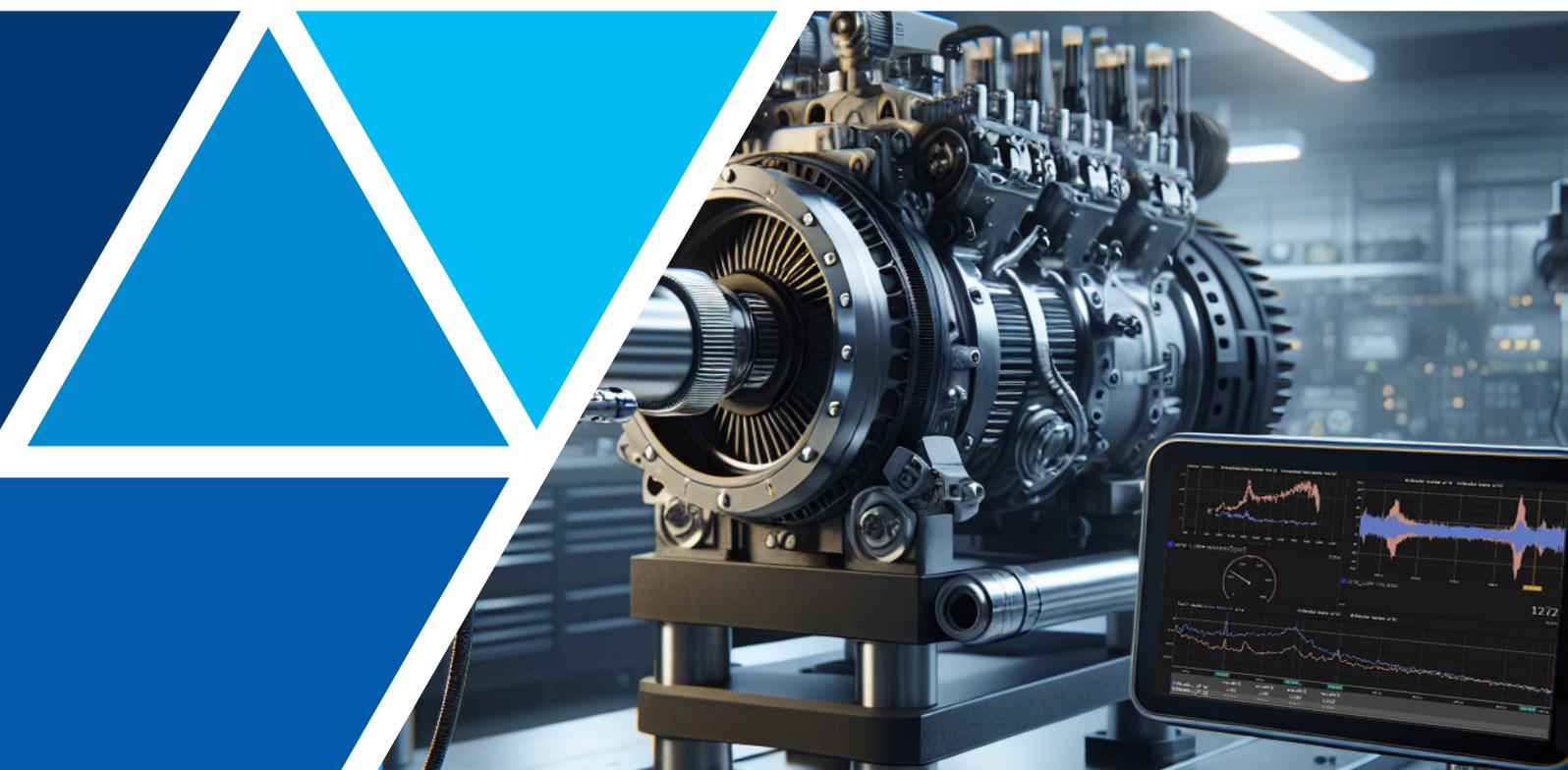


应用说明

测量扭矩波动

使用DEWETRON硬件与软件



DEWETRON

摘要

本应用笔记探讨了电动机中扭矩波动的关键作用，并强调了精确扭矩测量的重要性。它详细阐述了扭矩波动的成因和影响，说明了其对电机性能和使用寿命的影响。该应用说明展示了一个扭矩测量分析的示例，解释了如何计算扭矩波动及其与电机噪声和温度等其他关键因素的相关性。

DEWETRON致力于提供创新的解决方案，助力工程师优化电动机性能。我们的全面数据分析工具能够整合来自各种传感器的测量数据以及直接的电压和电流读数，从而全面了解电机的功能。这有助于更高效地识别和解决问题，确保达到最高质量标准。

介绍

在电动机技术迅速发展的当今世界，有一个参数受到了极大的关注，那就是扭矩波动。它是电动机产生的扭矩的周期性变化，会导致诸如噪声、振动以及电动机使用寿命缩短等不良影响。因此，精确测量扭矩波动对于电动机的开发、测试和质量控制至关重要。

本应用展示了使用DEWETRON 硬件测量扭矩波动的示例指南。我们将探讨扭矩波动的成因和产生的影响，讨论其精确测量的重要性，提供一个量化扭矩波动并进一步分析结果的示例。无论您是致力于优化设计的电机设计师，还是确保最高标准的质量控制工程师，亦或是探索新型电机技术的研究人员，本应用说明都能帮助您加深理解，并为您提供获取和分析扭矩波动的可行性解决方案。

什么是扭矩波动？

它指的是电动机在一次旋转过程中产生的扭矩的变化或波动。这是影响电机效率和平稳运行的关键性能参数。其计算公式如下：

$$T_{\text{ripple}} [\%] = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{T_{\text{avg}}} \times 100$$

公式1: 扭矩波动计算

扭矩波动可能由齿槽扭矩、互感变化以及谐波电流等因素引起，导致电机内部磁场分布不均。严重的扭矩波动会增加噪声和振动，降低电机效率，使机械部件过早磨损，并在精密应用中降低定位精度。需要注意的是，扭矩波动并非一个固定值。它有频率分量和幅值分量，由励磁和电机结构共同决定。扭矩常常被误解，因为人们在观察时往往使用了过多的滤波。即使是很小的滤波量也会使扭矩波动信号失真，从而导致信息丢失。

齿槽扭矩是由转子的永磁体与定子的钢齿之间的吸引力造成的。在转动传统无刷电机的轴时，可以感觉到这种“卡顿”现象。无槽电机则没有这种特性。

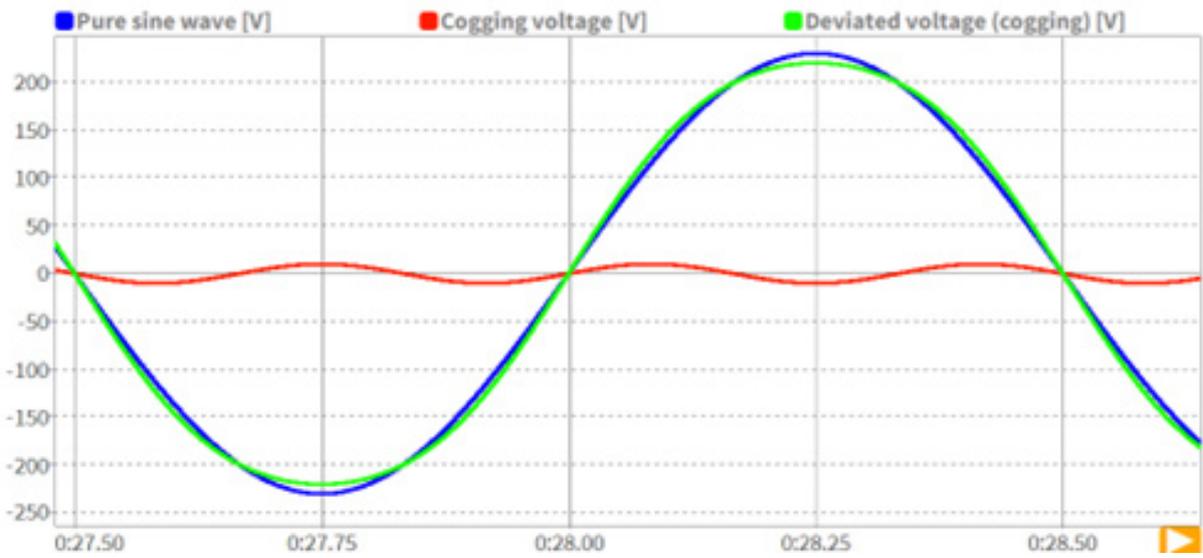


图1：齿槽电压示例及其对电机励磁的影响

在需要高扭矩和低速平稳运动的应用中，工程师们面临着一个两难的选择。采用有槽叠片设计的传统无刷电机能够实现最大可用扭矩和扭矩密度，但其本身存在齿槽转矩。无槽电机不受齿槽转矩的影响，但在通电时仍可能出现扭矩波动，并且其单位体积所能提供的扭矩不如传统电机。这些无槽电机仍然遵循交流励磁曲线，因此会存在固有的扭矩波动。

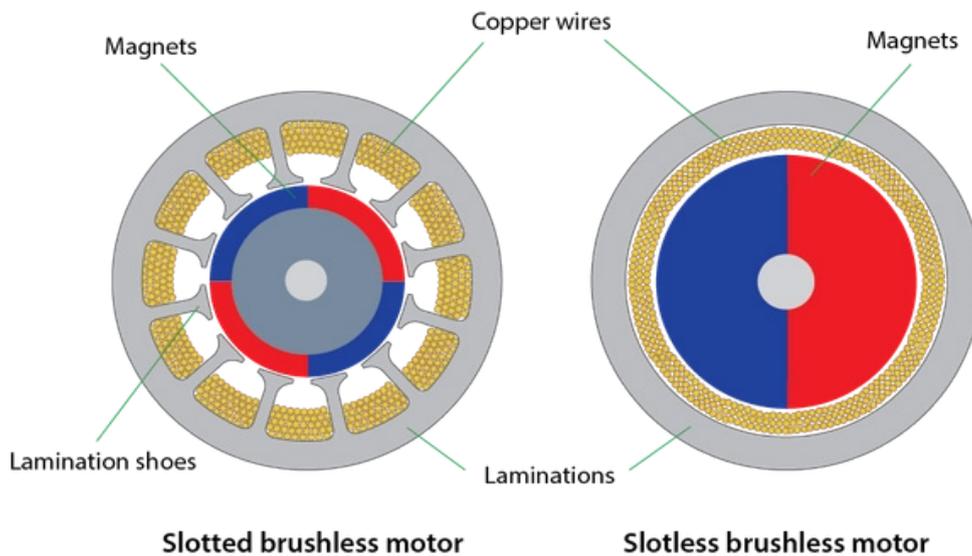


图2：有槽电机与无槽电机对比 (图片来源: [Copyright Lin Eng. Inc. 2024](#))

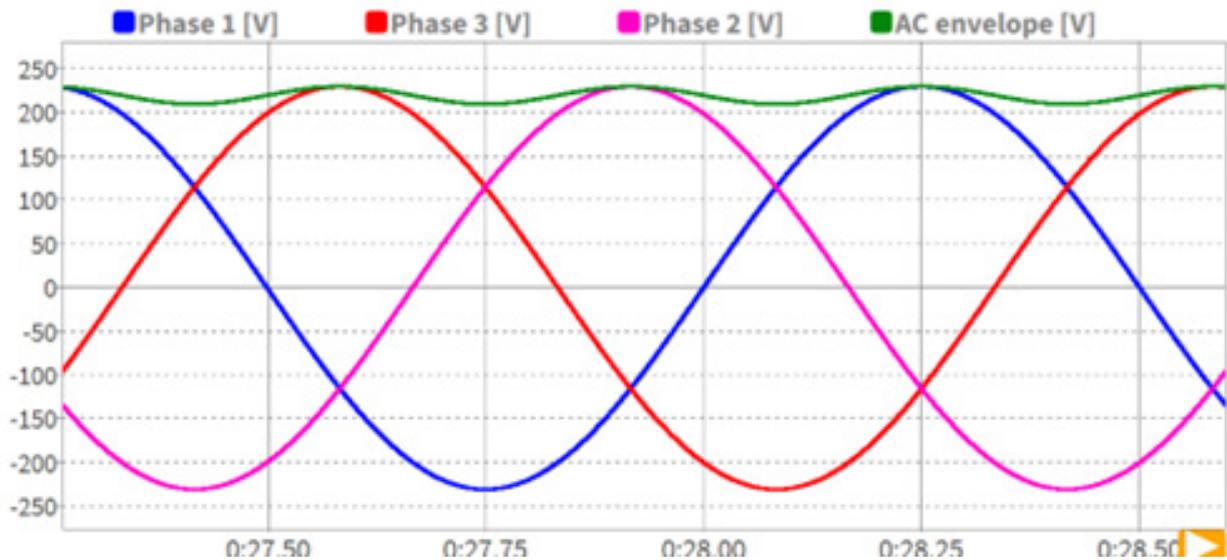


图3：交流励磁包络在无槽电机中引起转矩脉动

准确测量扭矩波动对于电机的设计、测试和质量控制至关重要。通过识别和量化扭矩波动，工程师能够优化电机性能并确保其高品质。在许多应用中，常见的目标是将扭矩波动控制在5%以下。



如何使用DEWETRON硬件测量扭矩波动

为了测量发动机参数，我们使用了以下DEWETRON 硬件：

DEWE3-A4:

- ▶ TRION3-1810M-POWER – 用于采集电压和电流
- ▶ XR-TH8-S 扩展模块 – 用于通过热电偶采集发动机温度
- ▶ TRION3-1820-MULTI-4-D – 用于声音和振动采集

速度和扭矩的获取是通过集成在DEWE3-A4 机箱中的计数器输入来实现的。计数器通道的时间基准为100 MHz，允许输入频率高达10 MHz。典型的时间基准精度为2 ppm（最大10 ppm），这确保了扭矩和速度测量结果的高度精确性。



测量示例

在OXYGEN 中，发动机的启动和减速测量数据可以轻松进行分析。您可以在测量前创建统计信息，也可以在测量后创建。下图展示了诸如扭矩、角度、声音和温度等测量参数的综合概览。

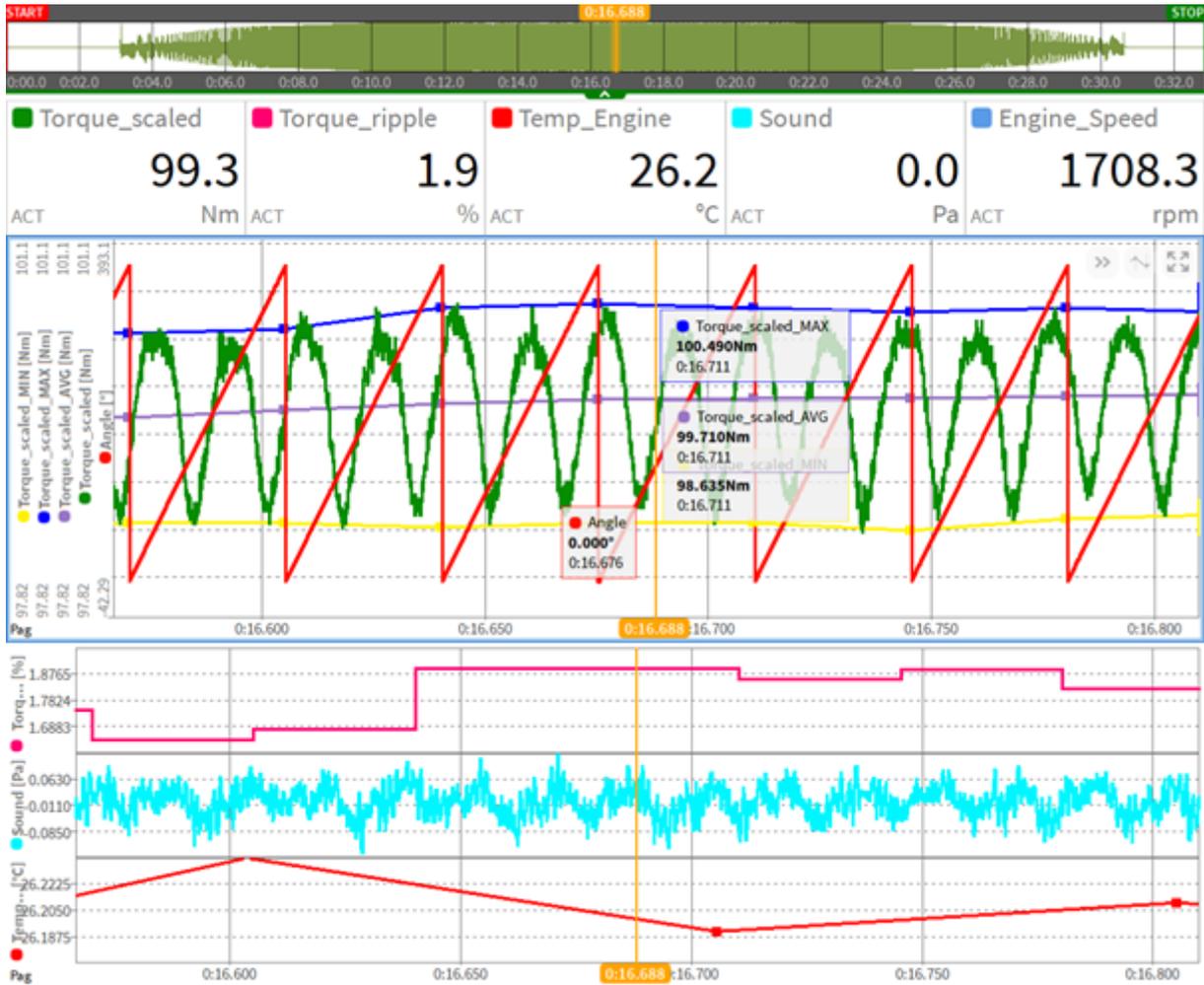


图4: 测量、扭矩、声音、转矩脉动和角度的概述

通过对一个旋转周期内扭矩波动进行统计评估，可以计算出扭矩波动，并进一步与其他参数进行比较。

图5 中绿色表示一圈内的扭矩。统计计算设置为由角度信号的下降沿触发。为了计算扭矩波动，计算一圈内的最大、最小和平均扭矩。在此示例中，可以看到最大值（蓝色）、最小值（黄色）和平均值（紫色）反映了所测得的扭矩值。



图5：一个旋转周期内的扭矩详细视图

利用这些值，可以连续计算出扭矩波动：

$$Torque\ ripple[\%] = \frac{Torque_{max} - Torque_{min}}{Torque_{avg}} \times 100$$

公式2：扭矩波动的连续计算

Torque [Nm]	Torque ripple [%]	Engine temperature [°C]	Sound [Pa]	Engine Speed [rpm]
100.2	1.9	26.2	-0.1	1723.7

表格1：扭矩、扭矩波动、温度、声音和速度参数

扭矩波动触发统计设置

下图展示了如何在OXYGEN中进行触发式统计计算。当角度信号在150°时下降沿触发，设定时间范围，超过350°后可激活下一次触发。此操作针对最大、最小和平均扭矩进行了设置。

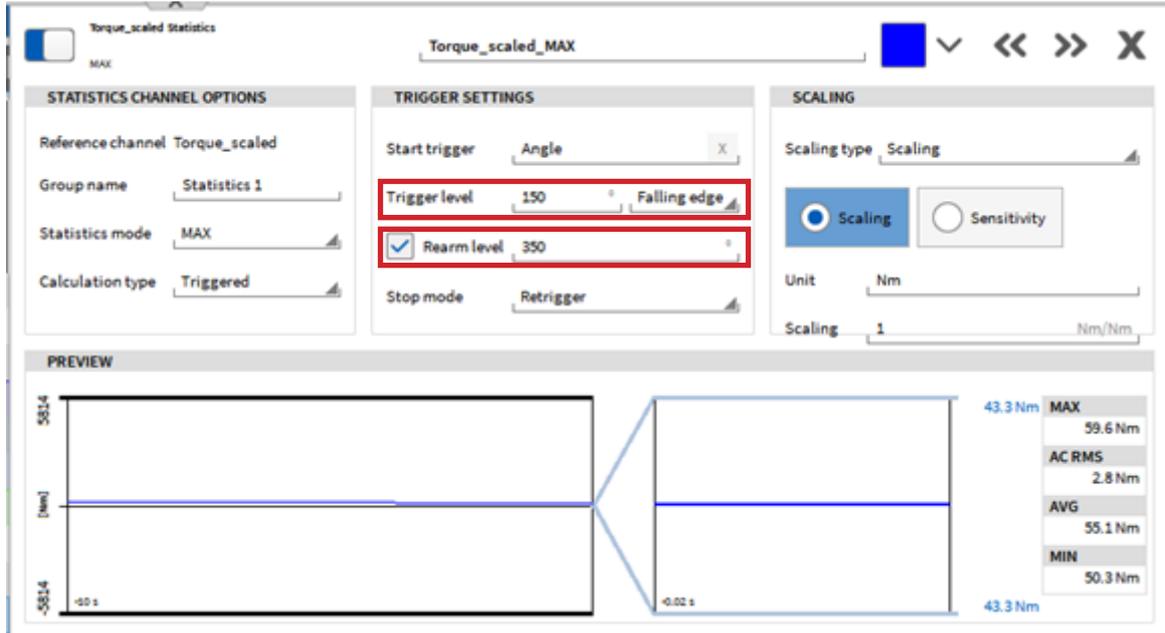


图6: 用于计算转矩脉动的触发统计量

最后，这三个值按照公式 (1) 所述进行计算，即最大值减去最小值再除以平均扭矩。

扭矩波动与发动机转速的关系

表2 显示了测量示例的扭矩、扭矩波动和发动机转速，其中显示了转速升至约1700 转/分钟，然后逐渐下降。从该表中很容易看出稳定转速与低扭矩波动之间的关联。

Time [s]	Torque scaled [Nm]	Torque ripple [%]	Engine Speed [rpm]
10.00	61	4.0	1052
12.00	82	2.5	1412
14.00	99	1.8	1708
16.00	100	1.8	1716
18.00	100	1.8	1717
20.00	100	1.8	1719
22.00	91	2.2	1568
24.00	70	3.0	1212
26.00	50	5.1	855

表2: 发动机启动和减速过程中每2 秒的记录值 (10 秒至26 秒)

如前所述，扭矩波动与发动机转速关联紧密，因为其计算原理是在一个旋转周期内对扭矩变化进行平均。

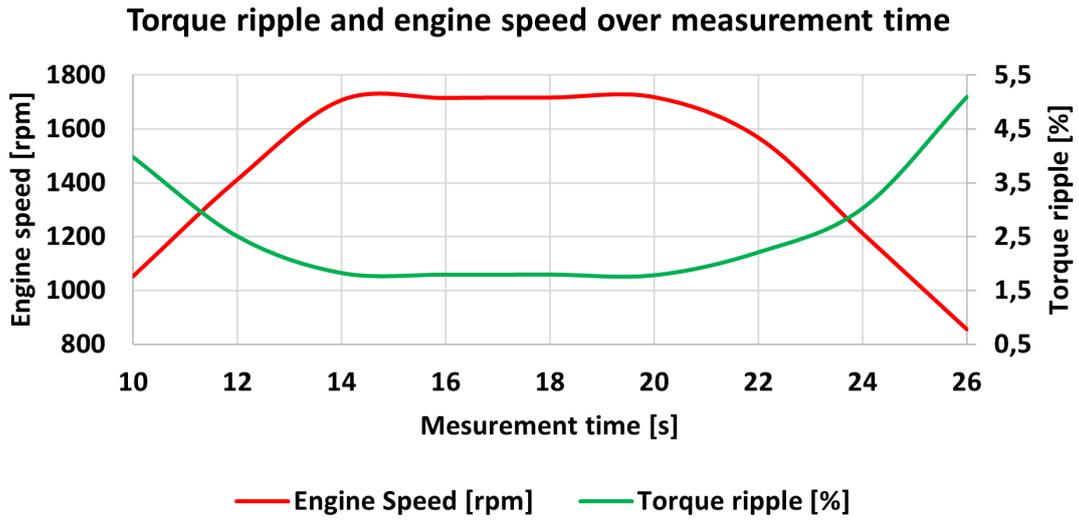


图7: 低扭矩波对稳定发动机转速的关联

扭矩波动与发动机转速的关系

为了找出降低扭矩波动的相关因素，能够对诸如声音、温度或振动等其他因素进行比较，这在优化电机效率的过程中是一项非常有价值的功能。

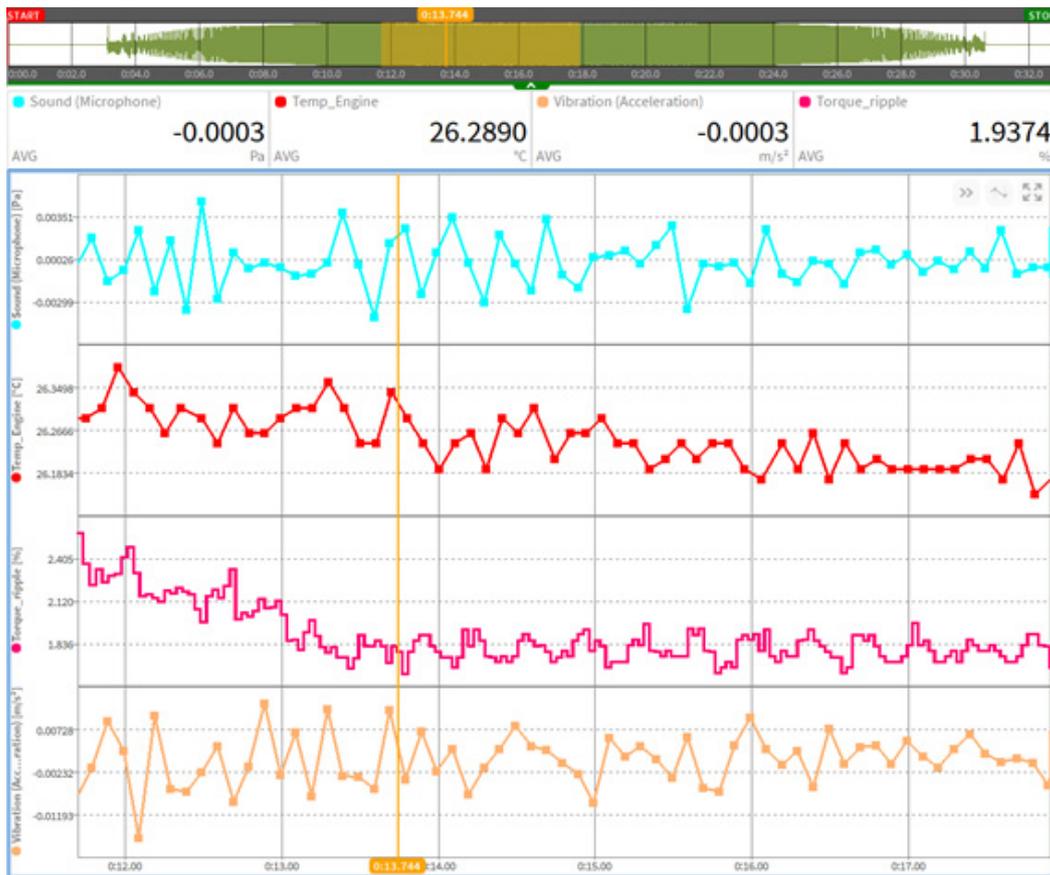


图8: 声音[PA]、声级[dB(A)]、发动机温度[°C] 和扭矩波动[%] 的对比



结论

在本应用说明中，我们探讨了电动机转矩波动这一关键问题及其精确测量的重要性。我们还讨论了其成因和影响，以及它如何影响电动机的性能和使用寿命。

该应用说明展示了一个如何分析扭矩测量值并计算扭矩波动的示例，并且可将其与其他因素（如发动机声音或温度）关联起来。

DEWETRON致力于提供创新的解决方案，以帮助工程师优化电动机性能并确保最高质量标准。通过直接的数据分析以及能够测量多种类型传感器的数据（除了直接测量电压和电流之外），我们提供了对电机性能的全面视图，从而能够更有效地识别和解决问题。

如需了解更多我们 [产品和服务](#) 的相关信息，请访问我们的 [官网](#) 或者 [联系](#) 我们的技术支持团队。



作者

Thomas Klug



Thomas Klug毕业于格拉茨技术大学，拥有自然科学和材料科学方面的背景。在本科学习期间，他专注于地球物理学和太阳能电池领域；研究生阶段，他则专注于半导体和生物基材料。在求学期间，他曾就职于AVL和虚拟车辆研究中心。2023年毕业后，他加入了DEWETRON，担任工业制造、软件接口以及通用测试和测量解决方案方面的应用工程师。



About DEWETRON

DEWETRON is a manufacturer of precision test & measurement systems designed to help our customers make the world more predictable, efficient and safe. Our strengths lie in customized solutions that are immediately ready for use while also being quickly adaptable to the changing needs of the test environment and sophisticated technology of the energy, automotive, transportation and aerospace industries.

More than 35 years of experience and innovation have awarded DEWETRON the trust and respect of the global market. There are more than 25,000 DEWETRON measurement systems and over 400,000 measurement channels in use in well-known companies worldwide.

DEWETRON employs over 120 people in 25 countries and is part of the TKH Group, a global corporation, that specializes in the development and supply of innovative solutions worldwide.

DEWETRON's quality is certified in compliance with ISO9001 and ISO14001. The high integrity of the measurement data is guaranteed by our own accredited calibration lab according to ISO17025.

*Get to know our
GLOBAL OFFICES*



THE MEASURABLE DIFFERENCE.



DEWETRON

HEADQUARTERS
DEWETRON GmbH
Parkring 4, 8074 Grambach
AUSTRIA

+43 (0) 316 3070-0
info@dewetron.com
www.dewetron.com

