应用指南

ANC202611001

基于超低功耗 DC/DC 转换器 SGM6040 的静态电流测量方法

作者：邹军

通信作者：成红玉

校阅：刘力军 吴建平

圣邦微电子（北京）股份有限公司

2026 年 11 月 3 日

商标

SGMICRO 是圣邦微电子（北京）股份有限公司的商标。本文档中的所有商标均为其各自所有者的财产。

© 2026 圣邦微电子（北京）股份有限公司 版权所有。
未经 SGMICRO 事先书面许可，任何单位或个人不得摘抄、复制或改编本文档的部分或全部内容。
欲了解更多关于 SGMICRO 的信息，请访问网站 www.sg-micro.com。

摘要

在物联网、可穿戴设备等长续航应用场景下，超低功耗 DC/DC 转换器的输入电流呈现长时间纳安级待机、短时毫安级脉冲的特征，传统电流表直测法受量程切换死区与分辨率限制而难以适用。本文分析常规方法的固有局限，提出一种简化测试方案，并借助积分型万用表的平均特性获取输入平均电流。以一款 60nA 静态电流的同步降压转换器 SGM6040 为例，对基准方案与简化方案进行了对比验证。该方法设备门槛低、易于复现，可为超低功耗电源芯片的静态电流验证提供参考。

目录

1 引言 2
2 常规静态电流测试方法及其在超低功耗芯片下的局限性 2
2.1 常规静态电流测试方法 2
2.2 SGM6040 的输入电流特性 3
2.3 常规测试方法在超低功耗芯片下的局限性 3
3 基于超低功耗芯片脉冲式输入电流的准确测量方法 4
3.1 测试方案设计 4
3.1.1 脉冲式静态电流的准确测试 4
3.1.2 简化测试方案 5
3.2 基于 SGM6040 的静态电流测试步骤 6
3.2.1 采样电阻阻值的选取 6
3.2.2 静态电流测试步骤 7
3.2.3 不同测试方法对比 8
4 常见测试误差 9
4.1 测量次数不足引入的误差 9
4.2 额外测试设备引入的误差 9
5 结语 10
6 参考文献 10

1 引言

随着物联网、可穿戴设备、智能传感器以及能量采集技术的飞速发展，电子产品的设计理念正经历深刻变革：不再单纯追求高性能，而是根据应用场景，实现性能与续航的按需协同。在这类应用中，系统大部分时间处于深度休眠状态，仅在需要进行数据交互时被短暂唤醒。例如，环境传感器可能每小时采集一次数据，每次仅工作 10 毫秒，其余时间均处于休眠。这种工作模式决定了负载电流的典型特征：长时间（秒级至小时级）的纳安级待机电流，叠加短时（微秒级至毫秒级）的毫安级脉冲电流。在这种电流特征下，电源管理芯片自身的功耗，特别是静态电流（Quiescent Current，I_Q），直接决定了电池的续航时间。

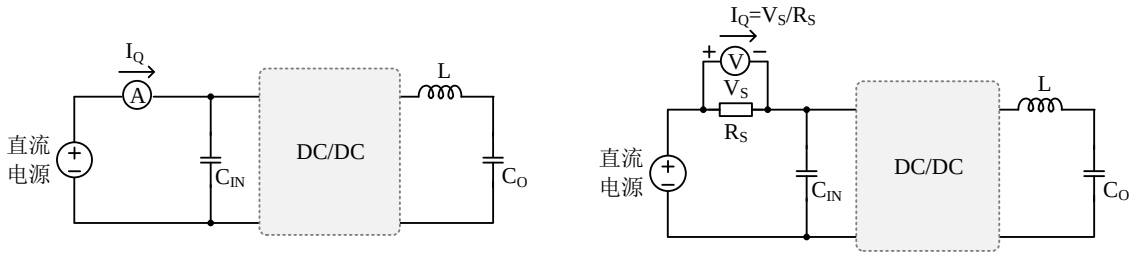
上述应用场景对电源管理芯片提出了严苛的要求，推动静态电流不断降低，目前已进入纳安级范围。准确测量超低功耗芯片的 I_Q 至关重要，主要体现在两个方面：①保障电池续航时间预估的准确性。I_Q 测量值若偏大，将导致设计冗余（如过度增大电池容量），徒增产品体积与成本；若偏小，则可能引发实际续航远低于标称值的严重质量问题，甚至导致产品召回。②支撑芯片性能的精准验证与优化迭代。在复杂的芯片架构中，每一部分的耗电影响都不容忽视，只有基于准确的 I_Q 测试数据，才能构建可靠的功耗建模，指导产品迭代升级。

当待机电流降至纳安级别、脉冲电流达到毫安级别，电流信号的动态范围高达 10^6 倍，对测试设备和方法提出了新的挑战。传统测试手段（如直接串联电流表）已无法满足纳安级 I_Q 测量需求，而高精密仪器又因成本过高而难以普及。针对这一问题，本文提供了一套原理通俗易懂、便于复现的工程测试方法，旨在帮助电源设计工程师与测试人员验证超低功耗 DC/DC 转换器的性能，为产品的长续航设计提供坚实的数据支撑。

2 常规静态电流测试方法及其在超低功耗芯片下的局限性

2.1 常规静态电流测试方法

在常规电源芯片测试中，静态电流 I_Q 的获取主要有两种方法：直接测量法与间接测量法，如图 1 所示。



(a) 直接测量：串接电流表　　(b) 间接测量：串接采样电阻

图 1 DC/DC 转换器的 I_Q 测量方法

- **直接测量法：**将数字万用表调至直流电流档位，直接串联在 DC/DC 转换器的输入回路中，读取电流值以获得 I_Q。该方法简单直观，需根据电流大小手动或自动切换电流万用表量程。

- **间接测试法：**在输入回路串接毫欧级精密采样电阻，利用万用表电压档测量电阻两端压降，再依据欧姆定律换算电流。该方法需额外计算，并需合理选取电阻值。

上述两种方法在测试连续或缓慢变化的毫安级电流时均可获得可信结果，然而当测试超低功耗芯片的 I_Q 时，二者均暴露出固有局限性。

2.2 SGM6040 的输入电流特性

SGM6040[1]是圣邦微电子推出的一款超低静态电流同步降压转换器，其核心参数如表 1 所示。

表 1 SGM6040 核心参数

参数	数值
输入电压	1.8V~5.5V
输出电压	0.8V~3.4V
输出电流能力	750mA
空载静态电流（V_O=1.8V）	60nA
1μA 负载下效率（V_O=1.8V）	≥80%

SGM6040 采用恒定导通时间控制架构，支持省电模式（Power Save Mode，PSM）。在空载或极轻载条件下，芯片工作于 PSM 模式，仅在输出电压下降至设定阈值以下时执行一次开关动作，此时电感电流峰值约 300mA；其余时间芯片处于深度休眠状态，仅维持极低的静态功耗，该状态下的静态电流约 40nA。在空载条件下，芯片的开关间隔可达数秒甚至更长，且开关动作期间的输入电流远高于休眠期间。因此，输入电流呈现典型的脉冲式特征，一个完整脉冲周期内的平均输入电流典型值约为 60nA。理想 I_{IN} 波形如图 2 所示。

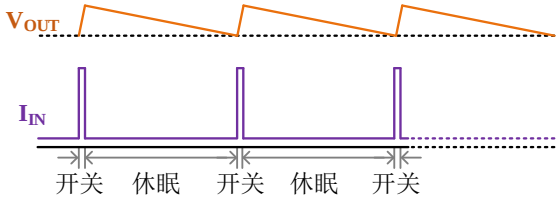


图 2 SGM6040 的理想 I_{IN} 波形

2.3 常规测试方法在超低功耗芯片下的局限性

上述超低功耗芯片（SGM6040）的工作模式实现了极低的静态功耗（60nA，典型值），但也使静态电流呈现复杂的脉冲形态，给 I_{IN} 测试带来了新的挑战。具体而言，SGM6040 在空载或极轻载下长时间休眠、偶发开关，若直接抓取瞬时电流，无法反应真实的平均功耗。若采用万用表电流档直接测量，其固有局限将导致测量结果严重失真。

以 Keysight 34461A[1][2]万用表为例，其电流档工作原理如图 3 所示。电流表串联接入电路后，电流在采样电阻 ri（阻值很小，约 0.1Ω～5Ω）上产生压降，该电压经过运算放大器和 ADC 转换后得到待测电流值。为兼顾宽动态范围和测量精度，厂家将电流量程划分为 100μA 到 3A 等多个档位。测量时，万用表需根据电流大小切换内部的分流电阻和放大倍数。当被测电流从 nA 级瞬间跳变到

[1] 本文提及具体型号仅用于说明测试参数与复现条件，相关分析针对的是该类万用表电流档在脉冲电流场景下的共性测量局限，并非对特定产品的性能评价。文中数据为特定测试条件下的实验结果，不同型号或配置可能有所差异。

mA 级时，需从高阻量程（如 100μA 档）切换到低阻量程（如 1mA 档），这一切换过程通常有上百毫秒的延迟。在这段切换死区内，万用表的测量结果严重失真。问题在于，SGM6040 的开关脉冲往往仅持续数微秒，恰好落在这段盲区中。结果便是：万用表既未测到真实的待机电流（因已切出 nA 量程），也未捕获到脉冲电流（因正处于切换状态），从而使测量结果无法真实反映芯片的输入电流特征。

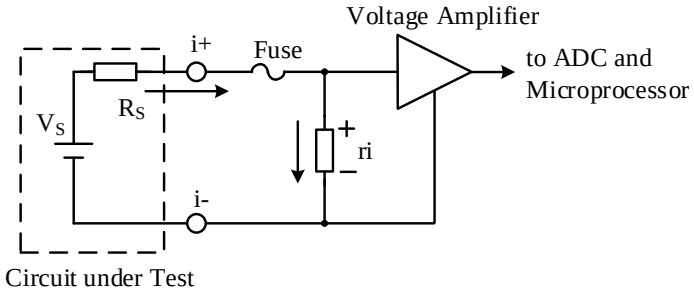


图 3 万用表电流档的测试原理[3]

此外，34461A 的最小电流档位为 100μA，在该档位下读数误差为 0.01μA、量程误差为 0.02μA，对于 nA 级待机电流而言，分辨率已接近极限。即便更高端的 Keysight 3458A[4]将最小量程扩展至 100nA，读数误差和量程误差可控制在 1nA 以内，但量程切换的物理死区依然存在，脉冲电流的捕获问题仍未解决。由此可见，直接串联电流表的方案无法满足超低功耗 DC/DC 变换器的测试需求。

3 基于超低功耗芯片脉冲式输入电流的准确测量方法

3.1 测试方案设计

本节给出两种测试方案。第一种是**基准方案**，通过分步测量获得较为准确的输入电流值，用作后续对比的参考依据；第二种是**简化方案**，操作便捷，适用于工程现场快速验证。

3.1.1 脉冲式静态电流的准确测试

超低功耗芯片的输入电流由休眠期间的直流分量与开关期间的脉冲分量叠加而成。为了获取真实平均电流作为参考基准，可采用如下分步测量方法。

1) **测量休眠期间的直流电流分量：**将芯片的输出电压通过外部源强制抬高（高于设定输出电压），使芯片停止开关动作，此时芯片仅处于休眠状态。用高精度电流表直接测量输入电流，即可得到休眠期间的直流分量 I_{IN_DC}。

2) **测量开关期间的脉冲电流分量：**开关期间的脉冲式输入电流很难直接测量，但可通过电感电流的波形特征与开关频率反推获得。以 Buck 变换器为例，假设芯片每次开关期间的电感电流形状基本一致，且相邻两次开关的间隔时间偏差较小，则可按以下步骤获取脉冲电流信息：

- 步骤一：用示波器观测芯片开关节点（SW）波形，记录每次开关动作时上管的导通时间 t_{ON}。
- 步骤二：在芯片输入端串一只较大的电阻（例如 5kΩ），用示波器观测电阻两端的电压波形，读取输入脉冲电流的周期 T_S（即相邻两次脉冲的间隔时间）。

开关期间的脉冲电流平均值 I_{IN_AC} 可通过下式计算：

$$I_{IN_AC} = \frac{1}{2T_S} \cdot \frac{V_{IN}-V_O}{L_S} \cdot t_{ON} \quad (1)$$

其中，V_{IN} 为输入电压，V_O 为输出电压，L_S 为电感值。

注意：输入电流周期 T_S 不能通过示波器测量 SW 波形直接读取，因为示波器探头的输入阻抗会引入额外负载，影响芯片的实际开关间隔，导致测得的周期偏离真实值。

3) **计算总输入电流：**总输入电流 I_{IN} 为上述两项电流之和。

$$I_{IN} = I_{IN_DC} + I_{IN_AC} \quad (2)$$

该方法虽然准确，但操作复杂，需配备示波器、高精度电流表等设备支持，并涉及波形分析，因此不便于工程现场快速验证。本文将其作为后续验证简化测试方法的基准。

3.1.2 简化测试方案

鉴于基准方案操作繁琐，不便于工程现场快速验证，本节提出一种基于 RC 滤波的简化测试方案，并借助积分型万用表测试得到输入静态电流。

该方案的核心思路是：在芯片输入端串联一只适当阻值的采样电阻 R_S，利用芯片自身的输入电容与 R_S 构成一阶 RC 低通滤波器，将输入电流中的脉冲分量滤除，使流过 R_S 的电流趋于平滑的直流波形，如图 4 所示。在此基础上，根据实验室设备条件，可选择以下两种实施路径。

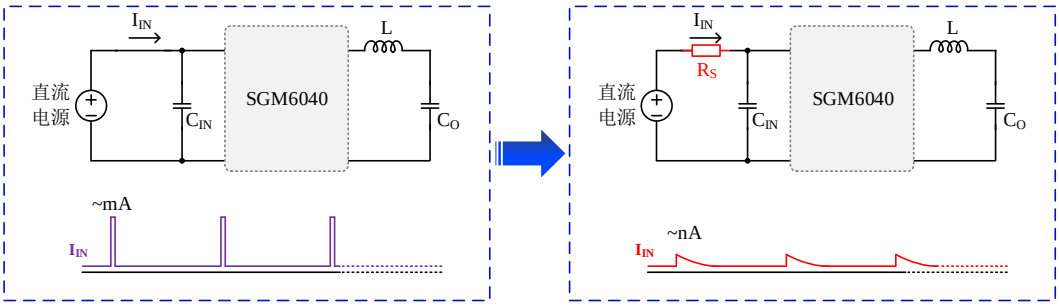


图 4 串入电阻后的输入电流变化

- **路径一：直接测量法（适用于配备高精度电流表的场景）**

滤波过后的电流波动极小，若直接用数字万用表电流档测试，不存在量程跳变的问题。因此可直接使用高精度万用表（如 Keysight 3458A，8 位半万用表）串联接入电路，测量平滑后的输入电流。该方法可获得较准确的平均电流值，操作简便，但设备成本较高。

- **路径二：间接测量法（适用于仅有高精度电压表的场景）**

若实验室仅有高精度电压表（如六位半及以上台式万用表）而缺少 nA 级电流表，可通过测量采样电阻两端压降、再依据欧姆定律换算电流。该方法需要解决两个关键问题：**量程是否会发生切换；积分时间是否足以覆盖脉冲周期**。下面分别予以分析。

图 5 为积分式台式万用表电压档工作原理示意图。其测量过程分为两个阶段：首先，在固定的积分时间 t_{up} 内，模拟开关将待测电压信号 V_{IN} 接入积分器，定时积分后输出一个与输入电压平均值成正比的电压 V_O；随后，模拟开关切换，将内部精密基准电压 V_{REF} 接入积分器，积分器开始反向积分，内部计数器同时计时，直至积分器输出恢复至零，记录下这段时间 t_{dn}。由电荷平衡原理，可得待测电压平均值 $V_{IN_AVG} = V_{REF} \times t_{dn} / t_{up}$。万用表内部微控制器通过测量出时间 t_{dn}，即可计算出待

测电压的平均值，最终通过模数转换输出用户读取的测量结果。积分型 ADC 这一“对积分时间内电压求平均”的特性，为准确测量脉冲式输入电流的平均值提供了原理支撑。基于这一特性，只需确保以下两个问题得到解决，即可利用电压档获得准确的 I_{IN}。

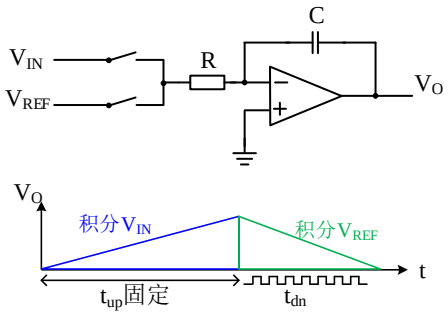


图 5 积分型电压表工作原理[5]

1) **量程切换问题。**市售万用表的电压档最小量程通常为 100mV，若直接测量采样电阻上的电压，脉冲电流形成的瞬态尖峰可能导致超量程，引发万用表自动切档甚至饱和。本方案中，采样电阻 R_S 与芯片输入电容构成一阶 RC 低通滤波器，可有效抑制瞬态交流尖峰，使采样电阻两端电压峰值被限制在固定量程范围内，从而避免量程切换。由于滤波不改变电压波形的积分面积，且积分型万用表测量的是积分时间内的平均电压，因此该方案能够在无需切档的前提下，准确获得与真实平均电流对应的电压值。

2) **积分时间问题。**台式万用表的积分时间通常以 PLC（Power Line Cycle）为单位表示，在我国工频 50Hz 条件下，1PLC = 20 ms。以 Keysight 34461A（6 位半）为例，其积分时间可设置为 0.02PLC 至 100PLC。由于超低功耗芯片的输入脉冲电流的间隔可达数秒甚至更长，单次测量可能无法完整覆盖一个脉冲周期，因此应选用万用表支持的最大 PLC 积分时间，并多次重复测量取平均值，以确保测量结果能够真实反映芯片的静态功耗。

综上，简化测试方案利用 RC 低通滤波配合积分型万用表的平均特性，能够在不依赖复杂设备的前提下，有效应对脉冲式输入电流的量程与积分时间两大挑战，获得准确的 I_{IN} 测量结果。基于该方案，下文将详细阐述基于 SGM6040 的具体测试步骤

3.2 基于 SGM6040 的静态电流测试步骤

3.2.1 采样电阻阻值的选取

采样电阻的选取需要在信号幅度与量程限制之间取得平衡。若阻值过小，输入电流较小时对应的压降过低，可能接近甚至低于万用表的分辨率极限，导致信噪比恶化；若阻值过大，输入电流较大时对应的压降可能超出万用表当前量程的满量程，触发量程切换甚至饱和。因此，理想的电阻值应使待测电流范围内的电压信号既足够大以保证测量精度，又不超出所选量程。

具体选择时需综合考虑两方面因素：其一，休眠期间电流在采样电阻上的压降需远大于万用表在最小量程下的测量误差，可通过查阅万用表精度指标确认，以获得可信读数；其二，脉冲电流期间采样电阻上的压降不能超过万用表量程。由于输入电容与采样电阻构成的低通滤波器对瞬态尖峰的抑制作用，实际开关期间采样电阻上的电压峰值会大幅降低，难以通过理论计算准确预估，可通

过示波器实际观测进行判断。

以 SGM6040 为例，依据上述两个判据选取 5kΩ 采样电阻。60nA 静态电流下，采样电阻压降为 300μV。以 Keysight 34461A 电压万用表为例，在 100mV 最小量程下测量 300μV 信号，误差数据如表 2 所示。数据表明，34461A 的量程误差（3μV）远小于被测信号本身（300μV），等效电流误差为 0.6nA（3μV/5kΩ）。对于 60nA 的真实 I_Q 而言，1%的误差在大多数工程验证场景下可以接受。同时，经示波器实际观测验证，开关过程中采样电阻两端电压未超过 100mV 量程。综上，所选 5kΩ 电阻既保证了休眠期间 nA 级电流的测量精度，又避免了脉冲电流可能导致的量程超限，实现了二者之间的合理平衡。

表 2 万用表的的精度规格

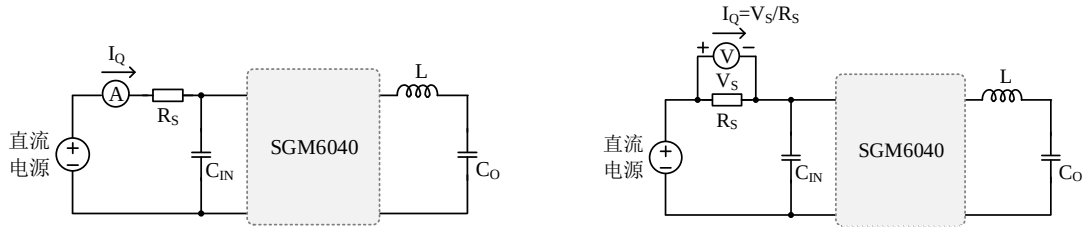
项目	34461A
精度规格	0.003%读数+0.003%量程
读数误差	300μV×0.003% = 9nV
量程误差	100mV×0.003% = 3μV
相对误差	1.0%

3.2.2 静态电流测试步骤

针对 SGM6040 的脉冲式静态电流特征，本节采用 RC 滤波的简化测试方案，测试 SGM6040 的静态电流。测试设备清单见表 3，接线方式如图 6 所示。

表 3 测试设备清单

设备	需求
直流电源	低噪声、高稳定性、输出电压可调
高精度数字万用表	路径一：Keysight 3458A 路径二：Keysight 34461A
精密采样电阻	5kΩ，0.1%精度，低温度系数



(a) 路径一：有高精度电流表　　(b) 路径二：无高精度电流表

图 6 静态电流测试接线图

(a) 路径一：直接测量法

(1) 在芯片输入端串联精密采样电阻 R_S（5kΩ）；

(2) 将高精度电流表（Keysight 3458A）设置为直流电流档，量程根据预估电流手动固定（如 100μA 档），避免自动量程切换带来的盲区问题，并将积分时间设置为最大值；

(3) 按手册要求对万用表进行充分预热，使内部电路达到热稳定状态；

(4) 将电流表直接串联于芯片输入回路中；

(5) 接通直流电源并使能芯片，待读数稳定后，连续记录多次电流读数，取算术平均值作为 I_Q。

(b) 路径二：间接测量法

(1) 在芯片输入端串联精密采样电阻 R_S（5kΩ）；

(2) 将高精度电压表（Keysight 34461A）设置为直流电压档，量程固定为 100mV；

(3) 按手册要求对万用表进行充分预热，并将积分时间设置为最大值；

(4) 将万用表输入阻抗设置为最高档（Hi-Z），避免额外电流路径；

(5) 将电压表并联在采样电阻 R_S 两端；

(6) 接通直流电源并使能芯片，待读数稳定后，连续记录多次电阻两端电压读数，取算术平均值，再依据欧姆定律计算静态电流 I_Q。

3.2.3 不同测试方法对比

为验证不同测试方案的有效性，采用上述方法对 SGM6040 的静态电流 I_Q 进行测试，测试条件为 V_{IN}=3.6V，V_O=1.8V。共设计四种测试方案：

方案一（基准方案）：使用 keysight 3458A 万用表测量休眠期间的直流分量，PLC 设置为 1000，并通过波形计算开关期间的脉冲分量，将两者相加作为理论真实值。

方案二（间接方案，路径一）：在输入回路串联 5kΩ 采样电阻，经 RC 滤波后，使用 keysight 3458A 万用表电流档直接测量平均输入电流，PLC 设置为 1000。

方案三（间接方案，路径二）：在输入回路串联 5kΩ 采样电阻，使用 keysight 34461A 万用表测量电阻两端电压，PLC 设置为 100，连续读取 100 次测量结果并取平均值。

方案四（低精度电流表直接测试）：将 Keysight 34461A 电流档直接串联于输入回路中测量输入电流，用以验证传统直接测量法在超低功耗芯片测试中的局限性（预期测量结果偏差较大，不可作为有效测量值）

静态电流 I_Q 的测试对比如表 4 所示。

表 4 不同测试方法的 I_Q 对比

测试方案	设备	方法	结果	总结
方案一	3458A	分步测量+计算	59.26nA	基准值
方案二	3458A	经 RC 滤波后电流档测得	59nA	验证可行（设备昂贵）
方案三	34461A	经 RC 滤波后电压档测得	60nA	验证可行（设备普及）
方案四	34461A	电流档直测（无滤波）	80nA	不可行（对照实验）

以方案一为基准，方案二和方案三的测量误差均小于 1%；而方案四测得 I_Q 偏大 20nA，相对误差超过 30%。结果表明：若具备高精度万用表（如 3458A），可直接测量平滑后的输入电流；若手头仅有 6 位半万用表（如 34461A），则通过测量采样电阻电压并取平均的方法，同样可获得准确结果。

综上所述，方案二、方案三的测试结果均与基准值高度吻合，验证了基于 RC 滤波的简化测试方案在工程精度要求内的有效性。方案二采用 3458A 直接测量，操作最为简便，但设备成本较高。方案三采用普及度更高的 34461A，设备获取门槛低，但需通过多次测量取平均来弥补积分时间较短带来的精度损失。在实际工程中，可根据实验室设备条件和精度要求灵活选用。方案四的结果明显偏离基准值，印证了 2.3 节的分析结论——无 RC 滤波时，万用表电流档直测会因量程切换盲区导致测量失真，该方案在实际测试中不可采用。

4 常见测试误差

4.1 测量次数不足引入的误差

对于超低功耗芯片，其脉冲式输入电流的间隔时间很长，因此除仪器精度外，积分时间同样影响测量结果的准确性。34461A 的最大积分时间为 100PLC（对应 2s）。对于 SGM6040 这类空载下开关周期长达数秒的芯片，34461A 的单次测量窗口（2s）可能无法完整覆盖一个完整的脉冲周期，导致部分测量窗口恰好错过脉冲或只捕获到部分脉冲能量。

针对此种问题，可通过增加测试次数并取平均的方法加以弥补。虽然单次 2s 的测量可能遗漏个别脉冲，但若连续测量 100 次，总采样时间达到 200s，足以覆盖上百个脉冲周期，统计平均结果能够真实反映长时间的平均电流。

采用本文所述方法，将 34461A 万用表设置为 100PLC 档位，对 SGM6040 的静态电流 I_Q 进行了测试，测试条件为 V_{IN}=3.6V，V_O=1.8V。连续读取万用表测量数据 100 次，并将测试结果绘制成曲线，如图 7 所示（横坐标为连续读取次数，纵坐标为 I_Q 的测试误差，在一块 demo 上共进行五次独立测试，获得五条曲线）。从图中可以看出，连续读取次数较少时，不同测试批次的结果较为分散；随着读取次数增加至 100 次，各次测试结果趋于一致。

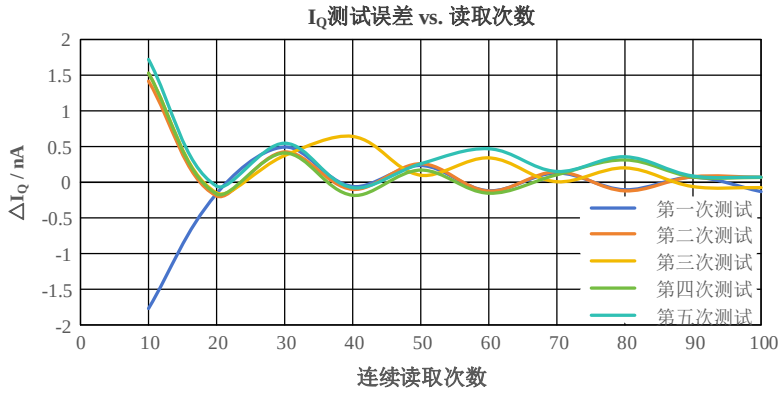


图 7 不同测量次数下 I_Q 的平均值

因此，对于最大 PLC 有限的万用表，增加测试次数并取平均，可有效弥补单次测量窗口不足的问题，降低超低功耗芯片测试对设备的依赖。

4.2 额外测试设备引入的误差

在超低功耗芯片测试中，工程师往往希望同时观察多个信号——用示波器查看开关节点波形，用电压表监测输入电压，甚至用电流探头验证电流波形。然而，对于静态电流仅 60nA 的 SGM6040 而言，这些额外接入的测试设备可能成为最大的误差源。

以无源探头为例，其探头尖端的输入阻抗通常在 10MΩ 量级，当连接至芯片引脚时，会形成一个从引脚到地的并联通路。对于 3.6V 的输入电压，10MΩ 阻抗意味着 360nA 的漏电流，已超过 SGM6040 自身静态电流的 6 倍。即使使用高阻抗有源探头，其输入偏置电流通常在 1nA 至 10nA 之间，与被测信号（60nA）处于同一量级，同样会对测量结果产生显著影响。

采用本文所述方法，测试了 SGM6040 在 V_{IN}=3.6V，V_O=1.8V，负载范围为 100nA 至 100μA 时

的转换效率。测试分别以三种方式进行：作为参考的标准配置、将输入电压万用表输入电阻设置为10MΩ 再并联接入至芯片输入端、在开关节点（SW）处接入示波器无源探头，测试结果如图 8 所示。可以看出，在极轻载条件下，额外接线设备导致效率显著降低。

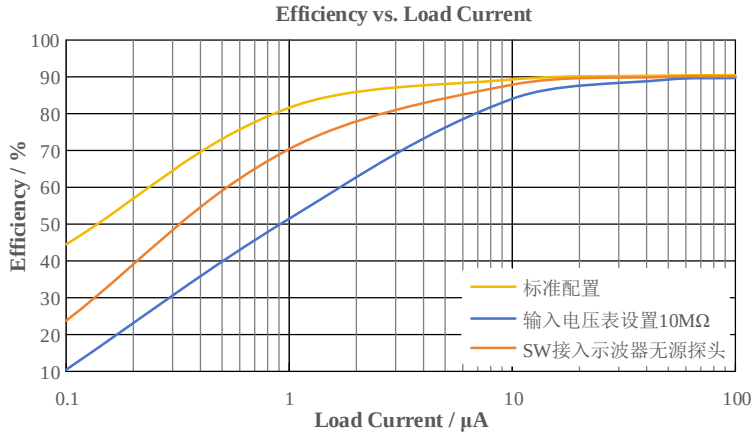


图 8 引入额外测试设备导致的效率差异

因此，在超低功耗芯片的 I_{IN} 测试中，应禁止额外测试设备的接入。若必须同时观测多个信号节点，建议在完成静态电流的准确测量后，再分步接入其他设备进行观察，以避免测试设备本身引入的误差影响核心测量结果。

5 结语

针对超低功耗 DC/DC 转换器呈现的“长时间 nA 级休眠+短时 mA 级脉冲”电流特征，传统电流档测量方法因量程切换死区和分辨率限制而失效。本文提出的方案利用芯片输入电容与串联采样电阻构成一阶 RC 低通滤波器，将脉冲电流平滑为稳定直流分量，配合台式万用表电流档或电压档进行测量，从而准确获取输入电流的平均值。该方法无需昂贵专用设备，可在常规实验室条件下完成测试，为长续航产品的设计验证提供可靠支撑。

6 参考文献

[1]. SG Micro Corp. SGM6040 Datasheet[EB/OL].
https://www.sg-micro.com/rect/assets/05dca391-4744-45bb-9553-66e52fee3bf0/SGM6040.pdf.
[2] Keysight Technologies. 34461A Datasheet[EB/OL].
https://www.keysight.com/content/dam/keysight/en/doc/ungate/data-sheets/5991-1983.pdf.
[3] Jan Van der Spiegel. DC measurements with HP34401A DMM[EB]. University of Pennsylvania, Department of Electrical Engineering, (2002-01-08).
[4] Keysight Technologies. 3458A Datasheet[EB/OL].
https://www.keysight.com/us/en/assets/7018-06796/data-sheets/5965-4971.pdf.
[5] C.F. Coombs Jr. Electronic Instrument Handbook[M]. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 1999.

修订记录

注意:历史版本的页码可能与当前版本的页码不同。

日期	版本	描述
2026-11-3	REV.A	首次发布

重要声明

本文档中如涉及本公司具体产品型号，SGMICRO 保留其更改电路设计、产品规格和产品描述的权利，恕不另行通知。本文档内容仅供参考。本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何承诺。对于本文档中可能出现的错误，以及因本文档提供的信息和使用本文档而造成的任何附带或间接损失，本公司不作任何明示或暗示的陈述和保证。

此文档未授予任何知识产权许可。除了 SGMICRO 在其产品的销售条款和条件中声明的责任外，本公司概不承担任何其他责任。

www.sg-micro.com

联系方式

圣邦微电子(北京)股份有限公司

地址：北京市海淀区西三环北路 87 号国际财经中心 D 座 11 层

邮编：100089

电话：010-88825716/17

深圳办事处

地址：深圳市南山区科技园高新南六道 6 号迈科龙大厦 15 层

邮编：518063

电话：0755-26715323

上海办事处

地址：上海市徐汇区漕溪北路 88 号圣爱大厦 1706 室

邮编：200030

电话：021-64396434