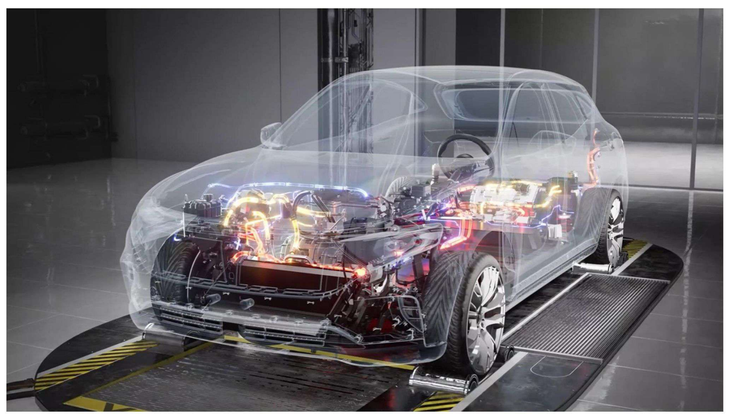
电气测量技术在高频高速电机功率测量中的运用

消费者对新能源汽车的性能、续航里程和舒适性等方面的要求不断提高促使汽车制造商加大对高速电机等高性能零部件的研发和应用力度，以满足市场需求，提升产品竞争力。另外，随着材料科学和制造工艺的不断发展，例如碳化硅（SiC）氮化镓（GaN）等先进器件的出现，亦为高速电机的性能提升和成本降低提供了有力支持。



关于高速电机的研发，您是否有如下烦恼?

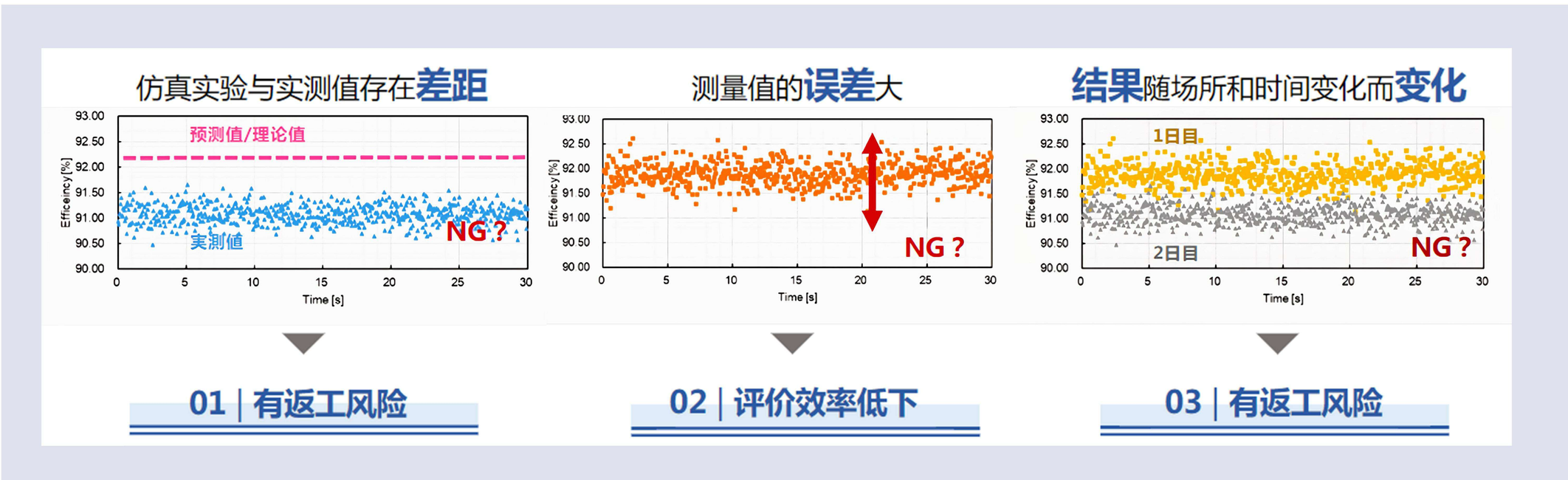
在电机以及电机控制器的研发过程中，我们通常会使用功率分析仪同步测试母线输入，控制器输出，以及电机的机械效率，用于同步分析各个环节的效率以及损耗。

但随着新能源汽车驱动电机的转速越来越高，在追求更高的功率密度的同时，也会带来一系列新的课题，例如：

1、 功率损耗实测数据和仿真数据出现差异，无法确定测试数据的真实性，如果造成误判，会影响后续的标定和开发工作。

2、 效率和损耗数据波动大，为了控制误差，需要采用数据平均化的功能，导致测试时间变长，引起电机过热。

3、 数据重复性差，不同的时间段，亦或是更换测试环境后，同样的条件无法获得相同的数据，无法基于数据进行电机的改善。



造成以上原因的主要因素，就是电机控制器输出端的功率成分比较复杂，主要由以下三个部分组成：

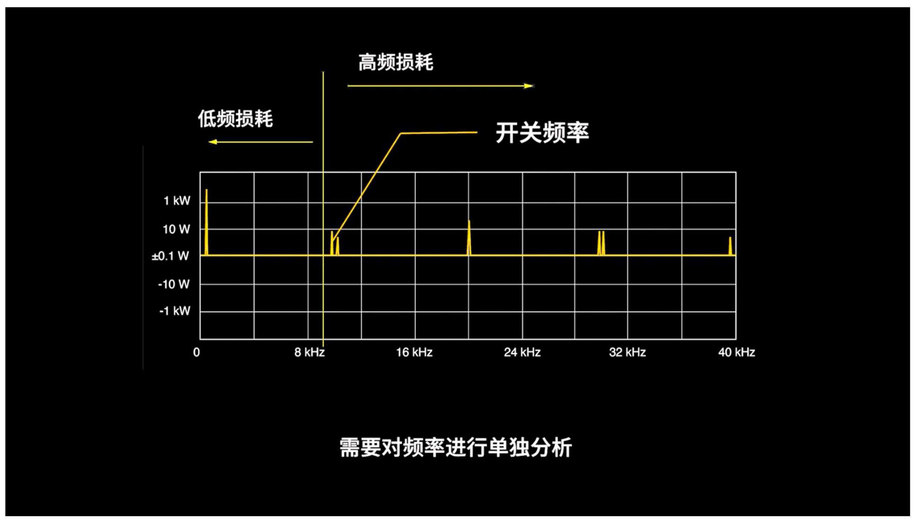
第一部分，是电机的驱动频率。这个部分属于低频域，一般不会超过10Khz。

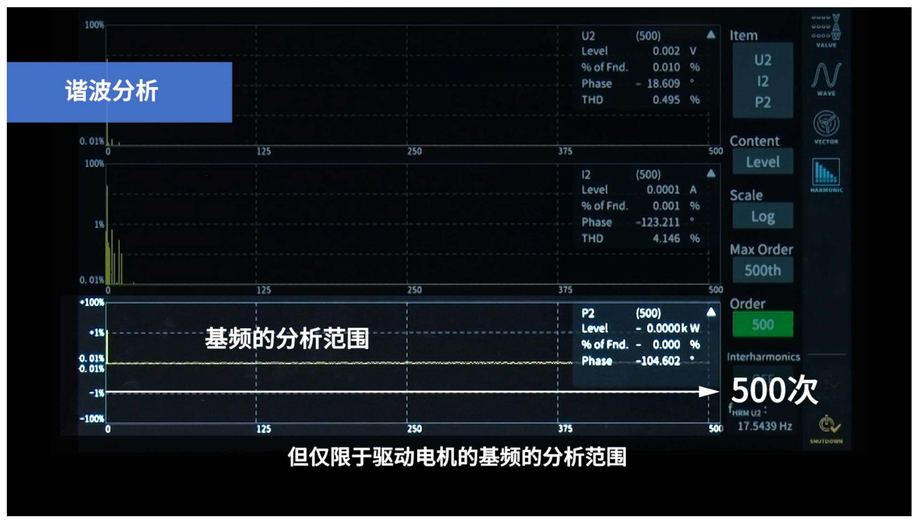
第二部分，是开关频率，即载波频率。载波和谐波构成了10k-1Mhz频率范围的功率范围。

第三部分，是器件的开关损耗。这一部分对有功功率的影响不大，但是容易对测试结果造成混叠。

您现有的测量方式，能有效解决吗?

如果想准确的测试电机控制器的损耗，必须要兼顾准确测试高频和低频的测试能力。但是目前常规的功率测试设备，主要针对电机驱动的基波和基波高次谐波进行分析，缺乏对载波以及载波的高次谐波进行分析的手段。



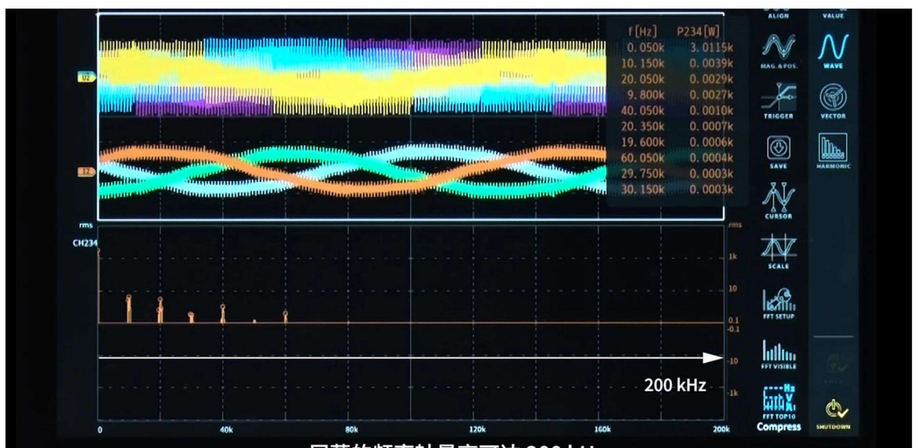


HIOKI

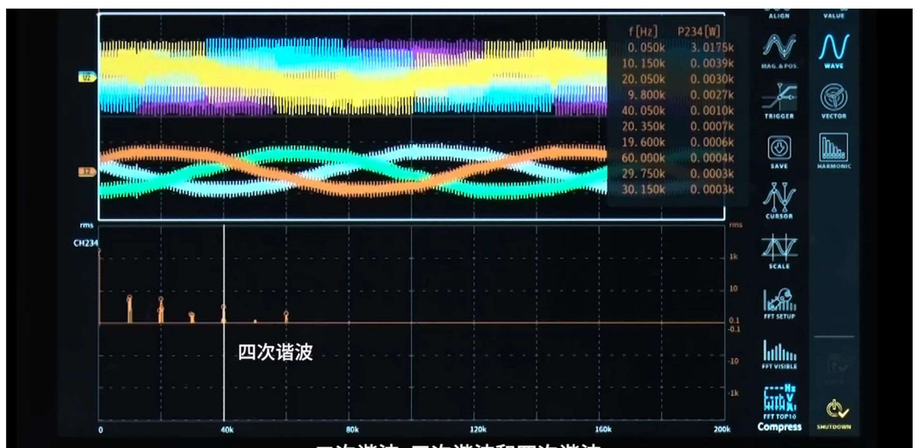
© 2024 日置（上海）测量技术有限公司
application_EV_MOTOR_C1_241129
上述内容为2024年11月29日的参数，后续可能会变更，请以现在为准。使用的公司名称和产品名称均为各公司的注册商标或商标。

解决方案 I “功率按频率分开“的功率谱分析

如果要评估高频损耗，就需要能够把功率按照频率单独分开的功率谱分析功能，通过功率谱分析，我们可以了解高频域的功率特性，因此，可以测量开关频率的二次谐波、三次谐波和四次谐波以及高频域的功率特性。



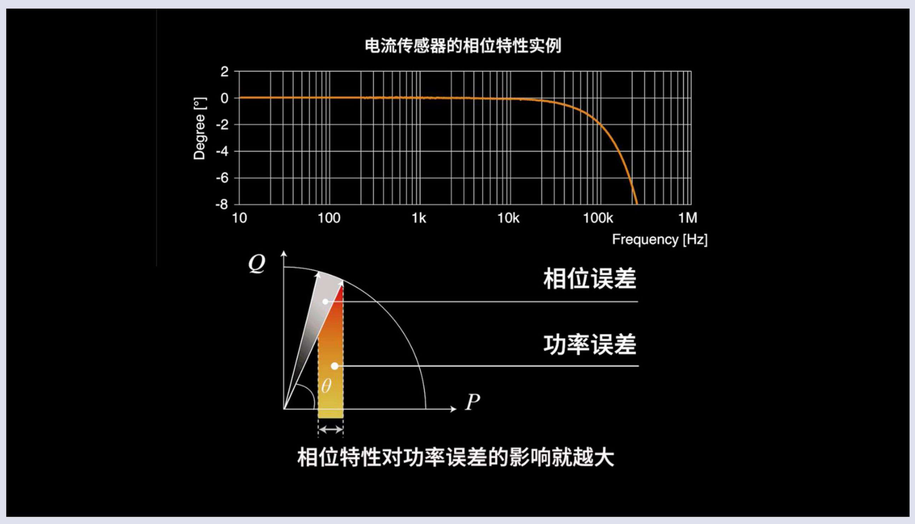
屏幕的频率轴最高可达 200 kHz
(最大分析频率 6 MHz：当选择 15 M/s 输入单元 U7005 时)



二次谐波、三次谐波和四次谐波

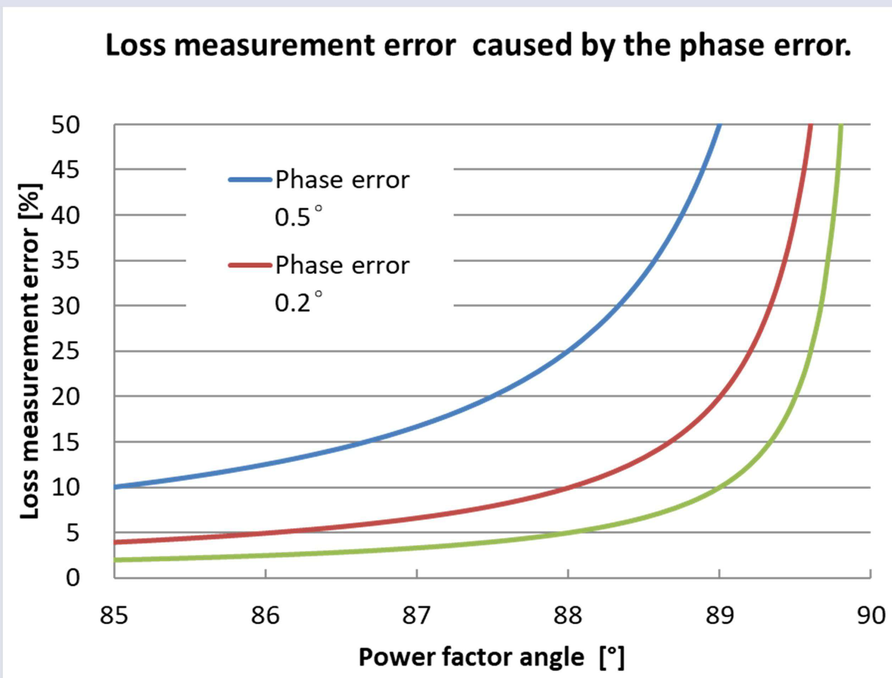
解决方案 II　宽频带和精确的相位补偿

模拟在转为数字信号的过程中，会有硬件延时和通讯延时，功率分析仪一般以电压作为同步源，内部会针对电压的模数转为做一定的修正。而电流探头作为二次测的仪器，随着频率的范围的上升，会带来较大的相位延时。也就是说，在高频部分，会因为电流探头的角度延时特性，引起高频功率成分测量计算的误差。



电机电控开发工作者，在日常工作中使用的负载基本为感性负载无论是电抗器、电机模拟器、还是对拖电机。电压和电流的相位角都会接近90°，在这个情况下，相位角的测量精度就尤为重要，如果无法准确测试相位角度，引起测量误差，极端情况下会把高频正功成分误计算成负功，引起最终功率结果的误差和波动。

常规的电流传感器，标称的规格参数只有带宽，这个通常意义代表的是随着频率上升，测试幅值衰减的带宽范围。经测试会发现，一般的电流传感器会在10khz频率之后出现比较大的相位延时，并且因为没有顺滑的延迟特性，无法进行相位角度的补偿和修正，最终导致高频功率的运算出现偏差。



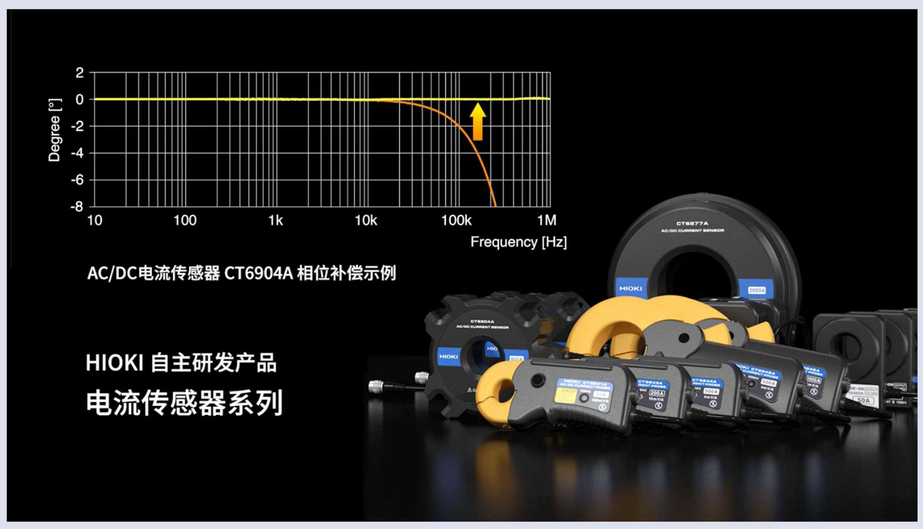
上图代表了因相位误差引起的损耗测试误差。当正弦波的电压－电流相位差为89°时，只要测量仪器有0.1°的误差，电感的损耗测量就会发生10%的误差。

HIOKI

© 2024 日置（上海）测量技术有限公司
application_EV_MOTOR_C1_241129
上述内容为2024年11月29日的参数，后续可能会变更，请以现在为准。使用的公司名称和产品名称均为各公司的注册商标或商标。

HIOKI日置兼具功率分析与电流检测，是高速电机研发的“好伙伴”

HIOKI日置是一家同时拥有功率分析仪和电流传感器的生产制造厂商。首先，HIOKI日置的电流传感器可以在100kHz以内保证相位精度，再通过相位修正进行1Mhz频率范围以内0.1°的高精度测试，并且在-40°C ~ +80°C的温度范围中稳定测量，如刚刚所提到的，在实际工作状态中，需要准确测量基波以及载波，再加上对应高次谐波的相位角，才能最终获得真实准确的有功功率。



I 即刻开始测量

功率分析仪 PW8001可给电流传感器供电，自动设置转换比。只需连接，就能即刻开始测量。

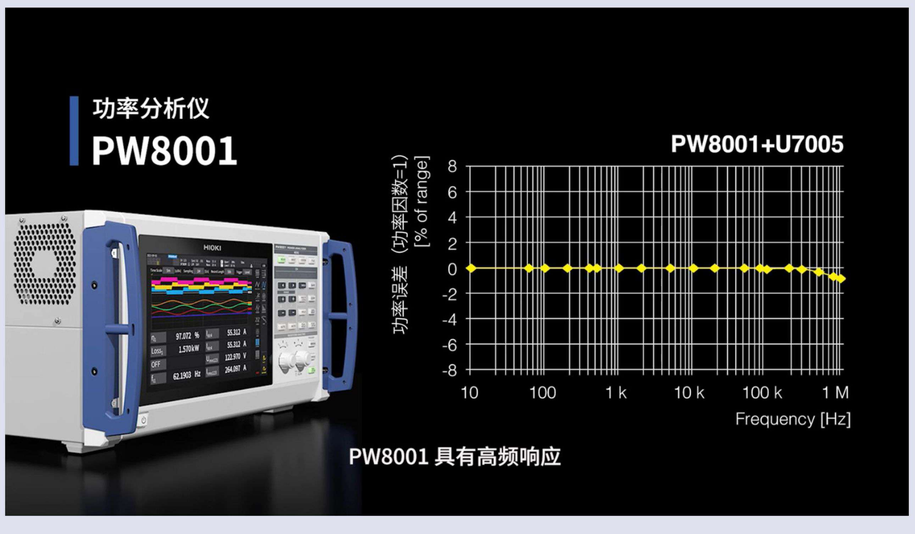
II 正确测量高频·低功率因数的功率

功率分析仪 PW8001可自动获取电流传感器的相位特性并以0.001°分辨率进行补偿，轻松发挥电流传感器的性能。

III 测量条件的记录

仅需连接电流传感器、就能自动获取电流传感器的型号、序列号等信息。测量数据的同时、还能详细记录测量条件。

其次，HIOKI日置的功率分析仪，拥有上方所提到的，能把功率按照频率单独分开的【功率谱分析】功能。并且在应对碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）等器材的测量时，其高采样性能（采样速率18-bit，15 MHz），及抗干扰性(CMRR) 110 dB/ 100 kHz，可准确捕捉高速开关波形。两者的强强组合，可以有效掌握高频功率损耗，评估电机内部高频域内的铁损或铜损等损耗因素，赋能高效率、高输出的电机驱动系统研发，助力驱动电机转速的突破！



I 高级别的测量精度

基本精度± 0.03%，DC精度± 0.05%，50 kHz 精度 0.2% *

频率精度：± 0.1% 振幅带宽 300 kHz*，± 0.1°

相位带宽 500 kHz *

II 准确捕捉高速开关产生的功率变化

采样速率18-bit，15 MHz *

抗干扰性(CMRR) 110 dB/ 100 kHz*

III 搭建适合使用用途的测量系统

8通道功率测量

HIOKI

© 2024 日置（上海）测量技术有限公司
application_EV_MOTOR_C1_241129
上述内容为2024年11月29日的参数，后续可能会变更，请以现在为准。使用的公司名称和产品名称均为各公司的注册商标或商标。