

# 电机基本参数和配置

## 关于本文档

### 范围和目的

该文档介绍了如何测量 iMOTION™ FOC 算法所需的电机基本参数，以及如何在 iMOTION™ Solution Designer (iSD) 的配置向导 (Config Wizard) 中进行配置。

### 目标读者

所有使用 iMOTION™的用户。

## 目录

## 目录

关于本文档 .....	1
目录 .....	2
<b>1 简介 .....</b>	<b>3</b>
<b>2 MCE 所需的电机参数 .....</b>	<b>4</b>
<b>3 测量电机基本参数 .....</b>	<b>5</b>
3.1 定子电阻 ( $R_s$ ) .....	5
3.1.1 测量步骤 .....	5
3.1.2 测量示例 .....	6
3.2 定子电感 ( $L_q, L_d$ ) .....	6
3.2.1 测量步骤 .....	7
3.2.2 测量示例 .....	7
3.3 电机磁极数( $p$ ) .....	8
3.3.1 测量步骤 .....	9
3.3.2 测量示例 .....	9
3.4 电机反 EMF 常数 ( $K_e$ ) .....	10
3.4.1 测量步骤 .....	11
3.4.2 测量示例 .....	12
<b>4 在 iSD 中配置电机参数 .....</b>	<b>13</b>
参考文献 .....	14
文档修订记录 .....	15
声明 .....	16

## 简介

### 1 简介

iMOTION™是永磁（PM）电机控制产品系列，集成了经过行业验证的硬件和即用型软件。

这些器件能够在电机的整个速度范围内实现无传感器或基于传感器的磁场定向控制（FOC），确保了控制的稳定性。部署在硬件设备上的 iMOTION™软件被称为运动控制引擎（MCE）。iMOTION™ Solution Designer (iSD) 是一款 PC 工具，可用于配置、验证、部署及用户脚本代码开发。必须在 iSD 的配置向导中输入基本的电机参数使用 iMOTION™ FOC 算法。

电机基本参数（如定子电阻、电感、磁极数量和反电动势值）需使用 LCR 表或示波器对实际使用的电机进行测量。该应用笔记描述了如何手动测量这些电机基本参数，还说明了如何在 iSD 中配置这些参数。

## MCE 所需的电机参数

### 2 MCE 所需的电机参数

表 1 显示了 MCE 控制所需的电机参数。加粗的参数需要用户手动测量。

表 1. 电机 MCE 所需参数

参数名	说明
电机标称电压	该参数指定了电机的最大终端电压。该参数通常印在电机标签上。
额定功率	这是驱动负载所需的最大机械功率。
相电流额定值 (安培)	该参数指定了电机的连续均方根电流额定值。该参数通常会印在电机标签上。
<b>电机磁极</b>	该参数指定了一个完整机械周期中的磁极数量，通常印在电机标签上，可以使用示波器轻松测量。
最大速度	运行时的最大电机速度，通常印在电机标签上。
最小速度	运行时的最低电机速度。使用 flux 估计算法角度反馈时，建议的最低速度应在最大速度的 5% 至 10% 之间。
每相绕组电阻 ( $R_s$ )	该输入指定了电机每相绕组的电阻。
<b>IPM 电机定子每相 <math>l_q</math> 电感</b>	每相绕组的正交轴 (扭矩电流) 电感。
<b>IPM 电机定子每相 <math>l_d</math> 电感</b>	每个相绕组的直轴 (磁通电流) 电感。
<b>每 1000EMF 的电机反 EMF 常数</b>	该参数指定了线圈-中性点反电动势常数，以 RMS/1000RPM 为计量单位。

如 **Error! Reference source not found.**所示，主要的电机参数所示打印在电机标签上，但基本的电机参数，如定子电阻、电感和反向 EMS 值通常不会印在标签上。因此，用户需要使用 LCR 表或示波器手动测量这些参数。参数的测量方法会在以下部分说明。

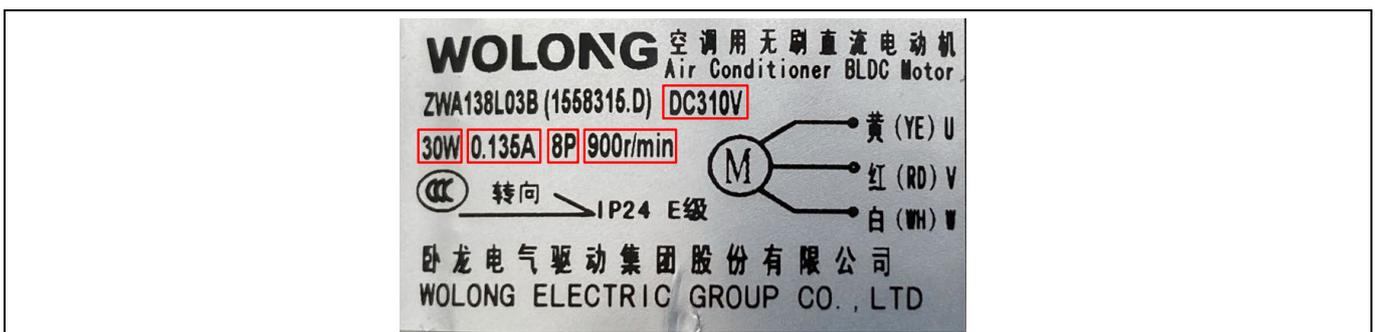


图1. 电机标签示例

## 测量电机基本参数

### 3 测量电机基本参数

本节将解释如何测量以下电机基本参数。电机的极数参数通常会印在电机标签上，但最好还是对实际电机进行测量以确认。

- 每相绕组电阻 ( $R_s$ )
- 每相定子电感 ( $l_q, l_d$ )
  - IPM 电机定子每相  $l_q$  电感
  - IPM 电机定子每相  $l_d$  电感
- 电机磁极 ( $p$ )
- 每 1000EMF 的电机反 EMF 常数 ( $K_e$ )

#### 3.1 定子电阻 ( $R_s$ )

图 2 展示了使用电机等效电路测量定子电感的方法。它使用 LCR 表测量线间电阻，但这个测量结果是两条线路电阻之和。三相定子电阻参数 ( $R_s$ ) 的 MCE 表示电机每相绕组的电阻，因此测量结果应除以 2。

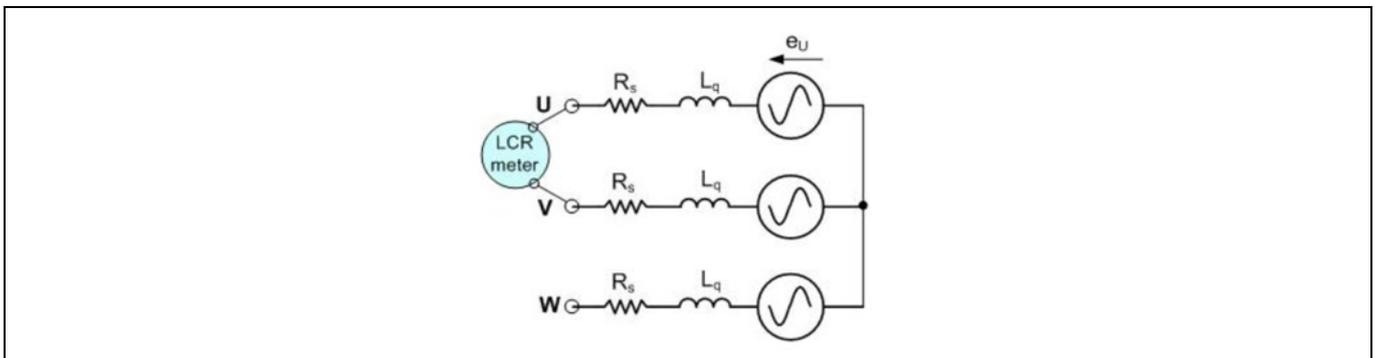


图2. 定子电阻 ( $R_s$ ) 和定子电感 ( $L_q, L_d$ ) 的测量方法

##### 3.1.1 测量步骤

$R_s$  的测量步骤如下：

1. 将两相连接到 LCR 表，第三相保持开路。
2. 测量相间阻抗值
3. 将测得的电阻值除以 2。

## 测量电机基本参数

### 3.1.2 测量示例

图 3 显示了线间定子电阻的实际测量示例。该示例中的测量结果为  $94.28 \Omega$ ，因此  $R_s$  参数值为  $47.14 \Omega$ 。



图3. 测量线间定子电阻 ( $2R_s$ )

### 3.2 定子电感 ( $L_q$ , $L_d$ )

MCE 内置的高级无传感器磁场定向控制 (FOC) 算法支持两种电机类型，即表面安装永磁 (SPM) 电机和内置永磁 (IPM) 电机。

在处理表面永磁 (PM) 电机时，如图 4 的左部分所示，无论转子角度如何，绕组电感  $L_d$  和  $L_q$  的值都相同。然而，对于内嵌永磁 (IPM) 电机，如图 4 的右部分所示，绕组电感会随转子角度变化，且  $L_q$  电感大于  $L_d$  电感。

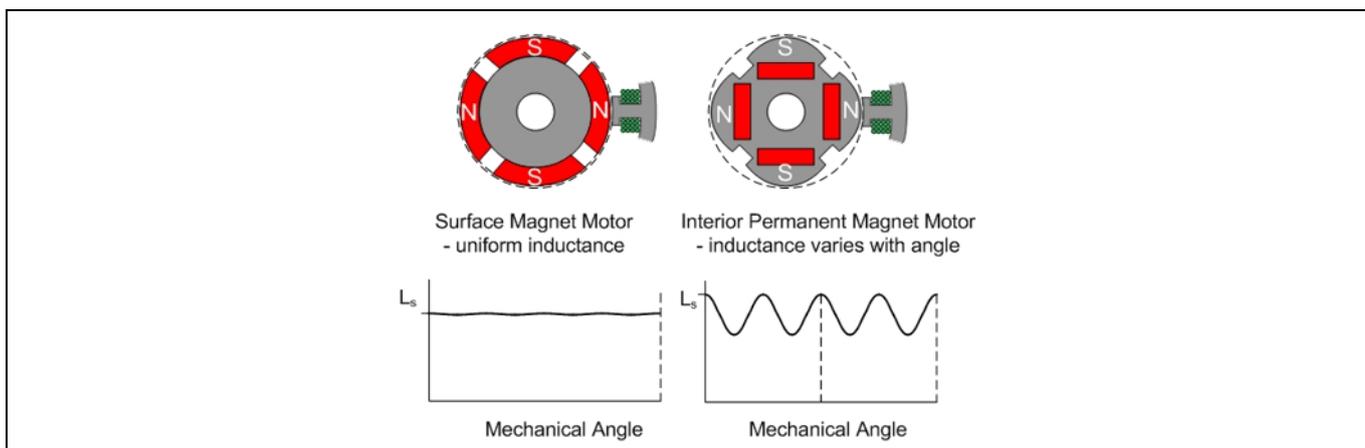


图4. 电机类型 (PM 电机、IPM 电机)

## 测量电机基本参数

本节将介绍如何在使用四极 IPM 电机时测量绕组电感值  $L_q$  和  $L_d$ 。

图 2 展示了使用电机等效电路测量定子电感的方法，并使用 LCR 表测量线间电感。测量结果是两条线路电感之和。电机定子电感参数 ( $L_q$  或  $L_d$ ) 的 MCE 表示每相绕组电感，因此测量结果应除以 2。

由于 IPM 电机的电感值会随转子角度变化，因此需要调整角度来测量  $L_q$  和  $L_d$  值。图 5 显示了四极 IPM 电机的电感值与电气角度和机械角度的关系。四极电机的一个电气角度周期相当于机械角度的半个周期。在一个电气周期中，电感值有 4 个峰值（最大值和最小值），这意味着在机械角度的 45 度范围内，电感值从最大值变为最小值。因此，需要手动逐渐改变电机角度，从 45 度的机械角度范围内测量电感值，其中最大值为  $L_q$ ，最小值为  $L_d$ 。

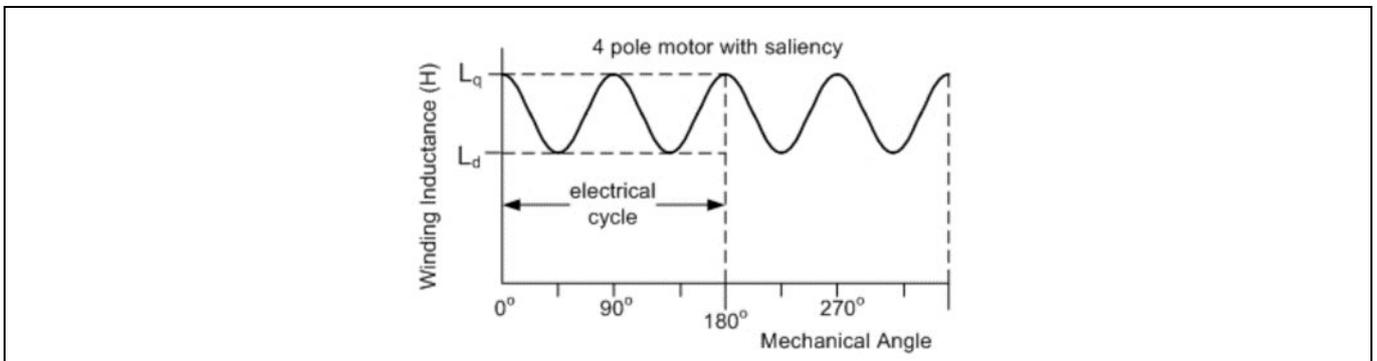


图5. 定子电感 ( $L_q$ 、 $L_d$ )

### 3.2.1 测量步骤

$L_q$  和  $L_d$  的测量步骤如下：

1. 将两相连接到 LCR 表，第三相保持开路。
2. 测量线间电感值
3. 用手慢慢转动转子，将最高电感值记录为  $L_q$ ，最低电感值记录为  $L_d$ 。
4. 将这些测得的电感值除以 2。

### 3.2.2 测量示例

图 6 显示了线间定子电感的实际测量示例。右侧是  $L_q$  的测量结果，左侧是  $L_d$  的测量结果。 $L_q$  的测量结果为 550.0 mH，因此，每相定子电感为 275.0 mH。 $L_d$  的测量结果为 469.0 mH，因此，每相定子电感为 234.5 mH。

## 测量电机基本参数

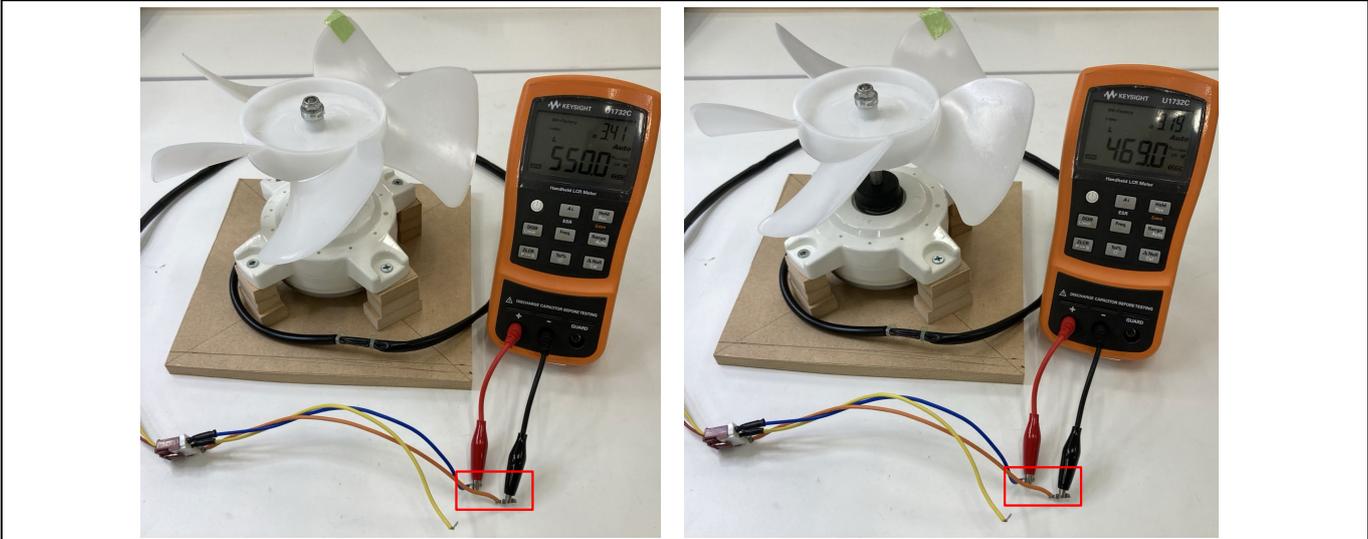


图6. 测量线间电感 ( $2L_d$ 、 $2L_q$ )

### 3.3 电机磁极数(p)

该参数表示一个完整机械周期内的磁极数量，每个磁极对有一个电周期。

该参数可以通过计算电机反电动势波形在一个完整机械旋转中的正负峰值来确定。

图 7 显示了由四极 IPM 电机反 EMF 产生的线间电压波形，在一个机械周期内有 2 个峰值和 2 个谷值（2 个正弦波形周期）。

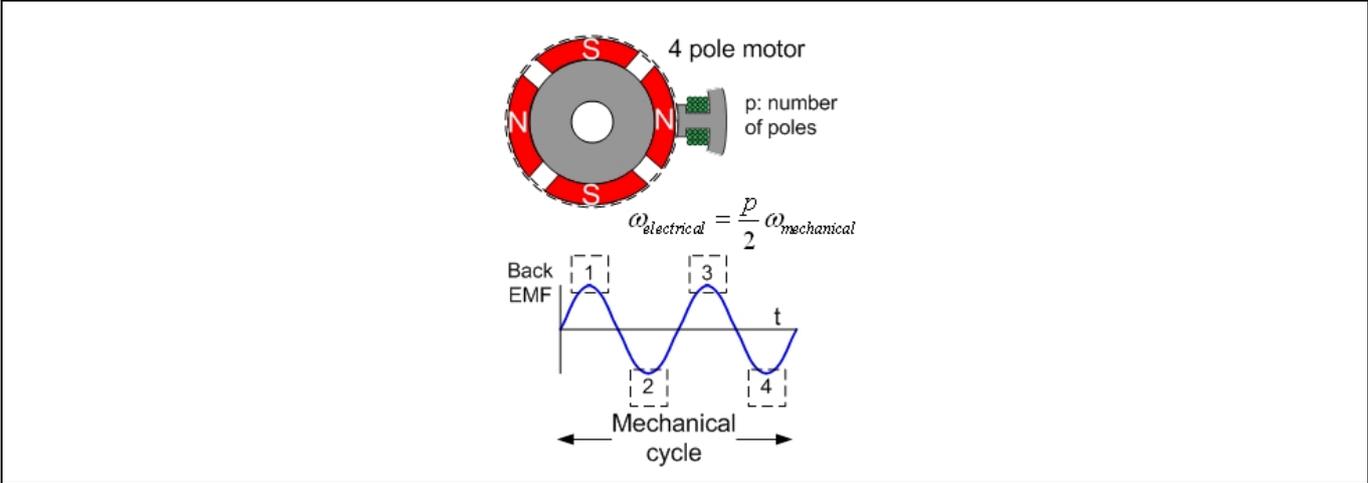


图7. 电机磁极数测量方法

## 测量电机基本参数

### 3.3.1 测量步骤

电机磁极数的测量步骤如下：

1. 将两相连接到示波器电压探头，第三相保持开路。
2. 用手以恒定速度转动电机，完成一次机械旋转，并用示波器记录波形。
3. 计算正弦波的峰值数量

### 3.3.2 测量示例

图 8 展示了电机磁极数的实际测量示例，测量结果如图 9 所示。每个机械角度有八个峰值，因此被识别为八极。

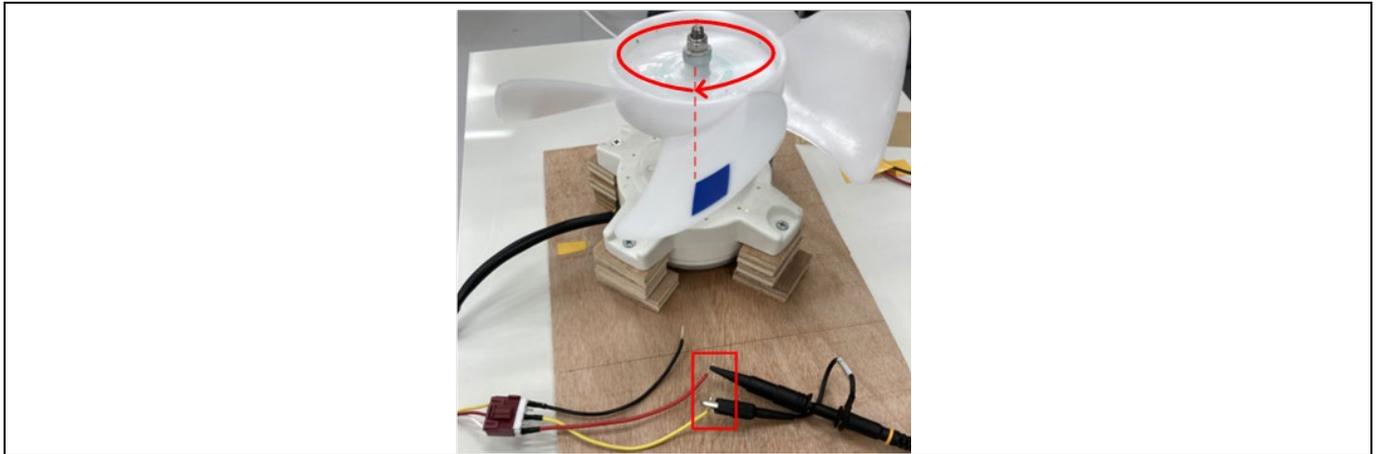


图8. 测量电机磁极数量

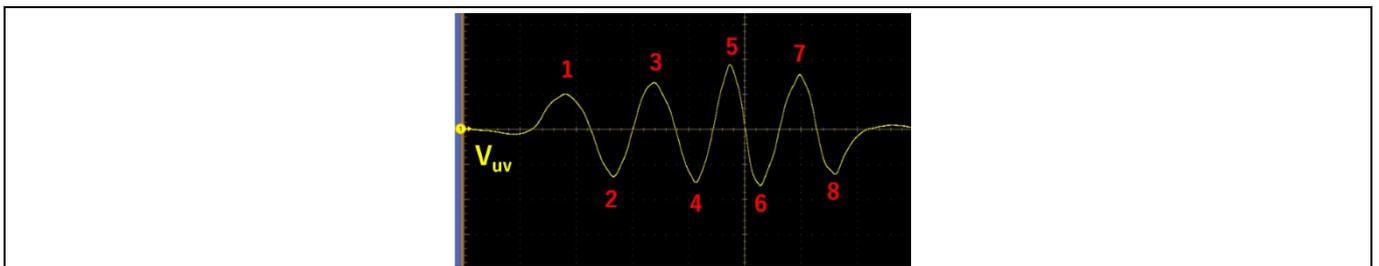


图9. 电机磁极数 (p) 的测量结果

## 测量电机基本参数

### 3.4 电机反 EMF 常数 ( $K_e$ )

该参数表示电机速度为 1000 RPM 时的线-中性点反电动势常数，以均方根 (RMS) 相电压 ( $E_U$ ) 表示。

$K_e$  可以通过驱动电机、测量相间峰值电压、并计算实际反 EMF 的实验确定。图 10 展示了使用电机等效电路测量  $K_e$  的方法。

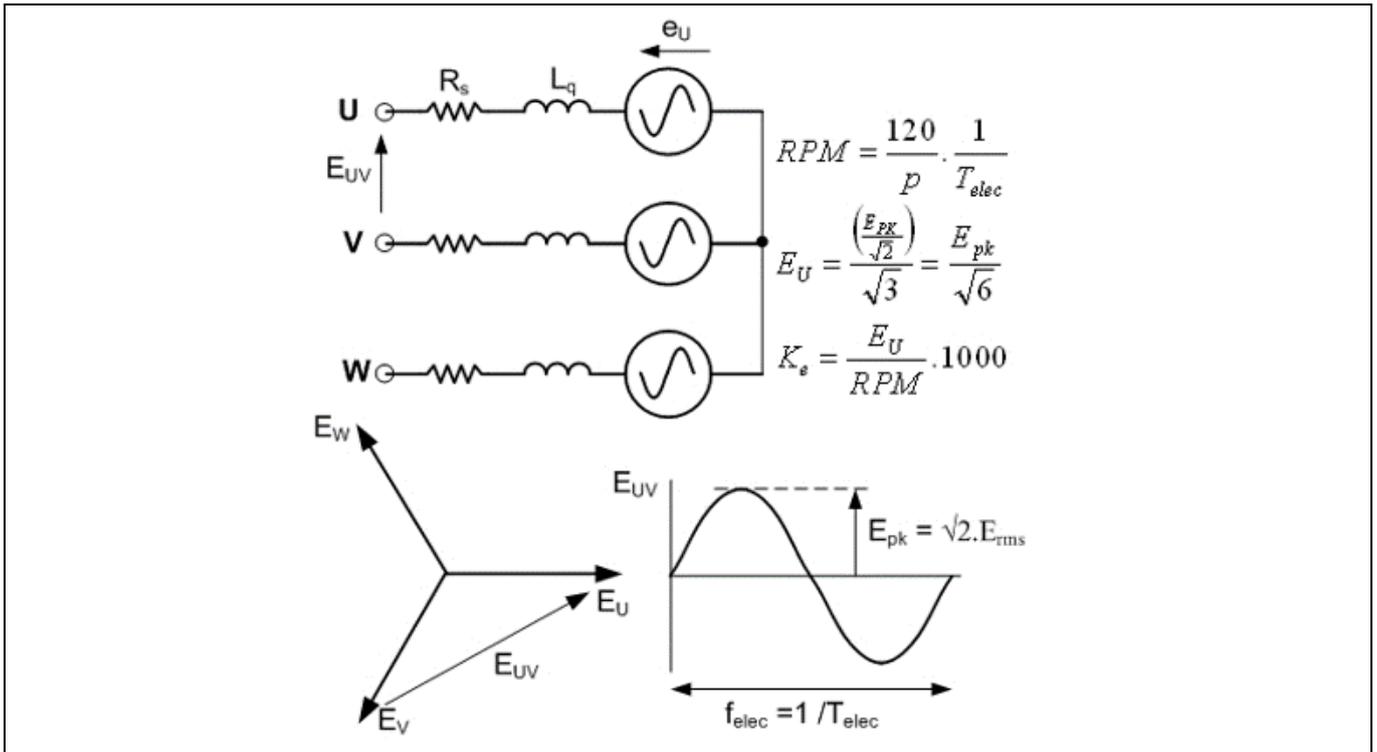


图10. 反 EMF 常数 ( $K_e$ ) 的测量方法

根据  $K_e$  的定义， $K_e$  用以下方程式表示：

$$K_e = \frac{E_U}{RPM} \cdot 1000$$

RPM 和  $E_U$  由以下方程式表示。

$$RPM = \frac{120}{p} \cdot \frac{1}{T_{elec}}$$

$$E_U = \frac{E_{pk}}{\sqrt{3}} = \frac{E_{pk}}{\sqrt{6}}$$

其中， $p$  为极数， $T_{elec}$  为电角度周期， $E_{pk}$  为峰值线间电压（振幅）。相电压  $E_U$  表示为线间电压的均方根值除以 3 的平方根，而线间电压的均方根值则表示为峰值  $E_{pk}$  振幅除以 2 的平方根。

## 测量电机基本参数

将这些方程代入  $K_e$  方程中，展开结果如公式 1 所示。

$$K_e = \frac{E_U}{RPM} \cdot 1000 = \frac{E_{pk} \cdot p \cdot T_{elec} \cdot 1000}{120 \cdot \sqrt{6}}$$

公式 1 反 EMF 常量公式 ( $K_e$ )

### 3.4.1 测量步骤

$K_e$  的测量步骤如下：

1. 将两相连接到示波器电压探头，第三相保持开路。
2. 用手匀速转动转子，并用示波器记录波形。
3. 测量  $E_{pk}$  电压，以及通过光标读取  $T_{elec}$  值。
4. 数据结果带入公式 1，计算  $K_e$  值（此处默认已知磁极数，否则请参阅第 3.3 节）。

## 测量电机基本参数

### 3.4.2 测量示例

**Error! Reference source not found.**展示了  $K_e$  的实际测量方法，测量结果如图 12 所示。在此例中， $p$  为 8 极， $E_{pk}$  为 33.64 V， $T_{elec}$  为 62.27 ms。将这些参数代入公式 1，得出  $K_e$  为 57.01 Vrpm/kRPM。

$$K_e = \frac{E_U}{RPM} \cdot 1000 = \frac{E_{pk} \cdot p \cdot T_{elec} \cdot 1000}{120 \cdot \sqrt{6}} = \frac{33.6V \cdot 8 \cdot 62.27ms \cdot 1000}{120 \cdot \sqrt{6}} = 57.01 \text{ Vrpm/kRPM}$$

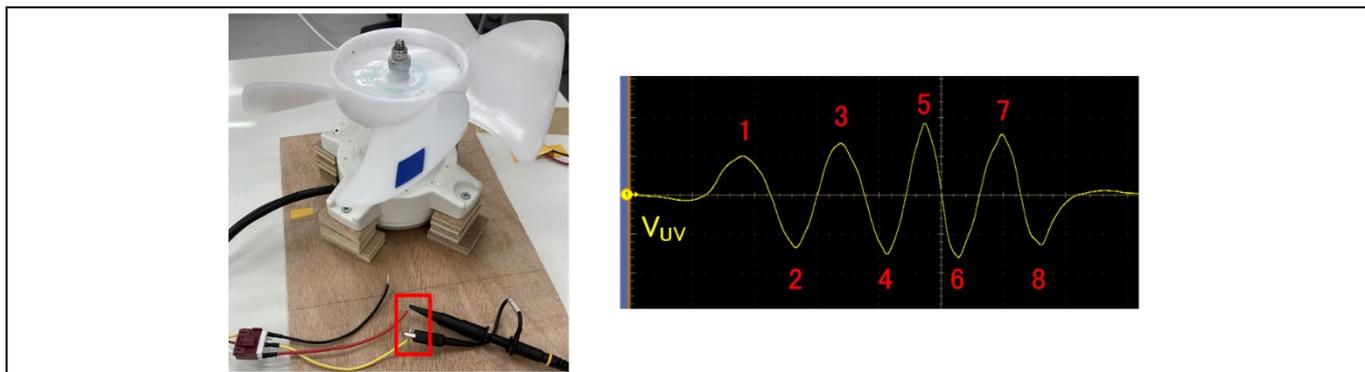


图11. 测量电机的磁极数量和  $K_e$

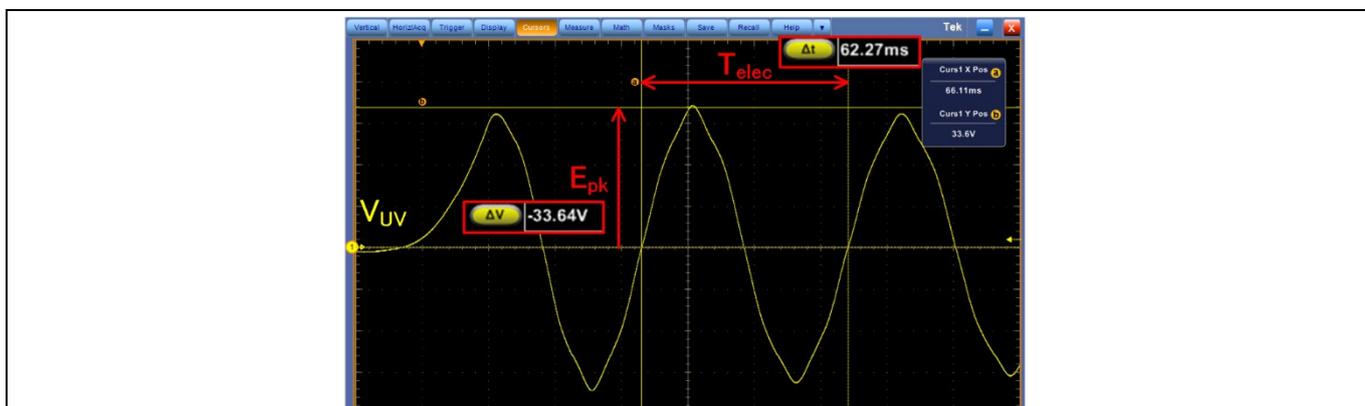


图12. 反 EMF 常数 ( $K_e$ ) 的测量结果

## 在 iSD 中配置电机参数

## 4 在 iSD 中配置电机参数

本节说明如何在 iSD 的配置向导窗口中输入电机基本参数。电机参数归类于系统硬件配置参数组中的“电机”部分。图 13 显示了配置向导窗口中的“电机”电机页面。

先前部分测量的电机参数如下，相应的配置向导的项显示在图 13。

1. 每相绕组电阻 ( $R_s$ ) : 47.14  $\Omega$
2. 电机磁极 (p) : 8 极
3. IPM 电机定子  $I_q$  的每相 ( $l_q$ ) 电感: 275.0 mH
4. IPM 电机定子  $I_d$  的每相 ( $l_d$ ) 电感: 234.5 mH
5. 每 1000 RPM 的电机反 EMF 常数 ( $K_e$ ) : 57.01 Vrms/kRPM

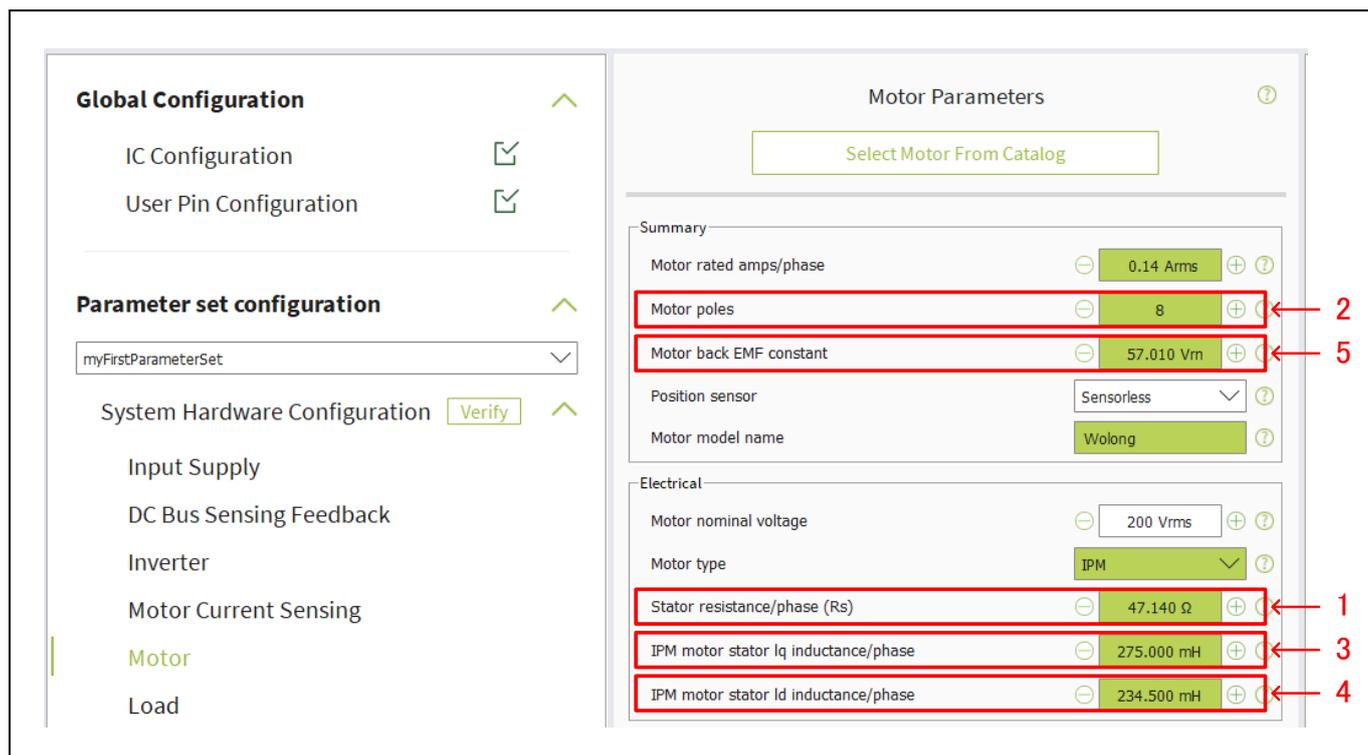


图13. 配置向导中的电机参数部分

---

## 参考文献

## 参考文献

- [1] iMOTION™解决方案设计器快速入门 (Getting Started with iMOTION™ Solution Designer)
- [2] iMOTION™ 解决方案设计师用户指南 (iMOTION™ Solution Designer User Guide)

---

## 文档修订记录

### 文档修订记录

文档修订	提交日期	变更说明
1.0	2023-12-14	首次发布。

## Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

**Edition 2024-10-10**

**Published by**

**Infineon Technologies AG**

**81726 Munich, Germany**

**© 2024 Infineon Technologies AG.**

**All Rights Reserved.**

**Do you have a question about this document?**

**Email: [erratum@infineon.com](mailto:erratum@infineon.com)**

**Document reference**

**AN-2023-10\_ZH**

## 重要提示

本文件所提供的任何信息绝不应被视为针对任何条件或者品质而做出的保证（质量保证）。英飞凌对于本文件中所提及的任何事例、提示或者任何特定数值及/或任何关于产品应用方面的信息均在此明确声明其不承担任何保证或者责任，包括但不限于其不侵犯任何第三方知识产权的保证均在此排除。此外，本文件所提供的任何信息均取决于客户履行本文件所载明的义务和客户遵守适用于客户产品以及与客户对于英飞凌产品的应用所相关的任何法律要求、规范和标准。

本文件所含的数据仅供经过专业技术培训的人员使用。客户自身的技术部门有义务对于产品是否适宜于其预期的应用和针对该等应用而言本文件中所提供的信息是否充分自行予以评估。

## 警告事项

由于技术所需产品可能含有危险物质。如需了解该等物质的类型，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽。

除非由经英飞凌科技授权代表签署的书面文件中做出另行明确批准的情况外，英飞凌科技的产品不应被用于任何一项一旦产品失效或者产品使用的后果可被合理地预料到可能导致人身伤害的任何应用领域。