

I_Q: 何谓 I_Q 以及如何使用

作者: **Chris Glaser**, 德州仪器 (TI) 应用工程师

引言

器件的静态电流即 I_Q 是进行一个低功耗、高效能设计时很重要但却常常被误用的参数。许多电池供电型应用中, 轻负载或者无负载待机状态下, 电池提供的电流决定了系统的总运行时间。在集成开关转换器中, I_Q 仅为该电池电流的一部分。本文将介绍 I_Q 的定义, 说明其测量方法, 介绍何谓 I_Q 以及不应使用它的情况, 并说明避免常见测量误差的同时如何使用 I_Q 的一些设计考虑。本文适用于所有德州仪器 (TI) TPS61xxx、TPS62xxx 或者 TPS650xx 器件。

何谓 I_Q

除非说明书中专门说明, 否则所有 I_Q 的定义都为: 无负载、非开关但却有效的状态下由 IC 吸取的电流。“无负载”是指无电流让 IC 输出。一般而言, 它是通过降压转换器上 SW 引脚, 或者通过升压转换器上 V_{OUT} 引脚输出的电流。所有 I_Q 都只通过 IC 内部流向接地。“非开关”是指 IC 中无电源开关为开启状态 (关闭)。它包括主开关或者控制开关, 如果两者都集成到 IC 中, 则还包括同步整流器。换句话讲, IC 处于一种高阻抗状态下, 其具有一个与输出端彻底断开的功率级 (一些无法关闭器件上的集成 MOSFET 体二极管除外)。“有效”是指 IC 通过其 EN 引脚开启, 而未处在 UVLO 或者其它关闭状态下。I_Q 测量工作电流, 而非关机电流, 因此器件必须为开启状态。最后, I_Q 仅在省电模式下才有意义, 因此如果这种模式为特殊器件的某个选项, 则其必须有效。如果器件运行在脉宽调制 (PWM) 模式, 则功率级输入电流和开关损耗, 明显减少电流量, 即运行该器件所需的 I_Q。

I_Q 根本上而言来自于两种输入: V_{IN} 和 V_{OUT}。说明书规定了 I_Q 是否来自于任意一个或者两个引脚。图 1 显示了 TI TPS61220/21/22 说明书规定的 I_Q 规范, ¹TI TPS61220/21/22 均为升压转换器, 从 V_{IN} 和 V_{OUT} 拉取其 I_Q。一般而言, 降压转换器仅从其输入拉取 I_Q, 而升压转换器或者降压转换器则同时从输入和输出端拉取 I_Q。

I_Q 对操作器件基本功能所需的电流进行测量, 其包括为诸如内部精密基准电压、振荡器、热关机或者 UVLO 电路、器件状态机或者其它逻辑门等供电。I_Q 并不包括功率级或者栅极驱动器的任何输入电流, 因为它是在一种非开关状态测量得到的, 这种状态下电流为零。这种状态下测量 I_Q 的原因是其只依赖于 IC, 而功率级输入电流和栅极驱动电流依赖于所选择的外部组件, 其在大多数情况下规定了 IC 在其省电模式下开关的频率。因此, I_Q 为一种 IC 测量, 而包括其它两种电流的测量为一种系统测量。TI 无法控制, 也不能保证这种系统测量, 但可以控制和规定 IC 测量。实际上, TI 保证 I_Q 规范, 同时对于那些说明书规定了 I_Q 最大值的器件而言, TI 进行逐个测试, 并对所生产的每个器件进行测试。测试过程包括: 激活器件, 将其设置到说明书规定的测试条件, 然后人为地升高 (从外部施加电压) 输出电压、FB 引脚电压和所有其它引脚电压, 升高至足以让 IC 不开关。无负载, 并激活省电模式 (如果有效的话) 以后, IC 的输入电流变为

I_Q 。

被误解的 I_Q

I_Q 不是无负载输入电流。如前所述， I_Q 只是操作 IC 基本功能所需的“开销”电流。它不包括功率级的输入电流（实际转至输出端的电流），或者操作栅极驱动器所需的电流。即使在无负载状态下，器件仍然进行开关操作，以保持输出稳定。一些损耗始终存在于输出端，例如：用于设置输出电压的分压器所产生的损耗；进入负载或者通过输出电容的漏电流；上拉电阻器等。由于这些损耗会在输出电容引起电压衰减，因此 IC 必须频繁地开关，以弥补功率损失。这样，无负载输入电流测量，便违反了 IC 必须在非开关状态下，以及无电流让 IC 再充电 V_{OUT} 的规定。例如，图 2 显示了 TPS61220 升压转换器的无负载工作情况，其输入电压为 1.2 V，输出电压为 3.3 V。IC 约 1.75 ms 开关一次，以调节输出电压。该间隔时间取决于 V_{IN} 、 V_{OUT} 和外部组件，并影响所拉取平均电流的大小。阶段#1 期间，IC 正在开关—高端 MOSFET 或者同步整流 MOSFET 为开。输入电流由进入功率级的电流主导，其平均约为 7 mA（电感峰值电流的一半）。

图 1 TPS61220/21/22 说明书的 I_Q 规范

DC/DC STAGE						
PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
I_Q	Quiescent current	V_{IN}	0	0.5	0.9	μA
		V_{OUT}		5	7.5	μA

图 3 显示了阶段#1 的大图。一旦输出电压降至阈值以下，TPS61220 便通过开启控制 MOSFET 开始一个开关脉冲。SW 引脚变低，引起电感电流斜线上升。之后，它关闭控制 MOSFET，然后开启整流 MOSFET，从而让电流流至输出端。该能量进入输出电容时，输出电压上升。电感电流达到零时，所有能量传输至输出端；这样，整流 MOSFET 关闭，且 IC 转入睡眠模式（阶段#2）。这时，两个 MOSFET 都为关闭（开），因此 SW 引脚处在高阻抗状态下。电感和该引脚的寄生电容振铃，直到它达到其 DC 值，即等于输入电压。

阶段 #2 期间，IC 为高阻抗，同时输出电压因输出端漏电下降。由于 IC 没有正在实施开关操作，这一时间段期间 IC 消耗的电流为 I_Q 。通过计算平均输入电流，阶段#1 和#2 定义一个开关时间段。由于开关期间（阶段#1）的高输入电流，这一时间的平均输入电流必须高于 IC 的 I_Q 。但是，由于阶段 #1 的持续时间非常短，平均输入电流一般稍大于 I_Q 引起的输入电流。

图 2 TPS61220 的无负载运行情况

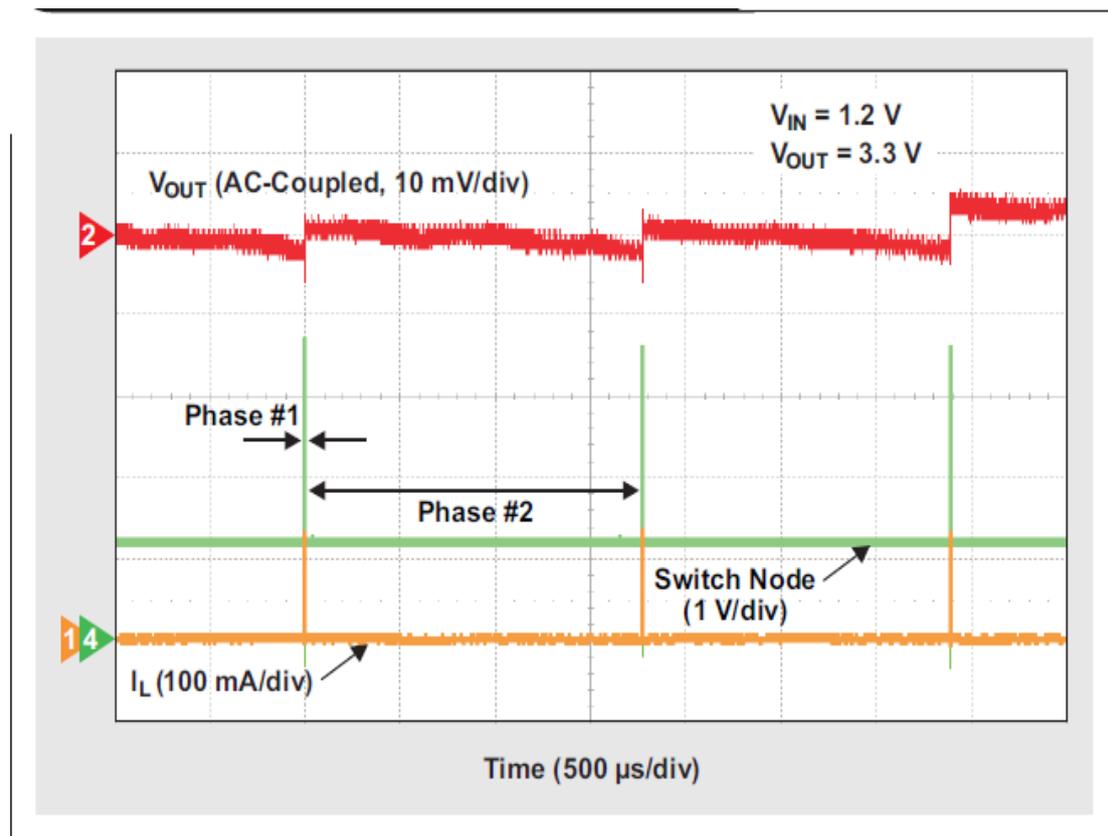


图 3 无负载运行期间 TPS61220 的开关脉冲

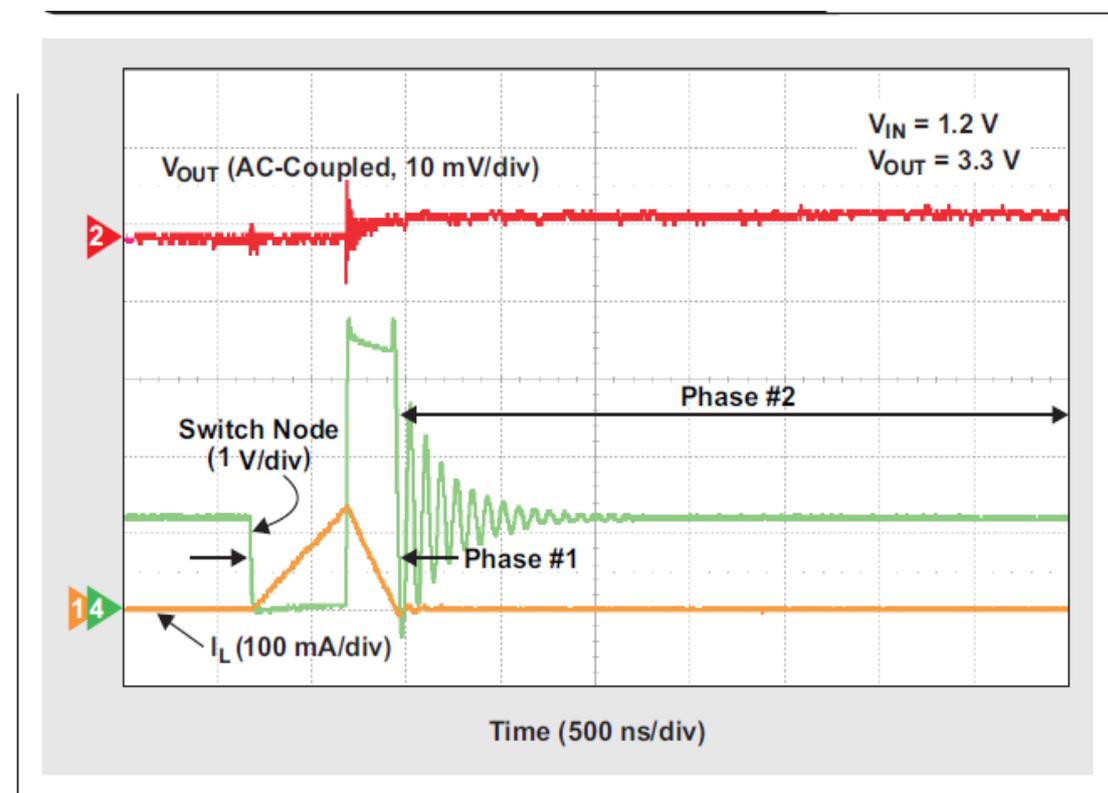
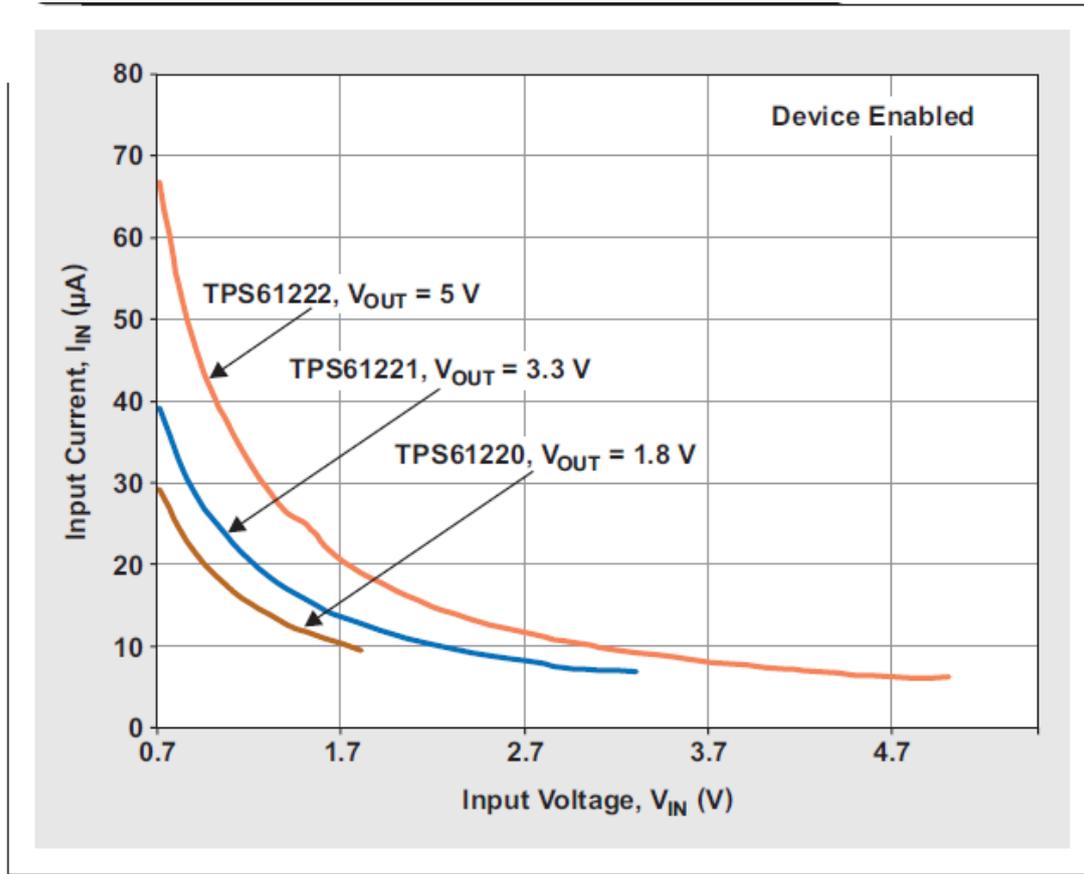


图 4 TPS61220/21/22 说明书无负载输入电流图



为了解决 I_Q 和无负载输入电流之间存在的这种差异，一些 IC 的说明书在电气特性表中都有无负载输入电流的典型规范。其它 IC 说明书有一些显示特定电路无负载输入电流的图。图 4 显示了选自 TPS61220/21/22 说明书的一个图。¹ 另外，图 5 显示了电气特性表中的 I_Q 规范。该表选自 TI TPS62120/22 的说明书，² TI TPS62120/22 为高效率降压转换器。13 μ A 典型规范，只对规定的具体测试条件有效。使用 TPS61220 和 TPS62120 时，需注意：无负载输入电流高于 IC 的 I_Q 。图 4 显示了 TPS61221 升压转换器的无负载输入电流为 20 μ A，并且 V_{IN} 为 1.2V， V_{OUT} 为 3.3V。这一结果高于相同测试条件下， V_{OUT} 的 5 μ A 图 1 所示 I_Q ，以及 V_{IN} 的 0.5 μ A 图 1 所示 I_Q 。本文第 3 项“设计考虑”，将解释出现这种差异的原因。

如何使用 I_Q

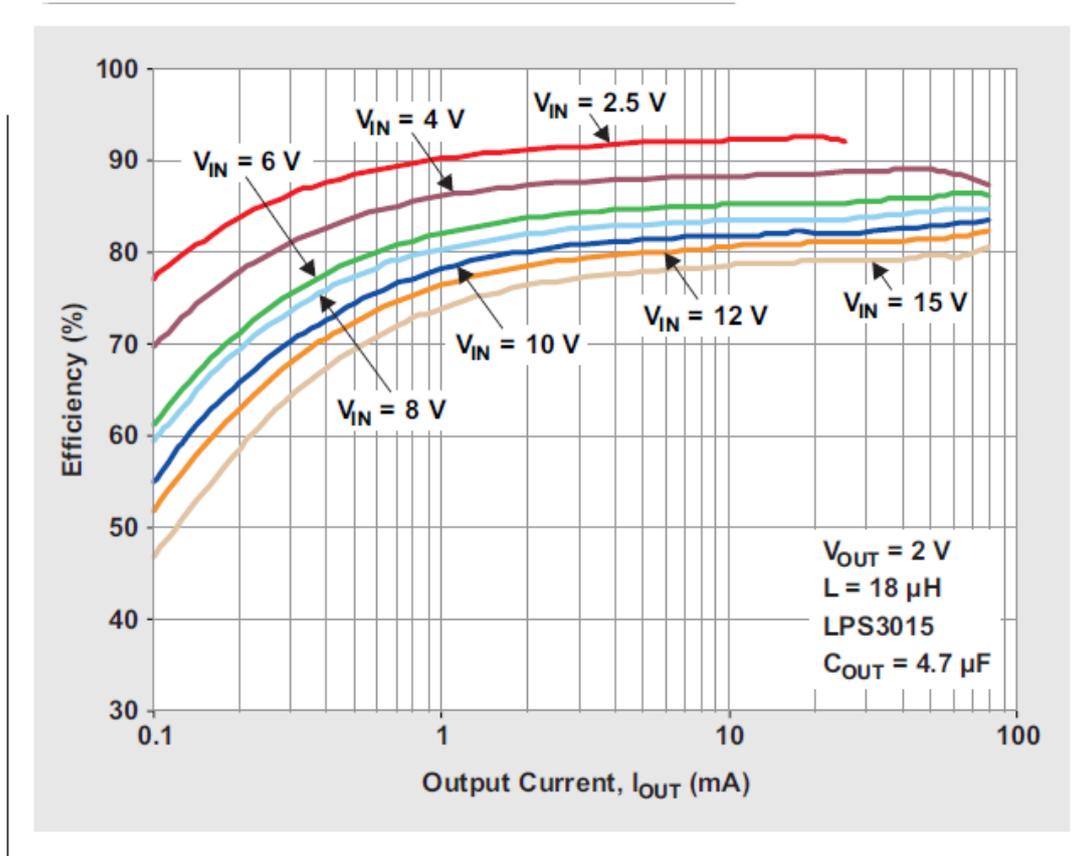
了解 I_Q ，可帮助设计人员比较不同 IC 的低功耗性能。但是，IC 的 I_Q 仅为系统输入电流的组成部分，其受三方面影响：每种 IC 的内部设计（其 I_Q ），每种 IC 周围的外部组件，以及总系统配置。由于输入电流是这三项的组合，因此 I_Q 损耗可能是也可能不是某个特定系统的主要损耗，同时可能是也可能不是电池工作时间的决定因素。

如果终端应用真正地在无输出负载条件下操作 IC，则 I_Q 更低的 IC 一般具有更低的无负载输入电流，从而带来更长的电池工作时间。这种情况的假设条件是两种 IC 都具有省电模式，且其处于有效状态。但是，不同的 IC，省电模式的工作情况也不同，从而产生明显不同的无负载输入电流。

图 5 TPS62120/22 说明书的无负载输入电流规范

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SUPPLY						
I _Q	Quiescent current	I _{OUT} = 0mA, Device not switching, EN = V _{IN} , regulator sleeps		11	18	μA
		I _{OUT} = 0mA, Device switching, V _{IN} = 8 V, V _{OUT} = 1.8V		13		μA

图 6 TPS62120 的效率曲线图



如果应用不是运行在无负载状态下，而是工作在“待机”或者“睡眠”模式下（这两种模式下处理器或者另一种负载仍然拉取一些电流），则 I_Q 的有效性迅速降低。要证明这一点，可考虑使用 TPS62120 为 TI MSP430™和其它电路供电，2V 下时其总消耗电流为 100 μA。8-V 输入时，TPS62120 的工作效率为 60%（参见图 6²），产生的输入电流为：

$$\frac{2 \text{ V} \times 100 \text{ } \mu\text{A}}{0.6 \times 8 \text{ V}} = 42 \text{ } \mu\text{A}.$$

该输入电流包括 I_Q (11 μA)，其为总输入电流中非常大的一部分（约占 26%）。但是，如果待机负载增加至 1mA，则 8V 时的输入电流为：

$$\frac{2 \text{ V} \times 1 \text{ mA}}{0.8 \times 8 \text{ V}} = 313 \text{ } \mu\text{A}.$$

现在，11 μA 的 I_Q 便微不足道（约占 3.5%）。若想准确地估算系统待机模式的输

入电流，我们必须要知道拉取的负载电流。只使用 I_Q 代替这种轻负载输入电流，并不能准确地估算拉取的电池电流。

说明书的效率曲线图表明了总电路效率，并包括 I_Q 损耗。因此， I_Q 损耗不应加到曲线图中的损耗。

设计考虑

测量 I_Q 值或者从说明书获取 I_Q 值时，会犯很多的错误。下列五个考虑因素，可以帮助设计人员避免犯这些错误。

1、IC 的 I_Q 无法修改。无法从 IC 外部影响 I_Q 。 I_Q 随输入电压和温度而变化，但 IC 内部电路的行为决定这种变化。如果 IC 工作在强制 PWM 模式下，或者给输出端施加一个负载，则 I_Q 不再适用于该电路，而输入电流变为适用。在应用中，有许多方面可以影响输入电流，但却无法影响 I_Q 。

2、需要考虑指定工作条件。 I_Q 仅指定用于 IC 的建议工作条件和某些测试状态，特别是输入电压和输出电压。对任何 IC 而言，输入电压高于建议最大值（但低于绝对最大值）或者输入电压低于建议最小值（但高于 UVLO 水平）。就降压转换器而言，仅当输入电压大于输出电压且器件未处在压降状态（100%模式）时， I_Q 才有效。就升压转换器而言，输入电压必须低于输出电压，这样 IC 才能不处在掉电模式下。

3、输入电流通常连接至输出。大部分的同步升压 I_Q 通常都来自于输出电压。由于这种功率最终必定都来自于输入，因此无负载状态的输入电流大大高于 I_Q ，这是因为升压转换器的输入电流必须大于其输出电流。可考虑使用 TPS61220，其能够将 1.2V 电压升压至 3.3V。 V_{OUT} 的 I_Q 为 $5\ \mu\text{A}$ ，以及 V_{IN} 的 I_Q 为 $0.5\ \mu\text{A}$ 时，且假设转换效率为 100%，则 I_Q 的输入电流为：

$$\frac{3.3\ \text{V} \times 5\ \mu\text{A}}{1.2\ \text{V}} + 0.5\ \mu\text{A} = 14.25\ \mu\text{A}.$$

由于非 I_Q 损耗的存在，例如：开关损耗和栅极驱动损耗等等，无负载条件下电路实际拉取约 $20\ \mu\text{A}$ 的输入电流（如图 4 所示）。重要的是，这 $20\ \mu\text{A}$ 的输入电流远大于 IC 的 I_Q ($5.5\ \mu\text{A}$)，因为 TPS61220 这种升压转换器从输出电压拉取了大多数其 I_Q 。

4、查找所有可能的输入电流路径。在某个评估模块 (EVM) 或者其它板上对 I_Q 进行测量时，设计人员应该确保板输入电流完全进入到 IC，而不是板上其它地方。由于较小的 I_Q 值，电容或者其它器件的漏电（即使器件处于关闭状态），也可能会非常的大，同时可能会影响电路板的输入电流。另外，在一些 EVM 和大多数终端设备板上，输入电压或者输出电压被路由至上拉电阻器、指示 LED，或者其它在某些状态下会灌入电流的器件。很明显，拉取的这种电流并非为 IC I_Q 的组成部分。最后，IC 的 I_Q 作为一种系统参数，其并不那么重要，因为总输入电流才是我们真正需要的；另外，其在规定测试状态下可轻松测得。

5、测量方法差异巨大。若想准确地测量省电模式下的低功耗输入电流或者效率，

遵循“参考文献 3”详情介绍的测试步骤至关重要。

结论

I_Q 是现代低功耗 DC/DC 转换器的一种重要 IC 设计参数,其部分定义轻负载状态下拉取自电池的电流。 I_Q 不是 IC 的无负载输入电流,因为 IC 仅在无负载、激活和非开关状态下消耗 I_Q 电流。由于输出端的漏电,IC 必须进行开关,以保持输出电压稳定。设计人员应该测量并使用系统的无负载输入电流,而不是将 IC 的 I_Q 作为拉取电池电流的估算结果。估算拉取电池电流的一种更好方法是,定义系统处于低功耗模式下时的系统负载,然后测量该操作点拉取的实际电池电流。通过这样做而非只使用 I_Q , 我们可以准确地预计电池工作时间。

参考文献

更多本文相关信息,请访问 www.ti.com/lit/litnumber 并用具体的 TI Lit. # 替换“litnumber”,以便下载 Acrobat® Reader® 文件,获取下面列出的资料。

文件标题

文献标题

TI Lit. #

- 1、TPS61220/21/22 说明书的《6 引脚 SC-70 封装的低输入电压增高转换器》
slvs776
- 2、TPS62120/22 说明书的《15V、75mA 高效降压转换器》
slvsad5
- 3、《应用报告》的《进行准确的 PFM 模式效率测量》,作者: Jatan Naik
slva236

相关网站

power.ti.com

www.ti.com/sc/device/TPS61220

www.ti.com/sc/device/TPS62120

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	http://www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	http://www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	http://www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	http://www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	http://www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	http://www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	http://www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	http://www.ti.com.cn/microcontrollers	无线通信	www.ti.com.cn/wireless
RFID 系统	http://www.ti.com.cn/rfidsys		
RF/IF 和 ZigBee® 解决方案	www.ti.com.cn/radiofre		
	TI E2E 工程师社区		http://e2e.ti.com/cn/

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2011 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司