

We keep your drive running!



Application Note

Condition Monitoring on Wind Turbines

风力发电机组状态监测

by Dr.-Ing. Rainer Wirth



目录

- 摘要 3
- 1 状态监测历史 4
- 2 传动部件损坏 5
- 3 为何测量振动? 7
- 4 参数监视 8
- 5 频率选择性监视 8
- 6 阶次分析 10
- 7 在线还是离线? 12
- 8 自动化诊断 13
- 9 在线状态监测系统的安装和配置 15
- 10 Peakalyzer 操作原理 15
- 11 监控服务 17
- 12 PeakStore5 离线诊断 17
- 13 振动诊断服务 19
- 14 视频内窥镜 19
- 15 基础监测 20
- 16 叶片轴承诊断 21
- 17 集成化状态监测 22
- 18 结论 23
- 参考 23

摘要

风力发电机组具有很高的可靠性和可用性要求。在使用风能的初始阶段，传动部件故障率较低。但是，随着工厂规模的增加，传动功率和齿轮箱的功率密度也随之增加。此外，风力发电机安装在特定位置并具有特殊运行条件。结果，与其他行业相比，风力发电机组的传动系统受到的损坏更为频繁。

确保必要的可用性的有效手段是引入预测性维护。这需要用于确定传动部件损坏状态的工具。对于机械传动，振动诊断已成为实现该任务的有效方法。如今，状态监测已成为风能行业不可或缺的一部分。



图 1：风力发电机组

1 状态监测历史

有一些人能听到或感觉到机器上的异常现象，并以惊人的精确度预测不断增长的损坏。但是，这不仅需要丰富的经验，而且在关键的运行情况下，您必须离机器很近。后者对于风力发电机组几乎是不可想象的。

自 1960 年代以来，在测量仪器的帮助下，基于振动的状态监测开始应用于机械传动。最初，仅采用每月或每周离线测量的参数。假定特征值代表传动的运行状态和发生的损坏。通常，仅将特征值的增加用作趋势监视期间异常的指标。

在七十年代和八十年代，人们努力将机器诊断开发为实用产品并在工业上使用。为此，还检查了所测信号的频率。测得的振动频率与容易计算出的损坏频率的匹配提供了相关不规则性的详细说明。

从今天的角度来看，这个时代的系统的特征是可视化期间数据质量不足和分辨率不足。这是由于当时计算机技术的状态决定的。

顺便说一下，当时也有尝试使用高频振动来诊断机械传动。通过关键字“噪声排放分析”可以找到许多研究方法。

在九十年代，计算机技术领域经历了快速的发展。这也对机器诊断产生了很大影响。从而可以以高分辨率记录和处理长时间的记录。机器诊断变得更加灵敏和更加精确，并带来了更高的诊断可靠性。



图 2: Vibration meter type 11000
from manufacturer VEB RFT
Messelektronik Dresden with
accelerometer KD 35, photo from the
1970s. [1]

同样在 1990 年代，远程诊断领域首次出现了成功的实用方法。数字电话和快速数据网络开辟了全新的可能性-这种发展今天似乎还在继续。现在，只要设置了自动测量值解释功能，就可以进行连续的在线监视。

2 传动部件损坏

尽管我们要求传动对于人和机器的可用性、可靠性和安全性，但是我们同时施加了一系列可能导致偏离正常运行或外部的影响（例如邻近系统）。这些影响的结果是破坏机制起作用。磨损、疲劳、腐蚀和老化是应力的结果。过载会导致突然的材料失效，例如开裂或断裂。

磨损是由于与另一种固体、液体或气态物体或织物的摩擦接触而从固体表层逐渐损失材料的过程。从最广泛的意义上讲，滚动轴承中出现的污点也是磨损。

另一方面，疲劳是指在一定的机械、热力以及化学应力条件作用下，两个受力约束的表面在有或无滑动的情况下滚动时，由于表面下的裂纹，裂纹的扩展和残留的断裂而导致的微观和宏观颗粒与表面的分离。发灰也是疲劳的一部分。

腐蚀是在一定环境下，由于表面或内部材料结构中的电化学或化学反应引起的材料变化。当活性反应与其他机械应力或热应力叠加时，会发生混合形式的腐蚀机械或耐腐蚀过程，从而导致材料发生进一步的典型变化。



图 3：齿面磨损 [2]



图 4：滚动轴承疲劳损坏

另一方面，老化是在时间影响下使用价值的降低。热应力对于老化影响极大。对于机械部件，正确使用时，老化起着次要作用。但是，润滑剂容易老化。

白点蚀裂纹（也称为白点蚀区域、白色结构剥落或脆性剥落）是鲜为人知的损坏机制。其特征是白点蚀结构的变化，在滚动轴承运行轨迹下方碳化。当前有许多关于该主题的研究项目。正式地，它可能被分类为老化。

严格来说，静止标记是两种损坏机制的组合。当传动停止时，外部引入的外力会导致机械组件之间的微小运动。最初仍然存在的润滑剂层一旦移位，就会产生金属接触和摩擦并导致磨损。



图 5：轴上的材料破裂 [2]

磨损产物积聚在接触表面的边缘将导致腐蚀。腐蚀产物通常非常坚硬，将可能引发二次破坏过程。

裂纹和破裂以及滚动轴承轨道中的压痕通常是由于过度的应力引起的损坏。

所有损坏机制都会导致振动，从而构成了机器诊断的基础。后面将讨论机器监测的物理量以及程度评估。

3 为何测量振动？

状态监测建议了很多不同的测量和分析方法。实际上，出于早期诊断目的，对机械传动的诊断通常仅限于振动分析。这是因为振动包含了大量信息，特别是有关机械现象的信息。振动能很好地传播，并且易于测量和解释。

让我们假设轴承外圈的滚道异常，例如点蚀损坏。所有滚动体通过损坏点。因此经过的每个滚动体都会像有人用锤子敲打外圈一样产生撞击。频率，即每秒产生冲击的次数，由滚动轴承运动学确定，运动条件由部件尺寸决定。

现在，每次撞击或多或少都会震动周围的机器结构。这些振动在材料中很好地传播，并且也可以在一定距离处可靠地测量。

在工业齿轮箱中，齿啮合振动是正常的普遍现象之一。但是，如果齿受损，则振动图像会改变。齿啮合振动通过损坏的齿轮的扭转振动进行振幅调制。边带在信号频谱中产生。而且该频率可用于精确识别受影响的齿轮。

通常使用压电加速度计进行测量。这些传感器精度足够高，并且覆盖很大的测量范围。此外，它们坚固、易于安装且价格便宜。最长 100 米的电缆绝对没有问题。当然也可以选择直接检测旋转轴运动的传感器。

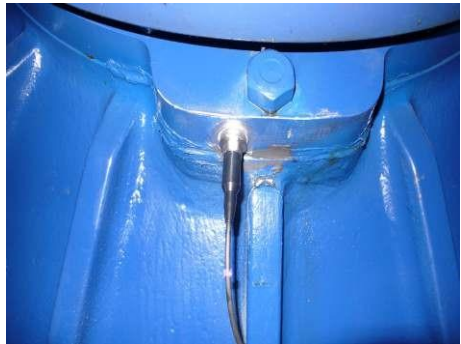


图 6：齿轮箱上的加速度传感器，拧紧在胶粘的安装基座上

4 参数监视

自上世纪中叶以来，基于参数的机器状态描述已经很普遍。其中最知名的应用是现已撤销的 VDI-指南 2056。其中振动速度的有效值用来描述旋转机械对基础的影响。VDI-指南 3834 适用于风力发电机组。现在，这两个指南已进入 DIN ISO 10816 系列标准中。

另外，关注振动加速度的有效值。高频现象更加清晰可见。滚动轴承不规则引起的影响以振动加速度的峰值表示。

此外，还有许多特殊的诊断功能，主要用于轴承诊断，例如波峰因数 $K(t)$ ，峰度，SPM，峰值能量，BCU，SEE 等。

参数的监视快速响应，并且不需要了解传动的运动学。但是，诊断深度和可靠性受到限制。取决于传动的复杂程度，通常无法明确确定损坏的类型和位置。

5 频率选择性监视

更有意义的是对振动进行频率选择性监视。传动中的所有部件，无论它们是由于正常运行还是由于不规则运转，都具有一定的频率，该频率通常可以计算得出，因此是已知的。两种不同现象具有相同的频率并且不能彼此区分的情况是极少的。即使这样，也可以比较不同测量位置的振动幅度。

运动频率是轴的旋转频率，它是由任何已知的旋转速度（通常是驱动速度）以及各个传动级的传动比得出的。对于齿轮级，还需要齿轮啮合频率，而对于行星齿轮，还需要太阳，行星和齿圈上的滚动频率。对于滚动轴承，根据已知的几何滚动轴承数据计算内圈、外圈和滚动体的通过频率，以及保持架旋转频率，或者从滚动轴承厂商获取这些数据。也有部分可在门户网站上取得。

分析工具是特征函数，即用于分析高能正弦振动的频谱以及用于分析冲击脉冲振动事件的包络频谱。正弦激励包括轴不平衡，不对中和不规则。频谱可以直接从测量信号中形成。也许您将首先执行数据提取。

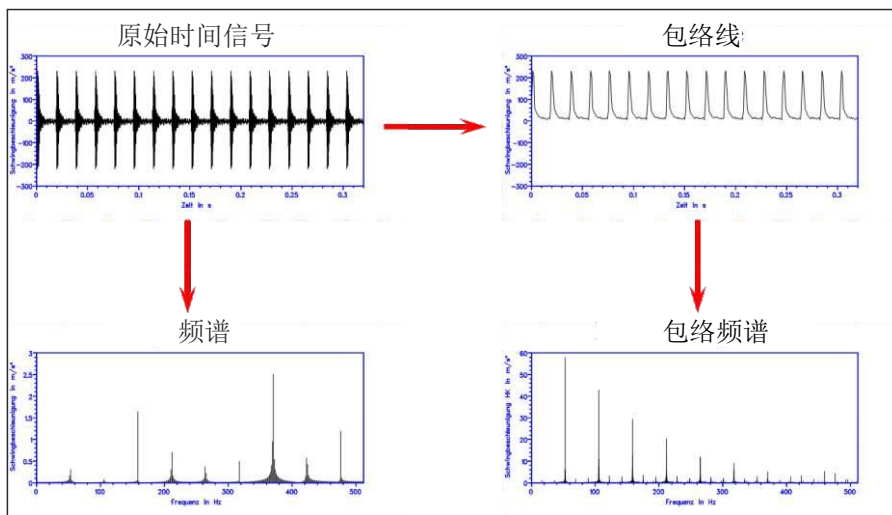


图 7: 频谱和包络频谱的形成

另一方面，即使是最轻微的滚动轴承损坏、轴承座问题和轨道损坏，也会导致冲击脉冲。从广泛的意义上讲，脉冲是一个振幅值仅在非常短的时期内明显非零的过程。脉冲几乎完全通过卷积而被引导远离激振部位。周围的结构被激发以其固有频率振荡。它们被引导至机器表面并因此被引导至传感器。可以用一个钟声来想象。如果每秒敲击两次，它不会以2赫兹的频率振荡，而是以固有频率振荡。无论如何，我们听不到2赫兹的振动。

因此，每个脉冲导致振荡系统机械的反应。如果直接对该信号进行频谱分析，则可以找到系统的固有频率。但是为了使原始事件即冲击序列可见，建议形成包络曲线并且计算出包络频谱。

包络分析是区分谐波激励和冲击激励的有效工具。在包络频谱中，清晰显示了冲击脉冲的重复频率。在滚动轴承损坏的情况下，该频率对应于运动学频率。

现在，我们可以非常精细地分析振动。将测得的运动频率与计算出的运动频率进行比较，可以发现哪个传动部件损坏。通常通过运动频率得出各个原因的结论是明确的。因此可以精确确定损坏的类型和位置。

频率选择性监视需要一定数量的数据，因此必定需要一定的时间延迟。需要传动的运动学相关知识以及一定程度的诊断知识，这取决于各个系统的自动化程度。

6 阶次分析

频率分析基于时间同步测量数据。这对于恒速传动来说已经足够了。然而，由于运动产生的振动不是以时间同步方式产生的，而是以旋转速度同步方式产生的，在变速传动上的频率分析会导致频谱在部分谱线上的扩散。这成为了频谱解释的一个障碍。

25年前，这种情况没有现在那么严重。那个时候的传动通常是恒定转速。而频谱是由相对较少的谱线组成的，因此速度波动在少数谱线上产生扩散。无论如何，诊断慢速运转的机器是非常困难的。如今，频谱是高分辨率的，可达32,768或更多。即使是非常小的转速偏差，也会导致振动的能量分布在众多的谱线上，以至于几乎不可能清楚地探测振动。

解决方案是阶次分析。振动不是时间同步采集的，而是旋转同步采集。这种信号形成的频谱称为阶次谱或包络阶次谱。相对于参考转速的即为阶次1。

实际上，常用的方法是以时间同步的方式采集振动，同时存储相应时间的转速。根据记录的速度曲线，对振动信号进行重采样。

该图显示了从0到2p的旋转角度以及一个旋转同步振动信号。现在，基于旋转角度信号重新计算振动信号，实际上在时间方向上拉伸或压缩了振动信号，因此最终产生了旋转角度同步信号。这构成了频谱的基础。

包络阶次谱的形成方法与之类似。在此过程之前必须先计算包络线。

转速或旋转脉冲通过感应传感器来检测的，例如，通过传感器或反射标记检测离合器的螺栓。为了尽可能精确地检测速度变化，应该测量传动高速轴的速度。对于风力发电机组来说，每旋转一圈一个脉冲就足够了。

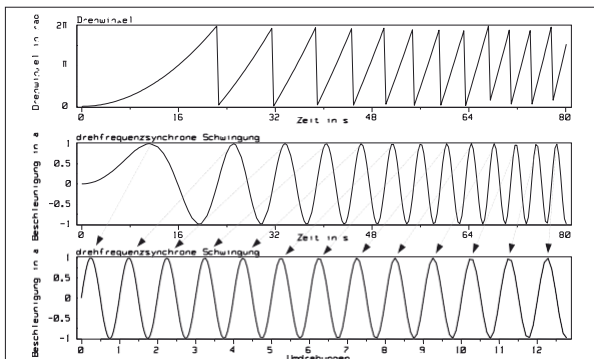


图 8: 旋转频率同步振动，基于时间和旋转角度

在这个过程中，除了频谱和包络频谱外，还产生了阶次谱和包络阶次谱。因此，时间同步和旋转同步现象都可以得到可靠的诊断。

图 9 和图 10 中的例子来源于一台风力发电机组。在阶次谱中，你可以看到齿啮合频率的边带。这可能是局部齿损伤的迹象。这在频谱上几乎是不可能的。

这是由于数据采集期间的速度变化了量大约0.7%。

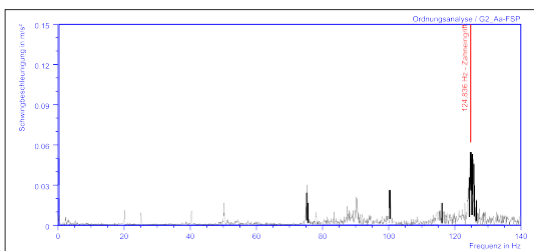


图 9: 频谱

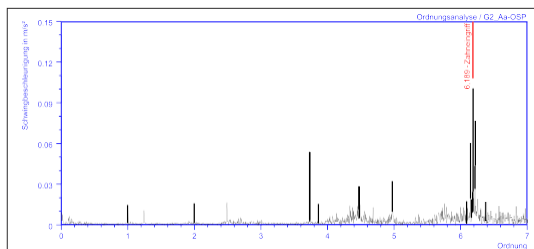


图 10: 阶次谱

7 在线还是离线？

在实际应用中有两种方法用于振动监测。其中之一是使用移动测量技术（离线系统），可以定期检查风力发电机组，在这种情况下，他们可以记录振动数据，然后在办公室进行分析。应该注意的是，这种方法是在典型的工作条件下和温度下进行的测量。

当然，离线诊断的结果仅代表测量期间的情况。不记录两次测量之间的状态。由于振动诊断可以在非常早的阶段（通常可在必要更换的几个月之前）检测到传动系统的损坏，因此这种局限性通常不太严重。但是迅速发展的损坏会被忽略。

为了进行离线数据采集，必须首先停止风力发电机组。然后将传感器安装到齿轮箱、发电机和主轴承上。GfM 通常使用典型的工业加速度传感器，其灵敏度为 100 mV/g，但对于主轴承，传感器的灵敏度更高，即 500 mV/g。根据传动链的类型，安装 8 到 12 个加速度传感器。离线测量的传感器配合高性能磁座，可确保高达 100 kHz 良好频率的测量。此外，还需要安装转速传感器。对于离线测量，一个光学传感器就足够了，该光学传感器借助先前附加在快速轴上的反射标记检测每转中的脉冲。

在实际测量之前，必须将风力发电机组投入运行，并且必须等待稳定的运行状态。现在，实际测量以每个通道 50 kHz 左右的频率进行。测量 60 秒，如有必要，可以设置更长的测量时间。进行重复测量以防止数据缺失。

出于安全原因，在风力发电机组运行期间，机舱中通常没有人员。可以使用智能手机通过 WLAN 控制 GfM 的 PeakStore5 进行数据采集。

测量结束之后，必须再次停止风力发电机组，并且拆除离线诊断系统。

测量数据的分析可以直接在现场进行。从预防错误的角度来看，我们更倾向在办公室中执行此工作。该工作可以由测量人员在测量后立即进行。PeakStore5 也可以将数据直接发送到 FTP 服务器。如果选择这种方式，则可以在几个小时内获得结果。这对于需要在振动诊断后立即进行视频内窥镜检查的情况特别有意义。

在线状态监测系统永久安装在传动上并全天候运行。每隔几分钟执行一次振动诊断并立即进行评估。这使得在所有可能的机器状态下都进行了大量测量和诊断。

加速度传感器是相同的。但是，这些通常永久固定在传动系统上。将带有通孔的钢座粘在机器上。传感器拧紧在上面。感应传感器用于检测转速。必须将其紧密安装在快速轴附近，例如联轴器的螺钉。

GfM 的在线状态监测系统 Peakalyzer 基于测量数据的阶次谱执行频率选择性分析。更多细节将在下一部分中展开。

8 自动化诊断

振动分析比机器诊断的频谱生成要复杂得多。在温度、压力、力或扭矩作用下，通常定义极限值用于验证，这些极限值可以从材料特性或几何参数计算得出。在机器诊断的框架内设置振动幅度的极限要复杂得多，甚至是不可能的。无法在频谱或包络频谱中的峰值与机械可确定的损伤程度之间建立一般的相关性。仅在具有可靠经验值的传动上并孤立的情况下才有可能。

另一方面，用于监视每个状态监测系统的所需工作量必须很小。否则，不值得使用状态监测。很难想象每天要在频谱中搜索几个小时来发现异常。

为了广泛使用状态监测系统，必须使机器诊断尽可能自动化。对于频率选择性机器诊断，当今采用不同的自动化方法。频谱监视幅值限制比较普遍。如果这些是人工定义的，则它们不可避免地存在主观性。当然也有极限值是基于相应可用模型的参考数据并采用学习算法产生的。

GfM 采取了截然不同的方法。对所有形成的频谱（尽可能使用阶次谱）进行改进的显著性分析，其中显著性的谱线将完全自动提取。然后，对于这些显著性的谱线，检查它们的频率是否与运动损伤模式一致。显著性分析源于数学统计，最初用于评估大型统计量。该方法在很大程度上与传动上的负载无关，这意味着它既可以在满负载下运行，也可以在部分负载下运行。结果可靠，可以省去最初的人工分析。

最终必要的维护决策（继续或维修）由人员建议，由诊断人员进行检查后给出。为此，可以使用各种工具，例如瀑布图或频谱图。

这种意义深远的自动化技术可以使系统的维护工作最小化，从而降低运行成本。

意义深远的自动化是将诊断状态集成到更高级别的系统（例如 SCADA 或 ERP 系统）的基础。

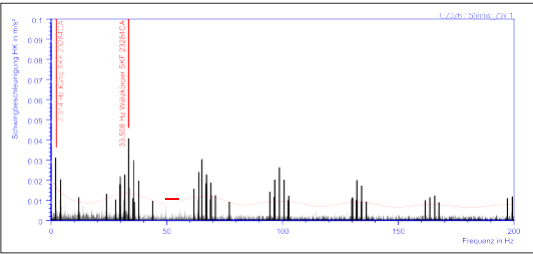


图 11: 具有显著性阈值的包络频谱

为此，诊断数据，即代表诊断输出的数据，而不仅仅是传感器数据，必须以数字形式提供并且易于解释。方便地将这些诊断数据直接提供给负责的维护部门。

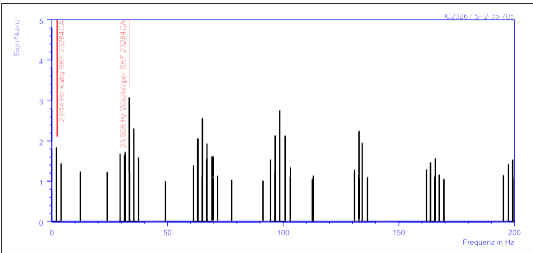


图 12: DVS-频谱

由于振动诊断通常在早期就检测到异常，因此不需要立即停止设备，并且在诊断数据的可视化形式上不需要特别的详细。

9 在线状态监测系统的安装和配置

如今，状态监测系统的安装非常简单，并且没有特殊资格要求。振动传感器要么通过盲孔和螺钉连接方式连接到机器壳体，要么通过粘合剂连接方式连接。接线是纯电气工作。对于系统的配置，输入的分配是常规的。复杂传动的运动数据可以很容易地在状态监测系统中表示，这是系统知道其要查找的内容的前提。这些输入可以使用传动技术的基本知识来完成。不需要特殊的诊断知识。

10 Peakalyzer 操作原理

Peakalyzer 用于传动装置的振动监测。由测量的时间信号产生频谱、包络频谱、阶次谱和包络阶次谱。这些用于检查传动链损坏的典型模式。如果发现损坏，则会发出警报。所有这些都是自动完成的，无需人工干预。

警报中包含清晰的文字消息，描述检测到的异常情况。首次需要人工采取行动，进行警报确认。

在大多数情况下，从第一次警报到传动部件的最终故障之间要经过很长时间。通常，您将在观察损坏“增长”的同时组织维修。

除了非常有意义的清晰文字消息外，当然还可查看导致警报的所有数据。包括频谱和包络频谱，瀑布图和频谱图，或特定频率线的幅值随时间变化的过程。这些可以使诊断专家贡献自己的特定经验。

Peakalyzer 可以由设备操作员本人监控。或者，也可以委托 GfM 或独立的第三方来进行监控。

当然，必须确保不会忽略传动链的损坏。但是，还必须防止由于诊断系统过于敏感而导致错误警报的发生。Peakalyzer 使用智能算法来完善诊断：



图 13: 风力发电机组应用中具有过电压保护的Peakalyzer

- 通过一致地使用阶次分析进行变速传动的可靠诊断
 - 通过 32,768 线形成高分辨率频谱来避免由于频谱分辨率不足而引起的误诊
 - 通过使用 DVS-分析，即使在未知负载条件下也能进行可靠的诊断
 - 通过与几种症状的交叉比较得出损害频率随机重合的可靠诊断
 - 通过有效诊断条件的自动验证，在不确定的运行条件下进行可靠的诊断
 - 通过在连续测量中验证警报条件，即使在外部随机振动的情况下也能进行可靠的诊断
- 滚动轴承的缺陷，齿轮的不规则性，轴故障，不平衡，对准误差以及其他不规则性都可以通过这种方式可靠地检测出来。

11 监控服务

除了提供现成的在线状态监测系统，GfM 还提供监测服务。这包括：

- 配置系统
- 报警监视
- 警报的确认并通知操作人员
- 创建警报文档
- 定量观察振动造成的已知损坏，并向操作人员提供建议
- 维修后重置警报阈值
- 传动更后的配置调整
- 创建状态报告，通常每季度一次，记录所有事件。

提供监控服务：

➔ 对于 Peakalyzer:

Peakalyzer 每 10 分钟执行一次全自动诊断。这直接在 Peakalyzer 中完成，而无需监控中心的参与。如果通过全自动监测系统发出了警报，则 GfM 会对其进行验证。验证后将通知操作人员。

➔ 对于其他第三方状态监测系统:

在 Peakalyzer Manager 中，根据传动的运动学自动检查时间序列数据和速度信息是否存在异常。如果检测到异常，GfM 将对其进行验证。验证后将通知操作人员。

12 PeakStore5 离线诊断

使用 PeakStore5，可以执行便携式振动测量。传感器通过磁吸固定在机器上，然后启动 PeakStore。整个过程需要几分钟。然后再次取下传感器，记录并完成测量。

通过最多 12 个振动通道和一个速度通道进行数据采集。在风力发电机组上，无需更换传感器，即可采集所有需要的测量位置。此外，可以通过智能手机上的应用程序对 PeakStore5 进行远程控制，因此在测量过程中，人员无需待在机器附近。

该诊断系统优先采用阶次分析来进行。因此，不受速度变化的影响，测量结果绝对可靠。

通过集成的平板电脑和软件 Peakalyzer Manager 可以实现该操作。在测量过程中可以直接查看测量数据。各菜单可用于时间信号、特征值、频谱、包络频谱、阶次谱和包络阶次谱。基本上，您可以在现场分析数据。您还可以保存其他信息，例如照片和测试报告。



图 14: PeakStore512

或者，您可以将所有数据直接发送给服务提供商进行分析。这是通过集成的 FTP 上传功能实现的。



图 15: 时间信号



图 16: 包络阶次谱

可以设置 1.5 s 到 164 s 以及不确定的测量时间。在不确定的测量时间内，通过 12 个通道大约记录 4 个小时的测量数据，每个通道的采样频率为 51.2 kHz。

通常使用 IEPE 加速度传感器。这些传感器以 51.2 kHz 的采样率和 24 位的幅值分辨率被数字化。也可以为每个通道测量连接具有 AC 或 DC 且单独调整采样率的其他传感器（例如位移传感器）。

13 振动诊断服务

订购外部合作伙伴的服务将保证高水平的状态监测专业知识和最少的组织工作量。它免除了对自己的人员进行相关培训，并节省了必要的硬件和软件的投资。

GfM 是您离线振动诊断的合格合作伙伴。我们到达指定的风力发电机组，将传感器安装在要检查的传动上并开始数据采集。首先存储采集的信号。然后形成频谱和包络频谱。搜索频谱以寻找传动部件上的不规则迹象。诊断结果汇总在清晰易懂的报告中。

另一种模式也非常成功，尤其是对于风力发电机组。许多客户使用自己的测量设备或 GfM 的系统自行进行数据采集。GfM 通过这些采集数据进行评估。

为了进行正确的测量，传动系统应该预运行并在有代表性的条件下运行。测量时速度可能会波动。数据采集过程中的速度变化通常是没有问题的，因为可以通过一致性使用阶次分析来进行补偿。

14 视频内窥镜

振动诊断是早期发现损坏的可靠工具。通常会检测到肉眼几乎看不到的损坏。但是，只能在有限的范围内确定损坏的程度。因此，振动诊断是视觉检查的补充，但不能替代视觉检查。

在风力发电机组上，通常通过内窥镜进行目视检查，或者如今通过视频内窥镜进行目视检查。否则，很难对行星齿轮级进行充分的检查。对齿轮箱的损坏状态进行专家评估，并就持续运行和维护提出具体建议，这是一项重要且广受欢迎的服务。

通过齿轮箱检查，我们基本了解以下：

- 变速箱的外部状况，泄漏，基础问题和热隐患的检测，
- 润滑功能，
- 可见的齿面的齿轮啮合和
- 可见的滚动轴承。

为了进行检查，必须停止传动并确保其不会运动。然后打开检查盖。

然后专家可以直接或在视频内窥镜的帮助下查看可见部分。



图 17: 润滑评估

通常，变速箱检查与振动诊断结合在一起，因为：

- 尽管目视检查在评估齿面的损坏类型和损坏程度方面具有优势，但通常仅限于可见的齿轮。另一方面，振动诊断可提供所有齿轮的信息，但有关损伤程度的判断有其局限性。
- 对于滚动轴承，目视检查也可以提供有关损坏类型和程度的确切信息，只要可以直接查看或使用辅助工具进行查看。通过振动诊断，还可以检查滚动轴承的轨道和滚动体。

15 基础监测

近年来，越来越多地报道了风力发电机组的基础问题。每项具体评估都要对各风力发电机组进行必要的调查。除了由专家对基础本身进行广泛的直接评估之外，还要证实具体的初始怀疑的间接测量方法，这些方法不描述基础本身，而是基础组件的运动。

基础安装部件的移动是载荷影响的结果。载荷可以在比如系统急停或正常停机时产生。

为了分析由于正常运行负载而导致的基础安装部件的运动，Baseanalyzer 将永久安装在风力发电机组上，并全天候在线测量所有运行情况。使用位移传感器和应变传感器。

Baseanalyzer 可作为独立系统，也可以作为 Peakanalyzer 的一部分提供。

该系统的工作原理如下：

- 位移和应变传感器安装在基础安装部分的区域中。这通常在几个小时内完成。通常在主风向和横向风向上进行测量。
- 监测的是塔筒的运动。警报阈值可以随时自由更改。位移传感器和应变传感器的组合用于区分允许的弹性应变和临界的塔筒运动。
- 作为应变传感器，可以应用在应变仪测量点。

分析结果汇总在报告中。当然所有原始数据都可以获取。

16 叶片轴承诊断

叶片轴承将风力发电机组的叶片根部与轮毂进行连接。它们承载非常大的交变载荷，而滚动元件和轨道之间的运动速度相对较低。叶片轴承的轴承表面的磨损通常不明显，并且不能通过传统的振动诊断方法检测到。

在实践中，叶片轴承的状态大多通过油脂样品分析或拆卸后检查。GfM 开发了低速传动的诊断方法用于评估叶片轴承。利用叶片轴承附近的传感器进行数据采集。为了测量，叶片旋转到最大可能的偏转角度。只要振动发生，测量结果允许评估内圈、外圈和滚动元件的局部轴承损坏。

诊断过程如下:

- 多个位移传感器和一个速度传感器安装于轮毂。
- 为了测量，叶片变桨角度在 90° ，风轮处于静止状态并有一个叶片垂直地面。
- 采用 PeakStore 进行数据采集。
- 仪器安装在轮毂中，并通过带应用程序的智能手机进行远程控制。测量过程大约需要 4 个小时。
- 在办公室完成评估工作。

17 集成化状态监测

Peakalyzer 的所有功能也可以在 Beckhoff TwinCAT 3 环境中作为集成系统运行。这使得可以在现有控制平台集成状态监测系统。仅需要安装必要的传感器和信号输入端子。

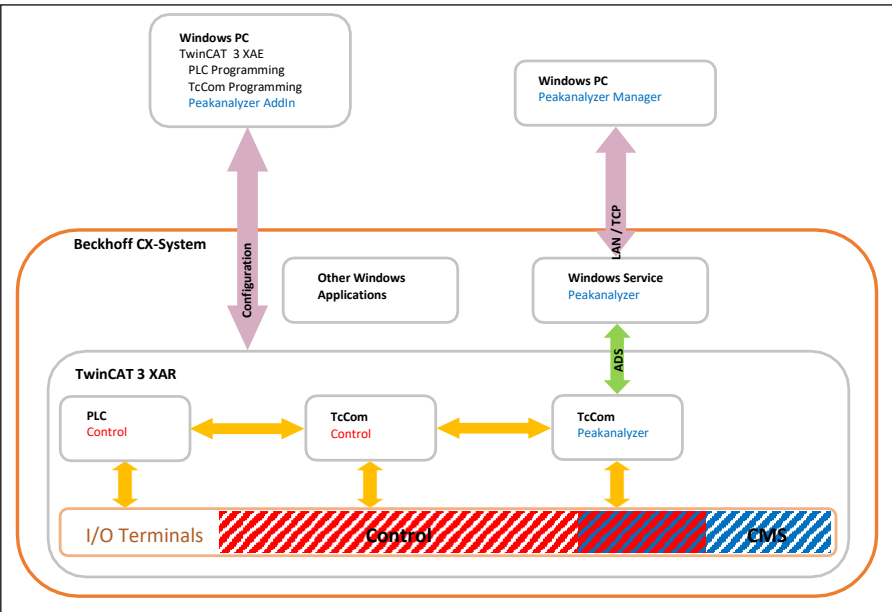


图 18: TwinCAT 3 环境中的集成化 Peakalyzer

转速和其他过程信息，例如风速和功率可以直接从控制系统中获取。这样可以节省不必要的冗余传感器。状态监测软件在控制器上作为附加任务运行。集成化系统还允许使用现有的通信基础设施来配置系统或下载数据。

18 结论

状态监测的成本包括系统一次性购置成本以及持续的监视成本。系统可以购买或租赁。另一方面，无论是监测系统本身执行还是依靠服务合作伙伴（例如GfM），都会产生持续的成本。但是，通过使用意义深远的自动化系统，可以将其服务成本保持在极低的水平。

即使状态监测不能防止传动部件受到损坏，这些系统和过程的好处也显而易见：

- 避免不必要的运行中断，因为可以预先规划维修，进行维护人员、零件和提升机等的提前订购，
- 将维修工作安排在小风期间，
- 尤其是避免二次损坏，降低总体损失。

在大多数情况下，状态监测系统在发现第一个损坏时就已经收回投资成本。但是最重要的优点是，如果在振动信号中没有检测到损坏的迹象，则表示没有损伤。

参考

- [1] Hippmann, N.: Messung und Analyse dynamischer Größen zur Technischen Diagnostik an Maschinenanlagen. 1984
- [2] Wirth, R.: Maschinendiagnose an Industriegetrieben. Teil II: Signalidentifikation in der Praxis. Antriebstechnik 37(1998), No. 11, page 77-81

GfM Gesellschaft für Maschinendiagnose mbH

Koepenicker Strasse 325

12555 Berlin

Deutschland – Germany

Phone Berlin

+49 / 30 / 65 76 25 65

Phone Dortmund

+49 / 231 / 77 64 723

中国市场合作伙伴:

上海海息通自动化有限公司 

SHANGHAI HIGHSYST AUTOMATION CO., LTD.

<http://www.highsyst.com>

info@highsyst.com

+86 138 1866 5940

www.maschinendiagnose.de