

## 功率谱分析 (PSA) 功能可确定变频器电机损耗

### 前言

近年来，使用可快速开关的功率半导体 SiC 和 GaN 的高效逆变器的开发取得了进展。然而，在变频驱动系统中，真正能够被输入至电机进而直接产生旋转力的仅仅只是基波功率，其它高频成分则会作为无效能量（热能、声能以及振动能）被损耗。因此，减少高频功率损耗是开发高效变频电机系统的重点，需要精确的功率测量数据来分析相关因素。

本应用案例介绍了普通功率分析仪的谐波分析与 PW8001 高精度功率分析仪的功率谱分析 (PSA) 功能之间的区别，以及利用功率谱分析估算变频电机损耗系数的方法。

### 谐波分析与 FFT 分析的区别

图 1 显示了逆变器输出有功功率的频率分布。变频器的输出功率包括驱动电机的基波频率分量及其谐波（蓝色部分）、变频器的载波频率及其谐波（黄色部分）。

由于只有基波频率为电机驱动提供能量，因此其他频率的功率都是损耗。用于功率损耗频率分析的谐波分析和功率谱分析 (= 功率 FFT) 具有不同的目的。

谐波分析适用于分析包括基波频率在内的低频范围，而 FFT 分析则适用于分析较高频率的载波频率成分。本节将解释它们之间的区别。

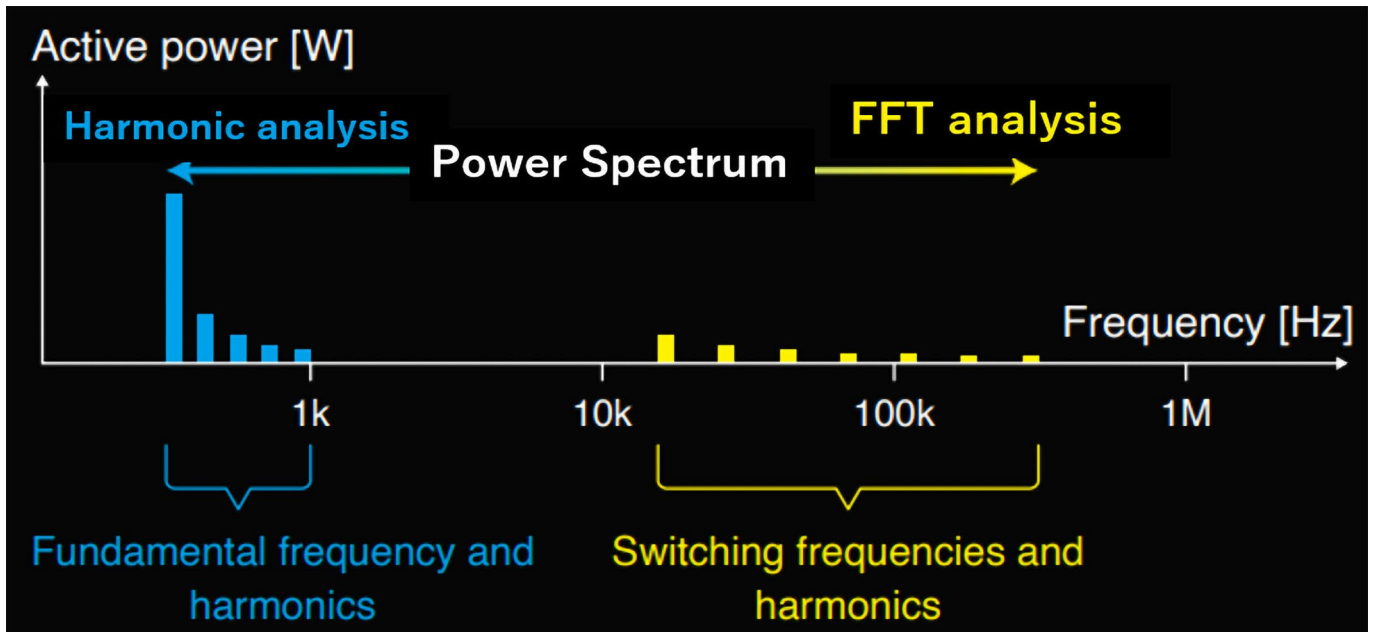


图 1: 逆变器输出有功功率的频率分布

### 什么是谐波分析?

谐波分析用次数表示信号的基波频率及其整数倍频率成分。它用于分析根据定子或转子布置等机械条件在固定次数上发生的谐波失真。另一方面，开关产生的载波频率分量以固定频率出现，与基波频率无关。

这意味着，在电机分析中，若基波频率实时变化时，则无法使用谐波分析来连续测量开关频率分量。例如，对于 10 kHz 的载波频率，当基波频率为 100 Hz 时，载波频率以 100 次为基准，但当基波频率为 10 Hz 时，载波频率必须以 1000 次为基准。

# Application Note

## 什么是 FFT(Fast Fourier Transform) 分析？

FFT 分析法将信号转换为频率成分，并以频谱的形式显示频率成分的强度。

由于逆变器的载波频率（开关频率）始终保持恒定，与电机的转速无关，因此可以通过 FFT 分析在频率轴上观察电压和电流的波动，从而直观、连续地掌握电压和电流的波动情况。

## PW8001 高精度功率分析仪的功率谱分析 (PSA) 功能

PW8001 已从电压和电流的 FFT 发展到了现在的有功功率 FFT，搭载了功率频谱分析的功能。如果仪器的相位特性与被测物的实际频率不匹配，由逆变器驱动的电机的功率谱可能测量为负值。而 PW8001 则将具备出色的频率响应的电流传感器和自动相位补偿技术相结合，提供宽频带下准确的有功功率 FFT 分析。



功率频谱分析功能是 PW8001 引以为豪的一项新功能，它具有无与伦比的高频功率测量精度，可用于高频功率损耗分析。从 PW8001 固件 V2.0 开始，所有用户均可使用该功能。

表 1：显示了 PW8001 功率频谱分析 (PSA) 功能的简要规格

项目	技术参数
测量通道	<ul style="list-style-type: none"><li>电压 - 电流波形：选择通道或接线单位。最多 3 通道</li><li>马达波形：模拟 DC</li></ul>
运算类型	<ul style="list-style-type: none"><li>RMS 频谱 (选择多个通道时为每个通道的平均值)</li><li>功率谱 (有功功率 (P)，但仅限于选择电压 - 电流波形时。当选择多个通道时，为每个通道的附加值 (Psum))</li></ul>
FFT 点数	1000 点, 5000 点, 10,000 点, 50,000 点, 100,000 点, 500,000 点, 1,000,000 点, 5,000,000 点
抗混叠	自动数字滤波器
窗函数	矩形窗, 汉宁窗, 平顶窗
最大分析频率	<ul style="list-style-type: none"><li>电压 - 电流波形：6 MHz (选择 U7005 时), 1 MHz 波形 (选择 U7005 时)</li><li>电机波形输入：400 kHz</li><li>与波形记录的压缩比相关</li></ul>

# Application Note

## 利用功率谱分析估算变频电机的损耗系数

功率谱分析功能可对损耗因素进行分析，这是一般功率分析仪的谐波分析无法实现的。这里以测量变频器驱动电机的谐波功率损耗为例进行说明。

### 变频驱动电机的高频功率损耗。

永磁同步电机和感应电机由逆变器驱动，众所周知，由于开关产生的高频电流会增加电机的铁损。此外，当线圈股使用圆线时，高速运转时电流在线圈股内分布不均，也会增加铜的损耗。

通过实时观测对电机驱动无贡献的射频功率值及其频率分布，可以直观地了解射频功率损耗随电机转速和转矩条件变化而变化的情况。这为分析电机设计中的损耗因素提供了重要线索，将机械损耗与铁射频功率损耗和交流铜损耗区分开来。



图 2 显示了 PW8001 功率谱分析 (PSA) 功能的界面，在此可观察到变频电机驱动波形的谐波功率损耗。

使用 PW8001 对载波频率为 16 kHz 的三相逆变器输出波形进行功率谱分析，可以观察到载波频率及其谐波功率谱。可在同一画面中确认中频谱的具体频率和功率值的前十列表。此外，还可将所有频谱记录为 CSV 数据，以便进一步分析。

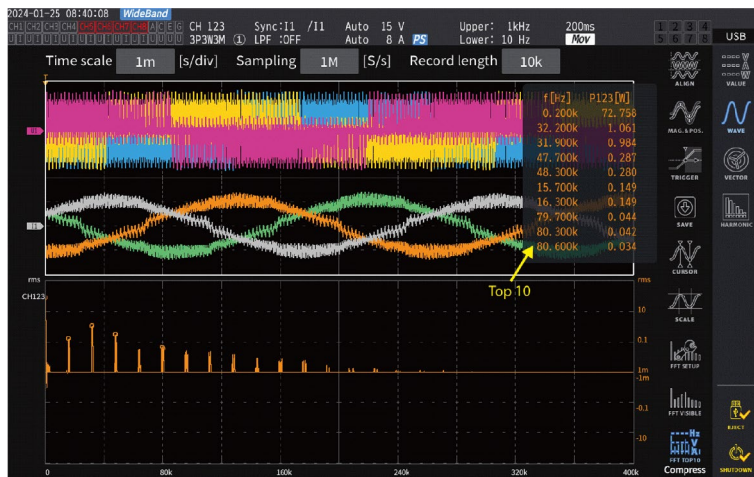


图 2: 功率谱分析 (PSA) 功能界面

# Application Note

## 结语

---

对于变频电机的性能评估，功率分析仪 PW8001 凭借具有出色频率响应的电流传感器和自动相位补偿技术，不仅在宽频带范围内提供精确的测量结果，还可通过功率谱分析功能同时快速了解高频功率损耗。

对于追求 0.1% 电源转换效率的工程师来说，PW8001 功率分析仪有助于查明功率损耗，请务必尝试一下。如需了解有关该产品的更多信息，请访问产品页面，或致电我司，预约产品演示或咨询相关应用。