

الاینمنت کردن شفت عمودی واحدهای توربین ژنراتور برق آبی

محمدرضا سامی پور^۱

شرکت نصب، تعمیر و نگهداری نیروگاه های برق آبی خوزستان

msamipour@yahoo.com

چکیده

در این مقاله، روش های انجام همراستایی (همراستا سازی محوری) و الاینمنت استاتیک در شافت عمودی واحد برق آبی بررسی می شود. عدم الاینمنت صحیح نه تنها باعث خرابی زود هنگام بیرینگ های واحد، بلکه با زیادتیر شدن ارتعاش، باعث سایش و فشار روی قطعات دیگر ماشین می گردد. این روش همراستایی در واحد شماره ۶ نیروگاه شهید عباسپور انجام گردید. ارتعاشات دریاتاقان های این واحد در رنج بحرانی و تریپ بودند که با پایش مرتب وضعیت ماشین (condition based maintenance) عیب تشخیص داده شد و به عدم هم محوری شافت پی برده شد.

واژه های کلیدی: متحدالمدکز (Concentricity)، مدور بودن (circularity)، عمودیت (perpendicularity)، راست بودن (straightness)، شاقول بودن (plumb).

مقدمه

کشور ما دارای نیروگاههای برقابی کوچک و بزرگ و متوسط قابل ملاحظه‌ای می‌باشد که بسیاری از آنها از جمله نیروگاه سد شهید عباسپور، نیروگاههای سد دز بعنوان نیروگاههای بزرگ و نیروگاههای سدهای امیرکبیر، سفیدرود، زاینده‌رود، لتیان، جیرفت، ارس، درودزن فارس و مهاباد بعنوان نیروگاههای متوسط و کوچک دارای واحدهای با عمر بهره‌برداری بالای ده سال و حتی چهل سال می‌باشند که در چنین شرایطی انجام تعمیرات اساسی، بهینه سازی برخی از تجهیزات آنها و ایجاد سیستمهای پایش (Monitoring) به منظور بالا بردن ضریب اطمینان (Reliability) بهره‌برداری، کاملاً ضروری به نظر می‌رسد تجارب دوازده ساله متخصصین شرکت تعمیرات نیروگاه های برق آبی در عرصه تعمیرات نیروگاههای کشور نشان می‌دهد که اغلب نیروگاههای فوق به علت نداشتن سیستم پایش (Monitoring) مناسب با گذشت بیش از ده سال از عمر بهره‌برداری آنها امروزه هیچ اطمینانی به سلامت و پایداری تجهیزاتشان وجود ندارد و از طرف دیگر به علت پیری تجهیزات اینگونه نیروگاهها قطعاً ادامه روشهای نگهداری و بهره‌برداری اولیه خالی از اشکال نبوده و باقیمانده عمر تجهیزات را با خطر

^۱ کارشناس ارشد دفتر فنی

روبرو می‌سازد و در این زمینه نیاز به بازنگری در دستورالعمل‌های نگهداری و بهره‌برداری ضروری بوده و ایجاب می‌نماید دستورالعمل‌ها بر اساس سوابق تعمیراتی و توان (tolerance) موجود قطعات و تجهیزات تغییر داده شوند.

تجهیزات اصلی مورد نیاز برای همراستایی محوری شافت عمودی مطابق شکل ۱ و ۲ عبارتند:

- ۱- حداقل ۴ عدد ساعت اندیکاتور با پایه
- ۲- فیلر گیج برای اندازه‌گیری کلرنس بیرینگ، کلرنس سیل رینگ و دیگر کلرنس‌ها
- ۳- یک گیج مخروطی (taper gauge) برای اندازه‌گیری گپ هوای ژنراتور
- ۴- میکرومتر داخلی برای اندازه‌گیری فاصله بین شافت و سیم پیانو های آویزان
- ۵- تعدادی وایر پیانو برای اندازه‌گیری شاقول بودن



Photograph 2. — Plant wire setup.

شکل ۱ سیم پیانو های آویزان اطراف شافت



شکل ۲ میکرومتر داخلی

در الاینمنت کردن مشخصات زیر باید چک و بررسی شوند.

(۱) متحدالمرکز بودن قطعات ساکن: (CONCENTRICITY)

قطعات ساکن واحد در راستای محور عمودی شافت باید هم مرکز باشند . یعنی اگر مراکز همه قطعات ساکن بهم وصل شوند در امتداد یک خط شاقول با کلرنس مجاز باشند. اگر قطعات هم مرکز نیستند حرکت داده شوند و هم مرکز گردند . به طور مثال از قبیل جابجایی براکت بیرینگ ,استاتور ژنراتور با قطعاتی که غیر قابل حرکت دادن هستند.

واحد شش نیروگاه دوم شهید عباسپور به دلیل داشتن ارتعاش زیاد در محل یاتاقان توربین ,بدلیل عدم الاینمنت مورد بررسی و همراستایی قرار گرفت. در سایت نیروگاه پارامترهای زیر اندازه گیری و بر اساس شرایط موجود (as found) محاسبات صورت گرفت و موارد زیر از حد استاندارد اعلام شده از دامنه تولرانس استاندارد CEA (انجمن الکترونیک امریکا) بیشتر بودند.

- عدم هم مرکزی محور دوران رانر نسبت به باتم رینگ ۴۲/ میلی متر

- عدم هم مرکزی محور دوران رانر نسبت به هد کاور ۱۵/ میلی متر.

با توجه به ران اوت شافت و الاینمنت واحد اقدامات اصلاحی (که در ذیل توضیح داده می شوند).انجام شد.و نتایج زیر بدست آمد.

- عدم هم مرکزی محور دوران رانر نسبت به باتم رینگ ۳۹/ میلی متر

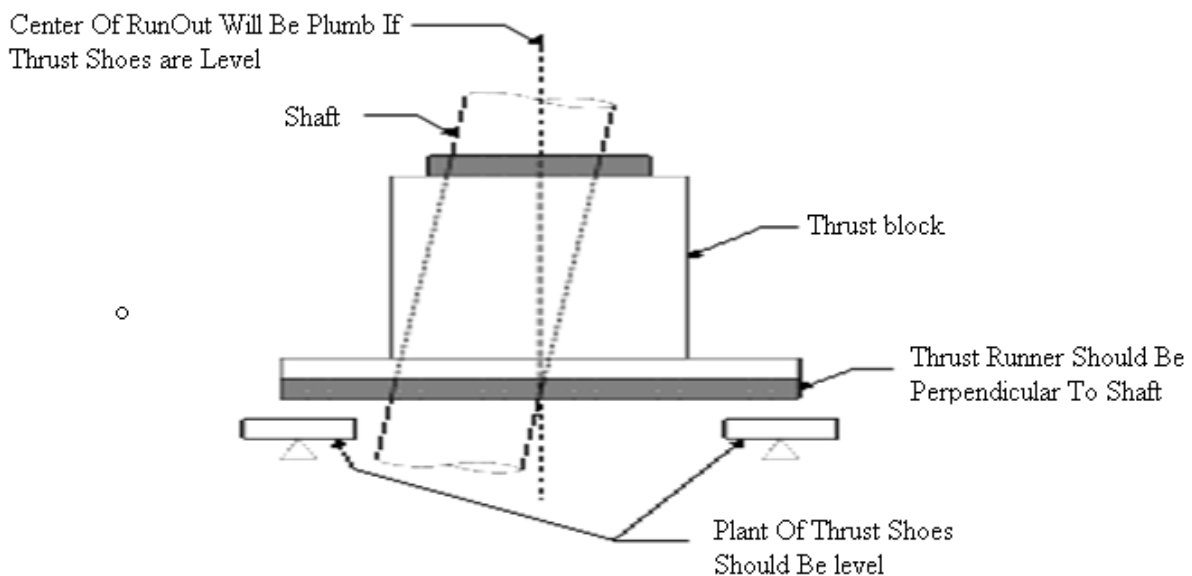
- عدم هم مرکزی محور دوران رانر نسبت به هد کاور ۰۶/ میلی متر

عدم هم مرکزی بین محور دوران رانر با باتم رینگ همچنان خارج از دامنه تولرانس (۳۹/ میلی متر)قرارداشتند.که بدلیل عدم وقت کافی در این زمینه روی واحد شش عملی انجام نشد.

(۲) مدور بودن کامل شافت: (CIRCULARITY)

مدور بودن مربوط می شود به انحراف سطح مقطع شافت از حالت دایروی کامل ,که در این زمینه شافت واحد ۶ چک گردید مشکلی دال بر عدم دایروی بودن آن وجود نداشت .

(۳) عمودیت واحد: (PREPENDICULARITY)

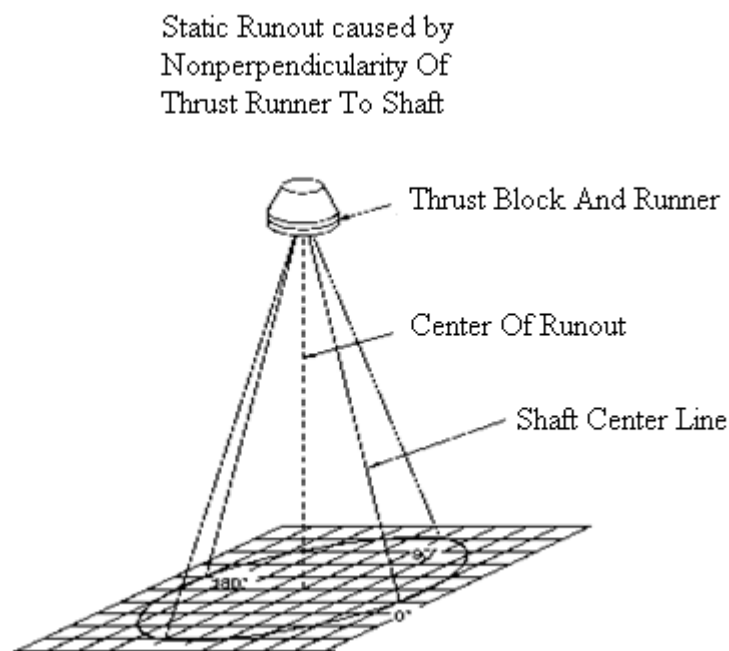


شکل ۳ عمودیت واحد نسبت به تراس بیرینگ (برگرفته از مراجع)

مطابق شکل ۳ عمودیت محور دوران شافت واحد ۶ تقریباً " ۰/۰۸۹ میلی متر در هر متر بود. با توجه به ران اوت شافت و آلاینمنت واحد اقدامات اصلاحی انجام شد و نتایج زیر به دست آمد:

عمودیت محور دوران شافت: 0.086 میلی متر در هر متر .
 عمودیت محور دوران شافت 0.086 میلی متر) همچنان فراتر از دامنه تolerانس استاندارد CEA (0.06 میلی متر) قرار دارد ،
 اما با توجه به اصلاح ران اوت در شافت و میزان انحراف نسبتاً اندک در عمل اثر چندانی ندارد. برای تصحیح این مسئله ، باید
 سطح تراست بلوک تنظیم گردد که با توجه به محدودیت زمانی موجود امکان پذیر نبود.

(4) راست بودن (STRAIGHTNESS):



شکل ۴ نشان دهنده انحراف شافت نسبت به سنتر آن (برگرفته از مراجع)

راست بودن مطابق شکل ۴ به (SHAFT DOGLEG) یا (COUPLING OFFSET) در شافت واحد مربوط می شود .
 که در حالت SHAFT DOGLEG بوسیله شیم گذاری بین کوپلینگ مشکل رفع می گردد. اما در OFFSET بوسیله
 REBORING سوراخ بولت های کوپلینگ عدم همراستایی رفع عیب می گردد.
 اما مشکل واحد شش شافت داگلگ یا کوپلینگ افست نبود. زیرا دو شافت توربین و ژنراتور کاملاً برهم عمود بودند. مجموع هر
 دو شافت با هم شاقول (PLUMB) نبودند. زیرا محوطه چرخش (RUNOUT) قطر باید بدون انحراف غیرمجاز
 (TOLERANCE) باشد تا PLUMB شافت مورد قبول واقع گردد.

(5) شاقول بودن (PLUMB):

برای شاقول بودن شافت، دو روش وجود داشت:

- ۱) روش استفاده از سیم پیانو و اندازه گیری فاصله بین شفت و سیم پیانو ها بوسیله میکرومتر داخلی
- ۲) روش استفاده از دایال گیج (dial indicators)

برای رسیدن به ران اوت صفر:

- ۱- تراست بلوک مرکز دوران واحد را تعریف می کند.

CENTER OF ROTATION DEFINED BY THE THRUST BLOCK

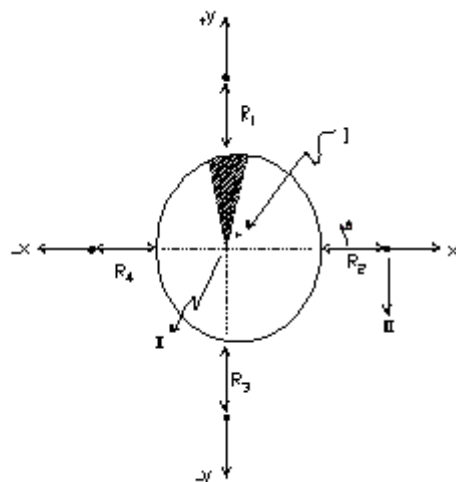
۲- خارج از مرکزی همه قطعات با توجه به خارج از مرکزی تراست بلوک بدست می آید.

RUN OUT OF EVERY COMPONENT = 2*Eccentricity OF ITS AXIS WITH RESPECT THE THRUST BLOCK

که برای شروع تراست بلوک بعنوان مبنا در سنتر قرار گرفت و کلرنس آن از ۲۵ به ۰.۵ تغییر پیدا کرد. انحراف محور شافت نسبت به تراست بلوک محاسبه گردید.

پروسه کار عبارت است از :

شکل ۵ مقطع یک شافت نیروگاه برق آبی می باشد که بوسیله دستگاه مختصات دکارتی به چهار قسمت تقسیم شده است. قطب شماره ۱ بعنوان رفرنس در U/P قرار گرفته و چهار عدد سیم پیانو اطراف آن آویزان می باشد. لازم به یادآوریست که



شکل ۵ مقطع شافت واحد که چهار عدد سیم پیانو اطراف آن آویزان شده است.

- ۱) اندازه گیری روی شافت (محل نشیمنگاه گاید توربین) صورت گرفته است..
 - ۲) نقطه (I) مرکز واقعی شافت می باشد.
 - ۳) نقطه (II) Center Of Ref wire مرکز محورهای فرضی چهار عدد سیم پیانو می باشد.
 - ۴) شمارش R1, R2, R3, R4 طبق عقربه های ساعت ،و با میکرومتر اندازه گیری می شوند.
 - ۵) جهت رفرنس فرض می کنیم قطب یک در وضعیت up stream باشد که قطب یک را با نماد ▼ نشان می دهند.
 - ۶) نقاط (III) سیم پیانو آویزان شده می باشند.
 - ۷) زاویه θ در جهت خلاف عقربه های ساعت نسبت به محور ایکس قرائت می شود.
- اندازه گیری های گرفته شده طبق جدول ۱ در فرمولهای ۱ و ۲ گذاشته میشود و بهترین مختصات (Best centre) مجموعه سیم پیانوها نسبت به شفت بدست می آید.

اندازه هایی که با میکرومتر میخوانند	X_i	Y_i
R_1	$X_1 = R_1 \cos 90 = 0$	$Y_1 = R_1 \sin 90 = R_1$
R_2	$X_2 = R_2 \cos 0 = R_2$	$Y_2 = R_2 \sin 0 = 0$
R_3	$X_3 = R_3 \cos 270 = 0$	$Y_3 = R_3 \sin 270 = -R_3$
R_4	$X_4 = R_4 \cos 180 = -R_4$	$Y_4 = R_4 \sin 180 = 0$

جدول ۱ فاصله بین شفت و چهار عدد سیم پیانو آویزان اطراف آن

$$X_{BC} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n R_i \cos \theta_i = \left(\frac{R_2 - R_4}{2} \right) \quad \text{فرمول شماره ۱}$$

$$Y_{BC} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n R_i \sin \theta_i = \left(\frac{R_1 - R_3}{2} \right) \quad \text{فرمول شماره ۲}$$

$$A \begin{cases} X_{BC} = \frac{R_2 - R_4}{2} \\ Y_{BC} = \frac{R_1 - R_3}{2} \end{cases} \quad \text{نقطه A با مختصات مرکز مجموعه سیم پیانو ها نسبت به شافت می باشد.}$$

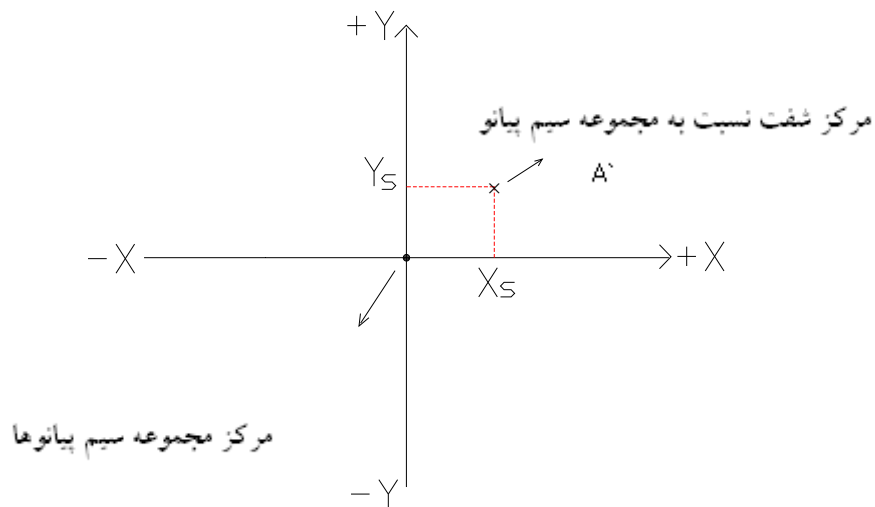
حال فرض میکنم یک مجموعه سیم پیانو دارم که تشکیل یک قطعه می دهند مرکز آن قطعه را نسبت به شافت نقطه (A') را بدست می آوریم .

$$A' \begin{cases} X_{su} = \left(\frac{R_2 - R_4}{2} \right) (-1) \\ Y_{su} = \left(\frac{R_1 - R_3}{2} \right) (-1) \end{cases}$$

- نقطه مذکور BC (Best center) شفت نسبت به مجموعه سیم پیانو (قطعه) می باشد.
فرضیات :

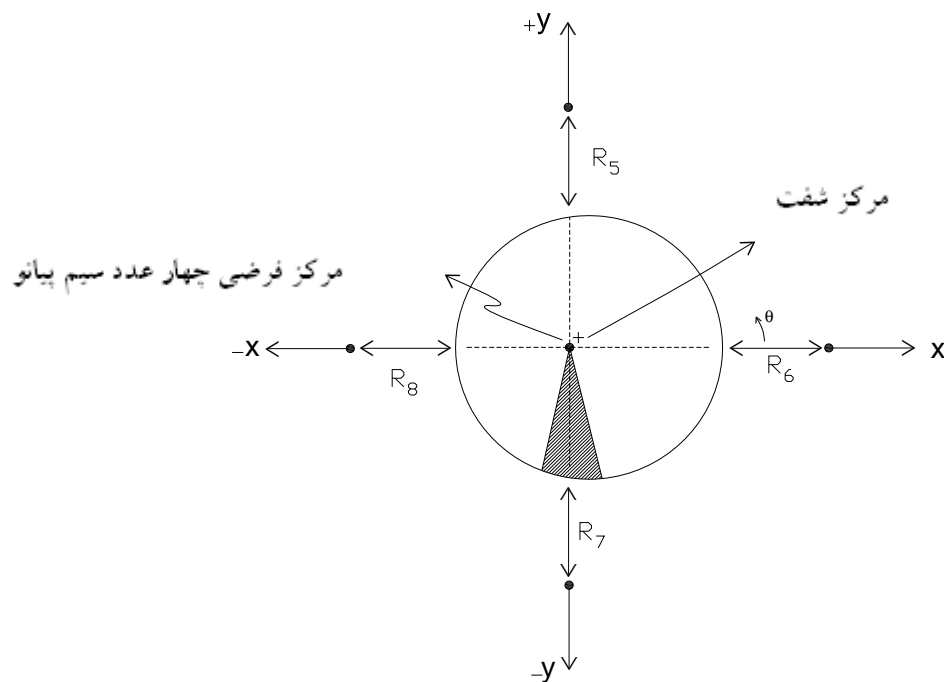
- ۱- وضعیت شفت نسبت به مجموعه سیم پیانو ها در U/P ، یعنی پل ۱ در وضعیت U/P می باشد.
- ۲- مثل اینکه شما روی مجموعه سیم پیانو ها ایستاده اید و نگاه به شافت می کنید حال اگر روی شافت بایستید و نگاه به مجموعه سیم پیانو ها کنید جهت برعکس میشود و در (۱-) ضرب میکنیم.

مختصات مرکز شافت نسبت به مجموعه سیم پیانو در دستگاه مختصات دکارتی مطابق شکل ۶ میباشد.



شکل ۶ مختصات مرکز شافت نسبت به مجموعه سیم پیانو

مرحله دوم شفت را مطابق شکل ۷ ۱۸۰ درجه چرخش می دهیم. که قطب یک در Down strime قرار می گیرد. (D/P) مجدداً فاصله بین شافت و چهار عدد سیم پیانو را در چهار محورهای مختصات با میکرومتر اندازه گیری میشود.

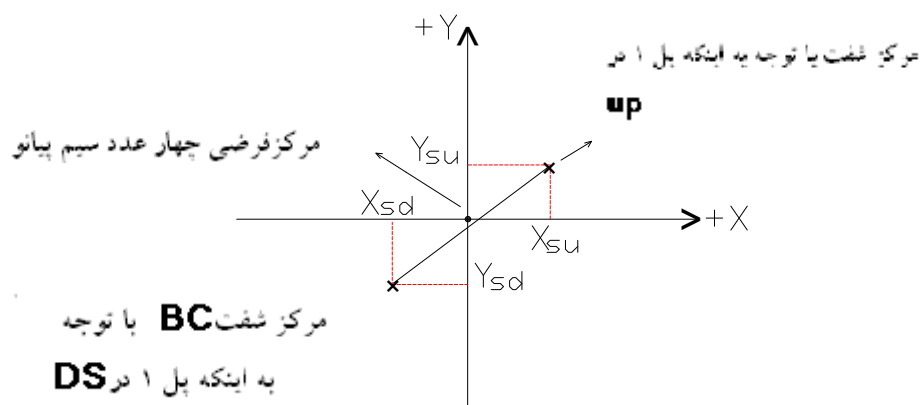


شکل ۷ چرخش شافت برابر ۱۸۰ درجه

مطابق جدول شماره ۱ و فرمولهای شماره ۱ و ۲ و همچنین فرضیات آنها بهترین مرکز شافت نسبت به مجموعه سیم پیانو ها بنام نقطه B` بدست می آید.

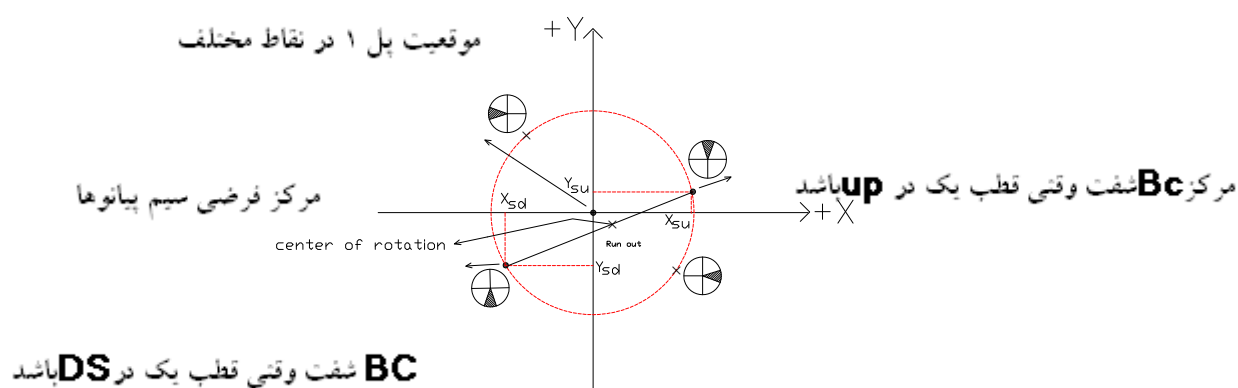
BC شفت نسبت به مجموعه سیم پیانو با توجه به پل ۱ در D/S مطابق شکل ۶ می باشد.

$$B' \begin{cases} X_{SD} = \left(\frac{R_6 - R_8}{2} \right) (-1) \\ Y_{SD} = \left(\frac{R_5 - R_7}{2} \right) (-1) \end{cases}$$



شکل ۸ نقاط A' و B' در دستگاه مختصات

حال اگر دایره ای به قطر A'B' رسم شود شکل شماره ۹ حاصل می گردد



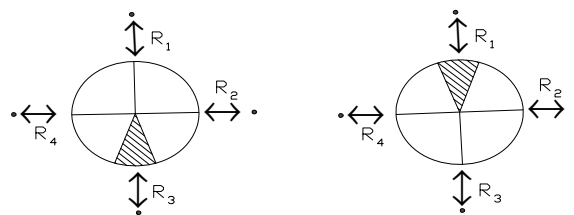
شکل شماره ۹ دایره فوق قطب را در نقاط مختلف نشان میدهد.

از شکل شماره ۹ نتایج زیر حاصل میشود.

- (۱-) قطر این دایره مقدار run out شافت است.
- (۲-) مرکز این خط مرکز چرخش شافت است.
- (۳-) شعاع دایره فوق را خارج از مرکزی (eccentricity) گویند. بنابراین نتیجه گرفته میشود که

$$Runout = 2 \times \varepsilon_{ec} \text{ میباشد}$$

(-) شکل های شماره ۱۰ و ۱۱ بدست آمده بر اساس دو موقعیت شفت، U/POLE و D/POLE بین چهار عدد سیم پیانو می باشد.

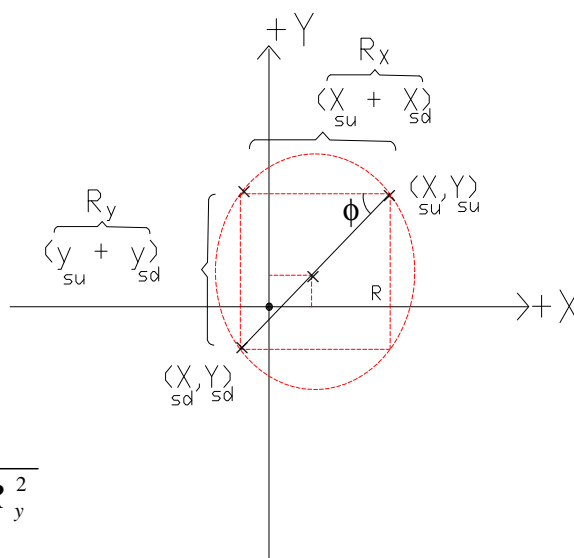


شکل شماره ۱۱

شکل شماره ۱۰

با توجه به شکل شماره ۹ اندازه انحراف محور شافت (run out) برابر قطر دایره می باشد حال سوال اینجاست که جهت انحراف محور شافت در دستگاه مختصات در کدام جهت می باشد. یا بعبارتی جهت (run out) کدام سمت است.

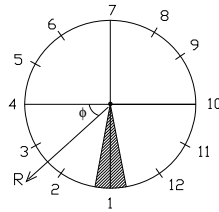
مطابق شکل شماره ۱۲ مقدار انحراف شافت برابر قطر دایره و مقادیر آن برابر $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$



$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

شکل شماره ۱۲

اگر حرکت از u/p به سمت D/S یعنی نقطه A' به B' در نظر گرفته شود جهت Run out به سمت پایین است. مطابق شکل ۱۲ و ۱۳ جهت انحراف شافت (Run out) بین قطب ۲ و ۳ می باشد.



شکل ۱۳ نشان دهنده جهت انحراف شافت

حال که مقدار و جهت انحراف شافت بدست آمده (مطابق شکل ۱۳) روی پیچهای مخالف جهت انحراف شافت (۱۸۰ درجه مخالف جهت آن) عمل کشیدگی (Elongations) به اندازه یک فلت پیچ انجام میدهیم تا میزان انحراف شافت به حداقل ممکن برسد در واحد شماره ۶ نیروگاه شهید عباسپور این انحراف شافت ۰.۳ میلیمتر بود که با سفت کردن پیچ های مخالف جهت ران اوت ، این انحراف به حد قابل قبولی رسید و ارتعاش واحد در رنج مجاز قرار گرفت .

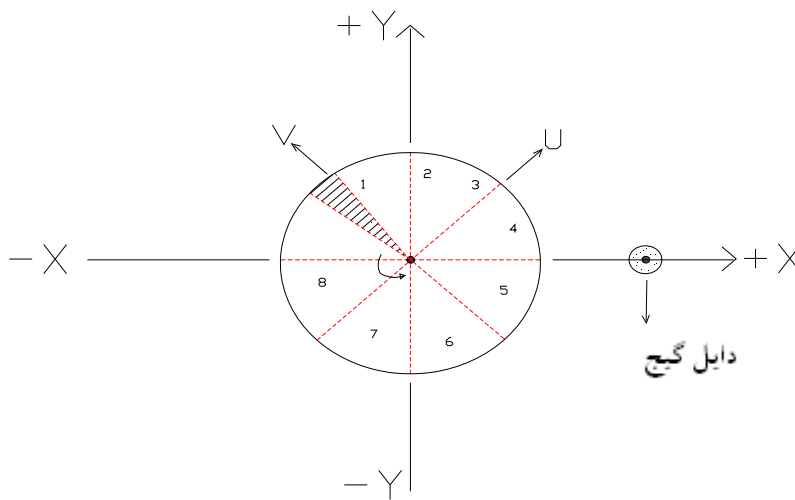
اندازه گیری با دایل گیج

دو دستگاه مختصات در حالت ثابت و دوران شافت تعریف میشوند (مطابق شکل ۱۴)

الف) مختصات دکارتی $x-y$ که ثابت هستند.

ب) مختصات دکارتی $u-v$ که روی شافت تعریف میشوند و با شافت می چرخند (هشت نقطه ثابت که قبلاً روی مقطع شافت بطور مساوی مشخص شده اند) مطابق شکل ۱۴

یک عدد دایل گیج مطابق شکل روی محور ایکس نصب می شود و شافت آرام آرام چرخش داده میشود تا انحراف شافت روی محور ایکس در هشت نقطه فوق مطابق شکل ۱۴ مشخص گردند انحراف شافت در نقاط فوق قرائت هایی هستند که روی دایل گیج خوانده میشود سپس مقادیر خارج از مرکزی شافت روی محورهای مختصات متحرک مطابق جدول شماره ۲ و فرمول های ۳ و ۴ بدست می آید که نهایتاً خارج از مرکز کل از فرمول شماره ۵ حاصل می گردد که این مقدار خارج از مرکزی واحد میباشد حال $run\ out$ واحد از روی خارج از مرکزی بدست می آورند. $run\ out = 2ecc$



شکل ۱۴ نشان دهنده محورهای مختصات ثابت و متحرک و دایل گیج

قرائت‌هایی که روی دایل گیج دارید	R_i	$u_i = R_i \cos \theta_i$	$V_i = R_i \sin \theta_i$
1	R_1	$u_1 = R_1 \cos \theta_1$	$V_1 = R_1 \sin \theta_1$
2	R_2	$u_2 = R_2 \cos \theta_2$	$V_2 = R_2 \sin \theta_2$
3	R_3	.	.
4	R_4	.	.
5	R_5	.	.
6	R_6	.	.
7	R_7	.	.
8	R_8	$u_n = R_n \cos \theta_n$	$V_n = R_n \sin \theta_n$

جدول شماره ۲ مقادیر انحراف شافت در هشت نقطه با توجه به زاویه آنها

$$\varepsilon_u = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n u_n \quad \text{فرمول شماره ۴}$$

$$\varepsilon_v = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n V_n \quad \text{فرمول شماره ۳}$$

$$\varepsilon_{cc} = \sqrt{\varepsilon_u^2 + \varepsilon_v^2} \Rightarrow R/0 = 2\varepsilon_{cc} \Rightarrow R/0 = 2\varepsilon_{cc} = 2\sqrt{\varepsilon_u^2 + \varepsilon_v^2} \quad \text{فرمول شماره ۵}$$

مثال واحد شش) اندازه گیری ران اوت واحد شماره شش با دایل گیج در محل گاید ردینگ دایل گیج

1	-0.08	-0.08cos90	-0.08sin90
2	-0.2	-0.2cos45	-0.2sin45
3	-0.22	-0.22cos0	-0.22sin0
4	-0.15	-0.15cos315	0.15sin315
5	0	0cos270	0 sin270
6	0.08	0.08cos225	0.08 sin225
7	0.1	0.1cos180	0.1sin180
8	0.08	0.08cos135	0.08sin135

$$\varepsilon_{ccu} = -0.17\text{mm}$$

$$\varepsilon_{ccv} = -0.03\text{mm}$$

$$R/0 = 2 \varepsilon_{cc} = 2 \sqrt{\varepsilon_u^2 + \varepsilon_v^2} = 2 \sqrt{(-0.17)^2 + (-0.03)^2} \approx 0.34$$

کاری که جهت اصلاح run out انجام گرفت در جهت برعکس (سمت مقابل) 0.17 و 0.03 حرکت کنند که روی واحد شش الانگیشن پیچ‌های هاب روتور به شافت به اندازه ۶۰ درجه (یک فلت پیچ) با ۶۰۰ بار (پیچ‌های شماره 3, 4, 5, 6, 7) سفت شدند.

نتیجه گیری

در این مقاله روشهای همراستاسازی در شافت‌های عمودی برق آبی بطور خلاصه مرور شده و همراه با تجربه کاری بر روی واحدهای ۶ و ۸ نیروگاه سد شهید عباسپور مورد ارزیابی قرار گرفتند. که مقایسه مقادیر محاسبه شده و اعمال شده و نتایج حاصل پس از انجام و اختلاف آنها در ذیل آورده شده است.

اصلاح	توضیحات	استاندارد	بعد از تعمیر	قبل از تعمیر	
سطح تراست بلوک باید تنظیم گردد.	-	/۰۶	/۰۸۶	/۰۹۸	عمودیت شافت
-	-	در دامنه تفرانس است.	/۰۹	/۱۹	انحراف آپر شافت
-	-	در دامنه تفرانس است.	/۰۴	/۳۱	انحراف شافت توربین
-	-	/۱	/۰۶	/۱۵۲	عدم هم مرکزی محور دوران رانر با هدکاور
-	بدلیل عدم هم مرکزی بین محور هدکاور و باتم رینگ	خارج از دامنه تفرانس است.	/۳۹	/۴۲	عدم هم مرکزی محور دوران رانر با باتم رینگ

اندازه ها بر حسب میلی متر می باشند.

لغات

U/P= UP Streams

D/P = Down Streams

BC = Best centre

$X_{SD} = X_{shaft\ down\ streams}$

مراجع

[1] Alignment Of Vertical Shaft Hydro Units ,Issued 1967 ,Darrell Temple
 ,Revised 1988 ,William Duncan Jr. ,Revised 2000 Roger Cline

[۲] آموزش سوپروایزر خارجی آقای جوزوه فورسینا از شرکت زیمنس هایدرو