

HIOKI

日 置

电机测量应用案例
Motor measurement application



从电机的性能分析 到品质检查

测量解决方案的介绍



客户服务热线: 400-920-6010
网址: www.hioki.cn

3 year
3年质保



微信二维码



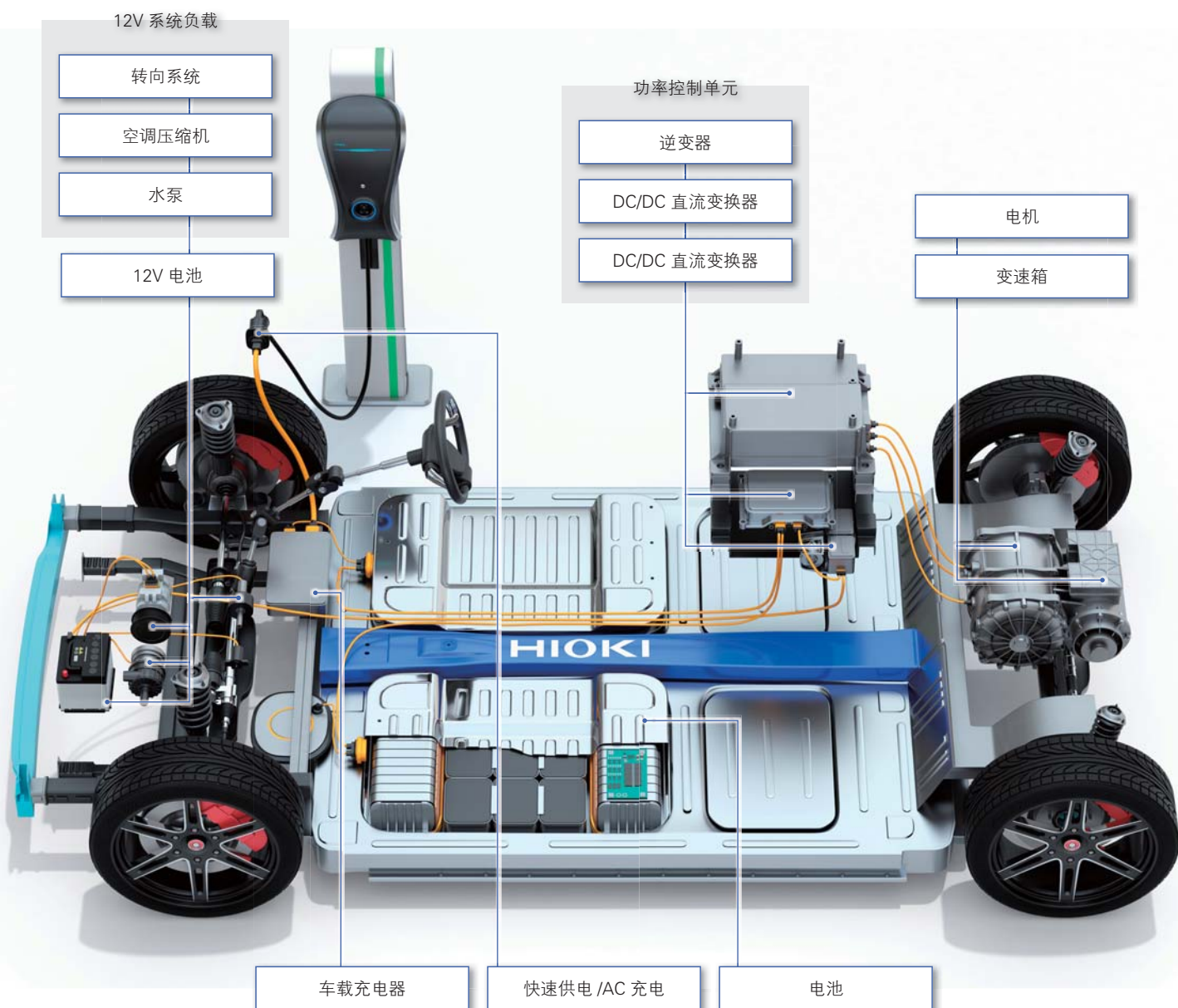
微博二维码

提高电机的性能、品质 高精度测量解决方案

HIOKI 提供丰富多样的测量解决方案，

从电机的性能分析到品质检查，响应各种测量场景。

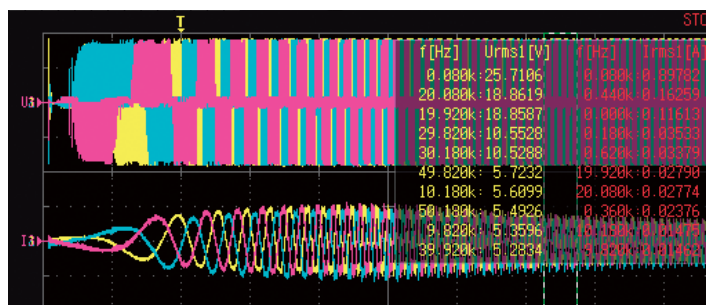
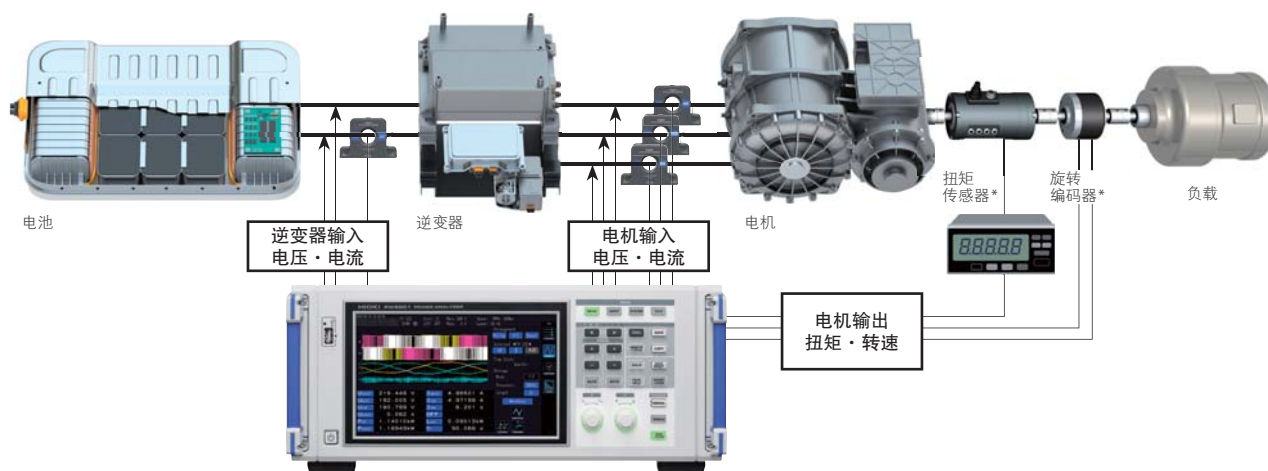
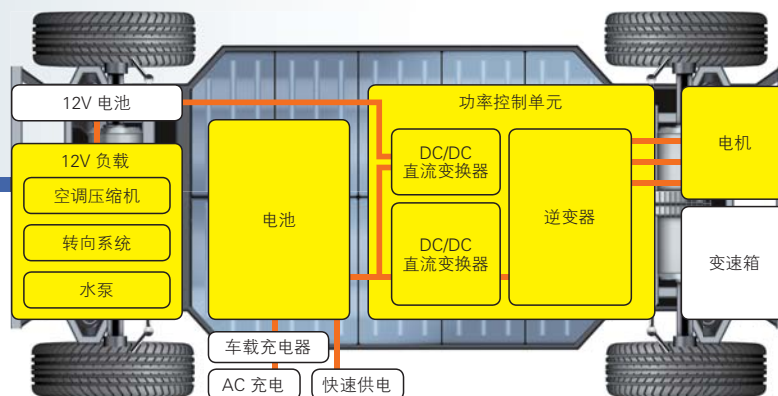
基于高精度的测量技术进行现状把握和分析，帮助提高电机的性能、品质。



设计 / 开发	变频电机效率评估 · 损耗评估	P.4
同时测量逆变器输入输出的功率和电机输出， 准确评估逆变器 / 电机 / 系统整体的效率和损耗。		
设计 / 开发	变频电机 ECU 的测量和调整	P.5
通过功率分析仪 PW6001 和 INCA 的链接功能，利用 PW6001 准确的功率 · 动力测量值，迅速实施 PCU 的调整作业。 可同时监测 CAN 总线数据和 ECU 的 RAM 值。		
设计 / 开发	确定 PMSM 电机参数	P.6
将实际运行状态下测量到的电机参数运用到上游设计中，更准确的实现电机的控制。		
设计 / 开发	车辆的油耗（耗电）性能评估测试	P.7
通过符合国际标准 WLTP 的油耗测试，计算各个电池的充放电电流累积和功率累积。 PW3390 与高精度的电流钳搭配使用，优秀的 DC 精度、50ms 间隔的电流累积和功率累积，对油耗性能评估非常有效。		
设计 / 开发	电机的温度测量	P.8
将热电偶贴到电机框架或绕组上，记录温度的变化。 可实时查看与测量环境的温度差波形，并记录数据。		
设计 / 开发	利用 CAN · CANFD 进行的 EV/EV 电机的评估	P.9
通过同时测量 CAN 总线中流动的控制信息或传感器信息和实际的模拟值，从而准确把握 HILS 或车辆评估中的运行情况。		
设计 / 开发	动态电机特性测量	P.10
记录从电机启动到停止的逆变器的输出电压 · 电流、扭矩、转速。 使用波形运算，可算出逆变器输出功率、电机功率、电机效率。		
设计 / 开发	电机扭矩振动测量	P.11
测量扭矩、振动，分析电机运行中的动作。 利用 FFT 运算进行频率分析，可发现共振现象等预期外的频率成分。		
设计 / 开发	旋转变压器旋转角度测量	P.12
记录旋转变压器转子的激励信号和输出信号，并通过波形运算功能算出旋转角度。 可以通过分析旋转变压器旋转角度和其它信号之间的关系来验证电机的控制时序。		
生产 / 检查	电机绕组的层间短路测试	P.13
检测电机绕组的绝缘故障（层间短路）、劣化。 将响应波形数值化，以比以往更高的精度来进行合格与否判定。		
生产 / 检查	电机绕组的维护	P.14
通过脉冲实验，进行电机绕组的维保及趋势管理。		
生产 / 检查	耐压测试中局部放电的观测	P.15
通过观测耐压测试时电流和电压的波形来捕捉局部放电。局部放电的发生可能会引起绝缘击穿的情况。通过确认局部放电，可把握线圈的潜在不良。		
生产 / 检查	电机 · 绕组的绝缘电阻测量 · 耐压测试	P.16
进行绝缘电阻测试和耐压测试。 出货检查时做绝缘状态确认，以保障产品安全性能。		
生产 / 检查	绕组的电阻测量	P.17
能够高精度的测量绕组的电阻。通过测量绕组的电阻，可调查断线的有无。 使用高精度电阻计测量，可判断线材的粗细或匝数是否有问题。		
生产 / 检查	电机线圈的电感测量	P.18
测量绕组的电感。 能够确认相之间的平衡，电机的运行性能，旋转不均匀以及驱动器 and 电机之间的一致性。		
生产 / 检查	电机的焊接电阻测量	P.19
使用具有高分辨率和高测量精度的直流电阻计来检查扁线定子的焊接质量（焊接缺陷）。		

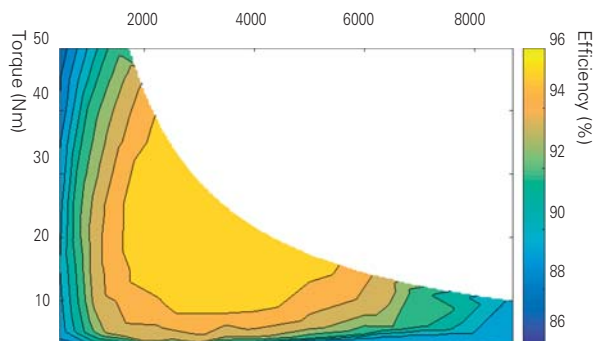
变频电机 效率评估 · 损耗评估

同时测量逆变器输入输出的功率和电机输出，准确评估逆变器 / 电机 / 系统整体的效率和损耗。



电机启动时的波形分析

准确捕捉电机启动时的瞬时波形并分析。



效率 · 损耗图

通过 MATLAB® 使用测量数据生成

※MathWorks 公司的注册商标。

使用的设备



功率分析仪
PW6001



AC/DC 电流传感器
CT6875, CT6876

功率分析仪 PW6001

- 1 台 6ch，连接 2 台最多可进行 12ch 的功率测量
- 功率基本精度 $\pm 0.05\%$
- 无需示波器即可进行的波形分析、电机分析专用触发

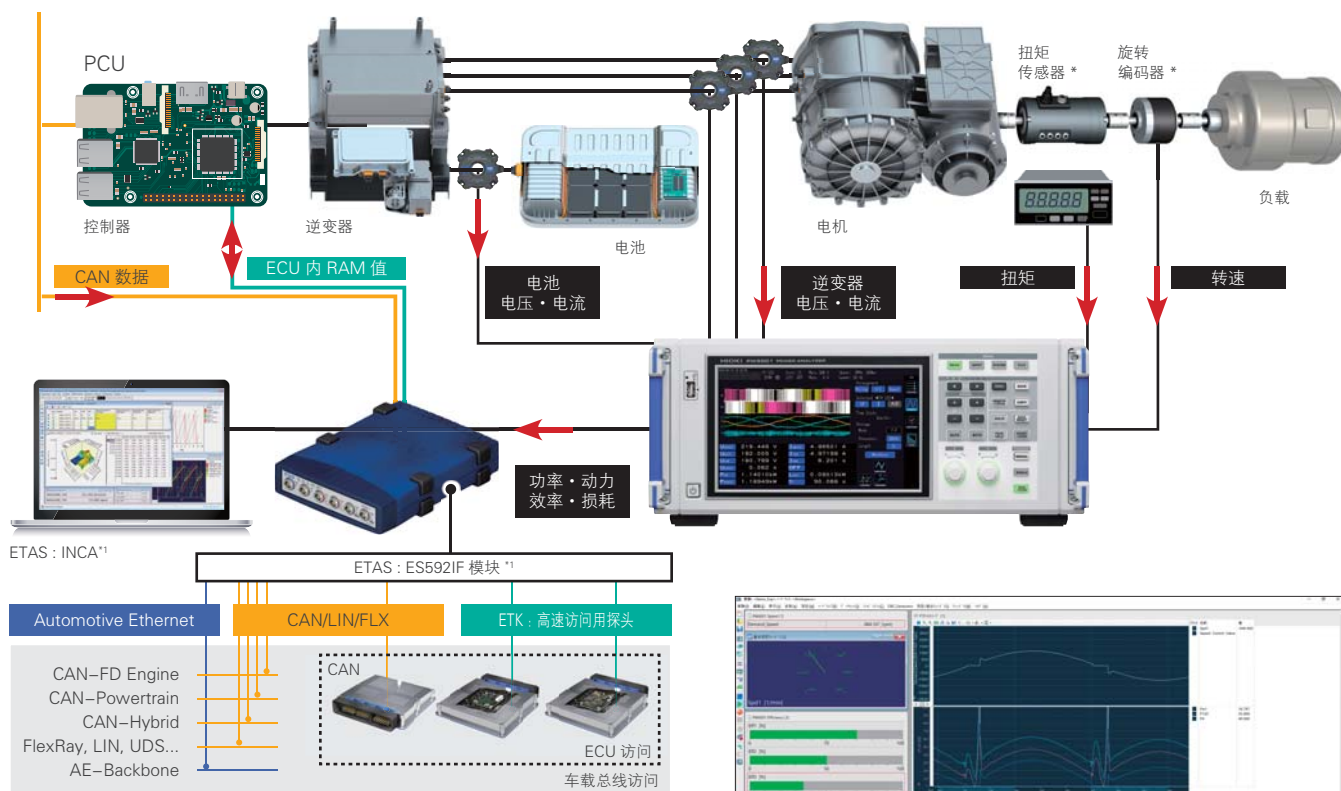
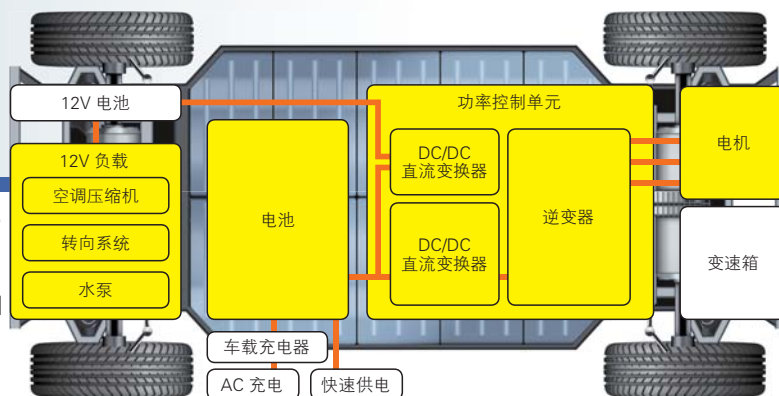
电流传感器 CT6875, CT6876

- AC/DC 500A, DC $\sim 2\text{MHz}$ (CT6875)
- AC/DC 1000A, DC $\sim 1.5\text{MHz}$ (CT6876)
- 基本精度 $\pm 0.048\%$

* 扭矩传感器、旋转编码器请另外准备。

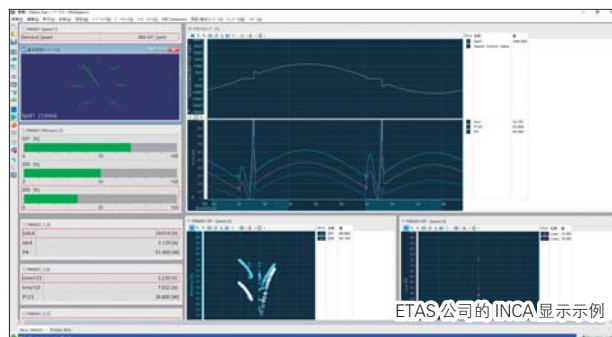
变频电机 ECU 的测量和调整

通过功率分析仪 PW6001 和 INCA^{*1} 的链接功能，利用 PW6001 准确的功率·动力测量值，迅速实施 PCU 的调整作业。可同时监测 CAN 总线数据和 ECU 的 RAM 值。



调整·测量实验的高效化 测量·调整·诊断工具 INCA^{*1}

- 运行中可改写控制参数
- 将多个测量系统·总线的数据集成为一体
- 微型计算机 RAM 的高速 / 大容量监测



从功率分析仪 PW6001 获取的测量值与 CAN 数据、ECU 内 RAM 值的比较

使用的设备



功率分析仪
PW6001



AC/DC 电流传感器
CT6904, 6904-60

功率分析仪 PW6001

- 1 台 6ch, 连接 2 台最多可进行 12ch 的功率测量
- 功率基本精度 $\pm 0.05\%$
- 无需示波器即可进行的波形分析、电机分析专用触发

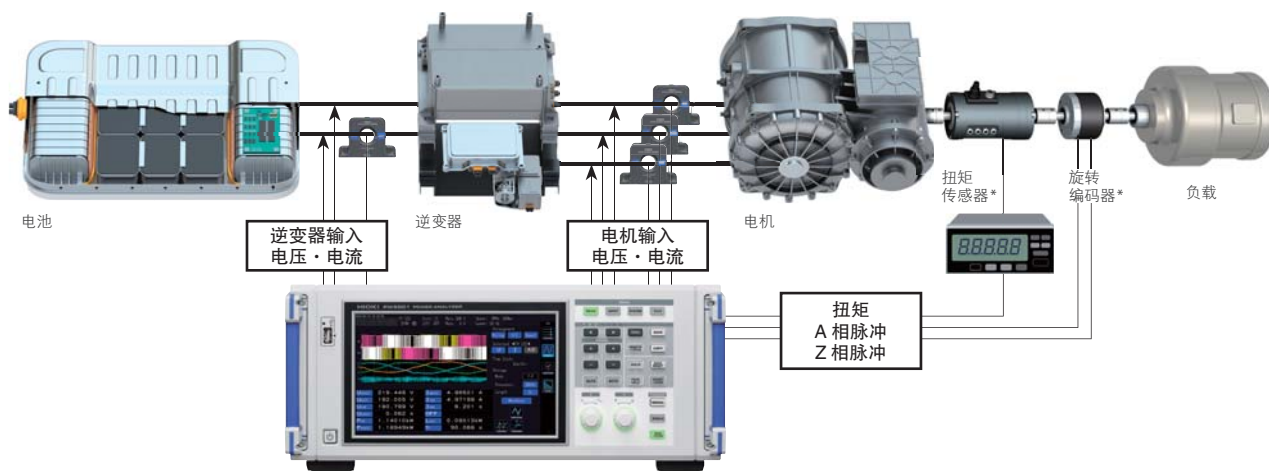
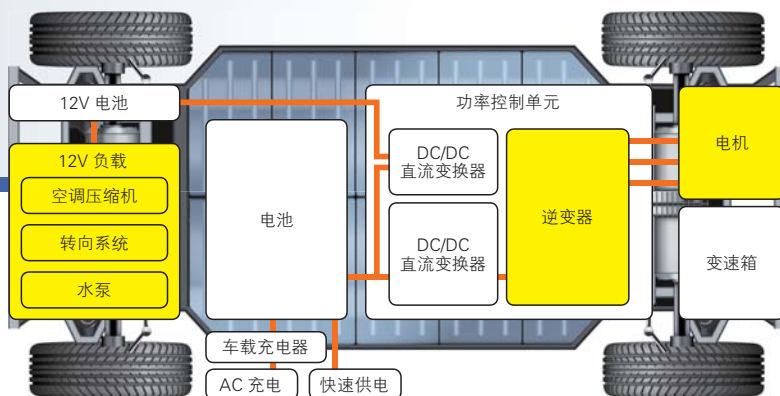
AC/DC 电流传感器 CT6904, CT6904-60

- AC/DC 500 A, DC ~ 4 MHz (CT6904)
- AC/DC 800 A, DC ~ 4 MHz (CT6904-60)
- 基本精度 $\pm 0.048\%$

PMSM 电机 参数确定

将实际运行状态下测量到的电机参数运用到上游设计中，更准确的实现电机的控制。

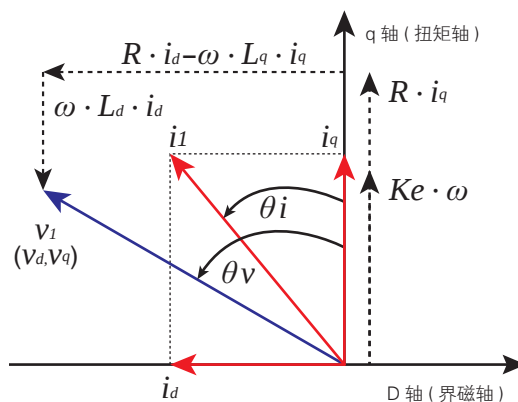
PMSM 是指
永磁同步电动机 (Permanent Magnet Synchronous Motor)
三相交流电动机的一种，能量损耗较少，可大幅减少功耗，
近年来得到很多关注。



有助于实现高级电机控制

为了实现高级电机控制，关键在于要将常数 d 轴 / q 轴电感的 L_d 、 L_q ，当做具有电流依赖性的变量来考虑。PW6001 可以对电机运行状态下的电压 · 电流的 d 轴 / q 轴进行矢量分析。此外，利用这些参数，可以实时计算和显示 L_d 和 L_q ，从而可以测量电机参数的电流饱和特性。

$$L_d = \frac{v_q - K_e \cdot \omega - R \cdot i_q}{\omega \cdot i_d} \quad L_q = \frac{R \cdot i_d - v_d}{\omega \cdot i_q}$$



使用的设备



功率分析仪
PW6001



AC/DC 电流传感器
CT6875, CT6876

功率分析仪 PW6001

- 矢量控制分析需要配备电气角测量功能
- 以 d 轴和 q 轴为基准进行电压 · 电流矢量显示
- 配备了用户自定义运算功能，对电机参数测量很有用

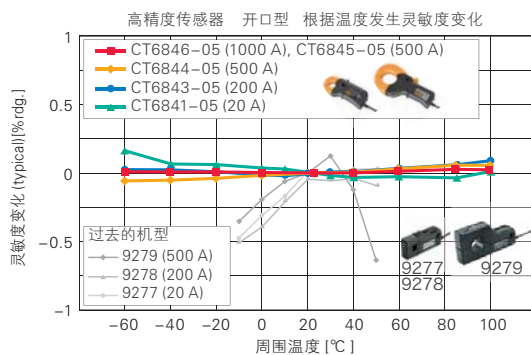
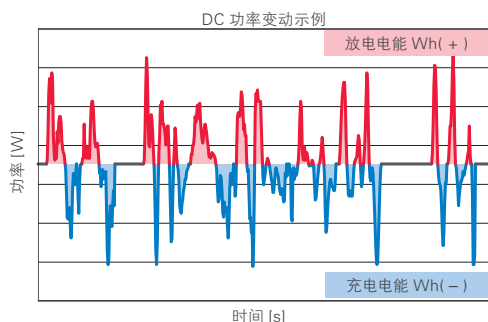
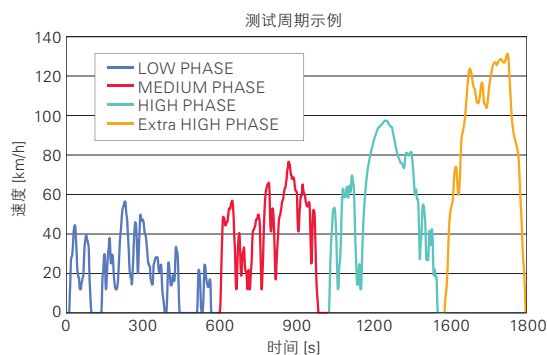
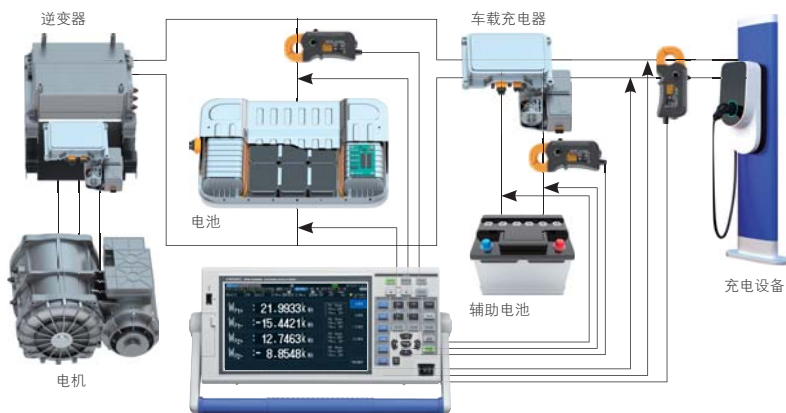
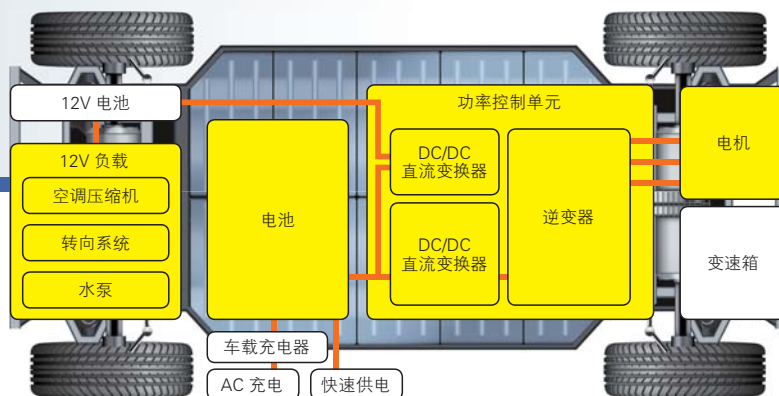
电流传感器 CT6875, CT6876

- AC/DC 500A, DC ~ 2MHz (CT6875)
- AC/DC 1000A, DC ~ 1.5MHz (CT6876)
- 基本精度 $\pm 0.048\%$

* 扭矩传感器、旋转编码器请另外准备。

车辆的油耗（耗电） 性能评估测试

通过符合国际标准 WLTP 的油耗测试，计算各个电池的充放电电流累积和功率累积。PW3390 与高精度的电流钳搭配使用，优秀的 DC 精度、50ms 间隔的电流累积和功率累积，对油耗性能评估非常有效。



按极性分类的电流·功率累积功能

以 500kS/s 的采样率对充电功率和放电功率按极性分类进行累积，测量正向电能、负向电能、正负方向电能和。在对电池进行急剧的充放电的情况下，能够准确的测量充电量和放电量。

最适用于车辆测量的电流传感器

开口型的高精度传感器能够在不切断线缆的情况下轻松的接线。使用温度范围为 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 。具备优秀的温度特性，能在车辆的发动机舱内进行高精度的测量。

使用的设备



功率分析仪
PW3390



AC/DC 电流传感器
CT6840 系列

功率分析仪 PW3390

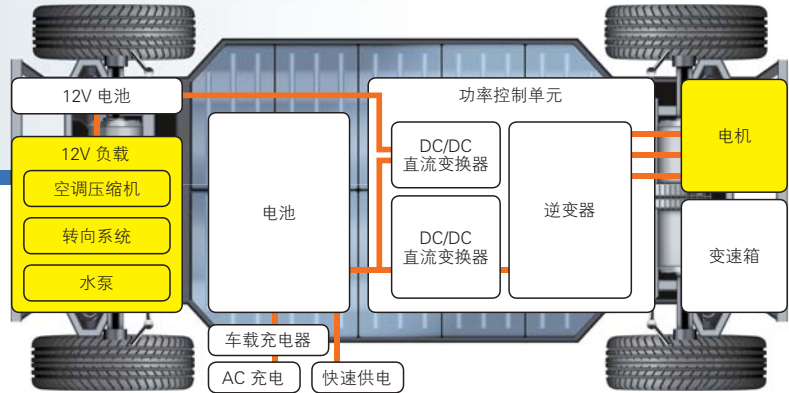
- 功率基本精度 $\pm 0.04\% \text{rdg.} \pm 0.05\% \text{f.s.}$

AC/DC 电流传感器 CT6840 系列

- AC/DC 20A, DC $\sim 1\text{MHz}$ (CT6841-05)
- AC/DC 200A, DC $\sim 500\text{kHz}$ (CT6843-05)
- AC/DC 500A, DC $\sim 200\text{kHz}$ (CT6844-05)
- AC/DC 500A, DC $\sim 100\text{kHz}$ (CT6845-05)
- AC/DC 1000A, DC $\sim 20\text{kHz}$ (CT6846-05)

电机的温度测量

将热电偶贴到电机框架或绕组上，记录温度的变化。
可实时查看与测量环境的温度差波形，并记录数据。



根据用途
可安装最多 4 个单元

电 压 : 1ms~
温 度 : 10ms~
应 变 : 1ms~
湿 度 : 10ms~
电 阻 : 10ms~

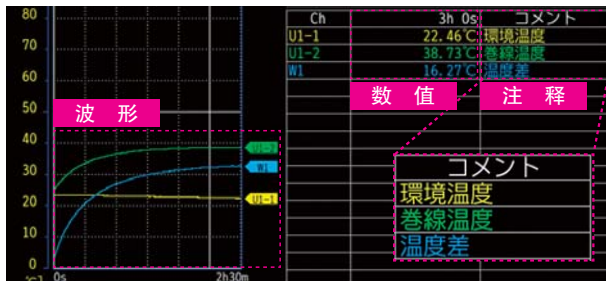


U8550



环境温度

LR8450



在同一个画面上显示波形・数值・注释

同时显示波形和数值。输入的注释也可一同显示，因此能够轻松区分记录数据。



记录环境温度和绕组温度的温度差

利用波形运算功能设置运算公式，可一同记录所测温度的温度差。

使用的设备



数据采集仪
LR8450



电压・温度单元
U8550

LR8450

主机上可安装各种单元。不仅可测量温度，还可以用1ms采样率测量电压或应变。

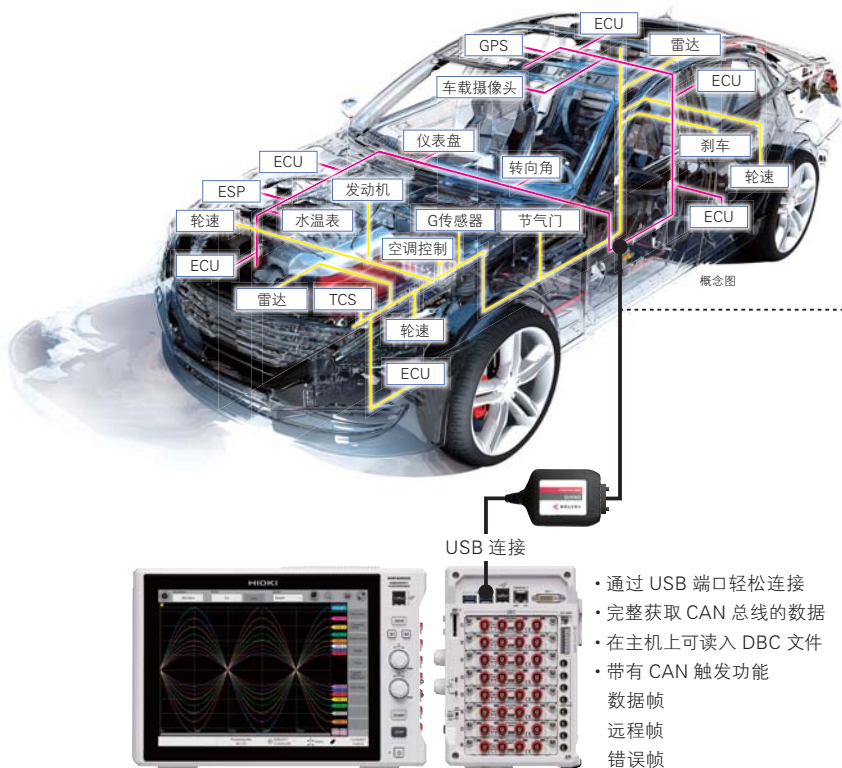
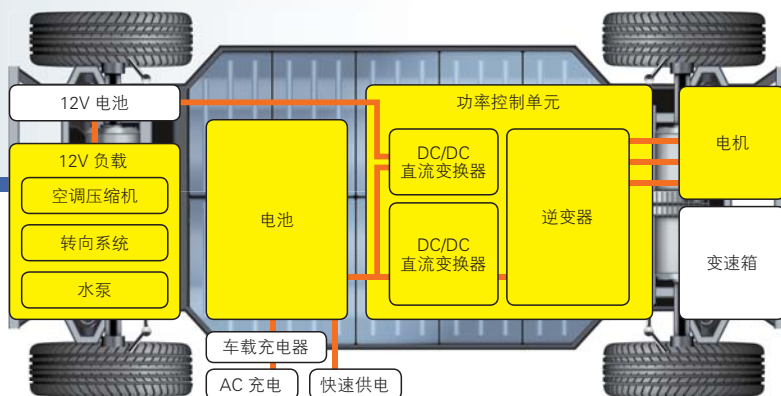
LR8450-01 (带无线 LAN 机型)

LR8530 无线电压・温度单元等无线型的单元，实现主机和单元之间的无线化。

设计 / 开发

利用 CAN · CAN FD 进行的 EV/EV 电机的评估

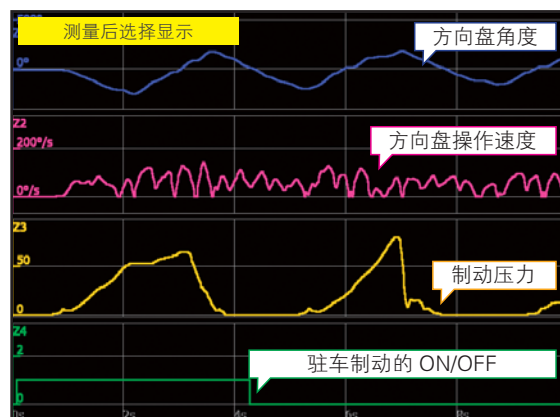
通过同时测量 CAN 总线中流动的控制信息或传感器信息和实际的模拟值，从而准确把握 HILS 或车辆评估中的运行情况。



用子线束或 SP7001/SP7002 连接



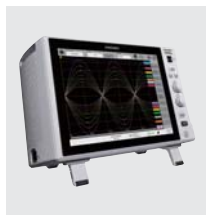
SP7001/SP7002
直接从电线外皮上检测信号，在车辆评估中也可放心



车辆评估

车辆的状态中存在测量困难的参数时，通过灵活运用 CAN 总线上的数据，可把握车辆的状态。
如果使用非接触式 CAN 传感器 SP7001、SP7002，则无需进行子线束的准备或是线缆的加工等复杂的准备，即可监测 CAN 总线。
另外，在测试后只需拆除传感器，不会对车辆留下任何影响即可完成作业。

使用的设备



MR6000/MR6000-01



SP7001-90/SP7002-90



U8978



U8977



8970



U8969



9322



CT6843-05



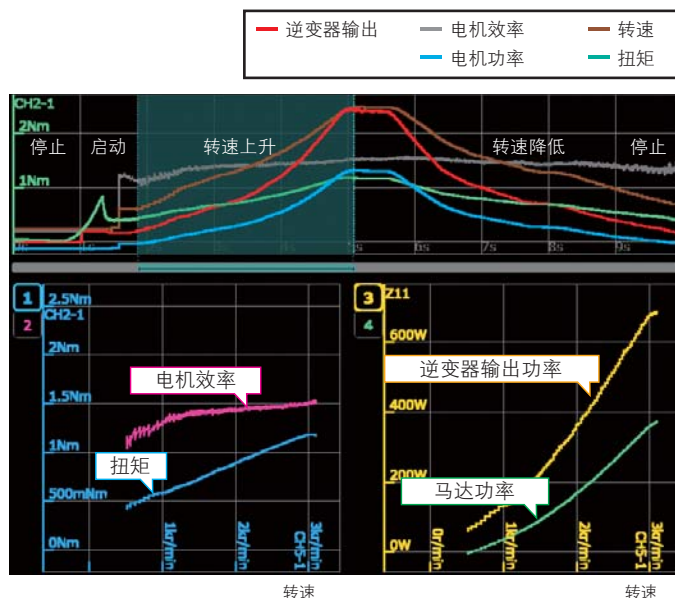
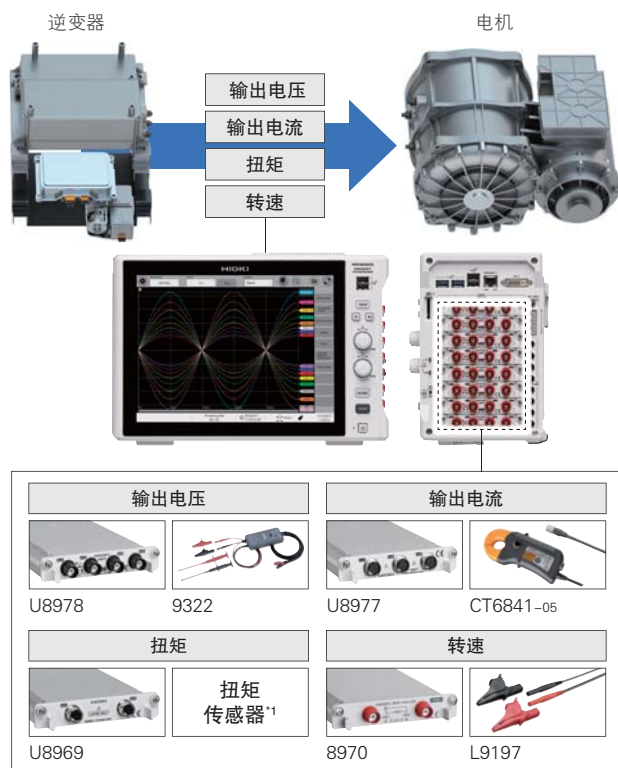
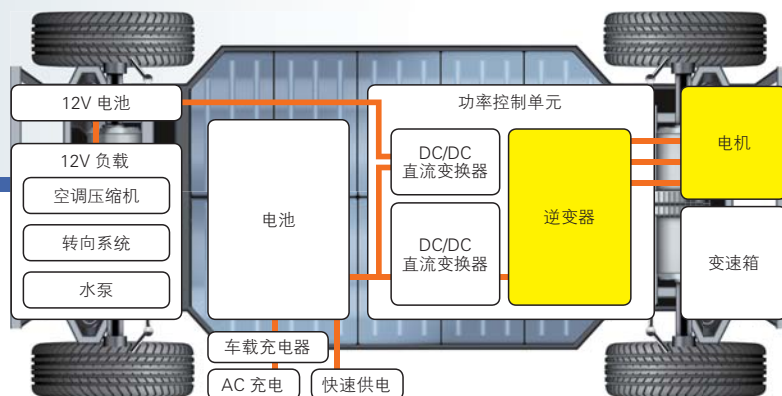
L9197

- 存储记录仪 MR6000/MR6000-01
- 非接触式 CAN 传感器 SP7001-90/SP7002-90
- 4 通道模拟单元 U8978
- 差分探头 9322
- 3 通道电流单元 U8977
- 电流传感器 CT6843-05
- 频率单元 8970
- 连接线 L9197
- 应变单元 U8969
- 扭矩传感器 *1

*1 扭矩传感器 (应变式转换器)
(传感器相关请咨询传感器厂家。)

动态电机特性测量

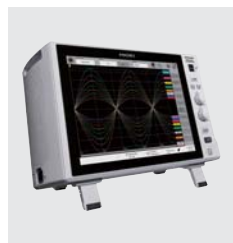
记录从电机启动到停止的逆变器的输出电压·电流、扭矩、转速的数据。使用波形运算，可计算逆变器输出功率、电机功率、电机效率。



利用波形运算算出逆变器输出功率·电机功率·电机效率

使用高速波形运算功能，在测量后求出电机功率、电机效率、逆变器输出功率，使用 X-Y 显示功能显示。除了来自单元的输入信号，还可对波形运算结果进行 X-Y 显示，因此能够进行广泛的分析。另外，对于电机从启动到停止的变动波形，可选择任意地方进行 X-Y 显示，因此可对指定位置执行 X-Y 分析。

使用的设备



MR6000/MR6000-01



U8978



U8977



8970



U8969



9322



CT6843-05



L9197

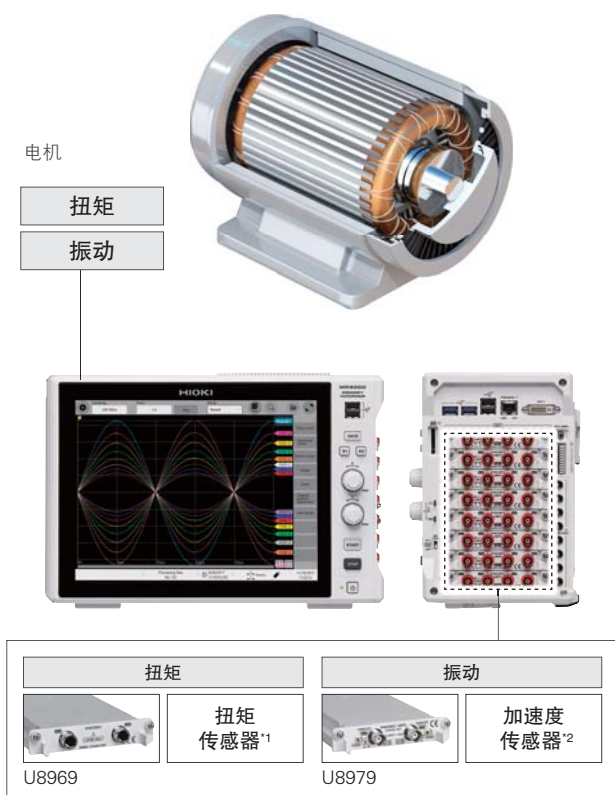
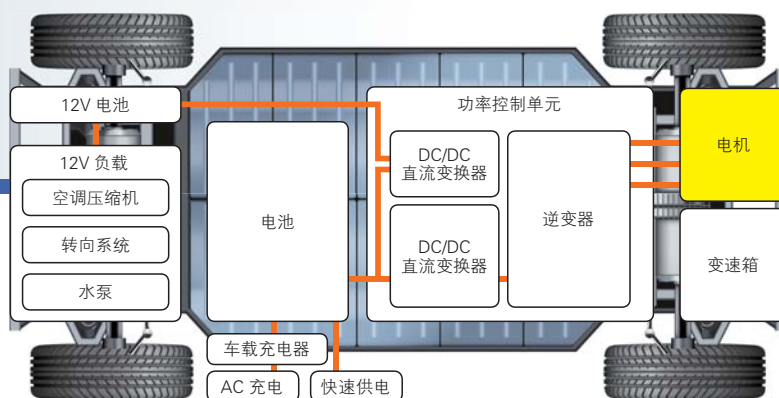
- 存储记录仪 MR6000/MR6000-01
- 4 通道模拟单元 U8978
- 差分探头 9322
- 3 通道电流单元 U8977
- 电流传感器 CT6843-05
- 频率单元 8970
- 连接线 L9197
- 应变单元 U8969
- 扭矩传感器^{*1}

^{*1} 扭矩传感器（应变式转换器）
（传感器相关请咨询传感器厂家。）

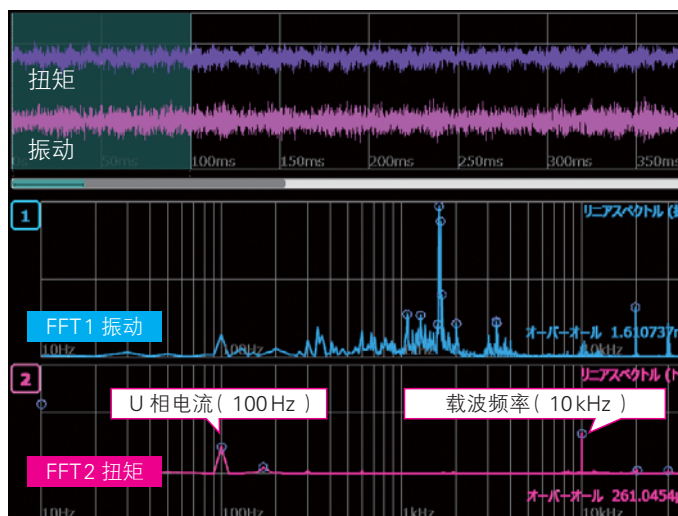
设计 / 开发

电机扭矩
振动测量

测量扭矩、振动，分析电机运行中的动作。
利用FFT运算进行频率分析，可发现共振现象等预期外的频率成分。



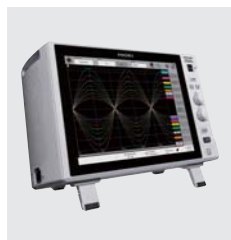
记录扭矩・振动



利用FFT运算进行频率分析

通过MR6000 /MR6000-01的FFT运算功能，对扭矩或振动信号进行频率分析。一次MR6000 /MR6000-01的FFT运算可同时对8个现象进行分析。输入到不同通道的信号可分别进行FFT分析，可对同一时间点发生的各个通道的频率成分进行分析。

使用的设备



MR6000/MR6000-01



U8969



U8979

- 存储记录仪 MR6000 /MR6000-01
- 应变单元 U8969
- 扭矩传感器^{*1}
- 电荷单元 U8979
- 加速度传感器^{*2}

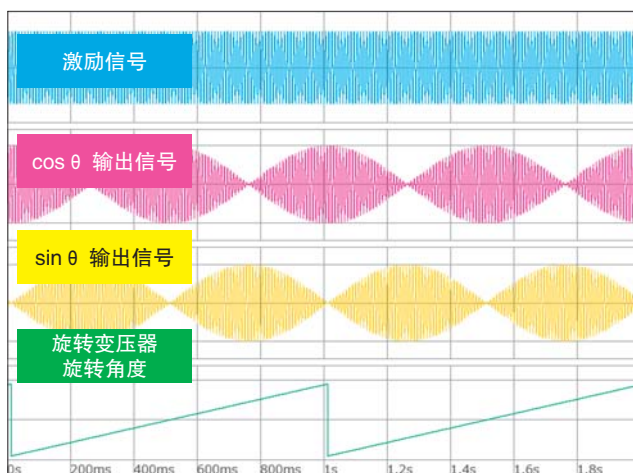
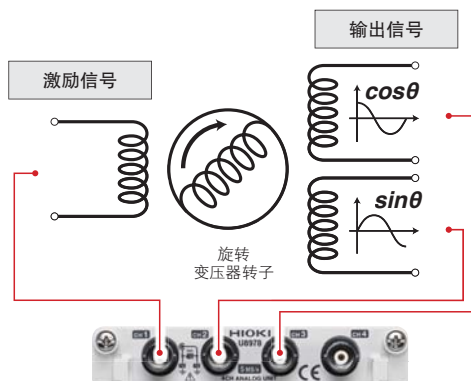
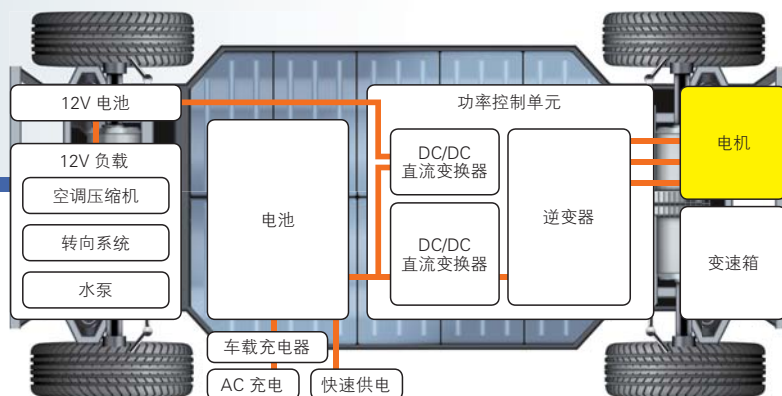
将扭矩传感器（应变式转换器）连接到应变单元 U8969，测量扭矩。
将固定在电机底盘上的加速度传感器连接到电荷单元 U8979，
测量底盘传递的振动。

^{*1} 扭矩传感器（应变式转换器）（传感器相关请咨询传感器厂家。）

^{*2} 前置放大器内置型・电荷输出型（传感器相关请咨询传感器厂家。）

旋转变压器 旋转角度测量

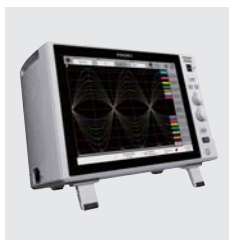
旋转变压器用于测量电机正确的角度位置。因为能够长时间在恶劣条件下工作，经常被用于工业电机、伺服器、电动汽车等恶劣的环境中。对于追求续航能力的 EV 行业，需要提高电机控制的能效，精确地对控制电机进行控制。



基于波形运算算出旋转变压器旋转角度

将旋转变压器的激励信号以及输出信号输入到 4 通道模拟单元 U8978。过去机型需要 2 个单元，现在 1 个单元即可实现，因此可以与其他温度或各种控制信号、扭矩、电流信号同时测量。使用波形运算功能求出旋转变压器旋转角度。通过分析旋转变压器旋转角度与其他信号的关系，来调整电机控制时序。

使用的设备



MR6000/MR6000-01



U8978

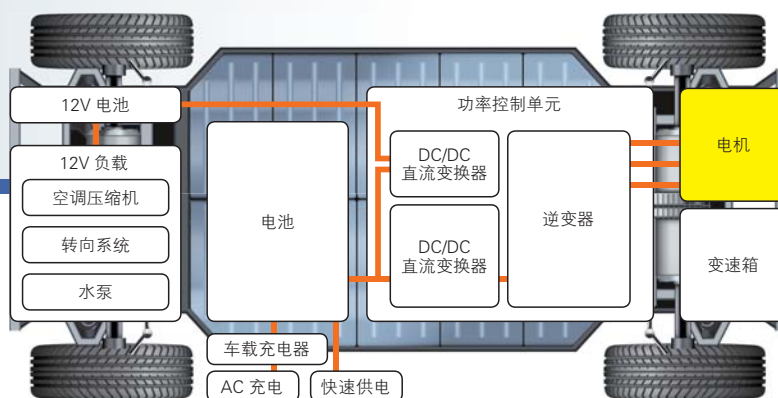
- 存储记录仪 MR6000 /MR6000-01
- 4 通道模拟单元 U8978

使用 4 通道模拟单元 U8978，只需 1 个插槽即可测量旋转变压器的激励信号、输出信号 ($\sin\theta$ 、 $\cos\theta$)。此外，使用 MR6000/MR6000-01 的高速波形运算功能可显示旋转角度。

生产 / 检查

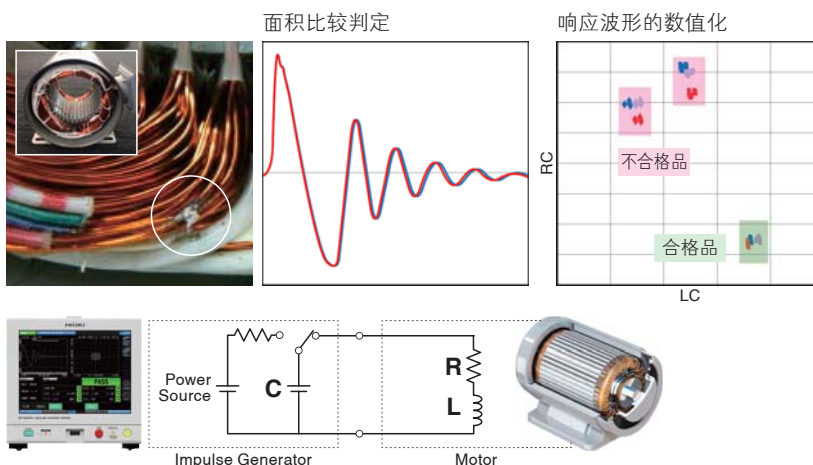
电机绕组的
层间短路测试

检测电机绕组的绝缘故障(层间短路)、老化。将响应波形数值化,与过去的测量方法相比,能以更高的精度来进行合格与否判定。

捕捉未出现在响应波形中的
微小变化

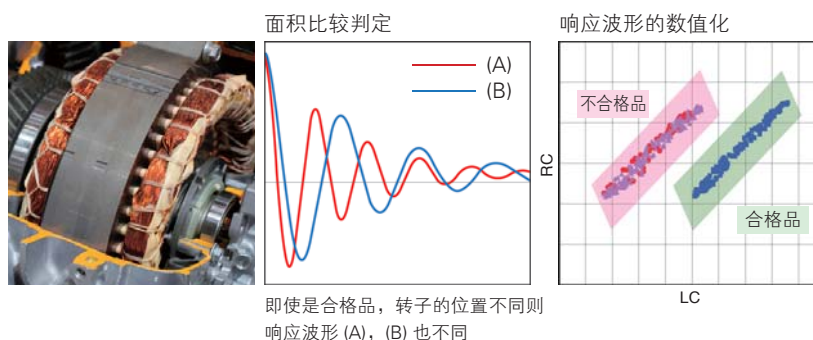
脉冲线圈测试仪 ST4030A 通过响应波形的数值化,与过去的面积比较判定 (AREA, DIFF AREA) 相比,能够检测出未出现在响应波形中的微小缺陷。

1 匝短路之类的微小缺陷与合格品的响应波形差别很小,因此难以通过面积进行比较。

可在装有转子的
状态下检查

转子位置变化引起的应答波形的变化情况,也可进行数值化处理。通过设置合格品与不合格品的区域,可进行合格与否判定。

以往的面积比较判定中,转子的位置会引起响应波形变化,因此无法对电机进行合格与否的判定。

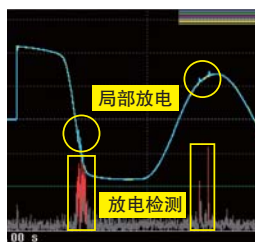


即使是合格品,转子的位置不同则响应波形 (A), (B) 也不同

使用的设备



脉冲线圈测试仪
ST4030A

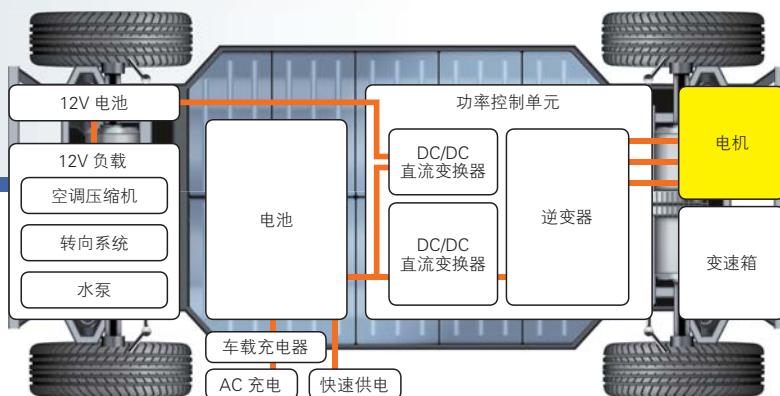


放电检测功能
ST9000

- 高精度波形监测: 200 MHz, 12 bit
- 响应波形的数值化 (使用 TOENEC 公司专利)
- 检测出淹没在噪音中的放电现象 (选件)

电机绕组的维护

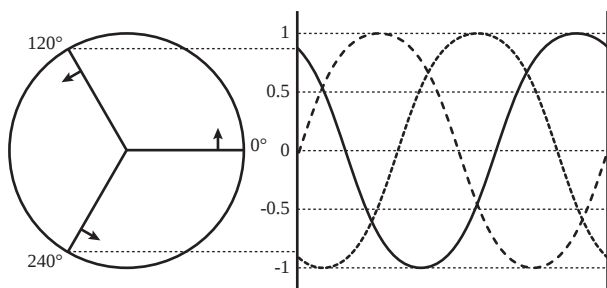
脉冲测试可运用于电机绕组的维保及趋势管理。



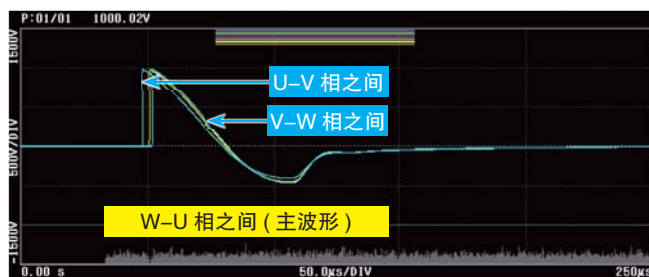
即使没有合格品 也可确认绝缘不良 / 老化

一般来说如果是正常的3相电机，则各相 (U, V, W) 平衡。
因此，对 U-V, V-W, W-U 各相之间施加脉冲电压则得到的响应波形也基本是相同的。

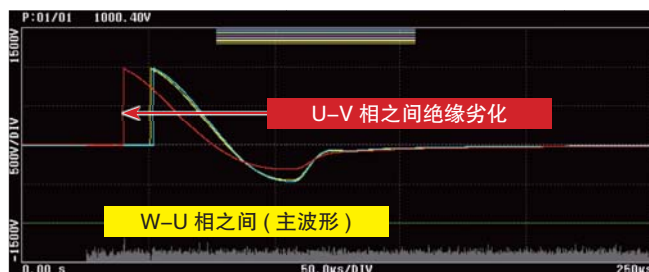
假设从 1 个相之间得到的响应波形为合格品，与从其他相之间的得到的响应波形进行比较，即可判断绝缘故障 / 老化。



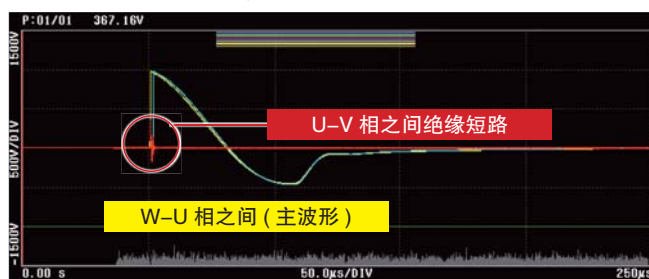
正常的3相电机
各相 (U, V, W) 平衡



合格品的响应波形



绝缘劣化的响应波形示例

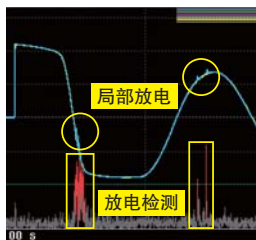


绝缘短路响应波形示例

使用的设备



脉冲线圈测试仪
ST4030A



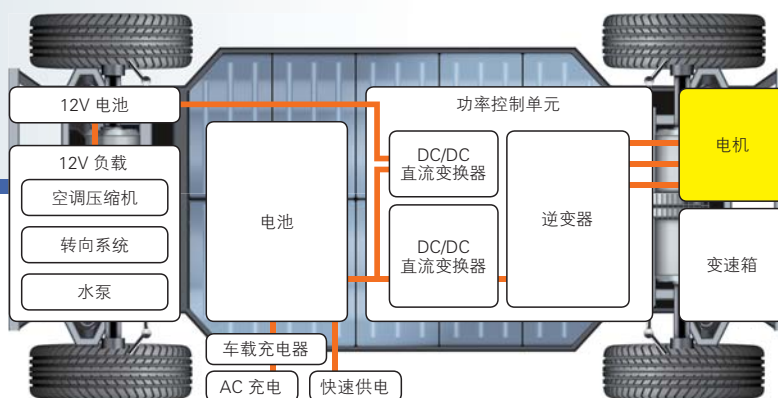
放电检测功能
ST9000

- 高精度波形监测：200 MHz, 12 bit
- 响应波形的数值化 (使用 TOENEC 公司专利)
- 检测出淹没在噪音中的放电现象 (选件)

生产 / 检查

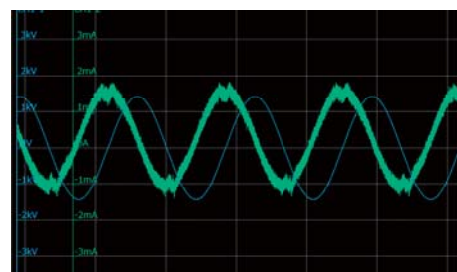
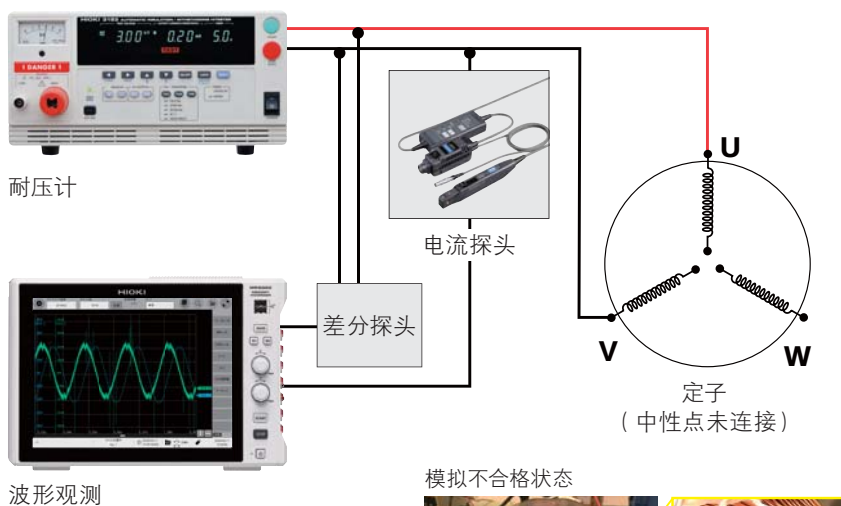
耐压测试中 局部放电的观测

通过观测耐压测试时电流和电压的波形来捕捉局部放电。局部放电的发生可能会引起绝缘击穿的情况。通过确认局部放电，可把握线圈的潜在不良。

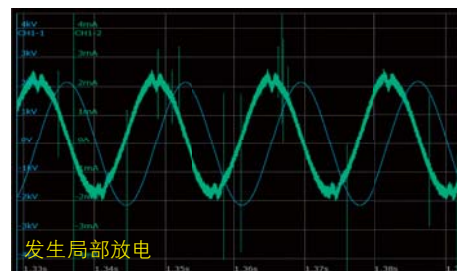


观测将耐压计作为输出源的局部放电

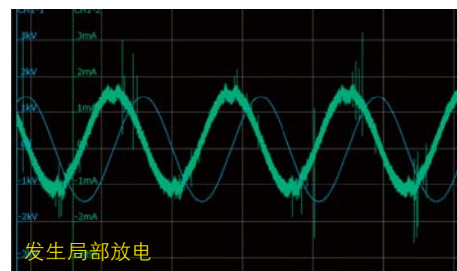
使用中性点为未连接状态的定子，耐压计的 + 端接到 U 相，- 端接到 V 相，施加高压。对绝缘良好的状态以及 U 相和 V 相线圈接触状态的局部放电开始电压的变化进行比较。



对合格品施加 AC 1.0kV 时的电流・电压波形



对合格品施加 AC 1.5kV 时的电流・电压波形

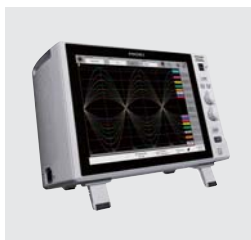


对模拟不合格品施加 AC 1.0kV 时的电流・电压波形

使用的设备



自动绝缘 / 耐压测试仪
3153



存储记录仪
MR6000



电流探头
CT6711

3153

- 测试电压：AC60HZ,
从 1000V 开始按 100V 刻度上升

MR6000

- 采样速度：200MS/s
- 存储时间：2.5 秒
- 耦合方式：AC 耦合

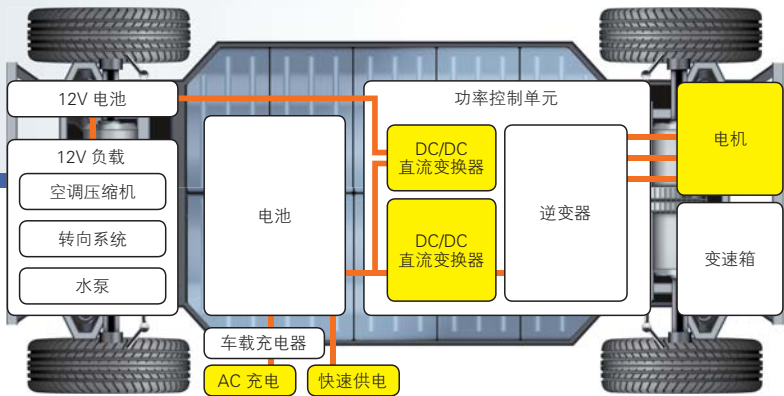
CT6711

- 使用量程：0.5A
- 输出率：10V / A
- 周波数带域：DC ~ 120MHz

生产 / 检查

电机・绕组的
绝缘电阻测量和耐压测试

进行绝缘电阻测试和耐压测试。
出货检查时做绝缘状态确认，以保障产品安全性能。

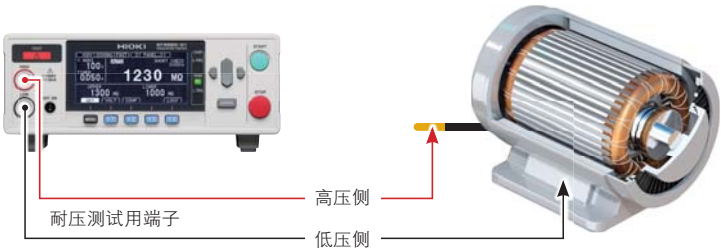


在产品的出货检查中
测量绝缘电阻・耐压

绝缘老化会带来漏电、触电的风险。因此为了保障产品的安全性需要在出货检查时对绝缘状态进行检查。

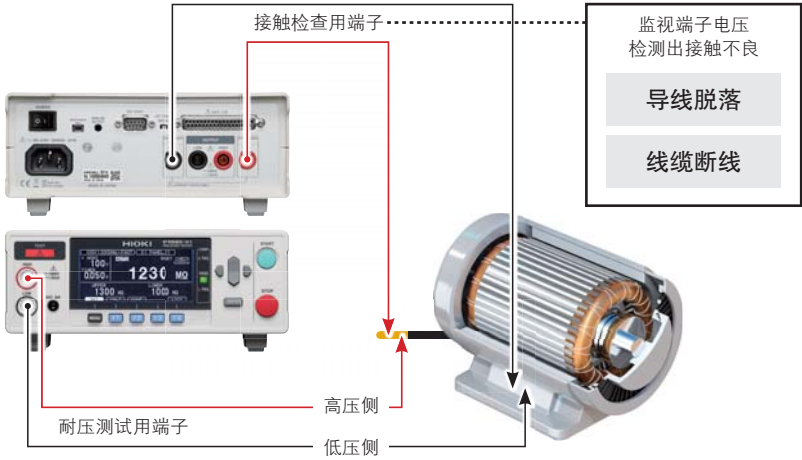
绝缘老化的发生

- 触电的风险
- 漏电的风险



利用接触检查
保证检测的有效性

由于探头的接触不良或线缆内部断线，会造成无法正确测量检查对象的情况。这种情况下，即使是不合格的产品也可能被误判为合格品。而接触检查功能能保证检测的有效性。



使用的设备



绝缘电阻测试仪
ST5520



自动绝缘 / 耐压测试仪
3153

接触检查功能可常开，且不会影响测量值

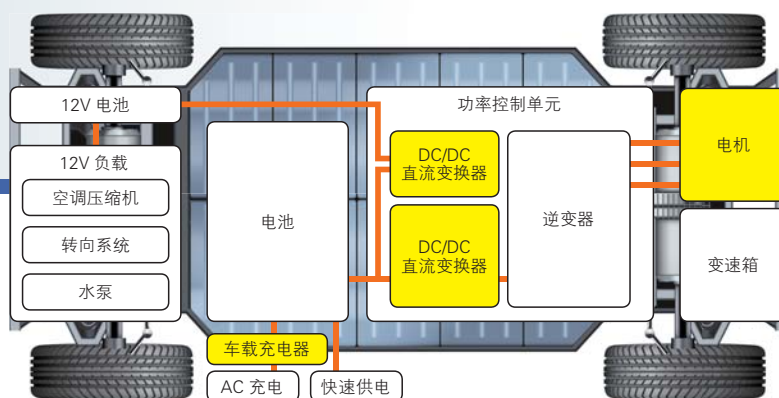
ST5520 绝缘电阻测试仪
• DC25 ~ 1000V/0.000M ~ 9990M Ω

3153 自动绝缘 / 耐压测试仪
• AC 耐压测试 AC 0.2 ~ 5kV/100mA
• 绝缘电阻测试 DC50 ~ 1200V/0.100M ~ 9999M Ω

生产 / 检查

绕组的
电阻测量

能够高精度的测量绕组的电阻通过测量电阻，能判断绕组是否有断线的情况。如果使用高精度电阻计测量，可判断线材的粗细或匝数是否有问题。



通过测量电阻来确认绕组的质量

要使电机高效工作就必须在电机中流过大电流。流大电流则要求绕组要足够粗并且电阻低。

通过电阻值可以了解到

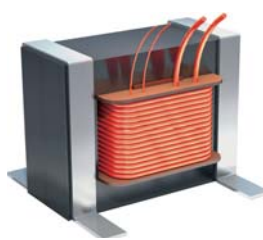
线材的粗细问题

匝数问题

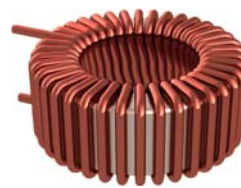
绕组的短路



电机的绕组



变压器的绕组



线圈的绕组

电阻测量所要求的性能

通过使用电阻计，可准确测量日益低电阻化的绕组电阻。

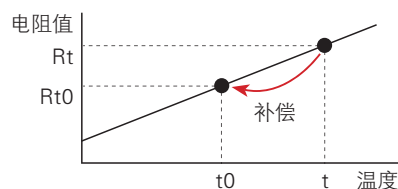
要求性能

低电阻测量

特别是不断低电阻化的大型绕组，需要进行 $10\mu\Omega$ 量级的管理。

环境温度补偿

线材的电阻值会因温度变化而变化，因此需要进行温度补偿。



使用的设备



电阻计
RM3545



多路转换器单元
Z3003



电阻计
RM3548

RM3545

- 最小分辨率 $0.01\mu\Omega$ 的高精度电阻计
- RM3545-02可内置多路转换器
效率的测量多个点的电阻

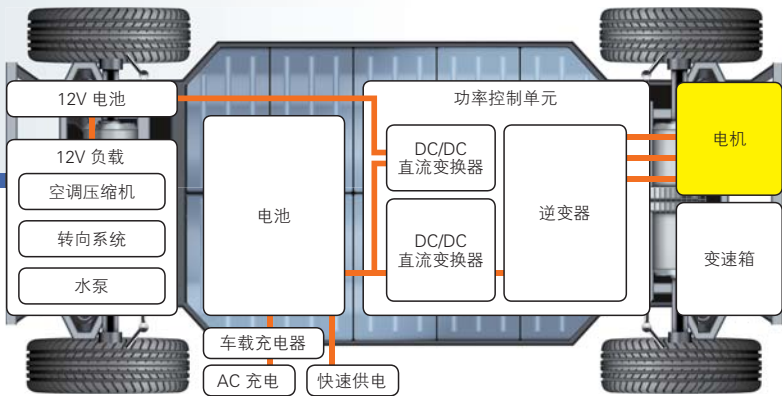
RM3548

- 温度补偿和间隔测量功能对电机、变压器的温度上升试验来说非常方便
- 便携的外形适用于大型电机、大型变压器的测量

生产 / 检查

电机线圈的电感测量

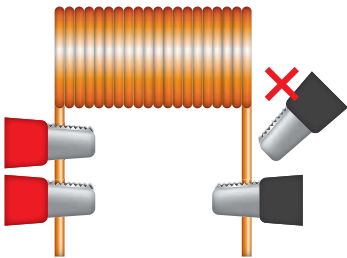
测量绕组的电感。
能够确认相之间的平衡，电机的运行性能，旋转不均匀以及驱动器和电动机之间的一致性等问题。



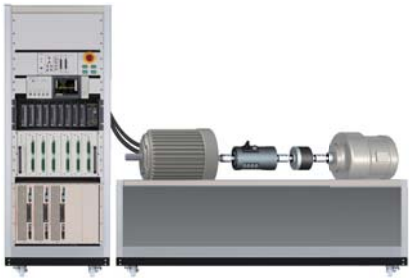
通过绕组的电感确认电机的性能

通过电感可以了解到

- 相之间的平衡
- 电机的工作性能
- 旋转不均
- 驱动器和电机的匹配度



接触检查
预防空测，保证测量的有效性



线长 4 米
测试线保证精度最长到 4m，
支持大型电机装置



支持 Labview 驱动
与其他测量仪器联动

使用的设备



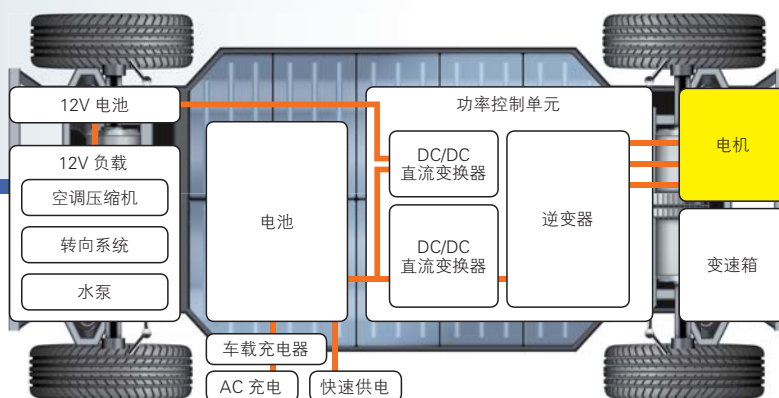
LCR 测试仪
IM3536

- 测量频率范围广 4Hz ~ 8MHz
- 利用判定功能管理绕组的电感值

生产 / 检查

电机的
焊接电阻测量

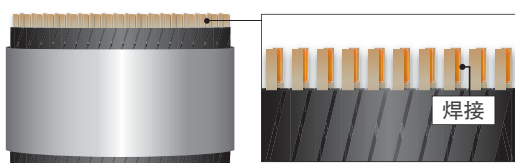
使用具有高分辨率和高测量精度的直流电阻计来检查扁线定子的焊接质量（焊接缺陷）。



扁线定子是指

将弯曲的扁铜线组装到定子铁心上，通过机械焊接同相的扁铜线使其连接起来。

如果连接的状态不佳，则会出现熔化不足、裂纹、气孔，引发潜在性的不良。



扁线定子



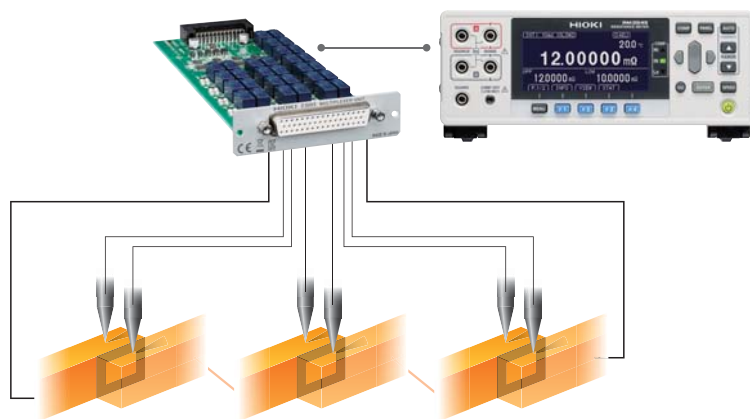
通过直流电阻测量检查焊接质量

将两根探头放在扁线连接部分，检查各个焊接部分的电阻。通过使用多路转换器单元 Z3003，可轻松搭建检查多点电阻的设备。

电阻计 RM3545 能以 $0.01 \mu\Omega$ 分辨率测量 $12m\Omega$ 以下的电阻。

像扁线之类的 $\mu\Omega$ 级的焊接电阻也能够高精度地测量。

※ 为了抑制温度的影响，请使用 RM3545 的温度补偿功能。



使用的设备

电阻计
RM3545-02温度传感器
Z3003

世界顶级的精度和分辨率

- 测量 $10 \mu\Omega$ 时的最高精度约 $\pm 0.1 \mu\Omega$
- 最小分辨率 $0.01 \mu\Omega$
- 利用温度补偿功能，可对温度变化引起的电阻值变化进行补偿