

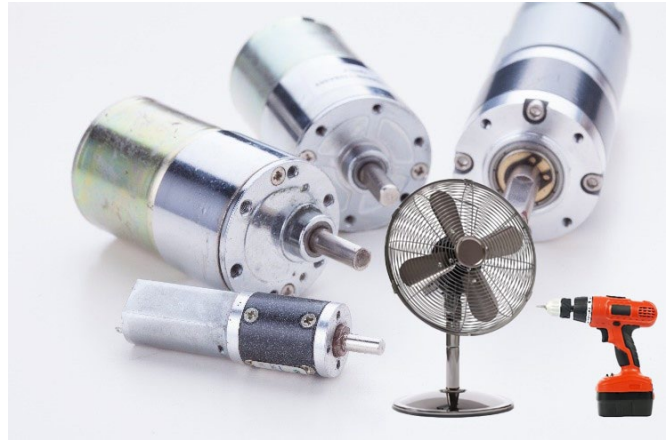
构建市场所需的高性能、小型化电动工具和风扇电机应用程序

Yuki Ueno, 产品市场高级工程师

瑞萨电子 嵌入式处理器事业部

概述

近年来,随着对住宅及商业基础设施投资的增加,施工用电动工具需求持续攀升。在电动工具出货量增长的同时,其产品正朝着小型化、高能量密度化及高性能化方向演进。同时,在家用电器及住宅设备的风机应用领域(包括风扇、空调、换气扇、空气净化器、吸尘器、吹风机等),电机正获得广泛应用,静音性能、高转速与大功率输出以及小型化的需求持续提升。



虽然电动工具和风扇电机控制所需的技术规格不同,但都追求高转速、高扭矩、高响应及低功耗等高性能和高效率指标,同时为了提升市场的价格竞争力,还需攻克电路板小型化和降低成本的难题,这要求系统设计必须实现精细化平衡。

本文阐述了电机控制系统在这些应用中面临的挑战,并通过采用瑞萨电子 RA 系列新品 RA2T1 微控制器,解析对应的解决方案。

电动工具应用的挑战和 RA2T1 MCU 的应用

电动工具按使用场景可分为 DIY 级与专业级两类,其驱动电机主要采用有刷电机或无刷(永磁同步)电机两种技术方案。特别是在专业用途领域,市场需求大多是紧凑、轻便、高输出、易于维护的无刷电机。与有刷电机相比,无刷电机的电路设计和控制方法更加复杂,但采用微控制器的控制方法已成为标准。

在当今的电动工具中,基于霍尔传感器的 120 度导通控制方案被广泛用于控制无刷电机。由于可以从霍尔传感器信号中检测转子的位置,因此从启动开始就可在低速和高速范围内实现高扭矩,并且可以简化控制软件。然而,由于峰值电流和扭矩波动较大,在选择组件时也存在耐压裕量和电池效率下降等问题。

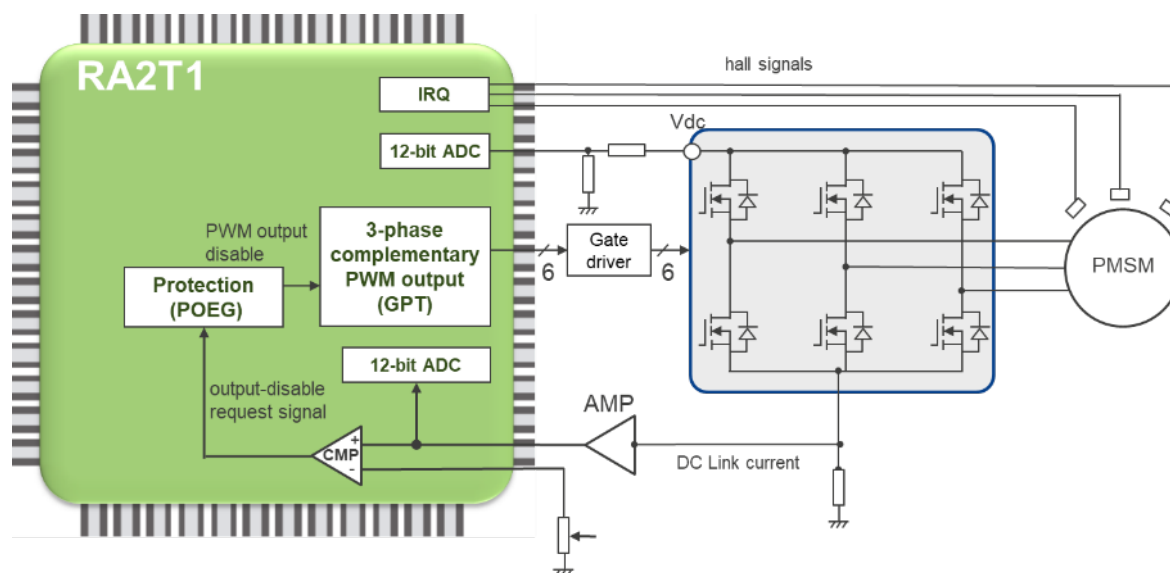


图 1: 使用霍尔传感器的控制块示例

应对这一挑战，可采用矢量控制解决方案。

矢量控制具有抑制峰值电流和扭矩波动的作用，与每 60 度六个通电方向的 120 度控制方案相比，它可以对转子位置进行精细控制，从而可以降低逆变器电路组件的击穿电压裕量。此外，由于施加的电压接近理想的正弦形状，因此消除了 120 度导通控制时的谐波分量，从而提高了电池效率。控制时需要检测流经电机的电流，这也可以通过在现有电路板上使用直流母线电流检测电路进行过电流检测来实现。使用直流母线电流的方法也称为单分流电阻电流检测方法，电流采样的时序是至关重要的。三相电流中，在两相 ON 一相为 OFF，或一相为 ON 两相为 OFF 的时刻进行采样，即电流是唯一可确定的时刻。

在这里，可以使用 RA2T1 内置的 GPT 定时器，通过 A/D 转换开始触发联动功能自由设置电流测量时间。根据 PWM 波形的占空比，能够在特定的时刻触发 A/D 启动，并且可以在目标时刻检测流经分流电阻器的电流。当通过 GPT 控制逆变器开关时，在互补 PWM 模式下使用对称三角波。根据要输出的 3 相 PWM 波形，可能无法保持 A/D 转换所需的采样的 ON 时间。为了解决这个问题，GPT 定时器具有通过将对称 PWM 波形转换为非对称波形来确保每个开关元件的电流检测导通时间的功能。此外，使用内置比较器和 POEG 的 PWM 中断功能可轻松实现过电流检测。

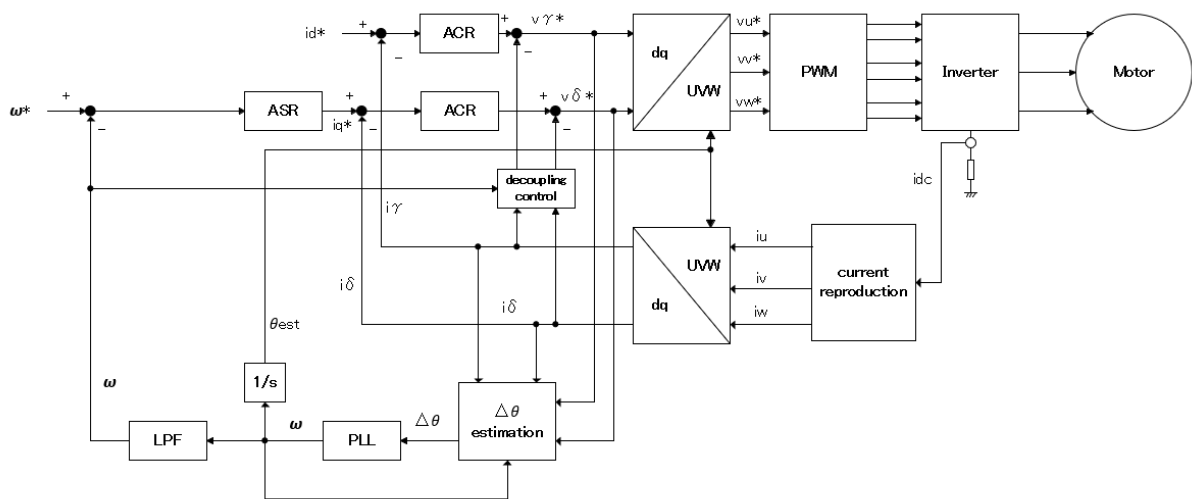


图 2: 单分流电流检测矢量控制系统框图示例

风扇应用的挑战和 RA2T1 MCU 的应用

风扇电机用于各种场所，例如空调和空气净化器，它们通常一年 365 天都在运行，感应电机和无刷电机则不易磨损或无需更换电刷，易于维护，被广泛使用。此外，在节能和小型化的推动下，感应电机正在被无刷电机所取代。

在控制风扇电机的无刷电机时，功耗和静音性很重要，因此标量控制用于廉价的风扇产品，而矢量控制用于高性能风扇产品。矢量控制需要电机电流信息，通常采用 3/2 分流电阻电流检测方式，以检测电流失真较低的电机 3 相或 2 相电流。

检测三相电流时，需要通过 A/D 获取，A/D 转换时间很重要。理想情况下，应同步采样三相电流，但如果电机控制应用未考虑 A/D 规格，则单个 A/D 模块通常会按顺序转换三个通道，从而导致 A/D 转换时间 + α 的检测时间偏差。

随着电机转速的增加，这种偏差会影响控制性能。近年来，随着风扇变得越来越小，为了获得相同的风量，转速也随之增加。尤其是真空吸尘器和烘干机可以达到 100,000 rpm 或更高的转速。由此导致电机三相电流波形的周期缩短，单位时间的变化量增大，因此检测值偏差的影响也随之增大。该偏差在电机矢量控制中表现为相移，这可能导致功效降低和控制性能不稳定。

RA2T1 利用集成在 A/D 转换器中 独立的采样保持（3 个通道）功能来解决这个问题。通过同步采样消除因 A/D 转换器时序差异导致的相位误差。从而实现高精度的电流检测，提高了控制算法的稳定性和响应能力。此外，由于无需校正 A/D 转换时序差异带来的电流偏差，因此减少了软件负载并提高了控制精度。

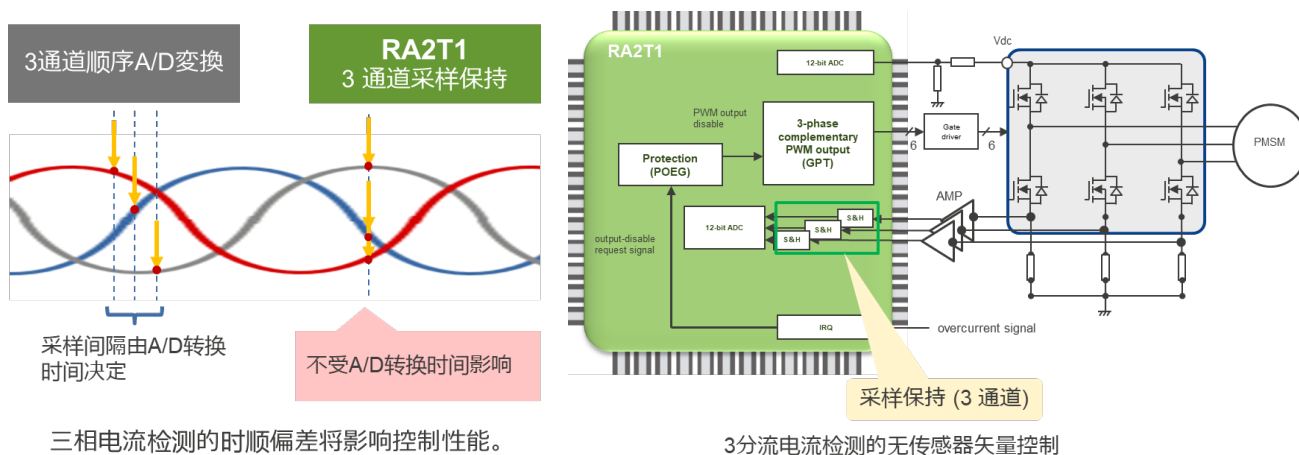


图 3: RA2T1 A/D 转换器采样保持功能示例

电机控制 MCU RA2T1

多年来，瑞萨电子开发了众多用于电机控制的 MCU。如今推出采用 Arm® Cortex®-M23 内核的 RA2T1，是 RA2 系列中第一款用于电机控制的 ASSP 产品。该产品针对单电机控制进行了功能优化以满足消费类设备中电机驱动器的更高效率和小型化需求，适用于简单紧凑的风扇控制、电动工具和冰箱压缩机。

RA2T1 搭载针对单电机控制优化的功能，包括支持具有死区时间生成功能的对称/非对称互补 PWM 波形输出的 GPT 定时器，具有三个独立采样保持功能的 12 位 A/D 转换器，用于精确确定电流采样时刻的 GPT 定时器触发 A/D 转换启动联动功能以及双通道高速比较器。此外，为了保护系统，RA2T1 还支持在检测到过电流时通过 POEG 关闭 PWM 输出。这些功能都可应用于上一章所述的挑战。

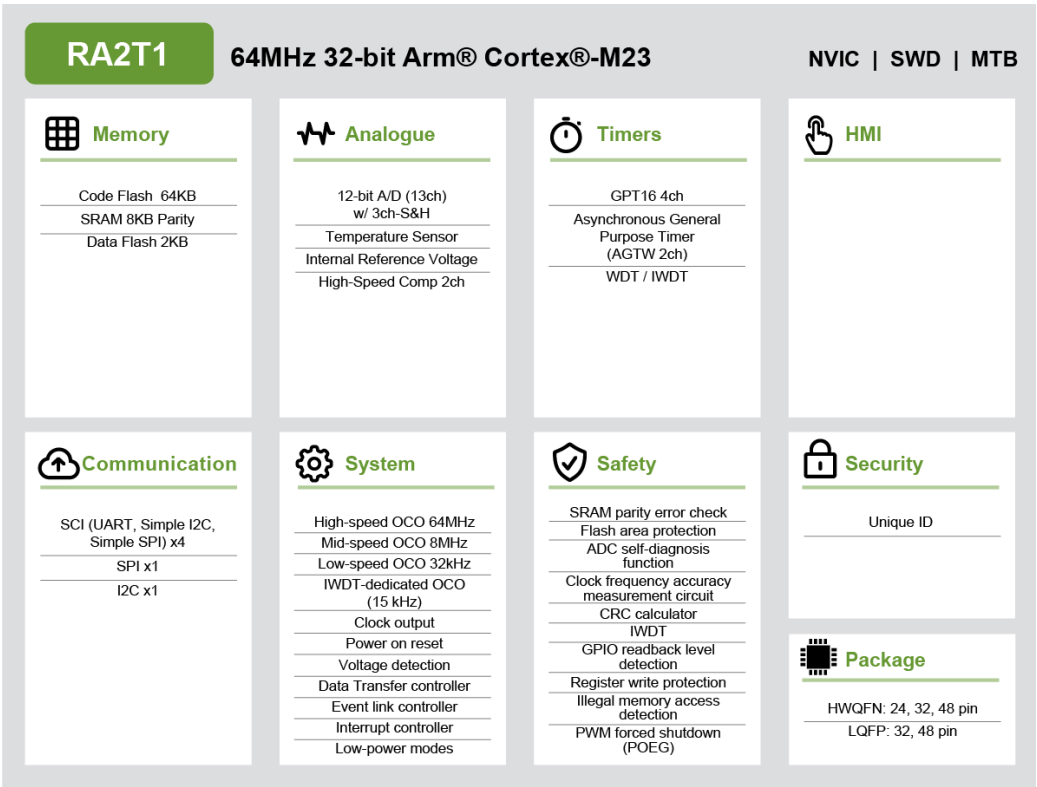


图 4: RA2T1 功能框图

RA2T1 提供多种封装，最小可提供 24 引脚 QFN 封装。它还支持 -40°C ~ 125°C 的宽工作温度范围。这使它们非常适合具有高热环境、空间受限的应用以及低 BOM 要求的产品设计。

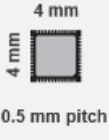
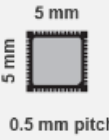
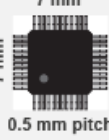
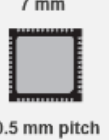
Code Flash/ RAM / Data Flash	Operating Temperature (Ta)	24-pin	32-pin		48-pin	
64KB / 8KB / 2KB	-40 to +105°C	RA2T1	RA2T1	RA2T1	RA2T1	RA2T1
	-40 to +125°C	RA2T1	RA2T1	RA2T1	RA2T1	RA2T1
Pin Count Package Size Pitch		24pin HWQFN 4x4mm 0.5mm	32pin LQFP 7x7mm 0.8mm	32pin HWQFN 5x5mm 0.5mm	48pin LFQFP 7x7mm 0.5mm	48pin HWQFN 7x7mm 0.5mm
Package view		 0.5 mm pitch	 0.8 mm pitch	 0.5 mm pitch	 0.5 mm pitch	 0.5 mm pitch

图 5: RA2T1 封装阵容

它还使用电机控制应用中需求量很大的 5V 电源，以确保模拟输入的抗噪性和动态范围。因此，可以在利用传统的 5V 电源系统资产的同时实现更高的控制精度。

电机控制开发环境

RA2T1 提供多种开发环境，可快速实现电机控制开发。上一章介绍的两个应用程序可以使用 RA2T1 进行开发和评估。此外，使用开发支持工具有助于减少开发工时。

电机控制套件 MCK-RA2T1

作为 RA2T1 电机控制的评估套件，MCK-RA2T1 包含搭载 RA2T1 的 CPU 板，与之连接的逆变器板以及 BLDC 电机。通过预先集成的所有功能，用户开箱即可实现电机的运转。



图 6: MCK-RA2T1 套件外观

套件中的逆变器板可在 1 分流电阻和 2/3 分流电阻电流检测之间轻松切换，从而根据应用轻松评估各种电机控制应用，例如霍尔传感器/无传感器 120 度导通控制和无传感器矢量控制。

电机控制应用说明和示例程序

RA2T1 为各种电机控制提供应用说明和示例代码。为控制算法量身定制的文档可以从网站下载。

应用说明: 它总结了软件的控制内容，例如永磁同步电机的无传感器矢量控制。此外，还介绍了如何使用电机控制开发支持工具“Renesas Motor Workbench”。它详细描述了功能和控制流程，对于用户开发和评估非常有用。

示例程序: 每个应用说明都包含可下载到 MCU 的示例代码。这些示例是专为 RA2T1 评估板 MCK-RA2T1 设计的驱动程序库，包括控制算法、系统控制、PWM 控制和 A/D 转换。

目前，以下应用程序可用于单电机控制，我们计划在未来发布更多有助于用户开发的内容。

在永磁同步电机无传感器矢量控制的示例程序中，实现了使用上一章“电动工具应用的挑战和 RA2T1 MCU 的应用”中介绍的 GPT 定时器和 AD 转换启动触发器的联动功能进行单分流电阻电流检测和“风扇应用的挑战和 RA2T1 MCU 的应用”中介绍的 3 分流电阻电流检测的无传感器矢量控制。

此外，针对不带 FPU（浮点单元）的 ARM Cortex-M23 内核，还提供基于定点数运算的示例程序，并采用缩放参数，有助于定点数运算的开发。请在评估 RA2T1 和考虑应用程序开发时加以参考与利用。

瑞萨电机工作台 (Renesas Motor Workbench)

Renesas Motor Workbench (RMW) 是一款用于电机控制的调试工具。在其 Analyzer 功能中，可实现对 MCU 内部变量的实时读写以及波形等操作。MCU 调试一般通过使用调试器（如 J-Link）和 IDE 环境（如 E2Studio）来进行。然而，这类使用调试器进行调试的方式在目标板和 PC 之间通常没有电气隔离。由于逆变器电路的直流电压或交流输入可能超出微控制器的输入电压范围，因此通过调试器连接时 USB 和评估环境的 GND 共用而导致噪声干扰，也存在在初期评估阶段因非预期操作而损坏等风险。此外，如果使用调试器执行中断等操作时，CPU 可能会停止运行，这可能会导致 GPT 定时器的死区时间生成失效，因此可能会因非预期的 PWM 输出而损坏逆变器。对于此类问题，通过使用 RMW 专用通信板（MC-COM）可实现逆变器和 PC 之间的电气隔离，即可在 CPU 运行状态下时进行评估，从而防止非预期动作并安全地进行评估。该工具可以从瑞萨官网下载。

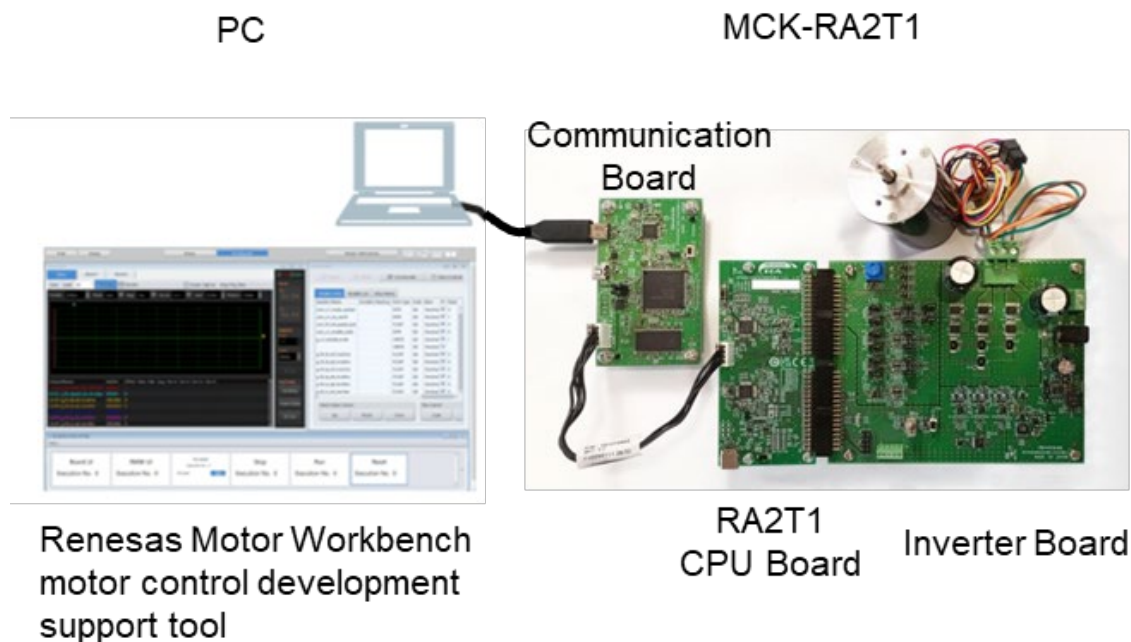


图 7：将 Renesas Motor Workbench 连接到 MCK-RA2T1 的示例

QE for Motor 工具

QE for Motor 是一种开发支持工具，只需遵循工作流程，即可使用瑞萨的电机解决方案轻松进行开发。它是综合开发环境 e2 studio 的免费扩展功能，可以从官网下载。QE for Motor 还与 Renesas Motor Workbench 联动，自动化了 Renesas Motor Workbench 所需的各项设置，因此只需点击 GUI 上的按钮，即可使用这些功能。

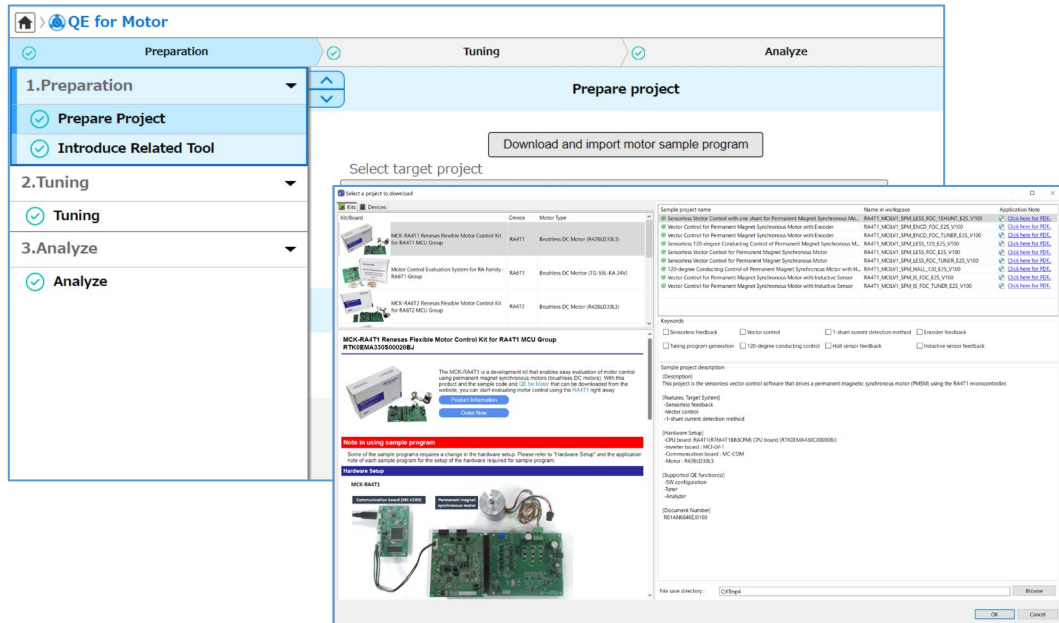


图 8: 电机 QE 示例

总结

本文重点介绍基于无传感器矢量控制的单分流电阻电流检测和 **A/D** 转换启动触发器的 **GPT** 定时器的联动功能，以及对 **2/3** 分流电阻电流检测有效的 **A/D** 转换器的采样保持功能的配置。**RA2T1** 除了搭载针对单电机控制而优化的功能，还具备支持 **125°C** 工作温度、**24** 引脚 **QFN** 封装和 **5V** 工作电压等特点，非常适合小型、低成本电机控制应用。此外，因提供对定点数运算和开发支持工具的支持，即使在不具备 **FPU** 的 **Cortex-M23** 内核环境下也能实现高效开发。

这些功能不仅限于电动工具和风扇电机，还可用于广泛的电机控制应用。特别是近年来，电机控制系统在追求性能的同时，对小型化和低成本的需求日益增长。因此，欢迎在本文中介绍的方法应用于今后的产品开发。

更多信息

RA2T1 : 64MHz Arm Cortex-M23 电机控制微控制器

MCK-RA2T1：用于 RA2T1 MCU 的 Renesas 灵活电机控制套件

Renesas Motor Workbench：电机控制开发支持工具

QE for Motor : 电机开发支持工具

构建市场所需的高性能、小型化电动工具和风扇电机应用程序

瑞萨电子株式会社及其子公司（以下简称“瑞萨电子”）提供技术规格和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用程序或其他设计建议、WEB 工具、安全信息和其他资源“按原样”和所有缺陷，并否认所有明示或暗示的保证，包括：但不限于，对适销性、特定用途适用性或不侵犯第三方知识产权的任何默示保证。

这些资源适用于擅长使用 **Renesas** 产品进行专业设计的开发人员。您全权负责（1）为您的应用选择合适的产品，（2）设计、验证和测试您的应用，以及（3）确保您的应用满足适用标准，以及任何其他安全、安保或其他要求。这些资源如有更改，恕不另行通知。**Renesas** 授予您将这些资源仅用于开发使用 **Renesas** 产品的应用程序的权限。严禁以其他方式复制或使用这些资源。未向任何其他 **Renesas** 知识产权或任何第三方知识产权授予许可。瑞萨电子不对因使用这些内容而引起的任何索赔、损害、成本、损失或责任承担责任，并且您应全额赔偿瑞萨电子及其代表资源。瑞萨电子的产品仅根据瑞萨电子的销售条款和条件或书面同意的其他适用条款提供。使用任何 **Renesas** 资源不会扩展或以其他方式更改这些产品的任何适用保修或保修免责声明。

（修订版 1.0 2020 年 3 月）

公司总部

135-0061, 日本东京江东区
豊洲 3-2-24, TOYOSU FORESIA
<https://www.renesas.com>

联系信息

有关产品、技术、文档的最新版本或离您最近的销售办事处的更多信息，请访问：
<https://www.renesas.com/contact-us>

商标

瑞萨电子的名称和徽标是瑞萨电子公司的商标。
所有商标和注册商标均为其各自合法所有者的财产。

© 2024 瑞萨电子株式会社。保留所有权利。
记账凭证编号： R01WP0030CC0100