



# WHITE PAPERS

---

ASK-RD-ENG-065

R&D Department

ARYA SEPEHR KAYHAN (ASK) | SHAHID SALIMI INDUSTRIAL CITY, TABRIZ, IRAN

شرکت آریا سپهر کیهان با نام اختصاری ASK، طراح و تولیدکننده پمپ های گریز از مرکز و روتاری و ارائه دهنده راهکارهای بهینه سازی سیستم های فرایندی و پمپاژ می باشد.

---

## توجه!

مقالات تخصصی با عنوان White Papers جهت افزایش دانش عمومی پمپ ها در بخش تحقیق و توسعه این شرکت نگارش شده است. استفاده از این مقالات رایگان می باشد و لازم است جهت استفاده از محتویات آن به موارد ذیل توجه فرمایید:

- 1- انتشار مجدد مطالب مقالات (به شکل اولیه و بدون تغییر در ساختار محتوایی و ظاهری) با ذکر منبع، بلامانع است.
- 2- استفاده تجاری از محتویات مقالات در نشریات مجاز نمی باشد.

کاربرد عملی ایزو ۱۹۴۰



The practical application of ISO 1940/1

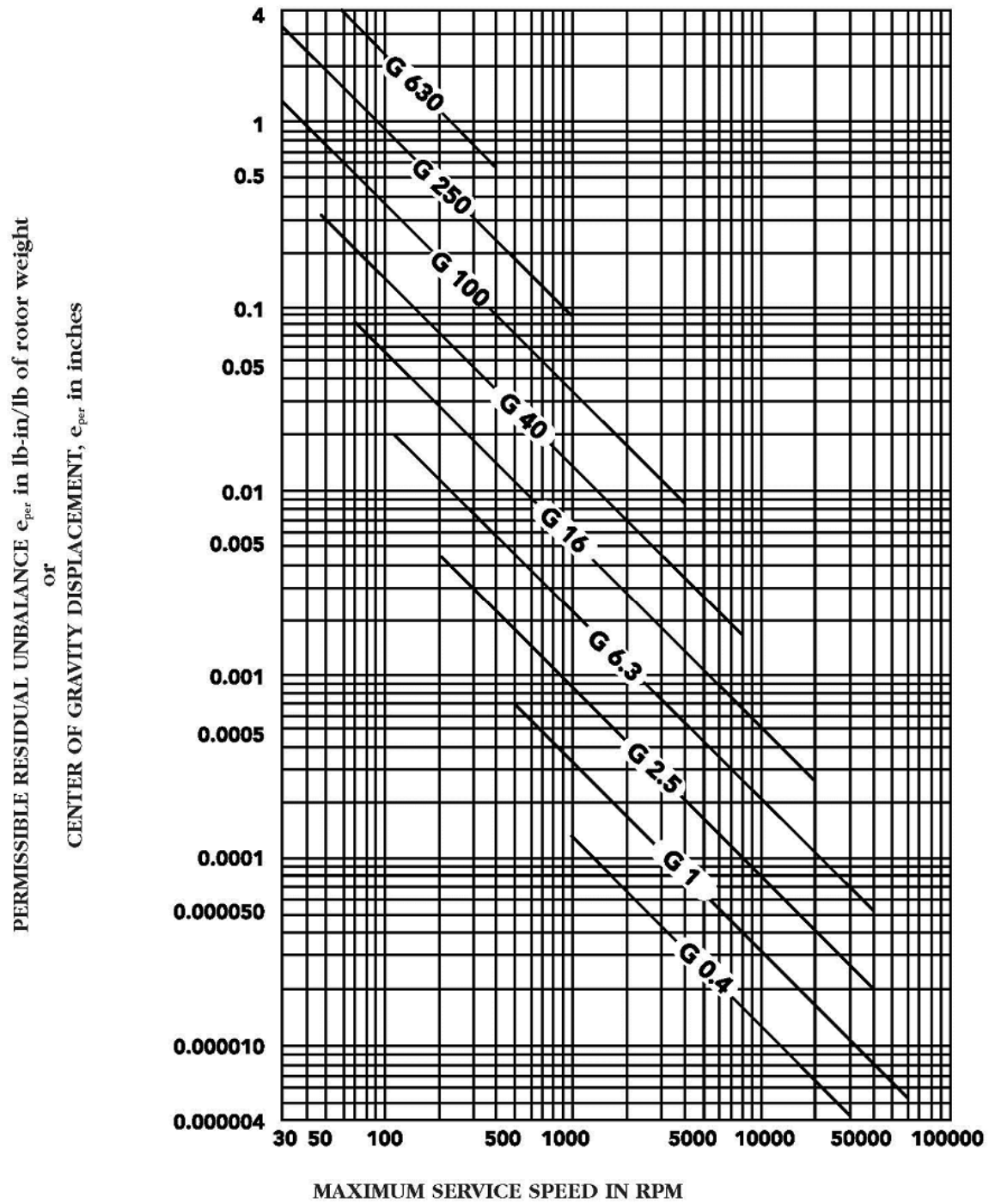
استاندارد ۱۹۴۰ یک مرجع شناخته شده برای انتخاب کیفیت بالانس روتور صلب می‌باشد. این استاندارد با استانداردهای انگلیسی و آلمانی نیز منطبق می‌باشد. در این قسمت به بررسی روش‌های ساده‌ای جهت تعیین عدم تعادل باقیمانده مجاز برای روتورهای با طبقه‌بندی متفاوت می‌پردازیم. استفاده از استاندارد شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱. انتخاب مرتبه بالانس بر اساس نوع روتور از جدول شماره ۱
۲. استفاده از گراف شماره ۱ جهت تعیین مقدار عدم تعادل باقیمانده مجاز مخصوص،  $e_{per}$  برای بیشینه سرعت عملکردی روتور و شماره G انتخاب شده، سپس  $e_{per}$  را در وزن روتور برای به دست آوردن عدم تعادل باقیمانده مجاز ( $U_{per}$ ) ضرب می‌کنیم.
۳. تخصیص  $U_{per}$  به صفحات تصحیح بالانس بر اساس شکل روتور

انجام گام ۱ به سادگی نیازمند آن است که کاربر، نوع روتوری را که نیازمند بالانس می‌باشد، مشخص کند. گام ۲ نیز با استفاده از گراف‌های آورده شده در شکل‌های شماره ۱ و ۲ انجام می‌شود. اما نکته اساسی در انجام گام ۳ می‌باشد که دارای فهم بسیار پیچیده‌ای می‌باشد.

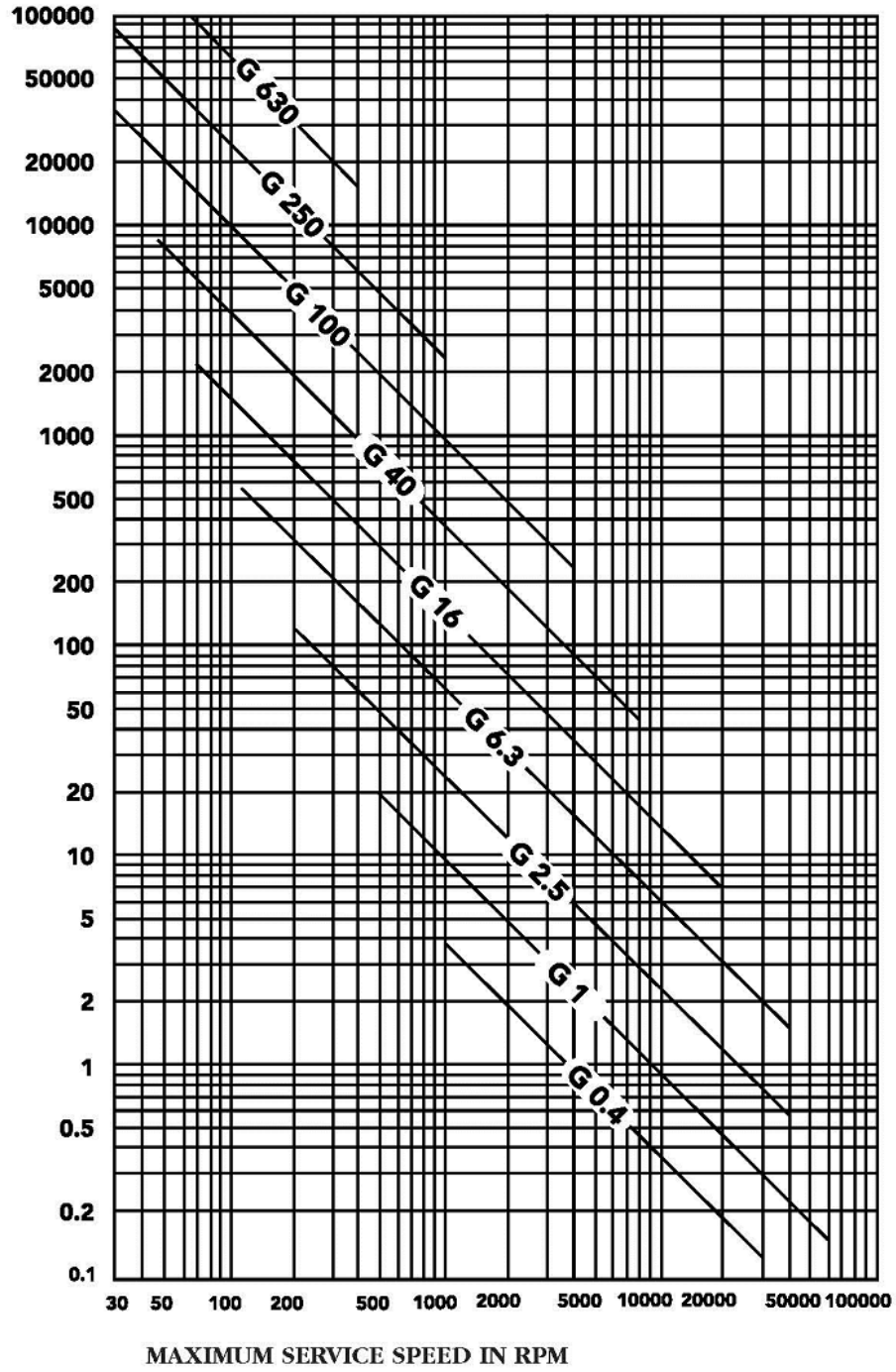
Balance Quality Grade	Product of the Relationship ( $e_{per} \times \omega$ ) <sup>(1) (2)</sup> mm/s	Rotor Types - General Examples
G 4 000	4 000	Crankshaft/drives <sup>9)</sup> of rigidly mounted slow marine diesel engines with uneven number of cylinders <sup>4)</sup>
G 1 600	1 600	Crankshaft/drives of rigidly mounted large two-cycle engines
G 630	630	Crankshaft/drives of rigidly mounted large four-cycle engines Crankshaft/drives of elastically mounted marine diesel engines
G 250	250	Crankshaft/drives of rigidly mounted fast four-cylinder diesel engines <sup>4)</sup>
G 100	100	Crankshaft/drives of fast diesel engines with six or more cylinders <sup>4)</sup> Complete engines (gasoline or diesel) for cars, trucks and locomotives <sup>9)</sup>
G 40	40	Car wheels, wheel rims, wheel sets, drive shafts Crankshaft/drives of elastically mounted fast four-cycle engines with six or more cylinders <sup>4)</sup> Crankshaft/drives of engines of cars, trucks and locomotives
G 16	16	Drive shafts (propeller shafts, cardan shafts) with special requirements Parts of crushing machines Parts of agricultural machinery Individual components of engines (gasoline or diesel) for cars, trucks and locomotives Crankshaft/drives of engines with six or more cylinders under special requirements
G 6.3	6.3	Parts of process plant machines Marine main turbine gears (merchant service) Centrifuge drums Paper machinery rolls; print rolls Fans Assembled aircraft gas turbine rotors Flywheels Pump impellers Machine-tool and general machinery parts Medium and large electric armatures (of electric motors having at least 80 mm shaft height) without special requirements Small electric armatures, often mass produced, in vibration insensitive applications and/or with vibration-isolating mountings Individual components of engines under special requirements
G 2.5	2.5	Gas and steam turbines, including marine main turbines (merchant service) Rigid turbo-generator rotors Computer memory drums and discs Turbo-compressors Machine-tool drives Medium and large electric armatures with special requirements Small electric armatures not qualifying for one or both of the conditions specified for small electric armatures of balance quality grade G 6.3 Turbine-driven pumps
G 1	1	Tape recorder and phonograph (gramophone) drives Grinding-machine drives Small electric armatures with special requirements
G 0.4	0.4	Spindles, discs and armatures of precision grinders Gyroscopes

جدول ۱- مرتبه کیفیت بالانس برای گروه‌های مختلف روتور



شکل ۱- عدم تعادل باقیمانده مجاز بر حسب اینچ

PERMISSIBLE RESIDUAL UNBALANCE,  $e_{per}$ , in g-mm/kg of rotor weight  
OR  
CENTER OF GRAVITY DISPLACEMENT,  $e_{per}$ , in  $\mu$ m



شکل ۲- عدم تعادل باقیمانده مجاز بر حسب میکرومتر

## • درجات کیفیت بالانس

جدول شماره ۱، انواع کیفیت‌های بالانس را برای انواع روتورهای مختلف نشان می‌دهد. عدد G محصول عدم تعادل مخصوص و سرعت زاویه‌ای روتور در بیشترین سرعت عملکرد می‌باشد و نیز برای روتورهای از همان نوع ثابت می‌باشد.

$$G = e * \omega = constant$$

این موضوع بر این اساس است که روتورهای از لحاظ هندسی متشابه و با سرعت یکسان، تنش‌های مشابهی بر روی روتور و یاتاقان-ها دارند. درجات کیفیت بالانس با یک ضریب ۲,۵ از هم جدا می‌شوند. اعداد G با مقادیر متوسط، جهت استفاده در ملزومات خاصی به کار می‌روند. به عنوان مثال، یک پروانه پمپ استاندارد دارای درجه کیفیت بالانس پیشنهادی G6.3 می‌باشد. شرایط مخصوص ممکن است نیازمند کیفیت بالانس بهتر G4.0 برای نصب در محیط‌هایی با محدوده تحمل صدای سازهای پایین‌تر باشد.

## • تعیین عدم تعادل باقیمانده مجاز

$$U_{per} = e_{per} * m(\text{rotor mass})$$

عدم تعادل باقیمانده مجاز تابعی از عدد G، وزن روتور و بیشترین سرعت چرخش می‌باشد. به جای استفاده از گراف جهت یافتن عدم تعادل مخصوص در ازای عدد G و دور روتور در دقیقه و ضرب آن در وزن روتور،  $U_{per}$  با استفاده از فرمول زیر نیز محاسبه می‌شود:

$$U_{per}(g - mm) = 9549 * G * \frac{W}{N} \quad (W \text{ in } kg)$$

که در آن G درجه کیفیت بالانس، W وزن روتور و N بیشترین سرعت عملکردی می‌باشد.

## • تخصیص $U_{per}$ به صفحات تصحیح‌کننده

همان‌طور که می‌دانیم  $U_{per}$  عدم تعادل باقیمانده مجاز کل می‌باشد و باید به صفحات تصحیح‌کننده بالانسی که بر اساس ابعاد و شکل روتور مورد استفاده قرار می‌گیرند، اختصاص یابد.

برای روتورهایی که در یک صفحه بالانس می‌شوند، تمامی مقدار  $U_{per}$  به همان صفحه اعمال می‌شود.

برای روتورهایی که در دو صفحه بالانس می‌شوند  $U_{per}$  باید به هر یک از صفحات بر اساس شکل و ابعاد روتور اختصاص یابد.

## • روتورهای متقارن

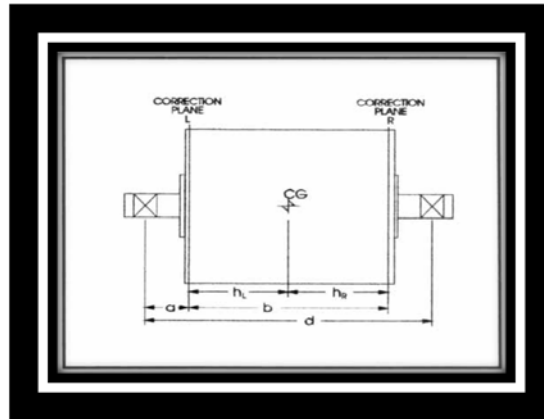
قوانین برای روتورهای متقارن که در شکل زیر مشاهده می‌کنید به ترتیب زیر می‌باشد:

۱. صفحات تصحیح بین یاتاقان‌ها می‌باشند.

۲. فاصله b بزرگتر از  $1/3 d$  می‌باشد.



۳. صفحات تصحیح هم فاصله از مرکز ثقل می‌باشند.



شکل ۳- روتورهای متقارن

$$U_{perleft} = U_{perright} = U_{per}/2$$

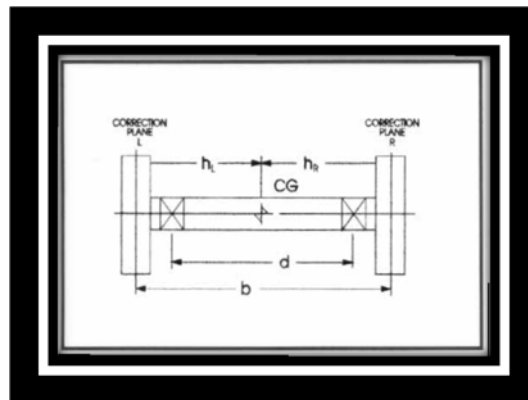
زمانی که صفحات تصحیح از مرکز ثقل به یک فاصله نباشند، خواهیم داشت:

$$U_{perleft} = U_{per} \left( \frac{h_R}{b} \right)$$

$$U_{perright} = U_{per} \left( \frac{h_L}{b} \right)$$

باید در نظر داشت که  $U_{perleft}$  و  $U_{perright}$  نباید کمتر از ۳۰ درصد یا بیشتر از ۷۰ درصد  $U_{per}$  باشند. در غیر این صورت باید از قانون روتورهای باریک استفاده کرد.

• روتورهایی با صفحات تصحیح خارجی



شکل ۴- روتورهای با صفحات تصحیح خارجی

در زیر قوانین مربوط به روتورهای با صفحات تصحیح در خارج یاتاقان‌ها را مشاهده می‌کنید. شکل این روتورها بیشتر شبیه به دمبل می‌باشد. هر دو صفحه تصحیح در خارج یاتاقان‌ها می‌باشند.

$$b > d$$

تنظیم  $U_{per}$  به وسیله نسبت  $d/b$ .

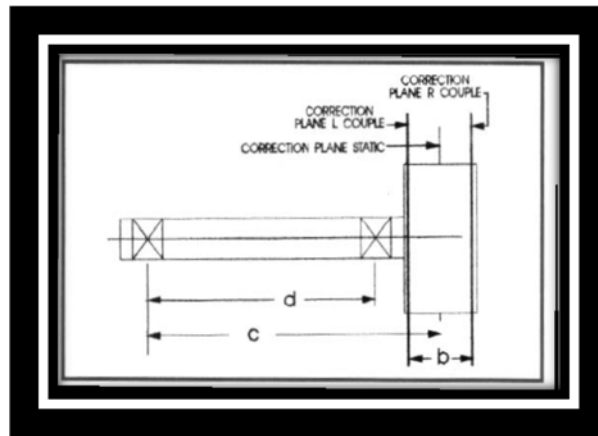
$$U_{per} = U_{per}(d/b)$$

وقتی صفحات تصحیح هم فاصله از مرکز ثقل نباشند،  $U_{perleft}$  و  $U_{perright}$  از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$U_{perleft} = U_{per}\left(\frac{h_R}{b}\right)$$

$$U_{perright} = U_{per}\left(\frac{h_L}{b}\right)$$

#### • روتورهای باریک و آویخته



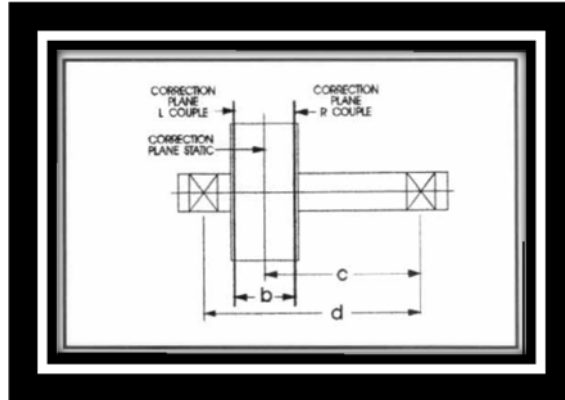
شکل ۵- روتورهای آویخته

قوانین برای روتورهای آویخته و باریک:

۱. فاصله بین صفحات تصحیح کمتر از  $1/3$  فاصله بین یاتاقان‌ها است ( $b < 0.33d$ ).
۲. بارهای دینامیکی مجاز یاتاقان را برابر فرض کنید.
۳. اصلاحات به صورت جفت و با فاصله‌ای  $180^\circ$  درجه‌ای جدا از یکدیگر بر روی صفحات مربوط انجام می‌شوند.
۴. صفحه اصلاحات استاتیکی می‌تواند یک صفحه سوم یا یکی از همان دو صفحه اصلاح باشد.
۵. اختصاص  $U_{per}$  به عنوان عدم تعادل باقیمانده کوپل و استاتیک به صورت زیر:

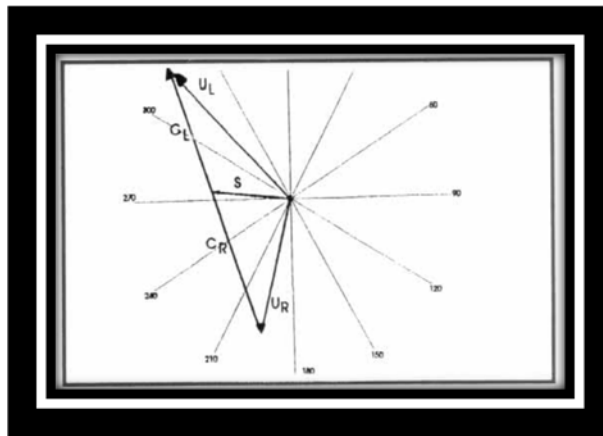
$$U_{perstatic} = \frac{U_{per}}{2} * \frac{d}{2c}$$

$$U_{per\ couple} = \frac{U_{per}}{2} * \frac{3d}{4b}$$

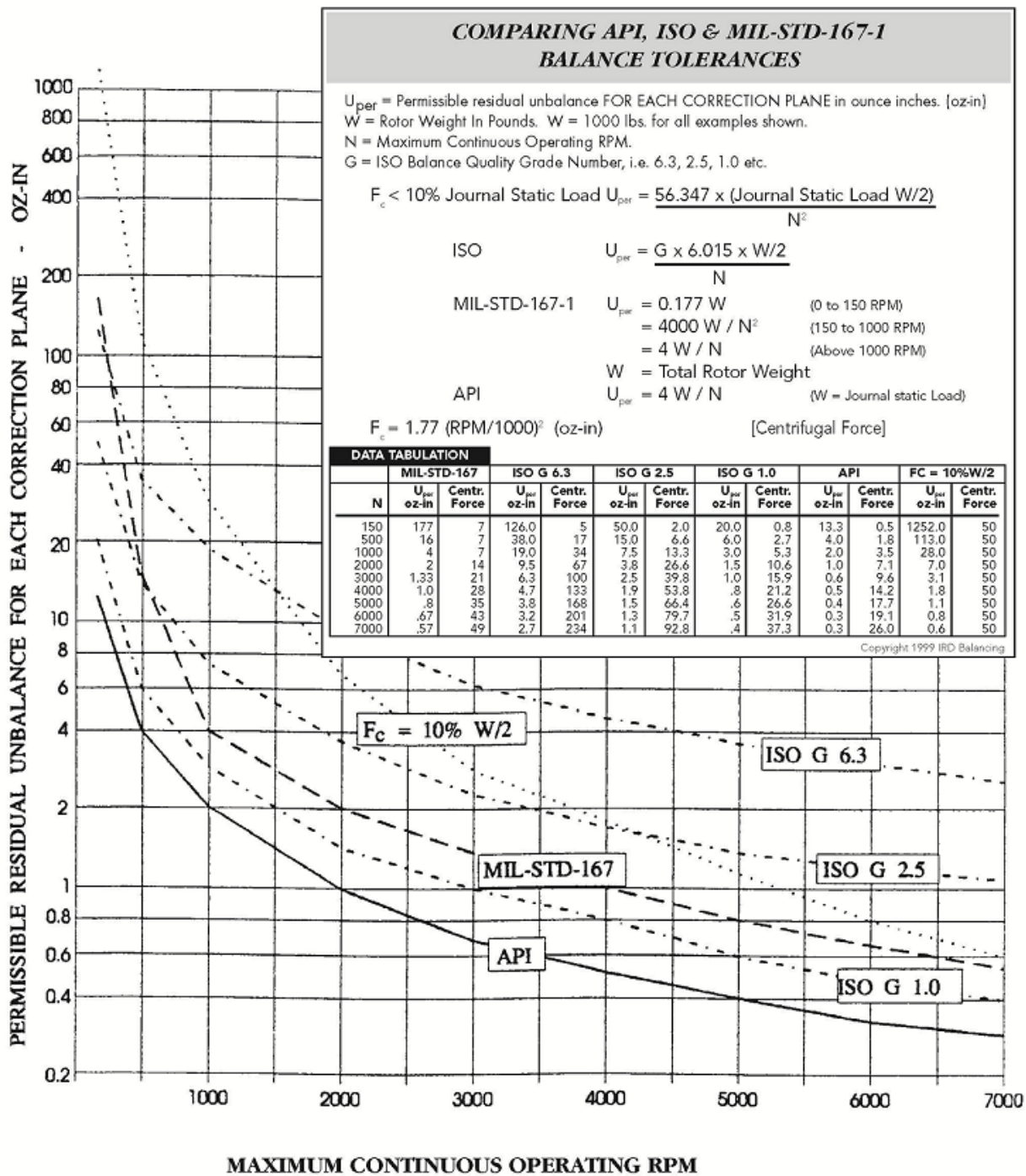


شکل ۶- روتورهای باریک

تخصیص عدم تعادل‌های مجاز برای روتورهای باریک و آویخته، نیازمند آن است که دو صفحه تصحیح عدم تعادل به عدم تعادل‌های معادل کوپل و استاتیک تقسیم شوند. این موضوع به صورت گرافیکی، با کشیدن بردارهای حل صفحات بالانس که در شکل زیر نشان داده شده است، می‌تواند انجام شود. با اتصال دو بردار UL به UR، برداری که از مرکز به نقطه وسط این فاصله رسم می‌شود برابر با نصف عدم تعادل استاتیکی روتور می‌باشد. همچنین کل این فاصله CL-CR عدم تعادل کوپل می‌باشد.



شکل ۷- مشتقات گرافیکی کوپل - استاتیک



شکل ۸- مقایسه تolerانس‌های بالانس API و ISO

در شکل بالا مقایسه درجات بالانس در ایزو ۱۹۴۰ را با دیگر استانداردها مشاهده می‌کنید.

- واژگان بالانس

۱. درجه کیفیت بالانس

برای روتورهای صلب، G محصول عدم تعادل مخصوص (e) و سرعت زاویه‌ای بیشینه روتور بر حسب رادیان خواهد بود.

$$G = e * \omega$$

۲. مرکز ثقل

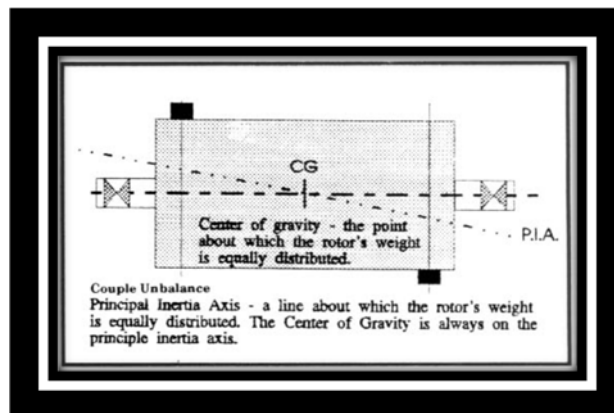
نقطه‌ای است در بدنه روتور که برآیند وزن تمامی اجزا در تمامی جهات می‌باشد.

۳. صفحات تصحیح

صفحه عمود بر محور شفت روتور که در آن‌ها تصحیحات لازم جهت عدم تعادل اعمال می‌شود.

۴. عدم تعادل کوپل

شرایطی از عدم تعادل که در آن مرکز محورهای اصلی، محور شفت را در مرکز ثقل قطع می‌کند.



شکل ۹- عدم تعادل کوپل

۵. سرعت بحرانی

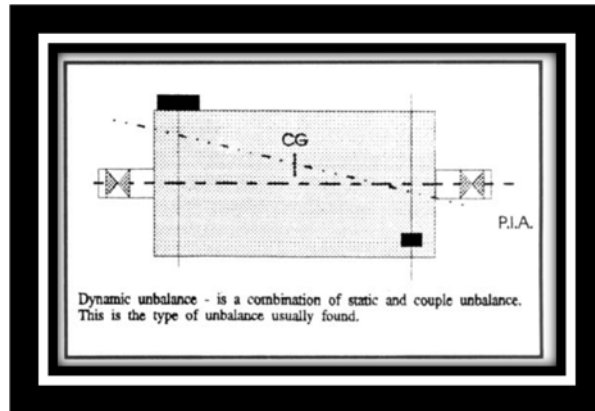
سرعتی که در آن پدیده رزونانس در سیستم اتفاق می‌افتد. رزونانس می‌تواند از یاتاقان‌گردها یا انعطاف‌پذیری روتور باشد.

۶. عدم تعادل دینامیکی

شرایطی از عدم تعادل که در آن مرکز محورهای اصلی موازی و متقاطع با محور شفت نمی‌باشد.

توجه:

عدم تعادل دینامیکی معادل با دو بردار عدم تعادل در دو صفحه مخصوص می باشد که به طور کامل عدم تعادل کل روتور را بیان می کند. عدم تعادل دینامیکی همچنین می تواند به دو بردار عدم تعادل کوپل و استاتیک تقسیم می شود که مجموع بردارها برابر عدم تعادل کل روتور می باشد.



شکل شماره ۱۰- عدم تعادل دینامیکی

#### ۷. روتورهای انعطاف پذیر

روتوری که به خاطر انعطاف الاستیکی، تعریف روتور صلب را ارضاء نمی کند.

#### ۸. عدم تعادل باقیمانده مجاز

بیشترین باقیمانده عدم تعادل مجاز برای یک روتور یا در یک صفحه تصحیح می باشد:

$$U_{per} = e_{per} * m(\text{rotor mass})$$

#### ۹. محور اینرسی اصلی

جهت های مختصات متناسب با ممان اینرسی های اصلی می باشد. این مفهوم جهت تعیین محورهای اصلی مرکزی منطبق با محورهای شفت روتور استفاده می شود.

#### ۱۰. عدم تعادل باقیمانده

به هرگونه عدم تعادل باقیمانده پس از بالانس سیستم گفته می شود.

#### ۱۱. روتور صلب

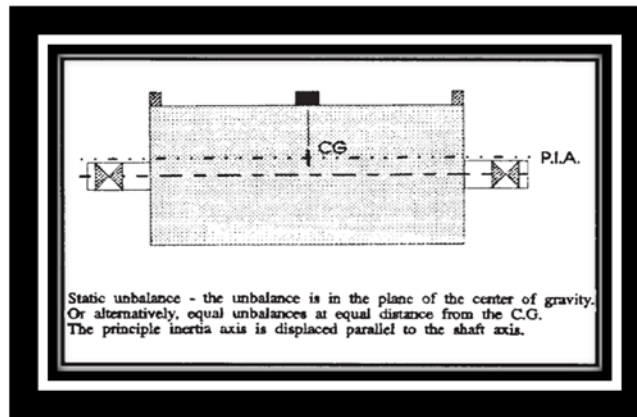
یک روتور زمانی صلب فرض می‌شود که عدم تعادل آن بتواند در هر یک از صفحات تصحیح، اصلاح شود. پس از اصلاح، عدم تعادل باقیمانده در هیچ سرعتی به طور مشخص زیاد نشود.

## ۱۲. روتور

یک بدنه با قابلیت چرخش می‌باشد که دارای محفظه یاتاقان و تعدادی یاتاقان می‌باشد.

## ۱۳. عدم تعادل استاتیکی

شرایطی از عدم تعادل که در آن محور اصلی مرکزی تنها در موازات محور شفت جابه‌جا می‌شود.



شکل ۱۱ - عدم تعادل استاتیکی

## ۱۴. عدم تعادل مخصوص

عدم تعادل استاتیکی است که بر جرم روتور تقسیم شده است.

## مراجع

- [1]: ISO 1940/1, Mechanical vibration - Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state - Part 1: Specification and verification of balance tolerances, 2003
- [2]: Ali M. Al-Shurafa, Determination of Balancing Quality Limits, Saudi Electricity Company-Ghazlan Power Plant, 2003
- [3]: The Practical Application of ISO 1940/1, Balance Quality Requirements of Rigid Rotors, 2005