

基于 DRV8234 的直流有刷水泵驱动和流量计一体化方案

Stanley Xu/Jenson Fang

Sales and Marketing/South China

摘要

现代家电产品中，直流有刷电机（Brushed DC motor）和流量计的组合广泛应用于多种场景，如饮水机、扫地机器人、咖啡机等。这些应用通常需要精确控制水泵的流量，以实现定量加水、出水或加清洁液等功能。然而，传统的解决方案通常需要独立的流量计模块，这不仅增加成本、占用了宝贵的空间（尤其是在空间受限的家电中，如：扫地机器人）。

DRV8234 是一款高性能的直流有刷电机驱动器，集成了纹波计数功能，能够通过输出脉冲来精确计算电机的旋转角度和圈数。本文将探讨如何利用 DRV8234 的纹波计数功能，实现水泵电机驱动与流量计一体化解决方案，降低系统成本、节省线缆并减小整体方案体积。

内容

| | |
|---------------------------------------|---|
| 1. 引言 | 2 |
| 2. 直流有刷水泵和流量计在家电中的应用场景 | 2 |
| 3. DRV8234 实现水泵电机驱动+流量检测单芯片解决方案 | 3 |
| 3.1. DRV8234 方案介绍 | 3 |
| 3.2. DRV8234 纹波计数与流量计量的工作原理 | 4 |
| 3.3. RV8234 与传统水泵驱动+流量计方案对比 | 6 |
| 4. 流量计量准确度测试 | 6 |
| 4.1. 测试一：单电机脉冲数与出水量测试 | 7 |
| 4.2. 测试二：不同电机在不同供电情况下脉冲数与出水量测试 | 8 |
| 5. 结论 | 9 |
| 6. 参考文献 | 9 |

1. 引言

现代家电产品中，直流有刷电机（BDC）和流量计的组合广泛应用于多种场景，如饮水机、扫地机器人、咖啡机等。这些应用通常需要对水泵流量进行比较精确的控制，以实现定量加水、出水或加清洁液等功能。然而，传统的解决方案通常需要独立的流量计模块，这不仅增加了成本，还占用了宝贵的空间，尤其是在空间受限的设备如扫地机器人中。DRV8234 是一款高性能的直流有刷电机驱动器，集成了纹波计数功能，能够通过输出脉冲来精确计算电机的旋转角度和圈数，可以作为一体化直流有刷水泵驱动+流量计量高效解决方案

2. 直流有刷水泵和流量计在家电中的应用场景

- 饮水机和净水器：直流有刷电机驱动水泵，流量计用于检测出水量，以实现给水杯定量加水的功能。
- 扫地机器人：内直流有刷电机驱动水泵，流量计用于实现定量出水、加清洁液。
- 咖啡机：直流有刷电机驱动水泵，流量计用于精确控制咖啡的冲泡量。
- 洗碗机：直流有刷电机驱动水泵，流量计用于精确控制洗涤过程中的出水量。

图 1 展示了一个电动饮水机抽水功能的典型系统框图：

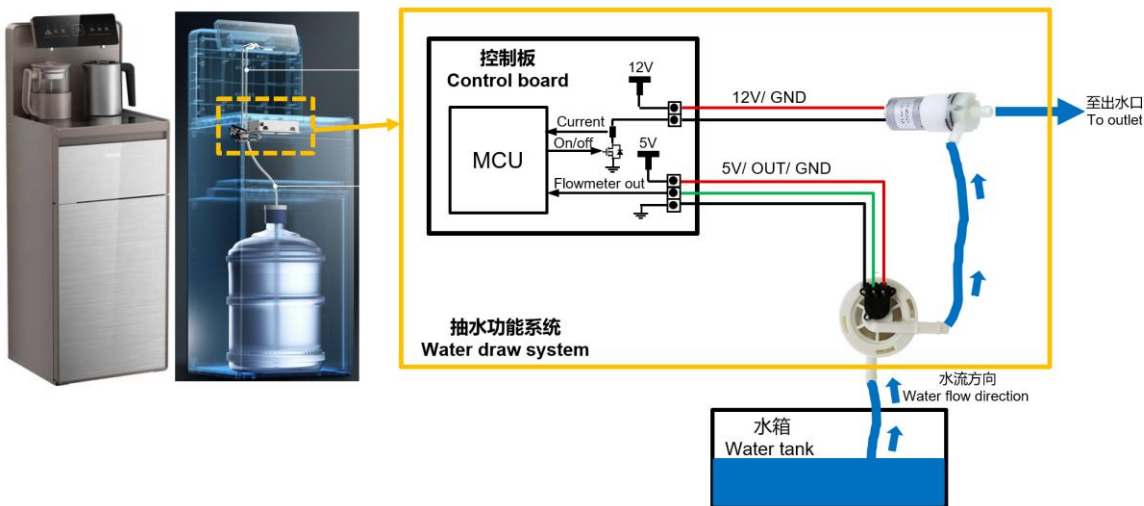


图 1

受限于成本，家电中的水泵通常采用低成本的 DC 12V 供电的直流有刷电机，负载电流通常小于 1A。流量计主要有光电流量计和霍尔流量计两种，霍尔流量计的工作原理如图 2 所示，把带有两极磁铁的叶轮置于垂直于磁场中，通过叶轮转动产生的 GS 值转换成脉冲信号输出。内部含有铁氧体磁铁，精度稳定，可靠。每当叶轮转动一圈时，都会产生一个脉冲信号。这些脉冲信号的频率与流量成正比，因此可以通过计数脉冲来计算出流体的流量。光电流量计则采用光学原理进行流量检测。其原理与霍尔流量计类似，也是通过计算转轮的转动次数来间接测量水流量，其内置一对光电元件发射和接收光信号，当液体流过流量计时内置的叶轮随流体流动而旋转利用叶轮切割光通路产生的脉冲信号

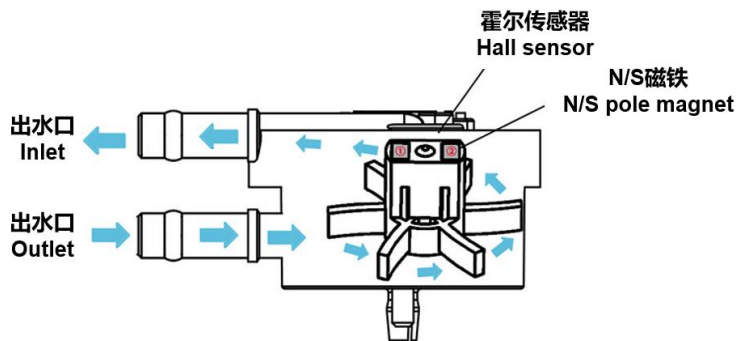
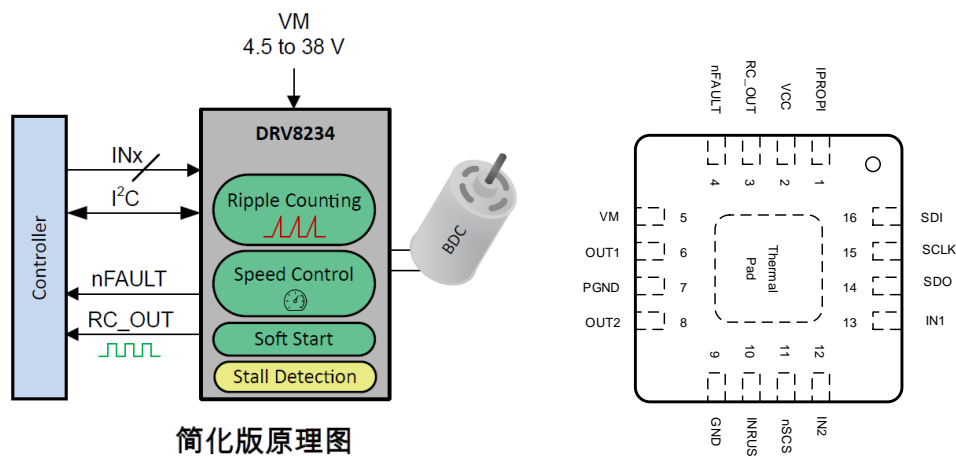


图 2

3. DRV8234 实现水泵电机驱动+流量检测单芯片解决方案

3.1. DRV8234 方案介绍



简化版原理图

图 3

DRV8234 是一款高性能的集成 H 桥直流有刷电机驱动器，支持 4.5V 至 38V 供电范围，能够持续驱动高达 4A 峰值电流或 2A RMS 电流负载，如图 3 所示 IN1、IN1 为电机 PWM 信号接口，I2C 接口用于读写寄存器参数，nFAULT 提供故障信号报错（比如过流、过温、欠压）。除了电流检测输出 (IPROPI)、电流调节(current regulation)、失速检测(stall detection)等核心功能外，它具备以下特色功能：

纹波计数：自动识别电机电流纹波并在 RC_OUT 引脚输出脉冲指示，实现无传感器电机转子位置检测，具体原理介绍参考 3.1.2 章节。

转速调节：内置速度环，在内部寄存器中设定电机转速，内部速度闭环会让电机工作在恒定的转速，内部算法功能框图如下图 4 所示。在输入电压不稳定或者会随时间变化（如电池供电）的场景中电机转速会随电压的变化而变化，DRV8234 通过纹波计数功能实时检测转子位置/转速信息并与设定的参考速度值做对比得到误差值，误差值送入 PI 环节处理后生成当前时刻的 PWM 驱动信号占空比，从而调节电机电压以及转速。用户只需设置一次所需的速度，剩下的由 DRV8234 来处理，最大化降低软件开发成本和节省 MCU 资源。

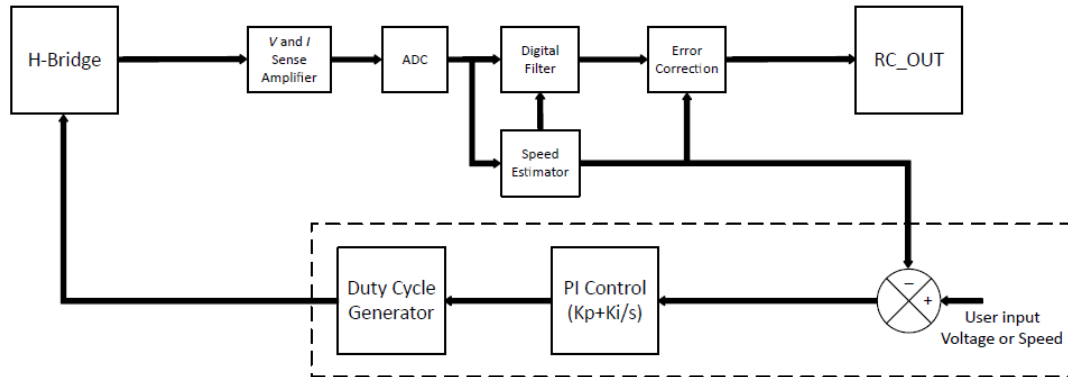


图 4

得益于纹波计数和转速调节等功能，本质上 DRV8234 可以帮助系统节省一个位置检测的部件。如在图 5 所示的扫地机器人轮子驱动场景，BDC 驱动芯片负责驱动电机，霍尔编码器用于输出轮子角度位置信号，轮子驱动模块的 6 根输出线分别是：蓝（编码器供电 3.3V/5V）、绿（GND），白（编码器 B 相输出），黄（编码器 A 相输出），黑（电机 DC+），红（电机 DC-）。而在应用 DRV8234 的场景中，电路板仅需通过 DC+和 DC+两根线缆连接到电机即可完成轮子驱动+位置角度检测的组合功能，总体可以节省：霍尔编码器模块×1、线缆及其接插端子×4，带来系统成本和空间节省。

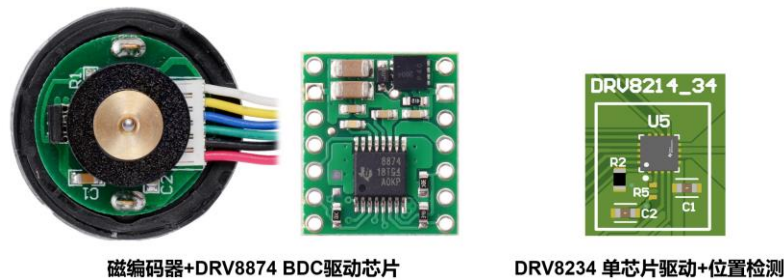


图 5

3.2. DRV8234 纹波计数与流量计量的工作原理

纹波计数的本质是检测 BDC 电机电枢绕组换向期间产生的电流纹波。由于 BDC 的换向是通过碳刷进行的，在换向过程中 BDC 电机绕组中电流需要续流并且通过碳刷切换到下一个磁场方向，以确保电机在运行期间保持在同一方向。换向器使用的接触刷会导致电机绕组中出现瞬时短路，这些短路在观察到的电机电流波形中表现为纹波，如图 6 所示。每次换向对应一个纹波。因此，电机的换向次数与电流的纹波是一一对应的关系。

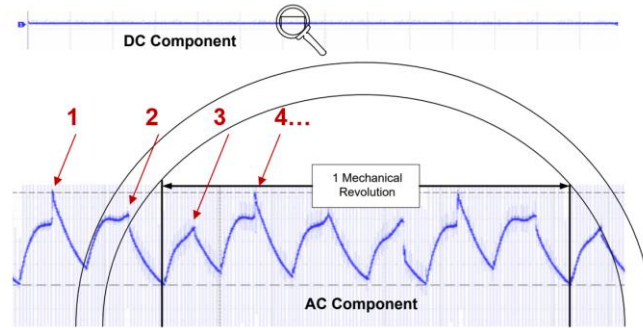


图 6

在实际应用过程中，换向时电流波形会叠加很多高频噪声，其通常由电机绕组感性负载产生的 du/dt 引起，这会导致电流纹波波形失真。DRV8234 内置了数字滤波器用于过滤掉电流信号中这种不必要的噪声，只针对有效电流纹波进行计数，最后通过 DRV8234 中的 RC_OUT 引脚输出脉冲信号来指示电流纹波。

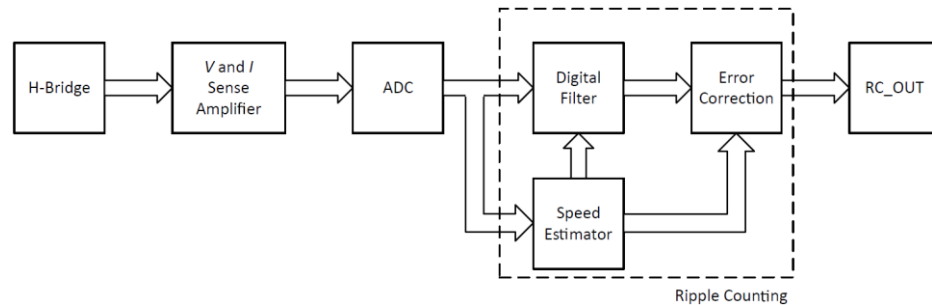


图 7

在水泵工作过程中，叶轮每旋转一周的排水量是一个固定值，驱动叶轮的直流无刷电机每转一圈会输出固定数量的纹波，对于不同的电机，换向次数对应的纹波是不一样的。通过有刷电机的碳刷数量和换向器数量可以确定电机机械周期转动一圈产生多少纹波。如图 8 所示如果有刷电机有 2 个碳刷和 3 个换向器，只需要取碳刷和换向器的最小公倍数，可以得到电机转动一圈输出的电流会有 6 个纹波，如下图所示，由于三个换向器是等距分布的，因此 6 个纹波之间对应转子转过的机械角度也是相等的，因此我们可以得出排水量正比与电流纹波数的结论：

$$Q = K \times N$$

Q: 水流量, N: 纹波个数, K: 固定系数, 由叶轮尺寸等机械结构决定。

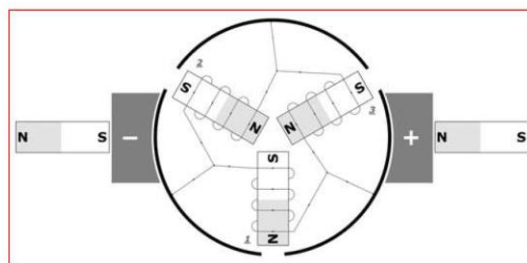


图 8

3.3. RV8234 与传统水泵驱动+流量计方案对比

图 9 展示了传统方案采用 MOSFET 作为低边开关来控制水泵启停，MCU 接收来自流量计模块的脉冲信号。在 DRV8234 方案中不需要流量计模块以及相应的线缆、接线端子。表 1 为详细的方案对比。

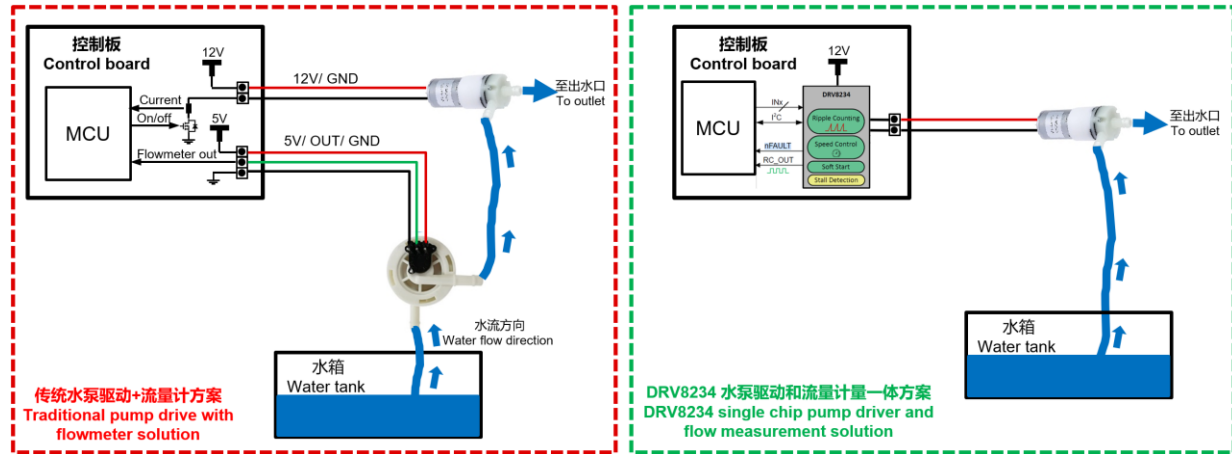


图 9

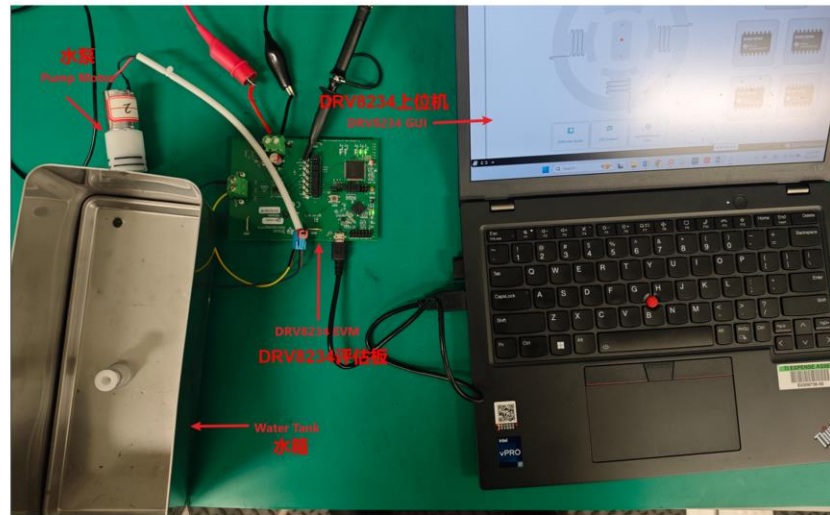
表格 1

| 对比项 | DRV8234 单芯片方案 | 传统水泵驱动方案 |
|--------|----------------------------------|------------------------------|
| 集成度 | 高集成度，电机驱动与流量计功能集成在单芯片中 | 低集成度，需要独立的流量计模块和 MOSFET 驱动电路 |
| 系统成本 | 较低，仅单芯片 | 高，需要独立的流量计模块，带来额外的线缆和接线端子成本 |
| PCB 空间 | 较小，3mm*3mm WQFN 封装，节省接线端子占用的面积 | 较大 |
| 电机驱动性能 | 集成 H 桥驱动，支持正反转、制动和滑行模式 | 仅支持低侧 MOSFET 控制，功能有限 |
| 可靠性 | 集成过流保护、过热保护、欠压锁定、堵转等保护功能；无水路堵塞风险 | 需要额外电路实现保护功能；流量计串联在水路中有堵塞风险 |

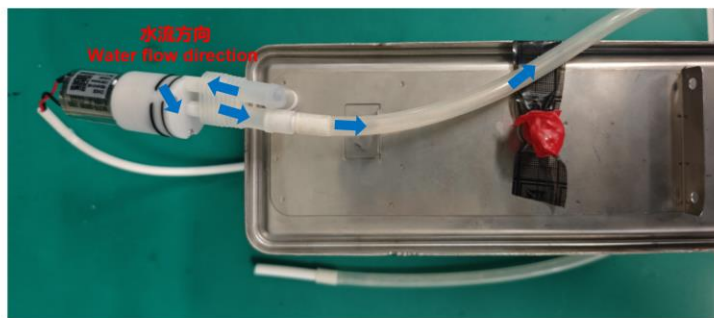
4. 流量计准确度测试

为测试 DRV8234 流量测量准确度，将 DRV8234 评估板（DRV8234EVM）连接到水泵，同时用 MCU 对 DRV8234 的脉冲输出进行计数，用电子秤对这段时间的出水量进行称重，水泵流量单位为 ml，参考标准水密度换算为：1ml=1g，绘制脉冲数（单位：个）和出水量（单位：g）的关系图。

测试环境配置如图 11 所示：



顶视图Top view



底部视图Bottom view

图 10

4.1. 测试一：单电机脉冲数与出水量测试

使用 1 号水泵，DC 24V 供电，通电不同时间，测量得到多个脉冲数和出水量数据点，绘制关系图如图 13 所示。实测的电机电流（绿色）和 RC_OUT 输出脉冲波形图如图 12 所示，可见每次碳刷换产生电流波动后均有一个脉冲输出指示。

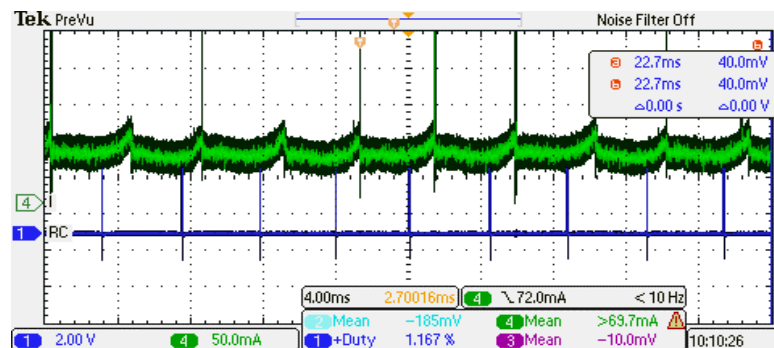


图 11

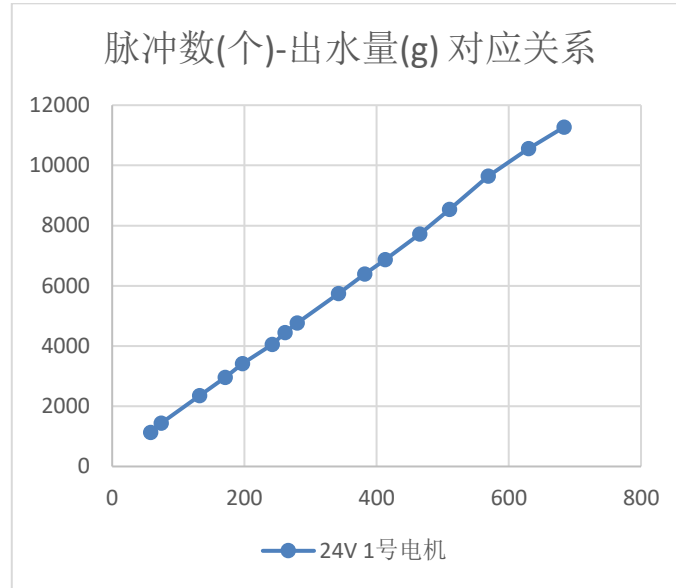


图 12

4.2. 测试二：不同电机在不同供电情况下脉冲数与出水量测试

测试不同电机在不同工作电压下的 6 种场景（1 号水泵，24V、9V、12V 三种供电场景，2 号水泵，24V、9V、12V 三种供电场景），测得脉冲数与出水量的关系如图所示，可见在不同供电和电机个体情况下所测得的数据线性度很高，出水量和脉冲数两个参数的对应关系基本不受供电电压、电机个体的影响。

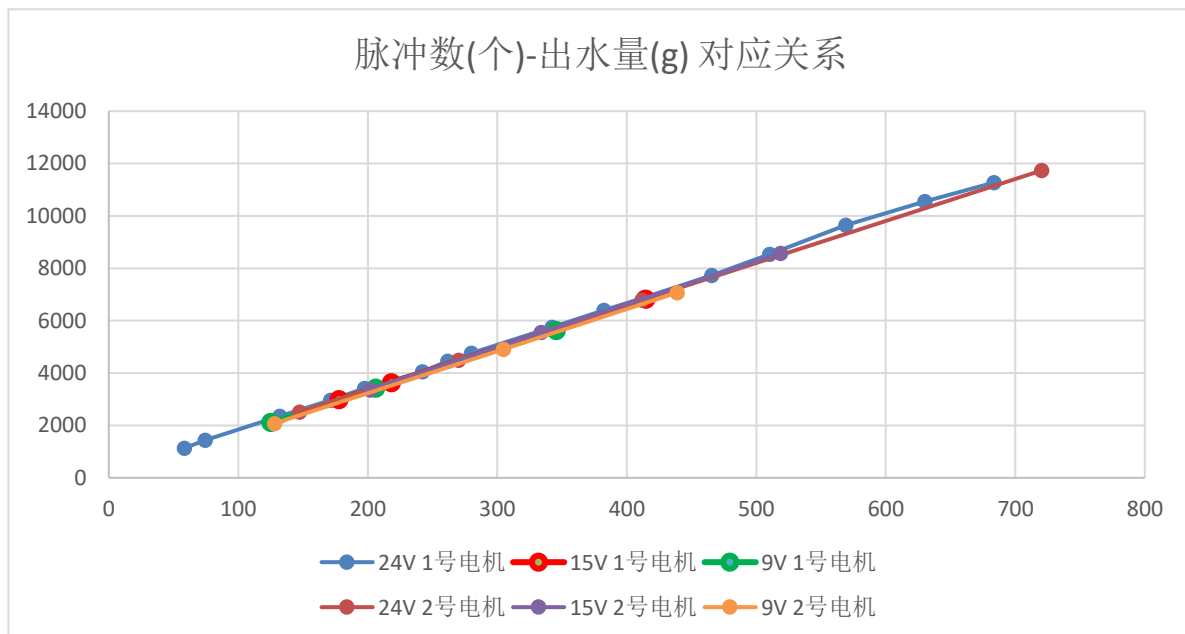


图 13

综上所述，可以对所有测试数据点进行拟合来得到一个脉冲数和出水量的最终线性关系，由理论分析可得，该曲线需要经过零点，最终的线性拟合结果如图所示，关系式为： $Q(\text{出水量})=0.0602 \times N(\text{脉冲数})$ ，决定系数值为 0.9986，说明该拟合关系可以解释 99% 的测试数据。

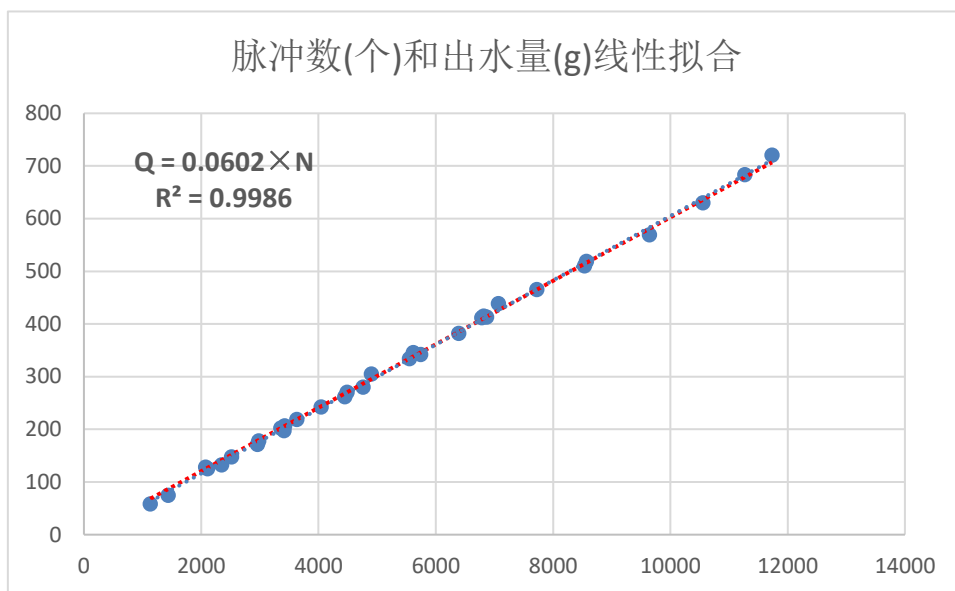


图 14

5. 结论

DRV8234 提供了一体化直流有刷水泵驱动+流量计量高效解决方案，显著降低了系统成本和复杂性，同时节省了空间。这一方案特别适用于空间受限且成本敏感的家电产品，如饮水机、扫地机器人和咖啡机等。

实测证明 DRV8234 在不同水泵个体和不同供电电压下均能保持精确的脉冲计数和水量计量能力，通过拟合测试数据得到了文中所用水泵 $Q(\text{出水量})=0.0602 \times N(\text{脉冲数})$ 的线性关系，利用该公式可以实现出水量的精确计量。

6. 参考文献

- [《DRV8234 数据手册》](#)
- [《使用纹波计数算法解决无传感器有刷直流电机转速和位置控制问题》](#)
- [《有刷直流电机的无传感器位置控制》](#)

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月