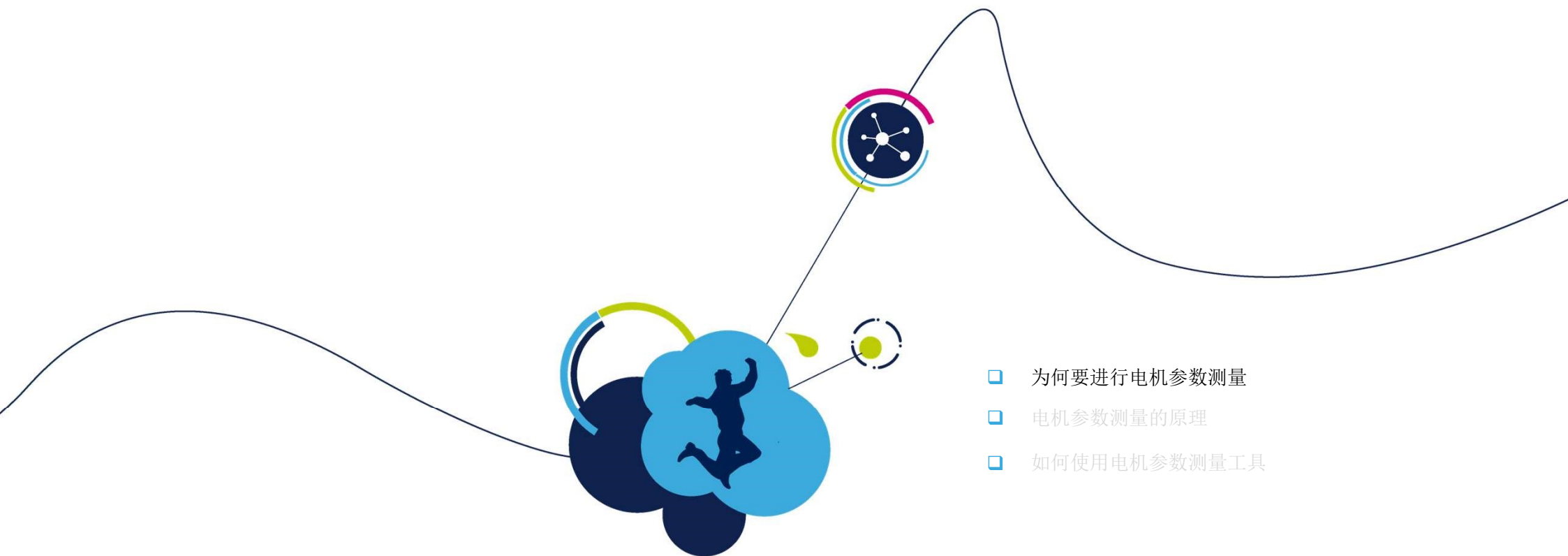




# ST MC SDK 5.x 电动机参数测量

STM32电动机控制应用系列讲座之六

- 为何要进行电机参数测量
- 电机参数测量的原理
- 如何使用电机参数测量工具



- 为何要进行电机参数测量
- 电机参数测量的原理
- 如何使用电机参数测量工具

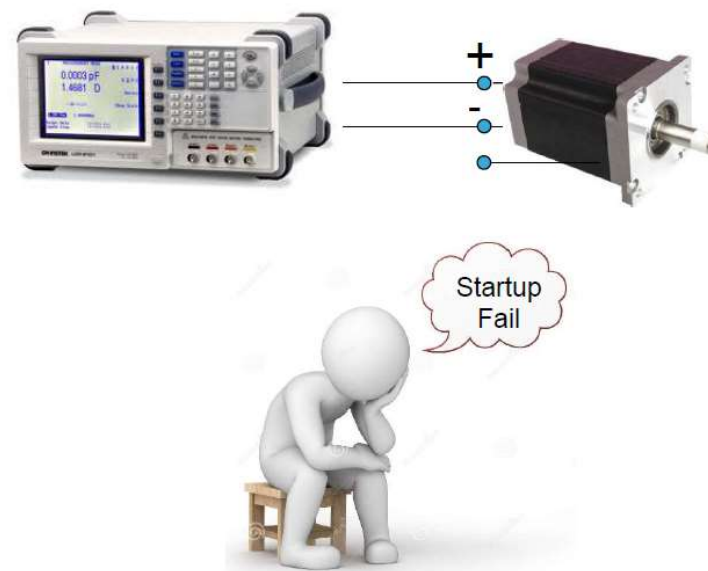
# 为何要进行电机参数测量

# 为何要进行电机参数测量

4

有时进行电机控制方案的评估会比较困难：

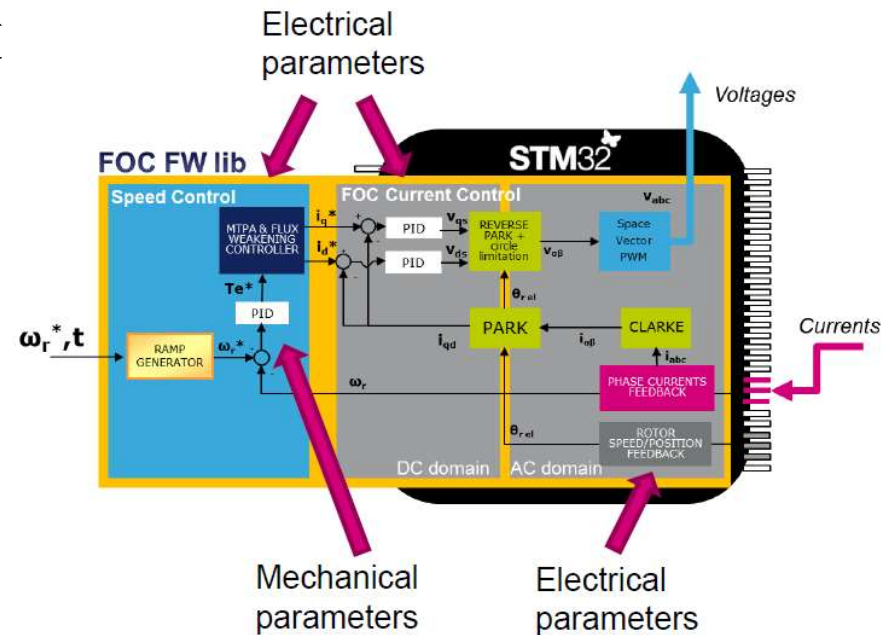
- 测量电机参数需要一定的技术和仪器
- 调节电流和速度调节器也需要经验
- 为电机启动设置合适的加速度也非易事
- 在电机运行起来之前要进行大量的试验和错误排查



# FOC为何需要电机参数

5

- 定义电机模型所采用的算法里需要电机的电参数和机械参数
- 调节电流调节器需要电参数
- 无传感的状态观测器算法需要电参数
- 其他诸如MTPA等算法也需要
- 调节速度调节器需要机械参数

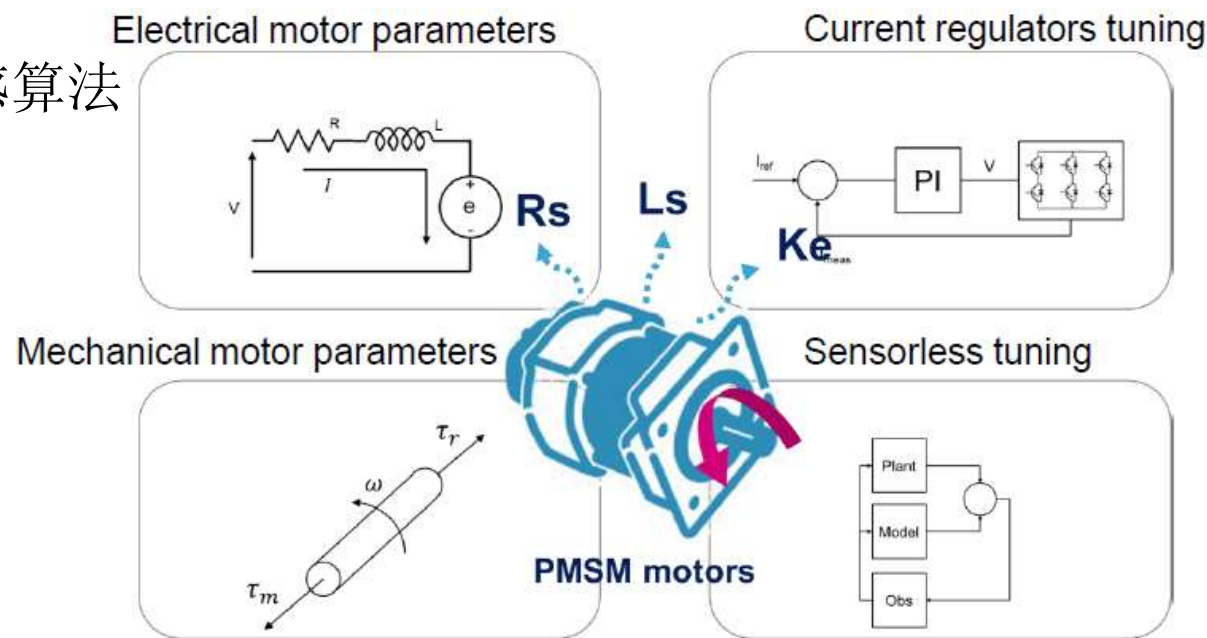


# 自动测量电机参数

6

Motor Profiler可：

- 测量PMSM的电参数： $R_s$ ， $L_s$ ， $K_e$
- 测量机械参数： $J$ ， $F$
- 在线建立电流调节器和无传感算法
- 在1分钟内使电机运转起来
- 不需要额外的硬件和仪器



# 哪些量无法测量

7

以下参数需由用户输入:

- 电机极对数
- 最大转速
- 额定电流
- 直流母线电压
- 电机磁石安装方式
- Ld/Lq比率

Pole Pairs:

*Speed and Current limits*

Max Speed:  RPM

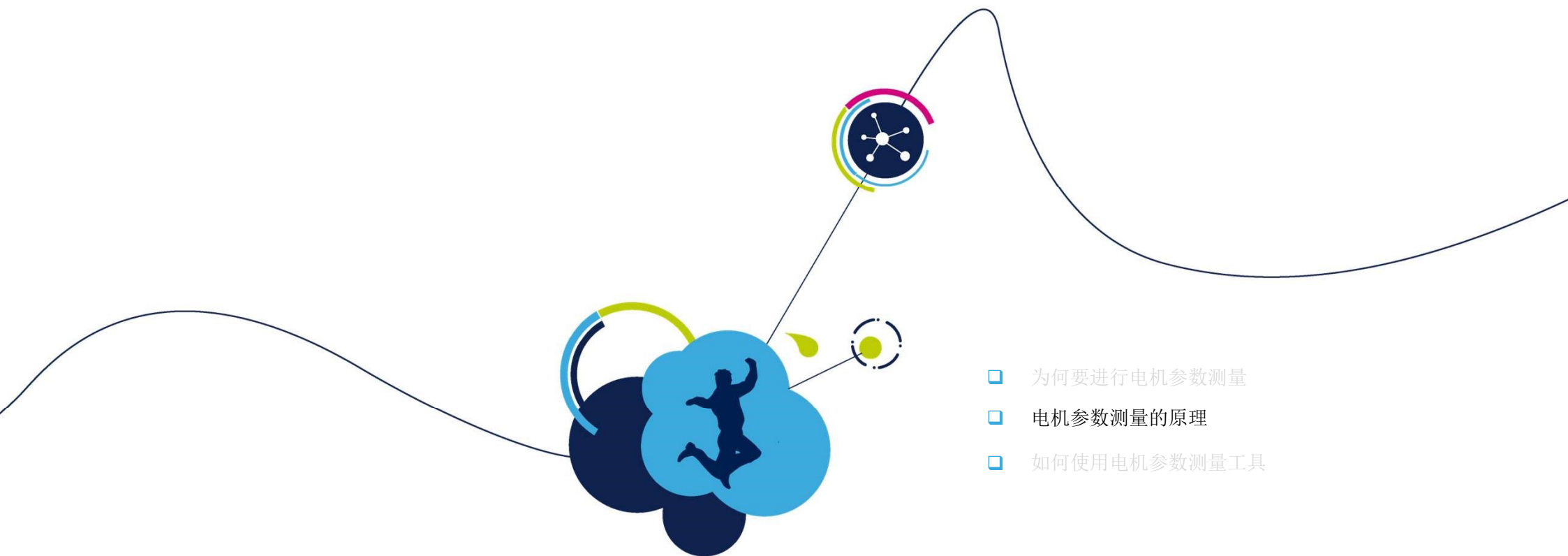
Max Current:  Apk

VBus:  V

Magnetic: ☒ SM-PMSM ☐ I-PMSM

Magnetic: ☐ SM-PMSM ☒ I-PMSM

Ld/Lq ratio:  0.001 - 10

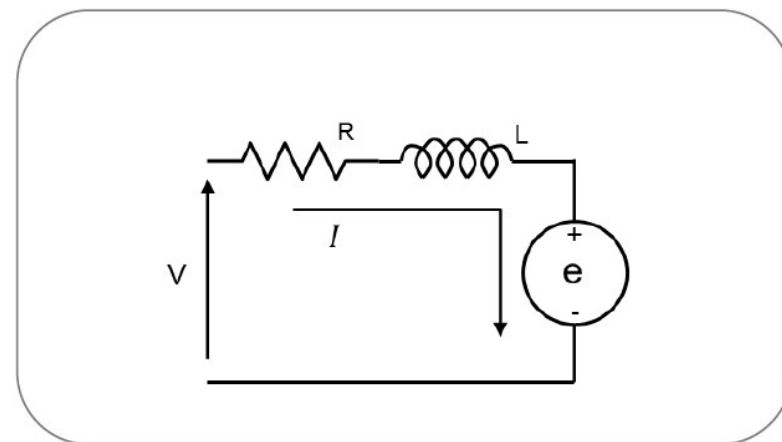


- 为何要进行电机参数测量
- 电机参数测量的原理
- 如何使用电机参数测量工具

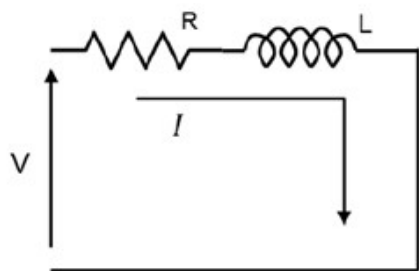
# 电机参数测量的原理



- 无需额外硬件和仪器
- 为了进行测量需要施加电压并测量电流
- 生成PWM以施加电压
- 为了计算实际施加的电压，需要测量直流母线电压
- 采集电机相电流来测量电流



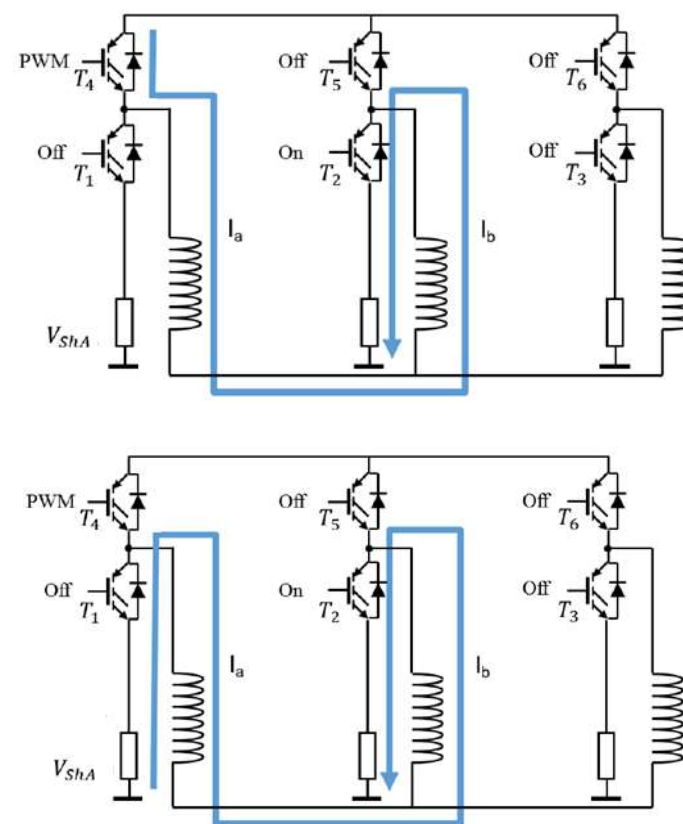
- 为了测量 $R_s$ ，需要产生单向电流
- 由于参数未知，第一步就是决定为达到想要的测量电流需要施加的电压大小(即PWM占空比)
- 在进行下一步测量前必须进行定位，从而才有持续的可进行测量的电流流过，不要再让电机偏移该初始位置，不然会产生反电势。因而这里要考虑定位阶段的持续时间。



$$\text{稳态电流 } I_{\infty} = \frac{U}{R_s}$$

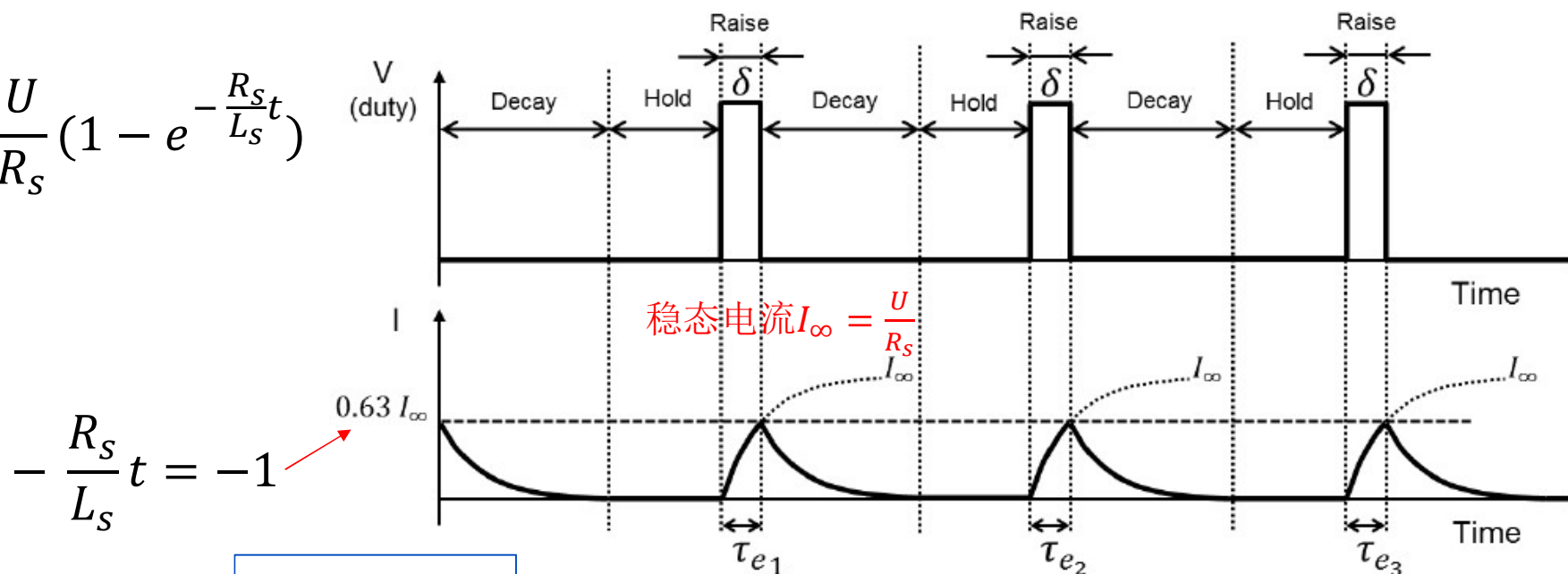
- ❖ 请使用3-shunt拓扑结构，以获得更好的电流测量和更优的MP算法性能。特别是对于低电感的电机。

Electrical motor parameters



- 定子电感的测量是通过测量电气时间常数 $\tau_e$ 进行的。
- 为了消除噪音，进行了一系列的测量。

$$i(t) = \frac{U}{R_s} (1 - e^{-\frac{R_s}{L_s}t})$$

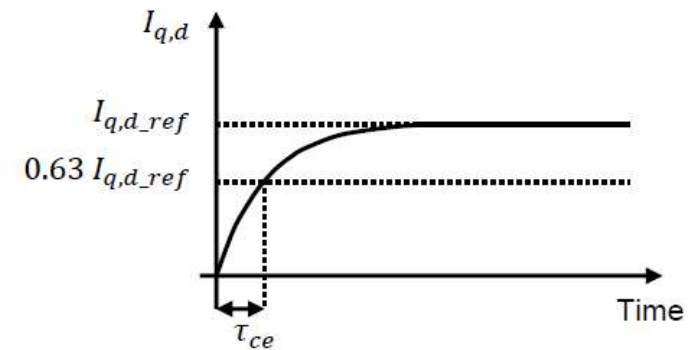
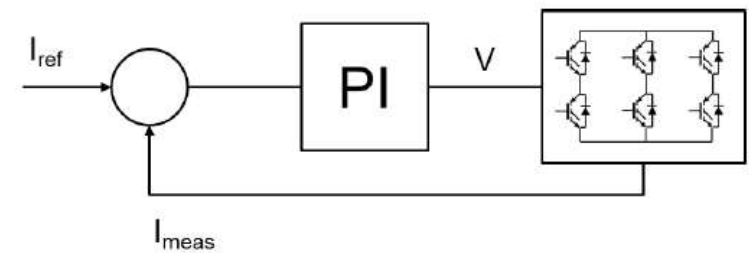


$$L_s = \tau * R_s$$

# 自动调节电流调节器

12

- 一旦 $R_s$ 和 $L_s$ 成为已知，就可以调节闭环的电流调节器了
- $I_q$ 和 $I_d$ 电流调节器的 $K_p$ 和 $K_i$ 以及相关的除数，是根据一个共同的参数 $\omega_{ce}$  (电流调节器闭环带宽)来进行计算的
- $\omega_{ce}$ 决定了闭环电气时间常数 $\tau_{ce}$

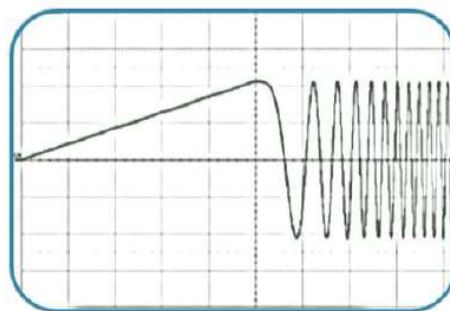


# 启动的调试和Ke的测量

13

- 测量Ke(电机发电常数)时需要电机在运行状态
- 由于电流调节器已经调节好了，可以施加开环加速度(启动)
- 使用电机模型在线测量Ke

## Startup and Ke measurement

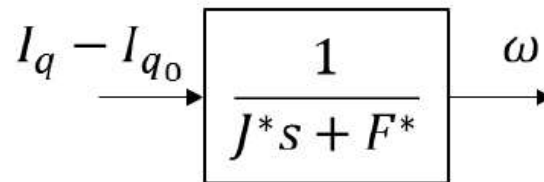
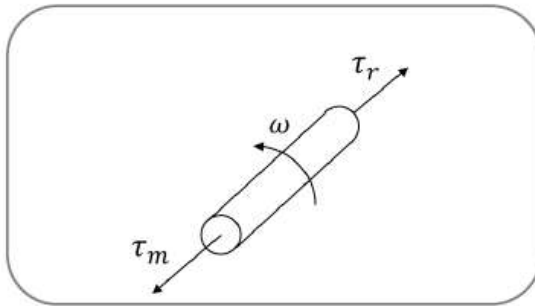


# 电机机械参数的测量

14

- 采用一阶(转动惯量加上阻力系数)机械系统模型进行测量

## Mechanical motor parameters



$$\tau_e = J \frac{d\omega_r}{dt} + F\omega_r$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_{e1} &= F\omega_1 \\ \tau_{e2} &= F\omega_2 \end{aligned} \right\}$$

$$F = \frac{\tau_{e2} - \tau_{e1}}{\omega_2 - \omega_1}$$

# 测量转动惯量J

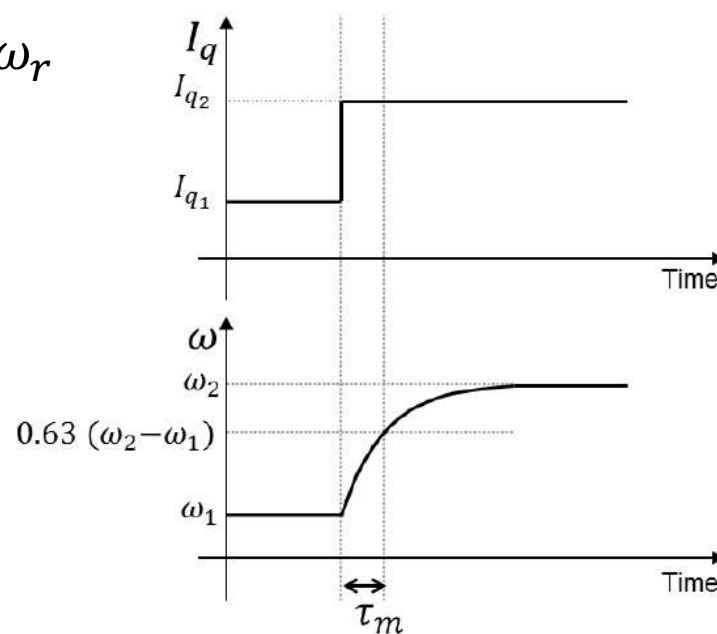
15

- 转动惯量的测量是通过测量机械时间常数 $\tau_m$ 进行的。

## Measure of J

$$\tau_e = J \frac{d\omega_r}{dt} + F \omega_r$$

$$\omega_r = \omega_2 + (\omega_1 - \omega_2)e^{-\frac{t}{J/F}}$$



$$\tau_m = \frac{J}{F}$$

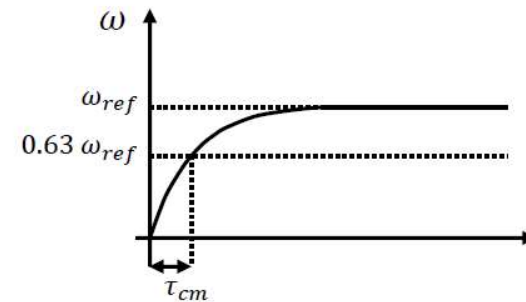
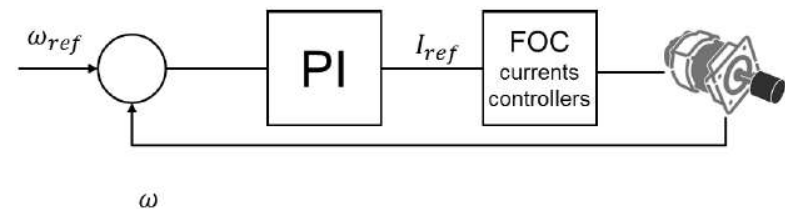
$$J = F * \tau_m$$

# 自动调节速度调节器

16

- 一旦测量完J和F，就可以调节闭环的速度调节器了
- 速度调节器的Kp和Ki以及相关的除数，是根据一个共同的参数 $\omega_{cm}$  (速度调节器闭环带宽)来进行计算的
- $\omega_{cm}$ 决定了闭环机械时间常数 $\tau_{cm}$

Speed regulators tuning





# 在60秒内让电机转起来

17

## 第一步：电机停止时

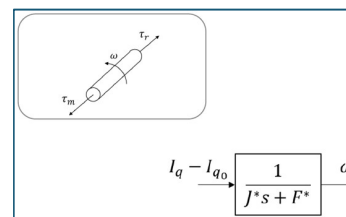
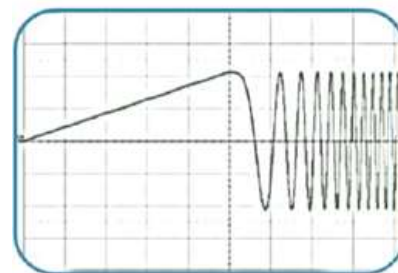
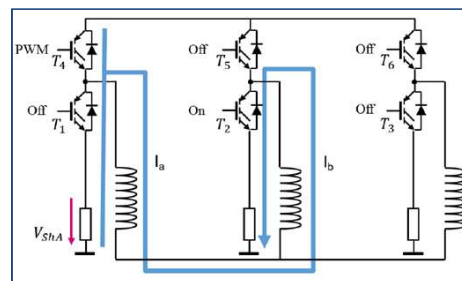
- 测量 $R_s$
- 测量 $L_s$
- 建立电流调节器

## 第二步：开环

- 测量 $K_e$
- 建立无传感的状态观测器
- 切换

## 第三步：闭环

- 测量阻力系数
- 测量转动惯量
- 建立速度调节器



启动电机

10s



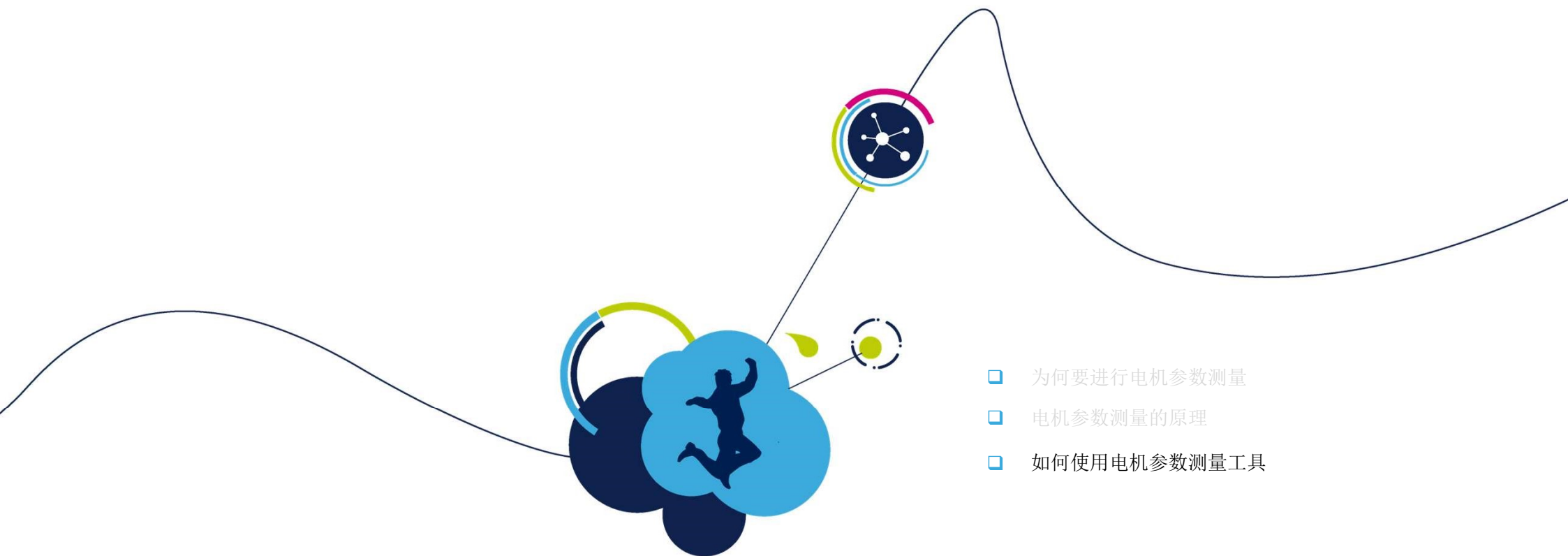
5s



45s

电机运行





- 为何要进行电机参数测量
- 电机参数测量的原理
- 如何使用电机参数测量工具

# 如何使用电机参数测量工具

# 电机参数测量工具的启动

19

可通过下列方式打开ST电机参数测量工具：

- 使用ST MC Workbench GUI上的专用按钮
- 直接从安装文件夹运行



# 输入参数说明

20

## SM-PMSM参数示例

**Pole Pairs:**  [how to detect...](#) ← 电机极对数 (必填)

*Speed and Current limits*

**Max Speed:**  RPM ← 电机最大转速 (可选)

**Max Current:**  Apk 0.28 - 2.8 Apk ← 电机允许的最大电流 (可选)

**VBus:**  V 8 - 48 V ← 额定总线电压 (可选)

**Magnetic:** ☒ SM-PMSM ☐ I-PMSM ← 磁体内置类型 (必填)

↓

**Magnetic:** ☐ SM-PMSM ☒ I-PMSM

**Ld/Lq ratio:**  0.001 - 10

# 从电机数据手册到MP

21

示例：

Motor maker	Specifications			Model Synchronous Motor	Version 1.xxx
Description Motor PMSM Sensorless 230V, 80W, 2000 rpm		Code XXXXX	Customer xxxx	Brand Motor Maker	
Pole Pair 7	Voltage 230V	Power 80W	Current 0.5A	Speed 2000 rpm	Max temp. 150°C

- 数据手册中的值通常是有效值。
- 额定直流电压和额定电流是正弦的峰值：

- $I_N=0.5 \quad A_{RMS} * \sqrt{2} = 0.707 A_{pk}$
- $V_{NDC}=230 \quad V_{RMS} * \sqrt{2} = 325 V_{DC}$

Pole Pairs:  [how to detect...](#)

Speed and Current limits

Max Speed:  RPM

Max Current:  Apk 0.28 - 2.8 Apk

VBus:  V 80 - 400 V

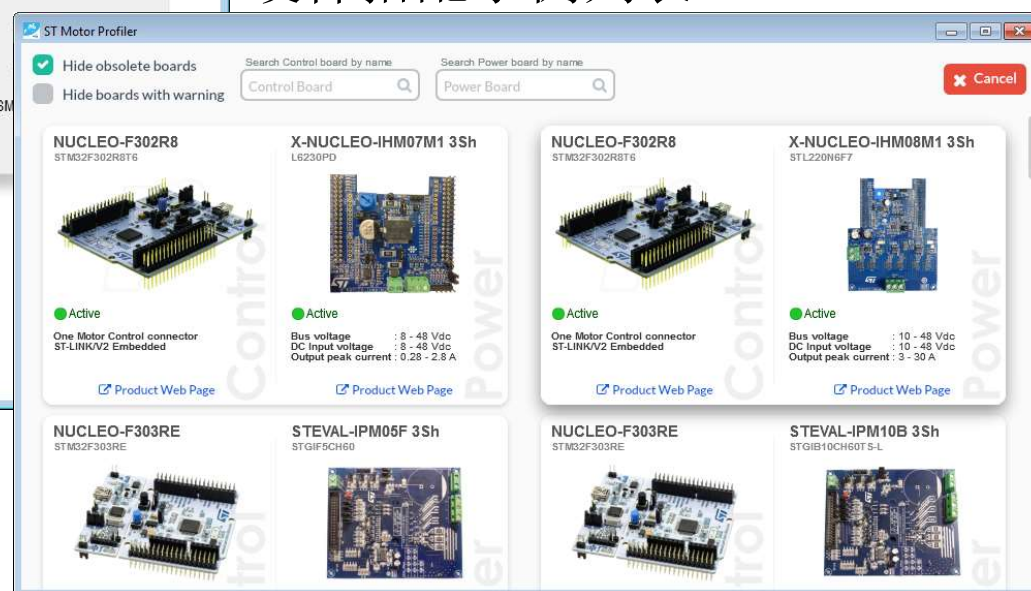
Magnetic: ☒ SM-PMSM ☐ I-PMSM

# 硬件搭配列表(1)

22

请根据需要的母线电压和最大峰值电流选择合适的板子。

## 硬件搭配示例列表



MP仅支持板子上芯片为cortex M4内核和带浮点运算单元的(STM32F3xx and STM32F4xx)。

# 硬件搭配列表(2)

23

Pole Pairs:  [how to detect...](#)

Speed and Current limits

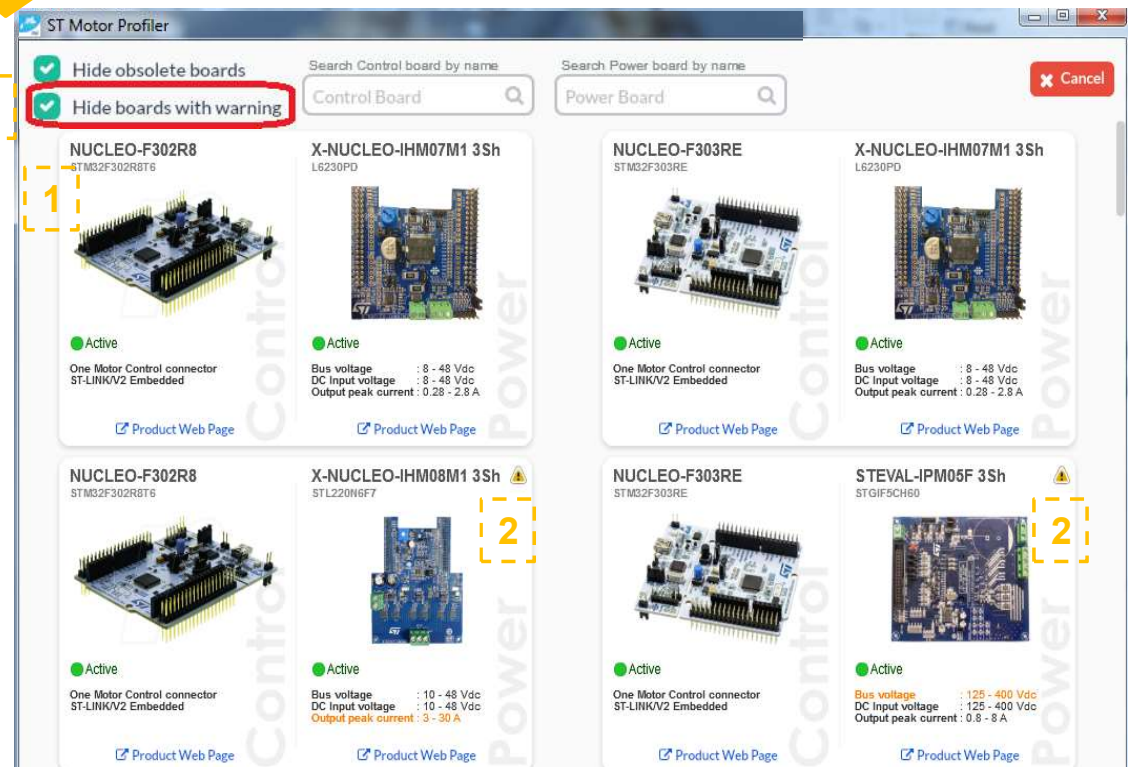
Max Speed:  RPM

Max Current:  Apk 0.28 - 30 Apk

VBus:  V 8 - 400 V

Magnetic: ☒ SM-PMSM ☐ I-PMSM

1. MP会根据输入的最大电流和母线电压推荐所用的板子。
2. 对于和输入值不匹配的板子，会显示警告信息，文本将变为黄色。
3. 可以隐藏所有带警告信息的板子。





# 硬件搭配列表(3)

24

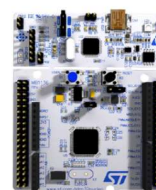
根据电机控制的需求，MP还允许用户查找如何配置板子的信息。



点击此文本即可打  
开板子的配置窗口。

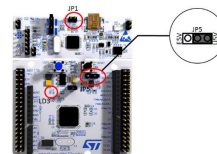
## Board Configuration

Nucleo-F302R8



Control Board

Control Board



### Step 1

1. Remove jumper JP1.
2. Plug-in jumper JP5 as shown for power supply from USB connector of ST-LINK/V2.
3. Check that LD3 is turned ON.



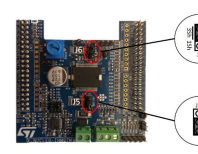
### Step 2

X-Nucleo-IHM07M1 3Sh



Power Board

Power Board



### Step 1

1. Plug-in jumpers J5 and J6 as shown for three shunt configuration.



### Step 2

1. Remove Jumper J8.

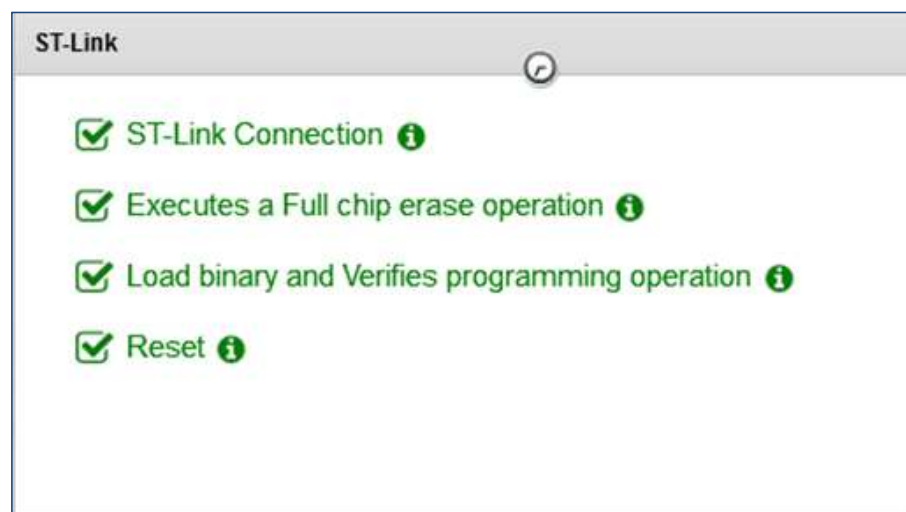
❖ 板子都是按3-shunt拓扑结构进行配置的



# 状态窗口

25

请求连接后，会显示状态窗口，窗口内容取决于硬件的设置历史。



# 警告(1)

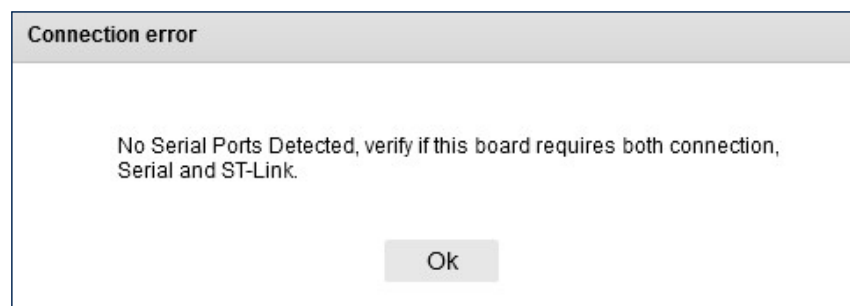
26

警告:

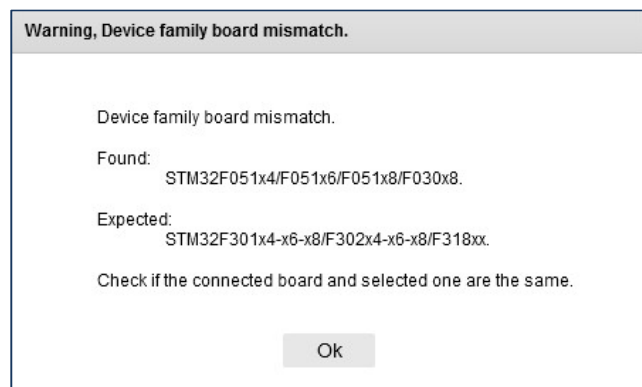
检测不到ST-LINK:



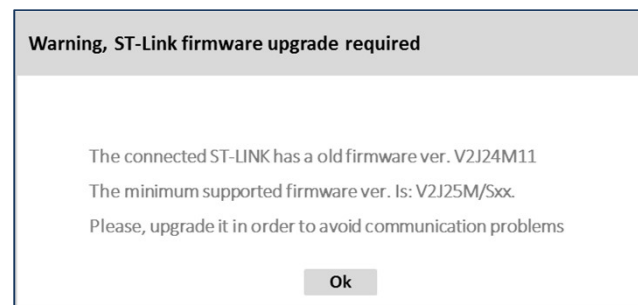
检测不到串口:



要连接的板子和所选的不同:

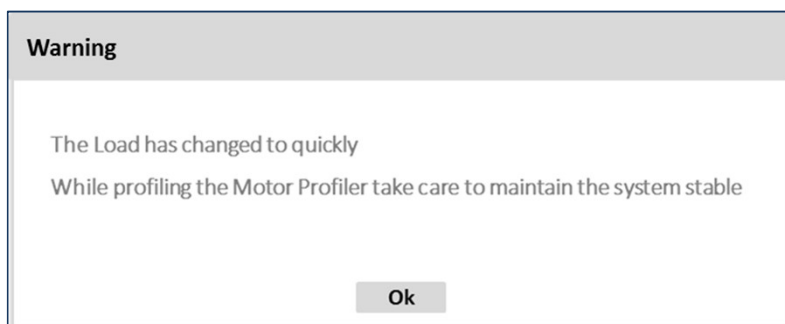


STLINK中安装的固件版本是否支持:

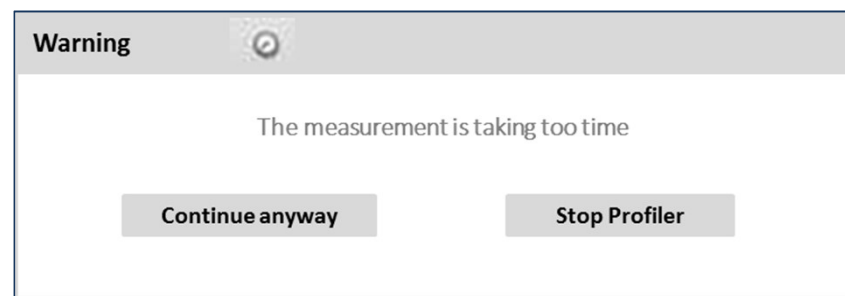


## 警告:

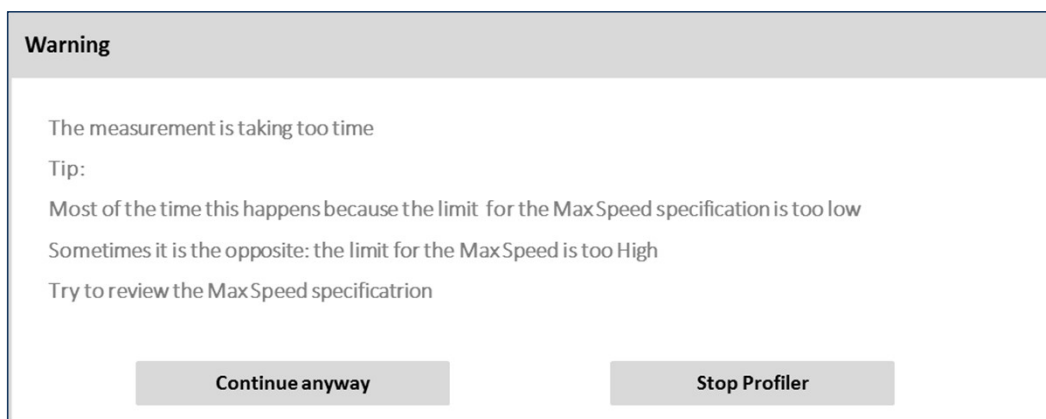
在测量期间如果电机负载改变太快:



测量阶段时间过长:



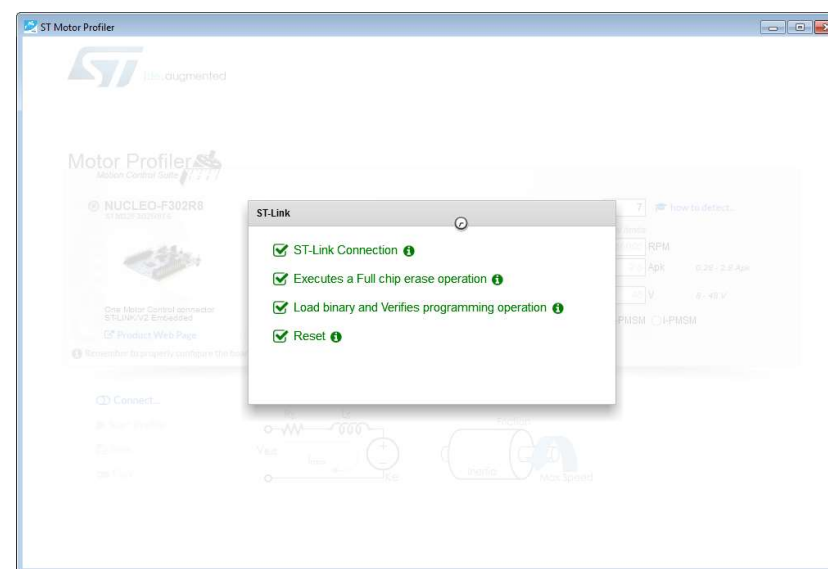
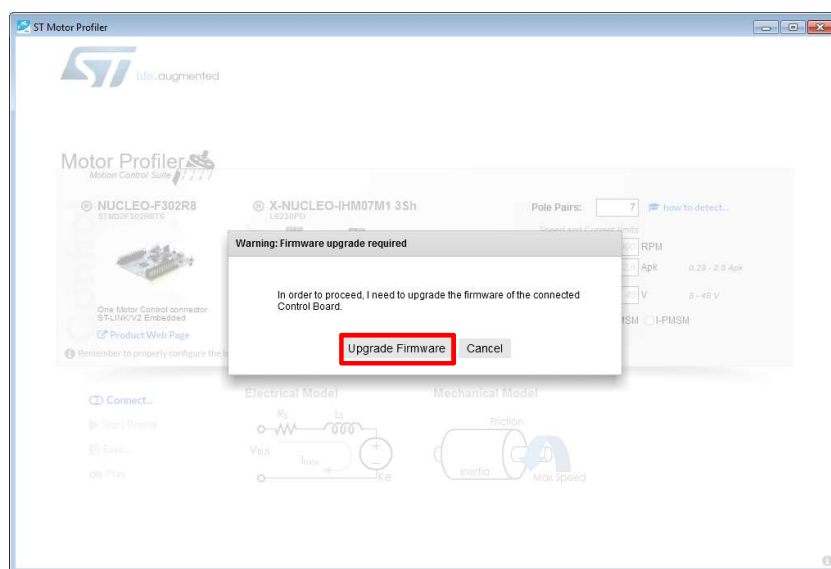
给出测量时间过长的提示:



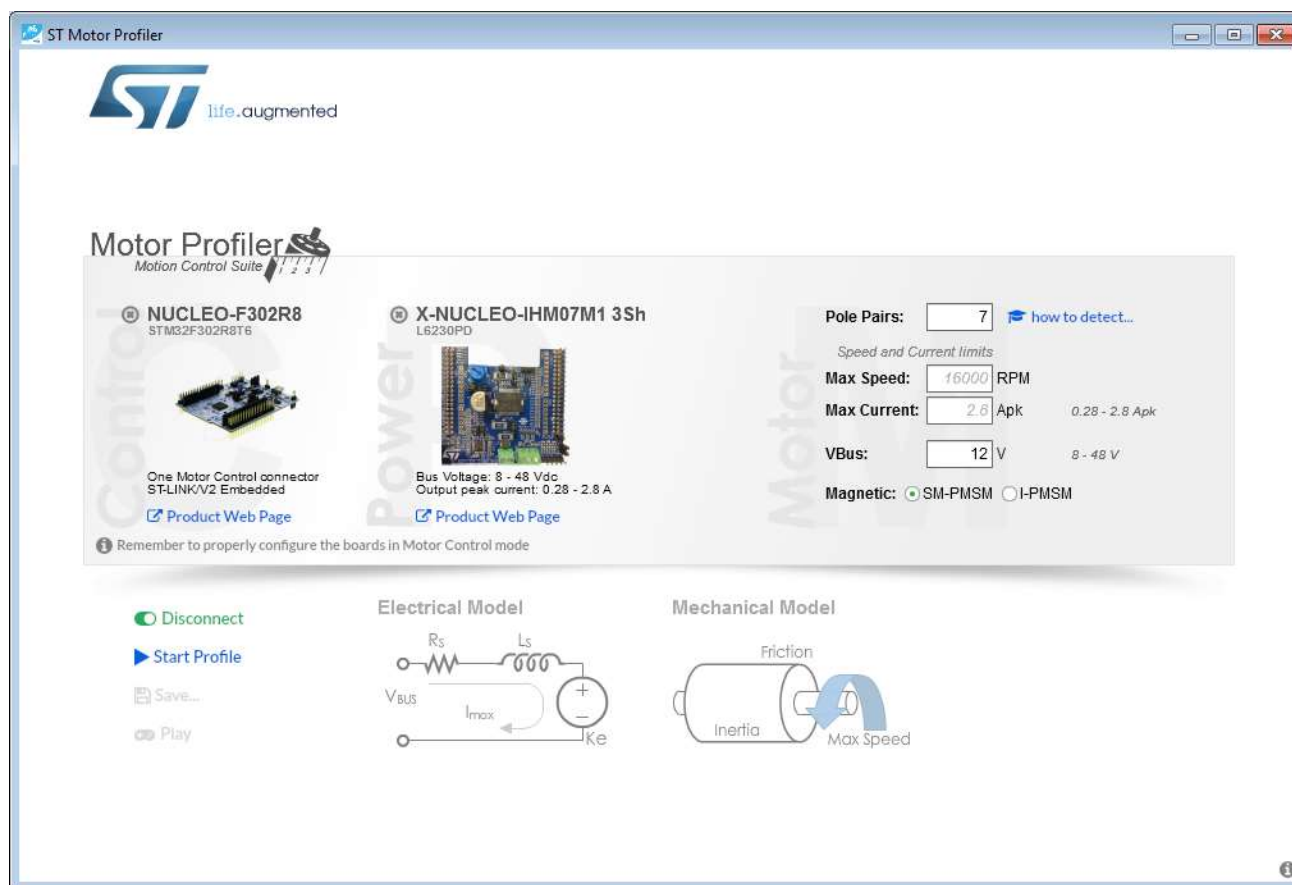
# 更新固件

28

如需更新固件:



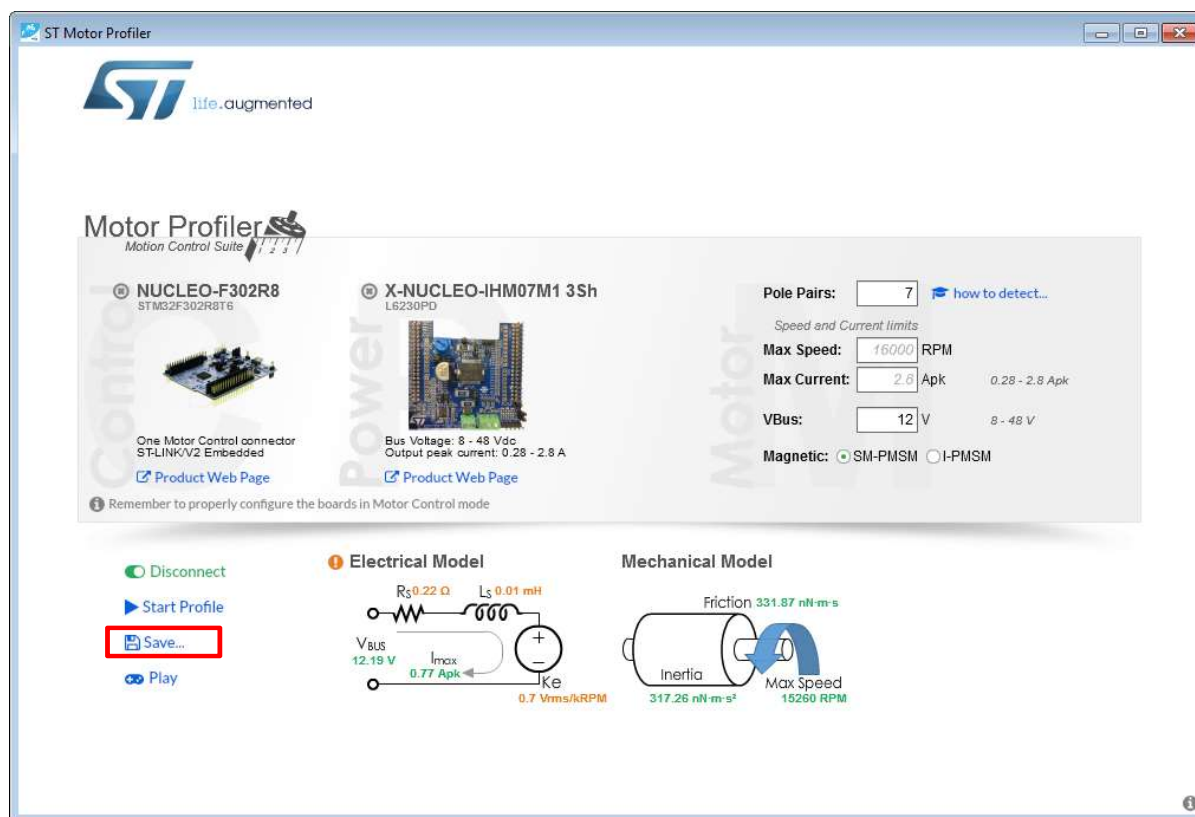
连接成功后:



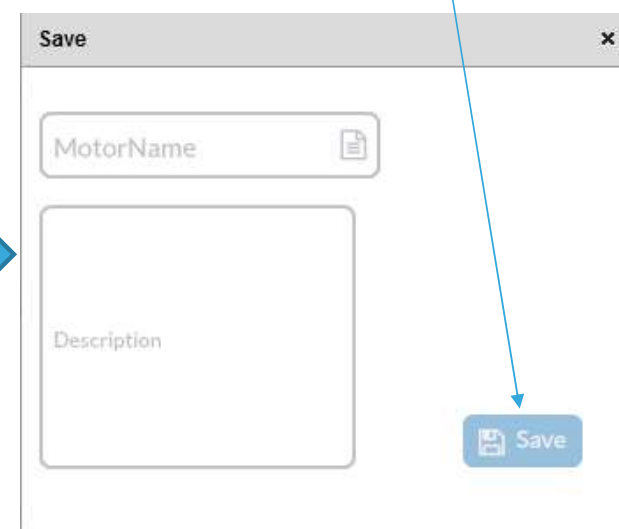
# 测量结果

30

测量结果:



可导出, 用于ST MC SDK Workbench



保存在  
C:\Users\name\st\_motor\_control\user\_motors  
下, 后缀.xml

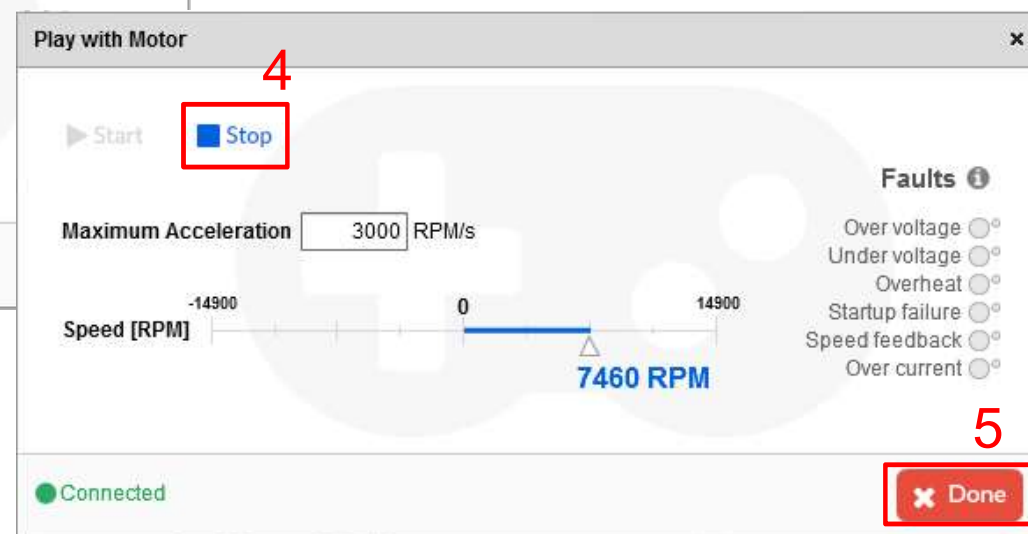
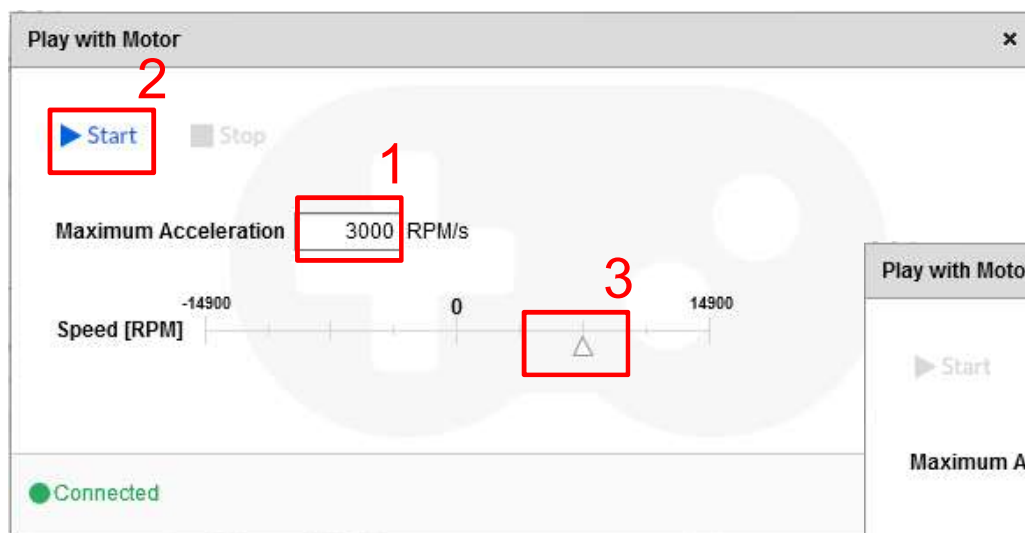
可进行如下尝试：

- 确认额定电压施加无误。
- 选择合适的电源板，满足电机的电压(电流)范围(低/高压)。
- 选择正确电流范围的功率器件。
- 检查极对数是否正确。
- 输入额定电机转速值。
- 减少额定电流值。

# 转动电机

32

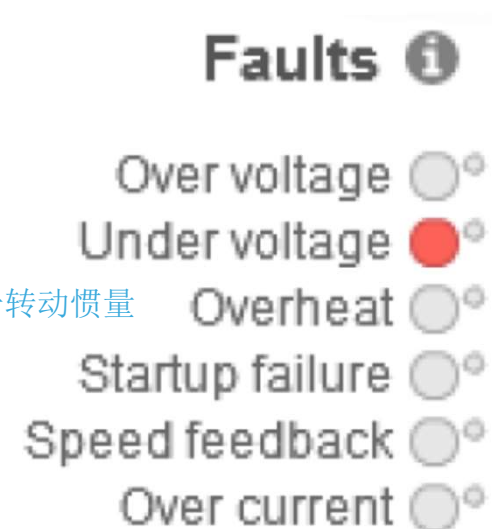
点击*Play*按钮可转动测量过的电机





可能出现的错误:

1. **Play mode**不能启动——过流错误
  - 减小电流，重新启动**MP**。
2. **Play mode**时发生**speed feedback**错误(有时仅在反向时发生)
  - 需要在**Workbench**中修改**STO**/速度调节器的参数。
3. 测量阶段成功了，但是速度调节器在**Play mode**阶段对设定转速的变化没有响应
  - 速度调节器的响应时间设定的太长了。必须等待初次稳定，之后速度调节器开始工作(对于转动惯量大的电机可能要几分钟)。
  - 可以在**Workbench**中调节速度调节器的参数。
4. 测量阶段不成功，重复进行了很多次
  - a) 电机转动惯量大，转起来后控制失败了，但由于惯性还在转，此时启动电机
    - 尝试不同的应用转速或者手动快速停止电机。
  - b) 电机开始转动，但是转动不连续
    - 设定的转速太低，尝试不同的应用转速
5. 过热
  - 等待一会儿，再尝试用不同的参数(不同的应用转速)进行测试。
6. 过压/欠压
  - 检查母线电压及其与电源板的相应连接



# Releasing your creativity

34



- Thank you -

## 重要通知 – 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对ST 产品和/ 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关ST 销售条款。

买方自行负责对ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和ST 徽标是ST 的商标。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。

## 版权声明

本文档为意法半导体公司及其子公司（“ST”）版权所有，未经ST允许不得复制、修改、转发或应用于商业目的。