

Generación de alarmas con estadísticas:

En un mundo ideal, podría establecer límites de alarma para todos los datos de vibración que recopile y sólo recibiría “excepciones” cuando realmente había un problema, y nunca tendría un problema sin ser advertido. Suena genial, pero para la mayoría de la gente es un objetivo poco realista. En este capítulo aprenderá sobre una manera de establecer los límites de alarma estadísticamente; en esencia, la máquina establece sus propios límites de alarma. Este método utiliza lecturas anteriores para evaluar cómo la máquina vibra normalmente y luego establece límites de alarma en consecuencia.

Después de recopilar una ruta llena de datos de vibración, la tarea en cuestión es revisar los datos y encontrar cualquier máquina que pueda tener problemas. Si ha probado un gran número de máquinas, se requerirá una cantidad significativa de tiempo para mirar cada espectro, comprobar los niveles y patrones, y documentar sus hallazgos. Si nos fijamos en cada espectro, entonces seguramente no se perderá una condición de falla, después de todo, usted recuerda cómo se veían los espectros anteriores, y es muy cuidadoso con su análisis – ¿Correcto?

Pero se necesita mucho trabajo para analizar tantos datos y es fácil cometer errores. Hay muchos detalles en cada espectro; por lo tanto, hay una gran cantidad de información (datos) para estudiar. La gente se cansa; su concentración disminuye. Es humano errar. ¿No podríamos usar la computadora para hacer algo de este trabajo?

La necesidad de alarmas

Las alarmas se pueden utilizar para detectar fallas o para determinar si se cumple con los requisitos o las regulaciones. Las alarmas se pueden configurar en todos los tipos de datos. Una razón para configurar las alarmas entonces es simplemente para ver si una máquina está “OK” o no. En otras palabras, las alarmas actúan como criterios de aceptación o para decimos qué niveles son o no son aceptables.

Un segundo uso para las alarmas es ayudarle a priorizar su trabajo.

Hay algo llamado la regla 80-20 que establece que en una planta típica, el 80% de las máquinas no tienen problemas. Del 20% de las máquinas que sí tienen problemas, sólo el 20% de ellas requieren atención inmediata. Ahora imagine que está probando 1,000 máquinas al mes, con un promedio de 6 ubicaciones de prueba por máquina y 4 pruebas por punto (espectros, forma de onda de tiempo, valor global, demodulación) – que suma 24,000 pruebas por mes. ¿Cómo tendrá alguien tiempo para analizar todos estos datos? Recuerde, estamos monitoreando nuestras máquinas para ahorrar dinero, ¡no crear una enorme carga extra de trabajo!

Usando la regla 80-20, el 20% de las 1,000 máquinas tienen problemas (es decir, 200) y solo el 20% de ellas requieren atención (es decir, 40). El segundo objetivo de establecer alarmas entonces es hacernos saber inmediatamente qué 200 máquinas tienen problemas y luego

señalamos a las 40 máquinas que requieren atención de tal manera que no tengamos que analizar manualmente todos y cada uno de los datos de las otras 960 máquinas.

El problema de las alarmas

Puede ser difícil establecer alarmas en algunos casos y para ser honesto al respecto, se necesita esfuerzo y trabajo - ¡aunque mucho menos trabajo que luego analizar todas las 24,000 pruebas cada mes! Muchas personas dirán que no tienen tiempo para establecer alarmas, pero si se cuestiona un poco más, descubrirá que la razón por la que no tienen tiempo para establecer alarmas es porque están pasando todo su tiempo analizando manualmente los datos!

Otro problema con las alarmas es que si se establecen incorrectamente obtendrá falsos positivos y falsos negativos - en otras palabras, perderá la confianza en sus alarmas. Si usted no puede confiar en sus alarmas, entonces usted todavía sentirá la necesidad de analizar manualmente todos los datos o su programa sólo se irá a la basura. En resumen, para ser útil, las alarmas deben configurarse bien y usted tendrá que aprender a confiar en ellas.

Configuración de límites de alarma

Todos los programas de software de análisis de vibraciones le dan una manera de establecer los límites de alarma, y el software comprobará sus lecturas e informará sobre cualquier excepción. Vamos a describir brevemente cómo se hace esto en un momento, pero la expectativa es que los límites de alarma son buenos, y el método utilizado para comprobar nuevas mediciones es capaz de encontrar fallas sin importar dónde se encuentren en los datos.

Alarmas de banda

Un método comúnmente utilizado se conoce como “alarmas de banda” (también conocidos como “conjuntos de parámetros de análisis”). Originalmente seis bandas eran compatibles con los principales programas de software, pero ahora muchos soportan un número mayor. Cada banda tiene una frecuencia de inicio y fin, y un límite máximo de vibración. En la mayoría de los casos puede tener más de un límite para que tenga una “alerta” y una “alarma”.

De alguna manera usted tiene que decidir cuáles deben ser esos límites. Usted tiene que mirar su máquina, determinar las frecuencias forzadas, y luego establecer las bandas alrededor de esas frecuencias. Por ejemplo, si una bomba tenía 6 paletas, es posible que tengamos una banda que comenzó en 5.8X y terminó en 6.2X.

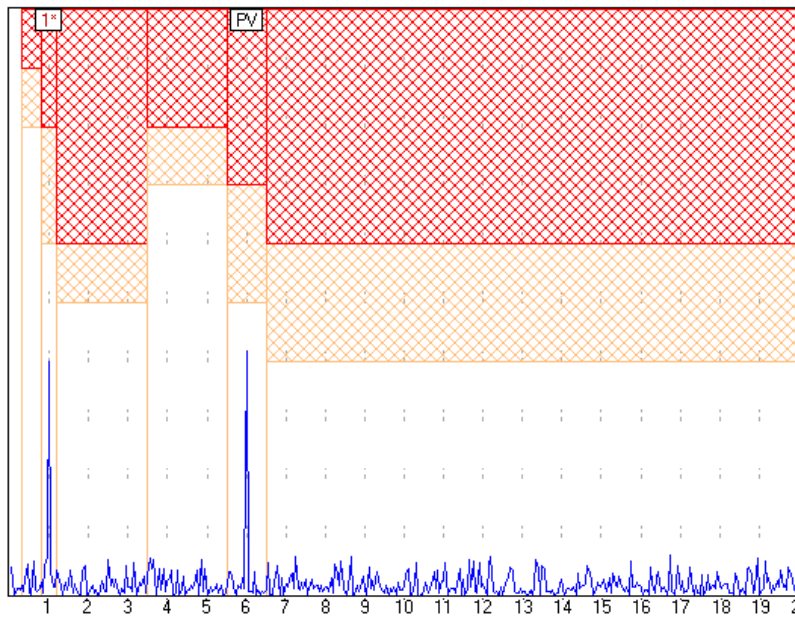


Figura 18-1- Ejemplo de alarmas de banda

Pero como sabemos, las frecuencias individuales no siempre indican un fallo aislado. En su lugar, estamos interesados en armónicos y bandas laterales, por lo que podemos crear bandas que tomen en una gama más amplia de frecuencias: 1X > 10X por ejemplo.

Esto puede ser una tarea tediosa. Usted tiene que hacer esa evaluación para cada punto en cada máquina, y luego introducir la configuración en el software.

Pero el verdadero desafío es saber qué valor introducir para el límite de alarma. ¿El límite es 0.5 mm/seg? ¿Debe utilizar 10 mm/seg? ¿Es 0.2 mm/seg demasiado alto para esta máquina? ¿Es 15 mm/seg demasiado bajo para esa máquina? Si se equivoca, experimentará dos problemas: las máquinas fallarán sin previo aviso y leerá el informe después de que el reporte de excepción se haya llenado de “falsas alarmas”, si, se superó el límite, pero el límite debería haber sido mayor.

Tiene que haber una mejor manera...

Se ha intentado definir límites estándar. La siguiente ilustración proviene de las pautas de pruebas de aceptación de General Motors.

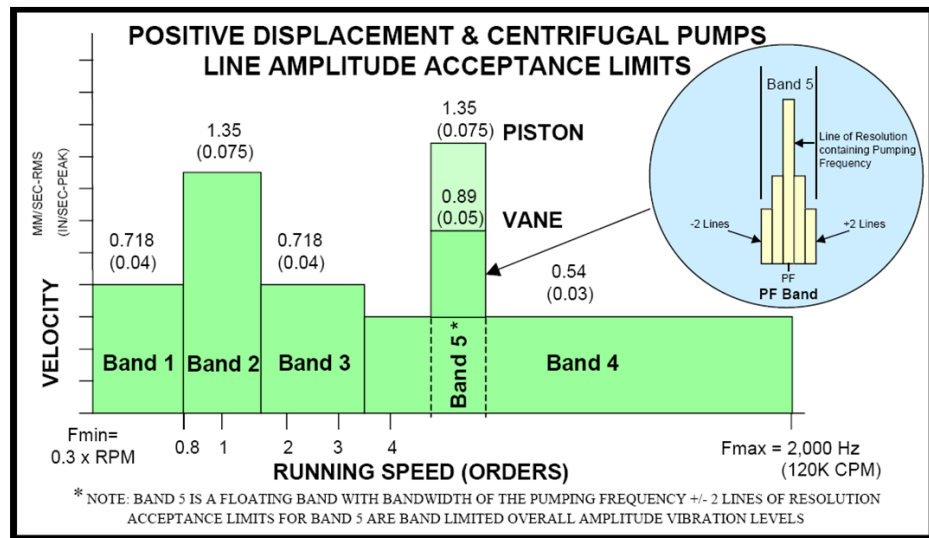


Figura 18-2

En la experiencia de este autor, el uso de límites “predefinidos” no ha tenido éxito. ¿Cómo puede establecer límites para una “bomba” genérica? ¿No es que los límites de vibración dependen de su tamaño, su carga, cómo se monta, dónde se encuentra y mucho más? Incluso dos bombas idénticas pueden tener diferentes patrones de vibración y niveles sin que ninguna de ellas tenga un problema.

Hay una cosa que sabemos sobre el análisis de vibraciones; cambio en los niveles de vibración es un indicador mucho mejor que el nivel absoluto.

Por supuesto, incluso si el límite establecido en la banda era correcto, hay otro problema, que es tal vez el tema para otro papel - el método de banda en sí es defectuoso. Si hacemos la suposición de que sólo hay un pico en la banda, y eso es todo lo que nos interesa, entonces el método de banda simple funcionaría muy bien. Pero si hay bandas laterales, armónicos y picos no sincrónicos, los picos pueden aumentar significativamente en amplitud dentro de una banda sin activar la alarma.

Una solución es calcular el nivel de “potencia” o “RMS” en la banda – una suma de toda la vibración dentro de la banda, y establecer un límite en ese valor. Una vez más, de alguna manera tiene que determinar cuál es ese límite, pero ese es un método más eficaz que establecer un único límite.

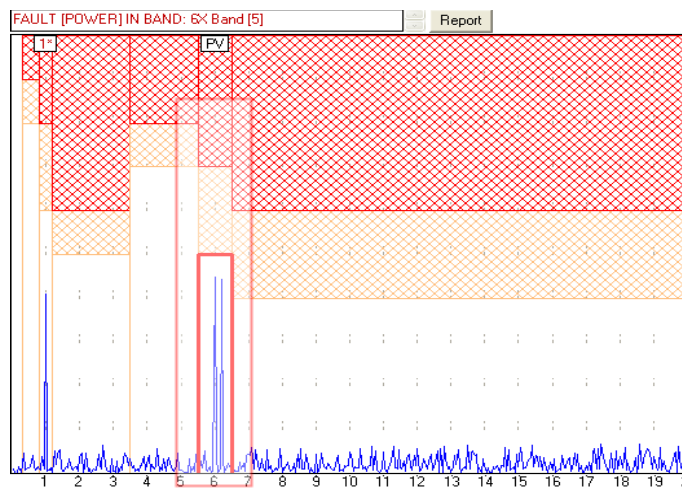


Figura 18-3

Hay que decir que las alarmas de banda tienen otro beneficio: tendencia. Si usted tendencia el pico y los niveles RMS dentro de una banda, se puede ver cómo la vibración está cambiando en su espectro. Esa es una gran herramienta de análisis, y puede ayudar a llamar nuestra atención sobre un fallo que se está desarrollando, pero no es exactamente un método automatizado de detección de fallas.

Alarmas de máscara o envolvente

Hay otro método utilizado por muchos de los sistemas de análisis de vibración conocidos como alarmas de máscara o alarmas de envolvente.

Como se muestra en el ejemplo siguiente, el envolvente es un límite establecido en todas las frecuencias. No hay huecos.

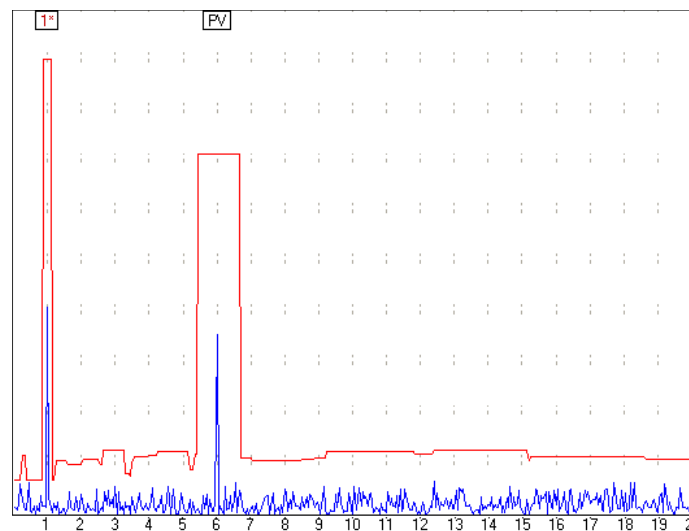


Figura 18-4

El informe de excepción puede simplemente enumerar la frecuencia en la que un pico supera este límite, o puede correlacionar la frecuencia con las frecuencias forzadas conocidas y enumerar el propio nombre “PASO DE ÁLABE DE LA BOMBA”, o incluso intentar indicar la condición de falla.

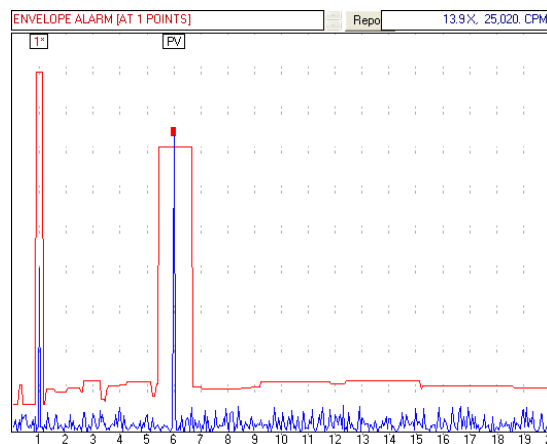


Figura 18-5

Al establecer los límites de envoltura, tenemos una serie de decisiones que tomar, cuáles deben ser los límites de amplitud, si imponemos un límite máximo, si imponemos un límite mínimo, y cuán cerca de los picos debe crearse la envoltura – que afecta a su capacidad para hacer frente a la variación de velocidad – discutido más adelante.

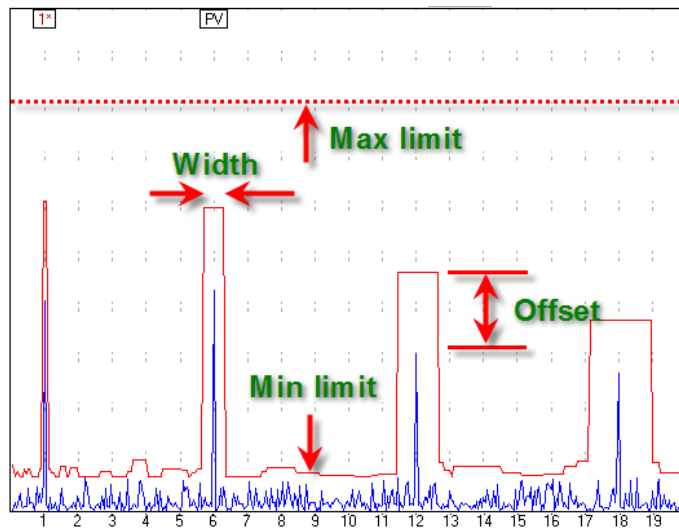


Figura 18-6

Muchos programas de software proporcionan un medio para generar estos límites automáticamente, pero la pregunta clave es; ¿qué referencia se utiliza? ¿Utiliza el software de generación de alarma el espectro de “referencia” o “línea de base”? ¿Utiliza la última lectura tomada, o calcula un espectro basado en un cálculo estadístico que utiliza todas las lecturas anteriores? Ahora exploraremos la posibilidad de usar estadísticas.

Repaso de estadística

A menos que haya completado un título de ingeniería, o que haya estudiado matemáticas a un nivel alto, términos como estadística, varianza y desviación estándar pueden no ser familiares para usted. Así que vamos a ponernos al día sobre lo que significan estos términos, y cómo pueden ayudarnos a establecer límites de alarma.

Las estadísticas se pueden utilizar para indicarnos cuán similar es un conjunto de valores. Por ejemplo, si le pedimos a un grupo de estudiantes de sexto grado que anotaran sus alturas, encontraríamos que habría una altura media con alguna variación; algunos niños son más altos y algunos niños son más bajos. La altura promedio se determina sumando todas las alturas juntas y dividir por el número de estudiantes. En una situación como esa podríamos esperar que habría bastante variación: algunos niños pueden ser bastante altos a esa edad, mientras que otros son todavía bastante bajos. Veamos un ejemplo diferente.

Si quisiéramos comparar el desempeño de tres profesores de matemáticas, podríamos dar a todos los estudiantes de las tres clases la misma prueba. A continuación, podemos sumar todas las puntuaciones en la clase 'A' y dividir por el número de estudiantes, y hacer lo mismo en la clase 'B' y 'C'. Si comparamos los promedios obtenemos un promedio aproximado del

desempeño de cada maestro. El hecho terrible es que en la mayoría de las clases en estos días, el 50% de los estudiantes pueden estar por debajo del promedio ;)

Pero, ¿qué pasa si la clase 'A' tiene tres niños con discapacidades de aprendizaje y tienen un desempeño deficiente en el examen? Arrastrarán la puntuación promedio de la clase hacia abajo. ¿Es eso un verdadero reflejo de la capacidad del maestro? ¿Y si la clase 'B' tiene tres estudiantes brillantes que siempre pasan la prueba con excelente nota? Ellos subirán la media. Pero su desempeño puede no reflejar las habilidades del maestro; tuvo suerte de tener niños inteligentes en la clase. La tercera clase puede tener muchos niños promedio.

Así que el promedio puede no ser una gran medida de las habilidades del maestro (a menos que cada clase tuviera un número muy grande de alumnos, y los maestros tuvieran el control de la clase durante mucho tiempo).

Con el fin de capturar información sobre los altos y bajos de la clase, nos gustaría tener una medida de la “variación” – o “varianza”. La varianza sería alta en la clase 'A', y alta en la clase 'B', pero baja en la clase 'C'. Veremos un ejemplo de esto en breve.

La verdad sea dicha, podríamos usar tal medida en el análisis de vibraciones durante la recopilación de datos. Cuando se recopilan datos espectrales, el analizador mantiene el promedio. Pero no sabe si el analizador promedió una serie de espectros muy similares, o si en ciertas frecuencias había mucha variación, lo que significa que ha reducido la repetitividad y podría tener batido.

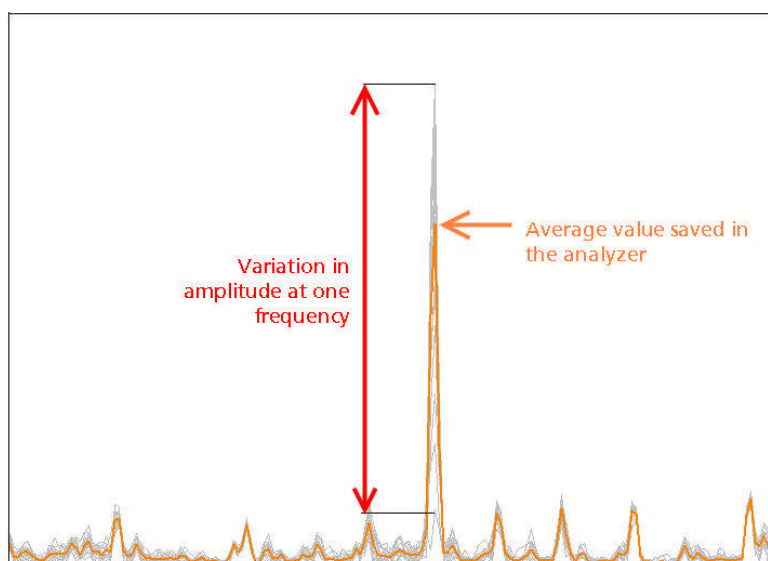


Figura 18-7

Por lo tanto, ya sea que estemos estudiando los puntajes de matemáticas de los niños, las lecturas de vibración o cualquier otra cosa, el valor promedio no cuenta toda la historia. Si

entendimos cuánta varianza hay en los datos, entonces obtenemos una mejor imagen de lo que realmente está pasando.

Echemos un vistazo a cuatro ejemplos. En cada caso tenemos un conjunto de datos que tiene el mismo promedio. Es obvio que los conjuntos de datos son muy diferentes. El promedio (o la media) puede ser el mismo, pero hay una cantidad muy diferente de variación en los datos.

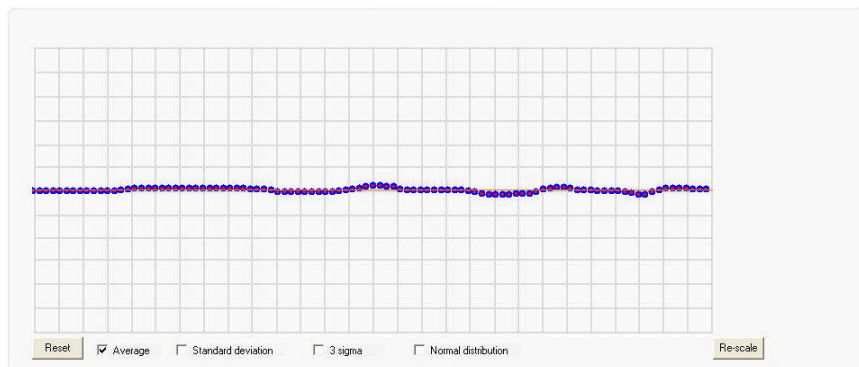


Figura 18-8

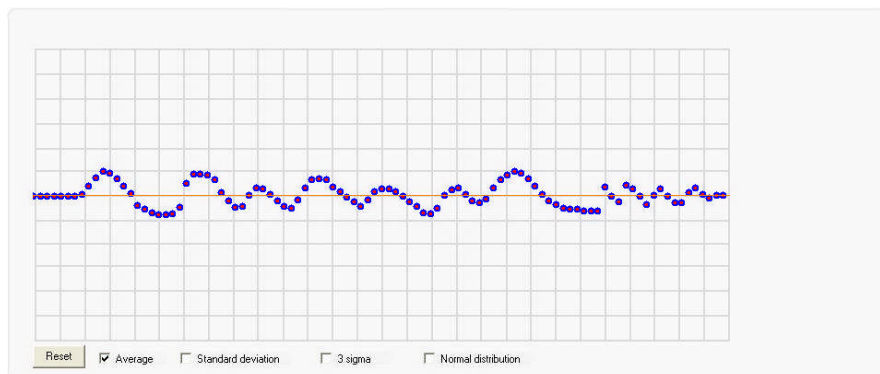


Figura 18-9

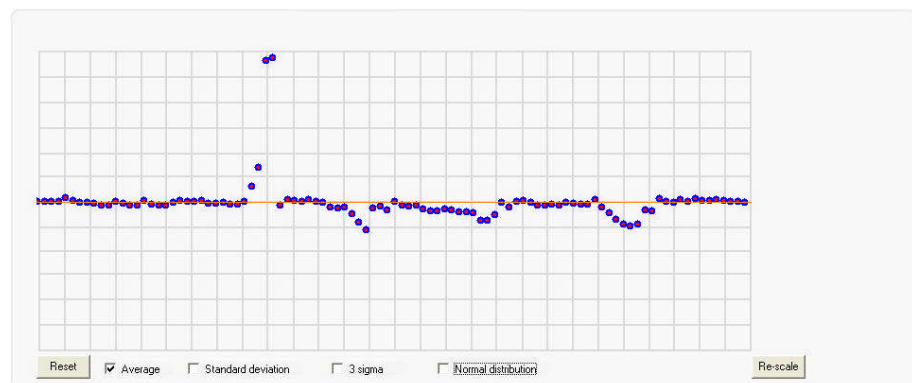


Figura 18-10

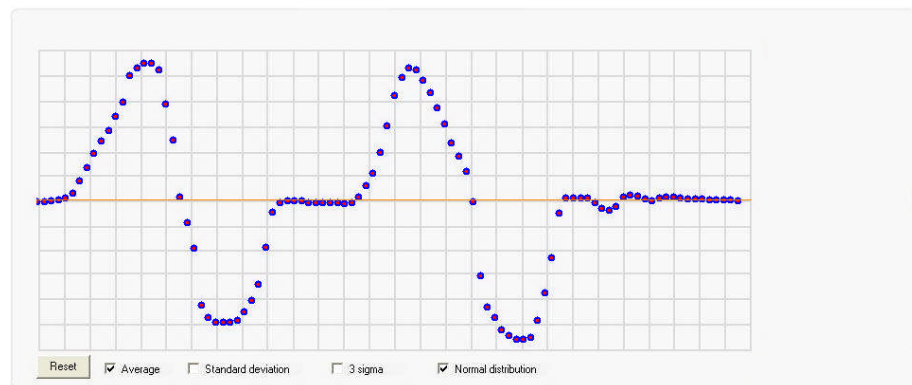


Figura 18-11

Variación

Hay una manera de cuantificar la variación en los datos – se llama desviación. La varianza es el promedio de las diferencias cuadradas entre los puntos de datos y el promedio. Pero no necesitamos explorar esto más a fondo, ya que no lo usaremos.

Sin embargo, el concepto es importante. Si los valores no varían mucho, la varianza será baja, y esperaríamos todas las lecturas sean similares al promedio (ejemplo Figura 18-8). Si la varianza es alta, entonces no podemos esperar lecturas similares al promedio (ejemplo, Figura 18-11).

Desviación estándar

La desviación estándar mide la dispersión de los datos sobre el valor promedio. La desviación estándar se denota generalmente con la letra σ (sigma en minúscula). Se define como la raíz cuadrada de la varianza; por lo tanto, se mide en las mismas unidades que los datos (y el promedio).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

(N es el número de muestras o lecturas, x_i representa la muestra número “i” y “ \bar{x} ” es el valor promedio)

No necesitamos mirar de cerca las fórmulas utilizadas para calcular la desviación estándar, pero hay algunos hechos muy interesantes que son importantes.

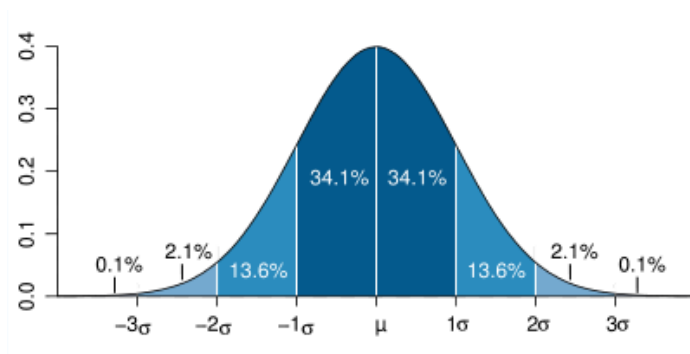


Figura 18-12

La curva que se ve arriba es la curva de “distribución de probabilidad”, suponiendo que los datos se distribuyen normalmente. Muestra la “distribución de probabilidad” de los datos. Si calculamos el valor medio de un conjunto de lecturas, y calculamos la desviación estándar, entonces podemos decir que hay una probabilidad del 68.2% de que cualquier lectura futura caiga dentro de la media más o menos la desviación estándar (es decir, $\mu \pm 1\sigma$). También podemos decir que hay una probabilidad del 95.4% de que cualquier lectura futura caiga dentro de la media más o menos 2x la desviación estándar (es decir, $\mu \pm 2\sigma$). Y podemos decir que hay una probabilidad del 99.6% de que cualquier lectura futura caiga dentro de la media más o menos 3x la desviación estándar (es decir, $\mu \pm 3\sigma$).

Así que echemos un vistazo a nuestros cuatro conjuntos de datos, pero vamos a superponer las líneas de $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$ y $\pm 3\sigma$, y mostraremos la curva de distribución de probabilidad.

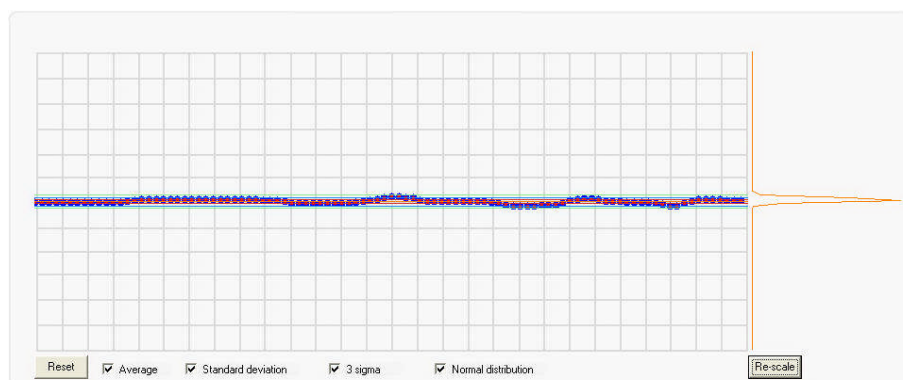


Figura 18-13

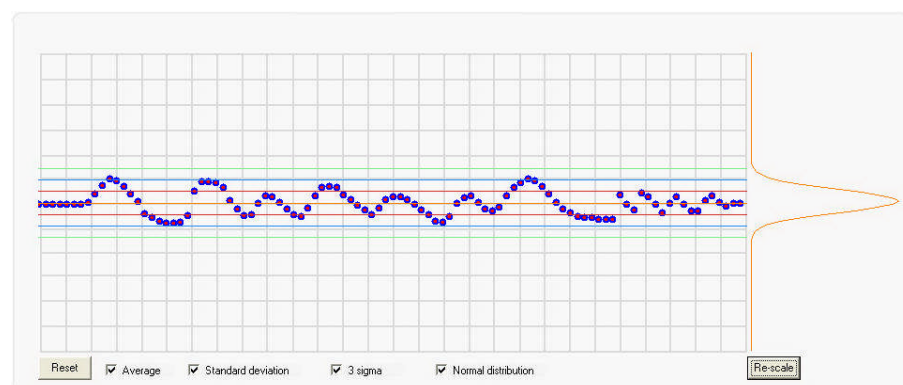


Figura 18-14



Figura 18-15

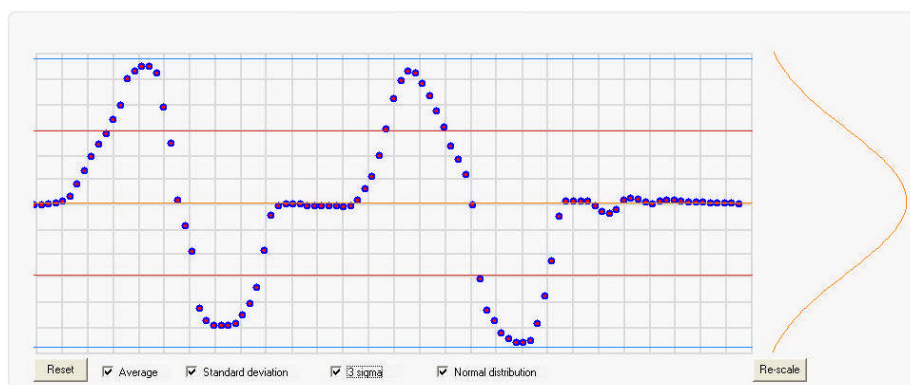


Figura 18-16

Observe cómo en el primer conjunto de datos la curva es muy apretada, y apenas se pueden ver las líneas sigma – la probabilidad de que la siguiente lectura sea muy cercana al valor medio es alta. Mientras que con cada conjunto de datos la curva cambia y las líneas sigma se separan aún más.

Uso de estadísticas para establecer límites de alarma

Bien, ¿qué tiene que ver todo esto con la configuración de límites de alarma? Bueno, si mira un conjunto de diez espectros desde un punto de una máquina (tomado con un mes de diferencia) y ve que las amplitudes en cada frecuencia en el espectro eran las mismas (todas dentro del 1% de variación), entonces esperaríamos que el undécimo espectro también fuera similar. Si fuera un 10% más alto en amplitud en cualquier frecuencia, entonces consideraríamos que es inusual, y como analista nos gustaría ser advertido de que esto ha sucedido.

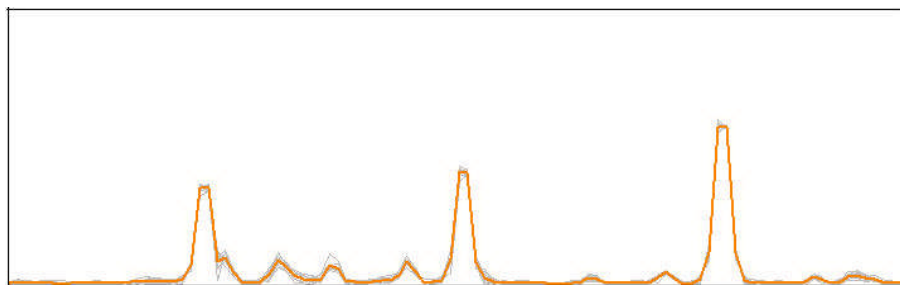


Figura 18-17 Zoom de los tres picos en el espectro – la gráfica gris representa las mediciones anteriores y la naranja el promedio

Veamos un ejemplo diferente. Si volviéramos a mirar diez espectros tomados de un punto de una máquina, pero esta vez descubrimos que los niveles de amplitud en cada frecuencia variaban en un 10% entonces esperaríamos que el undécimo espectro también variara hasta en un 10%

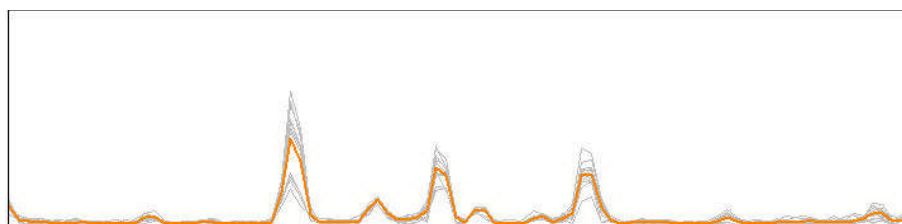


Figura 18-18 Zoom de los tres picos en el espectro – los datos grises representan las lecturas pasadas y los naranjas el promedio

Podemos usar esto para establecer límites de alarma, y podemos potencialmente hacerlo automáticamente en el software. El software puede analizar el historial de mediciones, y comparar todas las amplitudes, línea por línea, espectro por espectro, punto por punto. Puede calcular el promedio en cada frecuencia y determinar la cantidad de variación (es decir, la desviación estándar). A continuación, puede establecer el límite de alarma basado en el promedio, más sigma (o dos sigma) más un espaciamiento adicional si desea ser advertido sólo cuando la variación es aún mayor.

Sólo para aclarar, sólo calculamos la desviación promedio y estándar utilizando datos desde el mismo punto en la máquina.

Debe comprobar las capacidades de su software. El autor tiene experiencia personal utilizando promedio más 2 sigma (es decir, $\pm 2\sigma$) como referencia, y luego agregando offsets a ese espectro calculado para los valores de alarma y alerta. Mediante el uso de promedio más 2 sigma, usted 'cree' hay un 95% de probabilidad de que las lecturas futuras deben estar por debajo de este límite. Echemos un vistazo a estos dos ejemplos de nuevo para ver cómo se vería el límite de promedio más 2 sigma.

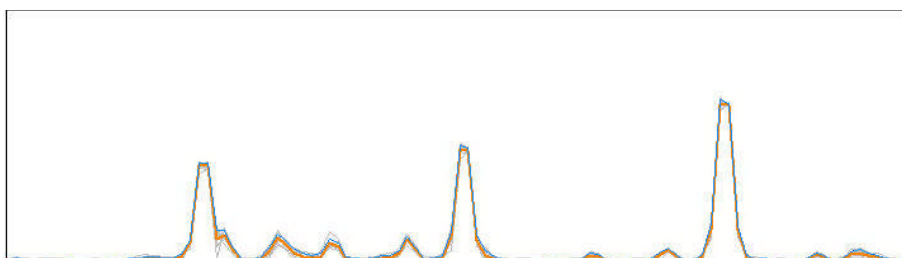


Figura 18-19 Gris son datos normales, naranja promedio, y azul es promedio + 2 sigma

Hay tan poca variación en los datos que es difícil ver la diferencia entre las líneas de los datos, el promedio y el promedio más dos sigma.

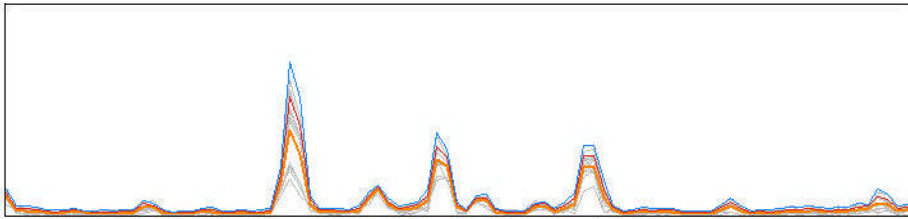


Figura 18-20 Gris son datos normales, naranja es promedio, rojo es promedio + sigma, y azul es promedio + 2x sigma

En el segundo conjunto de datos, el promedio más dos datos sigma está por encima de todos los datos medidos (en este ejemplo). Si usamos este espectro para establecer los límites de alarma, entonces podríamos estar seguros de que sólo los datos “inusuales” superarían los datos.

¿Adivina qué? Los datos mostrados en los dos últimos ejemplos son en realidad de dos secciones del mismo espectro: un grupo de picos varió muy poco, mientras que otra parte del mismo espectro varió bastante. Por lo tanto, las estadísticas se pueden utilizar para proteger diferentes partes del espectro de diferentes maneras, todas con el mismo efecto, determinar lo que es normal y establecer límites de alarma en consecuencia.

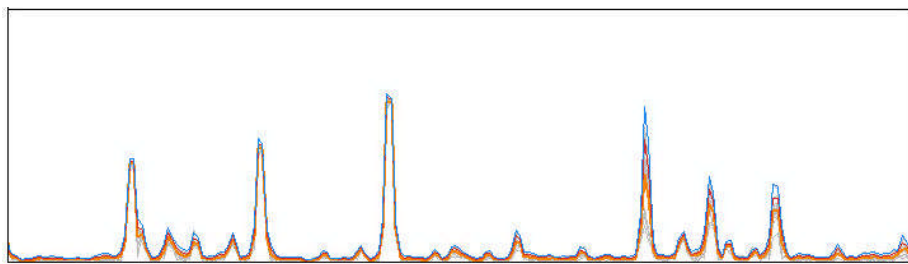


Figura 18-21 Gris son datos normales, naranja es promedio, rojo es promedio + sigma, y azul es promedio + 2x sigma

Calidad de los datos

Cuando usamos este método para generar las alarmas, es importante utilizar sólo datos “buenos”. Si los espectros se recopilaron cuando existía una condición de fallo, o los datos se tomaron incorrectamente, o las condiciones de prueba eran incorrectas, entonces los datos no deben utilizarse. Estamos tratando de aprender cómo la máquina normalmente vibra para que podamos ser advertidos cuando ya no vibra normalmente. Por lo tanto, los datos utilizados en el cálculo deben representar la operación normal de la máquina.

Normalización: Tratando con la variación de velocidad

Hay otro problema al usar este método: ¿qué pasa si la velocidad varía de un espectro a otro? Desafortunadamente, la velocidad cambiará, aunque sólo sea un poco. Cuando se trata de

máquinas de velocidad variable, el desafío es mucho mayor porque la carga puede cambiar, se excitan diferentes resonancias y porque los picos no se alinean en absoluto.

Algunos paquetes de software proporcionan opciones para 'normalizar' espectros. La normalización garantiza que todos los picos 1X se alineen, y los picos 2X se alineen, etc. así que estamos comparando manzanas con manzanas. Es posible que deba introducir la velocidad de la máquina (o la velocidad del papel/correa/rollo), o utilizar un tacómetro mientras recopila los datos.

Otra forma de utilizar las estadísticas es aplicarlo a bandas de vibración (es decir, las bandas de alarma descritas anteriormente) en lugar de a picos individuales en el espectro.

Conclusión

Las estadísticas pueden ser una herramienta poderosa por varias razones:

1. Los límites de alarma se pueden ajustar automáticamente (dependiendo de su software), lo que le ahorra una enorme cantidad de tiempo.
2. Los límites de alarma se personalizan para cada máquina, en efecto, sus máquinas están estableciendo sus propios límites.
3. Los informes de alarma deben ser mucho más eficaces – sólo debe ser advertido cuando una máquina ha cambiado de lo que es normal.

Si elige los datos cuidadosamente, puede generar un conjunto de límites que le ahorrarán tiempo, reducir la posibilidad de pasar por alto una condición de falla y le permitirá centrarse en las máquinas que más atención necesitan.

Puntos clave

- F0 E1** El analista de Categoría III es responsable de configurar y administrar los programas de vibraciones
 - o Esto incluye la configuración de criterios para las alarmas
 - o Incluye asegurarse de que el programa se ejecuta de manera eficiente
 - o Las alarmas estadísticas son una buena solución para ambas
- F0 E1** También puede ser personalmente responsable de seleccionar un sistema de monitoreo o paquete de software por lo que usted debe entender las capacidades de dichos sistemas para ver si van a satisfacer sus necesidades.
 - o Usted debe entender cómo funcionan las diversas alarmas (máscaras, bandas, etc.)