig.3.11: 1-cylinder, parallel twin

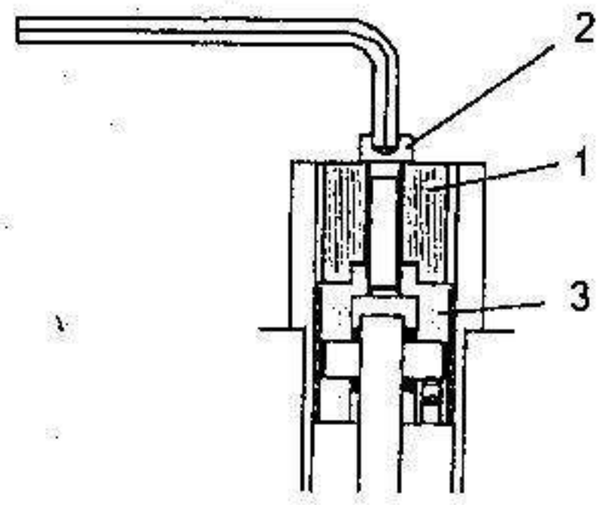
۳-۲- ۳ : نصب اجرام اضافی

اجرام نوسان کننده تقریبا می تواند دو برابر شده و با نصب جرم اضافی از 47g به 89g تغییر بکنند.



شکل۱۲-۳: برداشتن پوشش محافظ

- موتور را خاموش کنید
- پیچهای آجدار را شل نموده و پوششهای محافظ را بردارید (شکل۱۲-۳)
- پیستون مربوطه را با چرخاندن میل لنگ در TDC (موقعیت مرگ بالائی) قرار دهید.
- جرم اضافی (1) را روی پیستون (3) با پیچ DIN 912 M5×20 (2) محکم کنید. آچار آلن شش گوش را بکار ببرید و پوششهای محافظ را نصب کنید.



شکل۱۳-۳: نصب جرم اضافی

3.2.4 تعمیر و نگهداری

دستگاه نیاز به هیچ تعمیرات مداوم ندارد. همه یاتاقها ازنوع یاتاقهای مادام العمر روغن کاری شده هستند. پیستونها نیاز به هیچ روغن کاری ندارند. غبار و خراشیدگیهای نامحسوس را از سطح سیلندر گاهگاهی با یک پارچه نرم تمیز کنید. پوششهای محافظ را با حلال صابونی و پارچه نرم تمیز کنید. در دورهای بالا ممکن است

نیاز به کشش مجدد تسمه دندانه دار باشد. کشش نامناسب تسمه با کاهش سرعت و ارتعاش قابل تشخیص است.

- محافظ تسمه دندانه دار را بردارید.
- پیچهای ثابت کننده موتور را شل نمائید.
- موتور را به سمت پایین بکشید و تسمه دندانه دار را بکشید.
- بطور آزمایشی موتور را بکار بیندازید و (n=2000- 3000rpm) و چک کنید که تسمه دندانه دار روانتر کار می کند یا خیر، وگرنه تسمه را کمی بیشتر بکشید.
- پیچهای ثابت کننده موتور را محکم کنید و مجدداً محافظ را قرار دهید.

4 تئوری

درهر موتور رفت و برگشتی، نیروها در حین کار (در بعضی حالتها بعنوان نیروهای داخلی بدون هیچ اثر خارجی هستند) بعنوان نیروهای آزاد هستند که سبب ارتعاش و نوسان می شوند. بسته به مکانیزم ایجادشان به دو دسته نیروهای ناشی از گاز و نیروهای جرمی تقسیم می شوند.

نیروهای ناشی از گاز[1]:

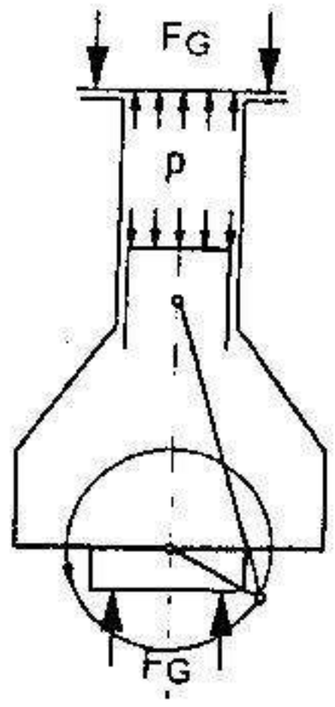
گازهای تحت فشار محبوس در سیلندر نیروهائی را در محفظه سیلندر و در پیستون ایجاد می کنند. این نیروها مسئول انتقال انرژی از محیط کاری به میل لنگ هستند. این نیروها معمولا نیروهای داخلی هستند که بوسیله موتور جذب می شود و به بیرون نمی رسند.

نیروهای جرمی[2]:

این نیروها از طریق شتاب دهی اجرام در حال حرکت در موتور رفت و برگشتی ایجاد می شوند. چونکه این نیروها بطور تناوبی تغییر می کنند معمولا مسئول ارتعاشات ناشی شده از یک موتور رفت و برگشتی هستند. یک تمایز بین نیروهای جرمی دورانی (F_{rot}) بخاطر نیروی گریز از مرکز و نیروهای جرمی نوسانی

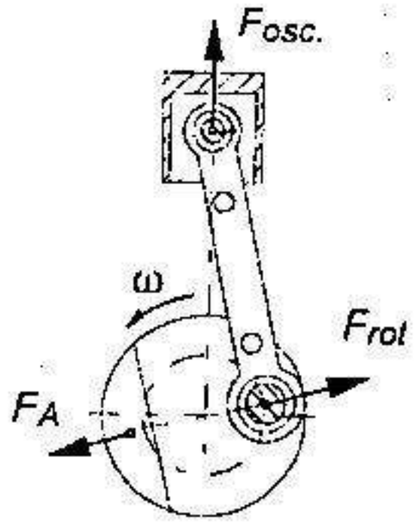
[1] Gas forces
[2] Mass forces

(F_{ost})ایجادشده بوسیله شتاب اجرام درحال حرکت وجود دارد. نیروهای جرمی را بسته به طراحی موتور رفت و برگشتی (تعداد و چیدمان سیلندرها) می توان بطور موثری بوسیله اجرام جبران کننده حذف نمود.



شکل۱-۴: نیروهای ناشی از گاز

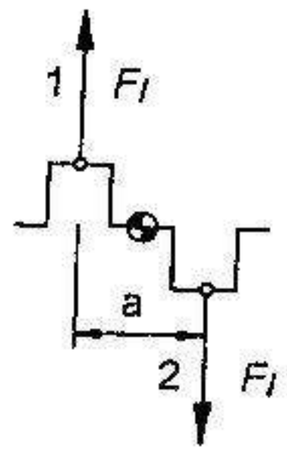
اگر نیروهای جرمی بوسیله چیدمان مناسب سیلندرهای دیگرحذف شود ممکن است بدلیل اینکه نیروها در صفحات متفاوت عمل می کنند، گشتاررهای ناشی از اختلاف فاصله[1] باقی بمانند. یک مثال برای این حالت یک موتور دو سیلندر با اختلاف زاویه[2] 180^{o} می باشد. نحوه ایجاد و تاثیرات نیروهای جرمی را می تواند با دستگاه TM 180 ملاحظه نمود.



شکل۲-۴: نیروهای جرمی

[1] Offset moments
[2] 180° crank journal offset

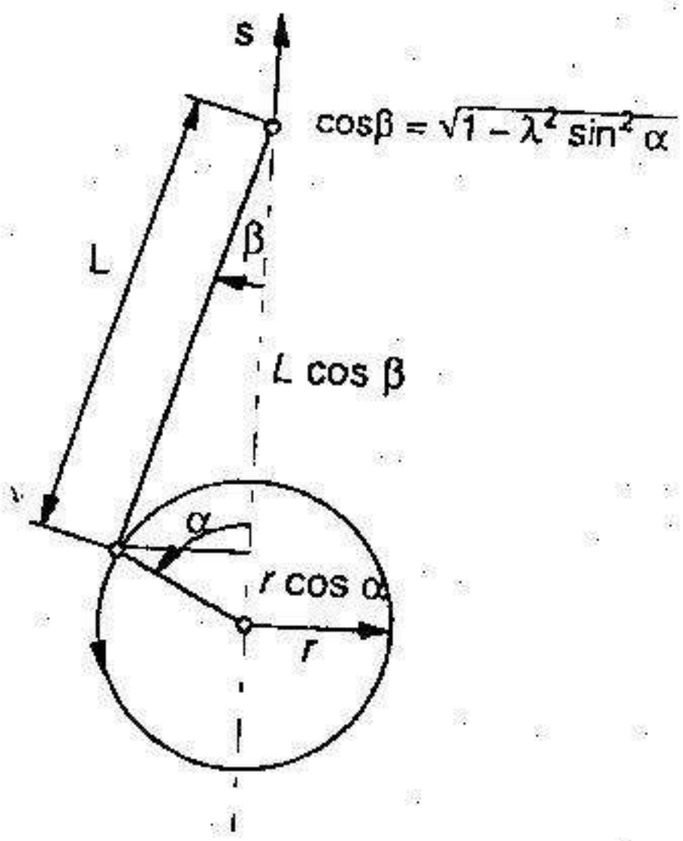
30



شکل۳-۴: موتور دو سیلندر: گشتاورهای مرتبه اول

4.1 نیروهای جرمی یک موتور تک سیلندر

نیروهای جرمی بوسیله جرمهای دوار لنگ و بوسیله شتاب دهی شاتون متحرک و جرمهای پیستون ایجاد می شوند.



شکل ۴-۴: بدست آوردن جابجائی ستون

4.1.1 سینماتیک

جابجائی پیستون مطابق شکل ۴-۴ بصورت زیر محاسبه می شود.

$$s = r + L - (r\cos\alpha + L\cos\beta) \quad (1)$$

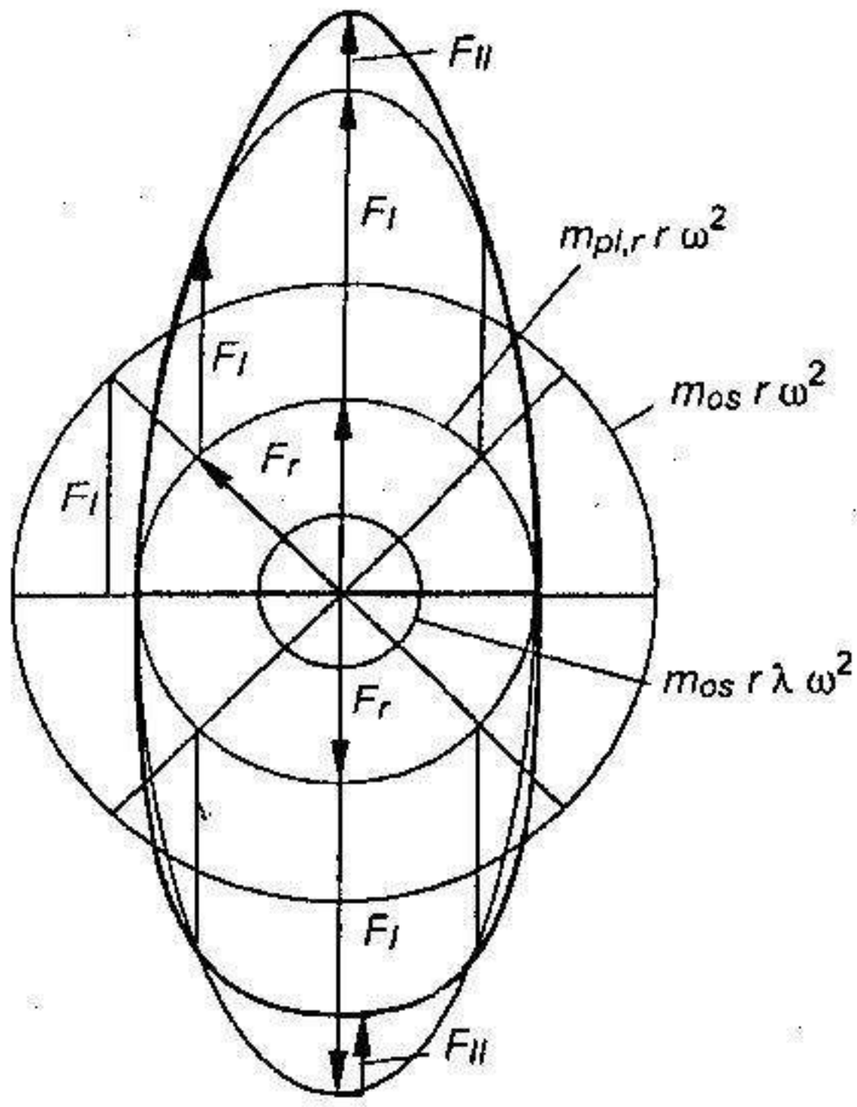
که در آن r شعاع لنگ و L طول شاتون می باشد

نیروی ناشی از اجرام دوار با سرعتی برابر با سرعت میل لنگ دوران می کند و همیشه در جهت شعاعی بسمت بیرون است. اگر میل لنگ به تنهائی در نظر گرفته شود داریم $F_r = m_{pl,r} r\omega^2$

نیروی جرم نوسان کننده به خاطر شتاب پیستون تولید می شود وعبارتست از

$$F_{os} = m_{os} r\omega^2 (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha)$$

نیروی جرم نوسان کننده در جهت محور سیلندر عمل می کند و ترکیب دو جزء تناوبی است. یک جزء (F_I) در فرکانس دوران می باشد. و جزء دیگر (F_{II}) در دوبرابر فرکانس دوران می باشد. (به ترتیب نیروهای اولیه و ثانویه نامیده می شوند)



شکل۷-۴ : نیروها روی لنگ

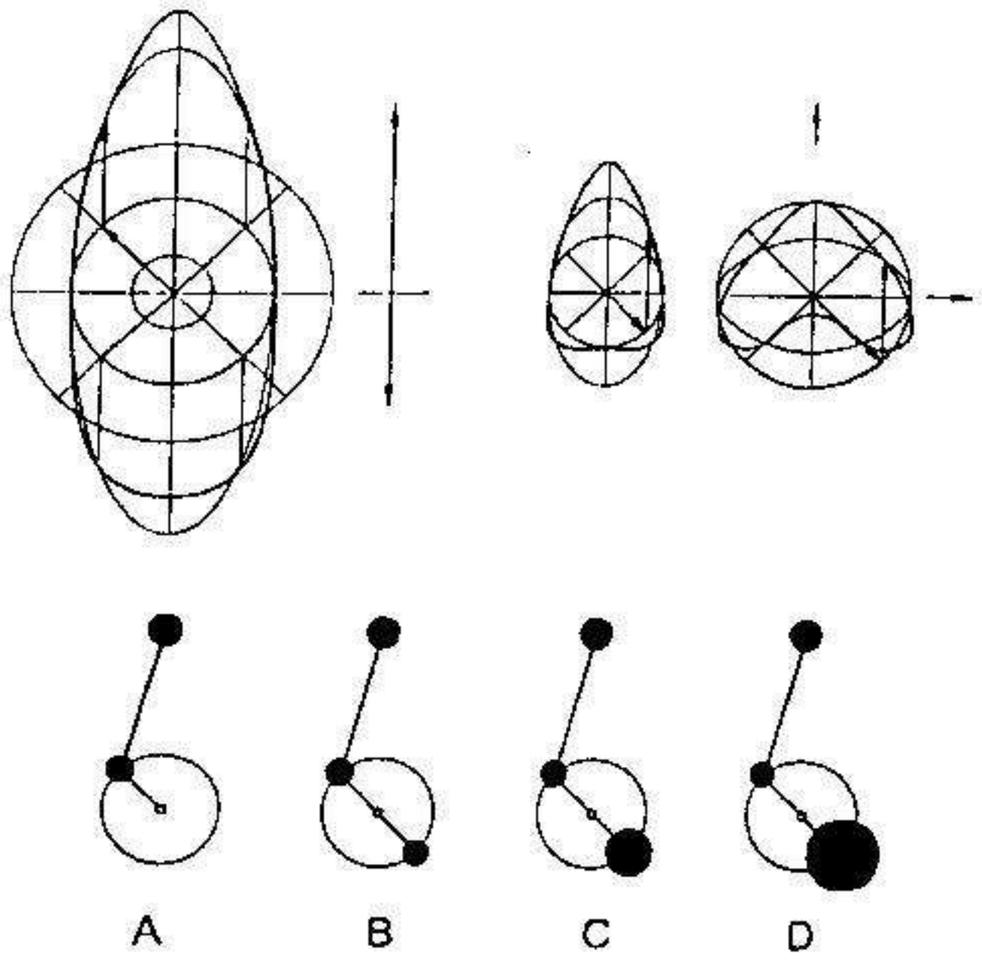
بنابراین با زاویه $\alpha = \omega t$ نتیجه می شود:

نیروی جرمی مرتبه اول (نیروی اولیه): $F_I = m_{os} r\omega^2 \cos\omega t$

نیروی جرمی مرتبه دوم (نیروی ثانویه): $F_{II} = m_{os} r\omega^2 \cos 2\omega t$

از طریق جرم برداری، نیروهای دورانی و نوسانی می توانند مطابق شکل زیر جمع شوند.

31



شکل۸-۴ : اثر وزنه های جبران ساز

نیروهای جرمی اغتشاشی را می توان بوسیله اجرام جبران ساز حذف نمود. نیروهای دورانی می توانند بطور کامل بوسیله وزنه های جبران ساز روی میل لنگ حذف شوند. نیروهای نوسانی مرتبه اول (F_I) را فقط می توان بطور جزئی حذف نمود. در اینجا می بایستی یک مصالحه بین نیروهای اصلی در جهت محور سیلندر و نیروهای تولید شده بوسیله وزنه های جبران ساز در جهت عرضی صورت بگیرد. نیروهای نوسانی مرتبه دو (F_{II}) ابداً نمی توانند بوسیله وزنه های جبران ساز روی میل لنگ حذف شوند. این امر مستلزم استفاده از محورهای جبران ساز خاص با سرعت دورانی دوبرابر می باشد.

توضیحات زیر تاثیر وزنه های جبران ساز را شرح می دهد.

در حالت A هیچ جبران سازی انجام نمی شود. دامنه نیرو هم در جهت محور استوانه و در جهت مایل نسبت به آن خیلی بالا هستند.

در حالت B نیروهای اجرام دورانی 100٪ حذف می شود و فقط نیروهای نوسانی در جهت محور استوانه باقی می مانند.

در حالت C نیروهای اجرام نوسان کننده بطور جزئی حذف می شوند اما نیروی عرضی دوباره پدید می آید.

در حالت D جبران سازی بهینه است. نیروها در جهت محور استوانه و در جهت مایل نسبت به آن هم اندازه هستند و نیروها در جهت محور استوانه کمینه هستند، اما نیروهای مرتبه دوحذف نمی شوند.

از طرفی مطابق قانون سینوسها در مثلث داریم:

$$\frac{r}{\sin\beta} = \frac{L}{\sin\alpha} \Rightarrow \sin\beta = \frac{r}{L}\sin\alpha \qquad (۲)$$

با استفاده از رابطه $\cos\beta = \sqrt{1-\sin^2\beta}$ از رابطه بال $\cos\beta$ محاسبه شده و در رابطه (۱) جایگذاری می شود

$$s = r(1-\cos\alpha) + L(1-\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\alpha}) \qquad (۳)$$

که در آن $\lambda = \frac{r}{L}$ نسبت شاتون[1] نامیده می شود. برای λ های کوچک رابطه بالا بکمک بسط ماکلوران عبارت $\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\alpha}$ بصورت زیر ساده می شود.

$$s = r(1-\cos\alpha + \frac{\lambda}{2}\sin^2\alpha) \qquad (۴)$$

سرعت زاویه ای لنگ مشتق زمانی زاویه α می باشد و برای سرعت زاویه ای ثابت سرعت پیستون عبارتست از

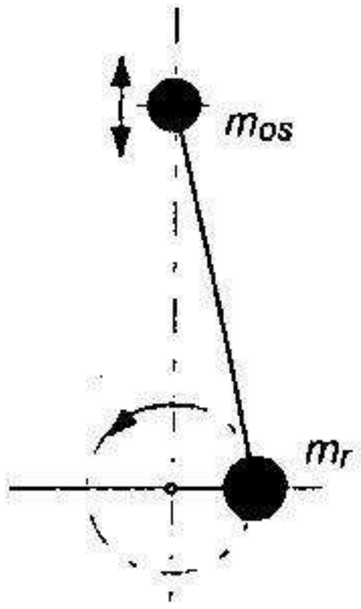
$$c = \frac{ds}{dt} = r\omega(\sin\alpha + \frac{\lambda}{2}\sin 2\alpha) \qquad (۵)$$

و شتاب پیستون عبارتست از

$$a = \frac{d^2s}{dt^2} = r\omega^2(\cos\alpha + \lambda\cos 2\alpha) \qquad (۶)$$

که با فرض سرعت زاویه ای ثابت $\alpha = \omega t$ می باشد.

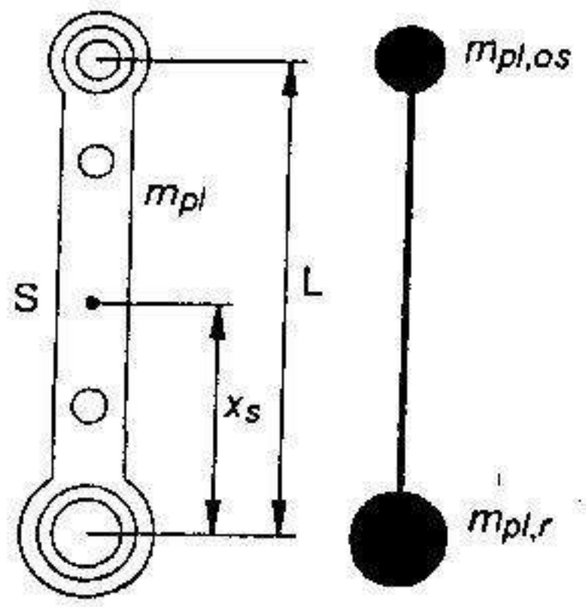
4.1.2 نیروهای جرمی



[1] Connecting rod ratio

شکل ۵-۴: دوران و نوسان اجرام

از آنجائیکه شاتون ترکیبی از گشتاورهای بالابرنده و دورانی را ایجاد می کند. جرم کل به ترتیب به دو جزء دورانی و نوسانی تقسیم می شود. این اجزای متفاوت اجرام متمرکز واقع در دو انتهای شاتون تصور می شوند. مدل جرمی معادل برای شاتون می بایستی دو شرط زیر را داشته باشد.



شکل۶-۴: تقسیم جرم شاتون

مجموع اجرام هر دو جزء برابر است با جرم کل شاتون یعنی

$$m_{pl} = m_{pl,os} + m_{pl,r} \quad (1)$$

مرکز جرم هر دو جزء بر مرکز جرم کل شاتون منطبق است یعنی

$$m_{pl} x_s = m_{pl,os} L \quad (2)$$

از حل دو معادله (1) و (2) نتیجه می شود.

$$m_{pl,os} = m_{pl} \frac{x_s}{L}$$
$$m_{pl,r} = m_{pl}(1 - \frac{x_s}{L}) \quad (3)$$

× اجرام دوران کننده شامل جرم لنگ (m_c)، جرم جبران کننده (m_A) و قسمتی از جرم شاتون ($m_{pl,r}$) می باشد.

× اجرام نوسان کننده شامل جرم پیستون و اجزاء همراهش (m_k) و جرم پین (m_p) و قسمتی از جرم شاتون $m_{pl,os}$ می باشد.

نیروی ناشی از اجرام دوار عبارتست از

$$F_r = [(m_c + m_{pl,r})r + m_A r_A]\omega^2$$

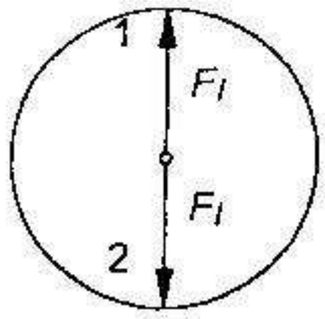


Fig.4.9: Two-cylinder: 1st order forces

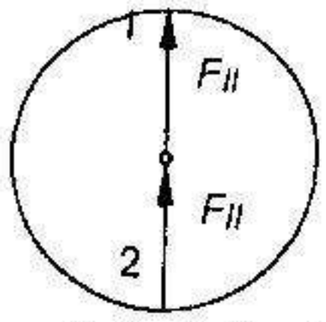


Fig.4.10: Two-cylinder: 2nd order forces

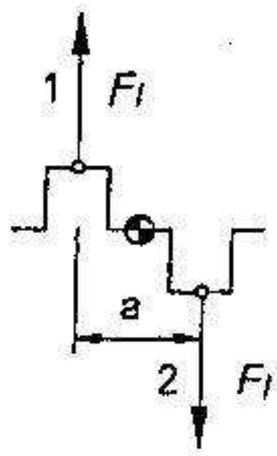


Fig.4.11: Two-cylinder: 1st order moments

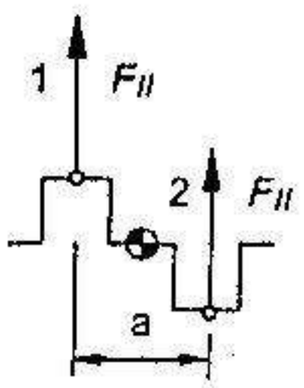


Fig.4.12: Two-cylinder: 2nd order moments

شکل ۹-۴ : موتور دو سیلندر: نیروهای مرتبه اول

شکل۱۰-۴ : موتور دو سیلندر: نیروهای مرتبه دوم

نیروهای مرتبه دوم همجهت هستند و با همدیگر جمع می شوند $F_{II,res} = 2F_{II}$

شکل۱۱-۴ : موتور دو سیلندر: گشتاورهای مرتبه اول

از آنجائیکه نیروها در جهات متضاد در صفحات مختلف عمل می کنند، گشتاورهای جرمی آزاد مرتبه اول ایجاد می شوند $M_{I,res} = F_I a$

4.2 نیروهای جرمی در موتورهای چند سیلندر

در موتورهای چند سیلندر نیز اجرام جبران ساز اضافه شونده قادرند نیروهای اغتشاشی را از طریق چیدمان مناسب سیلندرهای متمایز و اختلاف زاویه ای لنگ حذف نمایند. در این حالت نیروهای جرمی همدیگر را خذف می کنند. یک مثال ساده از این حالت موتور دو سیلندر خطی با اختلاف زاویه ای 180° می باشد.

مقادیر نیروها بطور مثبت در جهت لنگ ترسیم می شوند و بطور عمودی با هم جمع می شوند.

چونکه نیروهای مرتبه اول برابرند اما در جهات متضاد عمل می کنند، لذا همدیگر را کنسل می کنند:

$$F_{1.res} = 0$$

در این رابطه a فاصله بین سیلندرها[1] می باشد.

شکل۱۲-۴ : موتور دو سیلندر: گشتاورهای مرتبه دوم

چونکه نیروهای مرتبه دوم همجهت هستند لذا هیچ گشتاور جرمی تولید نمی کند.

$$M_{II,res} = 0$$

برای موتورهای چهارسیلندر با میل لنگ متقارن و اختلاف زاویه ای $180°$ که بطور وسیع بکار می روند نسبتهای زیر تولید می شوند:

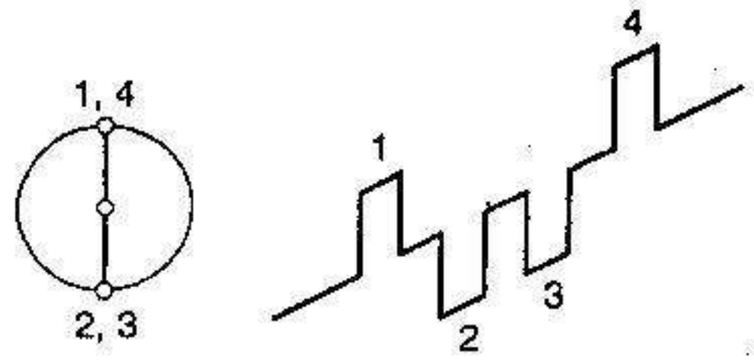


Fig.4.13: Four-cylinder

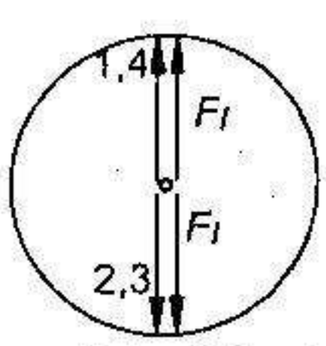


Fig.4.14: Four-cylinder: 1st order forces

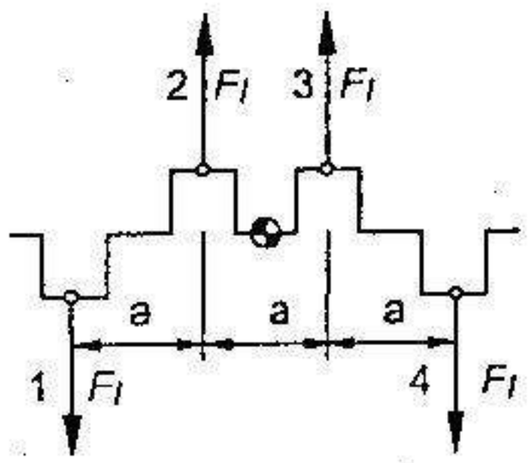


Fig.4.15: Four-cylinder: 1st order moments

شکل۱۳ -۴ : موتور چهار سیلندر

شکل ۱۴-۴ : موتور چهار سیلندر: نیروهای مرتبه اول

[1] cylinder gap

شکل ۱۵-۴ : موتور چهار سیلندر: گشتاورهای مرتبه اول

از آنجائیکه نیروهای مرتبه اول برابرند و در جهات متضاد عمل می کنند، آنها همدیگر را کنسل می کنند

$$F_{I,res} = 0$$

نیروهای مرتبه دوم همجهت هستند و با هم جمع می شوند $F_{II,res} = 4F_{II}$

چونکه میل لنگ بطور متقارن طراحی شده است، هیچ گشتاور جرمی ایجاد نمی شود: $M_{I,res} = 0$

از انجائیکه نیروهای مرتبه دوم همجهت هستند هیچ گشتاور جرمی تولید نمی کنند: $M_{II,res} = 0$

جدول زیر نیروها و گشتاروهای جرمی را برای معمولترین چیدمان سیلندرها که می توانند بوسیله دستگاه TM180 ایجاد گردد نشان می دهد اختصارات زیر در این جدول بکار می رود.

$$K_I = m_{os} r\omega^2$$

$$K_{II} = \lambda K_I = \lambda m_{os} r\omega^2$$
$$M_0 = K_I a$$

موتور چهار سیلندر، متقارن، اختلاف زاویه ای لنگ 180°

$$K_I = 0$$
$$M_I = 0$$
$$K_{II} = 4\lambda K_I = 0.856 K_I$$
$$M_{II} = 0$$

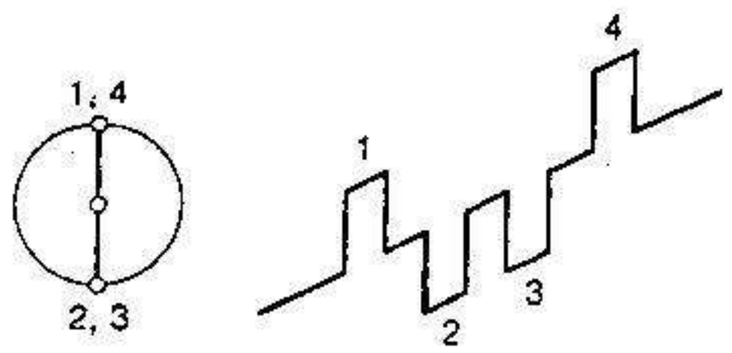


Fig.4.16:

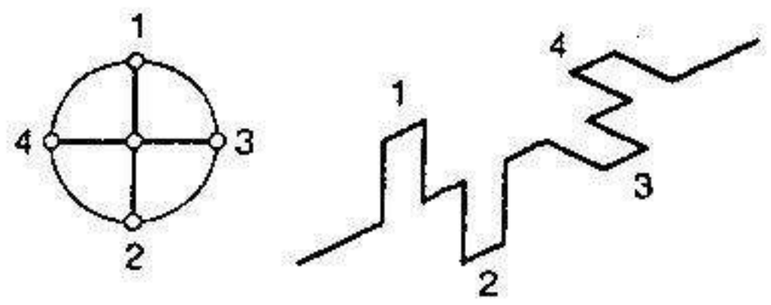


Fig.4.17:

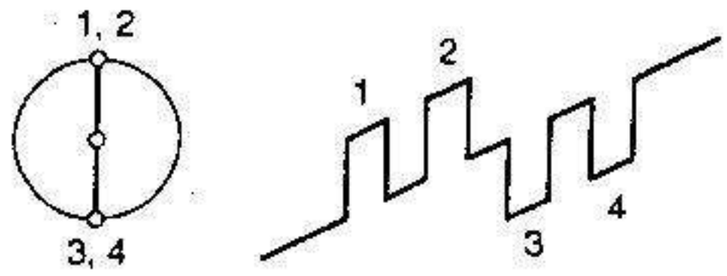


Fig.4.18:

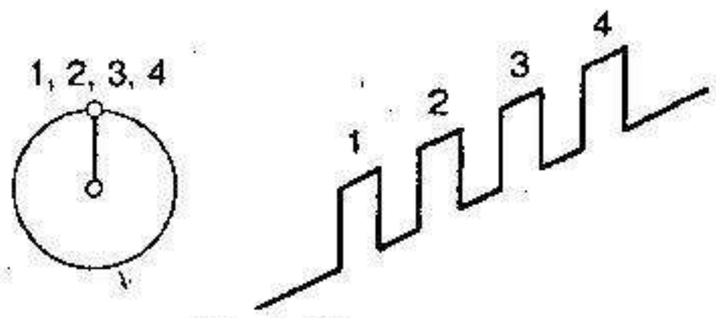


Fig.4.19:

موتور چهار سیلندر، متقارن، اختلاف زاویه ای لنگ 90o

$$K_I = 0$$
$$M_I = \sqrt{2}M_0$$
$$K_{II} = 0$$
$$M_{II} = 4\lambda M_0 = 0.856M_0$$

موتور دو سیلندر، متقارن، اختلاف زاویه ای لنگ 180o

$$K_I = 0$$
$$M_I = 2 \times 1.5M_0 = 3M_0$$
$$K_{II} = 4\lambda K_I = 0.856K_I$$
$$M_{II} = 0$$

موتور تک سیلندر

$$K_I = 4K_I$$
$$M_I = 0$$
$$K_{II} = 4\lambda K_I = 0.856K_I$$
$$M_{II} = 0$$

تمرین : تمامی روابط بالا را اثبات کنید

4.3 اطلاعات لنگ

لنگ دستگاه TM180 دارای اطلاعات طراحی زیر می باشد :

ماکزیمم سرعت دورانی: n=3000rmp

شعاع سنگ: r=15mm

کورس پیستون: h=30mm

طول شاتون: l=70mm

نسبت شاتون: $\lambda = 0.214$

فاصله مراکز سیلندر: a=35mm

جرم دورانی میل رابط: $m_{pl,r} = m_{rot} = 10\text{g}$

جرم نوسانی میله رابط: $m_{pl,os} = 708\ \text{g}$

جرم پین پیستون: $m_b = 4.2\ \text{g}$

جرم پیستون: $m_k = 35.8\ \text{g}$

جرم نوسانی کل: $m_{os} = 47.8\ \text{g}$

جرم اضافی با پیچ: $m_z = 41.5\ \text{g}$

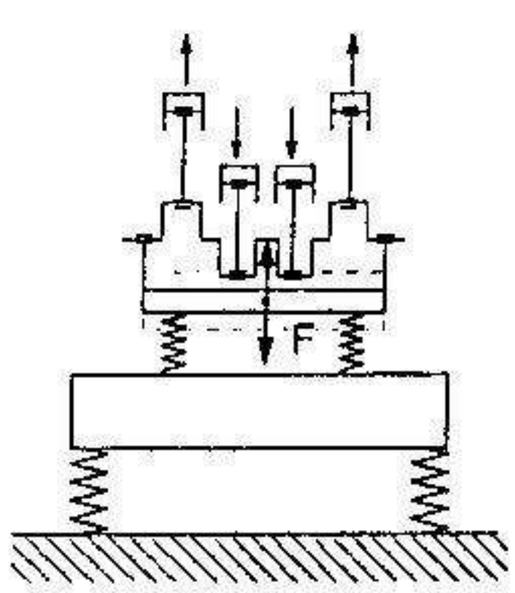
در ماکزیمم سرعت n=3000rmp ، دامنه های نیروی زیر (با جرم اضافی) برای یک سیلندر تولید می شوند:

$$K_I = m_{os} r\omega^2 = 70.7[\text{N}]$$
$$K_{II} = \lambda m_{os} r\omega^2 = 15.1[\text{N}]$$
$$M_I = m_{rot} r\omega^2 = 14.8\text{N}$$

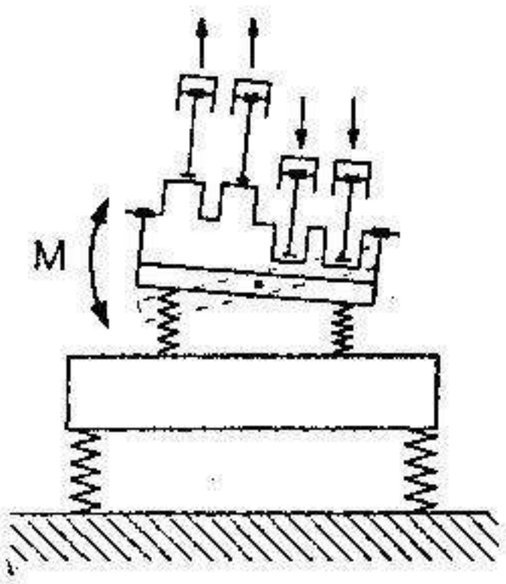
5 آزمایشات

5.1 راه اندازی آزمایش

برای ملاحظه آزمایشی نیروها و گشتاورهای جرمی آزاد، ماکت موتور چهار سیلندر به یک تیر انعطاف پذیرمتصل می شود.



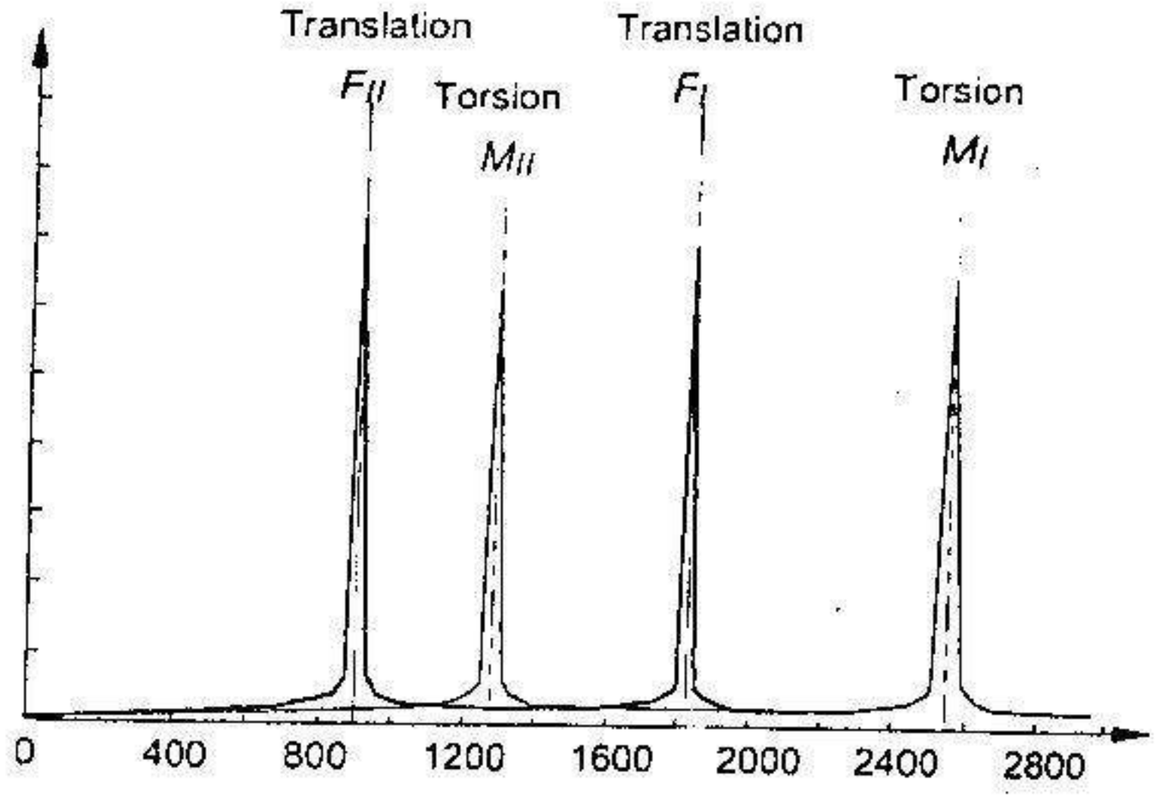
شکل۱-۵ : نوسانات عرضی



شکل۲-۵ : نوسانات پیچشی

ماکت موتور چهار سیلندر، تیر یک سر گیردار و صفحه فنداسیون یک سیستم ارتعاشی را تشکیل می دهند. نیروها و گشتاورهای جرمی تناوبی این سیستم را به نوسان وا می دارند. نیروهای جرمی سبب نوسانات عرضی و گشتاورهای جرمی سبب نوسانات پیچشی می شوند.

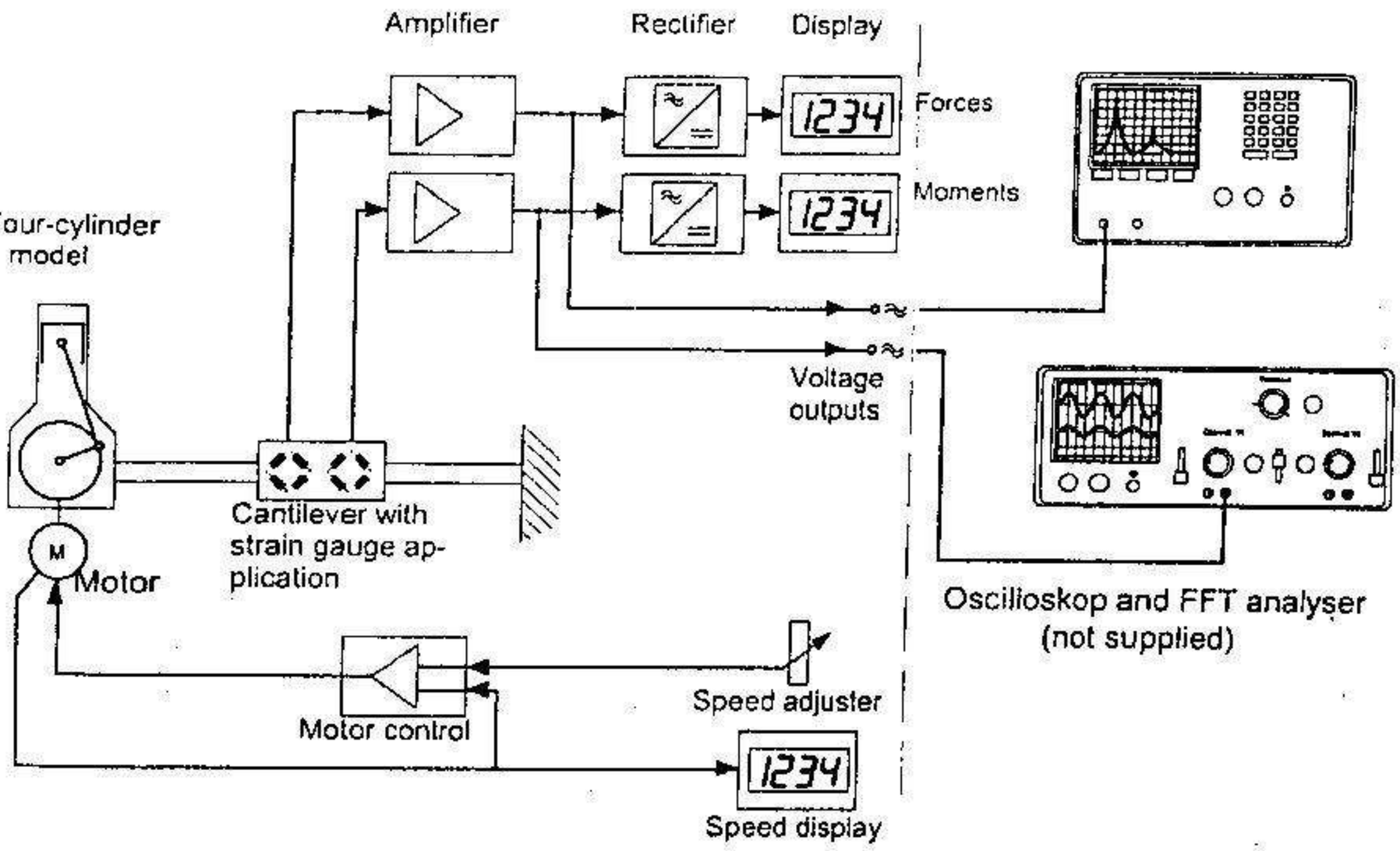
فرکانسهای طبیعی سیستم طوری تنظیم می شوند که اثر نیروها و گشتاورهای جرمی نیز می توانند به آسانی از ارتعاشات همساز، بدون نیاز به وسیله اندازه گیری مشاهده شوند. نقاط رزنانس برای نیروها و گشتاروهای مرتبه اول و دوم به وضوح جدا می شوند و بین 800 rmp تا 2500rpm هستند (شکل ۳-۱)



شکل ۳-۵ : منحنی های رزنانس

سیستم شامل ماکت موتور چهار سیلندر، تیریک سرگیردار و صفحه فونداسیون می باشد که در یک سطح همسازی پایین روی شاسی سوار می شوند. این اثر بطور موثری از انتقال نوسانات روی محیط اطراف جلوگیری می کند. کرنش سنجها درروی تیر یک سرگیردار امکان اندازه گیری الکتریکی گشتاورهای خمشی منتجه از نوسان عرضی و گشتاورهای پیچشی منتجه از نوسانات پیچشی را فراهم می آورد. سیگنالهای اندازه گیری تقویت می شوند و به پریز آزمایشگاهی جائیکه اسیلوسکوپ یا تحلیلگرهای (Fast Fourier Transform) FFT[1] می توانند متصل شوند انتقال می یابند. ولتمترهای دیجیتال انتگرالی دامنه های نوسان را به صورت مقادیر موثر نمایش می دهند. سرعت دورانی می تواند بطور بی وقفه تنظیم و از یک سرعت سنج دیجیتال خوانده شود.

[1] FFT analyzer



شکل۵-۴ : راه اندازی سیستم اندازه گیری[1]

5.2 انجام آزمایش

نکته مهم: پیچها را کاملا سفت کنید و پوششهای محافظ را نصب نمائید.

- به دقت دور موتور را تا دورهای رزنانس مربوطه افزایش دهید که عبارتند از:

برای نیروهای مرتبه اول (F_I): n=1825 rmp

برای نیروهای مرتبه دوم (F_{II}): n=904 rmp

برای گشتاورهای مرتبه اول (M_I): n=2557 rmp

برای گشتاورهای مرتبه دوم (M_{II}): n=1284 rmp

- درحضور نیرو یا گشتاورهای آزاد ارتعاشات همساز قوی تولید می شود که می توان بطور وضوح مشاهده نمود.

نکته مهم: با دامنه رزنانس بالا ماکت را برای زمان طولانی در حالت رزنانس بکار نیندازید. هرگز اجازه ندهید تا مدل روی شاسی ضربه وارد نماید.

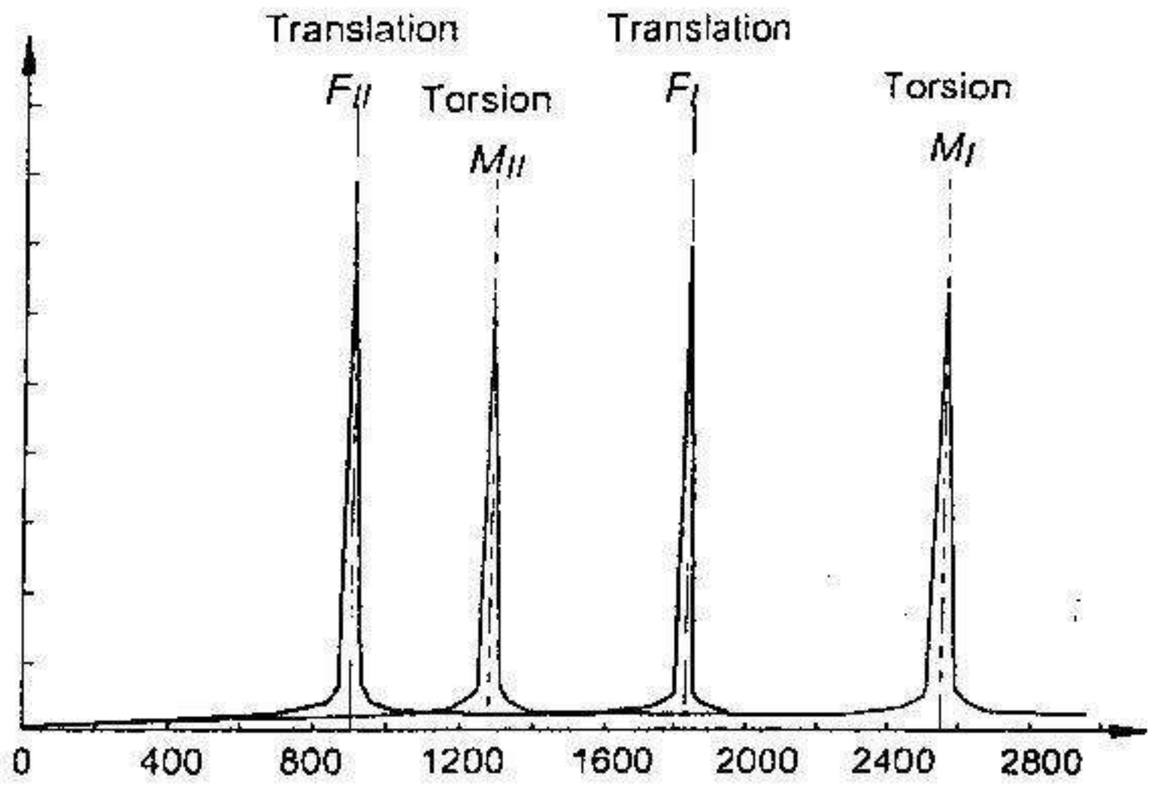
نکته: اگر امکان بررسی سریع رزنانس وجود ندارد، ارتعاش ماکت می تواند بوسیله دست تضعیف گردد.

[1] Measurement setup

5.3: ارزیابی آزمایش

5.3.1 منحنی اجرا

در کاراندازی دستگاه مقادیر اندازه گیری شده می تواند در یک گراف ترسیم گردد.



شکل۵-۵ : منحنی های رزنانس برای مدل چهار سیلندر

بمنظور بدست آوردن اطلاعات کمی توصیه می شود که یک تحلیل گر FFT را بکار ببریم. اندازه گیریها باید با بین سرعتهای رزنانس یا کاملا زیر اولین رزنانس صورت گیرد تا از اشتباه شدن نتایج با ارتعاشات طبیعی مدل جلوگیری نماید. در حالتیکه اندازه گیریها زیر اولین رزنانس است روابط فازی بین نیروها و گشتاورهای مرتبه اول و دوم حفظ می شوند.

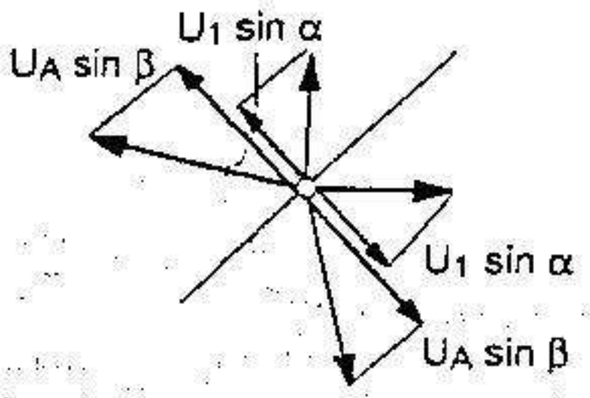
5.3.2 مقایسه لنگهای متفاوت

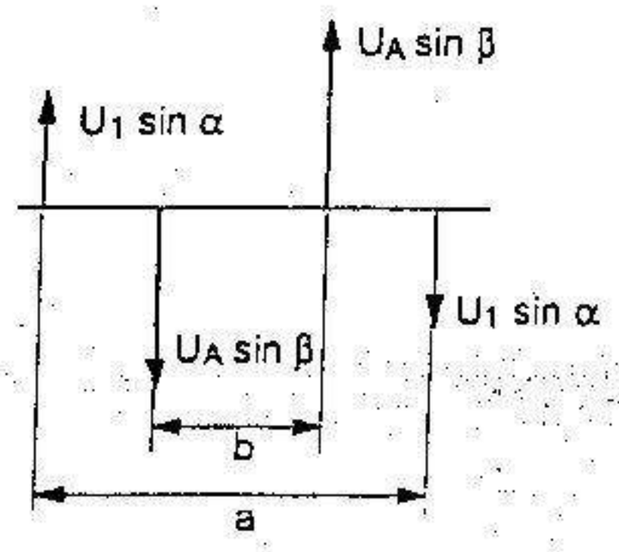
در حالتیکه اندازه گیریها نسبتا به رزنانس نزدیک باشد، اطلاعات کمی می تواند با ابزار اندازه گیری انتگرالی به بهای محدودیت دقت بدست آید. برای اندازه گیری نزدیک به رزنانس، اثر فیلتر سیستم نوسانی می تواند بکار برده شود. اندازه گیری نباید مستقیما در رزنانس انجام شود، اما بخاطر اینکه سیگنالهای اندازه گیری مقدمتا بستگی به تضعیف اتفاقی کمتریا بیشتر ارتعاشات طبیعی مربوطه دارد، و لذا هیچ مقدارمشخصی ندارد، بنابراین یک مصالحه باید صورت گیرد.

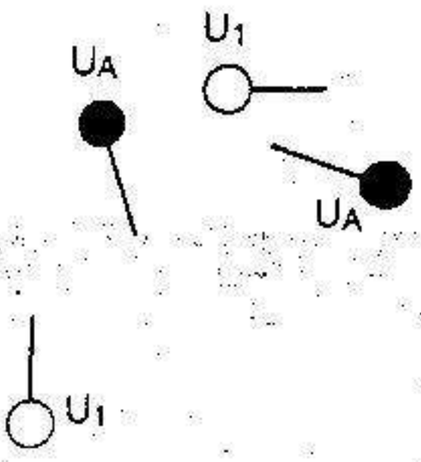
گشتاور نابالانسی برای مولفه نابالانسی دینامیکی را می توان از طریق فاصله دادن بین دو جرم بالانس کننده از بین برد. مولفه های عمودی اجرام نابالانسی و اجرام بالانس کننده یعنی $U_1 \sin\alpha$ و $U_A \sin\beta$ همدیگر را حذف می کنند و دو مولفه دیگر $U_1 \cos\alpha$ و $U_A \cos\beta$ از طریق بالانس استاتیکی حذف می شوند. تعادل گشتاورها نتیجه می دهد

$$\sum M = 0 \Rightarrow aU_1\omega^2 \sin\alpha - bU_A\omega^2 \sin\beta = 0 \Rightarrow b = \frac{U_1 \sin\alpha}{U_A \sin\beta} a$$

آزمایشهای دیگری را می توان بعد از تنظیم موقعیتهای زاویه ای اجرام بالانس کننده U_A انجام داد. توجه دارید که اجرام بالانس کننده باید در مرکز محور قرار بگیرند. اگردر نصب اجرام بالانس کننده دقت کنیم روتور می تواند تا حدود دور ماکزیمم $1400mim^{-1}$ دوران کند.







Balanced general unbalance

منظور از نابالانسی عمومی ترکیب نابالانسی استاتیکی و دینامیکی می باشد و نمونه ای از آن بصورت زیر حاصل می شود.

- دو جرم نابالانسی U_1 را به دو انتهای محور با اختلاف موقعیت زاویه ای 90° متصل کنید.
- دو جرم نابالانسی بزرگ U_A در موقعیت مشابه آزمایش قبل (در موقعیتهای زاویه ای 180° نسبت به یکدیگر) قرار دهید.

بدون تسمه راننده روتور یک موقعیت مشخص دارد که در آن متوقف می شود و یا بطور استاتیکی بالانس نیست.

حال تاثیر نابالانسی دینامیکی در سرعت بالاتر تشریح می شود.

- تسمه راننده را محکم نمائید.
- درپوش را قرار داده و چهار گیره رهایش سریع را محکم نمائید.
- موتور را روشن کنید.
- به آرامی دور موتور را با پتانسیومتر افزایش دهید. در حدود دور 1000min^{-1} ارتعاشات ناشی از نابالانسی به سطح غیرقابل تحمل می رسد وباید آزمایش خاتمه یابد.

دو شرط تعادل زیر بمنظور جبران نابالانسی کلی می بایستی ارضاء گردد

- تعادل نیروها برای مولفه نابالانسی استاتیکی
- تعادل گشتاورها برای مولفه نابالانسی استاتیکی

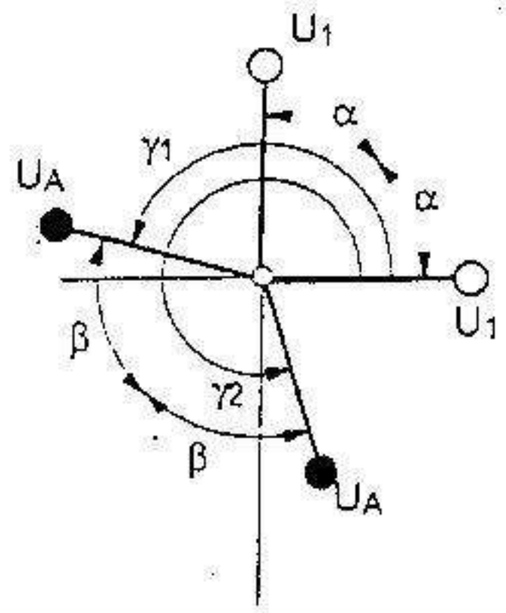
در ابتدا مولفه نابالانسی استاتیکی بالانس می شود. اگر اختلاف بین موقعیتهای زاویه ای اجرام نابالانسی U_1، $2\alpha = 90^\circ$ و اختلاف بین موقعیتهای زاویه ای اجرام بالانس کننده U_A، 2β باشد نتیجه می شود:

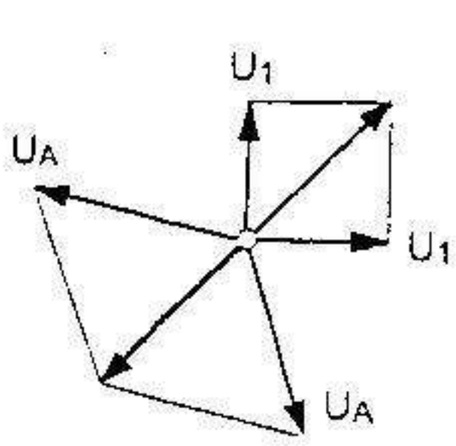
$$\sum F = 0 \Rightarrow 2U_1 \cos\alpha - 2U_A \cos\beta = 0 \Rightarrow \beta = \cos^{-1}\left(\frac{U_1 \cos\alpha}{U_A}\right)$$

با فرض اینکه یکی از اجرام نابالانسی U_1 در موقعیت زاویه ای 0° قرار دارد موقعیتهای زاویه ای اجرام بالانس کننده مطابق شکل عبارتند از

$$\begin{cases} \gamma_1 = \alpha + 180 - \beta \\ \gamma_2 = \alpha + 180 + \beta \end{cases}$$

و بنابراین روتور بطور استاتیکی بالانس می شود.





22

می کند و هیچ موقعیت توقف مشخصی ندارد و به اصلاح بطور استاتیکی بالانس شده است. حال تاثیر نابالانسی دینامیکی در سرعت بالاتر شرح داده می شود.

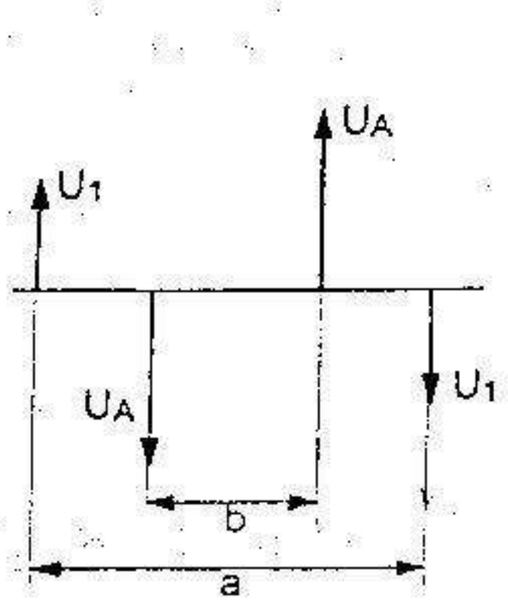
- تسمه راننده را متصل نمائید.
- درپوش را قرار داده و چهار گیره رهایش سریع را محکم نمائید.
- موتور را روشن کنید.
- به دقت دور موتور را با پتانسیومتر افزایش دهید. در حدود دور $1000min^{-1}$ ارتعاشات منتجه از نابالانسی به سطح غیرقابل تحمل می رسد و آزمایش می بایستی متوقف شود. پایه دستگاه، یک نوسان متمایزرا حول محور عمودی نشان می دهد که بوسیله گشتاورهای نابالانسی تولید می شود.

حال بالانسینگ با دو جرم بالانس کننده U_A انجام می گیرد.

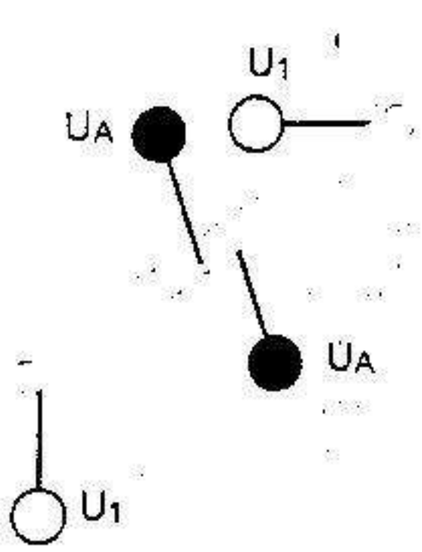
گشتاور ایجاد شده بوسیله نیروهای گریز از مرکز جرمهای بالانس کننده U_A می بایستی گشتاورنیروهای اجرام نابالانس کننده U_1 را جبران نماید. تعادل گشتاورها با نیروهای گریز از مرکز نابالانسی و اجرام بالانس کننده مطابق شکل نتیجه می دهد.

$$\sum M = 0 \Rightarrow U_1\omega^2 a - U_A\omega^2 b = 0 \Rightarrow b = \frac{U_1}{U_A}a$$

آزمایشهای دیگری را نیز می توان با تنظیم اجرام بالانس کننده U_A با U_2 انجام داد. اگر در نصب اجرام بالانس کننده دقت کنیم روتور می تواند تا حدود دور ماکزیمم $1400min^{-1}$ دوران کند.



4.4 نابالانسی عمومی (کلی)



نابلانسی عمومی با اختلاف زاویه ۹۰ درجه برای اجرام نابالانسی

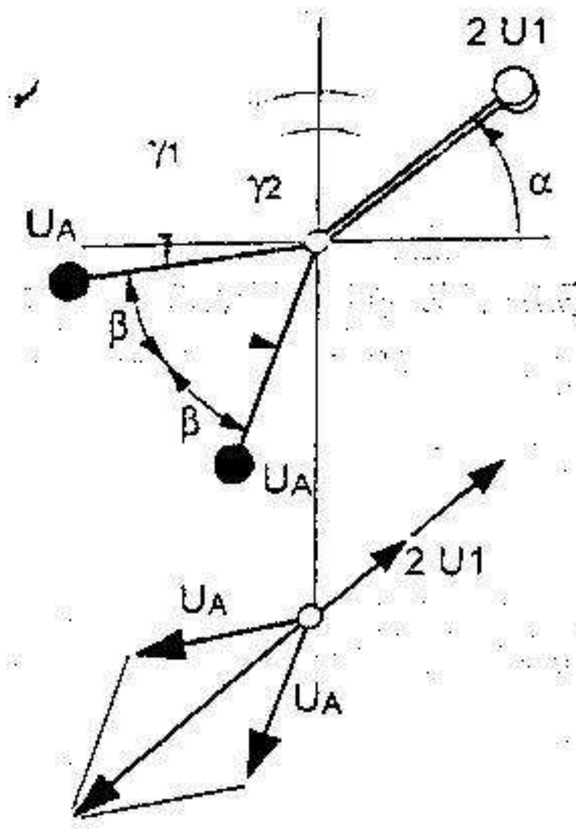
حال بالانسینگ توسط دو جرم نابالانسی بزرگ U_2 صورت می گیرد. دو جرم بالانس کننده U_2 طوری بر روی محور قرار داده می شود که نیروهای گریز از مرکز منتجه آنها با نیروهای گریز مرکز U_1 معادل شوند یعنی داریم

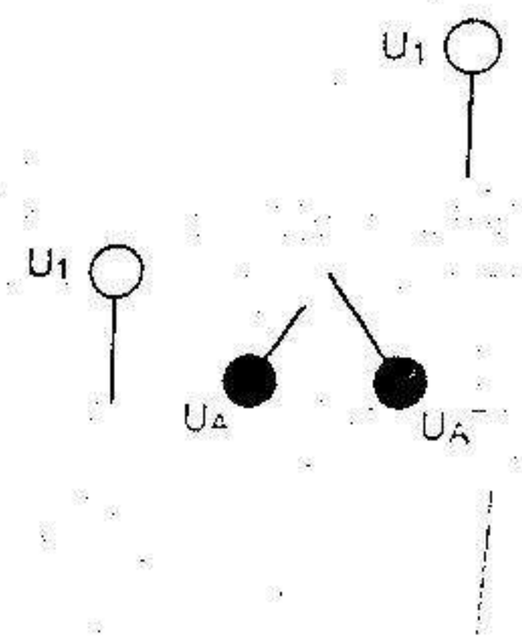
$$\sum F = 0 \Rightarrow 2U_1\omega^2 - 2U_2\omega^2 \cos\beta = 0$$

بنابراین موقعیتهای زاویه ای اجرام بالانس کننده مطابق شکل به ترتیب عبارتند از

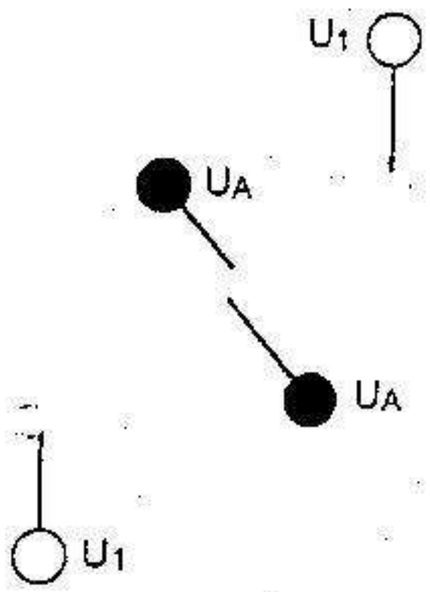
$$\begin{cases} \gamma_1 = \alpha + 180 - \beta \\ \gamma_2 = \alpha + 180 + \beta \end{cases}$$

توجه دارید که اجرام بالانس کننده باید در مرکز محور قرار بگیرند. اگر در نصب اجرام بالانس کننده دقت کنیم روتور می تواند تا حدود دور ماکزیمم ۱- 1400 min دوران کند.





4.3 نابالانسی دینامیکی



نابلانسی دینامیکی با اختلاف زاویه ۱۸۰ درجه برای اجرام نابالانسی

برای بالانس کردن نابالانسی دینامیکی بصورت زیر عمل می شود

- برای نابالانسی دینامیکی خالص اجرام نابالانسی کوچک U_1 روی محور در فاصله $a=190^{mm}$ از همدیگر و در موقعیت زاویه ای 180^{o} نسبت به یکدیگرنصب می شوند.
- دو جرم نابالانسی بزرگ U_2 در موقعیت مکانی یکسان (در موقعیتهای زاویه ای که زاویه 180^{o} نسبت به هم می سازند) همانند آزمایش قبل قرار می دهیم. بدون تسمه راننده روتور بطور پیوسته و با سرعت پایین دوران

برای اندازه گیری سرعتهای دورانی زیر توصیه می شود:

نیروهای مرتبه اول (F_I): n=1500 rmp

نیروهای مرتبه دوم (F_{II}): n=1000 rmp

گشتاورهای مرتبه اول (M_I):n=2250 rmp

گشتاورهای مرتبه دوم (M_{II}): n=1250 rmp

جدول زیر مقادیر اندازه گیری شده برای آزمایشهای مختلف سیلندرها را در مقابل مقادیرمحاسبه شده از تئوری نشان می دهد. مقادیر اندازه گیری شده صرفا مقادیر راهنما هستند و ممکن است از یک اندازه گیری بـه انـدازه گیری دیگر تغییر کنند. برای سازگاری مقادیر تئوری و مقادیر اندازه گیری نسبت به بالاترین مقدار اندازه گیری شده (ناحیه خاکستری) استاندارد می شوند.

برای اشکال ۶-۵ تا ۹-۵ مقادیر جدول زیر را تکمیل نمائید.

موتور چهار سیلندر، متقارن با اختلاف زاویه ای 180O				
سرعت برحسب [1/min]	K_I	K_{II}	M_I	M_{II}
	1500	1000	2250	1250
مقدار انـدازه گیـری شـده برحسـب Veff				
مقدار تئوری برحسب M_I,K_I				
مقدار اندازه گیـری شـده اسـتاندارد شده				
مقدار تئوری استاندارد شده				

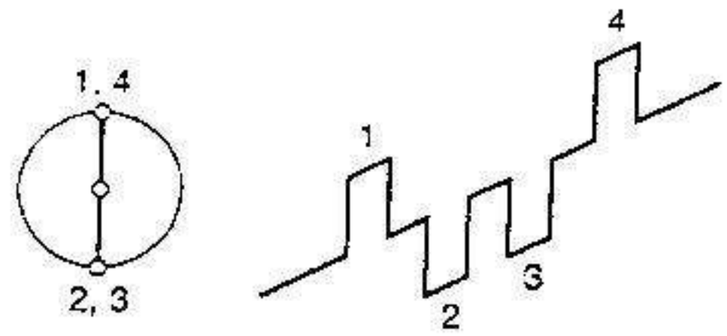


Fig.5.6:

Four-cylinder, symmetrical, 180° crank offset				
	K_I	K_{II}	M_I	M_{II}
Speed in 1/min	1500	1000	2250	1250
Measurem. in V_{eff}	0.06	0.28	0.1	0.1
Theory in K_I,M_I	0	0.856	0	0
Measurem. standardised	0.214	1.00	0	0
Theory standardised	0	1.00	0	0

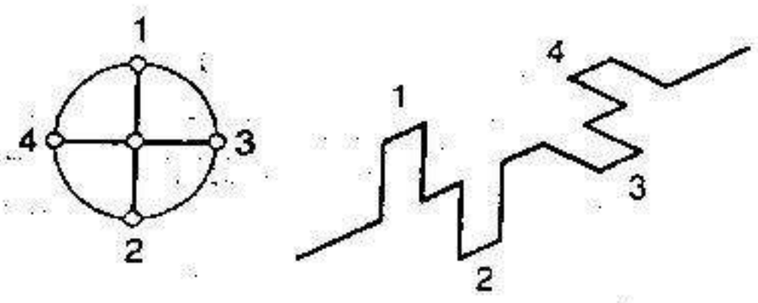


Fig.5.7:

Four-cylinder, asymmetrical, 90° crank offset				
	K_I	K_{II}	M_I	M_{II}
Speed in 1/min	1500	1000	2250	1250
Measurem. in V_{eff}	0.00	0.00	0.77	0.38
Theory in K_I,M_I	0	0	1.41	0.856
Measurem. standardised	0.00	0.00	1.0	0.49
Theory standardised	0	0	1.0	0.61

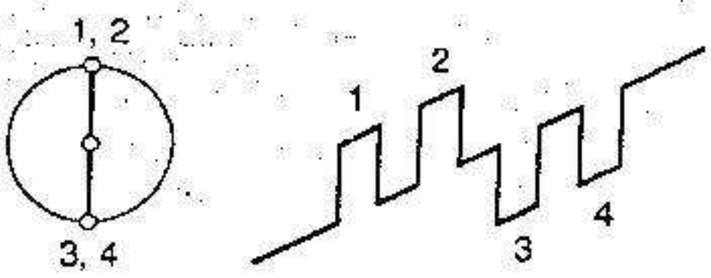


Fig.5.8:

Two-cylinder, 180° crank offset				
	K_I	K_{II}	M_I	M_{II}
Speed in 1/min	1500	1000	2250	1250
Measurem. in V_{eff}	0.04	0.25	2.07	0.38
Theory in K_I,M_I	0	0.856	3.0	0
Measurem. standardised	0.16	1.00	1.00	0.18
Theory standardised	0	1.0	1.0	0

شکل۶-۵ : موتور چهار سیلندر، متقارن، لنگ با اختلاف زاویه ای 180°

شکل ۷-۵ : موتور چهار سیلندر، متقارن، لنگ با اختلاف زاویه ای 90°

شکل ۸-۵ : موتور چهار سیلندر، لنگ با اختلاف زاویه ای 180°

شکل۹-۵ : موتور تک سیلندر

جرم شاتون، جزء نوسانی: $m_{pi,os} = 7.8g$

جرم پین پیستون: $m_b = 4.2g$

جرم پیستون: $m_k = 35.8g$

جرم نوسانی کل: $m_{os} = 47.8g$

جرم اضافی با پیچ: $m_{+} = 41.sg$

سرعت های رزنانس $(\pm 50rmp)$

نیروهای مرتبه اول (F_I): n=1825 rmp

نیروهای مرتبه دوم (F_{II}): n=900 rmp

گشتاورهای مرتبه اول (M_I): n=2555 rmp

گشتاورهای مرتبه دوم (M_{II}): n=1285 rmp

تکنیک اندازه گیری

اندازه گیری سرعت بصورت دیجیتال با LCD هشت کاراکتره و برحسب rpm نمایش داده می شود.
اندازه گیری ارتعاش توسط کرنش سنج که ممان خمشی و پیچشی را اندازه گیری می گیرد و خروجی آنالوگ بصورت 0-10 V و دارای حساسیت $40\,N/V$ برای نیرو و $2.2n\,Nm/V$ برای گشتاور می باشد و نمایش آن بعد از یکسو شدن بصورت مقدار موثر و دیجیتال توسط LCD, 1/2 3 کاراکتر برحسب V می باشد.