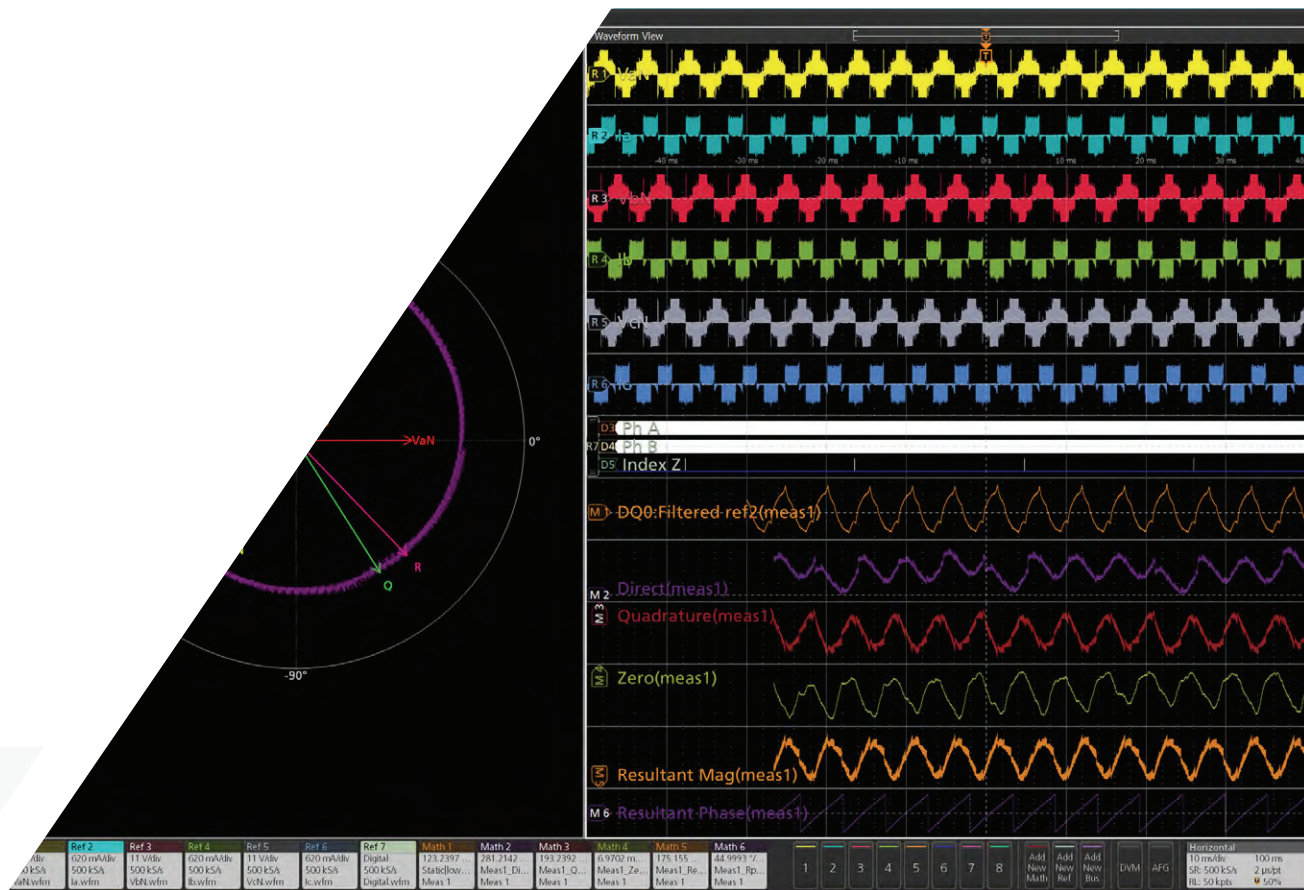




使用示波器分析电机系统的 DQ0

白皮书



使用示波器分析电机系统的 DQ0

直接正交零点 (dq0) 参数是磁场定向控制算法中的重要变量。这些重要参数通常是控制系统中使用的，但是在设计优化和调试过程中，这些参数需要实时测量，同时需要将参数值与测量值 (如扭矩输出) 关联起来。

以前，电机驱动器和逆变器设计者通常使用自定义的软件和硬件，去测量这些参数，把 dq0 参数与扭矩相关联。这种自定义方法极其复杂，且价格昂贵。

泰克提出了一种替代方法，可以测量 dq0 分量，以及旋转传感器和无传感器系统的合成驱动矢量。该技术是逆变器、电机和驱动器分析软件包 (选件 IMDA-DQ0)，在 5 系示波器或 6 系示波器上可以选加配置。它采用信号处理技术，根据驱动系统输出的实时测量结果，计算 d、q 和 0 控制参数。这样，给定一个特定电气输入，设计者就能直观看到的最佳扭矩。

矢量驱动 / 磁场定向控制

用于同步电机和交流感应电机的先进驱动器通常采用矢量驱动技术。与简单的标量驱动相比，矢量驱动能提供平稳的运行、更快的加速度和更出色的扭矩控制。矢量驱动采用磁场定向控制 (FOC)，虽然用途广泛、效率高，但也比标量驱动复杂得多。图 1 显示了面向磁场的控制系统产生的 PWM 输出波形。

图 2 是磁场定向控制系统的简化框图。控制系统中使用克拉克 (Clarke) 和帕克 (Park) 变换，将施加到电机上的三相电压转换为正交的 D 和 Q 矢量。这些简化矢量可以很容易地进行缩放和整合，以维持所需的速度和扭矩。接下来，反向变换可用于在逆变器内创建脉冲宽度调制的驱动信号。

需要注意的是，控制系统还要测量转子的位置。这可以通过霍尔传感器、旋转变压器或正交编码器接口 (QEI) 等传感器来实现。

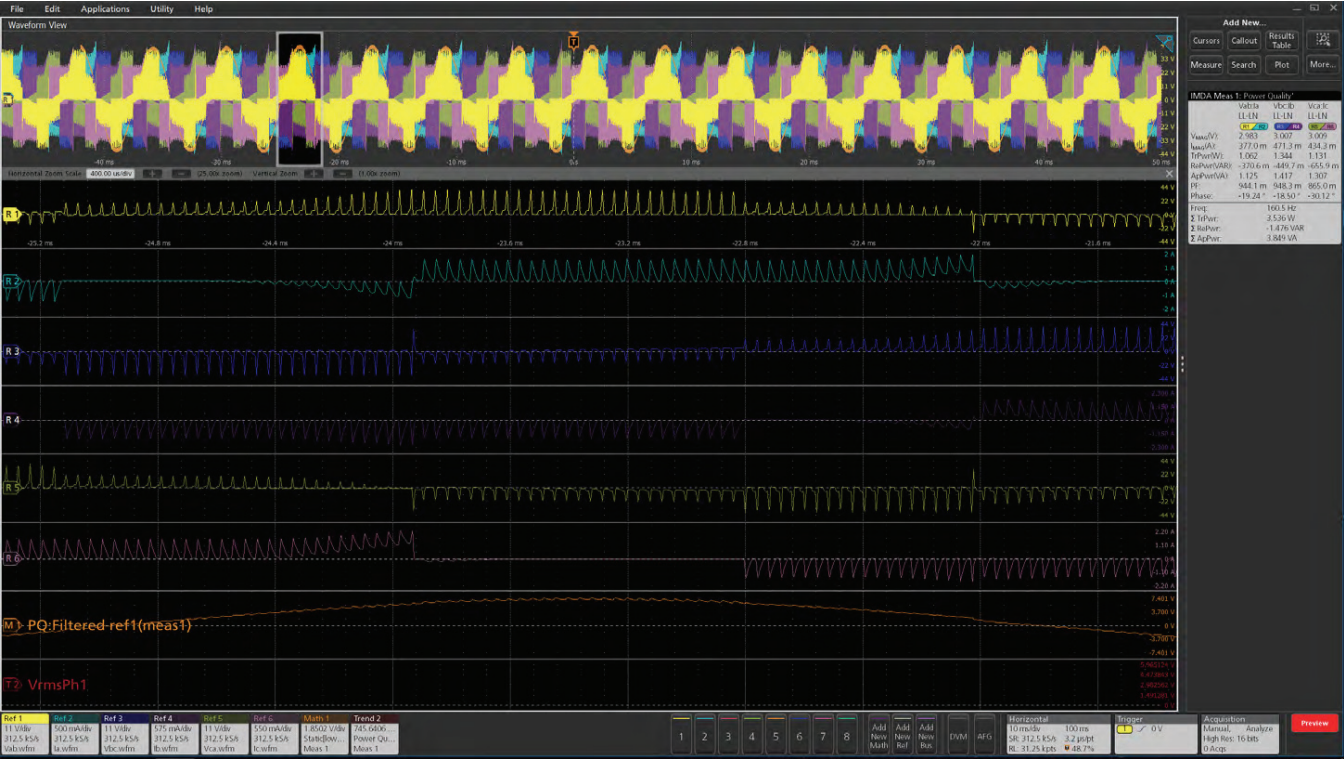


图 1. 矢量驱动 / 磁场定向控制使用复杂的 PWM 波形

使用示波器分析电机系统的 DQ0

同样地，在控制系统中也可使用无传感器系统，利用电机的反电动势来确定转子位置。

如图 1 所示，D 值和 Q 值通常位于数字信号处理模块 (如 FPGA) 的内部，可能无法直接测量。IMDA-DQ0 软件可根据采样的三相输出电压或电流以及转子的角度位置，来显示这些关键参数。这样，工程师就能看到控制系统调整的效果，并快速、轻松地查看信号关系。

DQ0 测量原理

如上所述，在示波器上运行的 IMDA-DQ0 软件，使用采样电压或电流以及角度位置信息来实时计算 d、q 和 0。本节将解释这些测量背后的原理。

三相交流和直流电机可通过旋转电压和电流方程建模。等式 1 至 3 表示 V_R 、 V_S 和 V_T 的三相电压函数。

V_G 代表相应增益，‘ ω ’ 是 $2 * \pi * f$ ，这里的 ‘f’ 指的是标称频率。

$$V_R = V_G \cos(\omega t) \quad \text{Equation 1}$$

$$V_S = V_G \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad \text{Equation 2}$$

$$V_T = V_G \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \quad \text{Equation 3}$$

在正确连接的情况下，示波器可以测量整个过程中的任意瞬时电压值。

采集通常约为 10 个完整周期，具体取决于采样率和可用记录长度。低通滤波器可用于减轻高频失真、电压尖峰、开关噪声和电磁干扰 (EMI) 的影响。

示波器还可以利用霍尔效应传感器、QEI 或旋转变压器的输出，去测量转子的角位置。

给定电压或电流矢量以及转子角度后，就能求得 d、q 和 0。要将电压或电流矢量按 d 轴排列，可应用矩阵方程 (方程 4) 将三相矢量转换为 dq0 矢量。

$$\begin{pmatrix} d(t) \\ q(t) \\ 0(t) \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R(t) \\ S(t) \\ T(t) \end{pmatrix} \quad \text{Equation 4}$$

- R、S 和 T 可以代表 I_R 、 S 、 $T(t)$ 或 $I_{R,S,T}(t)$ 或 $V_{R,N,S,N,T,N}(t)$ 。
- t 是采样时间，从 0 到采集时间。
- θ 是由电机输出端的霍尔效应传感器、正交编码器接口 (QEI) 或旋转变压器确定的电气角度。在无传感器系统中，可以使用相对于基准电压或电流的偏移角度。
- 生成的 DQ0 是旋转参照帧，它代表了系统相对于转子位置的情况。

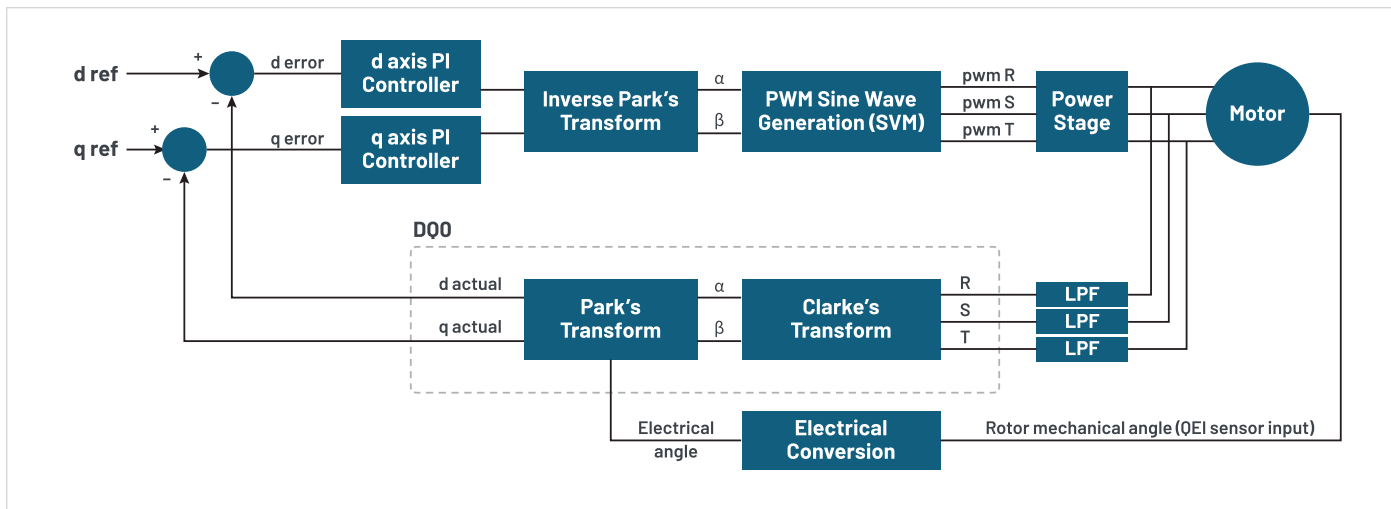


图 2. 磁场定向控制系统简化框图，显示如何使用 d 和 q 来简化三相 PWM 电机驱动中的反馈

进行示波器测量

在 MSO5B 系列和 MSO6B 系列的示波器中，逆变器、电机和驱动器分析软件包的关键电气测量被归入电气分析测量类别。电气分析测量类别中有泰克专利的直接正交零点 (DQ0) 测量。

图 3 显示了 DQ0 测量的源设置示例。除了选择源和连线外，还可以指定一个低通滤波器，该滤波器可以应用于所有源的设置，也可以仅应用于边沿限定。如上所述，这对于减少 EMI 和开关噪声造成的噪声非常有用。

本例中使用的是正交编码接口 (QEI)。对于无传感器系统，可以使用带偏移角和滤波电信号的反向电动势法。

在磁场定向控制中，目标是控制 D 值和 Q 值来获取想要的扭矩。通过独立控制 D 和 Q，可以实现最大转矩电流比 (MTPA)。图 4 显示了示波器上的相量图，D 和 Q 矢量叠加在三相电压矢量上。

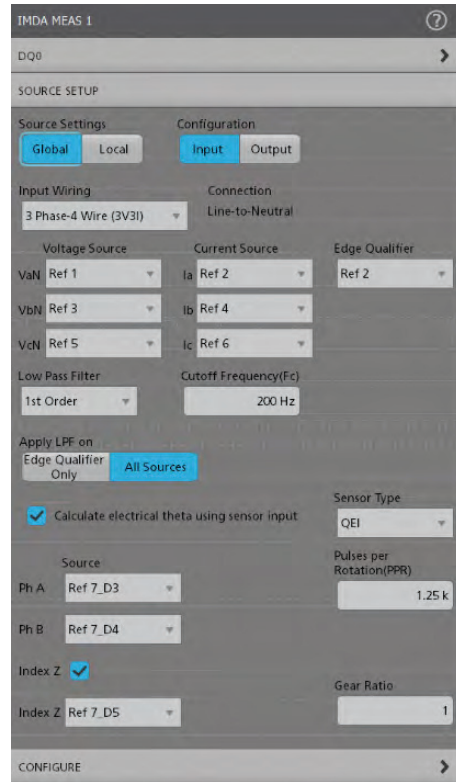


图 3. 在使用正交编码接口 (QEI) 的系统上配置示波器进行 DQ0 测量

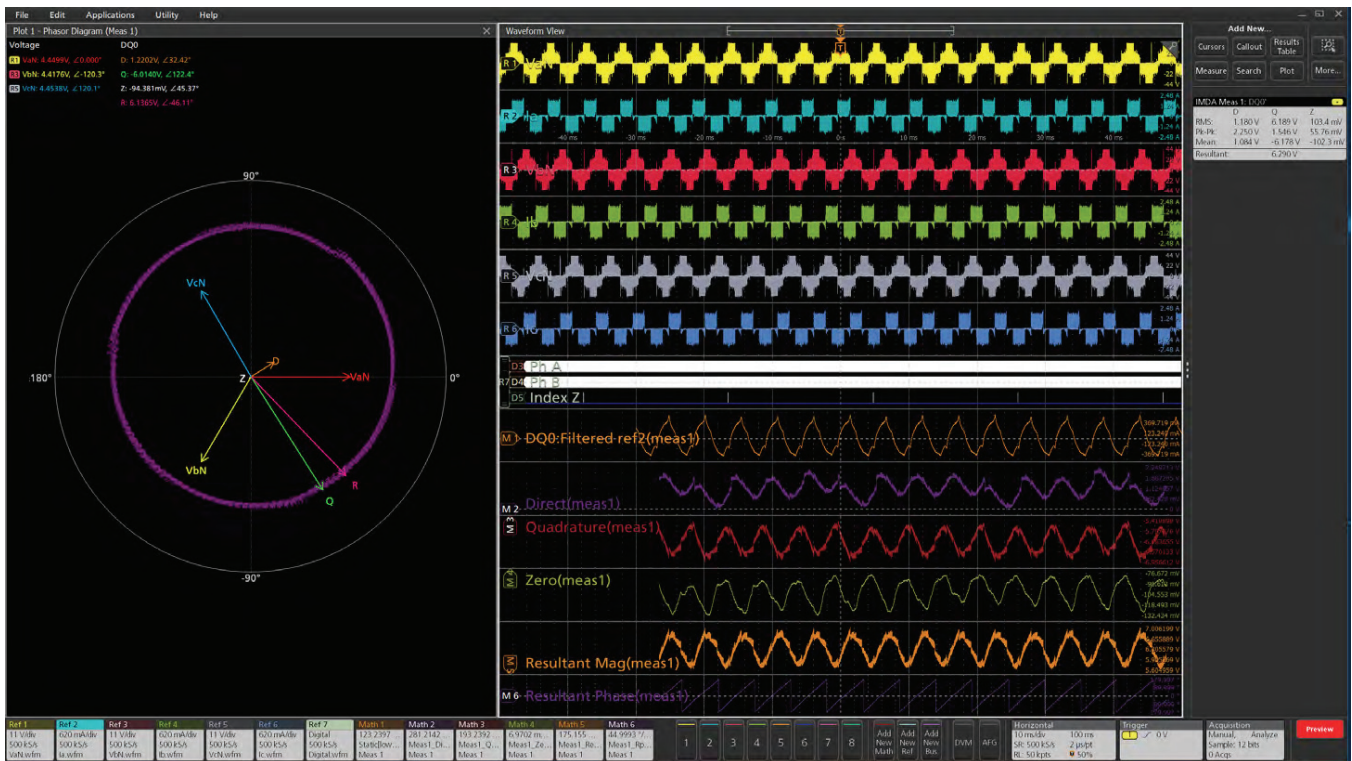


图 4. DQ0 相位图显示测量结果矢量 (R)，电机速度和方向反馈由正交编码传感器提供

在任意时间点，d 轴都沿着转子的南北轴，代表转子磁通方向。q 轴超前 d 轴 90 度。D 代表转子磁通轴，Q 代表转矩轴。由于来自定子和转子的垂直磁通会产生转矩，因此最好让定子或转子的磁通相对于彼此成 90 度角。也就是说，定子磁通或定子电流最好沿着 q 轴。

一般来讲，D 和 Q 被视为恒定值，而采用这种方法后，我们可以通过时域数学波形（如图 4 所示）直观地看到 D 和 Q 上的纹波。这是衡量输入稳定性的另一个指标。

除 D 和 Q 外，分析软件还显示了结果矢量 (R)。R 的计算方法是在 D 和 Q 的每个采样点计算 D 和 Q 向量的斜边矢量。在这种情况下，斜边矢量由 QEI 的脉冲 (Z) 决定。增量角由 QEI 根据编码器的每转脉冲数 (PPR) 计算得出。通过观察结果矢量 (R) 旋转，我们可以看到控制系统是

否在平稳地驱动电机。我们还可以观察换向的次数 -- 注意图 4 中 R 向量图中的六个失真点，对应六个换向步骤。

图 4 右下方显示了 D、Q、0 和 R 的时间图。使用示波器的光标功能，可以同时看到测量值，以及相量图上的旋转帧。

结论

D、Q、0 和 R 是矢量电机驱动中常见的磁场定向控制系统的关键变量。即便如此，它们也很难被实时观测到。本文介绍的新技术可在示波器上显示这些变量，让工程师方便查看，并且将这些关键变量与电气和机械参数关联起来。这为驱动系统或逆变器的调试和优化提供了宝贵的的方法。



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：www.tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

泰克科技(中国)有限公司

上海市浦东新区川桥路1227号
邮编：201206
电话：(86 21) 5031 2000
传真：(86 21) 5899 3156

泰克北京办事处

北京市朝阳区酒仙桥路6号院
电子城·国际电子总部二期
七号楼2层203单元
邮编：100015
电话：(86 10) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处

深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0900
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处

成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编：610063
电话：(86 28) 6530 4900
传真：(86 28) 8527 0053

泰克西安办事处

西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层L座
邮编：710065
电话：(86 29) 8723 1794
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

泰克香港办事处

香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话：(852) 3168 6695
传真：(852) 2598 6260

更多宝贵资源，尽在 WWW.TEK.COM.CN

© 泰克公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和外国专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

080123 SBG 61C-74017-0

