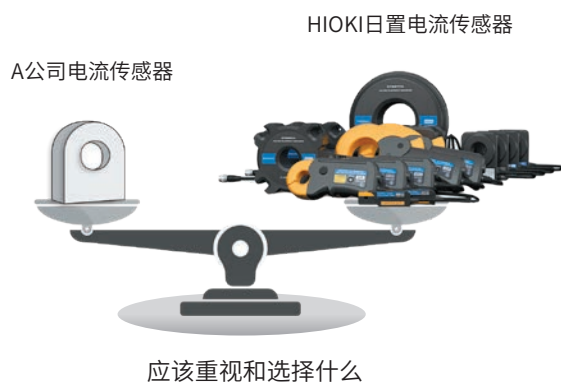
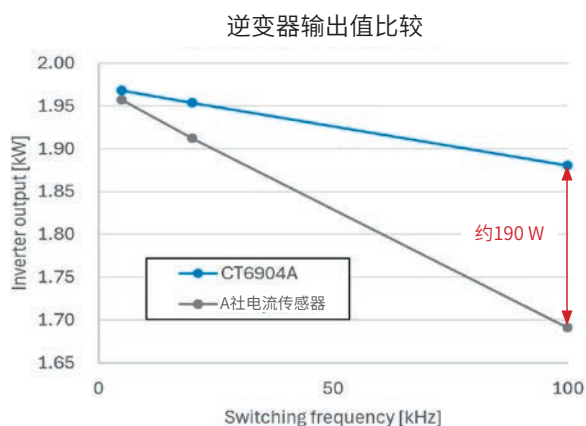


测量误差 >10%! ? 电流传感器的选择是测量 SiC/GaN 逆变器效率的关键

在能源的有效利用愈发被重视的当下，SiC和GaN在电力电子仪器中的应用也在持续加速。在开发使用SiC和GaN的高效率仪器中，要求以0.1%为单位准确评估功率转换效率的性能提升。

然而，测试人员把HIOKI日置与A公司的电流传感器测量得到的逆变器输出功率结果进行了比较，发现测量值之间的偏差随着开关频率的增加而加剧，最大偏差值超过了 10%。在要求精度为 0.1% 的情况下，为什么会出现如此大的差异？我们应该相信哪种测量结果？

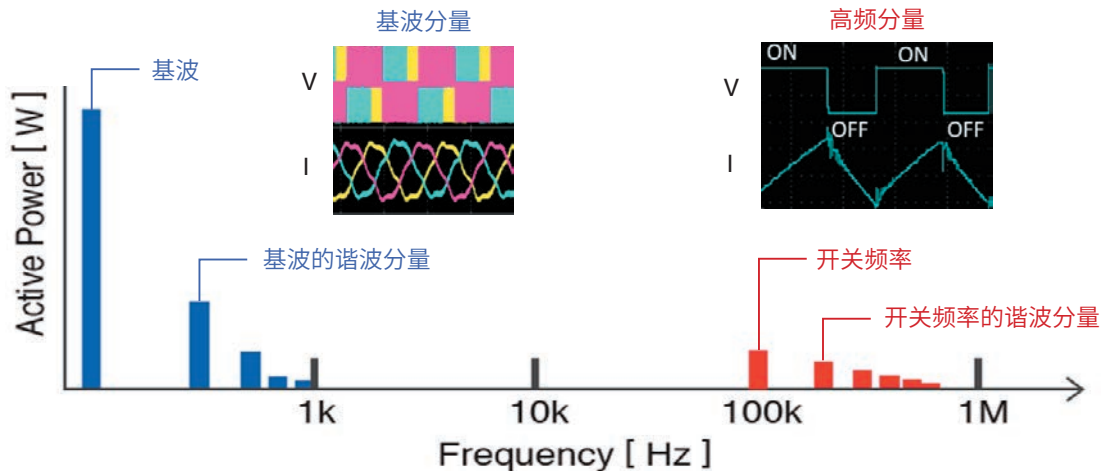
本应用案例将会讨论实际测量结果，并介绍在逆变器效率测量中选择电流传感器的一些要点。



1. 课题

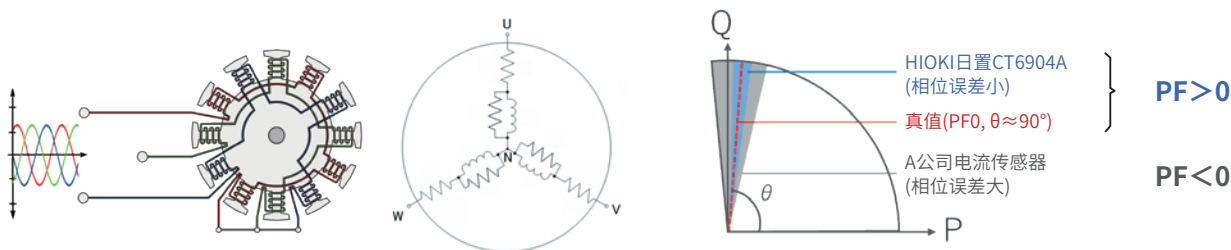
逆变器的输出功率包括驱动电机的基波频率分量及其谐波(蓝色部分)和逆变器的开关频率及其谐波(红色部分)。基波及其谐波分量处于几千Hz的低频段，因此可以用传统的功率分析仪和电流传感器进行相对准确的测量。

然而，开关频率及其谐波分量处于几十 kHz 至几 MHz 的高频段且功率因数较低，因此需要不仅能准确测量宽带宽还能准确测量相位的高精度功率分析仪及电流传感器。如果无法准确测量由开关频率及其谐波分量组成的高频功率，就会导致测量值波动、效率超过 100%、损耗大幅偏离理论值等问题。



Application Note

高频测量的要点



电机的等效电路

电机的等效电路由电阻和电感组成。在高频下(几十 kHz 以上), 电感元件产生的阻抗占主导地位, 导致功率因数较低。因此, 需要一种能准确测量逆变器载波频率的宽带宽测量仪器。

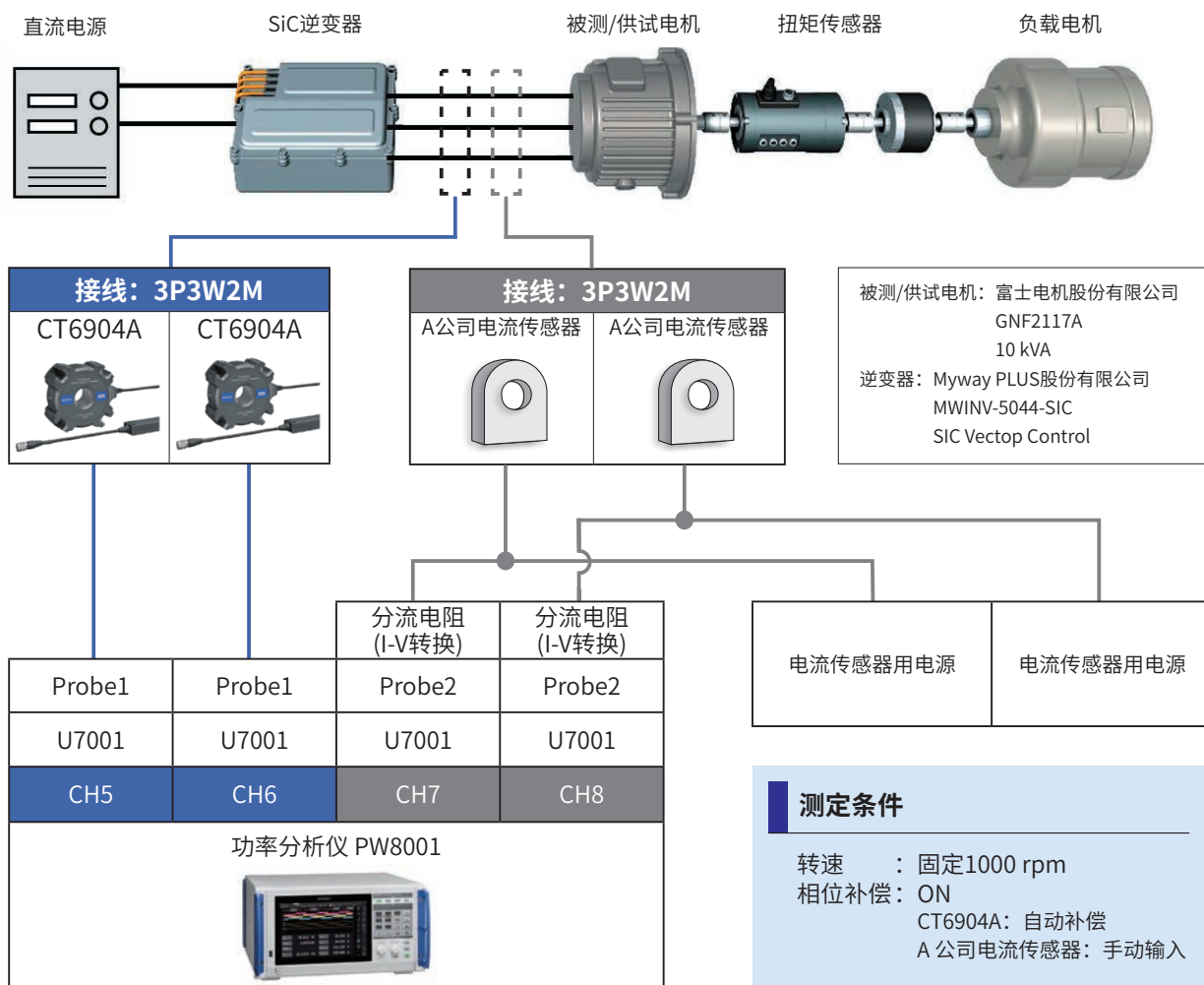
低功率因数测量的特点

在低功率因数测量中, 电压-电流相位差接近 90° , 相位的微小偏差会导致较大的测量误差。如果使用相位误差较大的测量仪器, 相位可能会超过 90° , 从而对功率误差产生重大影响。

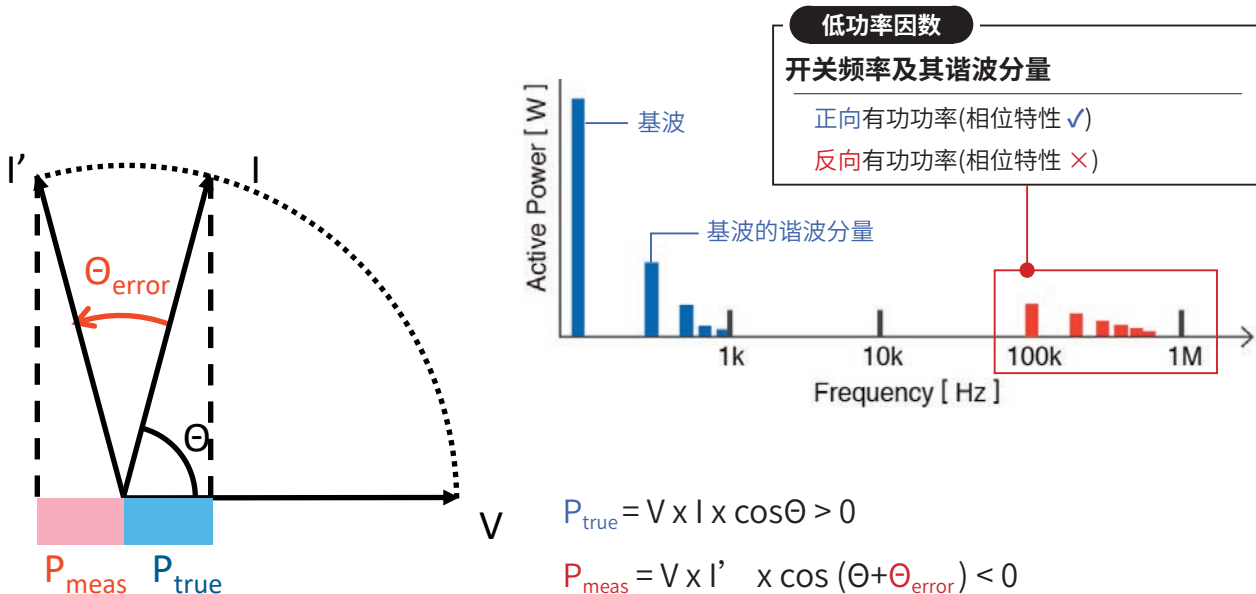
2. 比较逆变器输出功率测量值

功率分析仪的主体采用了高端型号 PW8001, 比较了使用具有出色相位特性的电流传感器 CT6904A 和A公司电流输出型电流传感器(额定电流 1000 A, 带宽 \sim 300 kHz)测量的结果。包括接线在内的测量条件完全相同。那么相位特性的差异会对高频功率的测量造成何种影响呢?

测量配置框图

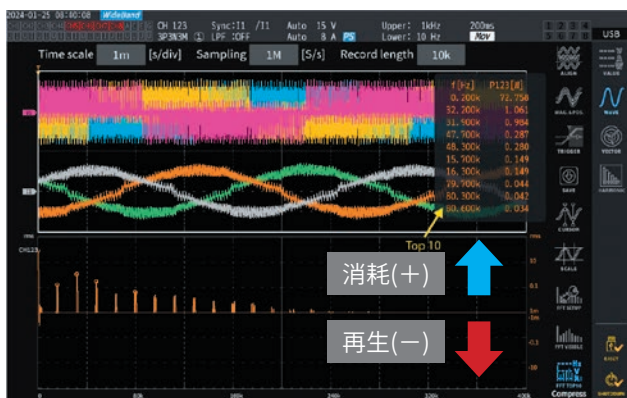


由于电流传感器的特性不同而导致的有功功率测量图像差异



逆变器输出的有功功率的频率分布分为基波及其谐波分量和开关频率及其谐波分量。包括基波在内的所有有功功率都会作为能量被电机消耗，因此理想情况下，测量结果会在分析屏幕上显示为正向分量。然而，在20 kHz以上的高频区域，由于功率因数较低，如果使用相位特性不佳的电流传感器，可能会导致本应作为正向分量出现的有功功率以反向分量的形式出现，从而影响测量结果。

利用功率谱分析 (PSA) 实现功率损耗的可视化



PW8001 Ver.2 中新增了功率谱分析(PSA)功能。迄今为止，FFT 分析通常基于电压和电流，但通过添加有功功率作为新的分析项目，可以直观地显示各频率分量中的功率分布。这样就可以直观地识别负载的消耗和再生。

相关视频：什么是用于电机损耗分析的 PSA
<https://www.hioki.cn/products/932.html>

功能介绍：功率谱分析 (PSA) 功能可确定变频器电机损耗
https://www.hioki.cn/solution/info_463.html

Application Note

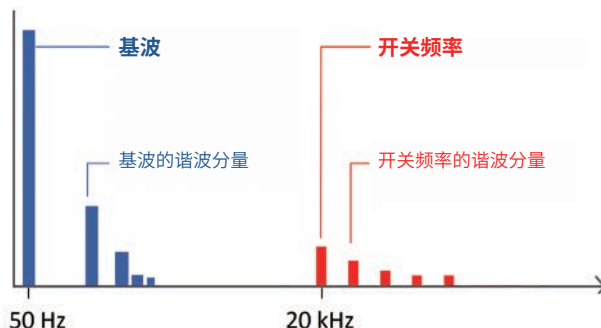
测定比较结果

开关频率为 20 kHz 时，有功功率相差约 40 W (= 约 2.1%)。原因可通过 PSA 功能进行分析。

使用 HIOKI 日置 CT6904A 测量的结果显示，包括开关频率及其谐波分量在内的所有有功功率均为正值(功耗)。另一方面，A 公司电流传感器测量的结果将开关频率的高频功率误测为负值(再生功率)。

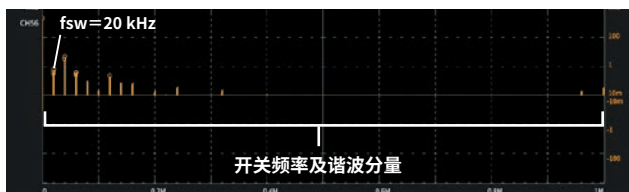
由此可见，HIOKI 日置 CT6904A 的结果更为可靠。这是由于电流传感器的相位特性不同造成的结果。

频率分布(示意图)



fsw = 20 kHz

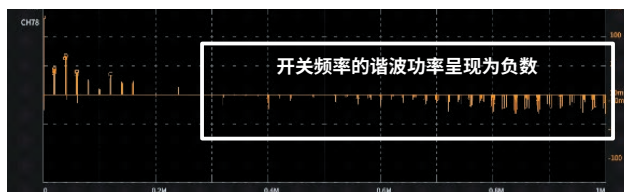
HIOKI 日置 CT6904A 电流传感器



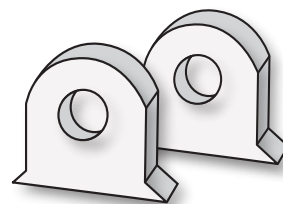
| | |
|-------------|------------|
| U_{rms56} | 173.225 V |
| I_{rms56} | 10.2936 A |
| P_{56} | 1.95350 kW |



A社电流传感器(电流输出型)



| | |
|-------------|------------|
| U_{rms78} | 173.262 V |
| I_{rms78} | 10.3911 A |
| P_{78} | 1.91213 kW |

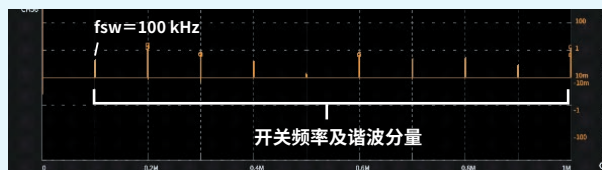


有功功率相差大约40W(约2.1%)

如果进一步提高开关频率...

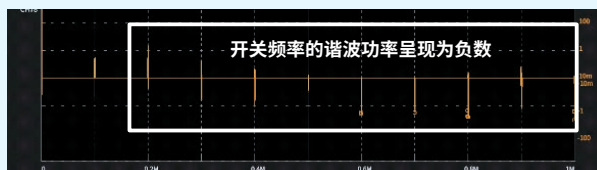
fsw = 100 kHz

HIOKI 日置 CT6904A 电流传感器



| | |
|-------------|------------|
| U_{rms56} | 185.662 V |
| I_{rms56} | 9.9324 A |
| P_{56} | 1.88024 kW |

A社电流传感器(电流输出型)



| | |
|-------------|------------|
| U_{rms78} | 185.822 V |
| I_{rms78} | 10.3787 A |
| P_{78} | 1.69113 kW |

有功功率相差大约190W(约10%)

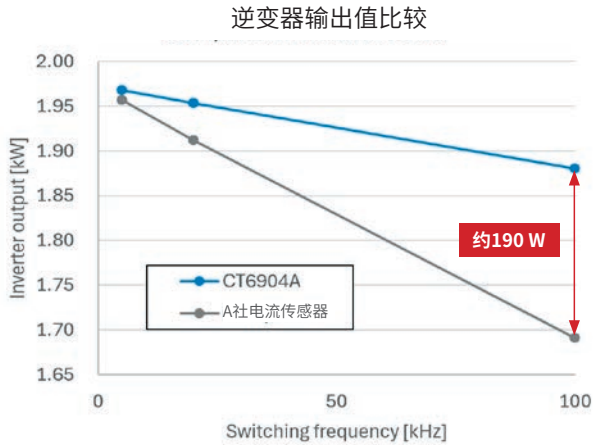
将开关频率提升至100kHz之后，有功功率相差大约190w(约10%)。通过 PSA 功能进行分析后可知，A社的传感器大约在200kHz~(开关频率的2倍)的高频带宽中确认到负功率，未能进行准确的测量。

Application Note

逆变器输出的有功功率误差比较

随着开关频率的提高，两者之间的有功功率差也变大了。一般来说，在逆变器中使用SiC/GaN有望提高效率，并通过提高开关频率可实现小型化、轻量化。

为了能在此类开发中准确测量效率，在选择电流传感器时必须谨记其相位特性差异会对结果产生显著影响这一关键。



在普通混合动力车中

改善100 W的损耗 \approx 改善2 km/L 的油耗

例如，在汽车逆变器的开发中，为了改善油耗及缩短充电时间，通常以10 W为单位进行热管理。因此，对测量仪器的精度要求也越来越高。



3. HIOKI日置提供的解决方案

除了保证功率分析仪和电流传感器单独进行宽带宽测量时具有足够的性能外，组合条件下的相位误差也有规定范围。此外，PW8001 还具备自动相位补偿功能，可提供大范围相位补偿，为低功率因数下的高精度测量提供有力支持。HIOKI日置的功率分析仪和电流传感器非常适合用于测量SiC/GaN 的高效逆变器及配套使用的高效电机的效率和损耗。

