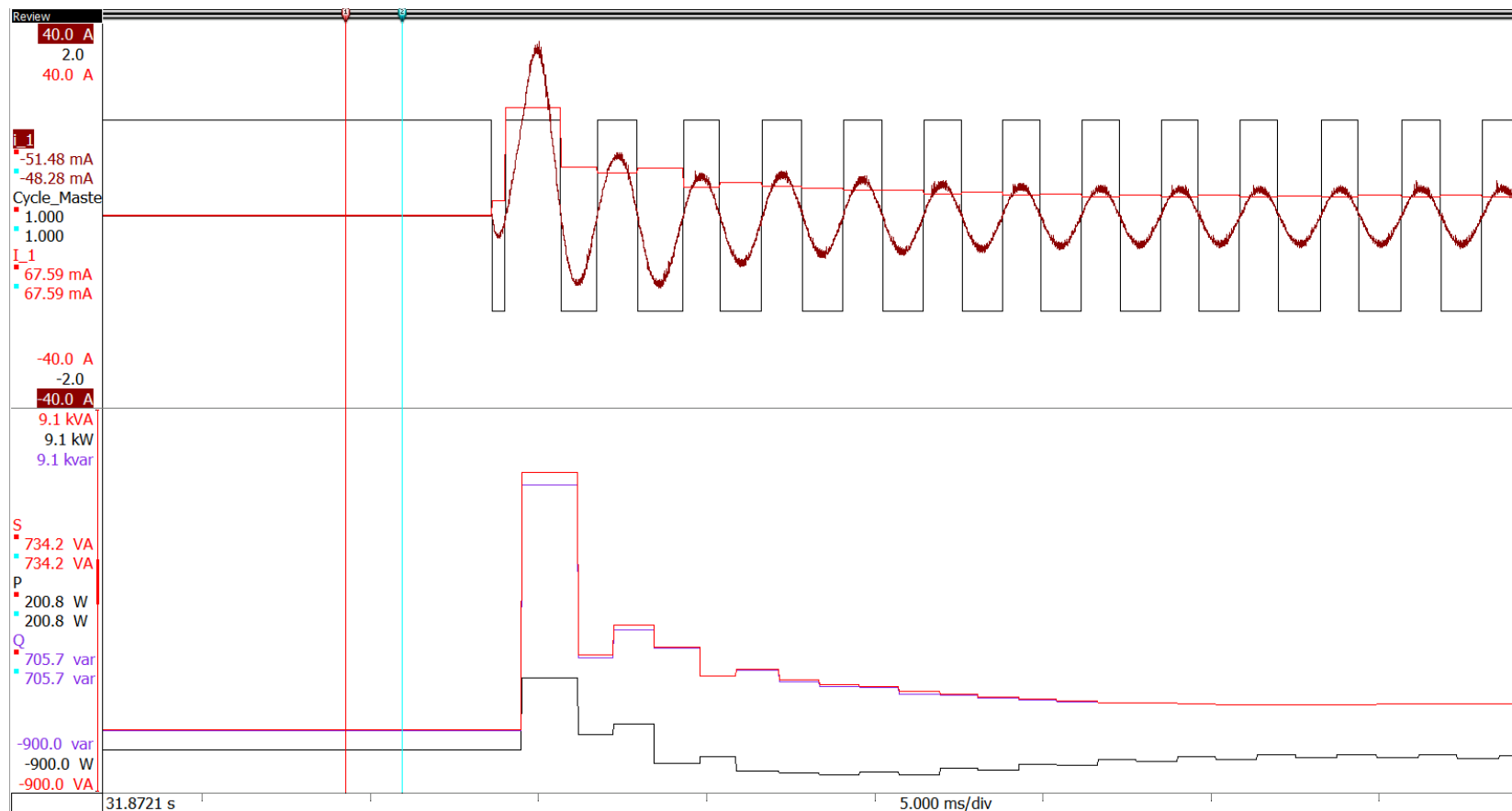


动态电功率测试解决方案及案例

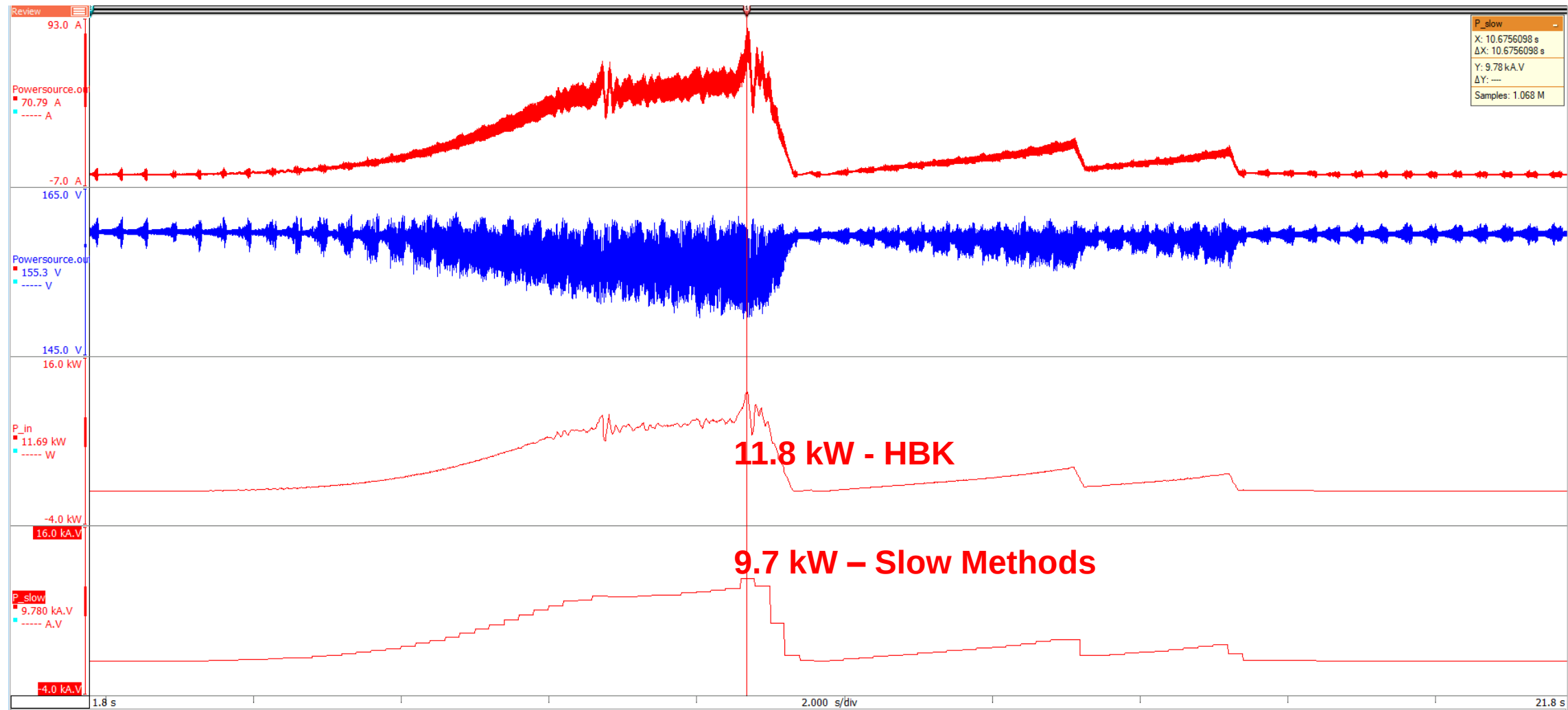
为什么需要测量动态功率？

电机转换过程存在额外损耗

- 电机在启动、停止或状态变化时，会产生与状态变化相关的损耗
- 这些额外损耗在循环工况中持续存在
- 无功和有功功率的增加会导致损耗
- 需要动态地表征这些损耗以获得准确测量



电池输出功率

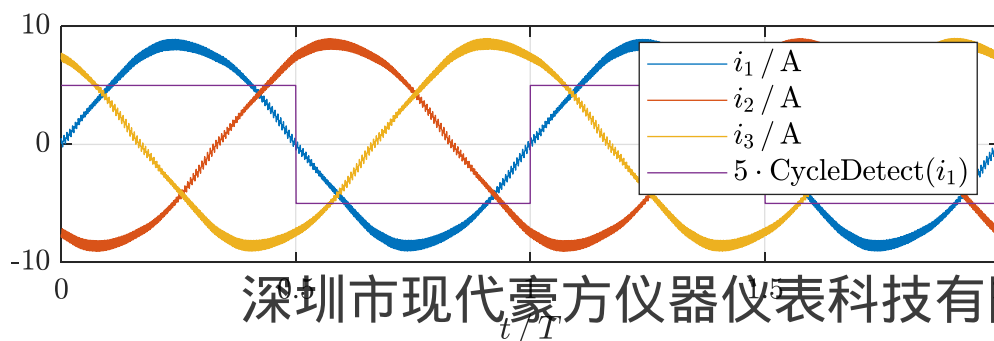
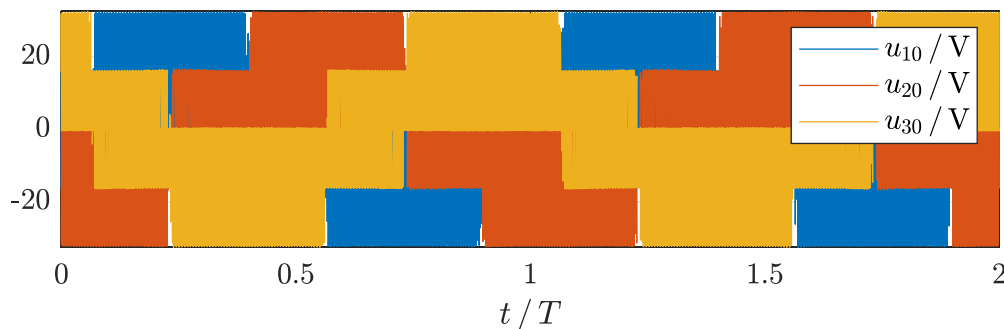
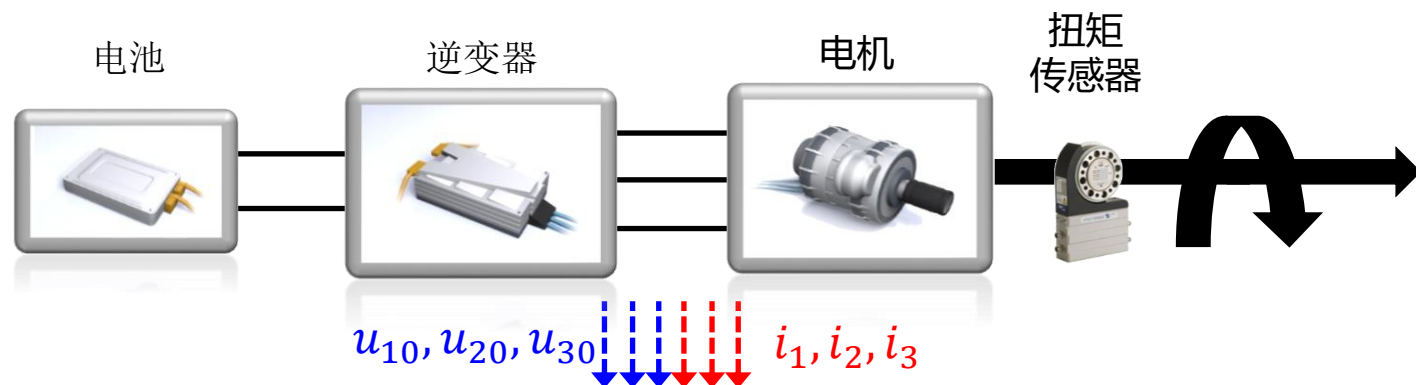


如何进行动态功率测量？

传统电功率计算 – 基于时长平均

电机的输入功率

- 测量线电压线电流
- PLL检测基波周期（基于**平滑的电流波形**）
- 抓取一定周期数的固定时长进行功率计算
 - PLL难以锁定变化的频率



基波周期是所有与周期相关计算的基础，
例如：均方根（RMS）值、有功功率、无
功功率和视在功率、效率等

动态功率计算 - 基于周期数平均

高精度

- 功率测量精度等级: 0.015%读数误差 +0.02% 量程误差
- 多量程可选, 且量程自适应

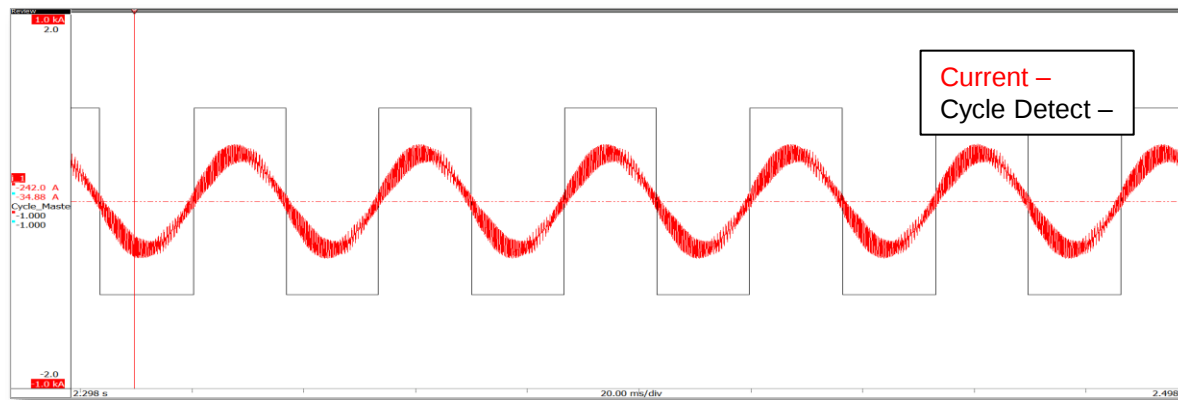
eDrive 功率分析仪使用 DSP 中的高级数字算法检测周期

有效值, 功率, 效率, 及高级计算结果都是基于周期数完成计算

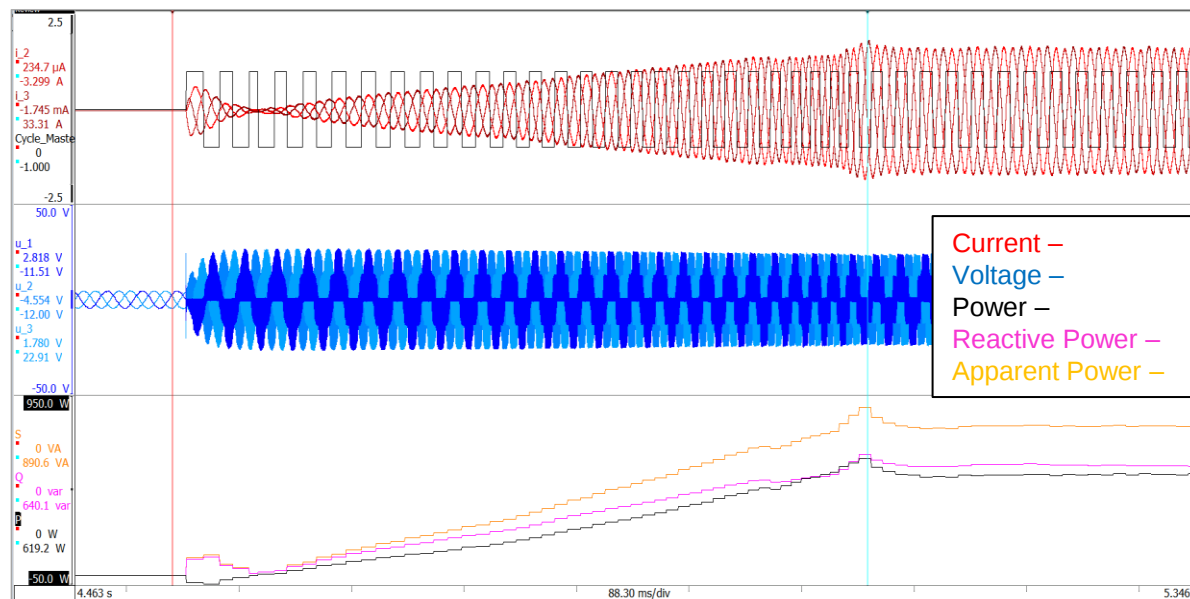
- 可用以进行动态工况 (变频) 功率效率测试

直流功率和机械功率计算基准多种方式可选

- 基于时长平均
- 基于交流电流周期数
-



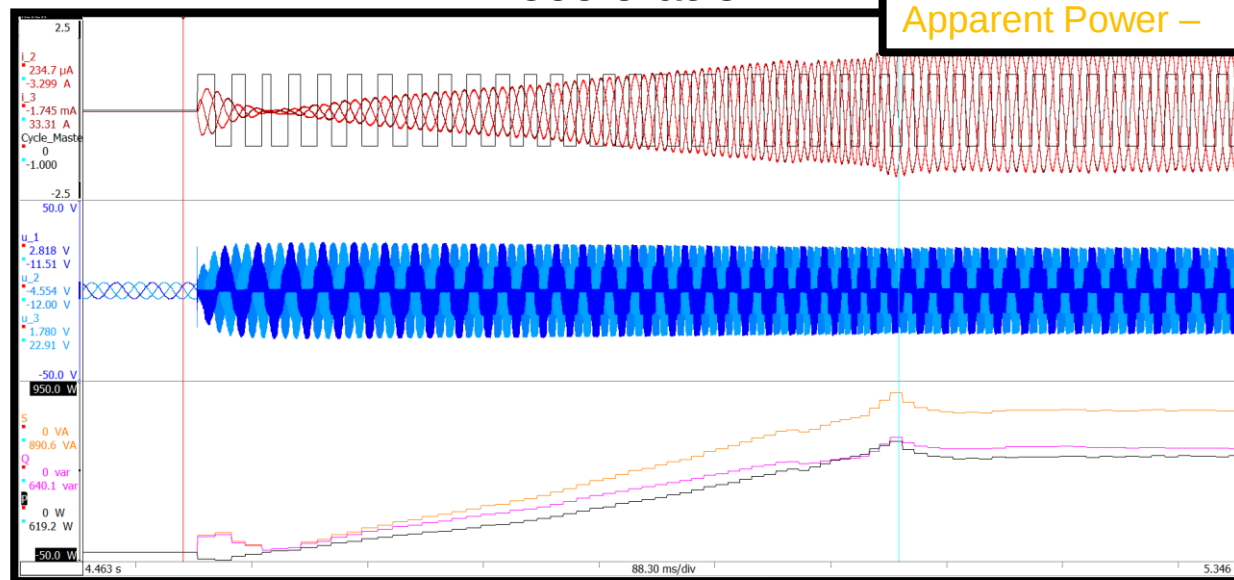
Current and cycle detect for a single phase of a 3-phase system.
This highlights the cycle detect identifying 1/2 cycles for calculation.



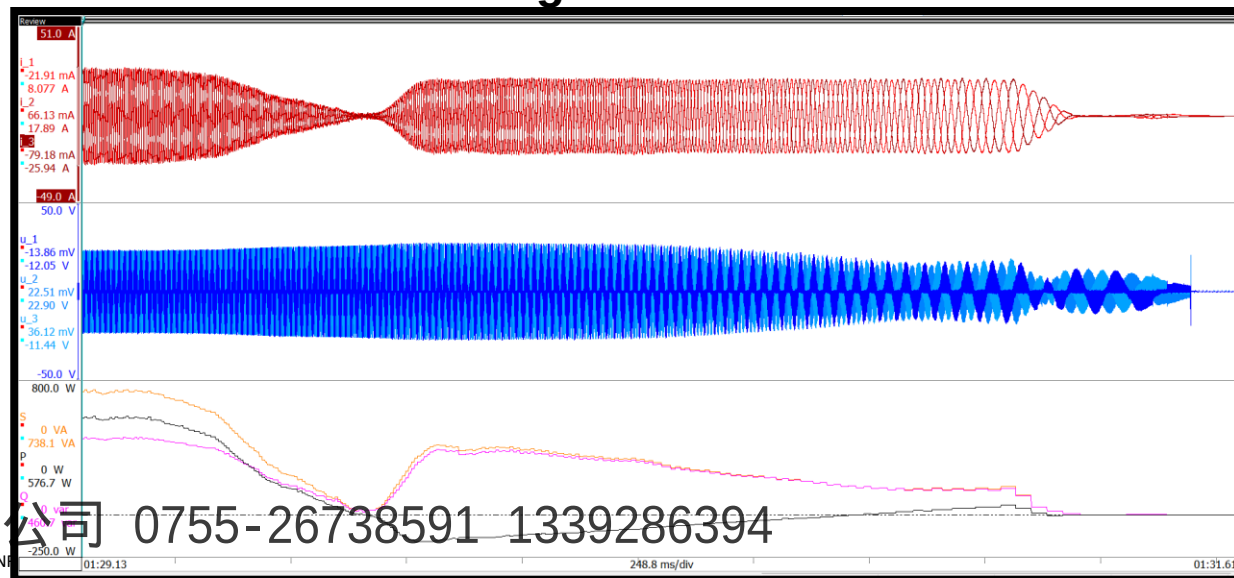
动态功率测量 - 基于周期

- 循环工况 (CLTC/WLTC) 和实车测试需要动态功率测量
- 周期检测允许在频率变化时进行动态功率测量
- 动态测试让用户能够描述真实场景
- 能量回收会影响驾驶员体验, 并且管理不善会产生额外损耗

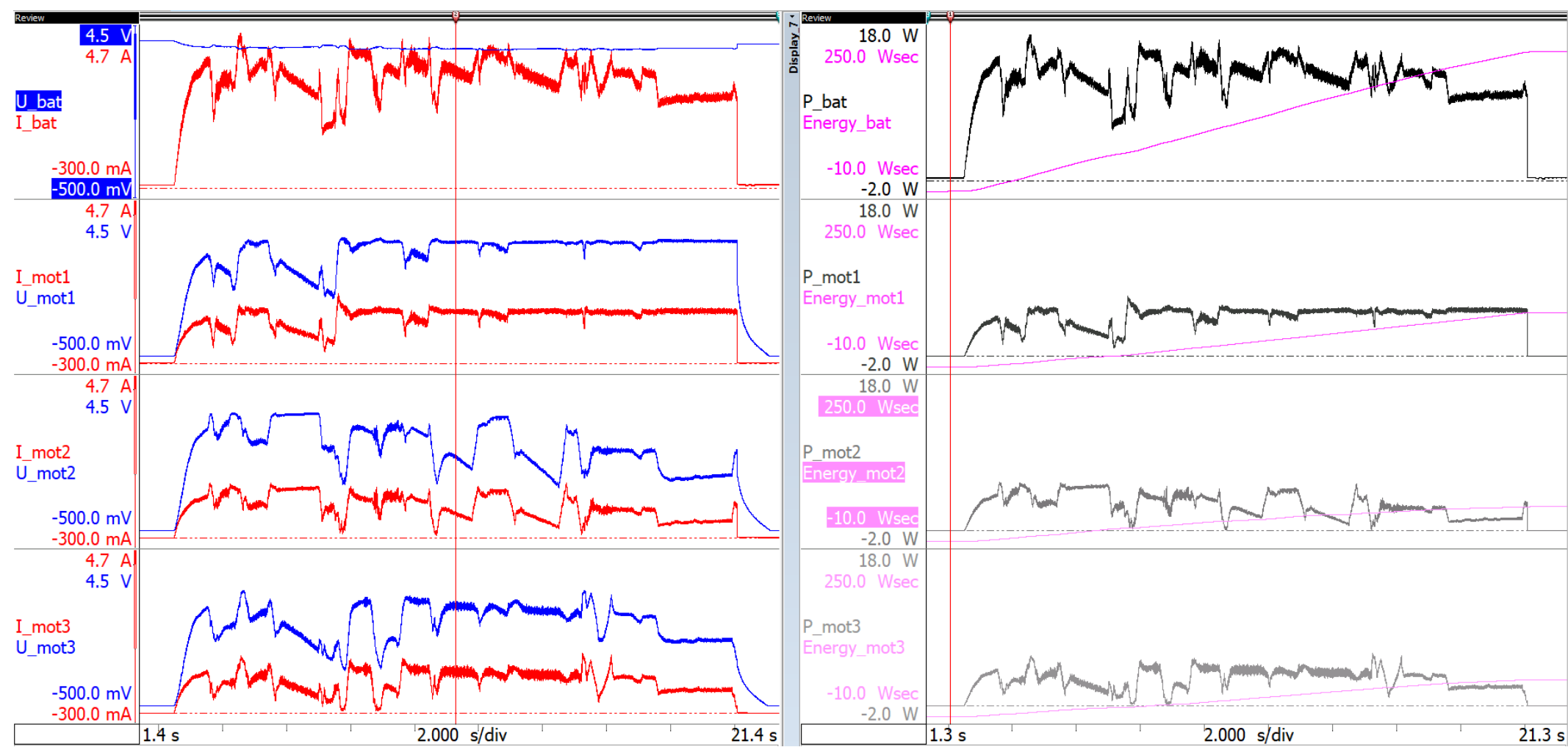
Acceleration



Regeneration

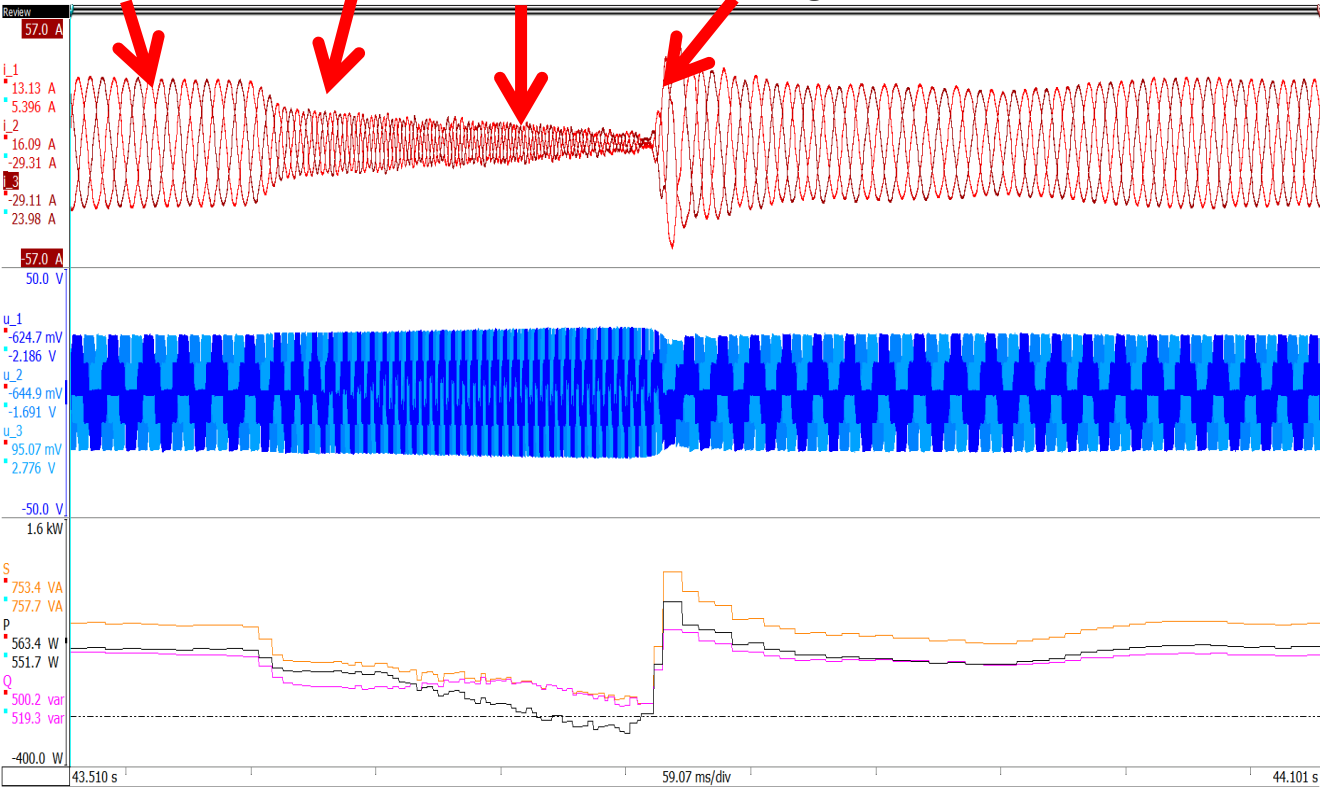


动态功率测量 – 能量流测试

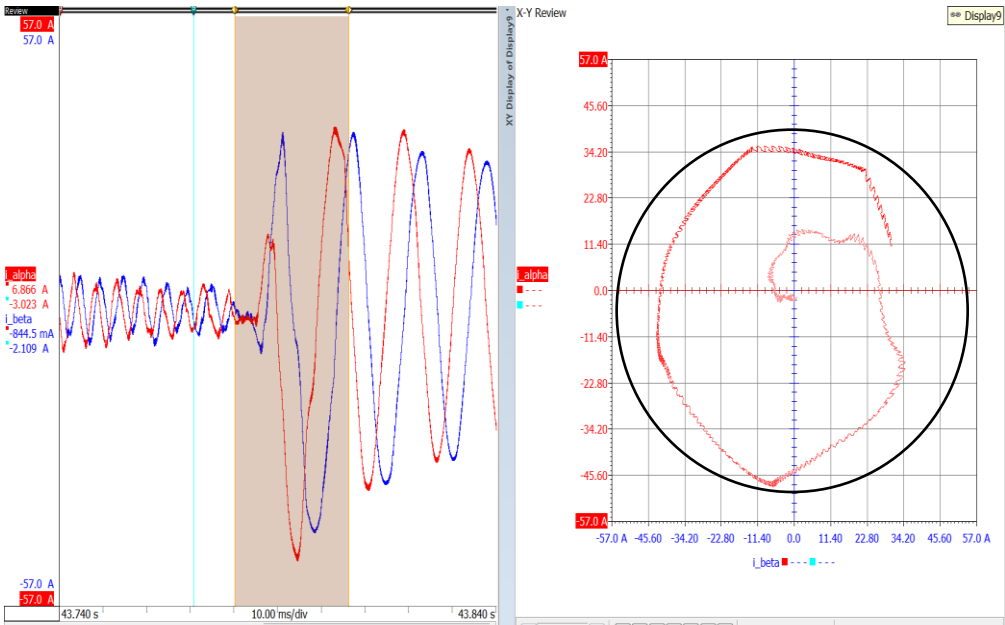


动态功率测量 – 跳车

Steady state Jump Airborne Landing



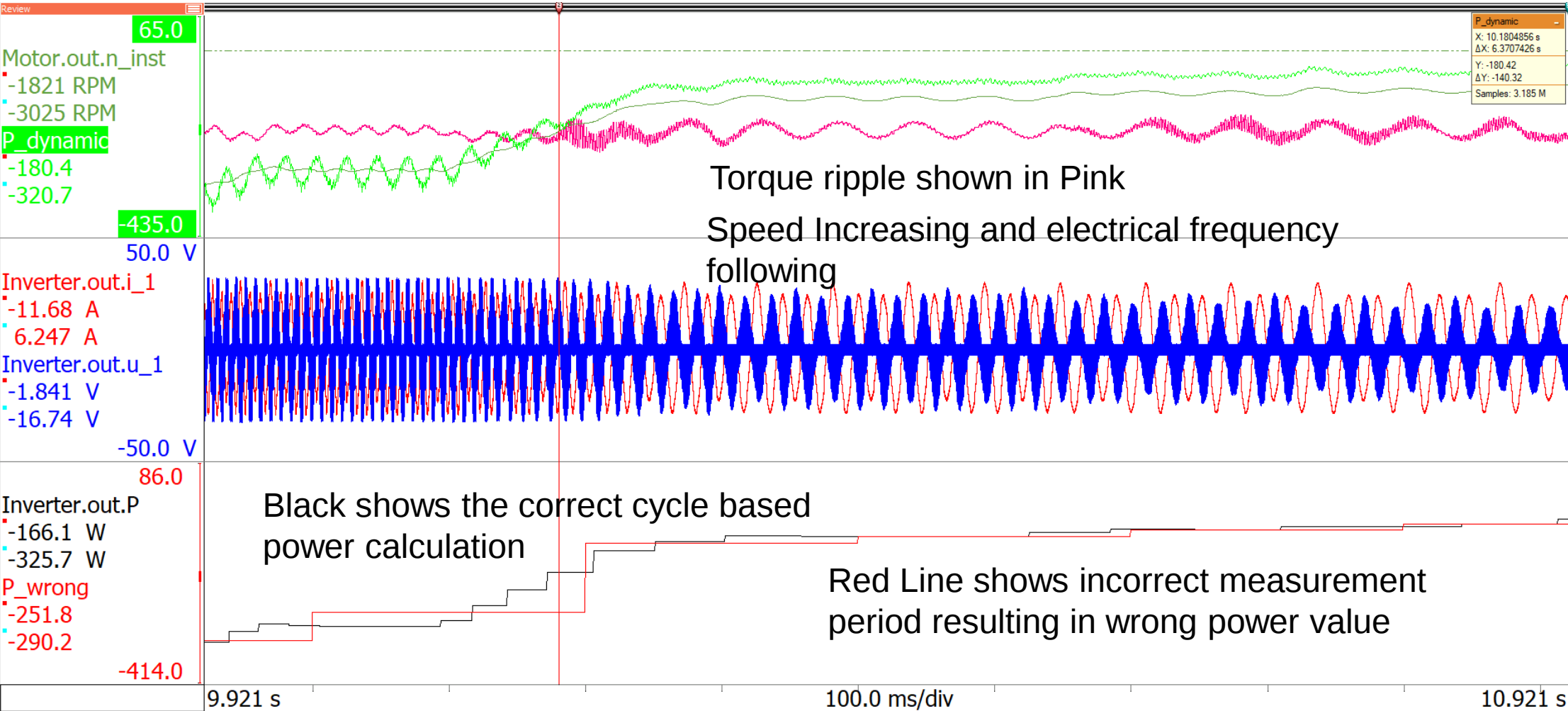
- Current –
- Voltage –
- Power –
- Reactive Power –
- Apparent Power –



Space vectors for a scooter jump
Left – Stationary DQ transformation (space vectors)
Right- Alpha vs beta display of vectors with maximum value circle

动态功率测量

Dynamic power shows high bandwidth
power as torque and speed change –
Aligned to torque ripple



加速电机效率MAP图测试

传统基于固定时长效率MAP图测试

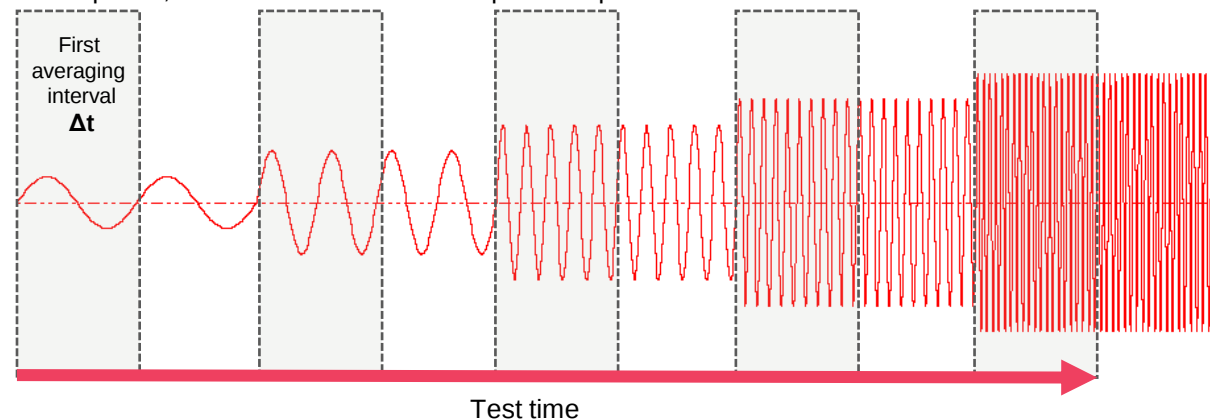
流程:

- 驱动电机至稳定工况点
- 等待工况稳定
- 功率分析仪:在给定时间间隔 Δt 内平均所有周期
 - 时间间隔固定 (PA设置)
 - 且需要覆盖最低转速工况
- 所有工况点重复此操作

问题:

- 平均时间 Δt 始终相同, 导致测试时间较长
- 在高功率工况下运行时间过长, 导致电机发热超出额定温度范围, 需要台架停车冷却

Five setpoints, each one with different torque and speed: shown is fundamental current



Example:

$$\text{Map time} = \# \text{ of setpoints} * (t_{\text{change}} + t_{\text{settle}} + \Delta t)$$

$$= 1000 * (0.5 \text{ s} + 0.5 \text{ s} + 2 \text{ s}) = 3000 \text{ s}$$

基于周期数平均的效率MAP图测试

流程:

- 驱动电机至稳定工况点
- 等待工况稳定
- HBK eDrive功率分析仪: 基于周期数平均
 - 时间间隔由周期数决定 (PA 设置)
 - 且随电机转速增加而时间间隔缩短
- 所有工况点重复此操作

结果:

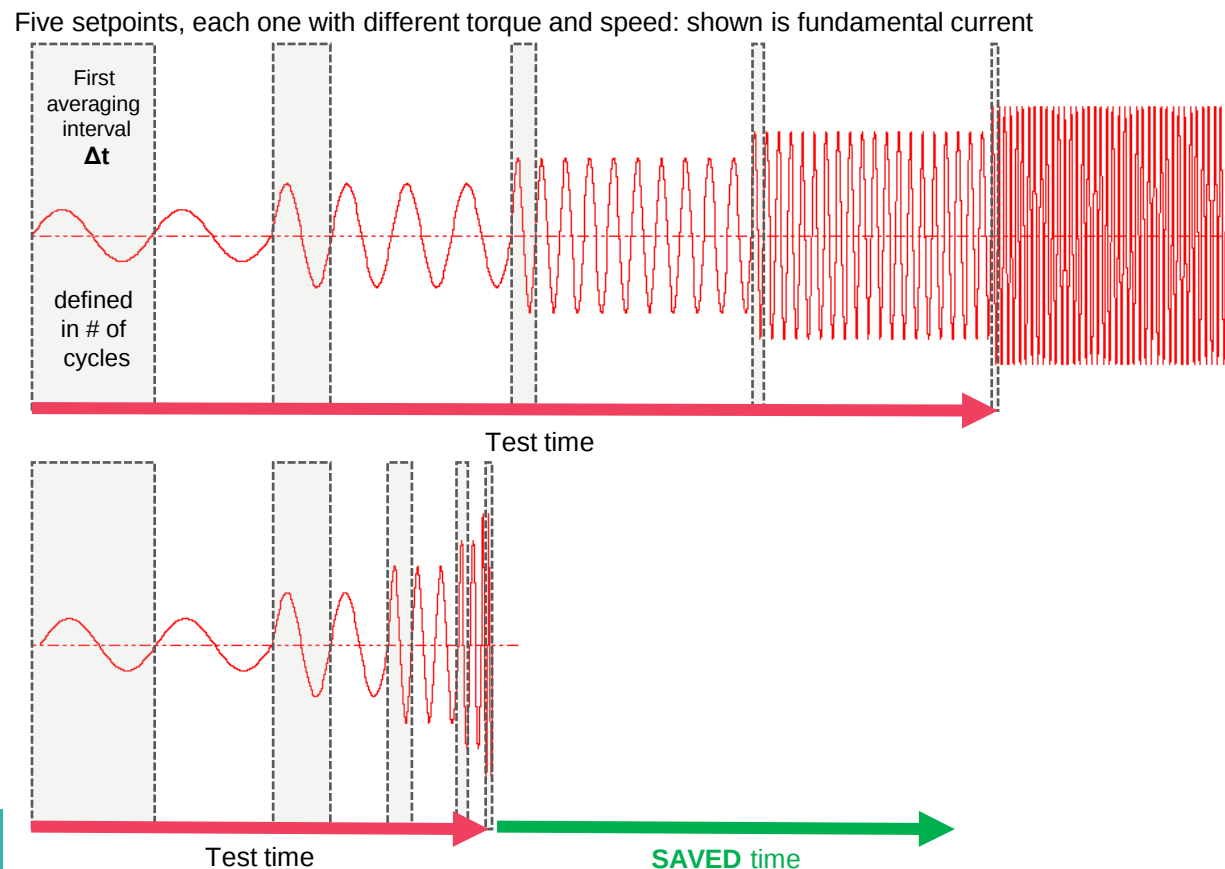
- 平均时间 Δt 随转速增加而缩短, 测试时间减少
- 在高功率工况下可能不会导致电机过热而台架停车冷却

Example:

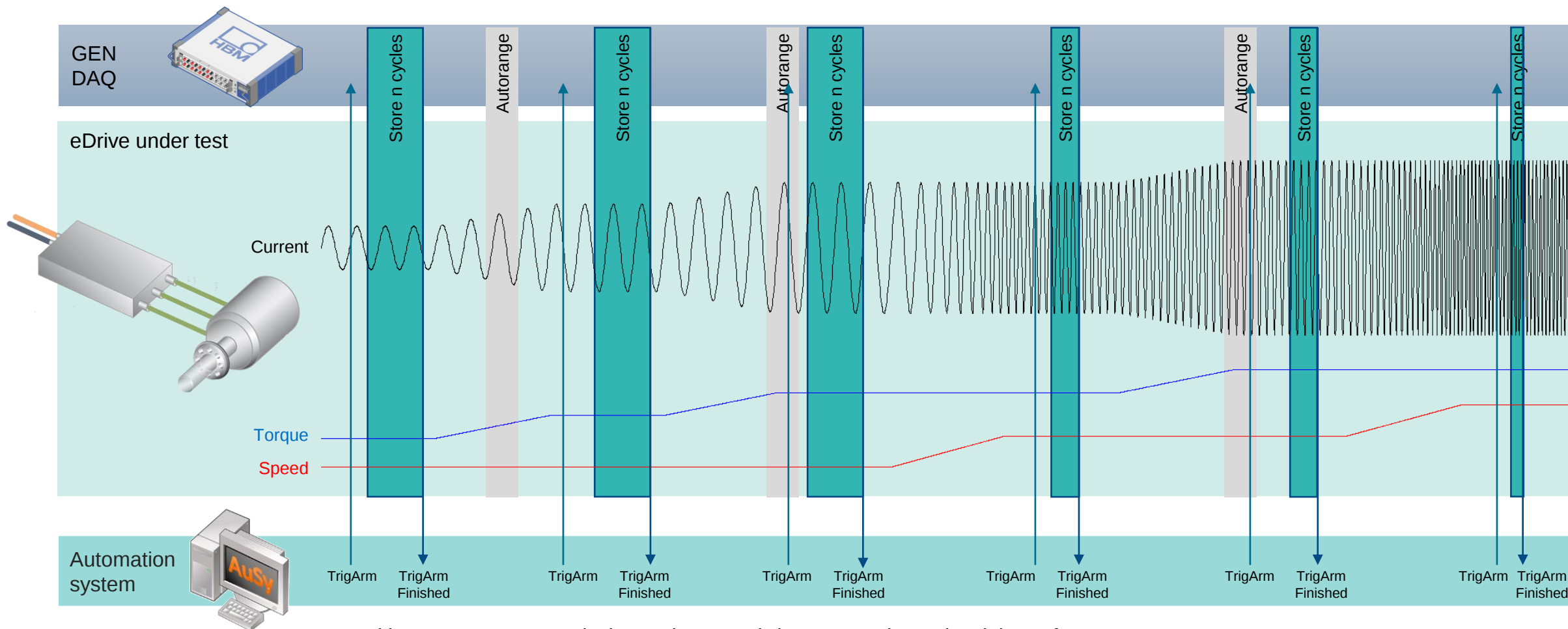
$$\begin{aligned}\text{Map time} &= \# \text{ of setpoints} * (t_{\text{change}} + t_{\text{settle}} + \Delta t) \\ &= 1000 * (0.5 \text{ s} + 0.5 \text{ s} + (2+0)/2 \text{ s}) = 2000 \text{ s}\end{aligned}$$

➔ For this example, a 1000 setpoint mapping time is cut down ~33 %.

深圳市现代豪方仪器仪表科技有限公司 0755-26738591 1339286394



HBK eDrive效率MAP图测试



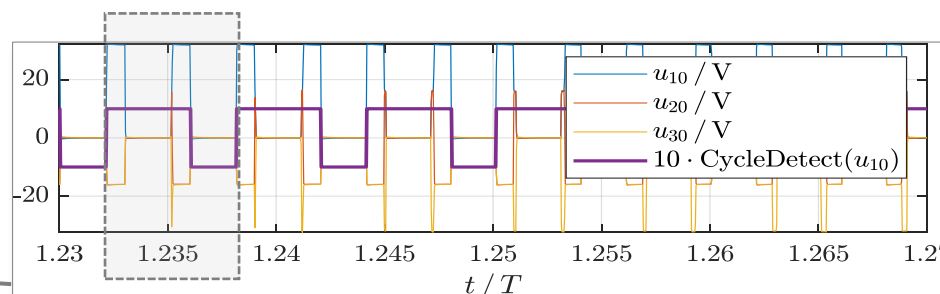
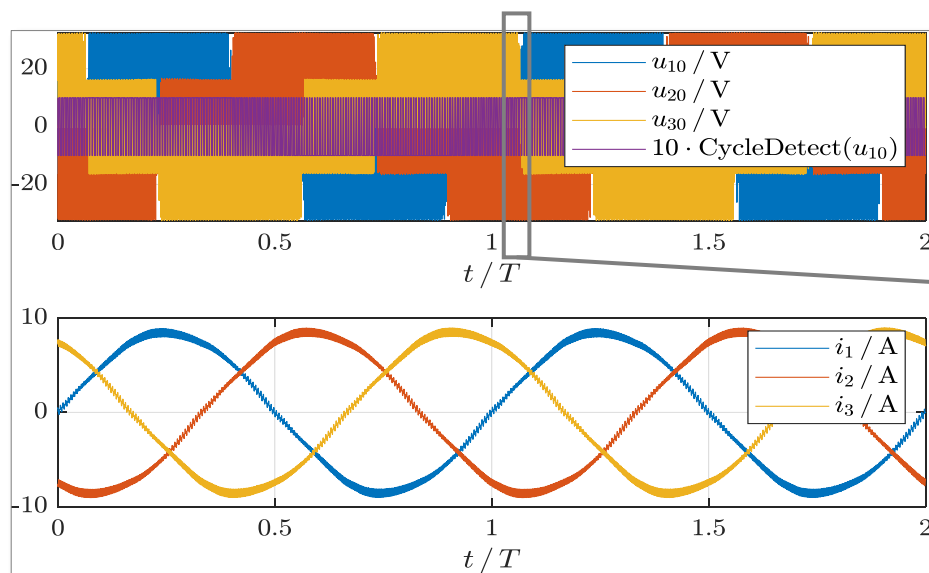
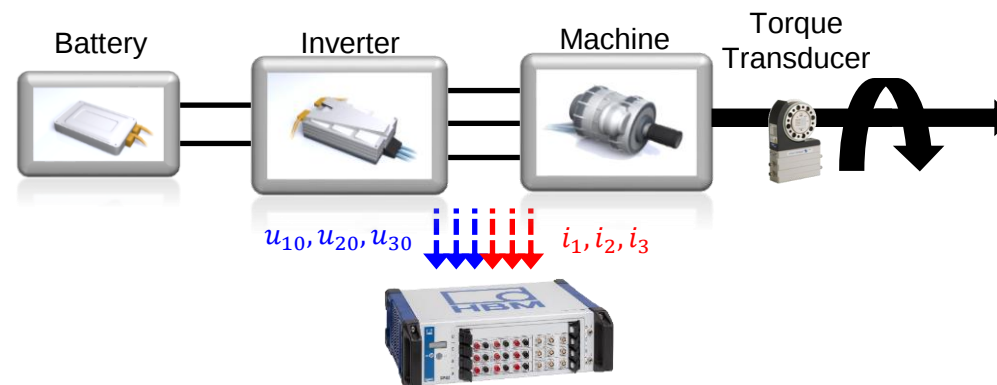
- With every torque ramp (=change in current) the current channels might perform an Auto-Range
- With every speed step (=change in fundamental frequency) the acquisition time will be adapted
- TrigArm and TrigArmFinished signals are used to synch with Automation system
- This can be done via API, TTL or CAN control

极致动态功率计算

动态电功率近似测量

电机输入功率

- 测量线电压线电流
- 检测开关周期
(基于脉冲电压波形PWM)
- 基于对一个或多个**开关**周期求平均的结果计算

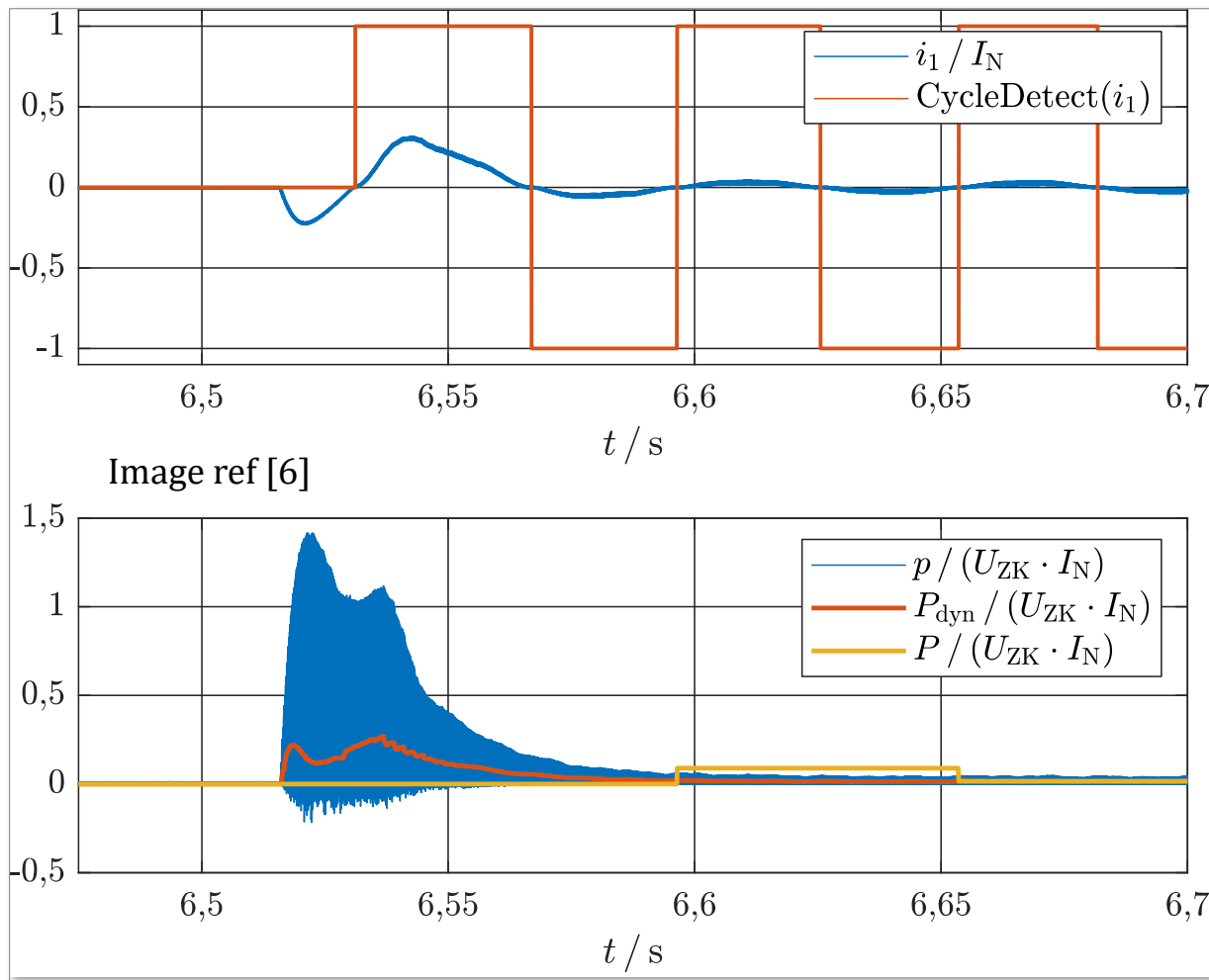


现在开关周期是所有计算的基础

- RMS值有功、无功和视在功率
- 有功、无功和视在功率
- 效率

Switching cycle is shorter than fundamental cycle → faster, more dynamic results

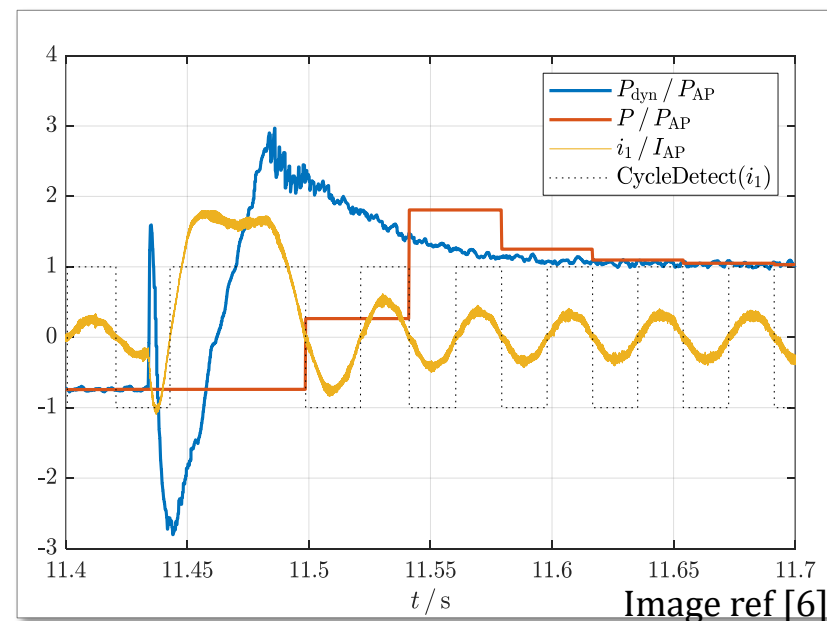
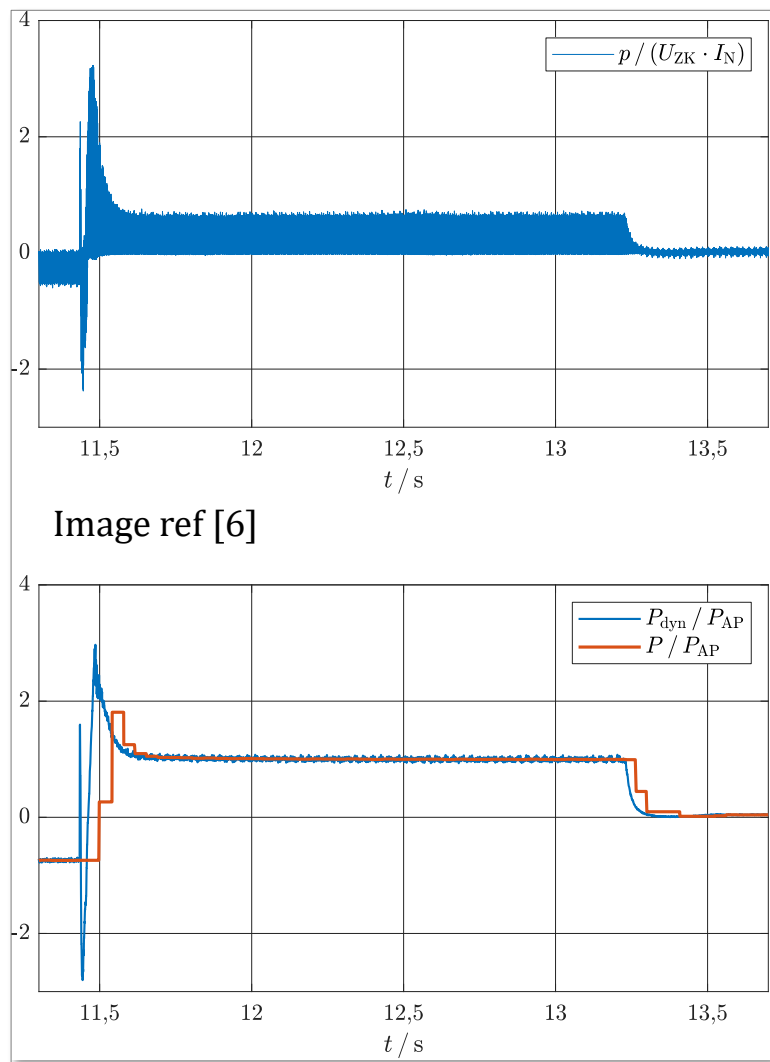
对比测量 —— 永磁同步电机 (PMSM) 的启动



- 空载加速从静止到恒定转速
- 由于因果关系，第一个功率值 (P) 只有在第一个基波周期完成后才能实时计算出来
→ 此时，启动已经完成
- 动态功率 (P_{dyn}) 仅延迟一个逆变器开关周期
→ 提供具有代表性的瞬时功率动态平均值

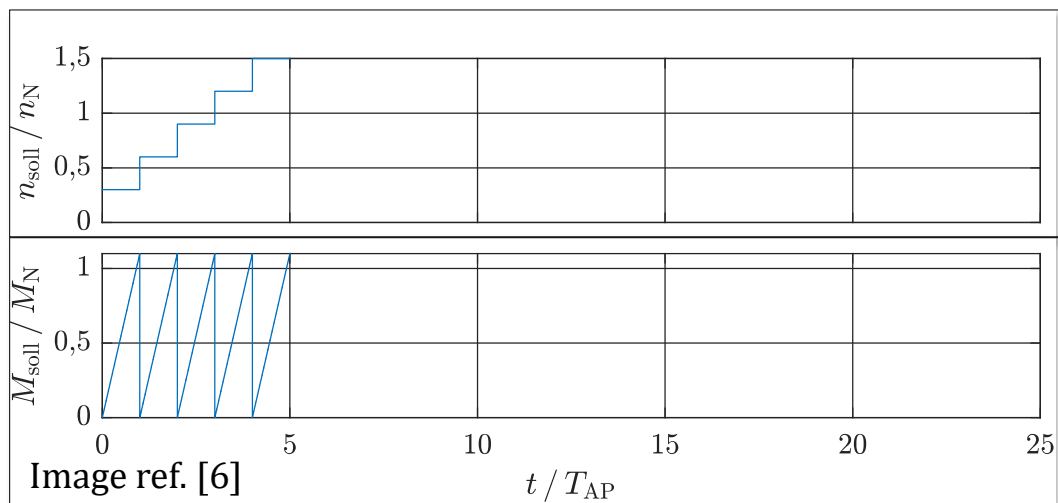
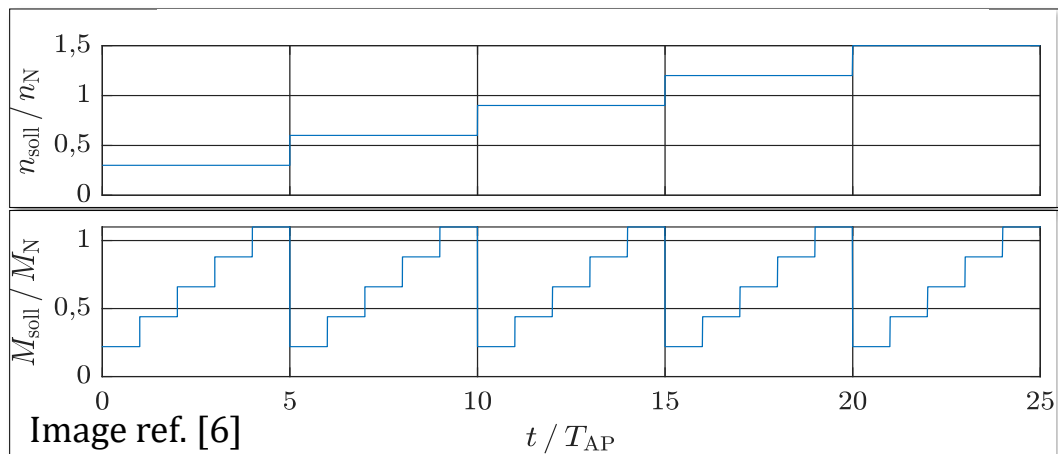
➔ Drastically increased dynamics and faster update rate of active power information

不同稳态工作点之间的转换



- 在稳态时， P 和 P_{dyn} 结果非常相似
 - P_{dyn} 能更早地提供结果，并且具有明显更多的动态信息。
- ➔ Precise active power approximation during steady state and faster, more dynamic results

加速动态效率MAP图测量



常规方法

- 转速和扭矩的稳态设定值按顺序驱动
- 基于**基波**周期计算常规的有功功率和机械功
- 计算效率

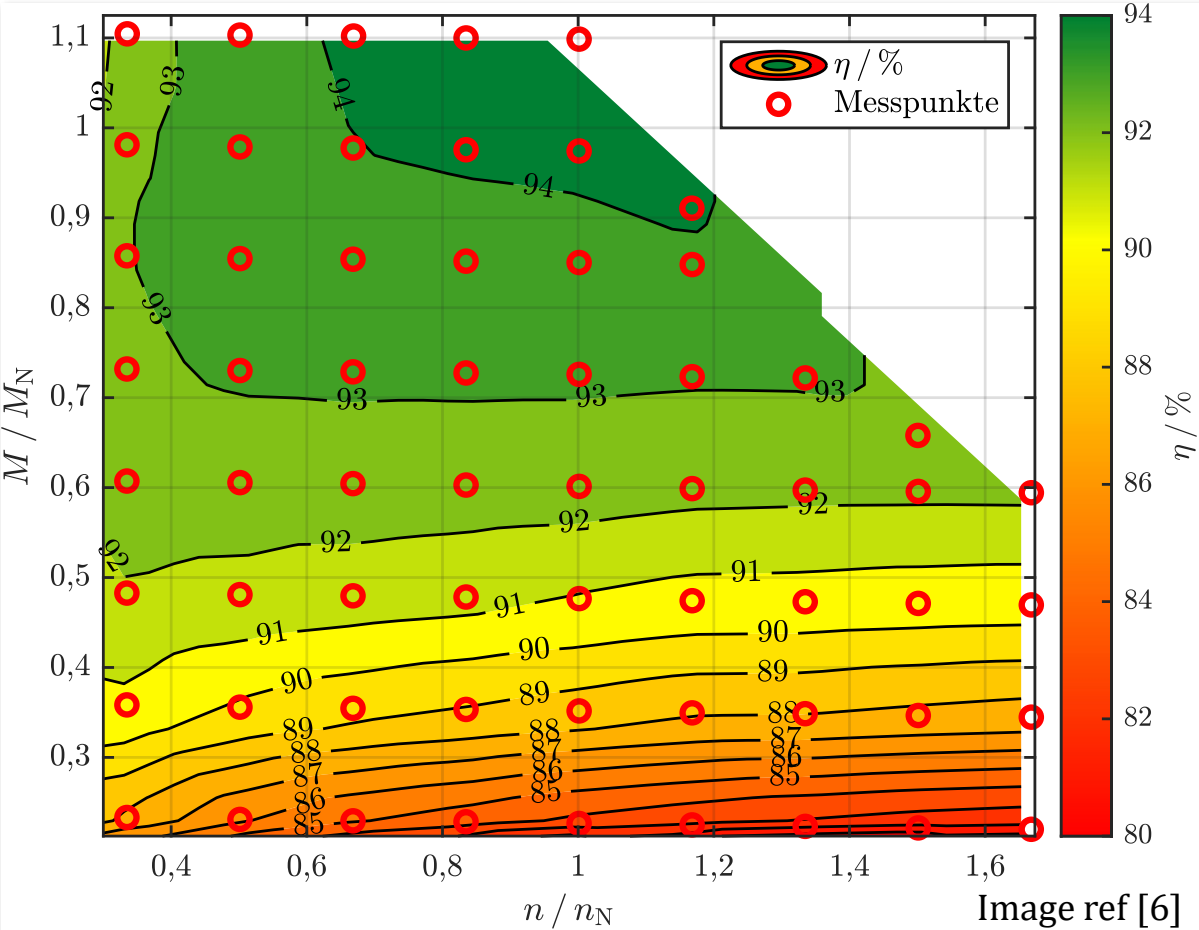
动态方法（示例）

- 转速的稳态设定值按顺序驱动
- 对于每个转速，扭矩连续增加
- 基于开关周期计算动态有功功率和机械功
- 实时计算效率

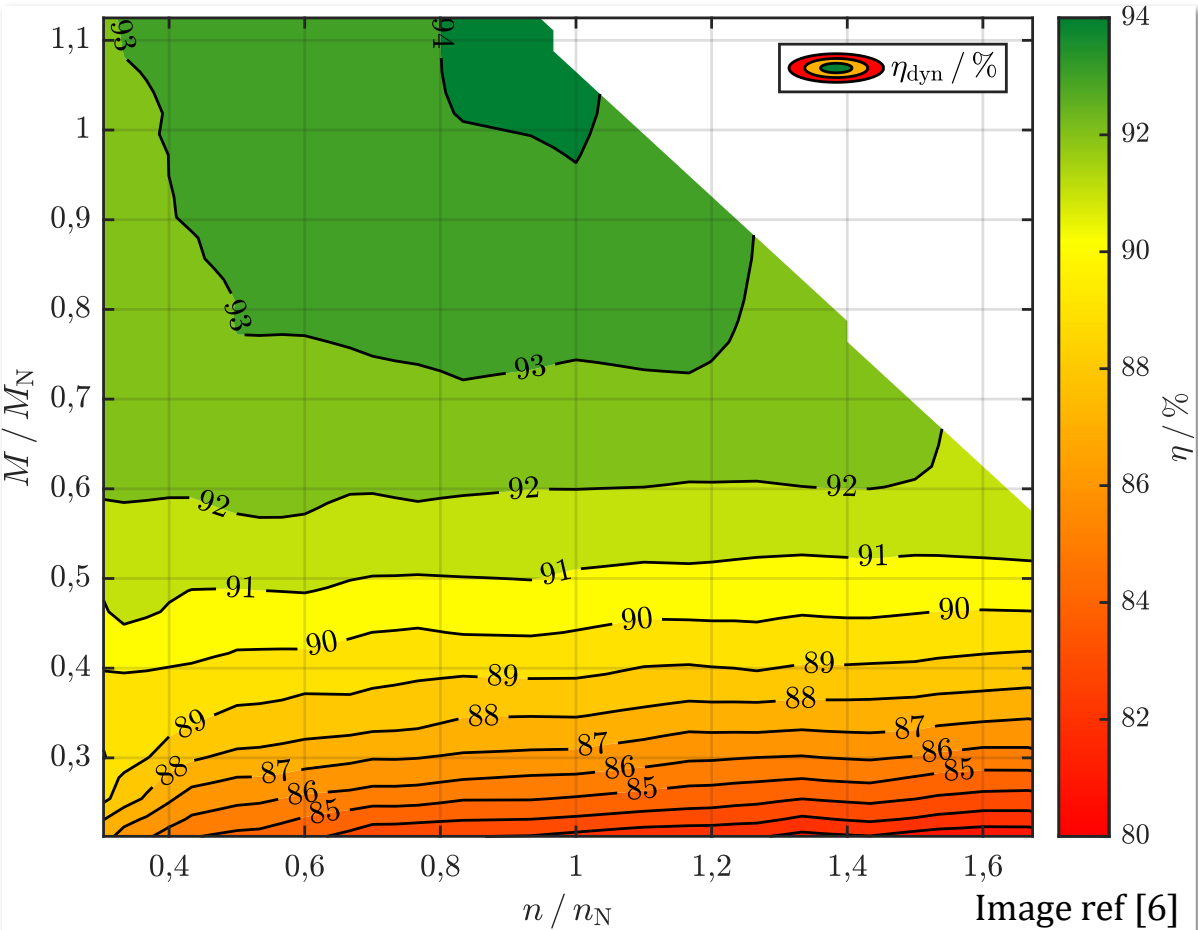
→ Significant time savings

加速动态效率MAP图测量

常规方法



动态方法

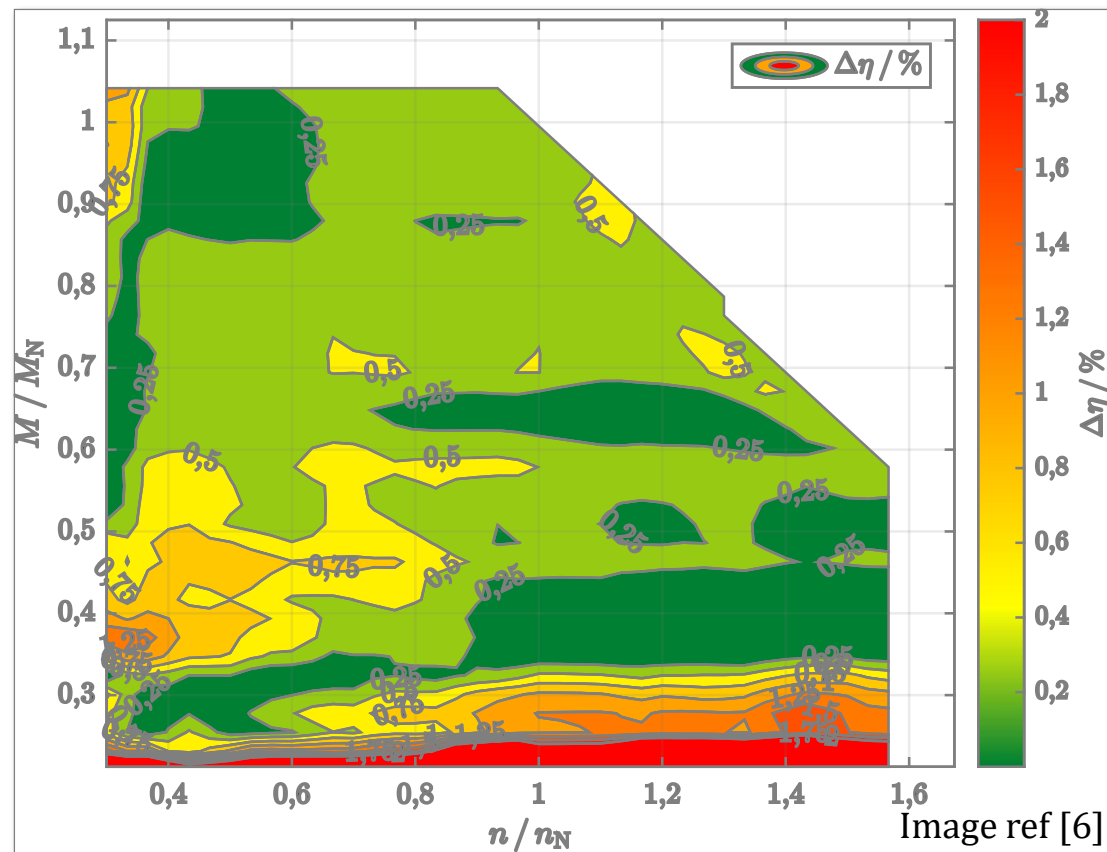


➔ High level of similarity and enormously reduced measurement time

深圳市现代豪方仪器仪表科技有限公司 0755-26738591 1339286394

加速动态效率MAP图测量 – 偏差

- 两种方法之间的偏差非常小
 - 与常规方法产生的小偏差是不可避免的
 - 不适用于最高精度要求
- 但适用于加速测量
 - 节省时间 ~ 80%
 - 非常适合 / 成本效益高的寿命终止 (EoL) 测试
- 也可以在连续升速 / 降速测量过程中进行评估
 - 对存储的原始数据进行后处理
 - 无需额外的效率测量
 - 完全省去一次测试



Deviation of Conventional and Dynamic Method

➔ ~ 80% time saving on efficiency maps, and even more if done with stored raw data

案例分享

Alstrom – 系统级测试

▲ 问题 —— 复杂的测试耗时数月

- 需要同时进行 21 项测试
- 需要示波器、数据记录仪和后处理
- 测试持续时间长

▲ 解决方案 —— HBK eDrive 7tA、电流传感器和扭矩

- 所有测量（电压、电流、扭矩、速度）在一台仪器中完成
- 可进行长时间的数据记录和计算
- 集成 Labview 以获取反馈

▲ 优势 —— 动态功率测量，现在的测试时间缩短为原来的 1/3

- 减少后处理工作
- 减少测试次数



Wright Electric - 高功率密度兆瓦电机Motors



Company developing electric airlines

问题：新电机研发

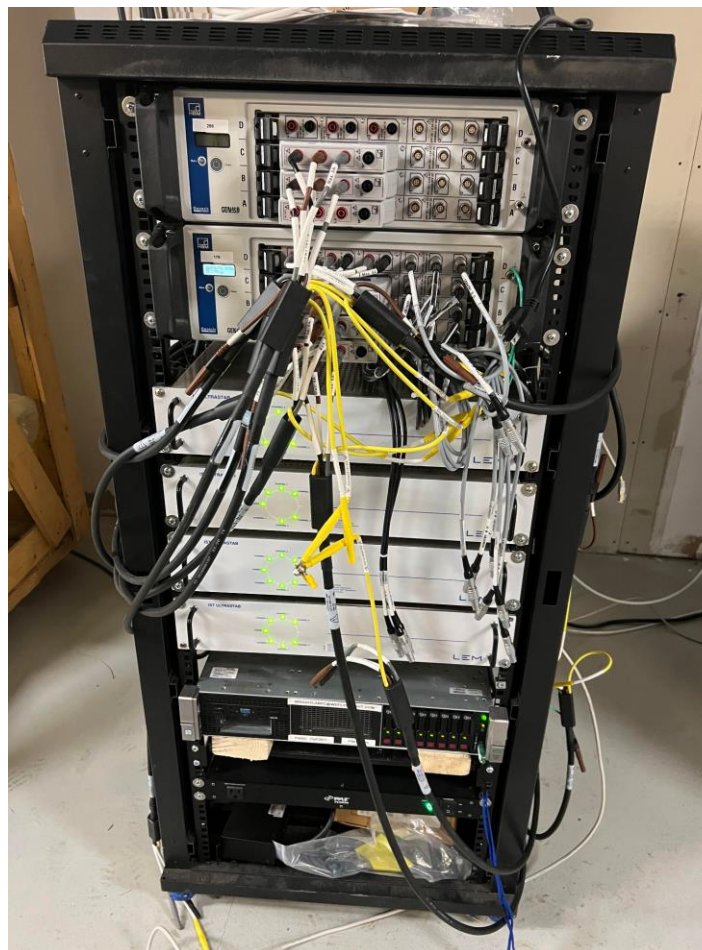
- 对新电机和逆变器进行故障排查
- 大量测量工作
- 模型验证

解决方案：HBK eDrive

- 2x GEN4tB
- 电流传感器

优势：通过一个系统完成所有测试

- 数据记录
- 功率分析
- 示波器测量
- 动态功率



Curtsey of Wright Electric

東京大学 – Nagai Laboratory 无线充电系统测试

挑战：了解新问题

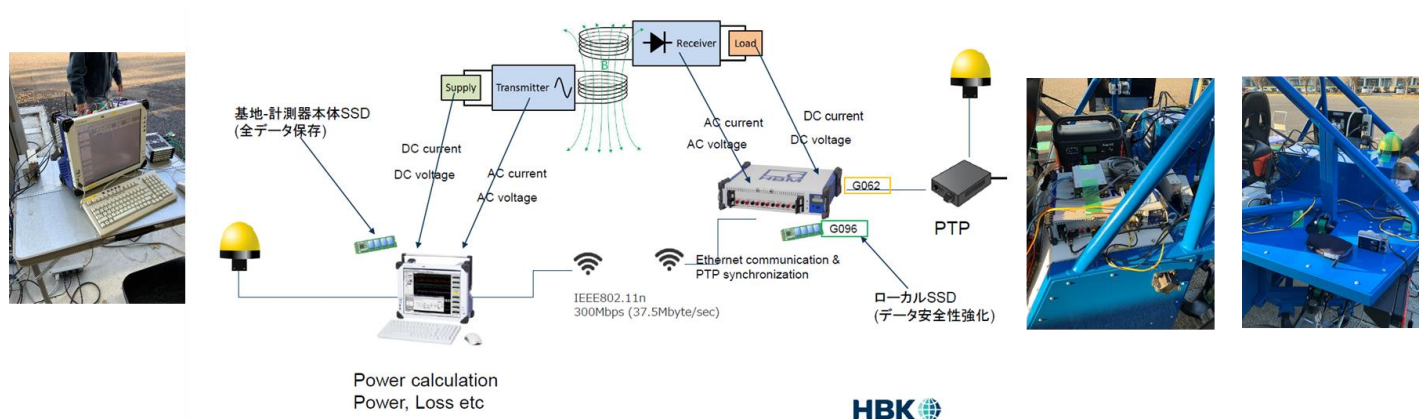
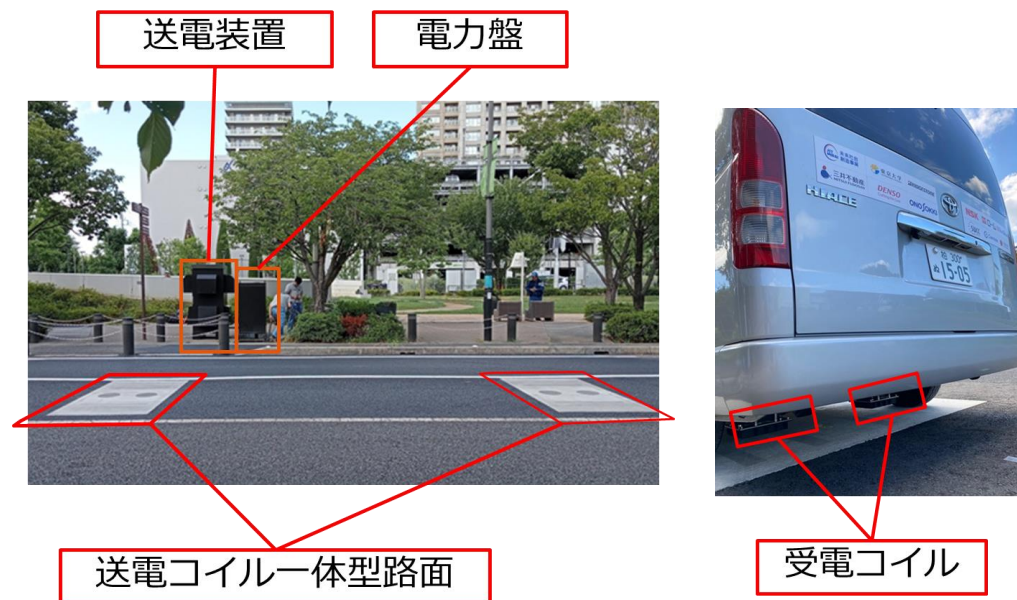
- 地面和车辆测量校准
- 快速功率测量
- 移动设备的效率

解决方案：HBK eDrive

- 数据采集：Gen2TB + Gen3i
- GPS 和 PTP 同步

选择 HBK 的原因：

- 用以故障诊断的原始数据
- 动态功率测量
- 高精度
- 同步测量



国内某知名汽车OEM – 空气悬架系统测试

问题 —— 优化空气悬架控制系统的设计

- 需要测量直线电机功率，没有标准正弦波电流
- 需同步测量位移和力

解决方案 —— HBK eDrive 2tA、电流传感器和CAN模块

- 所有测量（电压、电流、位移、力）在一台仪器中完成
- 基于PWM波周期检测计算动态功率
- 通过CANbus总线将数据集成到台架控制系统

选择 HBK 的原因：

- 极致动态功率测量
- 原始数据记录能力
- 一体化测试

